



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

---

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ & ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

~ ~ ~ ~ ~

**ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ  
ΜΕΣΩ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ**

---

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Ε. Καραλέξης

**Επιβλέπων:** Γεώργιος Ν. Κορρές  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2013





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

---

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ & ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

~ ~ ~ ~ ~

**ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ  
ΜΕΣΩ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΥ**

---

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημήτριος Ε. Καραλέξης

**Επιβλέπων:** Γεώργιος Ν. Κορρές  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 28<sup>η</sup> Ιουνίου 2013.

---

Γεώργιος Ν. Κορρές  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

---

Κωνσταντίνος Βουρνάς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

---

Πάυλος Γεωργιάκης  
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2013

---

Δημήτριος Ε. Καραλέξης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Δημήτριος Ε. Καραλέξης, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η κατανόηση, η περιγραφή και η αξιοποίηση των δυνατοτήτων του εργαστηριακού συστήματος προστασίας & εποπτείας που κατασκευάστηκε για εκπαιδευτικούς σκοπούς από την εταιρεία PROT.A.S.I.S SA και βρίσκεται εγκατεστημένο στο Εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, για την δημιουργία ενός σχήματος προστασίας γραμμής μεταφοράς.

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο της εργασίας γίνεται μια σχετικά εκτενής εισαγωγή στο αντικείμενο της προστασίας των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας αναλύοντας τα θέματα και τα σχήματα προστασίας που απαντώνται συχνότερα στις συνήθεις εφαρμογές.

Το 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο της εργασίας περιγράφει διεξοδικά τη δομή, τον τρόπο χρήσης και λειτουργίας καθώς και τις δυνατότητες του εργαστηριακού συστήματος προστασίας & εποπτείας μέσω των επιμέρους συσκευών που το συνθέτουν, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στον ψηφιακό ηλεκτρονόμο SEL-311B της εταιρείας «Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.», ο οποίος είναι ειδικά σχεδιασμένος ώστε να παρέχει πλήρη προστασία σε γραμμές μεταφοράς.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο της εργασίας πραγματοποιείται μελέτη προστασίας για τη γραμμή μεταφοράς του δικτύου που θεωρήθηκε ότι επρόκειτο να προστατεύσει το εργαστηριακό σύστημα προστασίας & εποπτείας. Για το σκοπό αυτό, εκτελούνται πολλαπλές αναλύσεις ροών φορτίου, μελέτες βραχυκυκλωμάτων (κατά το πρότυπο IEC 60909) και μελέτες ανοικτοκυκλωμάτων με την βοήθεια των πακέτων λογισμικού NEPLAN® και Mathcad®. Επίσης, στο τέλος του εν λόγω κεφαλαίου, περιγράφεται και πραγματοποιείται η ρύθμιση του ψηφιακού Η/Ν SEL-311B μέσω του ειδικού προγράμματος acSELerator QuickSet®.

Το 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζει τη διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον δευτερογενή έλεγχο της ορθής λειτουργίας του ψηφιακού Η/Ν SEL-311B του εργαστηριακού συστήματος προστασίας & εποπτείας με χρήση της συσκευής CMC 356 της εταιρείας «OMICRON electronics GmbH». Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των σφαλμάτων δοκιμής που προσομοιώθηκαν, τα οποία εκ των υστέρων συγκρίνονται με τα θεωρητικά αναμενόμενα.

**Λέξεις-κλειδιά:** Εργαστηριακό σύστημα προστασίας & εποπτείας, ψηφιακός ηλεκτρονόμος, προστασία γραμμής μεταφοράς, προστασία αποστάσεως, προστασία υπερεντάσεως, μελέτη βραχυκυκλωμάτων, ρύθμιση ηλεκτρονόμου, δευτερογενής έλεγχος

## ABSTRACT

---

The aim of this diploma thesis was to understand, describe and utilize the features of the laboratorial protection & supervisory system that was built by the company “PROT.A.S.I.S SA” for academic purposes and is established in the Power Systems Laboratory of the School of Electrical & Computer Engineering, in order to create a transmission line protection scheme.

In the 1<sup>st</sup> chapter of this thesis, a relatively comprehensive introduction to the subject of modern power system protection is made, analyzing the issues and protection schemes that are most frequently encountered in usual applications.

The 2<sup>nd</sup> chapter of this thesis describes in detail the structure, the manner of use and operation as well as the features of the laboratorial protection & supervisory system through the individual devices that compose it, giving particular emphasis to the digital relay SEL-311B of the company “Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.”, which is specifically designed to provide full protection for transmission lines.

In the 3<sup>rd</sup> chapter of this thesis, a protection study of the transmission line of the power system that was assumed to be protected by the laboratorial protection & supervisory system is carried out. For this purpose, multiple load flow analyses, short-circuit studies (according to the standard IEC 60909) and open-circuit studies are being performed with the help of the software NEPLAN® and Mathcad®. Also, at the end of this chapter, the setting procedure of the digital relay SEL-311B is described and performed using the software acSELeRator QuickSet®.

The 4<sup>th</sup> chapter presents the procedure followed during the secondary testing of the laboratorial protection & supervisory system’s digital relay SEL-311B using the device CMC 356 of the company “OMICRON electronics GmbH”. Finally, the results of the simulated fault tests are presented and compared with the theoretically expected.

**Keywords:** Laboratorial protection & supervisory system, digital relay, transmission line protection, distance protection, overcurrent protection, fault study, relay setting, secondary testing

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Θα ήθελα να ευχαριστήσω:

- τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κ. Γεώργιο Κορρέ για την ευκαιρία που μου έδωσε, την άριστη συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια συγγραφής της και για την αμέριστη βοήθεια και υποστήριξη που μου παρείχε
- τους ηλεκτρολόγους μηχανικούς της εταιρείας PROT.A.S.I.S SA κ.κ. Γεώργιο Αρβανίτη (για την επίδειξη του εργαστηριακού συστήματος προστασίας και την βοήθειά του κατά το διάστημα που μεσολάβησε μέχρι την εκμάθησή του), Νικόλαο Κάρλοβιτς και Δημήτριο Τόλη (για την καθοριστική συνδρομή τους στην διαδικασία του δευτερογενούς ελέγχου του ψηφιακού ηλεκτρονόμου SEL-311B)
- τον συνάδελφο ηλεκτρολόγο μηχανικό κ. Βασίλειο Παπασπηλιωτόπουλο για την φιλία, την επιστημονική βοήθεια και την συμπαράστασή του

*Το βιβλίο αφιερώνεται στους γονείς μου  
Μάνο & Μαρία*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>6</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>7</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>8</b>
<b>ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	<b>13</b>
<b>ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<b>22</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ</b> .....	<b>25</b>
<b>1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>25</b>
1.1.1 Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας .....	25
1.1.2 Τα σφάλματα των Σ.Η.Ε.....	25
1.1.3 Προστασία Σ.Η.Ε. - Συστήματα προστασίας .....	26
1.1.4 Βασικός στόχος των συστημάτων προστασίας.....	27
1.1.5 Ζώνες προστασίας – Πρωτεύουσα & Δευτερεύουσα προστασία.....	28
1.1.6 Αριθμοί συσκευών & σύμβολα στοιχείων συστημάτων προστασίας .....	29
<b>1.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ</b> .....	<b>31</b>
1.2.1 Ηλεκτρονόμοι.....	31
1.2.2 Μετατροπείς .....	34
1.2.3 Διακόπτες ισχύος.....	37
1.2.4 Μπαταρίες .....	38
<b>1.3 ΒΑΣΙΚΑ ΕΙΔΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΩΝ Σ.Η.Ε.</b> .....	<b>39</b>
1.3.1 Διαφορική προστασία.....	39
1.3.2 Προστασία κατεύθυνσης.....	40
1.3.3 Προστασία υπερεντάσεως.....	43
1.3.4 Προστασία αποστάσεως .....	45
<b>1.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΓΕΙΩΣΗΣ Σ.Η.Ε.</b> .....	<b>48</b>
1.4.1 Βασικοί στόχοι & είδη γείωσης .....	48
1.4.2 Αγείωτα Σ.Η.Ε.....	48
1.4.3 Γειωμένα Σ.Η.Ε. με σύνθετη αντίσταση υψηλής τιμής.....	49
1.4.4 Γειωμένα Σ.Η.Ε. με σύνθετη αντίσταση μικρής τιμής.....	50
1.4.5 Απευθείας γείωση Σ.Η.Ε. ....	50
<b>1.5 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ</b> .....	<b>51</b>
1.5.1 Προστασία στάτη από σφάλματα μεταξύ φάσεων .....	51
1.5.2 Προστασία στάτη από σφάλματα γης.....	53
1.5.3 Προστασία από σφάλματα του δρομέα .....	54
1.5.4 Προστασία από ασύμμετρη φόρτιση .....	55
1.5.5 Προστασία από απώλεια της διεγέρσεως.....	56
1.5.6 Προστασία από απώλεια της κινητήριας μηχανής .....	57
1.5.7 Προστασία από έντονη υπερδιέγερση – υπερτάσεις .....	58



1.5.8 Προστασία από αθέμιτη αρχική σύνδεση της γεννήτριας στο δίκτυο.....	58
1.5.9 Προστασία από θερμική υπερφόρτιση .....	58
1.5.10 Προστασία από λειτουργία εκτός προκαθορισμένης συχνότητας .....	58
1.5.11 Προστασία από απώλεια συγχρονισμού.....	59
1.5.12 Προστασία από υποσύγχρονες ταλαντώσεις .....	59
1.5.13 Προστασία από απώλεια σήματος του Μ/Σ τάσης προς τους Η/Ν ή τους ρυθμιστές....	59
1.5.14 Προστασία από ανάπτυξη υπερβολικής ταχύτητας.....	60
1.5.15 Προστασία από βλάβη των διακοπών ισχύος γεννήτριας.....	60
<b>1.6 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΩΝ .....</b>	<b>61</b>
1.6.1 Προστασία υπερφορτίσεως & υπερεντάσεως.....	62
1.6.2 Ποσοστιαία διαφορική προστασία .....	63
1.6.3 Εποπτευόμενη διαφορική προστασία .....	66
1.6.4 Διαφορική προστασία τριφασικών Μ/Σ.....	67
1.6.5 Διαφορική προστασία τριφασικών Μ/Σ πολλαπλών τυλιγμάτων .....	68
1.6.6 Διαφορική προστασία γης Μ/Σ .....	69
1.6.7 Προστασία από σφάλματα προς το κέλυφος του Μ/Σ .....	70
1.6.8 Προστασία από υπερδιέγερση .....	71
1.6.9 Μη ηλεκτρικές προστασίες.....	71
<b>1.7 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΖΥΓΩΝ.....</b>	<b>73</b>
1.7.1 Κύριες διατάξεις ζυγών.....	73
1.7.2 Διαφορική προστασία ζυγών.....	78
1.7.3 Προστασία ζυγών από σφάλματα γης.....	82
<b>1.8 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ .....</b>	<b>83</b>
1.8.1 Προστασία των γραμμών των δικτύων διανομής.....	83
1.8.2 Προστασία των γραμμών του συστήματος μεταφοράς .....	85
<b>1.9 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΗΝΙΩΝ.....</b>	<b>101</b>
1.9.1 Προστασία των εν σειρά συνδεδεμένων πηνίων .....	101
1.9.2 Τύποι παράλληλα συνδεδεμένων πηνίων .....	101
1.9.3 Προστασία παράλληλων πηνίων ξηρού τύπου .....	101
1.9.4 Προστασία παράλληλων πηνίων τύπου ελαίου .....	102
<b>1.10 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΥΚΝΩΤΩΝ .....</b>	<b>104</b>
1.10.1 Εσωτερική δομή & προδιαγραφές πυκνωτών .....	104
1.10.2 Προστασία πυκνωτών συστήματος διανομής.....	106
1.10.3 Προστασία παράλληλων πυκνωτών μεγάλης ισχύος.....	106
1.10.4 Προστασία εν σειρά συνδεδεμένων πυκνωτών .....	107
<b>1.11 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑC ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....</b>	<b>108</b>
1.11.1 Προστασία κινητήρων μικρού και μεσαίου μεγέθους.....	108
1.11.2 Προστασία κινητήρων μεσαίου και μεγάλου μεγέθους.....	110
<b>1.12 ΨΗΦΙΑΚΟΙ Η/Ν &amp; ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ .....</b>	<b>114</b>
1.12.1 Σύντομη περιγραφή ψηφιακών Η/Ν.....	114
1.12.2 Περιγραφή προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών .....	115
1.12.3 Προγραμματισμός & ρύθμιση ψηφιακών Η/Ν.....	115
1.12.4 Αναφορές γεγονότων .....	117
1.12.5 Εντοπισμός σημείου σφάλματος.....	118
1.12.6 Αυτοματισμοί Σ.Η.Ε. ....	119

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ &amp; ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ.....</b>	<b>121</b>
<b>2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ .....</b>	<b>121</b>
<b>2.2 ΕΚΚΙΝΗΣΗ &amp; ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ .....</b>	<b>125</b>
<b>2.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ SEL-3354 .....</b>	<b>127</b>
2.3.1 Περιγραφή υπηρεσίας SEL Service & λογισμικού SEL SysMon GUI.....	129
2.3.2 Περιγραφή λογισμικού SubstationSERVER.NET™.....	132
<b>2.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ PC.....</b>	<b>136</b>
2.4.1 Σύντομη περιγραφή λογισμικού Zenon Editor .....	137
2.4.2 Περιγραφή λογισμικού Zenon Runtime & SCADA.....	147
2.4.3 Περιγραφή λογισμικού RealVNC.....	153
<b>2.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ Η/Ν SEL-311B .....</b>	<b>154</b>
2.5.1 Προδιαγραφές .....	156
2.5.2 Στοιχεία αποστάσεως .....	156
2.5.3 Στοιχεία υπερεντάσεως στιγμιαίου ή σταθερού χρόνου .....	180
2.5.4 Στοιχεία υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου.....	183
2.5.5 Στοιχεία επιτήρησης τάσεως.....	185
2.5.6 Στοιχεία ελέγχου συγχρονισμού .....	186
2.5.7 Προστασία έναντι απώλειας σήματος από τον Μ/Σ υποβιβασμού τάσης.....	189
2.5.8 Προστασία έναντι μεταβατικών φαινομένων στους πυκνωτικούς Μ/Σ τάσης.....	190
2.5.9 Λογική απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής .....	190
2.5.10 Έλεγχος κατεύθυνσης σφαλμάτων .....	192
2.5.11 Λογική εντολής ανοίγματος του διακόπτη ισχύος.....	207
2.5.12 Λογική εντολής κλεισίματος και αυτόματης επαναφοράς του διακόπτη ισχύος.....	208
2.5.13 Διαθέσιμες είσοδοι, έξοδοι, χρονικά και λοιπά στοιχεία ελέγχου .....	211
2.5.14 Δυνατότητα προγραμματισμού της συντήρησης του διακόπτη ισχύος .....	214
2.5.15 Δυνατότητα επιτήρησης του υποσυστήματος μπαταριών.....	214
2.5.16 Δυνατότητα μέτρησης της ζήτησης και ενέργειας.....	215
2.5.17 Δυνατότητα καταγραφής μέγιστων και ελάχιστων τιμών .....	217
2.5.18 Δυνατότητα υπολογισμού απόστασης από το σφάλμα .....	217
2.5.19 Δυνατότητα επικοινωνίας MIRRORED BITS® .....	222
2.5.20 Δυνατότητα λήψης συγχρονισμένων μετρήσεων .....	222
2.5.21 Δυνατότητα παραγωγής αναφορών γεγονότων .....	222
<b>2.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ Η/Ν SEL-587.....</b>	<b>228</b>
2.6.1 Προδιαγραφές .....	230
2.6.2 Στοιχεία διαφορικής προστασίας.....	230
2.6.3 Στοιχεία προστασίας υπερεντάσεως .....	231
2.6.4 Δυνατότητα παραγωγής αναφορών γεγονότων .....	232
<b>2.7 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ Η/Ν SEL-300G.....</b>	<b>233</b>
2.7.1 Προδιαγραφές .....	234
2.7.2 Περιγραφή σταδίων λειτουργίας και επεξεργασίας δεδομένων.....	234
2.7.3 Ομάδες ρυθμίσεων & ενδεικνύόμενα στοιχεία προστασίας βάσει μεθόδου γείωσης ...	236
2.7.4 Στοιχεία αποστάσεως .....	237
2.7.5 Στοιχείο προστασίας Volts/Hertz .....	238
2.7.6 Στοιχείο αντίστροφης φοράς ισχύος ή μικρής παρεχόμενης ισχύος .....	238

2.7.7 Στοιχείο προστασίας έναντι απώλειας του πεδίου διέγερσης .....	239
2.7.8 Στοιχεία υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας.....	240
2.7.9 Στοιχεία υπερεντάσεως.....	241
2.7.10 Στοιχεία υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου ελεγχόμενα/παρεμποδιζόμενα από τάση .....	241
2.7.11 Στοιχεία υπέρτασης και υπότασης.....	241
2.7.12 Στοιχείο προστασίας από απώλεια σήματος του M/Σ τάσης του H/N.....	242
2.7.13 Στοιχεία προστασίας 100% του στάτη από σφάλματα γης .....	242
2.7.14 Στοιχείο προστασίας τυλίγματος διέγερσης από σφάλματα γης.....	243
2.7.15 Στοιχείο προστασίας έναντι απώλειας συγχρονισμού .....	243
2.7.16 Στοιχεία προστασίας συχνότητας.....	244
2.7.17 Προστασία ταχύτητας κινητήριας μηχανής .....	244
2.7.18 Προστασία έναντι λανθασμένης αρχικής τροφοδότησης.....	245
2.7.19 Προστασία από βλάβη Δ/I .....	245
2.7.20 Διαφορική προστασία γης .....	245
2.7.21 Άλλα στοιχεία προστασίας της σειράς των H/N SEL-300G .....	246
2.7.22 Λοιπές δυνατότητες του H/N SEL-300G.....	246

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ & ΡΥΘΜΙΣΗ H/N SEL-311B..... 247**

<b>3.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΟΜΕΝΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ .....</b>	<b>247</b>
<b>3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ .....</b>	<b>249</b>
<b>3.3 ΜΕΛΕΤΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ .....</b>	<b>254</b>
<b>3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΑΝΟΙΚΤΟΚΥΚΛΩΣΗΣ.....</b>	<b>266</b>
<b>3.5 ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....</b>	<b>268</b>
3.5.1 Επιλογή μετασχηματιστών τάσης και έντασης για την τροφοδοσία των H/N .....	268
3.5.2 Παράμετροι γραμμής μεταφοράς .....	268
3.5.3 Προστασία αποστάσεως .....	269
3.5.4 Προστασία υπερεντάσεως.....	273
3.5.5 Προστασία υπερτάσεως & υποτάσεως.....	282
3.5.6 Λογική απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής .....	282
3.5.7 Λογική αναγνώρισης κατάστασης διακόπτη ισχύος .....	284
3.5.8 Έλεγχος κατεύθυνσης.....	284
<b>3.6 ΡΥΘΜΙΣΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ H/N SEL-311B .....</b>	<b>285</b>
3.6.1 Σύντομη παρουσίαση του λογισμικού acSELeator QuickSet®.....	285
3.6.2 Συμπλήρωση φύλλων ρύθμισης H/N SEL-311B .....	292

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ H/N SEL-311B ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ..... 317**

<b>4.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ OMICRON CMC 356 .....</b>	<b>317</b>
<b>4.2 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΣΥΣΚΕΥΗΣ OMICRON CMC 356 ΜΕ ΤΟΝ H/N SEL-311B.....</b>	<b>319</b>
<b>4.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΔΟΚΙΜΗΣ .....</b>	<b>320</b>
4.3.1 Σφάλματα δοκιμής εντός της 1 <sup>ης</sup> ζώνης προστασίας αποστάσεως .....	321
4.3.2 Σφάλματα δοκιμής εντός της 2 <sup>ης</sup> ζώνης προστασίας αποστάσεως .....	323
4.3.3 Σφάλματα δοκιμής εντός της 3 <sup>ης</sup> ζώνης προστασίας αποστάσεως .....	325

4.3.4 Δοκιμή λογικής απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής.....	327
4.3.5 Δοκιμή σφάλματος ανοικτοκύκλωσης.....	328
4.3.6 Δοκιμή λειτουργίας προστασίας υπερτάσεως.....	328
<b>4.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ &amp; ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ .....</b>	<b>329</b>
4.4.1 Μέγιστο $k_3$ σφάλμα στο 20% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος ...	329
4.4.2 Ελάχιστο $k_1$ σφάλμα στο 50% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος..	333
4.4.3 Μέγιστο $k_2$ σφάλμα στο 70% της γραμμής μεταφοράς με αντίσταση τόξου $20\Omega$ .....	338
4.4.4 Ελάχιστο $k_3$ σφάλμα στο 110% της γραμμής μεταφοράς με αντίσταση τόξου $20\Omega$ .....	342
4.4.5 Μέγιστο $k_1$ σφάλμα στο 110% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος .	349
4.4.6 Μέγιστο $k_2$ σφάλμα στο 135% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος .	354
4.4.7 Ελάχιστο $k_{E2E}$ σφάλμα στο 135% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος .....	359
4.4.8 Δοκιμή λογικής απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής.....	365
4.4.9 Δοκιμή λειτουργίας προστασίας έναντι σφάλματος ανοικτοκύκλωσης.....	370
4.4.10 Δοκιμή λειτουργίας προστασίας υπερτάσεως.....	374
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ .....</b>	<b>377</b>

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

• Εικόνα 1.1: Τα σφάλματα των Σ.Η.Ε. θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές και μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στον εξοπλισμό και στον περιβάλλοντα χώρο [1].....	25
• Εικόνα 1.2: Τα υποσυστήματα από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα προστασίας [2].....	26
• Εικόνα 1.3: Ενδεικτικό ακτινικό δίκτυο [2].....	27
• Εικόνα 1.4: Ενδεικτικό βροχοειδές δίκτυο [2].....	27
• Εικόνα 1.5: Χωρισμός Σ.Η.Ε. σε κλειστές & ανοικτές ζώνες προστασίας [3].....	28
• Εικόνα 1.6: Εφεδρική προστασία μέσω αντιγράφων στοιχείων προστασίας και τοπικής ή απομακρυσμένης δευτερεύουσας προστασίας. Τα στοιχεία πρωτεύουσας προστασίας της γραμμής AB είναι τα $R_5$ και $R_1$ . Το $R_2$ είναι αντίγραφο του στοιχείου προστασίας $R_1$ , ενώ το $R_3$ λειτουργεί ως τοπική δευτερεύουσα προστασία. Απομακρυσμένη δευτερεύουσα προστασία παρέχουν τα στοιχεία $R_4$ , $R_9$ , και $R_{10}$ . [2].....	29
• Εικόνα 1.7: Ηλεκτρονόμος ηλεκτρομαγνητικής έλξεως [2].....	32
• Εικόνα 1.8: Ηλεκτρονόμος επαγωγικού τύπου [2].....	33
• Εικόνα 1.9: Ενδεικτικό κύκλωμα & κυματομορφές στατικού στιγμιαίου H/N υπερεντάσεως [2].....	33
• Εικόνα 1.10: Τα υποσυστήματα ενός ψηφιακού ηλεκτρονόμου [2].....	34
• Εικόνα 1.11: Μετασηματιστές εντάσεως (δεξιά) συνδεδεμένοι με διακόπτες ισχύος (αριστερά) [4].....	35
• Εικόνα 1.12: Μ/Σ τάσεως εξωτερικού χώρου [5].....	36
• Εικόνα 1.13: Πυκνωτικοί Μ/Σ τάσεως [6].....	36
• Εικόνα 1.14: Διακόπτες ισχύος τύπου «dead-tank» [7].....	37
• Εικόνα 1.15: Διακόπτες ισχύος τύπου «live-tank» [8].....	37
• Εικόνα 1.16: Παράδειγμα υποσυστήματος μπαταριών σε υποσταθμό [9].....	38
• Εικόνα 1.17: Σύνδεση διαφορικού H/N [10].....	39
• Εικόνα 1.18: Τυπικές χαρακτηριστικές λειτουργίας H/N διαφορικής προστασίας. Το $I_{OP}$ είναι το ρεύμα του πηνίου λειτουργίας, ενώ το $I_R$ μπορεί να είναι οποιοδήποτε από τα δύο ρεύματα πηνίων αναστολής ή και το ημίαθροισμα αυτών. [3].....	40
• Εικόνα 1.19: Τάσεις και ρεύματα ενός τριφασικού συμμετρικού Σ.Η.Ε. [3].....	41
• Εικόνα 1.20: Σύνδεση $90^\circ$ για ανίχνευση κατεύθυνσης σφαλμάτων φάσεων με πόλωση τάσης [3].....	41
• Εικόνα 1.21: Σύνδεση για ανίχνευση κατεύθυνσης σφαλμάτων γης με πόλωση τάσης [3].....	42
• Εικόνα 1.22: Σύνδεση για ανίχνευση κατεύθυνσης σφαλμάτων γης με πόλωση ρεύματος [3].....	42
• Εικόνα 1.23: Τυπική μορφή χαρακτηριστικών καμπυλών H/N υπερεντάσεως [3].....	44
• Εικόνα 1.24: Παράδειγμα ρύθμισης επιλογικής συνεργασίας H/N υπερεντάσεως σε δίκτυο απλής τροφοδότησης, λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες χρονικές καθυστερήσεις [2].....	45
• Εικόνα 1.25: Παράδειγμα εφαρμογής H/N αποστάσεως για προστασία γραμμής μεταφοράς [3].....	45
• Εικόνα 1.26: Οι τυπικές χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας των H/N αποστάσεως   (a) τύπου impedance   (b) τύπου mho   (c) τύπου offset mho   (d) τύπου φακού   (e) τύπου παρωπίδων   (f) τύπου reactance [3].....	46
• Εικόνα 1.27: Χαρακτηριστική H/N αποστάσεως τύπου τετράπλευρου [3].....	47
• Εικόνα 1.28: Ένα αγείωτο Σ.Η.Ε. κατά την διάρκεια ενός μονοφασικού σφάλματος προς γη [3].....	48
• Εικόνα 1.29: Γείωση με πηνίο Petersen κατά τη διάρκεια μονοφασικού προς γη σφάλματος [3].....	49
• Εικόνα 1.30: Γείωση με υψηλής τιμής αντίσταση [3].....	49
• Εικόνα 1.31: Σύνδεση διαφορικής προστασίας σε γεννήτριες συνδεδεμένες κατά αστέρα [3].....	51
• Εικόνα 1.32: Σύνδεση διαφορικής προστασίας σε γεννήτριες συνδεδεμένες κατά τρίγωνο [3].....	52
• Εικόνα 1.33: Σύνδεση διαφορικής προστασίας σε γεννήτριες που τα τυλίγματά τους έχουν χωριστεί στα δύο και υπάρχουν εγκατεστημένοι Μ/Σ εντάσεως στο ένα μισό του τυλίγματος [3].....	52
• Εικόνα 1.34: Διαφορική προστασία με χρήση Μ/Σ άθροισης ροής και H/N υπερεντάσεως στιγμιαίου χρόνου για γεννήτριες μικρού μεγέθους [3].....	53
• Εικόνα 1.35: Προστασία στάτη από σφάλματα μεταξύ φάσεων και γης σε γεννήτριες μικρού ή μεσαίου μεγέθους [3].....	54

• Εικόνα 1.36: Σχήματα προστασίας του τυλίγματος του δρομέα από βραχυκυκλώματα προς γη [2] .....	55
• Εικόνα 1.37: Προστασία γεννήτριας από ασύμμετρη φόρτιση [10].....	55
• Εικόνα 1.38: Περιοχές λειτουργίας σύγχρονων μηχανών [3].....	56
• Εικόνα 1.39: Προστασία γεννήτριας από βλάβες λόγω απώλειας της διεγέρσεως   (a) Καμπύλες ικανότητας λειτουργίας και ευστάθειας σε άξονες ισχύος   (b) Ο μετασχηματισμός τους σε διάγραμμα R-X και η ρύθμιση της προστασίας αποστάσεως [3].....	57
• Εικόνα 1.40: Τυπικές συνδέσεις Μ/Σ στα Σ.Η.Ε.   (a) Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη   (b)-(d) Χρησιμοποιούνται σε υποσταθμούς διανομής   (e) Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις κυκλωμάτων διανομής συνδεδεμένων απευθείας σε γραμμή υψηλής τάσης   (f) Χρησιμοποιείται σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.....	61
• Εικόνα 1.41: Καμπύλες αντοχής Μ/Σ σε υπερφορτίσεις-υπερεντάσεις   (a) Για Μ/Σ κατηγορίας I για οποιαδήποτε αναμενόμενη συχνότητα σφαλμάτων ή για Μ/Σ κατηγορίας II ή III για μειωμένη αναμενόμενη συχνότητα σφαλμάτων   (b) Για Μ/Σ κατηγορίας II για αυξημένη αναμενόμενη συχνότητα σφαλμάτων   (c) Για Μ/Σ κατηγορίας III για αυξημένη αναμενόμενη συχνότητα σφαλμάτων ή για Μ/Σ κατηγορίας IV για οποιαδήποτε αναμενόμενη συχνότητα σφαλμάτων .....	63
• Εικόνα 1.42: Διαφορική προστασία μονοφασικού Μ/Σ [2] .....	64
• Εικόνα 1.43: Χαρακτηριστική λειτουργίας ποσοστιαίου διαφορικού Η/Ν [2].....	64
• Εικόνα 1.44: Περίπτωση εμφάνισης ρεύματος μαγνήτισης εισροής χωρίς την ύπαρξη παραμένουσας μαγνήτισης εντός του Μ/Σ [3].....	65
• Εικόνα 1.45: Τυπικές μορφές ρευμάτων μαγνήτισης εισροής [3] .....	66
• Εικόνα 1.46: Ποσοστιαία διαφορική προστασία με περιορισμό αρμονικών [2] .....	67
• Εικόνα 1.47: Διαφορική προστασία 3Φ Μ/Σ σε σύνδεση τριγώνου-αστέρα [3].....	67
• Εικόνα 1.48: Διαφορική προστασία 3Φ Μ/Σ πολλαπλών τυλιγμάτων σε σύνδεση τριγώνου-αστέρα-τριγώνου [3] .....	68
• Εικόνα 1.49: Διαφορική προστασία 3Φ Μ/Σ πολλαπλών τυλιγμάτων όταν μόνο ένα εκ των τυλιγμάτων περιέχει πηγές ισχύος [2].....	68
• Εικόνα 1.50: Διαφορική προστασία γης με Η/Ν υπερεντάσεως [3] .....	69
• Εικόνα 1.51: Λειτουργία διαφορικής προστασίας γης με Η/Ν κατεύθυνσης και βοηθητικό αυτομετασχηματιστή ισορροπίας ρεύματος για εσωτερικό σφάλμα [3] .....	69
• Εικόνα 1.52: Λειτουργία διαφορικής προστασίας γης με Η/Ν κατεύθυνσης και βοηθητικό Μ/Σ λόγου 1:Ν για εσωτερικό σφάλμα [3] .....	70
• Εικόνα 1.53: Προστασία έναντι σφαλμάτων προς το κέλυφος του Μ/Σ   (α) Περίπτωση εκδήλωσης εσωτερικού σφάλματος   (β) Περίπτωση εκδήλωσης εξωτερικού σφάλματος [10] .....	70
• Εικόνα 1.54: Χαρακτηριστική λειτουργίας Η/Ν V/Hz [2] .....	71
• Εικόνα 1.55: Η/Ν Buchholz   (a) Αρχή λειτουργίας   (b) Κατασκευαστική διαμόρφωση [10] .....	72
• Εικόνα 1.56: Διάταξη ζυγών τύπου single breaker - single bus [3].....	73
• Εικόνα 1.57: Διάταξη με ζυγούς συνδεδεμένους μέσω διακόπτη ισχύος [3] .....	74
• Εικόνα 1.58: Διάταξη με κύριο ζυγό & ζυγό μεταφοράς [3].....	75
• Εικόνα 1.59: Διάταξη ζυγών τύπου single breaker-double bus [3] .....	76
• Εικόνα 1.60: Διάταξη ζυγών τύπου double breaker-double bus [3] .....	76
• Εικόνα 1.61: Διάταξη τύπου δαχτυλιδιού [3] .....	77
• Εικόνα 1.62: Διάταξη breaker-and-half bus [3].....	77
• Εικόνα 1.63: Διαφορική προστασία ζυγών με πολλαπλά πηνία αναστολής [2] .....	78
• Εικόνα 1.64: Διαφορική προστασία με Η/Ν τάσεως υψηλής σύνθετης αντίστασης [2].....	79
• Εικόνα 1.65: Προστασία ζυγών με αλληλεπαγωγικά πηνία αέρος [10] .....	79
• Εικόνα 1.66: Διαφορική προστασία ζυγών με Η/Ν υπερεντάσεως [2].....	80
• Εικόνα 1.67: Μερική διαφορική προστασία ζυγών & δευτερεύουσα προστασία κυκλωμάτων τροφοδότησης   (a) Παράδειγμα μονογραμμικού διαγράμματος   (b) Περίπτωση σφάλματος στην πλευρά των πηγών   (c) Περίπτωση σφάλματος στο ζυγό ή στην πλευρά των κυκλωμάτων τροφοδότησης   (d) Περίπτωση σφάλματος στον διπλανό ζυγό [3].....	81

• Εικόνα 1.68: Μορφή δικτύου διανομής [2] .....	83
• Εικόνα 1.69: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασφάλειας, διακόπτη επαναφοράς και H/N υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου [2].....	84
• Εικόνα 1.70: Προστασία αποστάσεως γραμμής μεταφοράς [2] .....	86
• Εικόνα 1.71: Σύνδεση M/Σ τάσης και έντασης με τους H/N αποστάσεως για προστασία έναντι σφαλμάτων φάσεων [2].....	87
• Εικόνα 1.72: Σύνδεση M/Σ τάσης και έντασης με τους H/N αποστάσεως για προστασία έναντι σφαλμάτων φάσης με γη [2].....	88
• Εικόνα 1.73: Επίδραση αντίστασης σφάλματος στην λειτουργία των H/N αποστάσεως [2] .....	88
• Εικόνα 1.74: Προστασία αποστάσεως πολυτεμαχικής γραμμής μεταφοράς [2].....	89
• Εικόνα 1.75: Επίδραση εν σειρά πυκνωτών αντιστάθμισης στους H/N αποστάσεως [2].....	90
• Εικόνα 1.76: Επίδραση παράλληλων συσκευών αντιστάθμισης στην προστασία αποστάσεως [2] .....	90
• Εικόνα 1.77: Συμπεριφορά χαρακτηριστικών λειτουργίας H/N αποστάσεως ως προς το φορτίο της προστατευόμενης γραμμής [2].....	91
• Εικόνα 1.78: Κανάλι επικοινωνίας με φέρουσες συχνότητες [2].....	91
• Εικόνα 1.79: Κατασκευαστική δομή καλωδίου οπτικών ινών [2] .....	92
• Εικόνα 1.80: Κύριοι τρόποι εγκατάστασης καλωδίων οπτικών ινών παράλληλα προς τις γραμμές μεταφοράς [2] .....	93
• Εικόνα 1.81: Κατασκευαστική δομή αγωγού πλότου [2] .....	93
• Εικόνα 1.82: Λογική λειτουργίας και κύκλωμα ελέγχου διαφορικής προστασίας με σύγκριση κατεύθυνσης και λειτουργία εμπλοκής [2] .....	94
• Εικόνα 1.83: Λογική λειτουργίας σχήματος διαφορικής προστασίας με σύγκριση κατεύθυνσης και λειτουργία απεμπλοκής [2] .....	95
• Εικόνα 1.84: Διαφορική προστασία με H/N που επιτηρούν ένα κομμάτι της γραμμής και λειτουργία ενεργοποίησης [2].....	96
• Εικόνα 1.85: Διαφορική προστασία με H/N ρυθμισμένους να επιτηρούν όλη τη γραμμή και λειτουργία ενεργοποίησης [2].....	96
• Εικόνα 1.86: Διαφορική προστασία με ζεύγη H/N στα άκρα της γραμμής και λειτουργία ενεργοποίησης [2]... 97	97
• Εικόνα 1.87: Διαφορική προστασία με σύγκριση φάσεων [2].....	98
• Εικόνα 1.88: Προστασία με αγωγούς πλότους σε λειτουργία ενεργοποίησης [2] .....	99
• Εικόνα 1.89: Προστασία με αγωγούς πλότους σε λειτουργία εμπλοκής [2] .....	99
• Εικόνα 1.90: Προστασία πηνίων ξηρού τύπου με H/N υπερεντάσεως και διαφορικούς H/N [2].....	102
• Εικόνα 1.91: Προστασία αποστάσεως για πηνία τύπου ελαίου [2] .....	103
• Εικόνα 1.92: Εσωτερική δομή μιας τυπικής μονάδας πυκνωτή [3].....	104
• Εικόνα 1.93: Τυπική διάταξη πυκνωτών υψηλής τάσης & προστασίες που χρησιμοποιούνται [2] .....	105
• Εικόνα 1.94: Ομάδες από μονάδες πυκνωτών με εξωτερικές ασφάλειες [3].....	105
• Εικόνα 1.95: Προστασία διαφορικής σύγκρισης τάσεως [3] .....	107
• Εικόνα 1.96: Προστασία τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα χαμηλής τάσεως [10].....	109
• Εικόνα 1.97: Διαφορική προστασία κινητήρων από σφάλματα μεταξύ φάσεων με διαθέσιμες τις δύο άκρες των τυλιγμάτων τους   (a) με χρήση M/Σ άθροισης ροής   (b) με συμβατικούς M/Σ έντασης και διαφορικούς H/N [3] .....	110
• Εικόνα 1.98: Προστασία κινητήρων από σφάλματα γης (a) όταν και οι τρεις αγωγοί φάσεων μπορούν να περάσουν μέσα από έναν M/Σ άθροισης ροής   (b) μέσω συμβατικών M/Σ έντασης [3] .....	111
• Εικόνα 1.99: Προστασία ακινητοποιημένου δρομέα με H/N αποστάσεως και χρονικό [3] .....	112
• Εικόνα 1.100: Ενδεικνύμενες προστασίες κινητήρων που διαθέτουν ανιχνευτές θερμοκρασίας   (a) αλλά δεν είναι προσβάσιμα και τα δύο άκρα των τυλιγμάτων τους   (b) και είναι προσβάσιμα τα δύο άκρα των τυλιγμάτων τους [3] .....	113
• Εικόνα 1.101: Οι λογικές πύλες της άλγεβρας Boole μαζί με τους πίνακες αληθείας τους.....	116
• Εικόνα 2.1: Το Σ.Η.Ε. που καλείται να προστατεύσει το εργαστηριακό σύστημα προστασίας .....	121
• Εικόνα 2.2: Πρόωση του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [11] .....	122

• Εικόνα 2.3: Εσωτερική αριστερή πλάγια όψη του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [11].....	123
• Εικόνα 2.4: Διάγραμμα τροφοδοσιών του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [11] .....	126
• Εικόνα 2.5: Τυπική εφαρμογή συσκευής SEL-3354 σε συστήματα προστασίας [12] .....	127
• Εικόνα 2.6: Πρόοψη συσκευής SEL-3354 [14].....	128
• Εικόνα 2.7: Οπίσθια όψη συσκευής SEL-3354 [15] .....	128
• Εικόνα 2.8: Τρόπος λειτουργίας λογισμικού SEL SysMon με υπηρεσία SEL Service [16] .....	129
• Εικόνα 2.9: Καρτέλα Status του λογισμικού SEL SysMon GUI [16] .....	130
• Εικόνα 2.10: Καρτέλα Alarms/Watchdog του λογισμικού SEL SysMon GUI [16].....	130
• Εικόνα 2.11: Καρτέλα Alarm Settings του λογισμικού SEL SysMon GUI [16].....	131
• Εικόνα 2.12: Καρτέλα Time του λογισμικού SEL SysMon GUI [16] .....	132
• Εικόνα 2.13: Καρτέλα Firmware του λογισμικού SEL SysMon GUI [16] .....	132
• Εικόνα 2.14: Παράθυρο SubstationSERVER.NET™ .....	133
• Εικόνα 2.15: Πρωτόκολλο επικοινωνίας SEL Fast Messaging στο λογισμικό SubstationSERVER.NET™....	133
• Εικόνα 2.16: Πρωτόκολλο επικοινωνίας IEC 60870-5 101/104 & τρόπος διευθυνσιοδότησης δεδομένων στο λογισμικό SubstationSERVER.NET™ .....	134
• Εικόνα 2.17: Διαδικασία απόδοσης εικονικής τιμής σε κάποιο δεδομένο προερχόμενο από τους Η/Ν στο λογισμικό SubstationSERVER.NET™ .....	134
• Εικόνα 2.18: Επίπεδο ρυθμίσεων Port Server στο λογισμικό SubstationSERVER.NET™ .....	135
• Εικόνα 2.19: Πρόοψη και οπίσθια όψη συσκευής PC [11] .....	136
• Εικόνα 2.20: Περιοχές παραθύρου λογισμικού Zenon Editor .....	137
• Εικόνα 2.21: Αναπτυσσόμενο μενού File απ' όπου γίνεται η δημιουργία νέου χώρου εργασίας και νέου έργου στο λογισμικό Zenon Editor .....	138
• Εικόνα 2.22: Διαδικασία δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας και επαναφοράς έργων στο λογισμικό Zenon Editor .....	139
• Εικόνα 2.23: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables και αξιοποίηση της διευθυνσιοδότησης των δεδομένων στο λογισμικό Zenon Editor.....	139
• Εικόνα 2.24: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables→Driver στο λογισμικό Zenon Editor .....	140
• Εικόνα 2.25: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables→Datatypes στο λογισμικό Zenon Editor.....	140
• Εικόνα 2.26: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables→Alarm groups στο λογισμικό Zenon Editor .....	141
• Εικόνα 2.27: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables→Alarm classes στο λογισμικό Zenon Editor .....	141
• Εικόνα 2.28: Επίπεδο ρυθμίσεων Screens στο λογισμικό Zenon Editor .....	142
• Εικόνα 2.29: Επίπεδο ρυθμίσεων Screens→Frames στο λογισμικό Zenon Editor.....	142
• Εικόνα 2.30: Επίπεδο ρυθμίσεων Screens→Font lists στο λογισμικό Zenon Editor.....	143
• Εικόνα 2.31: Επίπεδο ρυθμίσεων Screens→Project Symbol Library στο λογισμικό Zenon Editor .....	143
• Εικόνα 2.32: Επίπεδο ρυθμίσεων Functions στο λογισμικό Zenon Editor .....	144
• Εικόνα 2.33: Επίπεδο ρυθμίσεων Historian στο λογισμικό Zenon Editor.....	144
• Εικόνα 2.34: Επίπεδο ρυθμίσεων Commands στο λογισμικό Zenon Editor .....	145
• Εικόνα 2.35: Επίπεδο ρυθμίσεων Menus στο λογισμικό Zenon Editor.....	145
• Εικόνα 2.36: Επίπεδο ρυθμίσεων Users στο λογισμικό Zenon Editor .....	146
• Εικόνα 2.37: Επίπεδο ρυθμίσεων Files στο λογισμικό Zenon Editor.....	147
• Εικόνα 2.38: Επίπεδο ρυθμίσεων History of changes στο λογισμικό Zenon Editor .....	147
• Εικόνα 2.39: Η κεντρική οθόνη του εργαστηριακού SCADA .....	148
• Εικόνα 2.40: Οθόνη Data Network του εργαστηριακού SCADA .....	149
• Εικόνα 2.41: Οθόνη Alarm List του εργαστηριακού SCADA .....	149
• Εικόνα 2.42: Οθόνη Event List του εργαστηριακού SCADA .....	150
• Εικόνα 2.43: Οθόνη Transformer Detail του εργαστηριακού SCADA .....	150
• Εικόνα 2.44: Παράθυρο επιλογής δεδομένου και οθόνη Trend Selection του εργαστηριακού SCADA .....	151
• Εικόνα 2.45: Οθόνη Archives του εργαστηριακού SCADA .....	152
• Εικόνα 2.46: Οθόνη Variable Test του εργαστηριακού SCADA .....	152



- Εικόνα 2.47: Οθόνη System Info του εργαστηριακού SCADA..... 153
- Εικόνα 2.48: Τρόπος σύνδεσης H/N SEL-311B για επίτευξη προστασίας αποστάσεως και υπερεντάσεως και δημιουργία σχήματος αυτόματης επαναφοράς Δ/Ι σε γραμμή μεταφοράς [17]..... 154
- Εικόνα 2.49: Προστασία γραμμής μεταφοράς με H/N SEL-311B και κανάλι επικοινωνίας MIRRORED BITS® [17]..... 155
- Εικόνα 2.50: Πρόοψη H/N SEL-311B [17]..... 155
- Εικόνα 2.51: Οπίσθια όψη H/N SEL-311B του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [15]..... 155
- Εικόνα 2.52: Τρόπος υπολογισμού των rms τιμών των μετρούμενων από τους Μ/Σ υποβιβασμού μεγεθών τάσης και έντασης στον H/N SEL-311B [17]..... 157
- Εικόνα 2.53: Τρόπος αναπαράστασης των μετρούμενων από τους Μ/Σ υποβιβασμού μεγεθών τάσης και έντασης σε μορφή διανυσμάτων στον H/N SEL-311B [17]..... 158
- Εικόνα 2.54: Διερεύνηση σχέσεων διανυσμάτων σε χαρακτηριστική τύπου mho (1)..... 159
- Εικόνα 2.55: Διερεύνηση σχέσεων διανυσμάτων σε χαρακτηριστική τύπου mho (2)..... 160
- Εικόνα 2.56: Χαρακτηριστική τύπου mho H/N αποστάσεως με/χωρίς πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη [19] ..... 161
- Εικόνα 2.57: Τρόπος υπολογισμού τάσης πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη [19] ..... 161
- Εικόνα 2.58: Αντιστοίχιση ζωνών προστασίας χαρακτηριστικής τύπου mho σε ανά μονάδα τιμές της σύνθετης αντίστασης της γραμμής μεταφοράς [20] ..... 163
- Εικόνα 2.59: Λειτουργία επαγωγικού H/N που χρησιμοποιούνταν για προστασία αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση [21]..... 164
- Εικόνα 2.60: Στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διφασικά σφάλματα χωρίς γη [21]..... 165
- Εικόνα 2.61: Μεταβολή διανυσμάτων τάσεων στοιχείου αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διφασικά σφάλματα χωρίς γη στις φάσεις BC σε διάφορα σημεία του δικτύου υποθέτοντας ότι το ρεύμα γραμμής έχει γωνία 90° [21] ..... 166
- Εικόνα 2.62: Χαρακτηριστική & περιοχή λειτουργίας στοιχείου αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διφασικά σφάλματα χωρίς γη [21]..... 166
- Εικόνα 2.63: Επίδραση σύνθετης αντίστασης συστήματος στην χαρακτηριστική λειτουργίας του στοιχείου αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διφασικά σφάλματα χωρίς γη [21] ..... 166
- Εικόνα 2.64: Στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για τριφασικά σφάλματα (A) και η χαρακτηριστική λειτουργίας του (B) [21]..... 167
- Εικόνα 2.65: Μεταβολή διανυσμάτων τάσεων στοιχείου αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για τριφασικά σφάλματα σε διάφορα σημεία του δικτύου υποθέτοντας ότι η γωνία της γραμμής είναι 90° [21]... 167
- Εικόνα 2.66: Ανάλυση διφασικού προς γη σφάλματος [21]..... 168
- Εικόνα 2.67: Έλεγχος λειτουργίας στοιχείων αποστάσεως φάσης με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη στον H/N SEL-311B [17] ..... 169
- Εικόνα 2.68: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου αποστάσεως φάσης 1<sup>ης</sup> ζώνης με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη στον H/N SEL-311B [17]..... 170
- Εικόνα 2.69: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου αποστάσεως φάσης 2<sup>ης</sup> ζώνης με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη στον H/N SEL-311B [17]..... 171
- Εικόνα 2.70: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου αποστάσεως φάσης 3<sup>ης</sup> ζώνης με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη στον H/N SEL-311B [17]..... 171
- Εικόνα 2.71: Προστασία γραμμής μεταφοράς με στοιχεία αποστάσεως αντισταθμισμένης πόλωσης όταν οι Μ/Σ τάσης και έντασης τοποθετηθούν πίσω από Μ/Σ τριγώνου-αστέρα [17] ..... 172
- Εικόνα 2.72: Παραδείγματα λειτουργίας αντισταθμισμένων στοιχείων αποστάσεως για διφασικά σφάλματα [17]..... 173
- Εικόνα 2.73: Παραδείγματα λειτουργίας αντισταθμισμένων στοιχείων αποστάσεως για τριφασικά σφάλματα [17]..... 174
- Εικόνα 2.74: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων αποστάσεως φάσης 1<sup>ης</sup> ζώνης με αντισταθμισμένη πόλωση στον H/N SEL-311B [17]..... 175
- Εικόνα 2.75: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων αποστάσεως φάσης 2<sup>ης</sup> ζώνης με αντισταθμισμένη πόλωση στον H/N SEL-311B [17]..... 175

• Εικόνα 2.76: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων αποστάσεως φάσης 3 <sup>ης</sup> ζώνης με αντισταθμισμένη πόλωση στον H/N SEL-311B [17] .....	176
• Εικόνα 2.77: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων απόστασης γης 1 <sup>ης</sup> ζώνης στον H/N SEL-311B [17].....	177
• Εικόνα 2.78: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων απόστασης γης 2 <sup>ης</sup> ζώνης στον H/N SEL-311B [17].....	177
• Εικόνα 2.79: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων απόστασης γης 3 <sup>ης</sup> ζώνης στον H/N SEL-311B [17].....	178
• Εικόνα 2.80: Κύκλωμα επίτευξης επέκτασης της 1 <sup>ης</sup> ζώνης μετά από βραχυχρόνιο διάστημα από το κλείσιμο των πόλων του Δ/Ι στον H/N SEL-311B [17] .....	179
• Εικόνα 2.81: Κύκλωμα λειτουργίας χρονικού 1 <sup>ης</sup> ζώνης προστασίας των στοιχείων αποστάσεως στον H/N SEL-311B [17].....	179
• Εικόνα 2.82: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου υπερεντάσεως φάσης στιγμιαίου ή σταθερού χρόνου στον H/N SEL-311B [17] .....	180
• Εικόνα 2.83: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου υπερεντάσεως γης στιγμιαίου ή σταθερού χρόνου στον H/N SEL-311B [17].....	181
• Εικόνα 2.84: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας στιγμιαίου ή σταθερού χρόνου στον H/N SEL-311B [17].....	182
• Εικόνα 2.85: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου υπερεντάσεως φάσης αντιστρόφου χρόνου στον H/N SEL-311B [17] .....	183
• Εικόνα 2.86: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου υπερεντάσεως γης αντιστρόφου χρόνου στον H/N SEL-311B [17] .....	183
• Εικόνα 2.87: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας στοιχείου υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου στον H/N SEL-311B [17].....	184
• Εικόνα 2.88: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου επιτήρησης των φασικών τάσεων στον H/N SEL-311B [17]..	185
• Εικόνα 2.89: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου επιτήρησης των πολικών τάσεων στον H/N SEL-311B [17]...	186
• Εικόνα 2.90: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου επιτήρησης της τάσης ελέγχου συγχρονισμού στον H/N SEL-311B [17].....	186
• Εικόνα 2.91: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων ελέγχου συγχρονισμού για έλεγχο ορίων τάσεων και ολίσθησης συχνότητας στον H/N SEL-311B [17] .....	187
• Εικόνα 2.92: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων ελέγχου συγχρονισμού στον H/N SEL-311B [17] .....	188
• Εικόνα 2.93: Κύκλωμα λειτουργίας λογικής έναντι απώλειας σήματος από τον Μ/Σ τάσης στον H/N SEL-311B [17] .....	189
• Εικόνα 2.94: Κύκλωμα λειτουργίας λογικής προστασίας ζυγού στον H/N SEL-311B σε εφαρμογές όπου οι Μ/Σ του έχουν εγκατασταθεί σε ιδιαίτερες διατάξεις ζυγών [17] .....	189
• Εικόνα 2.95: Κύκλωμα λειτουργίας προστασίας έναντι μεταβατικών φαινομένων των πυκνωτικών Μ/Σ τάσης στον H/N SEL-311B [17] .....	190
• Εικόνα 2.96: Χαρακτηριστικές λειτουργίας στοιχείων αποστάσεως και γεωμετρικός τόπος μετρούμενης σύνθετης αντίστασης θετικής ακολουθίας σε συνθήκες υψηλής φόρτισης [20] .....	190
• Εικόνα 2.97: Κύκλωμα που υλοποιεί την λογική απευαισθητοποίησης των στοιχείων αποστάσεως από τις συνθήκες υψηλής φόρτισης στον H/N SEL-311B [17] .....	191
• Εικόνα 2.98: Παράδειγμα ρυθμίσεων λογικής απευαισθητοποίησης των στοιχείων αποστάσεως από τις συνθήκες υψηλής φόρτισης στον H/N SEL-311B [17] .....	192
• Εικόνα 2.99: Δίκτυο για εξαγωγή της συνθήκης που θα πρέπει να ικανοποιεί ο παράγοντας α ώστε να λειτουργήσει σωστά το στοιχείο κατεύθυνσης T32QC [24] .....	195
• Εικόνα 2.100: Αξιοποίηση μετρούμενης σύνθετης αντίστασης αρνητικής ακολουθίας στον έλεγχο κατεύθυνσης σφαλμάτων γης [24] .....	196
• Εικόνα 2.101: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων κατεύθυνσης για τον έλεγχο λειτουργίας των στοιχείων απόστασης γης και υπερέντασης γης στον H/N SEL-311B [17].....	197
• Εικόνα 2.102: Κύκλωμα εσωτερικής επίτρεψης λειτουργίας στοιχείων κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας (T32Q) στον H/N SEL-311B [17] .....	197
• Εικόνα 2.103: Κύκλωμα εσωτερικής επίτρεψης λειτουργίας στοιχείων κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας ή πόλωση ρεύματος (T32Q & T32I) στον H/N SEL-311B [17].....	198

• Εικόνα 2.104: Διάγραμμα ροής που αφορά τη σειρά με την οποία επιτρέπονται να λειτουργήσουν τα στοιχεία κατεύθυνσης γης βάσει της ρύθμισης ORDER στον H/N SEL-311B [17].....	199
• Εικόνα 2.105: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου κατεύθυνση με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας (T32Q) στον H/N SEL-311B [17] .....	200
• Εικόνα 2.106: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου κατεύθυνση με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας (T32V) στον H/N SEL-311B [17] .....	201
• Εικόνα 2.107: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου κατεύθυνση με πόλωση ρεύματος (T32I) στον H/N SEL-311B [17].....	202
• Εικόνα 2.108: Κύκλωμα δρομολόγησης των εξόδων των στοιχείων κατεύθυνσης προς τα στοιχεία αποστάσεως γης και υπερεντάσεως γης στον H/N SEL-311B [17].....	202
• Εικόνα 2.109: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων κατεύθυνσης φάσης για τα στοιχεία αποστάσεως φάσης και υπερεντάσεως φάσης αρνητικής ακολουθίας στον H/N SEL-311B [17].....	203
• Εικόνα 2.110: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου κατεύθυνσης φάσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας (T32Q) στον H/N SEL-311B [17] .....	204
• Εικόνα 2.111: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου κατεύθυνση με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας (T32P) στον H/N SEL-311B [17].....	205
• Εικόνα 2.112: Κύκλωμα που παράγει το σήμα TRIP για το άνοιγμα του διακόπτη ισχύος μέσω κάποιας επαφής εξόδου στον H/N SEL-311B [17].....	207
• Εικόνα 2.113: Κύκλωμα λογικής για επιτάχυνση της λειτουργίας ορισμένων προστασιών για σύντομο διάστημα μετά το κλείσιμο του Δ/Ι στον H/N SEL-311B [17].....	208
• Εικόνα 2.114: Κύκλωμα λογικής κλεισίματος διακόπτη ισχύος στον H/N SEL-311B [17].....	209
• Εικόνα 2.115: Διάγραμμα καταστάσεων και λειτουργίας της λογικής αυτόματης επαναφοράς του Δ/Ι στον H/N SEL-311B [17].....	209
• Εικόνα 2.116: Παράδειγμα λειτουργίας χρονικών του συστήματος αυτόματης επαναφοράς του Δ/Ι στον H/N SEL-311B [17].....	210
• Εικόνα 2.117: Κύκλωμα εποπτείας της λειτουργίας του σχήματος αυτόματης επαναφοράς του διακόπτη ισχύος στον H/N SEL-311B [17] .....	211
• Εικόνα 2.118: Λειτουργία λογικών επαφών εισόδου (IN101-IN106) στον H/N SEL-311B [17] .....	212
• Εικόνα 2.119: Λογικοί μεταγωγείς τοπικού ελέγχου (LB1-LB16) στον H/N SEL-311B [17] .....	213
• Εικόνα 2.120: Λογικοί μεταγωγείς απομακρυσμένου ελέγχου (RB1-RB16) H/N SEL-311B [17].....	213
• Εικόνα 2.121: Μεταγωγείς ελέγχου που μανδαλώνουν (LT1-LT16) στον H/N SEL-311B [17] .....	213
• Εικόνα 2.122: Χρονικό H/N SEL-311B [17].....	213
• Εικόνα 2.123: Καμπύλη επιτήρησης χρόνου συντήρησης Δ/Ι στον H/N SEL-311B [17].....	214
• Εικόνα 2.124: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου επιτήρησης υποσυστήματος μπαταριών στον H/N SEL-311B [17].....	215
• Εικόνα 2.125: Τρόποι μέτρησης της ζήτησης στον H/N SEL-311B [17].....	215
• Εικόνα 2.126: Επιτήρηση μετρούμενων ρευμάτων για σήμανση συναγερμού σε περίπτωση υψηλής φόρτισης ή έντονης ασυμμετρίας στον H/N SEL-311B [17] .....	216
• Εικόνα 2.127: Δίκτυο για επίδειξη μεθόδων υπολογισμού του σημείου σφάλματος [26].....	218
• Εικόνα 2.128: Τρόπος υπολογισμού γωνίας διόρθωσης T για την τροποποιημένη μέθοδο εύρεσης του σημείου σφάλματος Takagi [26].....	220
• Εικόνα 2.129: Ανάλυση 1Φ βραχυκυκλώματος επάνω στη γραμμή μεταφοράς του δικτύου στην Εικόνα 2.127 [26].....	221
• Εικόνα 2.130: Μορφή περίληψης αναφοράς γεγονότων στον H/N SEL-311B [17] .....	223
• Εικόνα 2.131: Μορφή αναφοράς διαδοχής γεγονότων στον H/N SEL-311B [17] .....	227
• Εικόνα 2.132: Πρόσψη ψηφιακού H/N SEL-587 [27].....	228
• Εικόνα 2.133: Οπίσθια όψη H/N SEL-587 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [15].....	228
• Εικόνα 2.134: Σχηματικό διάγραμμα υλικού ψηφιακού H/N SEL-587 [27] .....	229
• Εικόνα 2.135: Δυνατότητες προστασίας ψηφιακού H/N SEL-587 [27] .....	229

• Εικόνα 2.136: Χαρακτηριστική διπλής κλίσης στοιχείων ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας στον H/N SEL-587 [27] .....	231
• Εικόνα 2.137: Επεξεργασία ρευμάτων εισόδου στον H/N SEL-587 [27] .....	231
• Εικόνα 2.138: Πρόοψη του H/N SEL-300G [29] .....	233
• Εικόνα 2.139: Οπίσθια όψη H/N SEL-300G του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [15] .....	233
• Εικόνα 2.140: Σχηματικό διάγραμμα σταδίων λειτουργίας και επεξεργασίας δεδομένων του ψηφιακού H/N SEL-300G [29] .....	234
• Εικόνα 2.141: Χαρακτηριστική λειτουργίας στοιχείου αποστάσεως στον H/N SEL-300G [29] .....	237
• Εικόνα 2.142: Χαρακτηριστικές λειτουργίας στοιχείου V/Hz στον H/N SEL-300G [29] .....	238
• Εικόνα 2.143: Χαρακτηριστικές λειτουργίας προστασίας αντίστροφης φοράς ισχύος ή μικρής παρεχόμενης ισχύος στον H/N SEL-300G [29] .....	239
• Εικόνα 2.144: Χαρακτηριστικές λειτουργίας προστασίας έναντι απώλειας πεδίου διέγερσης στον H/N SEL-300G [29] .....	240
• Εικόνα 2.145: Χαρακτηριστικές λειτουργίας προστασίας από ασύμμετρη φόρτιση στον H/N SEL-300G [29]	240
• Εικόνα 2.146: Προστασία 100% τυλίγματος στάτη στον H/N SEL-300G [29] .....	242
• Εικόνα 2.147: Προστασία έναντι απώλειας συγχρονισμού ψηφιακού H/N SEL-300G [29] .....	243
• Εικόνα 2.148: Παράδειγμα χαρακτηριστικής λειτουργίας προστασία συχνότητας περιστροφής στον H/N SEL-300G [29] .....	245
• Εικόνα 3.1: Το εικονικό προστατευόμενο δίκτυο .....	247
• Εικόνα 3.2: Το προστατευόμενο δίκτυο όπως αυτό σχεδιάστηκε στο λογισμικό NEPLAN® .....	249
• Εικόνα 3.3: Καμπύλη ρεύματος-χρόνου λειτουργίας για τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B & SEL-587 δευτερεύοντος .....	276
• Εικόνα 3.4: Καμπύλη ρεύματος-χρόνου λειτουργίας για τα στοιχεία υπερεντάσεως γης αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος .....	278
• Εικόνα 3.5: Καμπύλη ρεύματος-χρόνου λειτουργίας για τα στοιχεία υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος .....	280
• Εικόνα 3.6: Χαρακτηριστικές λειτουργίας στοιχείων αποστάσεως & λογικής απευαισθητοποίησής τους από τη φόρτιση της γραμμής μεταφοράς .....	284
• Εικόνα 3.7: Αλλαγή ενεργής βάσης δεδομένων & διαχειριστής βάσεων δεδομένων στο λογισμικό acSELeator QuickSet® .....	286
• Εικόνα 3.8: Δημιουργία νέου προτύπου σχεδίαση στο λογισμικό acSELeator QuickSet® .....	286
• Εικόνα 3.9: Επιλογή οικογένειας, μοντέλου και έκδοσης του H/N για τον οποίο θα δημιουργηθεί το νέο πρότυπο σχεδίασης στο λογισμικό acSELeator QuickSet® .....	287
• Εικόνα 3.10: Εισαγωγή part number του H/N στο λογισμικό acSELeator QuickSet® .....	287
• Εικόνα 3.11: Ο επεξεργαστής ρυθμίσεων του λογισμικού acSELeator QuickSet® .....	288
• Εικόνα 3.12: Μενού Communications στο λογισμικό acSELeator QuickSet® .....	289
• Εικόνα 3.13: Ρυθμίσεις επικοινωνίας του λογισμικού acSELeator QuickSet® με κάποιον H/N του εργαστηριακού συστήματος προστασίας .....	289
• Εικόνα 3.14: Εντολή για διάβασμα των ρυθμίσεων από τον H/N με τον οποίο έχετε συνδεθεί με το λογισμικό acSELeator QuickSet® .....	290
• Εικόνα 3.15: Αποστολή ρυθμίσεων από το λογισμικό acSELeator QuickSet® .....	291
• Εικόνα 4.1: Πρόοψη της συσκευής δευτερογενούς ελέγχου H/N προστασίας CMC 356 μαζί με τις βασικότερες δυνατότητες/προδιαγραφές της [41] .....	317
• Εικόνα 4.2: Οπίσθια όψη της συσκευής δευτερογενούς ελέγχου H/N προστασίας CMC 356 μαζί με τις βασικότερες δυνατότητες/προδιαγραφές της [41] .....	317
• Εικόνα 4.3: Γραφικό περιβάλλον πλατφόρμας QuickCMC του λογισμικού OMICRON Test Universe [42] ..	318
• Εικόνα 4.4: Σύνδεση ακροδεκτών συσκευής CMC 356 με τους ακροδέκτες του H/N SEL-311B .....	319
• Εικόνα 4.5: Αξιοποίηση σήματος TRIP του H/N SEL-311B από τη συσκευή CMC 356 .....	319
• Εικόνα 4.6: Φαινόμενη σύνθετη αντίσταση σφαλμάτων δοκιμής 1 <sup>ης</sup> ζώνης & ρυθμιζόμενοι κύκλοι mho   (α) k3 σφάλμα   (β) k1 σφάλμα   (γ) k2 σφάλμα .....	322

- Εικόνα 4.7: Φαινόμενη σύνθετη αντίσταση σφαλμάτων δοκιμής 2ης ζώνης & ρυθμισμένοι κύκλοι mho | (α) k3 σφάλμα | (β) k1 σφάλμα..... 324
- Εικόνα 4.8: Φαινόμενη σύνθετη αντίσταση σφαλμάτων δοκιμής 3ης ζώνης προστασίας & ρυθμισμένοι κύκλοι mho | (α) k2 σφάλμα | (β) kE2E σφάλμα ..... 326
- Εικόνα 4.9: Μετρούμενη σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας kE2E σφάλματος στη 3<sup>η</sup> ζώνη προστασίας αποστάσεως & τροποποιημένη χαρακτηριστική λογικής απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής. 327
- Εικόνα 4.10: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για το μέγιστο k3 σφάλμα δοκιμής στο 20% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος..... 329
- Εικόνα 4.11: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για το ελάχιστο k1 σφάλμα δοκιμής στο 50% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος..... 334
- Εικόνα 4.12: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για το μέγιστο k2 σφάλμα δοκιμής στο 70% της γραμμής μεταφοράς με αντίσταση τόξου 20Ω ..... 338
- Εικόνα 4.13: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για ελάχιστο k3 σφάλμα δοκιμής στο 110% της γραμμής μεταφοράς με αντίσταση τόξου 20Ω ..... 343
- Εικόνα 4.14: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για το μέγιστο k1 σφάλμα δοκιμής στο 110% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος..... 349
- Εικόνα 4.15: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και των καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για μέγιστο k2 σφάλμα στο 135% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος..... 354
- Εικόνα 4.16: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για το ελάχιστο kE2E σφάλμα δοκιμής στο 135% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος..... 360
- Εικόνα 4.17: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για το ελάχιστο kE2E σφάλμα δοκιμής στο 135% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος και λειτουργία της λογικής απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής..... 365
- Εικόνα 4.18: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για το μονοφασικό ανοικτοκύκλωμα δοκιμής με τάσεις σφάλματος συμμετρικές και ίσες με τις ονομαστικές..... 371
- Εικόνα 4.19: Εξέλιξη μετρούμενων τάσεων και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για εμφάνιση οριακής υπέρτασης μεγάλης διάρκειας ..... 375

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

• Πίνακας 1.1: Βασικοί αριθμοί συσκευών και σύμβολα βάσει προτύπου IEEE C37.2.....	30
• Πίνακας 1.2: Σύνοψη συνδέσεων στοιχείων κατεύθυνσης όταν εφαρμόζεται πόλωση τάσης [3] .....	40
• Πίνακας 1.3: Κατηγορίες Μ/Σ και ενδεικνυόμενες καμπύλες αντοχής σε υπερφορτίσεις-υπερεντάσεις [3] .....	63
• Πίνακας 2.1: Περιγραφή εσωτερικά εγκατεστημένων στοιχείων του εργαστηριακού συστήματος προστασίας .....	124
• Πίνακας 2.2: Αντιστοίχιση θυρών και IP διευθύνσεων για τους ψηφιακούς H/N του εργαστηριακού συστήματος προστασίας με το λογισμικό SubstationSERVER.NET™ .....	135
• Πίνακας 2.3: Λογαριασμοί χρήστη, δικαιώματα και κωδικός πρόσβασης στο εργαστηριακό SCADA.....	146
• Πίνακας 2.4: IP διεύθυνση και κωδικός πρόσβασης για απομακρυσμένη σύνδεση στην επιφάνεια εργασίας της συσκευής SEL-3354 μέσω του προγράμματος RealVNC .....	153
• Πίνακας 2.5: Προδιαγραφές H/N SEL-311B του εργαστηριακού συστήματος [18].....	156
• Πίνακας 2.6: Τύποι υπολογισμού εμβέλειας κύκλου mho για τα εκάστοτε χρησιμοποιούμενα ηλεκτρικά μεγέθη στη γωνία του διανύσματος σύνθετης αντίστασης της προστατευόμενης γραμμής από τα στοιχεία αποστάσεως φάσης πόλωσης τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη του H/N SEL-311B [17].....	169
• Πίνακας 2.7: Υπολογιζόμενα μεγέθη-ροπές για τον έλεγχο λειτουργίας των αντισταθμισμένων στοιχείων αποστάσεως του H/N SEL-311B [17] .....	173
• Πίνακας 2.8: Τύποι υπολογισμού εμβέλειας κύκλου mho για τα εκάστοτε χρησιμοποιούμενα ηλεκτρικά μεγέθη στη γωνία του διανύσματος σύνθετης αντίστασης της προστατευόμενης γραμμής από τα στοιχεία αποστάσεως γης πόλωσης τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη του H/N SEL-311B .....	176
• Πίνακας 2.9: Διαθέσιμες καμπύλες αντιστροφού χρόνου μαζί με τις εξισώσεις που τις διέπουν για τα στοιχεία υπερεντάσεως του H/N SEL-311B [17] .....	185
• Πίνακας 2.10: Μετρούμενη σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας από H/N αναλόγως του είδους του σφάλματος και θεωρώντας μηδενική αντίσταση σφάλματος [26].....	218
• Πίνακας 2.11: Προδιαγραφές H/N SEL-587 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [28].....	230
• Πίνακας 2.12: Στοιχεία προστασίας υπερεντάσεως H/N SEL-587 [27].....	231
• Πίνακας 2.13: Προδιαγραφές ψηφιακού H/N SEL-300G του εργαστηριακού συστήματος [30].....	234
• Πίνακας 2.14: Ενδεικνυόμενα στοιχεία προστασίας H/N SEL-300G βάσει της μεθόδου γειώσεως της σύγχρονης γεννήτριας [29] .....	236
• Πίνακας 3.1: Παράμετροι της σύγχρονης γεννήτριας του προστατευόμενου δικτύου .....	247
• Πίνακας 3.2: Παράμετροι του μετασχηματιστή ανύψωσης του προστατευόμενου δικτύου .....	248
• Πίνακας 3.3: Παράμετροι της γραμμής μεταφοράς του προστατευόμενου δικτύου [34] [35] .....	248
• Πίνακας 3.4: Παράμετροι του παθητικού φορτίου του προστατευόμενου δικτύου .....	248
• Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα ανάλυσης ροής φορτίου για συντελεστή ισχύος παθητικού φορτίου $\cos\phi_{LD} = 1$ από το λογισμικό NEPLAN®.....	250
• Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα ανάλυσης ροής φορτίου για συντελεστή ισχύος παθητικού φορτίου $\cos\phi_{LD} = 0.9$ επαγ. από το λογισμικό NEPLAN® .....	251
• Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα ανάλυσης ροής φορτίου για συντελεστή ισχύος παθητικού φορτίου $\cos\phi_{LD} = 0.8$ επαγ. από το λογισμικό NEPLAN® .....	252
• Πίνακας 3.8: Αποτελέσματα ανάλυσης ροής φορτίου για συντελεστή ισχύος παθητικού φορτίου $\cos\phi_{LD} = 0.95$ χωρ. από το λογισμικό NEPLAN® .....	253
• Πίνακας 3.9: Ερμηνεία συμβόλων που χρησιμοποιούνται για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης βραχυκυκλωμάτων όπως αυτά ορίζονται στο πρότυπο IEC 60909-0 [32] .....	254
• Πίνακας 3.10: Αποτελέσματα μελέτης μέγιστων βραχυκυκλωμάτων στο ζυγό «MV NODE» του προστατευόμενου δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®.....	255
• Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα μελέτης ελαχίστων βραχυκυκλωμάτων στο ζυγό «MV NODE» του προστατευόμενου δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®.....	255



- Πίνακας 3.37: Τάσεις, ρεύματα και φαινόμενη σύνθετη αντίσταση στον H/N SEL-311B για σφάλματα γης στη γραμμή μεταφοράς του προστατευόμενου δικτύου ..... 271
- Πίνακας 3.38: Εύρεση ελάχιστης διαφοράς ρευμάτων γραμμής για τη ρύθμιση του ρεύματος λειτουργίας των στοιχείων αποστάσεως φάσης 1<sup>ης</sup> ζώνης ..... 272
- Πίνακας 3.39: Μέγιστα και ελάχιστα ρεύματα γραμμής λόγω σφαλμάτων στους ζυγούς του δικτύου όπως αυτά υπολογίζονται μέσω του λογισμικού NEPLAN® ..... 274
- Πίνακας 3.40: Ρυθμίσεις TD που προέκυψαν για τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος αναλόγως της χρησιμοποιούμενης καμπύλης ..... 275
- Πίνακας 3.41: Χρόνοι λειτουργίας των στοιχείων υπερεντάσεως φάσης αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος σε περίπτωση εμφάνισης του μεγίστου σφάλματος αμέσως μετά το ζυγό «HV NODE 1» αναλόγως της χρησιμοποιούμενης καμπύλης ..... 275
- Πίνακας 3.42: Μέγιστα και ελάχιστα ρεύματα μηδενικής ακολουθίας  $|3I_0|$  λόγω σφαλμάτων στους ζυγούς του προστατευόμενου δικτύου ..... 276
- Πίνακας 3.43: Ρυθμίσεις TD που προέκυψαν για τα στοιχεία υπερεντάσεως γης αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος αναλόγως της χρησιμοποιούμενης καμπύλης ..... 277
- Πίνακας 3.44: Χρόνοι λειτουργίας των στοιχείων υπερεντάσεως γης αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος σε περίπτωση εμφάνισης του μεγίστου σφάλματος αμέσως μετά το ζυγό «HV NODE 1» ..... 278
- Πίνακας 3.45: Μέγιστα και ελάχιστα ρεύματα αρνητικής ακολουθίας  $|3I_2|$  λόγω σφαλμάτων στους ζυγούς του προστατευόμενου δικτύου ..... 278
- Πίνακας 3.46: Ρυθμίσεις TD που προέκυψαν για τα στοιχεία υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος αναλόγως της χρησιμοποιούμενης καμπύλης ..... 280
- Πίνακας 3.47: Χρόνοι λειτουργίας των στοιχείων υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος σε περίπτωση εμφάνισης του μεγίστου σφάλματος αμέσως μετά το ζυγό «HV NODE 1» ..... 280
- Πίνακας 3.48: Χρόνοι λειτουργίας στοιχείων υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου για τα ελάχιστα ρεύματα σφάλματος βραχυκύκλωσης στο ζυγό «HV NODE 2» ..... 281
- Πίνακας 3.49: Χρόνοι λειτουργίας στοιχείων υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου για τα ελάχιστα ρεύματα σφάλματος ανοικτοκύκλωσης στο ζυγό «HV NODE 2» ..... 282
- Πίνακας 3.50: Υπολογισμός μετρούμενων μέγιστων σύνθετων αντιστάσεων θετικής ακολουθίας στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας για τους διάφορους συντελεστές ισχύος του φορτίου ..... 283
- Πίνακας 3.51: Προρυθμισμένα συνθηματικά επιπέδων ασφαλείας των H/N του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [17] [27] [29] ..... 290
- Πίνακας 3.52: Εντολές τερματικού για τη ρύθμιση του H/N SEL-311B μέσω του λογισμικού acSELeRator QuickSet® [17] ..... 291
- Πίνακας 4.1: Ρεύματα και τάσεις σφαλμάτων δοκιμής 1<sup>ης</sup> ζώνης προστασίας & αναμενόμενη συμπεριφορά στοιχείων προστασίας H/N SEL-311B ..... 321
- Πίνακας 4.2: Ρεύματα και τάσεις σφαλμάτων δοκιμής 2ης ζώνης προστασίας & αναμενόμενη συμπεριφορά στοιχείων προστασίας H/N SEL-311B ..... 323
- Πίνακας 4.3: Ρεύματα και τάσεις σφαλμάτων δοκιμής 3ης ζώνης προστασίας & αναμενόμενη συμπεριφορά στοιχείων προστασίας H/N SEL-311B ..... 325
- Πίνακας 4.4: Ρεύματα δοκιμής σφάλματος ανοικτοκύκλωσης & αναμενόμενοι χρόνοι λειτουργίας στοιχείων προστασίας ..... 328



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

---

## 1.1 Εισαγωγή

Στην ενότητα αυτή θα γίνει μια γενική εισαγωγή στην προστασία συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας και θα παρουσιαστούν μερικές θεμελιώδεις έννοιες που την αφορούν.

### 1.1.1 Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

Σκοπός των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας (Σ.Η.Ε.) είναι η κατά το δυνατόν αδιάλειπτη τροφοδότηση των καταναλωτών με ηλεκτρική ενέργεια καλής ποιότητας. Αυτό επιτυγχάνεται, μέσω ενός σύνθετου δικτύου γεννητριών, μετασχηματιστών και γραμμών μεταφοράς, σε τέτοιο βαθμό ώστε ο καταναλωτής να θεωρεί ότι τα σύγχρονα Σ.Η.Ε. λειτουργούν συνεχώς στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας τους, δηλαδή ότι είναι απολύτως σταθερά και με άπειρη ικανότητα τροφοδότησης.

### 1.1.2 Τα σφάλματα των Σ.Η.Ε.

Η πραγματικότητα, όμως, είναι διαφορετική. Τα Σ.Η.Ε. έρχονται καθημερινά αντιμέτωπα με διαφόρων ειδών διαταραχές της ομαλής λειτουργίας τους, οι οποίες χαρακτηρίζονται γενικά ως σφάλματα (faults). Τα αίτια εμφάνισης των σφαλμάτων μπορούν να είναι είτε εξωτερικά (π.χ. χιόνι, άνεμος, κεραυνός), είτε εσωτερικά (π.χ. απώλεια μόνωσης) και εκδηλώνονται με την μορφή βραχυκυκλωμάτων ή ανοικτοκυκλωμάτων στο δίκτυο. Οι συνέπειές τους, όταν δεν αντιμετωπισθούν γρήγορα και αποτελεσματικά, είναι ιδιαίτερος σοβαρές, αφού μπορούν να προκαλέσουν φθορές και συνεπώς να επιταχύνουν την καταστροφή πολύτιμου εξοπλισμού, να θέσουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές, να προκαλέσουν πυρκαγιές ή να οδηγήσουν ακόμη και ολόκληρο το Σ.Η.Ε. σε αστάθεια.



*Εικόνα 1.1: Τα σφάλματα των Σ.Η.Ε. θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές και μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στον εξοπλισμό και στον περιβάλλοντα χώρο [1]*

Τα σφάλματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση το χρόνο αποκατάστασης της ισορροπίας ύστερα από την απομόνωσή τους σε:

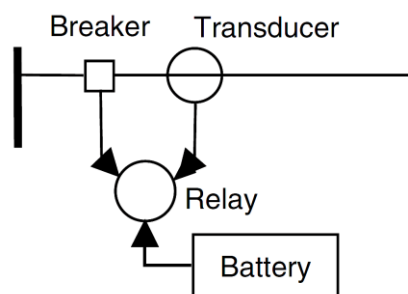
- παροδικά, για τα οποία αρκούν είτε λίγα msec αποκοπής της τάσεως για την απαλοιφή τους ή και καμία αποκοπή όταν πρόκειται για αυτοαποσβενύμενα σφάλματα
- ημιμόνιμα, τα οποία χρειάζονται μερικά sec χρόνου αποκοπής της τάσεως για να εκκαθαρισθούν
- μόνιμα, των οποίων η απαλοιφή απαιτεί ανθρώπινη επέμβαση

Τέλος, μία ακόμη κατηγοριοποίηση των εμφανιζόμενων σφαλμάτων και ειδικότερα των βραχυκυκλωμάτων, μπορεί να γίνει με βάση τον αριθμό των φάσεων ή και της γης που εμπλέκονται σε αυτά. Υπάρχουν, έτσι, τα λεγόμενα μονοφασικά προς γη (που είναι και τα πιο συχνά εμφανίσιμα), διφασικά προς γη, διφασικά χωρίς γη, τριφασικά με ή χωρίς γη καθώς και τα εξελισσόμενα (από τη μία μορφή βραχυκυκλώματος στην άλλη) σφάλματα.

### 1.1.3 Προστασία Σ.Η.Ε. - Συστήματα προστασίας

Στόχος του αντικειμένου της προστασίας Σ.Η.Ε. είναι η ελαχιστοποίηση των συνεπειών των σφαλμάτων. Αυτό επιτυγχάνεται απομονώνοντας, όσο το δυνατόν γρηγορότερα, από το δίκτυο οποιοδήποτε στοιχείο αναγνωριστεί ότι δυσλειτουργεί. Το σύστημα που επιτελεί αυτή τη λειτουργία ονομάζεται σύστημα προστασίας και αποτελείται από τα επιμέρους υποσυστήματα:

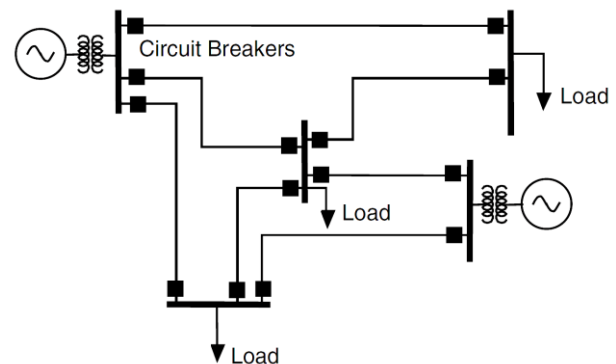
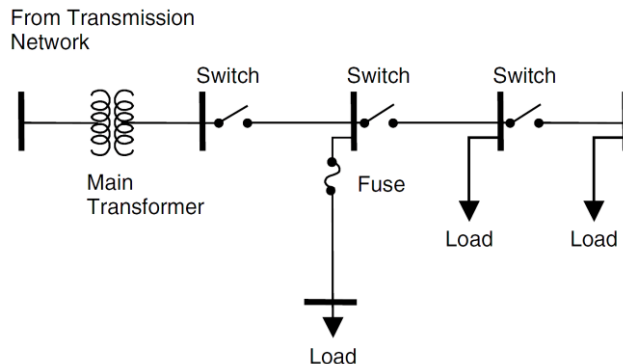
- ηλεκτρονόμων (relays), οι οποίοι επιτηρούν συνεχώς το δίκτυο και προσπαθούν να ανιχνεύσουν οποιοδήποτε σφάλμα εμφανιστεί
- μετατροπέων (transducers), δηλαδή των μετασχηματιστών τάσης και έντασης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να δώσουν τις απαραίτητες μετρήσεις στους ηλεκτρονόμους ώστε να μπορέσουν να ανιχνεύσουν τα σφάλματα
- διακοπών ισχύος (circuit breakers), οι οποίοι αναλαμβάνουν την απομόνωση των στοιχείων που δυσλειτουργούν από το δίκτυο, αφού τους δοθεί η ανάλογη εντολή από τους ηλεκτρονόμους
- μπαταριών (batteries), οι οποίες είναι απαραίτητες για την εξασφάλιση της αδιάλειπτης και ορθής λειτουργίας όλου του συστήματος προστασίας κατά την εμφάνιση κάποιου σφάλματος στο AC δίκτυο



Εικόνα 1.2: Τα υποσυστήματα από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα προστασίας [2]

Αξίζει να τονιστεί στο σημείο αυτό ότι ένα σύστημα προστασίας δεν προλαμβάνει την εμφάνιση των σφαλμάτων σε ένα Σ.Η.Ε., αλλά δρα αφού αυτά εμφανιστούν ώστε να τα εκκαθαρίσει. Ο μόνος τρόπος για να μειωθεί η συχνότητα εμφάνισης των σφαλμάτων είναι η τακτική συντήρηση και επιτήρηση όλων των στοιχείων ενός Σ.Η.Ε.

Το σύστημα προστασίας απομονώνει ένα σφάλμα βάσει της μορφής του προστατευόμενου δικτύου. Όταν, λοιπόν, το δίκτυο είναι ακτινικό, όπως αυτό στην Εικόνα 1.3, το σφάλμα μπορεί να εκκαθαριστεί με το άνοιγμα του αμέσως προηγούμενου διακόπτη ισχύος. Όταν, όμως, το δίκτυο είναι βροχοειδές, όπως στην Εικόνα 1.4, απαιτείται το άνοιγμα των εκατέρωθεν διακοπών του στοιχείου που δυσλειτουργεί για την απομόνωση του σφάλματος.



Εικόνα 1.3: Ενδεικτικό ακτινικό δίκτυο [2]      Εικόνα 1.4: Ενδεικτικό βροχοειδές δίκτυο [2]

#### 1.1.4 Βασικός στόχος των συστημάτων προστασίας

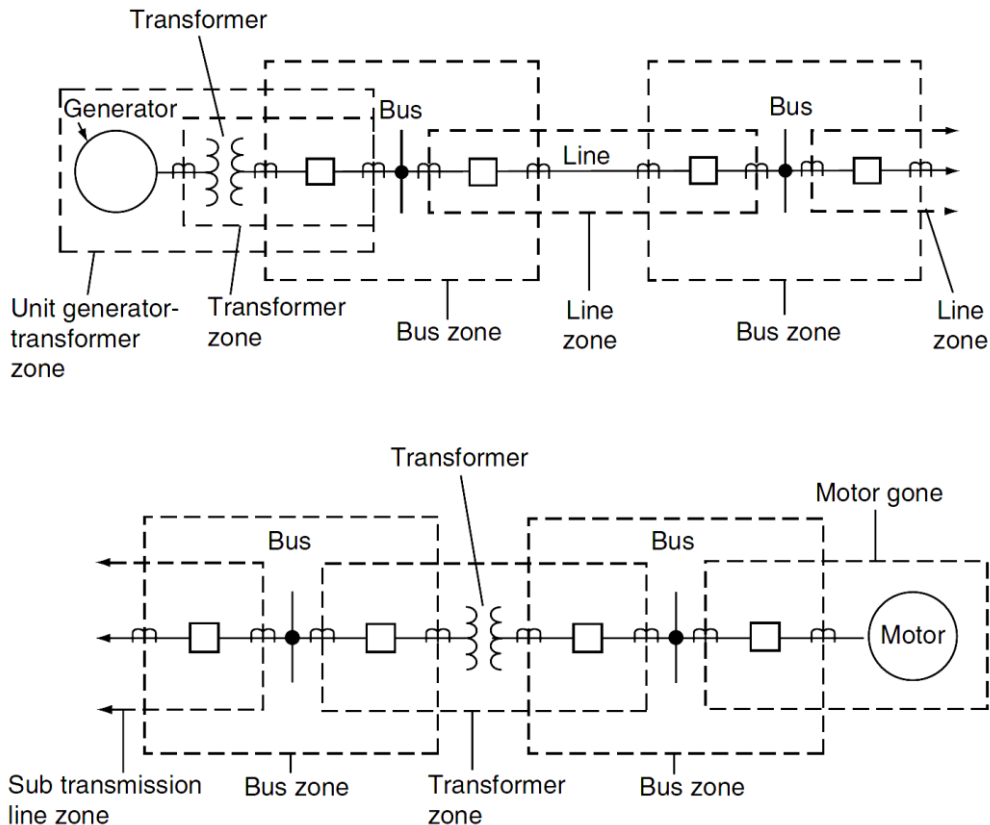
Ο βασικός στόχος κάθε συστήματος προστασίας είναι η μεγιστοποίηση των εξής ιδιοτήτων του:

- ✓ **Αξιοπιστία:** Εκφράζει τον βαθμό βεβαιότητας ότι το σύστημα προστασίας θα δουλέψει σωστά για τα σφάλματα που έχει ρυθμιστεί.
- ✓ **Επιλογικότητα:** Εκφράζει την χρονική διαβάθμιση που θα πρέπει να έχουν μεταξύ τους οι ηλεκτρονόμοι προστασίας, ώστε να λειτουργούν όσο πιο γρήγορα γίνεται για σφάλματα εντός της πρωτεύουσας ζώνης προστασίας τους και με κάποια ορισμένη χρονική καθυστέρηση για σφάλματα εντός της ζώνης δευτερεύουσας προστασίας τους.
- ✓ **Ταχύτητα λειτουργίας:** Είναι η ανάγκη ελαχιστοποίησης του χρόνου που απαιτείται από τη στιγμή εμφάνισης του σφάλματος έως ότου λειτουργήσει ο ηλεκτρονόμος και απομονώσει το κομμάτι του Σ.Η.Ε. που δυσλειτουργεί.
- ✓ **Διακριτικότητα:** Εκφράζει την ικανότητα του συστήματος προστασίας να ξεχωρίζει τις σοβαρές διαταραχές από τα φυσιολογικά μεταβατικά φαινόμενα, τα οποία εμφανίζονται αρκετά συχνά σε ένα Σ.Η.Ε., μέσα σε εύλογα χρονικά διαστήματα, ούτως ώστε να μην υπονομεύεται η ταχύτητα λειτουργίας του.
- ✓ **Απλότητα:** Είναι η απαίτηση από ένα σύστημα προστασίας να παραμένει όσο πιο απλό γίνεται ώστε να αποφεύγονται τυχόν απρόβλεπτες δυσλειτουργίες του, χωρίς αυτό, όμως, να θέτει φραγμούς στην επίτευξη των επιθυμητών στόχων προστασίας.
- ✓ **Οικονομικότητα:** Εκφράζει την οικονομική ωφέλεια που θα πρέπει να παρουσιάζει η προστασία των Σ.Η.Ε., όταν συγκρίνεται η λειτουργική και οικονομική αξία των δομικών στοιχείων τους με την δαπάνη για την εγκατάσταση του συστήματος προστασίας. Σε κάθε περίπτωση επιθυμείται πάντοτε η μέγιστη προστασία με το χαμηλότερο δυνατό κόστος.

Όπως θα γίνει φανερό στις επόμενες ενότητες, η μεγιστοποίηση των προαναφερθέντων ιδιοτήτων απαιτεί κατά βάση εμπειρία, μελέτη των ειδικών χαρακτηριστικών του εκάστοτε προστατευόμενου δικτύου καθώς και συμβιβασμούς διότι, πρακτικά, δεν υπάρχει ο τέλειος συνδυασμός.

### 1.1.5 Ζώνες προστασίας – Πρωτεύουσα & Δευτερεύουσα προστασία

Ένα Σ.Η.Ε. μπορεί να χωριστεί σε ζώνες προστασίας, οι οποίες καθορίζονται εν γένει από τον διαθέσιμο εξοπλισμό και τους διακόπτες ισχύος που είναι εγκατεστημένοι σε αυτό. Κάθε ζώνη προστασίας οφείλει να περιέχει ένα ή δύο στοιχεία του Σ.Η.Ε. και να επικαλύπτει την γειτονική της, ούτως ώστε να εξασφαλίζεται ότι κανένα στοιχείο δεν μένει απροστάτευτο. Υπάρχουν, συνεπώς, οι ζώνες προστασίας των γεννητριών, των μετασχηματιστών, των ζυγών, των γραμμών μεταφοράς και διανομής, των φορτίων (παθητικών και δυναμικών) και των εγκάρσιων στοιχείων αντιστάθμισης (πυκνωτών, πηνίων). Οι προστασίες κάθε ενός από τα προαναφερθέντα δομικά στοιχεία ενός Σ.Η.Ε. είναι διαφορετικές λόγω της φύσης λειτουργίας τους, αλλά οι γενικές αρχές που τις διέπουν είναι οι ίδιες.

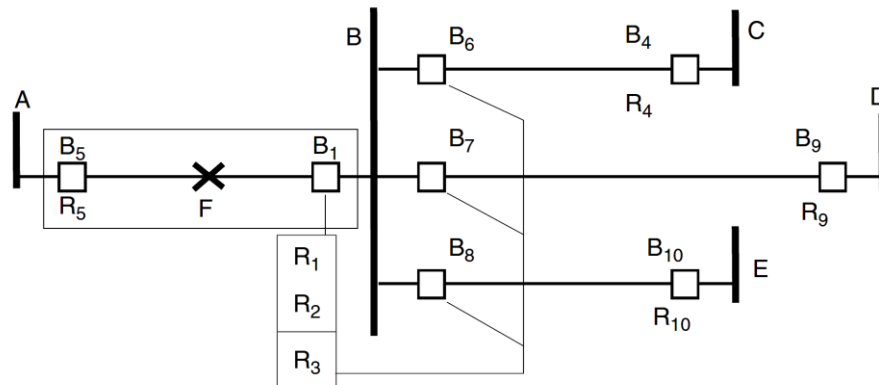


Εικόνα 1.5: Χωρισμός Σ.Η.Ε. σε κλειστές & ανοικτές ζώνες προστασίας [3]

Όταν μια ζώνη προστασίας είναι κλειστή, όπως είναι οι ζώνες των ζυγών στην Εικόνα 1.5, τότε ο εξοπλισμός ο οποίος περιέχεται σε αυτή επιτηρείται από τα άκρα της και γι' αυτό ονομάζεται «διαφορική» ή «απολύτως επιλογική» ζώνη προστασίας. Αντιθέτως, όταν μια ζώνη προστασίας είναι ανοικτή, όπως είναι οι ζώνες των γραμμών μεταφοράς στην ίδια εικόνα, τότε αυτή η ζώνη καλείται «σχετικά επιλογική».

Σε περίπτωση εμφάνισης σφάλματος σε κάποιο σημείο του Σ.Η.Ε. της Εικόνα 1.5, τα στοιχεία προστασίας της ζώνης προστασίας που το περιέχει, θα πρέπει να λειτουργήσουν στον ελάχιστο δυνατό χρόνο, φροντίζοντας παράλληλα να αφαιρέσουν από το δίκτυο τον ελάχιστο απαιτούμενο αριθμό στοιχείων. Αυτή είναι η λεγόμενη πρωτεύουσα προστασία του εκάστοτε κομματιού Σ.Η.Ε. Όταν, όμως, λόγω π.χ. κάποιας βλάβης, η πρωτεύουσα προστασία δεν καταφέρει να λειτουργήσει, τότε επιβάλλεται να λειτουργήσουν τα στοιχεία προστασίας των γειτονικών ζωνών προστασίας, δρώντας ως απομακρυσμένη δευτερεύουσα προστασία του κομματιού Σ.Η.Ε. που δυσλειτουργεί. Συνεπώς, η δευτερεύουσα προστασία ρυθμίζεται ώστε να λειτουργεί με κάποια καθυστέρηση σε

σχέση με την πρωτεύουσα και αφαιρεί από το δίκτυο περισσότερα κομμάτια απ' όσα πραγματικά απαιτούνται. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι σε μερικές εφαρμογές που η λειτουργία της δευτερεύουσας προστασίας επηρεάζεται από την σύνθετη δομή του δικτύου, υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης αντίγραφων στοιχείων προστασίας ή τοπικών στοιχείων δευτερεύουσας προστασίας σε οποιαδήποτε ζώνη προστασίας επιθυμούμε, ώστε να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα να αναγκαστεί να λειτουργήσει η απομακρυσμένη δευτερεύουσα προστασία.



Εικόνα 1.6: Εφεδρική προστασία μέσω αντιγράφων στοιχείων προστασίας και τοπικής ή απομακρυσμένης δευτερεύουσας προστασίας. Τα στοιχεία πρωτεύουσας προστασίας της γραμμής AB είναι τα  $R_5$  και  $R_1$ . Το  $R_2$  είναι αντίγραφο του στοιχείου προστασίας  $R_1$ , ενώ το  $R_3$  λειτουργεί ως τοπική δευτερεύουσα προστασία. Απομακρυσμένη δευτερεύουσα προστασία παρέχουν τα στοιχεία  $R_4$ ,  $R_9$ , και  $R_{10}$ . [2]

### 1.1.6 Αριθμοί συσκευών & σύμβολα στοιχείων συστημάτων προστασίας

Οι ηλεκτρονόμοι καθώς και όλες οι υπόλοιπες συσκευές ενός συστήματος προστασίας θα συμβολίζονται συχνά μέσω αριθμών και συμβόλων στις ενότητες που ακολουθούν, βάσει του προτύπου IEEE C37.2. Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τους βασικότερους αριθμούς συσκευών και σύμβολα.

Αριθμός συσκευής / Σύμβολο	Περιγραφή
1	Master Element
2	Time-Delay Starting or Closing Relay
3	Checking or Interlocking Relay
4	Master Contactor
5	Stopping Device
6	Starting Circuit Breaker
7	Rate-of-Change Relay
8	Control Power Disconnecting Device
9	Reversing Device
10	Unit Sequence Switch
11	Multifunction Device
12	Overspeed Device
13	Synchronous-speed Device
14	Underspeed Device
15	Speed or Frequency Matching Device
16	Data Communications Device
20	Elect. operated valve (solenoid valve)
<b>21</b>	<b>Distance Relay</b>
23	Temperature Control Device
<b>24</b>	<b>Volts per Hertz Relay</b>
<b>25</b>	<b>Synchronizing or Synchronism-Check Device</b>

26	Apparatus Thermal Device
<b>27</b>	<b>Undervoltage Relay</b>
30	Annunciator Relay
<b>32</b>	<b>Directional Power Relay</b>
36	Polarity or Polarizing Voltage Devices
37	Undercurrent or Underpower Relay
38	Bearing Protective Device
39	Mechanical Condition Monitor
<b>40</b>	<b>Field (over/under excitation) Relay</b>
41	Field Circuit Breaker
42	Running Circuit Breaker
43	Manual Transfer or Selector Device
46	Rev. phase or Phase-Bal. Current Relay
47	Phase-Seq. or Phase-Bal. Voltage Relay
48	Incomplete Sequence Relay
49	Machine or Transformer Thermal Relay
<b>50</b>	<b>Instantaneous Overcurrent</b>
<b>51</b>	<b>AC Inverse Time Overcurrent Relay</b>
<b>52</b>	<b>AC Circuit Breaker</b>
53	Field Excitation Relay
55	Power Factor Relay
56	Field Application Relay
<b>59</b>	<b>Overvoltage Relay</b>
60	Voltage or Current Balance Relay
62	Time-Delay Stopping or Opening Relay
63	Pressure Switch
64	Ground Detector Relay
65	Governor
66	Notching or Jogging device
<b>67</b>	<b>AC Directional Overcurrent Relay</b>
68	Blocking or “Out-of-step” Relay
69	Permissive Control Device
74	Alarm Relay
75	Position Changing Mechanism
76	DC Overcurrent Relay
78	Phase-Angle Measuring Relay
<b>79</b>	<b>AC Reclosing Relay</b>
81	Frequency Relay
83	Automatic Selective Control or Transfer Relay
84	Operating Mechanism
85	Pilot Communications, Carrier or Pilot-Wire Relay
86	Lockout Relay
<b>87</b>	<b>Differential Protective Relay</b>
89	Line Switch
90	Regulating Device
91	Voltage Directional Relay
92	Voltage and Power Directional Relay
94	Tripping or Trip-Free Relay
B	Bus
F	Field
G	Ground or generator
N	Neutral
T	Transformer

Πίνακας 1.1: Βασικοί αριθμοί συσκευών και σύμβολα βάσει προτύπου IEEE C37.2

## 1.2 Περιγραφή των υποσυστημάτων ενός συστήματος προστασίας

Στην προηγούμενη ενότητα αναφέρθηκε ότι ένα σύστημα προστασίας αποτελείται από τα υποσυστήματα των ηλεκτρονόμων, μετατροπέων, διακοπών ισχύος και μπαταριών. Στην παρούσα ενότητα θα δοθούν μερικές χρήσιμες πληροφορίες για κάθε ένα από αυτά.

### 1.2.1 Ηλεκτρονόμοι

Οι ηλεκτρονόμοι (H/N) αποτελούν το μυαλό του συστήματος προστασίας, αφού αναλαμβάνουν να αξιοποιήσουν υπολογιστικά τις παραμέτρους εισόδου τους (τάσεις, ρεύματα, καταστάσεις διακοπών κ.α.) και να δράσουν αναλόγως, βάσει των ρυθμίσεων που τους έχουν ανατεθεί.

Οι H/N μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με πολλούς τρόπους. Η βασικότερη διάκριση γίνεται με βάση τη λειτουργία τους. Συνεπώς, υπάρχουν τα εξής είδη:

- **H/N προστασίας:** Σκοπός αυτών των H/N είναι η ανίχνευση και απομόνωση των σφαλμάτων. Εφαρμόζονται σε κάθε κομμάτι ενός Σ.Η.Ε.
- **H/N ρύθμισης:** Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των συστημάτων αλλαγής τάσης υπό φορτίο που έχουν οι μετασχηματιστές του δικτύου καθώς και ως ρυθμιστές τάσης για τις γεννήτριες κατά την μεταβολή των φορτίων του Σ.Η.Ε.
- **H/N επαναφοράς και συγχρονισμού:** Χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση ή επαναφορά γραμμών στο δίκτυο και για τη διασύνδεση κομματιών του Σ.Η.Ε. μεταξύ τους.
- **H/N εποπτείας:** Βασικός τους ρόλος είναι η επιβεβαίωση της ορθής λειτουργίας του κομματιού Σ.Η.Ε. ή του συστήματος προστασίας που επιτηρούν. Όταν εγκαθίστανται στα συστήματα προστασίας, εποπτεύουν την λειτουργία των κυκλωμάτων τους.
- **Βοηθητικοί H/N:** Χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα προστασίας για να αυξήσουν τις διαθέσιμες επαφές του (π.χ. τις επαφές εξόδου του) και για την απομόνωση κομματιών διαφόρων κυκλωμάτων.

Ένα άλλο κριτήριο κατηγοριοποίησης των H/N είναι ο τρόπος με τον οποίο ανιχνεύουν τα σφάλματα βάσει των παραμέτρων εισόδου τους. Διακρίνονται, έτσι, τα εξής είδη:

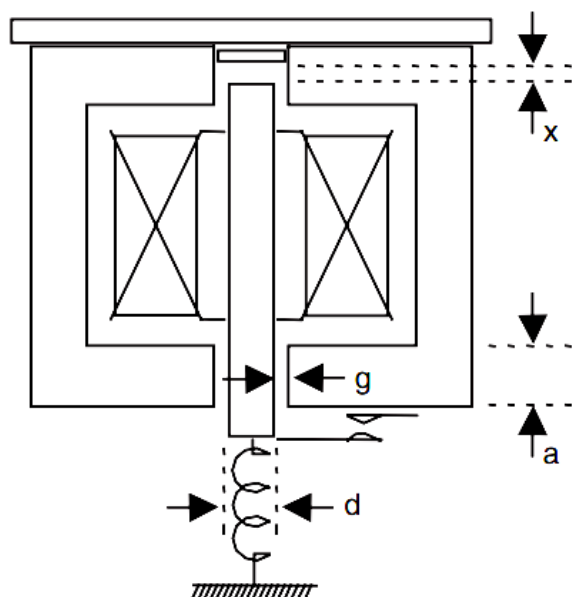
- **H/N ανίχνευσης επιπέδου:** Οι H/N αυτοί λειτουργούν όταν η παράμετρος εισόδου τους υπερβεί ή πέσει κάτω από κάποιο όριο που της έχει ανατεθεί. Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων συσκευών είναι οι H/N υπερέντασης, υπότασης κλπ.
- **H/N σύγκρισης μέτρων:** Λειτουργούν όταν ανιχνευθεί κάποια προκαθορισμένη διαφορά μεταξύ των μέτρων δύο ή περισσότερων παραμέτρων εισόδου.
- **H/N διαφορικής σύγκρισης:** Πρόκειται για την πιο ευαίσθητη και αποτελεσματική μέθοδο προστασίας. Λειτουργούν όταν η διαφορά της ίδιας παραμέτρου από τα άκρα της ζώνης προστασίας δεν είναι σχεδόν μηδενική.
- **H/N σύγκρισης φασικών γωνιών:** Αυτοί οι H/N συγκρίνουν τις φασικές γωνίες δύο AC μεγεθών, ένα εκ των οποίων θεωρείται ως μέγεθος αναφοράς, με απώτερο στόχο να καθορίσουν την κατεύθυνση είτε της ροής ισχύος, είτε ενός σφάλματος.
- **H/N μέτρησης αποστάσεως:** Οι H/N διαφορικής σύγκρισης που αναφέρθηκαν προηγουμένως χρειάζονται την παράμετρο εισόδου τους από τα άκρα μιας ζώνης προστασίας για να λειτουργήσουν, πράγμα το οποίο για την περίπτωση π.χ. μίας μεγάλης μήκους γραμμής μεταφοράς είναι εξαιρετικά αντιοικονομικό. Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα δίνουν οι H/N μέτρησης αποστάσεως, οι οποίοι χρησιμοποιούν τη τοπική τάση

και ρεύμα του δικτύου, υπολογίζοντας πρακτικά τη σύνθετη αντίσταση μεταξύ του Η/Ν και του σφάλματος (όταν αυτό εμφανιστεί), την οποία εκ των υστέρων συγκρίνουν, ως διάνυσμα, με τα εκάστοτε όρια που τους έχουν ανατεθεί και αποφασίζουν αν θα λειτουργήσουν ή όχι.

- **Η/Ν αγωγών πιλότων:** Η αρχή λειτουργίας των Η/Ν αυτών μοιάζει πολύ με αυτή των Η/Ν διαφορικής σύγκρισης, αλλά χρησιμοποιούνται και για την προστασία μεγάλων σε μήκος ζωνών προστασίας.
- **Η/Ν ανίχνευσης αρμονικών:** Οι Η/Ν αυτοί αναλαμβάνουν να ελέγξουν αν οι αρμονικές που εμφανίζονται στις παραμέτρους εισόδου τους (τάσεις, ρεύματα) οφείλονται σε κάποια σοβαρή διαταραχή ή είναι αποτέλεσμα μιας μεταβατικής κατάστασης των στοιχείων του δικτύου.
- **Η/Ν ανίχνευσης συχνότητας:** Η λειτουργία τους καθορίζεται από τυχόν μεταβολές της συχνότητας του δικτύου που επιτηρούν. Η συχνότητα στα Σ.Η.Ε. είναι πολύ σταθερή και οποιαδήποτε απόκλιση αποτελεί ένδειξη ύπαρξης προβλήματος στο δίκτυο.
- **Η/Ν άλλων παραμέτρων:** Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται όλοι οι Η/Ν που έχουν άλλες παραμέτρους εισόδου όπως π.χ. την πίεση, την θερμοκρασία, την στάθμη υγρών κ.α.

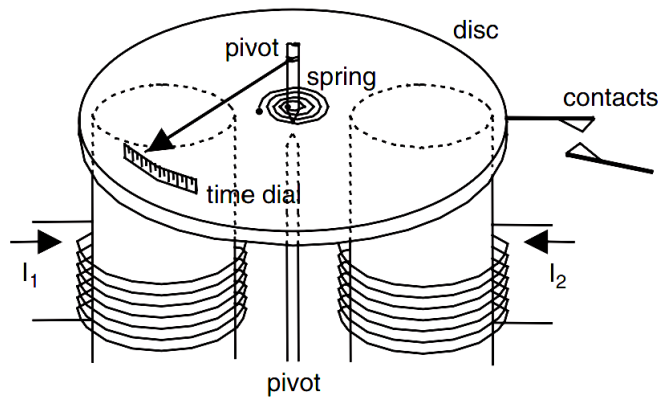
Τέλος, οι Η/Ν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και με βάση την τεχνολογία υλικού που χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους. Υπάρχουν, έτσι, τα εξής είδη:

- **Ηλεκτρομηχανικοί Η/Ν:** Πρόκειται για Η/Ν που λειτουργούν αναλόγως των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων ή ροπών που αναπτύσσονται από την αλληλεπίδραση ρευμάτων και μαγνητικών ροών στο μαγνητικό τους κύκλωμα. Υπάρχουν δύο βασικά είδη ηλεκτρομηχανικών Η/Ν. Αυτοί που χρησιμοποιούν τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις για την λειτουργία τους καλούνται Η/Ν ηλεκτρομαγνητικής έλξεως, ενώ, εκείνοι που χρησιμοποιούν τις ροπές που αναπτύσσονται ονομάζονται επαγωγικοί Η/Ν. Οι Η/Ν ηλεκτρομαγνητικής έλξεως δέχονται μόνο μία είσοδο και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται κυρίως ως Η/Ν υπερεντάσεως. Οι επαγωγικοί Η/Ν από την άλλη μεριά χρειάζονται δύο εισόδους για να λειτουργήσουν λόγω της ανάγκης ύπαρξης ροπής και έτσι έχουν εφαρμογή ως Η/Ν υπερεντάσεως, αποστάσεως αλλά και κατευθύνσεως.



Εικόνα 1.7: Ηλεκτρονόμος ηλεκτρομαγνητικής έλξεως [2]

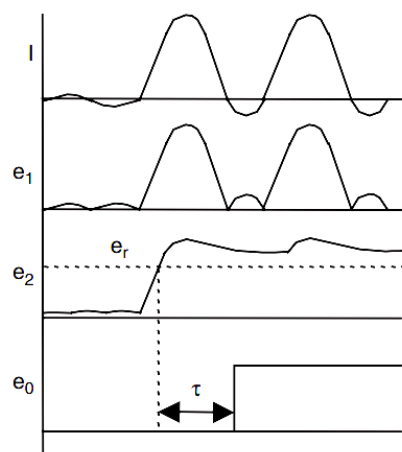
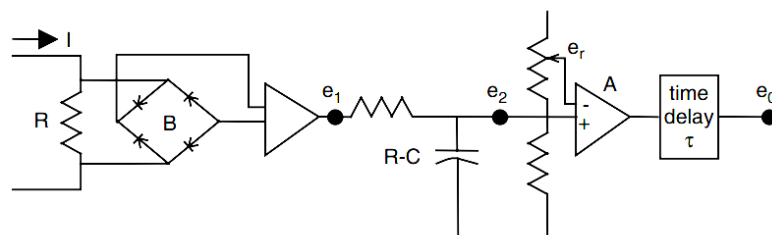




Εικόνα 1.8: Ηλεκτρονόμος επαγωγικού τύπου [2]

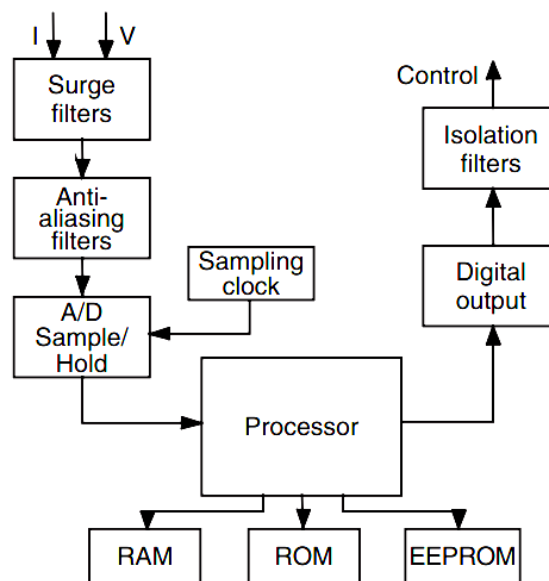
- **Στατικοί Η/Ν:** Οι Η/Ν αυτοί κατασκευάστηκαν αξιοποιώντας την πρόοδο στην τεχνολογία των ημιαγωγών και γενικά της ηλεκτρονικής. Τα κυκλώματά τους χωρίζονται σε αναλογικά, τα οποία έχουν ως σκοπό την ανίχνευση διαταραχών ή την μέτρηση μεγεθών, και ψηφιακής λογικής, τα οποία λειτουργούν με βάση συγκεκριμένες λογικές μεταβλητές. Τα πλεονεκτήματα αυτών των Η/Ν είναι:

- ✓ Η μεγαλύτερη απόδοση τους λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ισχύος τους
- ✓ Η χαμηλή επιφόρτιση που εισάγουν στους μετασχηματιστές τάσης και έντασης από τους οποίους τροφοδοτούνται με μετρήσεις
- ✓ Το μικρό κόστος κατασκευής τους
- ✓ Ο μικρότερος όγκος τους και η ευκολότερη εγκατάστασή τους
- ✓ Η ανοχή τους σε δονήσεις και σκόνη και συνεπώς η εξάλειψη της ανάγκης τακτικής συντήρησής τους
- ✓ Η αυξημένη ακρίβεια και ταχύτητα λειτουργίας τους



Εικόνα 1.9: Ενδεικτικό κύκλωμα & κυματομορφές στατικού στιγμιαίου Η/Ν υπερεντάσεως [2]

- **Ψηφιακοί Η/Ν:** Οι Η/Ν αυτοί αξιοποιούν την τεχνολογία των μικροεπεξεργαστών. Δέχονται ως εισόδους αναλογικά και ψηφιακά σήματα. Τα αναλογικά σήματα φιλτράρονται κατάλληλα και μετατρέπονται σε ψηφιακά μέσω ειδικών αλγορίθμων. Κατόπιν, η ψηφιακή πληροφορία που προκύπτει χρησιμοποιείται υπολογιστικά από άλλους αλγορίθμους που προσομοιώνουν την λειτουργία του στοιχείων προστασίας που επιθυμούμε και προκύπτουν οι ανάλογες έξοδοι. Τα πλεονεκτήματα αυτών των Η/Ν είναι:
  - ✓ Η λειτουργία αυτοδιάγνωσης προβλημάτων λειτουργίας που διαθέτουν και συνεπώς η αυξημένη αξιοπιστία τους
  - ✓ Η δυνατότητα επικοινωνίας τους με άλλα συστήματα εποπτείας του Σ.Η.Ε. που καθιστούν δυνατό τον απομακρυσμένο έλεγχο και επιτήρησή τους
  - ✓ Η ακρίβεια τους
  - ✓ Η ευελιξία ρυθμίσεών τους



Εικόνα 1.10: Τα υποσυστήματα ενός ψηφιακού ηλεκτρονόμου [2]

## 1.2.2 Μετατροπείς

Οι Η/Ν και γενικότερα τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται στα Σ.Η.Ε. λαμβάνουν τις εισόδους τους μέσω μετατροπέων, δηλαδή μετασχηματιστών (Μ/Σ) έντασης και τάσης. Σκοπός των μετατροπέων είναι να υποβιβάζουν τα μετρούμενα ηλεκτρικά μεγέθη στα επίπεδα που καθορίζονται από τον κατασκευαστή των εκάστοτε Η/Ν και οργάνων μέτρησης παρέχοντας παράλληλα και γαλβανική απομόνωση από το δίκτυο.

### 1.2.2.1 Μετασχηματιστές εντάσεως

Οι μετασχηματιστές εντάσεως (CTs) που χρησιμοποιούνται στα συστήματα προστασίας επιλέγονται κατόπιν ειδικής μελέτης, ώστε να παρέχουν αποδεκτά επίπεδα ακρίβειας για μερικά δευτερόλεπτα μετά την εμφάνιση κάποιου σφάλματος προτού μπουν στον κορεσμό. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι θα προλάβουν να λειτουργήσουν σωστά οι Η/Ν που τροφοδοτούνται με εισόδους από αυτούς, όταν π.χ. τα ρεύματα σφάλματος φθάσουν σε μέτρο έως και 50 φορές το ρεύμα μόνιμης κατάστασης λειτουργίας.

Πέρα από το φαινόμενο του κορεσμού που εισάγει σφάλματα στις μετρήσεις των Μ/Σ έντασης, σημαντικό ρόλο παίζει και η επιφόρτισή τους (burden), δηλαδή το φορτίο που παρουσιάζουν στο δευτερεύον τους, διότι αυξάνει το σφάλμα μέτρησης στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Αξίζει να αναφερθεί στο σημείο αυτό ότι το πρόβλημα της επιφόρτισης, μπορεί σχεδόν να αμεληθεί στην περίπτωση που το σύστημα προστασίας χρησιμοποιεί ψηφιακούς Η/Ν, οι οποίοι εν γένει εισάγουν πάρα πολύ μικρές επιφορτίσεις.

Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε κάθε μελέτη επιλογής Μ/Σ εντάσεως είναι η DC συνιστώσα που εμφανίζεται στις εντάσεις βραχυκυκλώματος και η οποία μπορεί επίσης να οδηγήσει τον Μ/Σ στον κορεσμό και άρα να εισάγει σημαντικές παραμορφώσεις.

Λόγω των προαναφερθέντων προβλημάτων, οι Μ/Σ έντασης κατατάσσονται σε κλάσεις ακριβείας ώστε να διευκολυνθεί η μελέτη προστασίας όταν δεν είναι διαθέσιμες όλες οι πληροφορίες που τους αφορούν (π.χ. πολλές φορές δεν είναι διαθέσιμη η χαρακτηριστική μαγνητισής τους).

Τα στοιχεία που καθορίζουν και χαρακτηρίζουν έναν Μ/Σ έντασης είναι τα παρακάτω:

- **Ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος:** Τυποποιημένες τιμές είναι τα 10, 12.5, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75A και τα επί- / δια- 10 αυτών.
- **Ονομαστικό ρεύμα δευτερεύοντος:** Στην Αμερική και σε διάφορες άλλες χώρες, προτιμώνται αποκλειστικά τα 5A, ενώ στην Ευρώπη χρησιμοποιείται και το 1A.
- **Ονομαστική ισχύς εξόδου:** Τυποποιημένες τιμές τα 2.5, 5, 10, 15 και 30VA.
- **Μέγιστη τάση:** Είναι η μέγιστη πολική τάση που μπορεί να αντέξει ο Μ/Σ έντασης υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας του Σ.Η.Ε.
- **Ονομαστικό επίπεδο μόνωσης:** Πρόκειται για το συνδυασμό τιμών τάσεων (50Hz και κρουστικού κύματος) που προσδιορίζουν την αντοχή της μόνωσης του Μ/Σ έντασης σε διηλεκτρικές καταπονήσεις.
- **Ονομαστικό θερμικό ρεύμα βραχείας διάρκειας:** Είναι η rms τιμή του ρεύματος πρωτεύοντος που μπορεί να αντέξει ο Μ/Σ έντασης επί 1 sec χωρίς να υποστεί βλάβη.
- **Ονομαστικό δυναμικό ρεύμα:** Η μέγιστη τιμή του ρεύματος πρωτεύοντος που μπορεί να αντέξει ένας Μ/Σ έντασης χωρίς να πάθει βλάβη ηλεκτρικής ή μηχανικής φύσεως λόγω των αναπτυσσόμενων ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων.
- **Κλάση ακρίβειας:** Αποτελεί ένδειξη του σφάλματος που εισάγουν οι Μ/Σ έντασης στο ρεύμα δευτερεύοντος υπό καθορισμένες συνθήκες χρήσης.



Εικόνα 1.11: Μετασχηματιστές εντάσεως (δεξιά) συνδεδεμένοι με διακόπτες ισχύος (αριστερά) [4]

### 1.2.2.2 Μετασχηματιστές τάσεως

Οι μετασχηματιστές τάσεως (VTs ή PTs) των εφαρμογών προστασίας Σ.Η.Ε. σχεδιάζονται έτσι ώστε να αντέχουν συνεχόμενα, χωρίς σχεδόν καμία επιβάρυνση από πλευράς ακρίβειας, τάσεις έως και 20% πάνω από την ονομαστική τους, οι οποίες μπορεί να οφείλονται σε υπερτάσεις που παρατηρούνται στα δίκτυα και διαρκούν συνήθως για αρκετό χρονικό διάστημα. Και αυτοί οι Μ/Σ έχουν θέματα ακρίβειας που οφείλονται στην επιφόρτιση αλλά και στις μεταβατικές καταστάσεις που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια των σφαλμάτων, αλλά είναι γενικά απαλλαγμένοι από το φαινόμενο του κορεσμού. Το μειονέκτημά τους είναι η υψηλή τιμή αγοράς τους, η οποία τους καθιστά ασύμφορους για τις εγκαταστάσεις υπερυψηλής τάσης (EHV), όπου προτιμάται η χρήση των λεγόμενων πυκνωτικών μετασχηματιστών τάσης (CCVTs).

Τα στοιχεία που καθορίζουν και χαρακτηρίζουν τους Μ/Σ τάσης είναι τα παρακάτω:

- **Ονομαστική τάση πρωτεύοντος:** Τυποποιημένες τιμές είναι όλα τα επίπεδα τάσης που συναντώνται στα Σ.Η.Ε.
- **Ονομαστική τάση δευτερεύοντος:** Για την Ευρώπη, τυποποιημένες τιμές είναι τα 100V ή 110V στην πλειονότητα των περιπτώσεων και τα 200V στα εκτεταμένα κυκλώματα. Για την Αμερική συναντούμε 120V για τα συστήματα διανομής, 115V για τα συστήματα μεταφοράς και 230V για τα εκτεταμένα κυκλώματα.
- **Ονομαστική ισχύς εξόδου:** Τυποποιημένες τιμές, για  $\cos\phi=0.8$  επαγωγικό, είναι τα 10, 15, 25, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 και 500VA.
- **Παράγοντας ονομαστικής τάσης:** Είναι ένας συντελεστής που πολλαπλασιάζεται με την ονομαστική τάση πρωτεύοντος για να προσδιορίσει την μέγιστη τάση, την οποία μπορεί να αντέξει ο Μ/Σ τάσης για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, χωρίς να ξεπεραστούν τα θερμικά όριά του και τα όρια ακρίβειας τους. Τυποποιημένες τιμές είναι το 1.2 χωρίς χρονικό περιορισμό, 1.5 για 30 sec όταν πρόκειται για αποτελεσματικά γειωμένα συστήματα, 1.9 για 30 sec σε αγείωτα συστήματα με αυτόματη διακοπή για σφάλματα γης και 1.9 για 8 ώρες σε αγείωτα συστήματα χωρίς αυτόματη διακοπή για σφάλματα γης.
- **Κλάση ακρίβειας:** Αποτελεί ένδειξη του σφάλματος που εισάγουν οι Μ/Σ τάσης στη τάση δευτερεύοντος υπό καθορισμένες συνθήκες χρήσης.



Εικόνα 1.12: Μ/Σ τάσεως εξωτερικού χώρου [5] Εικόνα 1.13: Πυκνωτικοί Μ/Σ τάσεως [6]

### 1.2.3 Διακόπτες ισχύος

Οι διακόπτες ισχύος (circuit breakers – CBs ή Δ/Ι) χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα προστασίας για την απομόνωση των σφαλμάτων που αναγνωρίζονται από τους ηλεκτρονόμους. Ο Δ/Ι επιτυγχάνει την απομόνωση αυτή, μηδενίζοντας το ρεύμα που τον διαπερνά. Τα ρεύματα αποκοπής των Δ/Ι φτάνουν σε μερικές εφαρμογές ακόμη και τα  $10^5$  A σε τάσεις συστήματος μέχρι και 800kV. Οι βασικοί τύποι διακοπτών ισχύος ονομάζονται «dead-tank» και «live-tank».

Οι «dead-tank» Δ/Ι διατηρούν το περίβλημά τους σε μηδενικό δυναμικό. Τα διακοπτικά μέσα που χρησιμοποιούν είναι το λάδι, ο αέρας καθώς και αέρια ή στερεά διηλεκτρικά. Ακόμη, οι Μ/Σ ρεύματος του συστήματος προστασίας τοποθετούνται κάτω από τους πορσελάνινους μονωτήρες αυτών των Δ/Ι. Τέλος, αυτοί οι Δ/Ι διαθέτουν συνήθως μόνο ένα πηνίο ενεργοποίησης που επιτρέπει μόνο το ταυτόχρονο άνοιγμα και των τριών διακοπτών φάσεων και όχι το ξεχωριστό άνοιγμα μόνο των εμπλεκόμενων στο σφάλμα φάσεων.



Εικόνα 1.14: Διακόπτες ισχύος τύπου «dead-tank» [7]

Οι «live-tank» Δ/Ι διατηρούν τον μηχανισμό διακοπής και το περίβλημά τους στην ίδια τάση με τους διακόπτες, ούτως ώστε να εξαλειφθεί η ανάγκη μόνωσης μεταξύ τους. Αυτό, όμως, επιβάλλει την ανάρτησή τους σε πορσελάνινους μονωτήρες ώστε να μονωθούν από το έδαφος. Οι εκατέρωθεν Μ/Σ έντασης αυτών των διακοπτών οφείλουν να αναρτηθούν σε ξεχωριστούς μονωτήρες για τον ίδιο λόγο. Τέλος, οι live-tank Δ/Ι διαθέτουν ξεχωριστό πηνίο και μηχανισμό ενεργοποίησης για κάθε μία από τις τρεις φάσεις.



Εικόνα 1.15: Διακόπτες ισχύος τύπου «live-tank» [8]

Συγκρίνοντας τα δύο είδη Δ/Ι που μόλις παρουσιάστηκαν, αξίζει να επισημανθεί ότι η τριπολική απόζευξη φάσεων που διαθέτουν οι «dead-tank» Δ/Ι υστερεί από άποψης αξιοπιστίας σε σχέση με την μονοπολική που έχουν οι «live-tank». Κι αυτό διότι, αν συμβεί κάποιο σφάλμα στο μοναδικό πηνίο ενεργοποίησης των «dead-tank» Δ/Ι, το σύστημα προστασίας δεν θα δουλέψει σωστά και το σφάλμα είναι πιθανό να δημιουργήσει προβλήματα ευστάθειας έως ότου απομονωθεί από την δευτερεύουσα προστασία. Αντιθέτως, με τους «live-tank» Δ/Ι που έχουν ξεχωριστά πηνία και μηχανισμούς ενεργοποίησης για κάθε φάση, η πιθανότητα να μην δουλέψει ούτε ένας από αυτούς, στην περίπτωση π.χ. ενός τριφασικού σφάλματος, είναι εξαιρετικά μικρή και το σφάλμα θα μπορέσει πιθανότατα να υποβιβαστεί σε κάποιο λιγότερο σοβαρό από άποψης ευστάθειας, έως ότου απομονωθεί και αυτό από τη δευτερεύουσα προστασία.

#### 1.2.4 Μπαταρίες

Το υποσύστημα μπαταριών εξασφαλίζει ότι το σύστημα προστασίας θα έχει την απαραίτητη ενέργεια για την λειτουργία των διακοπών ισχύος, των ηλεκτρονόμων και των υπολοίπων οργάνων, όταν το AC δίκτυο αδυνατεί να τη προσφέρει (π.χ. στην περίπτωση σφάλματος πολύ κοντά στον υποσταθμό που φιλοξενεί το σύστημα προστασίας). Οι μπαταρίες είναι μόνιμως συνδεδεμένες μέσω ενός φορτιστή στο AC δίκτυο και μπορούν να παρέχουν επαρκή DC ενέργεια στο σύστημα για 8-12 ώρες μετά από κάποιο σφάλμα. Σε μερικές εφαρμογές μπορεί να υπάρχουν εγκαταστημένες και εφεδρικές μπαταρίες ώστε να ελαχιστοποιηθεί και η παραμικρή πιθανότητα μη ομαλής λειτουργίας του συστήματος προστασίας.



Εικόνα 1.16: Παράδειγμα υποσυστήματος μπαταριών σε υποσταθμό [9]

### 1.3 Βασικά είδη προστασιών Σ.Η.Ε.

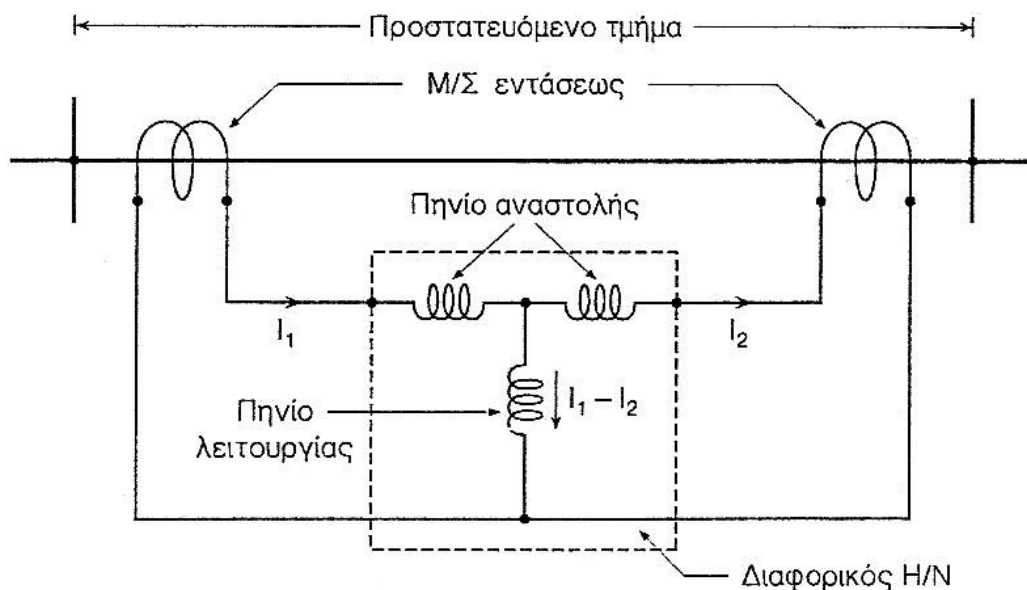
Στην υποενότητα 1.2.1 αναφέρθηκε ότι υπάρχουν πολλά είδη Η/Ν προστασίας. Στην παρούσα ενότητα θα αναλυθούν τα είδη προστασίας που συναντώνται συχνότερα σε κάθε εφαρμογή και τα οποία θέτουν τα θεμέλια για την κατανόηση όλων των υπολοίπων.

#### 1.3.1 Διαφορική προστασία

Η διαφορική προστασία είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στην ανίχνευση εσωτερικών σφαλμάτων και γι' αυτό θεωρείται ένα από τα καλύτερα είδη προστασίας. Χρησιμοποιείται πολύ συχνά ως πρωτεύουσα προστασία των δομικών στοιχείων ενός δικτύου (γεννήτριες, μετασχηματιστές κλπ.).

Η αρχή λειτουργίας της διαφορικής προστασίας είναι σχετικά απλή. Γίνεται σύγκριση μεταξύ του εισερχόμενου στη ζώνη προστασίας ηλεκτρικού μεγέθους με το εξερχόμενο από αυτή και με βάση την μεταξύ τους διαφορά προκύπτει αν πρέπει να λειτουργήσει ο ηλεκτρονόμος ή όχι. Το μέγεθος που χρησιμοποιείται συνήθως για αυτό το σκοπό είναι το ηλεκτρικό ρεύμα.

Στην Εικόνα 1.17 φαίνεται ο τρόπος σύνδεσης των διαφορικών Η/Ν προστασίας. Οι δύο Μ/Σ εντάσεως αναλαμβάνουν να τροφοδοτήσουν τα πηνία αναστολής (restraint coils) με τα μετρούμενα ρεύματα από την αρχή και το πέρας της ζώνης προστασίας του προστατευόμενου τμήματος, ώστε να γίνει η απαραίτητη σύγκριση στο πηνίο λειτουργίας (operating coil).

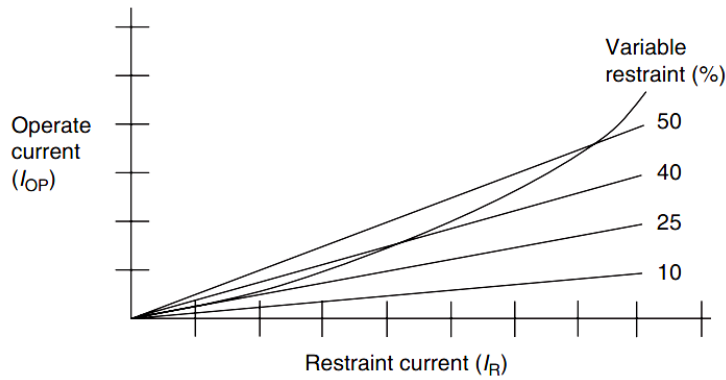


Εικόνα 1.17: Σύνδεση διαφορικού Η/Ν [10]

Η χαρακτηριστική ρευμάτων λειτουργίας και αναστολής μπορεί να είναι είτε σταθερή, είτε μεταβλητή και μας δείχνει ποιο είναι το ελάχιστο ρεύμα που θα πρέπει να διαρρέει το πηνίο λειτουργίας ώστε να προκληθεί λειτουργία της προστασίας, για δεδομένο ρεύμα στα πηνία αναστολής. Μερικές τυπικές χαρακτηριστικές λειτουργίας φαίνονται στην Εικόνα 1.18.

Η ύπαρξη κλίσης στις χαρακτηριστικές λειτουργίας των διαφορικών Η/Ν είναι σκόπιμη, ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε δυσλειτουργία της διαφορικής προστασίας θα μπορούσε να προκύψει:

- λόγω φαινομένων κορεσμού στους χρησιμοποιούμενους Μ/Σ εντάσεως, όταν αυτοί διαρρέονται από υψηλά ρεύματα
- λόγω κάποιου εξωτερικού σφάλματος
- λόγω αύξησης του φορτίου



Εικόνα 1.18: Τυπικές χαρακτηριστικές λειτουργίας H/N διαφορικής προστασίας. Το  $I_{OP}$  είναι το ρεύμα του πηνίου λειτουργίας, ενώ το  $I_R$  μπορεί να είναι οποιοδήποτε από τα δύο ρεύματα πηνίων αναστολής ή και το ημίαθροισμα αυτών. [3]

Με αυτό τον τρόπο, όσο αυξάνονται σε μέτρο τα ρεύματα που μετρώνται, απαιτούμε να εμφανιστεί όλο και μεγαλύτερη διαφορά ανάμεσά τους, ώστε να εγκριθεί η λειτουργία του H/N. Γενικότερα, πάντως, η ρύθμιση της κλίσης αλλά και του ελαχίστου ρεύματος διέγερσης για αυτό το είδος προστασίας, θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις διαφορές που μπορούν να οφείλονται στα διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά των Μ/Σ έντασης που χρησιμοποιούνται, όσο και τα φαινόμενα κορεσμού ή και οποιαδήποτε άλλα μεταβατικά φαινόμενα μπορούν να οδηγήσουν σε δυσλειτουργία της προστασίας.

### 1.3.2 Προστασία κατεύθυνσης

Οι H/N κατεύθυνσης έχουν ως στόχο να καθορίζουν την κατεύθυνση των σφαλμάτων που εμφανίζονται στο επιτηρούμενο δίκτυο και έτσι να βοηθούν τις υπόλοιπες προστασίες του συστήματος προστασίας να επιτελέσουν σωστά το έργο τους. Οι H/N αυτοί δέχονται δύο μεγέθη ως εισόδους για να λειτουργήσουν. Το ένα από αυτά θεωρείται ως μέγεθος αναφοράς και αποτελεί την πόλωση, δηλαδή το διάνυσμα που χρησιμοποιείται σε σύγκριση με το άλλο για να καθοριστεί η λειτουργία ή μη του H/N και συνεπώς η φορά του σφάλματος.

Όταν το στοιχείο κατεύθυνσης πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για να αναγνωρίζει τη φορά σφαλμάτων μεταξύ φάσεων, τότε η πόλωση που χρησιμοποιείται είναι η τάση του δικτύου, διότι η αλλαγή που επέρχεται στη γωνία αυτής κατά τη διάρκεια τέτοιων σφαλμάτων είναι πολύ μικρή. Αν, πάλι, επιθυμείται το στοιχείο κατεύθυνσης να αναγνωρίζει τη φορά σφαλμάτων γης, τότε η πόλωση μπορεί να είναι είτε η τάση μηδενικής ακολουθίας  $3V_0$ , είτε το ρεύμα του ουδετέρου, το οποίο κατά τα εν λόγω σφάλματα είναι σχεδόν σε φάση με το ρεύμα σφάλματος.

Ο Πίνακας 1.2 συνοψίζει τις διάφορες συνδέσεις στοιχείων κατεύθυνσης με πόλωση τάσης που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές. Οι υπ' αριθμόν 4 και 5 είναι οι πλέον διαδεδομένες.

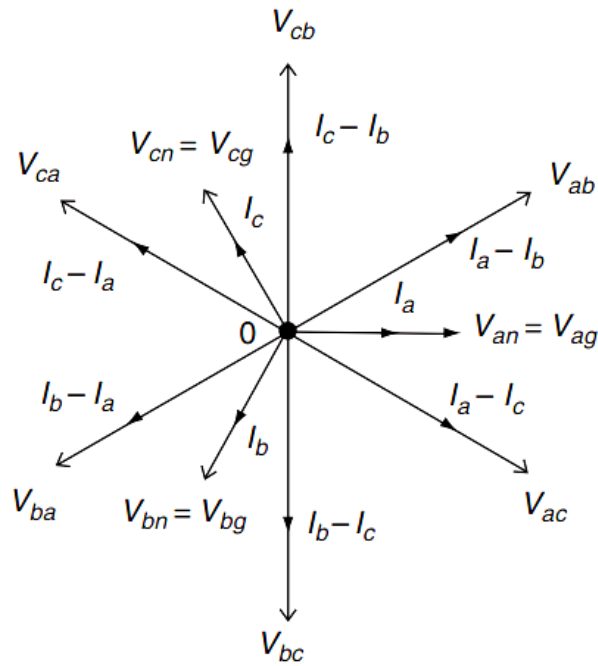
A/A	Σύνδεση <sup>1</sup>	Φάση A		Φάση B		Φάση C		Μέγιστη ευαισθησία <sup>2</sup>
1	30°	$I_a$	$V_{ac}$	$I_b$	$V_{ba}$	$I_c$	$V_{cb}$	I επιπορεύεται 30°
2	60° (τριγώνου)	$I_a-I_b$	$V_{ac}$	$I_b-I_c$	$V_{ba}$	$I_c-I_a$	$V_{cb}$	I επιπορεύεται 60°
3	60° (αστέρα)	$I_a$	$-V_c$	$I_b$	$-V_a$	$I_c$	$-V_b$	I επιπορεύεται 60°
4	90°	$I_a$	$V_{bc}$	$I_b$	$V_{ca}$	$I_c$	$V_{ab}$	I επιπορεύεται 45°
5	90°	$I_a$	$V_{bc}$	$I_b$	$V_{ca}$	$I_c$	$V_{ab}$	I επιπορεύεται 60°

<sup>1</sup> Η ονομασία δίνεται με βάση τη γωνία προπορείας των ρευμάτων για μοναδιαίο συντελεστή ισχύος σε σχέση με τις αντίστοιχες τάσεις πόλωσης.

<sup>2</sup> Η επιπορεία μετριέται σε σχέση με τη θέση του I για μοναδιαίο συντελεστή ισχύος.

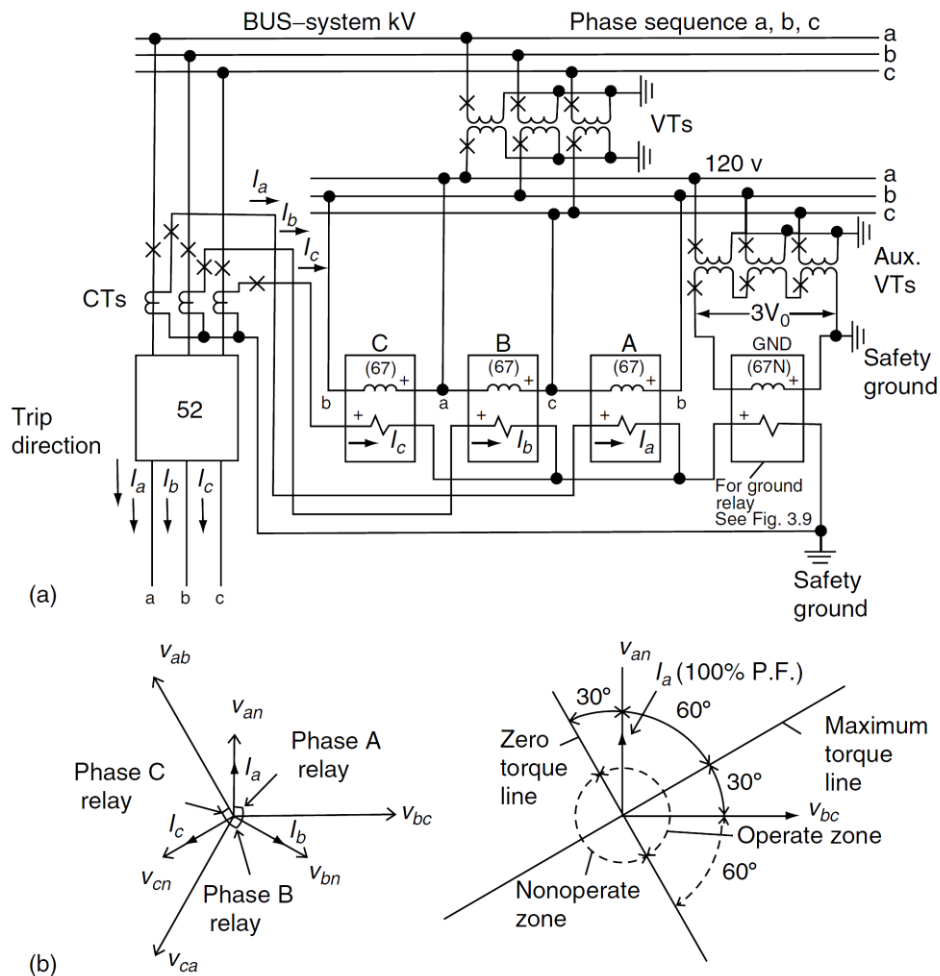
Πίνακας 1.2: Σύνοψη συνδέσεων στοιχείων κατεύθυνσης όταν εφαρμόζεται πόλωση τάσης [3]



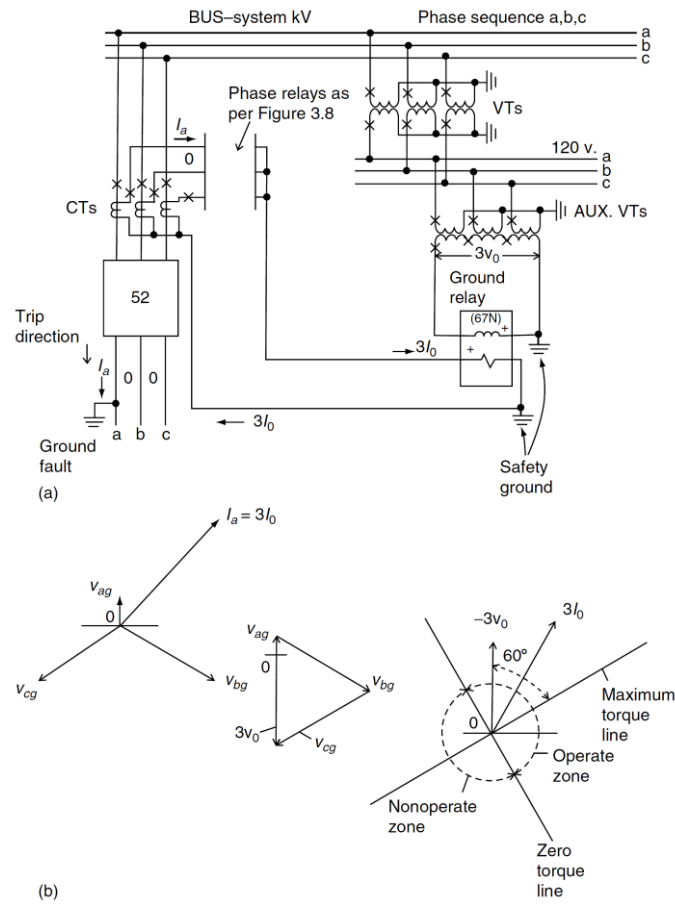


Εικόνα 1.19: Τάσεις και ρεύματα ενός τριφασικού συμμετρικού Σ.Η.Ε. [3]

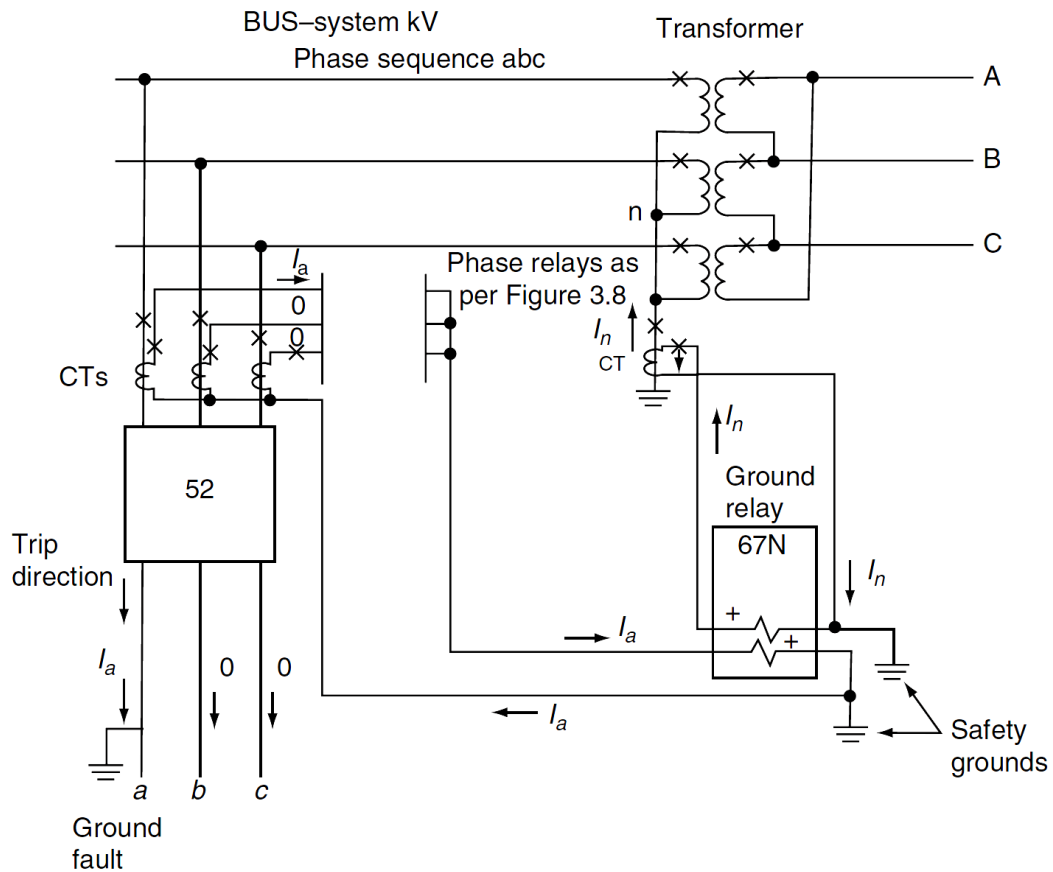
Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται συνδέσεις στοιχείων κατεύθυνσης που χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές.



Εικόνα 1.20: Σύνδεση 90° για ανίχνευση κατεύθυνσης σφαλμάτων φάσεων με πόλωση τάσης [3]



Εικόνα 1.21: Σύνδεση για ανίχνευση κατεύθυνσης σφαλμάτων γης με πόλωση τάσης [3]



Εικόνα 1.22: Σύνδεση για ανίχνευση κατεύθυνσης σφαλμάτων γης με πόλωση ρεύματος [3]

### 1.3.3 Προστασία υπερεντάσεως

Ως υπερένταση ορίζεται ένταση ρεύματος επιτηρούμενου δικτύου μεγαλύτερη τουλάχιστον κατά δύο φορές της ονομαστικής. Η προστασία υπερεντάσεως χρησιμοποιείται σαν πρωτεύουσα και δευτερεύουσα προστασία για σφάλματα φάσεων και γης σε όλα τα επίπεδα τάσης του δικτύου, διότι είναι η πιο οικονομική. Η εφαρμογή αλλά και η απόδοσή της ευνοείται σε περιπτώσεις δικτύων απλής τροφοδότησης, δηλαδή δικτύων που τροφοδοτούνται από μόνο μία πλευρά. Αντιθέτως, στα βροχοειδή δίκτυα, τα οποία εν γένει έχουν περισσότερα σημεία τροφοδότησης, η προστασία υπερεντάσεως δεν επαρκεί για να λειτουργήσει σωστά και επιλογικά ένα σύστημα προστασίας και έτσι επιστρατεύονται μαζί με αυτή και στοιχεία κατεύθυνσης.

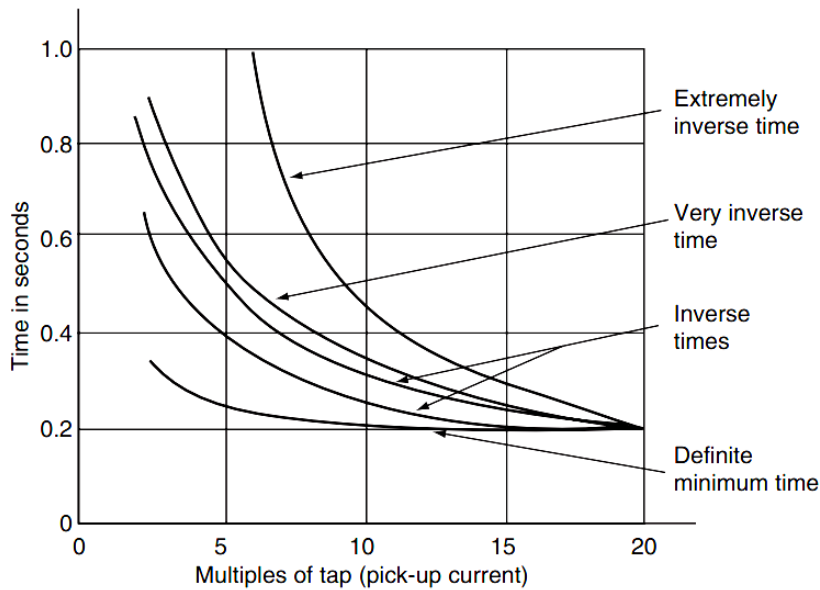
Ο τρόπος λειτουργίας της προστασίας υπερεντάσεως αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα ηλεκτρονόμου ανίχνευσης επιπέδου. Λαμβάνει από το επιτηρούμενο δίκτυο το μέγεθος του ρεύματος και καλείται, βάσει της σύγκρισης μεταξύ της τιμής αυτού και των ρυθμίσεών του, να αποφασίσει αν υπάρχει κάποιο σφάλμα στο δίκτυο ώστε να δώσει εντολή και να προσπαθήσει να το απομονώσει.

Οι Η/Ν υπερεντάσεως επιδέχονται δύο βασικές ρυθμίσεις. Η πρώτη είναι η ένταση λειτουργίας τους (pickup setting), η οποία δεν είναι τίποτε άλλο παρά η τιμή του ρεύματος, υπέρβαση της οποίας σηματοδοτεί την ύπαρξη σφάλματος στο δίκτυο και συνεπώς την λειτουργία της προστασίας. Η επιλογή αυτής της τιμής θα πρέπει να βασιστεί σε κατάλληλη μελέτη προστασίας και να τεθεί πάνω από την τιμή λειτουργίας του δικτύου υπό κανονικές συνθήκες και κάτω από την ελάχιστη τιμή σφάλματος που μπορεί να προκύψει, προσπαθώντας παράλληλα να επιτευχθεί και λειτουργία δευτερεύουσας προστασίας όπου αυτό είναι θεμιτό. Η δεύτερη διαθέσιμη ρύθμιση του Η/Ν αυτού είναι ο χρόνος λειτουργίας του (time dial setting – TDS), ο οποίος ρυθμίζεται με κατάλληλο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η επιλογικότητα του συστήματος προστασίας, όταν αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί αποκλειστικά με τη ρύθμιση του ρεύματος λειτουργίας. Πρακτικά, δύσκολα θα βρει κανείς εφαρμογή προστασίας υπερεντάσεως στην οποία εξασφαλίζεται η επιλογικότητα μόνο με την ρύθμιση της έντασης λειτουργίας γιατί κάτι τέτοιο απαιτεί την ύπαρξη σημαντικών διαφορών μεταξύ των ρευμάτων σφάλματος στο δίκτυο. Οι τυπικές ρυθμίσεις του χρόνου λειτουργίας ξεκινούν από το 0.5 και καταλήγουν στο 10, με τον μικρότερο αριθμό να αντιστοιχεί και σε ταχύτερη λειτουργία της προστασίας.

Βάσει της σχέσης χρόνου-εντάσεως λειτουργίας, διακρίνονται τα εξής είδη Η/Ν υπερεντάσεως:

- **Στιγμιαίοι (instantaneous)**, οι οποίοι λειτουργούν άμεσα μόλις ανιχνευθεί ρεύμα ίσο ή παραπάνω από το ρεύμα λειτουργίας.
- **Σταθερού χρόνου (definite-time)**, οι οποίοι λειτουργούν σε συγκεκριμένο χρόνο για οποιοδήποτε ρεύμα ίσο ή πάνω από το ρεύμα λειτουργίας.
- **Αντιστρόφου χρόνου (inverse-time)**, οι οποίοι λειτουργούν, εφόσον το ρεύμα έχει υπερβεί την έντασης λειτουργίας τους, ταχύτερα για υψηλά ρεύματα και πιο αργά για ρεύματα κοντά στην ένταση λειτουργίας τους.

Στην Εικόνα 1.23 φαίνονται μερικές τυπικές μορφές χαρακτηριστικών καμπυλών για Η/Ν υπερεντάσεως.

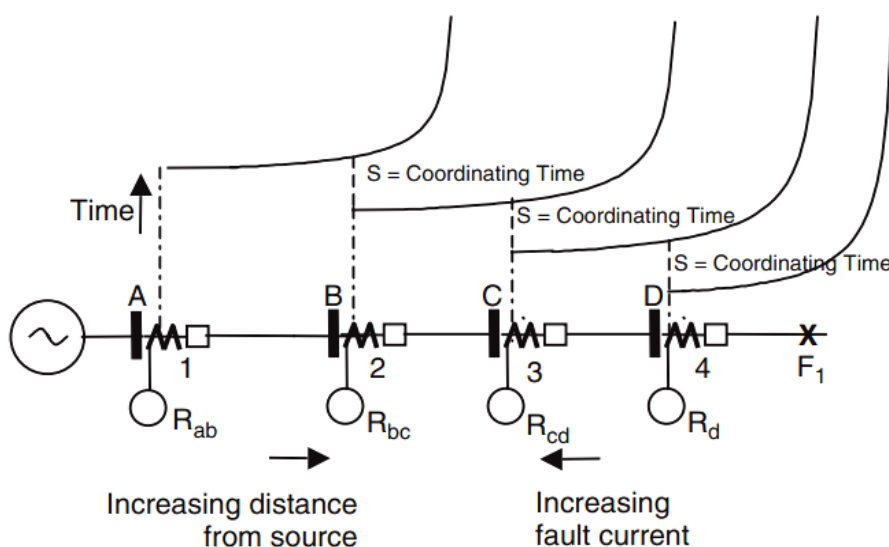


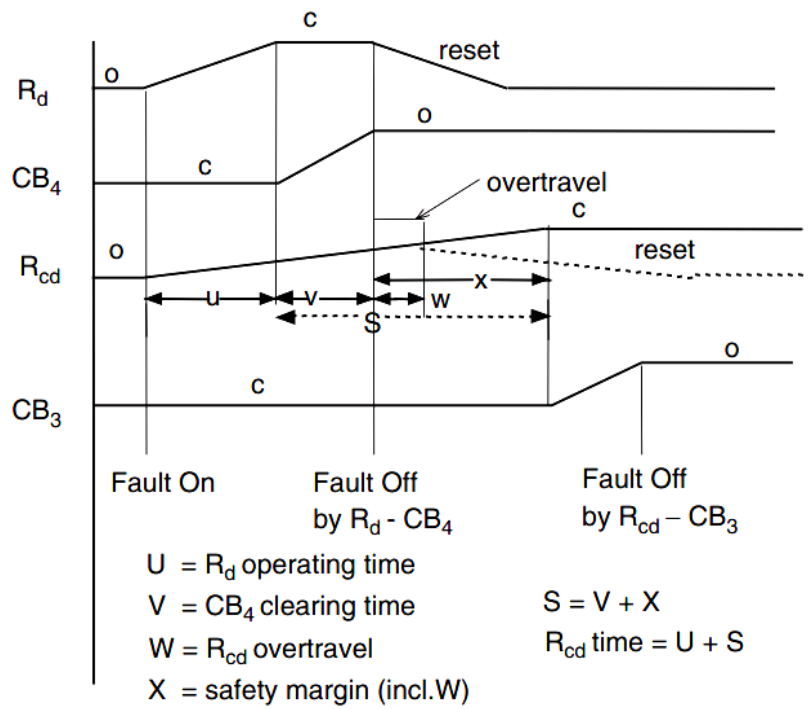
Εικόνα 1.23: Τυπική μορφή χαρακτηριστικών καμπυλών H/N υπερεντάσεως [3]

Για την επίτευξη καλής επιλογικής συνεργασίας μεταξύ των H/N υπερεντάσεως μέσω της ρύθμισης των χρόνων λειτουργίας τους, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι εξής καθυστερήσεις που υπεισέρχονται:

- **Χρόνος εκκαθάρισης (clearing time) σφάλματος από διακόπτη ισχύος**, ο οποίος ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μεταξύ της έλευσης της εντολής για λειτουργία του διακόπτη ισχύος μέχρι αυτό να επιτευχθεί και να σβήσει το τόξο μεταξύ των επαφών του.
- **Χρόνος υπερακοντίσεως (overtravel)**, που είναι ο χρόνος μέχρι να καταλάβει ο ηλεκτρονόμος δευτερεύουσας προστασίας ότι έχει λειτουργήσει ο H/N πρωτεύουσας προστασίας, ώστε να γυρίσει στην θέση επαναφοράς του.
- **Χρόνος ασφαλείας (safety margin)** είναι μία καθυστέρηση που εισάγεται ηθελημένα ώστε να συμπεριληφθούν τυχόν σφάλματα των μετατροπέων του συστήματος προστασίας αλλά και τα σφάλματα των ίδιων των H/N.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται ένα παράδειγμα επιλογικής συνεργασίας H/N υπερεντάσεως στο οποίο φαίνεται και ο συνυπολογισμός των χρονικών καθυστερήσεων που μόλις αναφέρθηκαν.



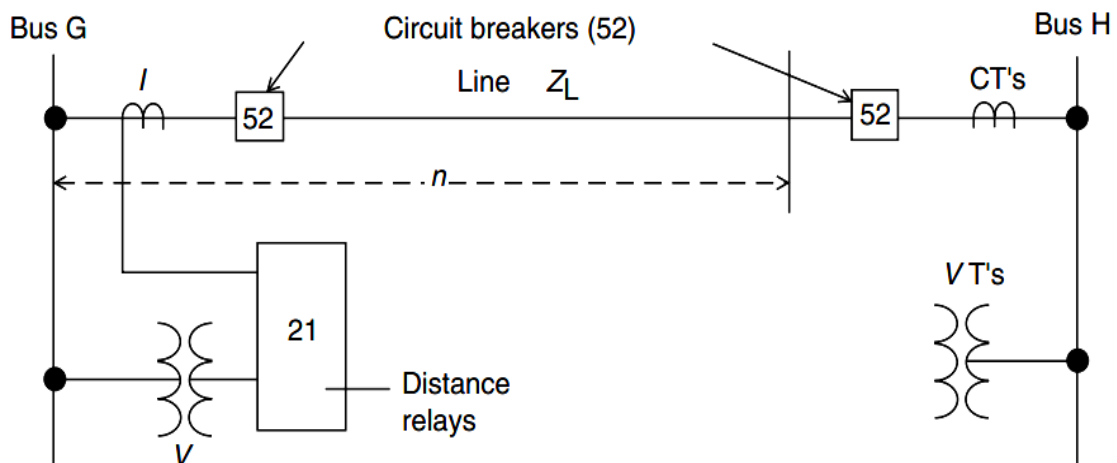


Εικόνα 1.24: Παράδειγμα ρύθμισης επιλογικής συνεργασίας H/N υπερεντάσεως σε δίκτυο απλής τροφοδότησης, λαμβάνοντας υπόψη τις διάφορες χρονικές καθυστερήσεις [2]

Τέλος, είναι άξιο επισημάνσης ότι, στις περιπτώσεις δικτύων βροχοειδούς μορφής, όπου χρησιμοποιούνται H/N υπερεντάσεως μαζί με στοιχεία κατεύθυνσης, η μεταξύ τους σύνδεση γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε η λειτουργία των H/N υπερεντάσεως να επιτρέπεται μόνο αφού το στοιχείο κατευθύνσεως δείξει ότι υπάρχει σφάλμα προς την επιθυμητή κατεύθυνση.

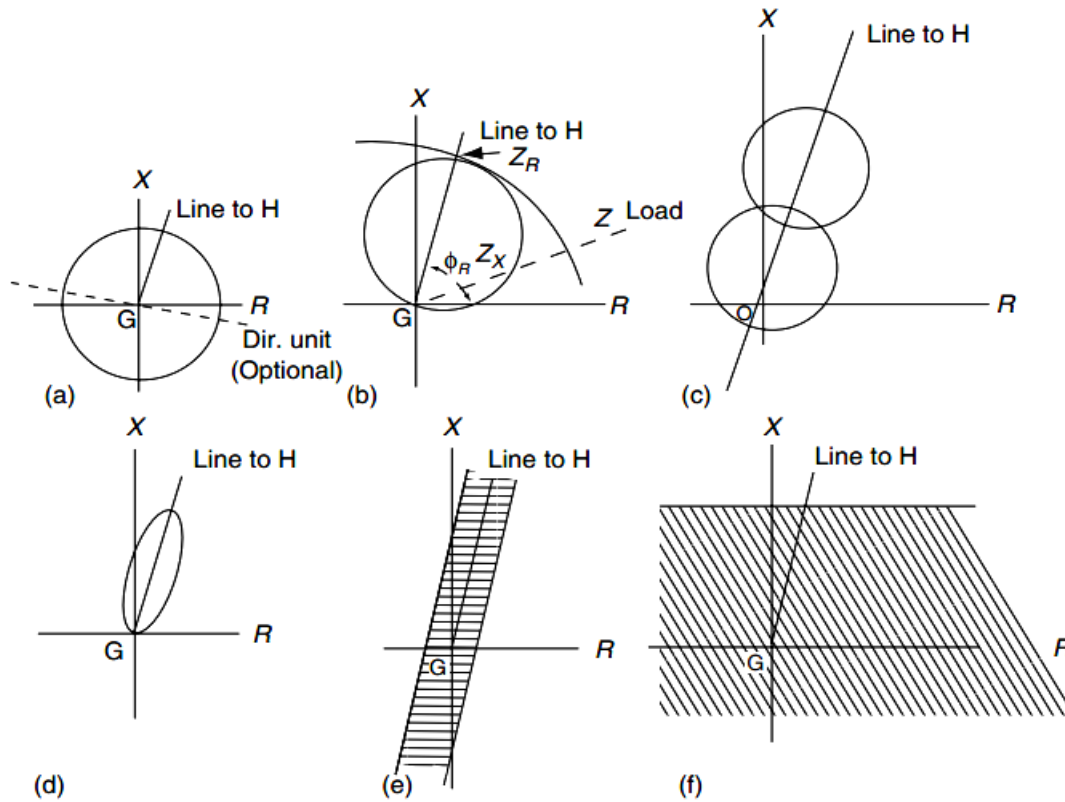
### 1.3.4 Προστασία αποστάσεως

Η προστασία αποστάσεως συναντάται συνήθως ως πρωτεύουσα και δευτερεύουσα προστασία στις γραμμές μεταφοράς. Όπως κανείς αντιλαμβάνεται εύκολα από την ονομασία της, η προστασία αυτή λειτουργεί με βάση την απόσταση του σφάλματος από τον Η/Ν. Στην πραγματικότητα, βέβαια, ο ηλεκτρονόμος δεν επιτηρεί την απόσταση από κάποιο σφάλμα, αλλά το διάνυσμα της σύνθετης αντίστασης μεταξύ του ιδίου και του εκάστοτε σφάλματος, μέσω κατάλληλα συνδεδεμένων Μ/Σ τάσης και έντασης.



Εικόνα 1.25: Παράδειγμα εφαρμογής H/N αποστάσεως για προστασία γραμμής μεταφοράς [3]

Το διάνυσμα σύνθετης αντίστασης που μετρούν οι Η/Ν αποστάσεως όπως και η χαρακτηριστική λειτουργίας τους μπορεί να αποτυπωθεί σε ένα διάγραμμα R-X. Όταν το εν λόγω διάνυσμα βρεθεί εντός του χωρίου που ορίζει η εκάστοτε χαρακτηριστική λειτουργίας, τότε ο ηλεκτρονόμος αναγνωρίζει την ύπαρξη σφάλματος και λειτουργεί προσπαθώντας να το απομονώσει. Στην Εικόνα 1.26 φαίνονται οι πιο διαδεδομένες χαρακτηριστικές λειτουργίας ηλεκτρονόμων αποστάσεως.



Εικόνα 1.26: Οι τυπικές χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας των Η/Ν αποστάσεως | (a) τύπου impedance | (b) τύπου mho | (c) τύπου offset mho | (d) τύπου φακού | (e) τύπου παραβόλων | (f) τύπου reactance [3]

Η χαρακτηριστική τύπου impedance είναι ένας κύκλος με κέντρο την αρχή των αξόνων του διαγράμματος R-X και ρυθμιζόμενη ακτίνα. Πρόκειται για μία από τις παλαιότερες χαρακτηριστικές λειτουργίας, η οποία έχει πλέον εγκαταλειφθεί. Το βασικό της μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορεί να διακρίνει την κατεύθυνση των σφαλμάτων, πράγμα το οποίο καθιστούσε αναγκαία τη χρήση της σε συνδυασμό με στοιχεία κατεύθυνσης.

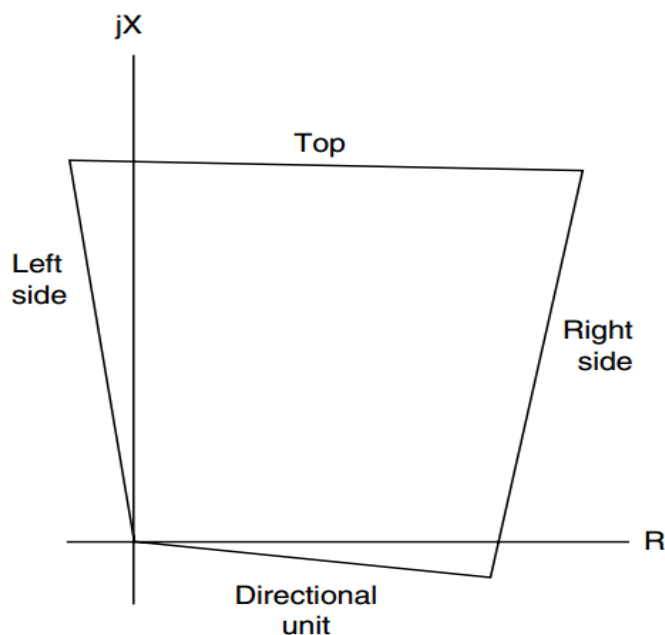
Η χαρακτηριστική τύπου mho είναι και πάλι ένας κύκλος, ο οποίος εφάπτεται στην αρχή των αξόνων υπό ρυθμιζόμενη γωνία και ακτίνα. Η χαρακτηριστική αυτή δεν έχει ανάγκη από στοιχεία κατεύθυνσης και είναι ευαίσθητη σε ρεύματα σφάλματος που επιπορεύονται  $60^{\circ}$ - $85^{\circ}$  σε αντίθεση με τα ρεύματα των φορτίων που γενικά επιπορεύονται  $0^{\circ}$ - $30^{\circ}$ .

Η χαρακτηριστική τύπου offset mho προκύπτει από αυτή του mho και διαφέρει μόνο στο ότι είναι μετατοπισμένη είτε προς το πάνω είτε προς τα κάτω, σε σχέση πάντα με την κλίση που του έχει ανατεθεί. Η χαρακτηριστική αυτή είναι ιδιαίτερος χρήσιμη στην περίπτωση που η προστασία αποστάσεως πρέπει να αντιμετωπίσει ένα σφάλμα μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής τάσεως, για το οποίο δεν μπορεί να προσδιοριστεί ακριβώς σε ποιο σημείο γύρω από την αρχή των αξόνων θα βρεθεί το μετρούμενο διάνυσμα της σύνθετης αντίστασης με άμεσο κίνδυνο να μην λειτουργήσει η προστασία αν δεν συμπεριλαμβάνονταν τα περίξ της αρχής των αξόνων σημεία.

Οι χαρακτηριστικές τύπου φακού και παρωπίδων χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που πρόκειται να προστατευθούν γραμμές μεταφοράς που είναι μεγάλες σε μήκος και αρκετά φορτισμένες. Η υψηλή φόρτιση των γραμμών μεταφοράς κάνει τον ηλεκτρονόμο αποστάσεως να μετρά μικρότερη σύνθετη αντίσταση με άμεσο κίνδυνο να λειτουργήσει χωρίς να υπάρχει ουσιαστικά κανένας λόγος.

Η χαρακτηριστική τύπου reactance είναι ένα τετράπλευρο, η μία πλευρά του οποίου είναι μία ευθεία παράλληλη στον άξονα των  $R$ , ενώ οι υπόλοιπες τρεις εκτείνονται προς το άπειρο. Αυτή η χαρακτηριστική, όπως και η τύπου impedance, δεν αναγνωρίζει κατεύθυνση αφού εμπεριέχει και τα τέσσερα τεταρτημόρια, γεγονός το οποίο αυξάνει τον κίνδυνο εσφαλμένης λειτουργίας της για σφάλματα πίσω από τον ηλεκτρονόμο αποστάσεως αλλά και για υψηλά φορτία και ταλαντώσεις του συστήματος. Για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα, η χαρακτηριστική αυτή δύναται να περιοριστεί από έναν ανιχνευτή σφάλματος τύπου mho.

Η εξέλιξη στην τεχνολογία των μικροϋπολογιστών και κατά συνέπεια η ανάπτυξη των ψηφιακών ηλεκτρονόμων, έδωσε στους μηχανικούς μεγαλύτερη ευελιξία όσον αφορά την μορφή της χαρακτηριστικής λειτουργίας των H/N αποστάσεως. Μία πολύ χρήσιμη χαρακτηριστική, η οποία παρουσίαζε πολλές πρακτικές δυσκολίες στη χρήση της πριν την έλευση των ψηφιακών ηλεκτρονόμων, φαίνεται στην Εικόνα 1.27 και ονομάζεται τύπου τετράπλευρου. Πρόκειται για μία χαρακτηριστική, η οποία είναι συνδυασμός τεσσάρων μετρητικών μονάδων. Η άνω πλευρά είναι μία reactance μονάδα, η αριστερή και δεξιά πλευρά είναι μονάδες αντίστασης και η κάτω πλευρά μία μονάδα κατεύθυνσης. Οι πλευρές αυτές μπορούν να ρυθμιστούν στο κατάλληλο μήκος και κλίση ώστε να συμπεριλάβουν ακριβώς το κομμάτι τιμών  $R-X$  στο οποίο πρέπει να λειτουργεί ο ψηφιακός H/N.



Εικόνα 1.27: Χαρακτηριστική H/N αποστάσεως τύπου τετράπλευρου [3]

## 1.4 Βασικές αρχές γείωσης Σ.Η.Ε.

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούν συνοπτικά οι τρόποι γείωσης που απαντώνται στα διάφορα μέρη ενός δικτύου και οι οποίοι επηρεάζουν καίρια τον τρόπο ρύθμισης των ηλεκτρονόμων ενός συστήματος προστασίας.

### 1.4.1 Βασικοί στόχοι & είδη γείωσης

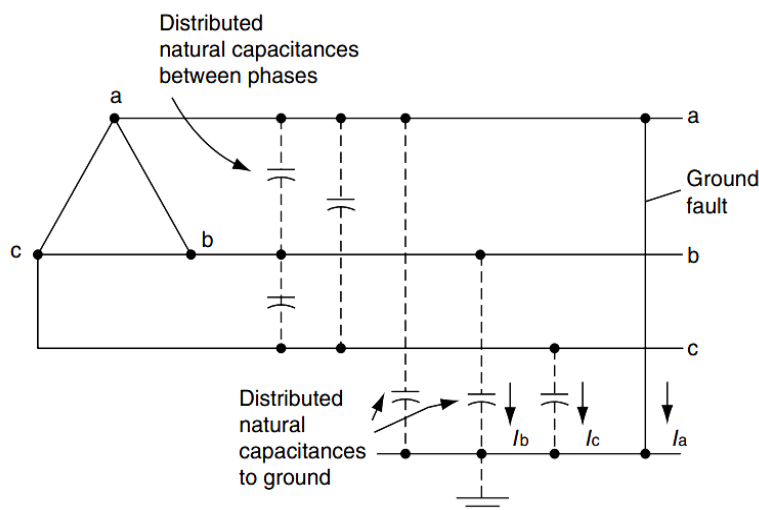
Οι βασικοί στόχοι της γείωσης των δικτύων είναι γενικά η ελαχιστοποίηση τυχόν μεταβατικών υπερτάσεων, η συμμόρφωση με τους τοπικούς, εθνικούς και διεθνείς κανονισμούς προστασίας προσωπικού και η διευκόλυνση των συστημάτων προστασίας ως προς τη γρήγορη ανίχνευση και απομόνωση των σφαλμάτων.

Υπάρχουν, έτσι, τέσσερα διαφορετικά είδη Σ.Η.Ε. αναλόγως της γείωσης που χρησιμοποιείται, κάθε ένα από τα οποία παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Αυτά είναι τα:

- Αγείωτα
- Γειωμένα με υψηλής τιμής σύνθετη αντίσταση
- Γειωμένα με μικρής τιμής σύνθετη αντίσταση
- Απευθείας γειωμένα

### 1.4.2 Αγείωτα Σ.Η.Ε.

Στα αγείωτα Σ.Η.Ε. δεν υπάρχει καμία ηθελημένα εγκατεστημένη γείωση, παρά μόνο η φυσική χωρητικότητα μεταξύ του συστήματος και της γης. Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του είδους Σ.Η.Ε. είναι ότι τα επίπεδα των ρευμάτων λόγω σφαλμάτων γης είναι εξαιρετικά μικρά και συνεπώς η φθορά του εξοπλισμού μηδαμινή. Ακόμη, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην χρειάζεται ταχεία απομόνωση του σφάλματος, πράγμα το οποίο οδηγεί σε υψηλά ποσοστά διατήρησης της συνέχειας λειτουργίας του συστήματος.



Εικόνα 1.28: Ένα αγείωτο Σ.Η.Ε. κατά την διάρκεια ενός μονοφασικού σφάλματος προς γη [3]

Από τα παραπάνω, θα μπορούσε να πει κανείς ότι αυτό είναι το καλύτερο είδος Σ.Η.Ε. Κάτι τέτοιο, όμως, δεν είναι σωστό. Αποδεικνύεται ότι τα συστήματα αυτά κινδυνεύουν από την ανάπτυξη υψηλών και επικίνδυνων για το προσωπικό αλλά και τον εξοπλισμό μεταβατικών υπερτάσεων κατά την απομόνωση των σφαλμάτων. Ακόμη, λόγω των μικρών επιπέδων ρευμάτων

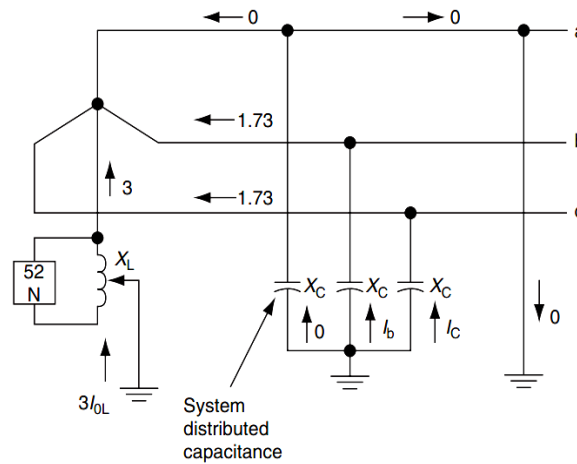


σφάλματος, η ανίχνευσή τους μπορεί να απαιτεί την εφαρμογή ειδικών μεθόδων. Γι' αυτό και στην πράξη, απολύτως αργειώτα συστήματα δεν συναντώνται συχνά.

### 1.4.3 Γειωμένα Σ.Η.Ε. με σύνθετη αντίσταση υψηλής τιμής

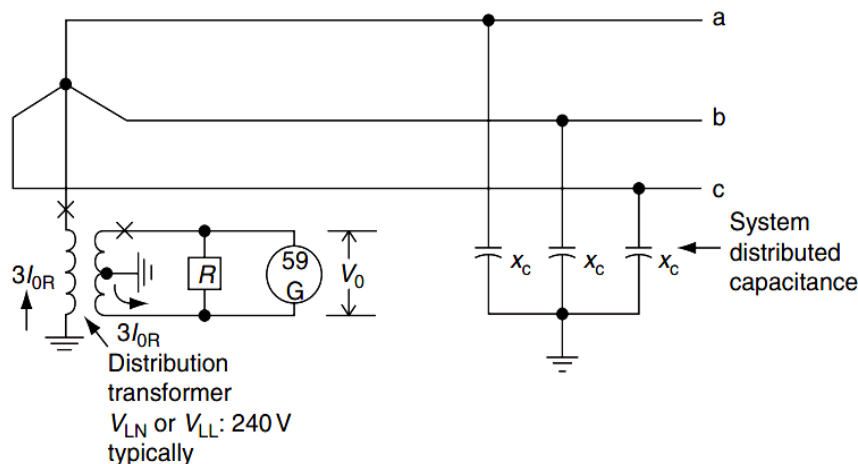
Τα Σ.Η.Ε. που είναι γειωμένα με σύνθετη αντίσταση υψηλής τιμής διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Αυτά που χρησιμοποιούν το πηνίο του Petersen και αυτά που χρησιμοποιούν μια υψηλής τιμής αντίσταση.

Όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος του πηνίου Petersen, γίνεται προσπάθεια να ακυρωθεί η συνολική χωρητικότητα του συστήματος προς γη συνδέοντας στον ουδέτερο μία ίσου μέτρου επαγωγή. Έτσι, επιτυγχάνεται σχεδόν μηδενικό ρεύμα σφάλματος γης, ελαχιστοποιείται η πιθανότητα εμφάνισης μεταβατικών υπερτάσεων κατά την απομόνωσή του, ενώ εξακολουθεί να υπάρχει ευελιξία όσο αφορά την χρονική στιγμή που θα αποφασιστεί να απομονωθεί το σφάλμα μιας και η φθορά στον εξοπλισμό είναι σχεδόν αμελητέα με τόσο μικρά ρεύματα σφάλματος. Η μέθοδος του πηνίου Petersen εφαρμόζεται κυρίως σε γεννήτριες.



Εικόνα 1.29: Γείωση με πηνίο Petersen κατά τη διάρκεια μονοφασικού προς γη σφάλματος [3]

Όταν χρησιμοποιείται η μέθοδος γείωσης με αντίσταση υψηλής τιμής, μία αντίσταση ίσου μέτρου με την χωρητικότητα του συστήματος προς γη συνδέεται στον ουδέτερο. Με αυτό τον τρόπο, μειώνεται το ρεύμα σφάλματος ώστε να ελαχιστοποιηθεί η φθορά του εξοπλισμού και περιορίζονται σε μέτρο οι μεταβατικές υπερτάσεις. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται επίσης σε γεννήτριες αλλά και σε βιομηχανικές μονάδες.



Εικόνα 1.30: Γείωση με υψηλής τιμής αντίσταση [3]

#### **1.4.4 Γειωμένα Σ.Η.Ε. με σύνθετη αντίσταση μικρής τιμής**

Η γείωση ενός Σ.Η.Ε. με μία σύνθετη αντίσταση (πηνίο ή αντίσταση) μικρής τιμής στον ουδέτερο χρησιμοποιείται για να περιορίσει σε μια μέτρια τιμή τα ρεύματα σφάλματος και να δώσει έτσι τη δυνατότητα στο εκάστοτε σύστημα προστασίας να επιτύχει αρκετά καλή επιλογικότητα.

#### **1.4.5 Απευθείας γείωση Σ.Η.Ε.**

Απευθείας γείωση ενός Σ.Η.Ε. σημαίνει πρακτικά πάρα πολύ μικρής τιμής σύνθετη αντίσταση μεταξύ του ουδέτερου του συστήματος και της γης. Αποτέλεσμα αυτού είναι να εμφανίζεται ένα μεγάλο εύρος ρευμάτων σφάλματος που να ξεκινά από πολύ μικρές τιμές και να φτάνει έως και μεγαλύτερες από αυτές που εμφανίζονται σε ένα τριφασικό βραχυκύκλωμα. Κάτι τέτοιο δίνει τη δυνατότητα στο σύστημα προστασίας να ρυθμιστεί ευκολότερα ώστε να εντοπίζει και να απομονώνει επιλογικά τα σφάλματα.

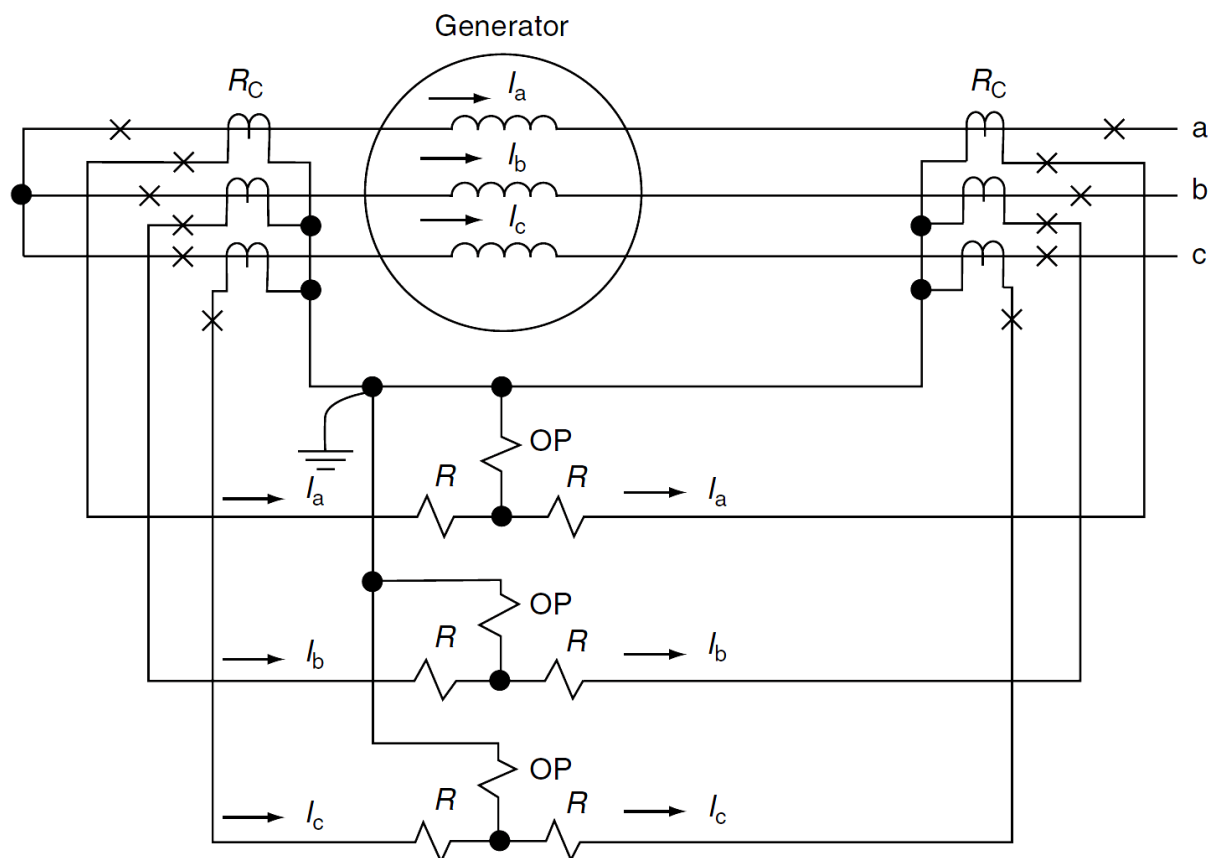
## 1.5 Προστασία γεννητριών

Οι σύγχρονες γεννήτριες αποτελούν θεμελιώδες δομικό στοιχείο ενός Σ.Η.Ε. τόσο λειτουργικά όσο και οικονομικά μιας και αποτελούν το κυρίαρχο μέσο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Για το λόγο αυτό, το σύστημα προστασίας τους θα πρέπει να εξασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία τους υπό κανονικές ή ανεκτώ υπερφορτισμένες συνθήκες, αλλά να τις απομονώνει εγκαίρως σε περίπτωση εμφάνισης εσωτερικών σφαλμάτων ή γενικά διαταραχών ή συνθηκών λειτουργίας που μπορούν να προκαλέσουν φθορές σε αυτές ή τα υπόλοιπα υποσυστήματα με τα οποία συνεργάζονται.

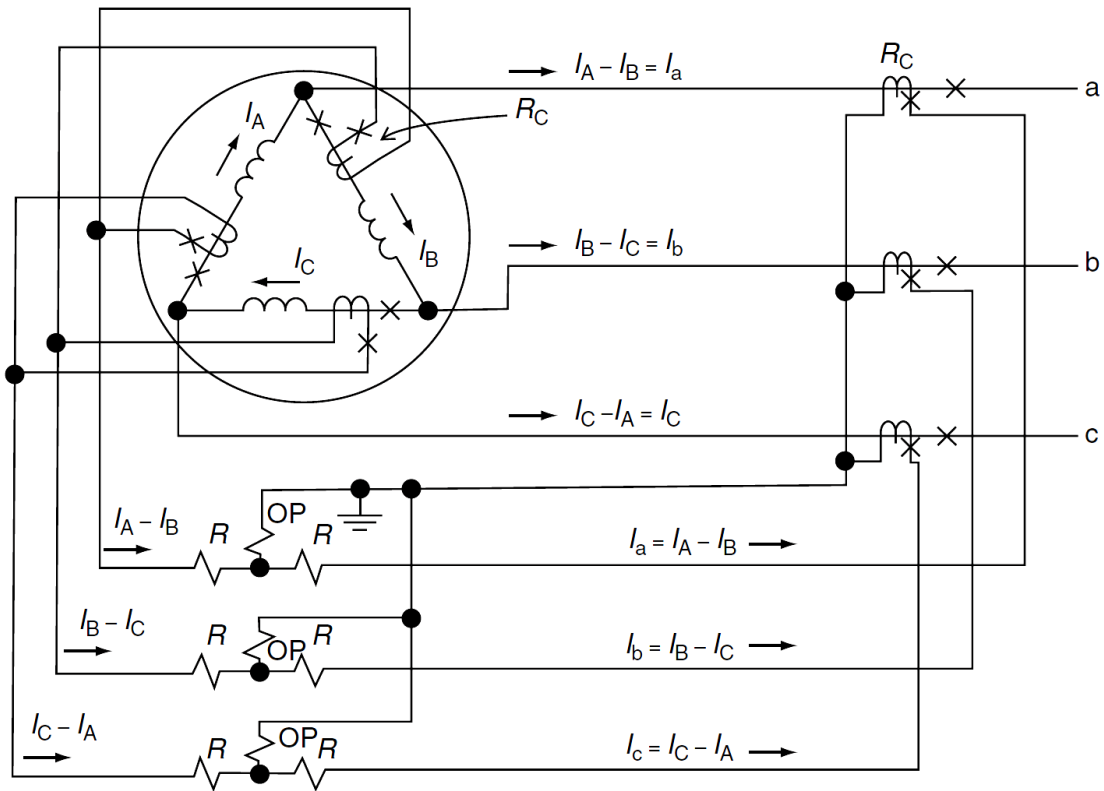
Τα σφάλματα ή διαταραχές από τις οποίες κινδυνεύει μία σύγχρονη γεννήτρια είναι τόσο ηλεκτρικής όσο και μηχανικής φύσεως. Βασικά αίτια αυτών των διαταραχών αποτελούν η γήρανση των μονώσεων των τυλιγμάτων του στάτη και του δρομέα ή η είσοδος υγρασίας σε αυτά, καθώς και οι μηχανικές καταπονήσεις τις οποίες υφίσταται η γεννήτρια κατά την κανονική λειτουργία της ή και κατά τη διάρκεια ύπαρξης σφαλμάτων στο δίκτυο.

### 1.5.1 Προστασία στάτη από σφάλματα μεταξύ φάσεων

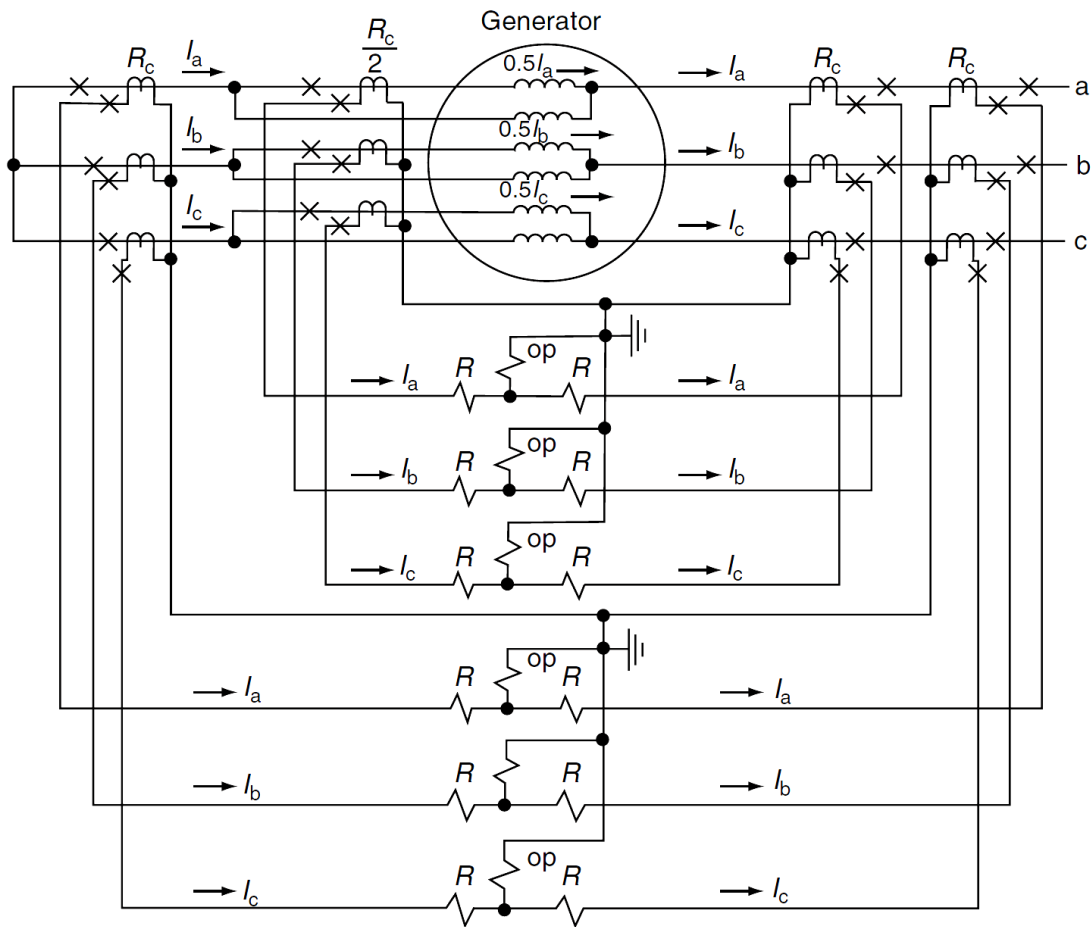
Όταν το μέγεθος της προστατευόμενης γεννήτριας είναι πάνω από 1 MVA και η λειτουργική και οικονομική της αξία θεωρείται σημαντική, αποτελεί γενική πρακτική η χρήση ενός σχήματος διαφορικής προστασίας για την προστασία του στάτη της από βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσεων. Στις παρακάτω εικόνες δίνονται οι τρόποι σύνδεσης της διαφορικής προστασίας για διάφορες συνδεσμολογίες του τυλίγματος στάτη των γεννητριών.



Εικόνα 1.31: Σύνδεση διαφορικής προστασίας σε γεννήτριες συνδεδεμένες κατά αστέρα [3]

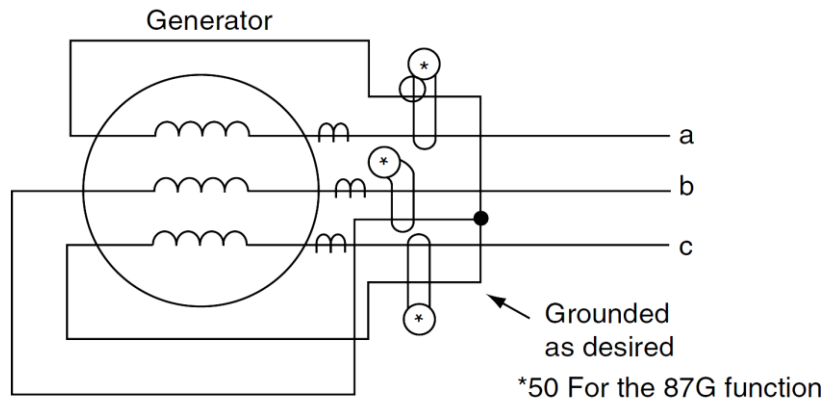


Εικόνα 1.32: Σύνδεση διαφορικής προστασίας σε γεννήτριες συνδεδεμένες κατά τρίγωνο [3]



Εικόνα 1.33: Σύνδεση διαφορικής προστασίας σε γεννήτριες που τα τυλίγματα τους έχουν χωριστεί στα δύο και υπάρχουν εγκατεστημένοι Μ/Σ εντάσεως στο ένα μισό του τυλίγματος [3]

Για γεννήτριες μικρότερες από 1 MVA και όχι τόσο σημαντικές λειτουργικά και οικονομικά, η μέθοδος προστασίας που γενικά προτιμάται είναι η χρήση ενός Μ/Σ άθροισης ροής σε συνδυασμό με έναν Η/Ν υπερεντάσεως στιγμιαίου χρόνου για κάθε φάση. Ο Μ/Σ άθροισης ροής λειτουργεί υπολογίζοντας το αλγεβρικό άθροισμα των ρευμάτων των αγωγών που περνούν από μέσα του. Έτσι, όταν ο ίδιος αγωγός περαστεί δύο φορές με την κατάλληλη φορά μέσα από αυτόν τον Μ/Σ προκύπτει μία διαφορική σύγκριση των ρευμάτων του. Στην Εικόνα 1.34 φαίνεται αυτό το είδος προστασίας.



Εικόνα 1.34: Διαφορική προστασία με χρήση Μ/Σ άθροισης ροής και Η/Ν υπερεντάσεως στιγμιαίου χρόνου για γεννήτριες μικρού μεγέθους [3]

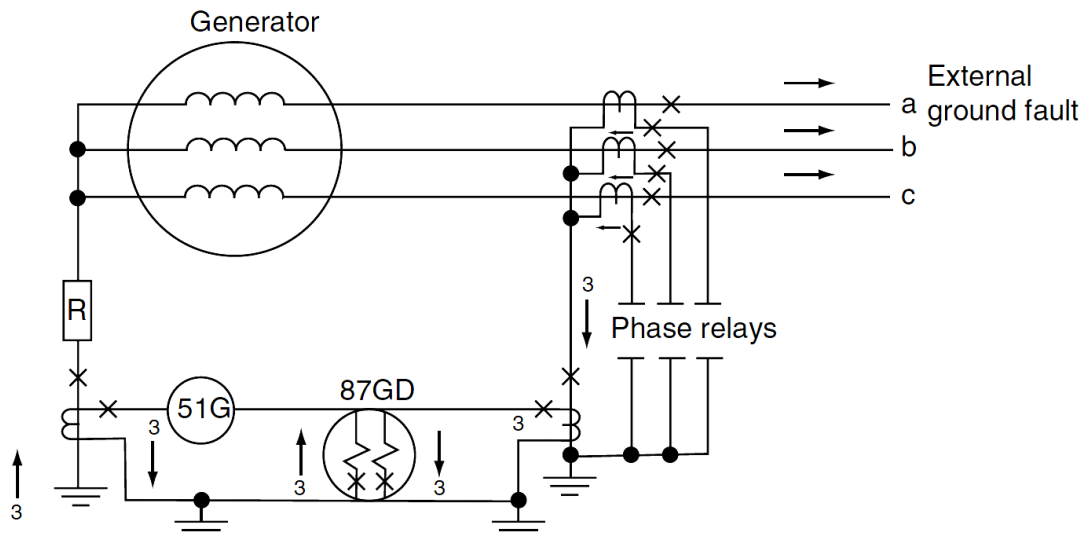
Ένας άλλος απλός τρόπος προστασίας που εφαρμόζεται σε μικρού μεγέθους γεννήτριες είναι η χρήση Η/Ν υπερεντάσεως στιγμιαίου ή αντιστρόφου χρόνου, οι οποίοι δέχονται ως εισόδους τα ρεύματα σφάλματος από τη μεριά του συστήματος. Φυσικά, αυτή η προστασία χρειάζεται συγχρονισμό με όλες τις ήδη υπάρχουσες και γενικά δεν είναι τόσο ευέλικτη.

Ως δευτερεύουσα προστασία έναντι των βραχυκυκλωμάτων μεταξύ φάσεων μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί ένας Η/Ν υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου περιορισμένος από τάση, ο οποίος λειτουργεί μόνο αφού αναγνωριστεί πτώση της τάσης λόγω κάποιου σφάλματος, είτε ένας Η/Ν αποστάσεως κατάλληλα συνδεδεμένος και ρυθμισμένος ώστε να αποκόπτει σφάλματα στη γεννήτρια χωρίς να δημιουργεί προβλήματα συνεργασίας με τους υπόλοιπους Η/Ν του δικτύου με τους οποίους μπορεί να συνεργάζεται.

### 1.5.2 Προστασία στάτη από σφάλματα γης

Για την εξασφάλιση της προστασίας του στάτη από βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσεων και γης, χρειάζεται να ληφθεί ειδική μέριμνα, διότι οι γεννήτριες είναι συνήθως γειωμένες με κάποια μη αμελητέα τιμή αντίστασης, πράγμα το οποίο περιορίζει το ρεύμα σφάλματος και κατά συνέπεια δυσκολεύει την ανίχνευσή του.

Για μικρού και μεσαίου μεγέθους γεννήτριες συνδεδεμένες σε αστέρα απευθείας γειωμένο ή γειωμένο με χαμηλή τιμή αντίστασης, η ήδη εγκατεστημένη διαφορική προστασία προσφέρει κάποια ασφάλεια έναντι τέτοιων σφαλμάτων, αλλά οφείλει να ενισχυθεί είτε με έναν Η/Ν υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου στον γειωμένο ουδέτερο, είτε με έναν Η/Ν διαφορικής σύγκρισης ρευμάτων μηδενικής ακολουθίας. Παρατίθεται εικόνα για τις εν λόγω πρόσθετες προστασίες.



Εικόνα 1.35: Προστασία στάτη από σφάλματα μεταξύ φάσεων και γης σε γεννήτριες μικρού ή μεσαίου μεγέθους [3]

Για την περίπτωση των αγείωτων γεννητριών, η καλύτερη προστασία από βραχυκυκλώματα φάσεων προς γη επιτυγχάνεται με τη χρήση H/N υπέρτασης συνδεδεμένων με κατάλληλο M/Σ που να τους τροφοδοτεί με τη τάση  $3V_0$ .

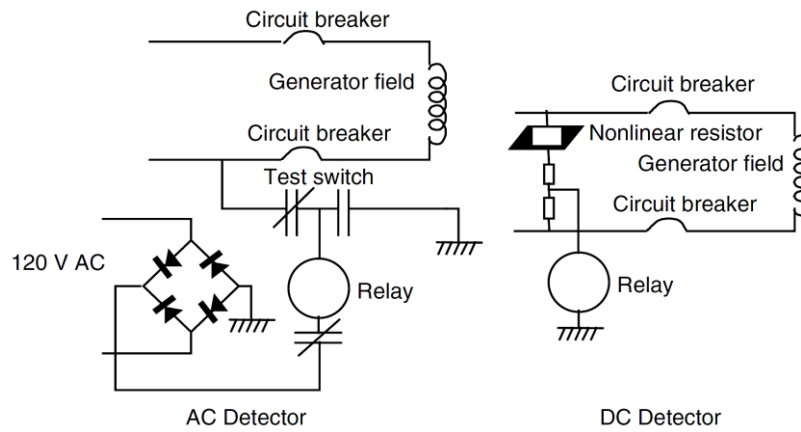
Για τις μεγάλου μεγέθους γεννήτριες που είναι γειωμένες με υψηλή τιμή αντίστασης, πρέπει να παρέχονται αρκετές προστασίες έναντι σφαλμάτων γης, ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης προστασία του τυλίγματος του στάτη. Μία από αυτές τις προστασίες είναι η χρήση ενός H/N υπέρτασης συνδεδεμένου να επιτηρεί τη τάση  $V_0$  της αντίστασης γείωσης, η οποία μπορεί να εντοπίσει σφάλματα γης μέχρι και το τύλιγμα τριγώνου του M/Σ ανυψώσεως της μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, παρέχοντας έτσι προστασία που αγγίζει το 90-95% του τυλίγματος στάτη. Ένας εναλλακτικός τρόπος προστασίας τέτοιων γεννητριών είναι η χρήση στιγμιαίων H/N υπερεντάσεως στον γειωμένο ουδέτερο με κατάλληλη ρύθμιση ώστε να μην λειτουργεί για τις φυσιολογικές ασυμμετρίες του δικτύου ή για εξωτερικά της γεννήτριας σφάλματα γης.

Τέλος, για την πλήρη προστασία του στάτη από σφάλματα κοντά στον κοινό κόμβο του αστέρα, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι που είτε θα αξιοποιούν κατάλληλα την 3<sup>η</sup> αρμονική συνιστώσα που εμφανίζεται στην κανονική λειτουργία των γεννητριών και το πώς αυτή μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια σφαλμάτων γης, είτε μέθοδοι έγχυσης ρεύματος υποαρμονικής συχνότητας.

### 1.5.3 Προστασία από σφάλματα του δρομέα

Το τύλιγμα του δρομέα μιας σύγχρονης γεννήτριας είναι εν γένει αγείοτο. Συνεπώς, όταν συμβεί κάποιο σφάλμα γης σε αυτό, δεν θα υπάρξει κάποια άμεσα επιβλαβής επίπτωση. Το σφάλμα αυτό, όμως, λόγω των καταπονήσεων που δημιουργεί στο τύλιγμα διέγερσης, μπορεί μετά από κάποιο χρονικό διάστημα να εξελιχθεί σε ένα νέο σφάλμα γης, το οποίο θα δημιουργήσει μεγάλη ασυμμετρία, υπερθέρμανση του πυρήνα του δρομέα και δονήσεις.

Δύο τυπικά σχήματα προστασίας από σφάλματα γης στο δρομέα μιας σύγχρονης γεννήτριας φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.36: Σχήματα προστασίας του τυλίγματος του δρομέα από βραχυκυκλώματα προς γη [2]

### 1.5.4 Προστασία από ασύμμετρη φόρτιση

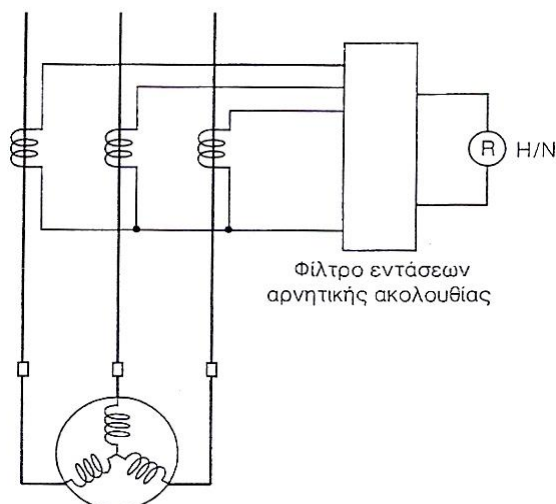
Με τον όρο «ασύμμετρη φόρτιση» εννοούμε οποιαδήποτε ασυμμετρία μπορεί να εμφανιστεί στα ρεύματα του στάτη, είτε αυτή προκύψει λόγω της εμφάνισης κάποιου ασύμμετρου σφάλματος στο δίκτυο, είτε λόγω της ασύμμετρης φύσης των φορτίων. Το πρόβλημα με την ασύμμετρη φόρτιση των γεννητριών είναι το ότι δημιουργεί ρεύματα αρνητικής ακολουθίας διπλάσιας συχνότητας (δινορρέυματα), τα οποία ρέουν στην επιφάνεια του δρομέα και προκαλούν υπερθέρμανση και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα τήξη του.

Για την αποφυγή αυτής της καταστρεπτικής για τη γεννήτρια προοπτικής, έχουν αναπτυχθεί πρότυπα, τα οποία προσδιορίζουν τον επιτρεπτό χρόνο  $t$  που μπορεί μια γεννήτρια να αντέξει ασύμμετρες φορτίσεις με ρεύματα αρνητικής ακολουθίας  $I_2$  χωρίς να υποστεί βλάβη, μέσω της σχέσεως

$$I_2^2 \cdot t = K$$

όπου το  $I_2$  είναι εκφρασμένο σε ανά μονάδα σύστημα με βάση τα ονομαστικά μεγέθη της γεννήτριας, το  $t$  σε δευτερόλεπτα και το  $K$  καθορίζεται από το σχεδιασμό της γεννήτριας.

Η προστασία από ασύμμετρες φορτίσεις συνίσταται στην εφαρμογή ενός H/N υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου, ο οποίος ρυθμίζεται με κατάλληλη χαρακτηριστική που να προσομοιάζει αυτής που περιγράφεται από την σχέση που μόλις περιγράψαμε. Στην Εικόνα 1.37 φαίνεται αυτό το σχήμα προστασίας.



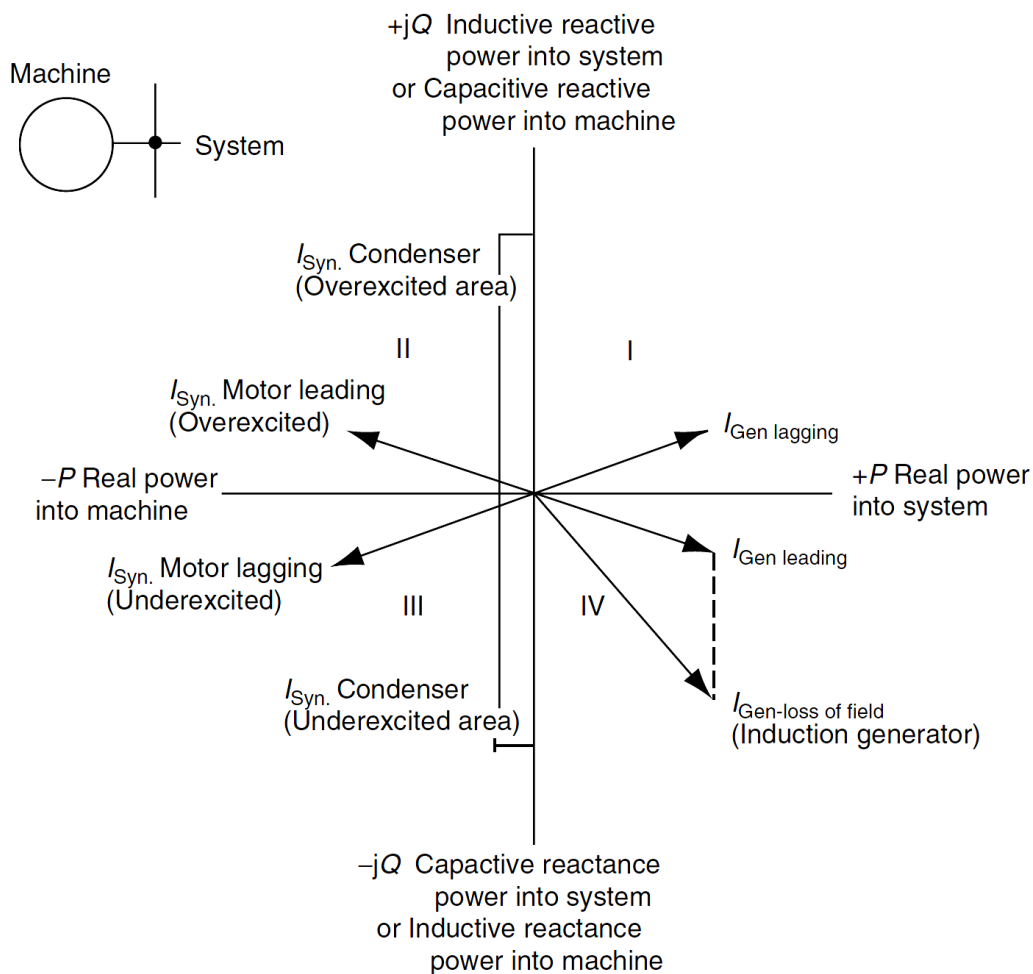
Εικόνα 1.37: Προστασία γεννήτριας από ασύμμετρη φόρτιση [10]

### 1.5.5 Προστασία από απώλεια της διεγέρσεως

Οι σύγχρονες μηχανές μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να παράγουν ή να καταναλώνουν ενεργό ή άεργο ισχύ κατά το δοκούν. Συνήθως, το ρεύμα διεγέρσεως των σύγχρονων μηχανών ρυθμίζεται κατάλληλα ώστε να παράγεται ενεργός ισχύς αλλά και μια μικρή ποσότητα αέργου ισχύος. Στην Εικόνα 1.38 φαίνονται οι περιοχές λειτουργίας μιας σύγχρονης μηχανής.

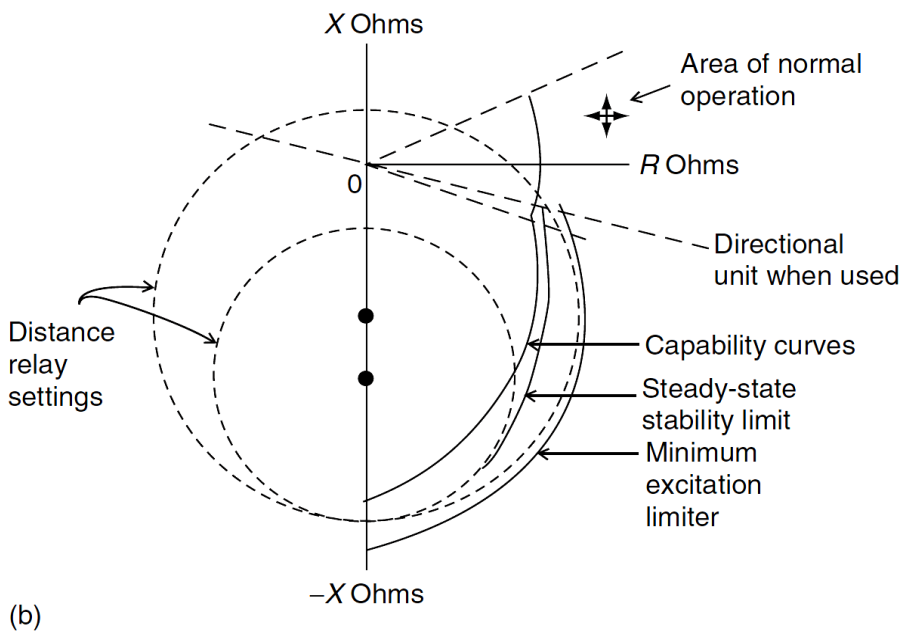
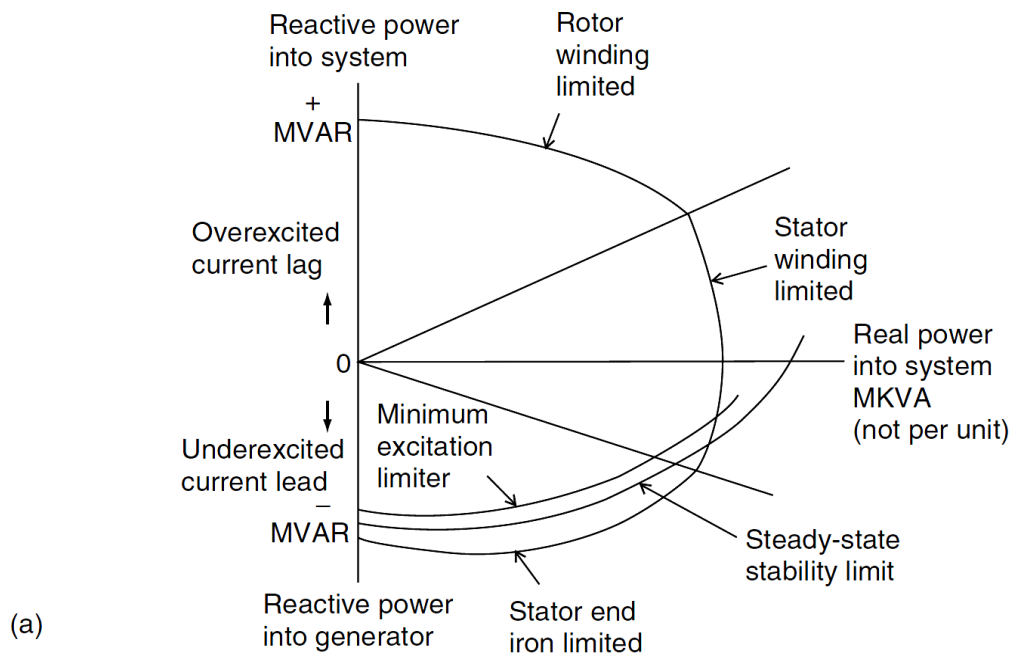
Όταν, για οποιοδήποτε λόγο, χαθεί ή μειωθεί το ρεύμα διεγέρσεως, η σύγχρονη γεννήτρια αρχίζει να συμπεριφέρεται ως ασύγχρονη γεννήτρια, η οποία συνεχίζει μεν να παράγει ενεργό ισχύ αλλά πλέον καταναλώνει άεργο. Σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας, η γεννήτρια κινδυνεύει από την υπερθέρμανση που δημιουργούν τα ρεύματα που επάγονται στα τυλίγματα αποσβέσεως και στα σιδηρά μέρη του δρομέα της καθώς και από τον κίνδυνο να βρεθεί σε αστάθεια λόγω της απουσίας της ελαχίστου τιμής εντάσεως διεγέρσεως.

Για την προστασία της γεννήτριας από αυτό το ενδεχόμενο, υπάρχουν τρεις μέθοδοι. Η πρώτη κάνει χρήση ενός κατάλληλου H/N υπο-έντασης στο κύκλωμα διεγέρσεως. Ο δεύτερη αξιοποιεί έναν H/N αποστάσεως κατάλληλα ρυθμισμένο ώστε να λειτουργεί σε ένα κομμάτι του R-X διαγράμματος που προκύπτει από τις χαρακτηριστικές ικανότητας και ευστάθειας της γεννήτριας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.39. Τέλος, ο τρίτος τρόπος χρησιμοποιεί έναν H/N κατευθύνσεως ισχύος που λειτουργεί όταν ανιχνεύσει ότι η γεννήτρια καταναλώνει άεργο ισχύ.



Εικόνα 1.38: Περιοχές λειτουργίας σύγχρονων μηχανών [3]





Εικόνα 1.39: Προστασία γεννήτριας από βλάβες λόγω απώλειας της διεγέρσεως | (a) Καμπύλες ικανότητας λειτουργίας και ευστάθειας σε άξονες ισχύος | (b) Ο μετασχηματισμός τους σε διάγραμμα R-X και η ρύθμιση της προστασίας αποστάσεως [3]

### 1.5.6 Προστασία από απώλεια της κινητήριας μηχανής

Στην περίπτωση που η γεννήτρια έχανε την κινητήρια μηχανή της ενώ λειτουργούσε κανονικά, θα άρχιζε να συμπεριφέρεται ως σύγχρονος κινητήρας απορροφώντας πλέον ισχύ από το δίκτυο. Το πρόβλημα σε αυτή την περίπτωση είναι ότι αυτή η κατάσταση υπερθερμαίνει την ίδια την κινητήρια μηχανή με άμεσο κίνδυνο να προκληθεί βλάβη τόσο εσωτερικά της όσο και στα περύγιά της.

Για να αποφευχθεί αυτός ο κίνδυνος, συνήθως χρησιμοποιείται ένας H/N αντιστρόφου ισχύος, ο οποίος λειτουργεί όταν ανιχνεύσει ότι η γεννήτρια απορροφά ενεργό ισχύ. Ο χρόνος λειτουργίας αυτής της προστασίας είναι περίπου στα 2 sec.

### 1.5.7 Προστασία από έντονη υπερδιέγερση – υπερτάσεις

Στην κανονική κατάσταση λειτουργίας τους, οι γεννήτριες λειτουργούν κοντά στο γόνατο της καμπύλης κορεσμού του σιδήρου τους. Συνεπώς, οποιαδήποτε υπέρταση κι αν εμφανισθεί, έχει άμεσο αντίκτυπο στην μαγνητική ροή και, αν αυτή δεν προσαρμοστεί κατάλληλα, η γεννήτρια απειλείται από εκτεταμένες φθορές.

Το ρεύμα διέγερσης της γεννήτριας, όταν αυτή λειτουργεί στην κανονική κατάσταση λειτουργίας, είναι μεγαλύτερο από αυτό που χρειάζεται όταν λειτουργεί στο κενό. Έτσι, είναι απαραίτητο, όταν παρουσιάζεται μείωση του φορτίου, το ρεύμα διέγερσης να μειώνεται ώστε να μειωθεί και η μαγνητική ροή. Την ευθύνη αυτή αναλαμβάνει το αυτόματο σύστημα ρύθμισης, το οποίο, όμως, δεν είναι άμοιρο σφαλμάτων.

Είναι γνωστό από τη θεωρία των ηλεκτρικών μηχανών ότι η μαγνητική ροή σε μία γεννήτρια είναι ανάλογη της τάσεως και αντιστρόφως ανάλογη της συχνότητας. Συνεπώς, για να προστατευθεί η γεννήτρια από μία τέτοια περίπτωση δυσλειτουργίας του αυτόματου συστήματος ρύθμισης του ρεύματος διέγερσης, χρησιμοποιείται ο  $H/N$  λόγου τάσης προς συχνότητα ή πιο σύντομα  $H/N$   $V/Hz$ , ο οποίος επιτηρεί συνεχώς αν αυτός ο λόγος παραμένει σταθερός.

### 1.5.8 Προστασία από αθέμιτη αρχική σύνδεση της γεννήτριας στο δίκτυο

Τα τελευταία χρόνια, λόγω της αυξημένης πολυπλοκότητας των σταθμών παραγωγής και των κυκλωμάτων τους, σημειώνονται όλο και πιο συχνά φθορές σε γεννήτριες από αθέμιτη αρχική σύνδεσή τους στο δίκτυο. Αιτία αυτών των φθορών είναι η καταπόνηση που υφίστανται ο άξονας και τα υπόλοιπα στρεφόμενα στοιχεία της γεννήτριας σε μια τέτοια περίπτωση.

Για την προστασία της γεννήτριας από αυτό τον κίνδυνο, η ήδη εγκατεστημένες προστασίες δεν επαρκούν για όλες τις πιθανές περιπτώσεις. Μπορεί, έτσι, να χρησιμοποιηθεί σαν επιπρόσθετη προστασία ένας  $H/N$  υπερεντάσεως-κατευθύνσεως αντιστρόφου χρόνου ανά φάση, συνδεδεμένος έτσι ώστε να λειτουργεί όταν η φορά της ισχύος είναι αντίστροφη από αυτή που πρέπει.

### 1.5.9 Προστασία από θερμική υπερφόρτιση

Για την προστασία των γεννητριών που διαθέτουν ανιχνευτές θερμοκρασίας εντός των τυλιγμάτων τους από θερμική υπερφόρτιση, λόγω π.χ. μιας βραχυχρόνιας υπερφόρτισης, βραχυκυκλωμάτων που δεν εκκαθαρίστηκαν και οποιονδήποτε άλλων λόγων, χρησιμοποιείται ένα ειδικό δίκτυο γέφυρας  $H/N$ . Αν πάλι η γεννήτρια μας δεν διαθέτει τους εν λόγω ανιχνευτές, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας  $H/N$ , ο οποίος μετρώντας το ρεύμα, προσεγγίζει την θερμοκρασία του τυλίγματος και λειτουργεί όταν θεωρήσει ότι έχει ξεπεράσει ένα προκαθορισμένο όριο.

### 1.5.10 Προστασία από λειτουργία εκτός προκαθορισμένης συχνότητας

Η συχνότητα περιστροφής των πτερυγίων των ατμοστρόβιλων είναι θεμελιώδους σημασίας. Κι αυτό διότι τα εν λόγω πτερύγια είναι σχεδιασμένα ώστε να λειτουργούν αποδοτικά και συνεχόμενα για ένα αρκετά στενό εύρος συχνοτήτων γύρω από την ονομαστική. Συνεπώς, όταν η κινητήρια μηχανή στρέφεται με συχνότητα εκτός αυτών των ορίων, τότε υπάρχει κίνδυνος να προκληθεί βλάβη λόγω συντονισμού και κόπωσης στα μεγάλα μήκη πτερύγια της.

Τέτοιες καταστάσεις υποσυχνότητας ή υπερσυχνότητας μπορούν να προκύψουν από διάφορες αιτίες, μεταξύ των οποίων είναι μια πιθανή βλάβη στο σύστημα ελέγχου της γεννήτριας ή μία εκτεταμένη διαταραχή του συστήματος, η οποία μετά από αλληπάλληλες απομονώσεις γραμμών μεταφοράς, δημιουργεί νησίδες, δηλαδή μικρά αυτόνομα Σ.Η.Ε., στα οποία μπορεί να υπάρχει

είτε περίσσεια προσφερόμενης ισχύος και άρα επιτάχυνση της γεννήτριας, είτε έλλειψη ισχύος και συνεπώς επιβράδυνση της γεννήτριας βάσει της διαφοράς μεταξύ προσφερόμενης και ζητούμενης ισχύος.

Για την προστασία από καταστάσεις υπερσυχνότητας χρησιμοποιούνται και H/N υπερσυχνότητας, πέρα από τη συσκευή επιτήρησης της ταχύτητας της γεννήτριας, ενώ για την προστασία από καταστάσεις υποσυχνότητας κατά τη δημιουργία νησίδων, γίνεται προσπάθεια να διατηρηθεί η γεννήτρια σε λειτουργία μέσω διαδοχικών απορρίψεων φορτίου (load sheddings), προσέχοντας παράλληλα να μην διακοπεί η τροφοδότηση των σημαντικών φορτίων.

#### **1.5.11 Προστασία από απώλεια συγχρονισμού**

Αν η γεννήτρια αποσυγχρονιστεί π.χ. λόγω απώλειας της διέγερσής της, θα πρέπει να αποσυνδεθεί άμεσα από το δίκτυο, επειδή, όσο συνεχίζει να λειτουργεί έτσι, αναπτύσσονται δυνάμεις που καταπονούν τα τυλίγματα της, μεταβατικές ταλαντώσεις στον άξονά της, αυξάνεται η πιθανότητα για υπερθέρμανση και βραχυκύκλωμα στα άκρα του πυρήνα του στάτη της αλλά και η πιθανότητα να καταπονηθούν και τα τυλίγματα του Μ/Σ της γεννήτριας από τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις.

Για την προστασία των στοιχείων του Σ.Η.Ε. που πλήττονται από αυτή την ανεπιθύμητη κατάσταση, αποτελεί καθιερωμένη πρακτική να εφαρμόζεται, ιδιαίτερα για τις μεγάλες μεγέθους γεννήτριες, προστασία απώλειας συγχρονισμού με κατάλληλους H/N αποστάσεως και μετρητές, οι οποίοι επιτηρούν την ταχύτητα μεταβολής της μετρούμενης αντιστάσεως και, εφόσον κρίνουν, βάσει αυτής, ότι το σύστημα ταλαντώνεται, ερευνούν αν πρόκειται για ευσταθή ή ασταθή ταλάντωση, ώστε να δράσουν αναλόγως.

#### **1.5.12 Προστασία από υποσύγχρονες ταλαντώσεις**

Υποσύγχρονες ταλαντώσεις μπορούν να εμφανιστούν σε μία γεννήτρια λόγω των εν σειρά συνδεδεμένων πυκνωτών αντιστάθμισης σε μεγάλο μήκος γραμμές μεταφοράς κατά τη διάρκεια των αυτόματων επαναφορών των διακοπών ισχύος μετά από κάποιο σφάλμα. Το φαινόμενο αυτό είναι σχετικά σύνθετο, αλλά σε γενικές γραμμές τείνει να αναγκάσει την γεννήτρια να λειτουργεί ως γεννήτρια επαγωγής, προκαλώντας υπερθέρμανση.

Μια πιθανή λύση για τον περιορισμό αυτού του φαινομένου είναι η καθυστέρηση ή ακόμη και η απενεργοποίηση της αυτόματης επαναφοράς των διακοπών ισχύος μετά από την εμφάνιση κάποιου σφάλματος.

#### **1.5.13 Προστασία από απώλεια σήματος του Μ/Σ τάσης προς τους H/N ή τους ρυθμιστές**

Σε περίπτωση απώλειας του σήματος από τον Μ/Σ τάσης που τροφοδοτεί τους H/N του συστήματος προστασίας ή τον ρυθμιστή τάσης της γεννήτριας, ενέχει ο κίνδυνος:

- να λειτουργήσει κάποια από τις προστασίες χωρίς λόγο αποσυνδέοντας από το δίκτυο την γεννήτρια
- να μην λειτουργήσουν οι προστασίες σε περίπτωση σφάλματος με αποτέλεσμα να προκληθεί εκτεταμένη ζημιά στη γεννήτρια και στα υπόλοιπα υποσυστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- να έχουμε εσφαλμένη λειτουργία του ρυθμιστή τάσης με άμεση συνέπεια την έντονη υπερδιέγερση της γεννήτριας με ό,τι αυτό συνεπάγεται από άποψη φθορών στη γεννήτρια

Η προστασία έναντι απώλειας του σήματος του Μ/Σ τάσης πραγματοποιείται με τη χρήση ενός Η/Ν ελέγχου ισορροπίας τάσης. Ο Η/Ν αυτός δέχεται σαν εισόδους τις τάσεις από τους διάφορους Μ/Σ τάσης που είναι εγκατεστημένοι στους ακροδέκτες της γεννήτριας και τις συγκρίνει. Αν εντοπίσει κάποια προκαθορισμένη σημαντική διαφορά μεταξύ τους, τότε λειτουργεί και ενεργοποιεί κάποιον συναγερμό ώστε να ειδοποιηθεί το προσωπικό ασφαλείας, ενώ παράλληλα μπορεί και να αποτρέψει την λειτουργία συγκεκριμένων προστασιών ή να θέσει τον αυτόματο ρυθμιστή τάσης σε χειροκίνητη λειτουργία για να αποφευχθεί η υπερδιέγερση της γεννήτριας.

#### **1.5.14 Προστασία από ανάπτυξη υπερβολικής ταχύτητας**

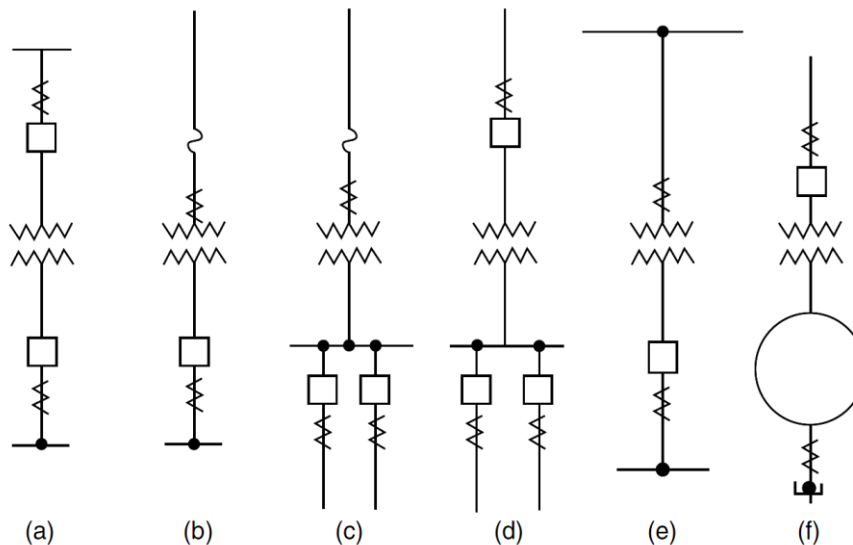
Αυτή η προστασία παρέχεται συνήθως από το κινητήριο σύστημα. Η ταχύτητα μιας σύγχρονης γεννήτριας δεν μπορεί να αλλάξει όταν είναι συνδεδεμένη με το Σ.Η.Ε. Το πρόβλημα της υπερβολικής ταχύτητας εμφανίζεται συνήθως όταν η γεννήτρια αποσυνδεθεί ξαφνικά από το δίκτυο.

#### **1.5.15 Προστασία από βλάβη των διακοπών ισχύος γεννήτριας**

Για τις μεγάλες και σημαντικές γεννήτριες θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η γεννήτρια θα μπορεί να απομονωθεί από το δίκτυο μετά από κάποιο σφάλμα, ακόμη και αν οι βασικοί της διακόπτες ισχύος δεν λειτουργήσουν μετά τη λήψη του σήματος ενεργοποίησης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλου τοπικού σχήματος προστασίας διακοπών ισχύος.

## 1.6 Προστασία μετασχηματιστών

Οι μετασχηματιστές (Μ/Σ) εγκαθίστανται σε όλα τα μέρη ενός Σ.Η.Ε. σε διαφορετικά μεγέθη, τύπους και συνδέσεις. Οι πιο κοινοί τρόποι σύνδεσής τους με το δίκτυο φαίνονται στην Εικόνα 1.40.



Εικόνα 1.40: Τυπικές συνδέσεις Μ/Σ στα Σ.Η.Ε. | (a) Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη | (b)-(d) Χρησιμοποιούνται σε υποσταθμούς διανομής | (e) Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις κυκλωμάτων διανομής συνδεδεμένων απευθείας σε γραμμή υψηλής τάσης | (f) Χρησιμοποιείται σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Στόχος των συστημάτων προστασίας των Μ/Σ είναι να μπορούν να εντοπίζουν και να αποκόπτουν σφάλματα που μπορούν να εκδηλωθούν στο εσωτερικό τους με μεγάλη ευαισθησία, αλλά παράλληλα να είναι αρκετά ανεκτικά σε σφάλματα του δικτύου. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται φθορές και βλάβες, οι οποίες είναι γενικώς αρκετά δαπανηρές τόσο οικονομικά όσο και χρονικά.

Η επιλογή των προστασιών για κάποιον Μ/Σ γίνεται σταθμίζοντας τους εξής παράγοντες:

- **Ισχύς μετασχηματιστή:** Οι Μ/Σ με μέγεθος κάτω των 2.5MVA προστατεύονται συνήθως με ασφάλειες. Οι Μ/Σ ισχύος από 2.5 έως 5MVA μπορούν επίσης να προστατεύονται με ασφάλειες, αλλά είναι γενικά προτιμότερη η προστασία τους μέσω Η/Ν υπερεντάσεως αντιστρόφου και στιγμιαίου χρόνου. Οι Μ/Σ με ισχύ από 5 έως 10MVA προστατεύονται συνήθως μέσω ηλεκτρομηχανικών Η/Ν υπερεντάσεως συνδεδεμένων σε διαφορικό σχήμα. Τέλος, οι Μ/Σ μεγέθους από 10MVA και άνω προστατεύονται από ποσοστιαία διαφορική προστασία με περιορισμό στα μεγέθη των αρμονικών των ρευμάτων καθώς επίσης και από Η/Ν πίεσης και θερμοκρασίας.
- **Θέση και λειτουργία Μ/Σ:** Όσο πιο σημαντική είναι η λειτουργία που επιτελεί ο εκάστοτε Μ/Σ στο δίκτυο, τόσο πιο προηγμένη και αποδοτική οφείλει να είναι η προστασία του.
- **Τάση λειτουργίας Μ/Σ:** Γενικά, όταν ένας Μ/Σ λειτουργεί σε υψηλές τάσεις, τότε απαιτείται και πιο ακριβό σύστημα προστασίας.
- **Σύνδεση και σχεδιασμός Μ/Σ:** Υπάρχουν διαφορές στα σχήματα προστασίας που χρησιμοποιούνται σε μονοφασικούς ή τριφασικούς Μ/Σ ή σε αυτομετασχηματιστές. Ακόμη, σημαντικό ρόλο στην επιλογή των προστασιών παίζει και η ύπαρξη τριτευόντων

τυλιγμάτων στους Μ/Σ, το είδος της γείωσής τους, η ύπαρξη ή μη συστήματος αυτόματης αλλαγής τάσης υπό φορτίο κλπ.

### 1.6.1 Προστασία υπερφορτίσεως & υπερεντάσεως

Οι υπερεντάσεις που δημιουργούνται λόγω εξωτερικών ή εσωτερικών σφαλμάτων καθώς και οι υπερφορτίσεις μεγάλης διάρκειας, προκαλούν υπερθέρμανση και μηχανικές φθορές στα τυλίγματα, στο κέλυφος και στα υπόλοιπα μέρη του Μ/Σ. Η προστασία των Μ/Σ από τέτοια φαινόμενα μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ασφαλειών ή Η/Ν υπερέντασης αντιστρόφου ή στιγμιαίου χρόνου στην πλευρά υψηλής τάσης του.

#### 1.6.1.1 Προστασία με ασφάλειες

Όταν για την προστασία του Μ/Σ χρησιμοποιούνται ασφάλειες στην πλευρά υψηλής τάσης, θα πρέπει να ελεγχθεί ότι η διακοπτική τους ικανότητα είναι μεγαλύτερη από το μέγιστο ρεύμα σφάλματος που μπορεί να εμφανιστεί και πως η ονομαστική ισχύς της ασφάλειας είναι τουλάχιστον 150% του μέγιστου φορτίου του Μ/Σ. Επίσης, θα πρέπει να εξασφαλίζεται ο σωστός συγχρονισμός μεταξύ της ασφάλειας και των στοιχείων προστασίας στην πλευρά χαμηλής τάσης του Μ/Σ.

#### 1.6.1.2 Προστασία με Η/Ν υπερεντάσεως

Η προστασία των Μ/Σ μέσω Η/Ν υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου στην πλευρά υψηλής τάσης, θα πρέπει να ρυθμίζεται ώστε να λειτουργεί στο 115% της μέγιστης επιτρεπόμενης υπερφόρτισης, φροντίζοντας και πάλι να εξασφαλίζεται ο συγχρονισμός τους με τις προστασίες της πλευράς χαμηλής τάσης. Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι, αν χρησιμοποιούνταν Η/Ν υπερεντάσεως στιγμιαίου χρόνου, θα έπρεπε να βεβαιωθούμε πως οι ρυθμίσεις τους θα εξασφάλιζαν πως δεν θα λειτουργήσουν για το ρεύμα αρχικής φόρτισης ή τα ρεύματα σφάλματος συμπεριλαμβανομένης και της DC συνιστώσας που αυτά μπορεί να έχουν.

#### 1.6.1.3 Καμπύλες αντοχής σε υπερφορτίσεις-υπερεντάσεις

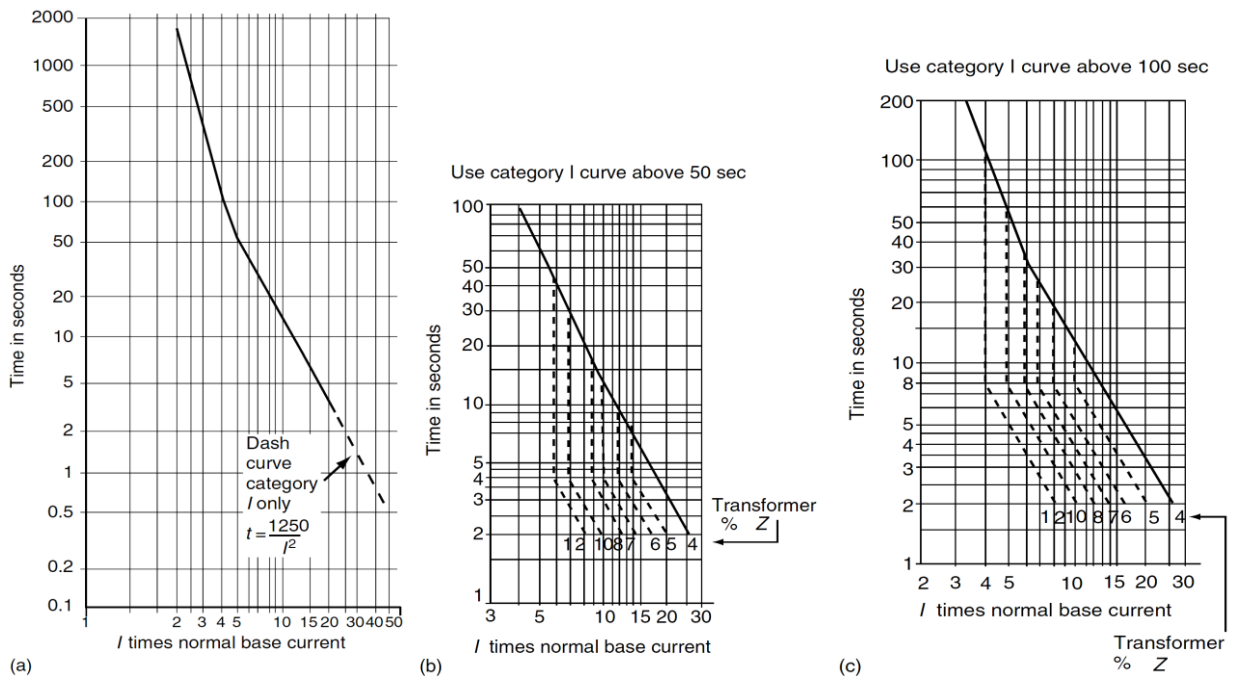
Για την αποδοτικότερη προστασία από φθορές θερμικής ή μηχανικής φύσεως λόγω εμφάνισης υπερεντάσεων, οι Μ/Σ χωρίζονται σε ειδικές κατηγορίες βάσει του παρακάτω πίνακα και έπειτα επιλέγονται οι κατάλληλες καμπύλες προστασίας, αναλόγως της σύνθετης αντίστασής (ή τάσης βραχυκυκλώσεως) τους και της αναμενόμενης συχνότητας εμφάνισης υπερεντάσεων κατά τη διάρκεια ζωής τους.

Κατηγορία	Μέγεθος Μ/Σ (kVA)		Καμπύλες αντοχής που ενδείκνυται (βλ. εικόνα παρακάτω)	Ελάχιστο όριο αυξημένης συχνότητας εμφάνισης σφαλμάτων <sup>(α)</sup>	Οι διακεκομμένες καμπύλες αντοχής ισχύουν από $I^{(β)}$
	Μονοφασικός	Τριφασικός			
I	5-500	15-500	(a)	-	$25-501$ , όπου $t = \frac{1250 \cdot f}{60 \cdot I^2}$
II	501-1667	501-5000	(a) ή (a+b)	10	70%-100% του μέγιστου σφάλματος, όπου $I^2 \cdot t = K$ με το K να προσδιορίζεται για το μέγιστο I με $t = 2$

<b>III</b>	1688-10000	5001-30000	(a) ή (a+c)	5	50%-100% του μέγιστου σφάλματος, όπου $I^2 \cdot t = K$ με το $K$ να προσδιορίζεται για το μέγιστο $I$ με $t = 2$
<b>IV</b>	>10000	>30000	(a+c)	-	Ομοίως με την κατηγορία III

(<sup>a</sup>) Αυξημένη συχνότητα εμφάνισης υπερεντάσεως ισοδυναμεί με ίσες ή περισσότερες εμφανίσεις σφαλμάτων από τις αναγραφόμενες κατά τη διάρκεια ζωής του Μ/Σ.  
 (<sup>β</sup>) Με το  $I$  εννοούμε το συμμετρικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως σε ανά μονάδα τιμή του κανονικού ρεύματος λειτουργίας και χρησιμοποιώντας την ελάχιστη αναγραφόμενη τιμή ισχύος του Μ/Σ. Με το  $t$  αναφερόμαστε σε χρόνο sec. Το  $f$  είναι η συχνότητα σε Hz.

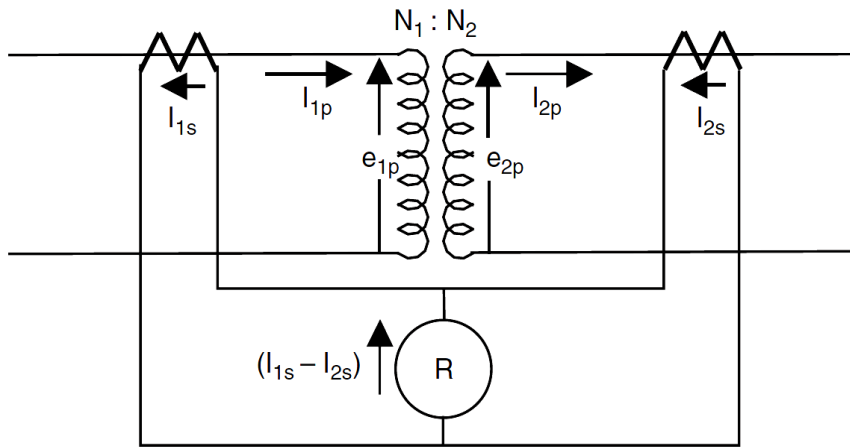
Πίνακας 1.3: Κατηγορίες Μ/Σ και ενδεικνυόμενες καμπύλες αντοχής σε υπερφορτίσεις-υπερεντάσεις [3]



Εικόνα 1.41: Καμπύλες αντοχής Μ/Σ σε υπερφορτίσεις-υπερεντάσεις | (a) Για Μ/Σ κατηγορίας I για οποιαδήποτε αναμενόμενη συχνότητα σφαλμάτων ή για Μ/Σ κατηγορίας II ή III για μειωμένη αναμενόμενη συχνότητα σφαλμάτων | (b) Για Μ/Σ κατηγορίας II για αυξημένη αναμενόμενη συχνότητα σφαλμάτων | (c) Για Μ/Σ κατηγορίας III για αυξημένη αναμενόμενη συχνότητα σφαλμάτων ή για Μ/Σ κατηγορίας IV για οποιαδήποτε αναμενόμενη συχνότητα σφαλμάτων

### 1.6.2 Ποσοστιαία διαφορική προστασία

Οι Μ/Σ μπορούν να προστατευθούν από εσωτερικά σφάλματα μέσω ενός σχήματος διαφορικής προστασίας, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα για την περίπτωση ενός μονοφασικού Μ/Σ.



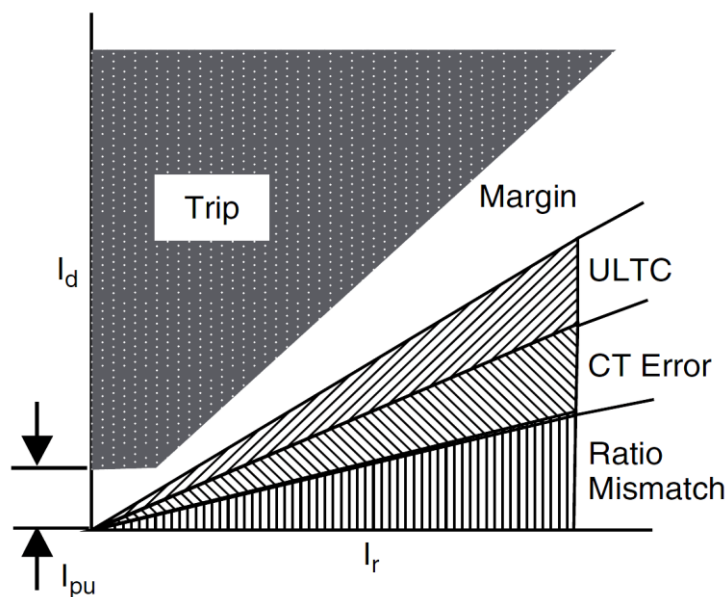
Εικόνα 1.42: Διαφορική προστασία μονοφασικού Μ/Σ [2]

Εξαιτίας, όμως, των μετρητικών σφαλμάτων που εισάγουν οι αναντιστοιχίες των λόγων μετασχηματισμού και γενικώς τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των Μ/Σ έντασης που χρησιμοποιούνται, όπως και η πιθανή ύπαρξη αυτόματου συστήματος αλλαγής τάσης υπό φορτίο (ΣΑΤΥΦ), μπορούν να παρουσιαστούν μέσα στον Η/Ν διαφορικά ρεύματα, τα οποία είναι ικανά να ενεργοποιήσουν τη διαφορική προστασία χωρίς να υπάρχει λόγος.

Για να αποτραπεί αυτό το ενδεχόμενο, χρησιμοποιείται το σχήμα ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας, στο οποίο απαιτείται το διαφορικό ρεύμα  $I_d$  να ξεπεράσει ένα ποσοστό του ημιαθροίσματος των ρευμάτων στα δευτερεύοντα των Μ/Σ έντασης ώστε να λειτουργήσει η προστασία, δηλαδή πρέπει

$$I_d \geq K \cdot \frac{i_{1s} + i_{2s}}{2}$$

όπου  $K$  είναι η κλίση της ποσοστιαίας διαφορικής χαρακτηριστικής καμπύλης. Μία τέτοια καμπύλη φαίνεται στην Εικόνα 1.43.



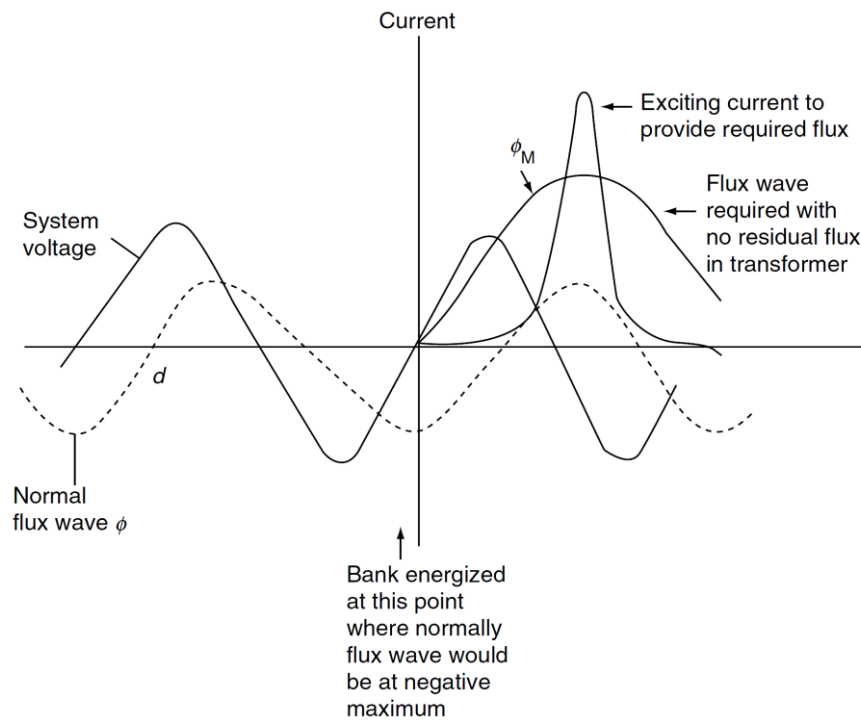
Εικόνα 1.43: Χαρακτηριστική λειτουργίας ποσοστιαίου διαφορικού Η/Ν [2]

Παρόλα αυτά, η ποσοστιαία διαφορική προστασία δεν είναι εντελώς απαλλαγμένη από λανθασμένα διαφορικά ρεύματα που θα μπορούσαν οδηγήσουν σε ανούσια ενεργοποίησή της.



### 1.6.2.1 Επίδραση φαινομένου ρεύματος μαγνήτισης εισροής

Όταν εφαρμοστεί τάση σε έναν Μ/Σ σε κάποια χρονική στιγμή κατά την οποία η μαγνητική ροή θα έπρεπε να βρίσκεται σε διαφορετική τιμή από αυτή που υφίσταται εντός του, τότε εμφανίζεται ένα μεταβατικό φαινόμενο γνωστό ως ρεύμα μαγνήτισης εισροής.



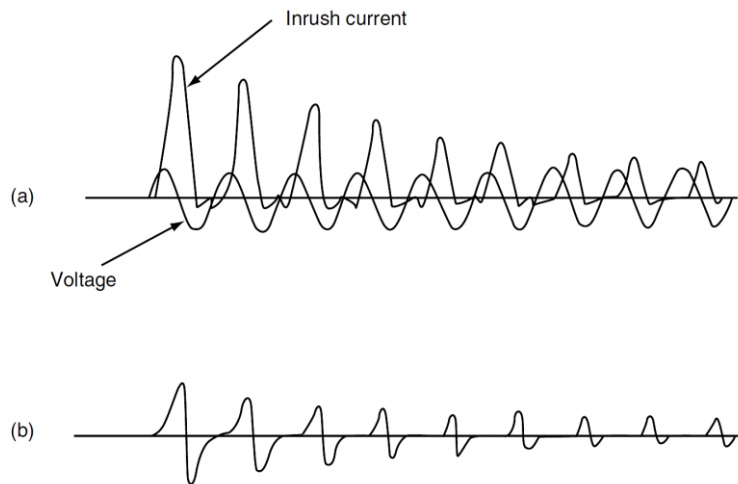
Εικόνα 1.44: Περίπτωση εμφάνισης ρεύματος μαγνήτισης εισροής χωρίς την ύπαρξη παραμένουσας μαγνήτισης εντός του Μ/Σ [3]

Το ρεύμα μαγνήτισης εισροής μπορεί να φτάσει σε μέτρο από 8 έως 30 φορές το ρεύμα πλήρους φορτίου προτού σταθεροποιηθεί, μετά από κάποιο δευτερόλεπτα, στο κανονικό ρεύμα λειτουργίας, πράγμα το οποίο αυξάνει την πιθανότητα ανούσιας ενεργοποίησης του συστήματος προστασίας.

Αυτό το μεταβατικό φαινόμενο μπορεί να εμφανιστεί στις εξής περιπτώσεις:

- Κατά την αρχική τροφοδότηση ενός Μ/Σ αφού έχει περάσει κάποιο διάστημα εκτός λειτουργίας.
- Κατά την επαναφορά της τάσης σε φυσιολογικά επίπεδα έπειτα από κάποιο σφάλμα ή στιγμιαία πτώση τάσης που παρουσιάστηκε. Σε αυτή την περίπτωση το ρεύμα μαγνήτισης εισροής δεν θα είναι τόσο υψηλό, καθώς ο Μ/Σ δεν έπαυε να είναι τροφοδοτούμενος.
- Κατά την αρχική τροφοδότηση ενός κοντινού Μ/Σ προς τον ήδη τροφοδοτημένο.

Στην Εικόνα 1.45 φαίνεται η τυπική μορφή του ρεύματος μαγνήτισης εισροής. Σημειώνεται πως, βάσει διαφόρων μελετών, έχει αποδειχθεί ότι αυτά τα ρεύματα μαγνήτισης εισροής είναι πλούσια σε περιεχόμενο της 2<sup>ης</sup> αρμονικής συνιστώσας.



Εικόνα 1.45: Τυπικές μορφές ρευμάτων μαγνήτισης εισροής [3]

### 1.6.2.2 Επίδραση υπερδιέγερσης

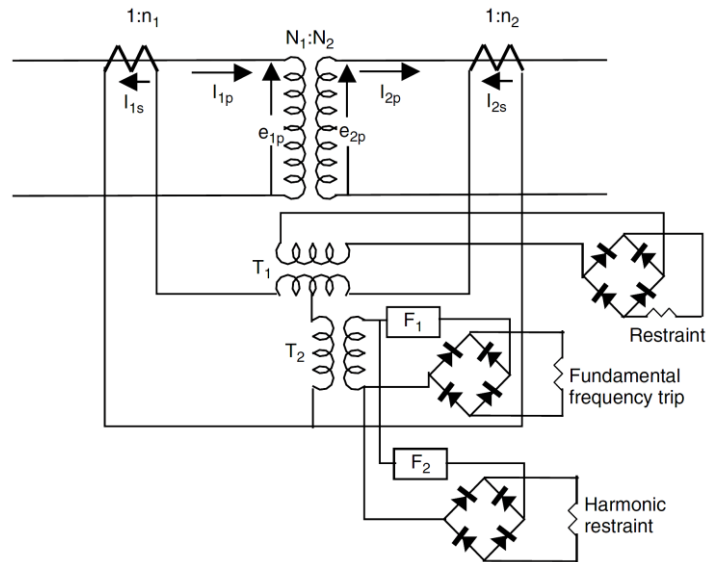
Η μαγνητική ροή ενός Μ/Σ είναι ανάλογη της τάσης και αντιστρόφως ανάλογη της συχνότητας λειτουργίας του. Έτσι, αν εμφανιστεί κάποια εκτός ορίων σχεδιασμού υπέρταση ή πτώση της συχνότητας, ο Μ/Σ μπορεί να οδηγηθεί σε κορεσμό, πράγμα το οποίο θα προκαλέσει απειλητική αύξηση της θερμοκρασίας του. Τέτοιες καταστάσεις υπέρτασης ή υποσυχνότητας εμφανίζονται στα Σ.Η.Ε. όταν διάφορες διαταραχές οδηγούν στην νησιδοποίηση κομματιών τους. Κατά την διάρκεια του φαινομένου της υπερδιέγερσης, το ρεύμα διέγερσης των Μ/Σ αποτελείται κατά κύριο λόγο από περιττές αρμονικές συνιστώσες. Για την προστασία των Μ/Σ από το φαινόμενο της υπερδιέγερσης, χρησιμοποιείται η προστασία V/Hz που θα παρουσιαστεί ξανά στα επόμενα.

### 1.6.2.3 Επίδραση φαινομένου κορεσμού των Μ/Σ έντασης

Ο κορεσμός των Μ/Σ έντασης λόγω υψηλών ρευμάτων σφάλματος μετριάζεται ως προς τις επιπτώσεις που έχει με τη χρήση της ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας, αλλά εξακολουθεί να αποτελεί κίνδυνο, διότι μπορεί ακόμη να προκαλέσει την ανούσια ενεργοποίηση της προστασίας αλλά και να καθυστερήσει την ενεργοποίησή της για εσωτερικά σφάλματα. Αξίζει δε να αναφερθεί ότι τα ρεύματα δευτερεύοντος ενός κορεσμένου Μ/Σ έντασης περιέχουν ένα σημαντικό περιεχόμενο 3ης αρμονικής συνιστώσας.

### 1.6.3 Εποπτευόμενη διαφορική προστασία

Το φαινόμενο του ρεύματος μαγνήτισης εισροής αποτέλεσε το μεγαλύτερο πρόβλημα των ποσοστιαίων διαφορικών Η/Ν για τους μεγάλους Μ/Σ και για την αντιμετώπισή του δοκιμάστηκαν διάφορες τεχνικές. Η πιο εξελιγμένη και ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνική βασίζεται στην αξιοποίηση των αρμονικών που περιέχονται στα ρεύματα μαγνήτισης εισροής καθώς και στα ρεύματα υπερδιέγερσης. Στην υποενότητα 1.6.2 αναφέρθηκε ότι τα ρεύματα μαγνήτισης εισροής είναι πλούσια σε περιεχόμενο 2<sup>ης</sup> αρμονικής συνιστώσας, ενώ τα ρεύματα υπερδιέγερσης αποτελούνται κυρίως από περιττές αρμονικές συνιστώσες. Συνεπώς, θα ήταν δυνατό να περνάμε το διαφορικό ρεύμα της ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας μέσα από κατάλληλα φίλτρα που να μετρούν τις εν λόγω αρμονικές, οι οποίες με τη σειρά τους θα χρησιμοποιούνταν για να παρεμποδίζουν τη λειτουργία του συστήματος προστασίας σε περίπτωση που υπερέβαιναν κάποιο προκαθορισμένο όριο. Στην Εικόνα 1.46 φαίνεται ένα τέτοιο σχήμα προστασίας.

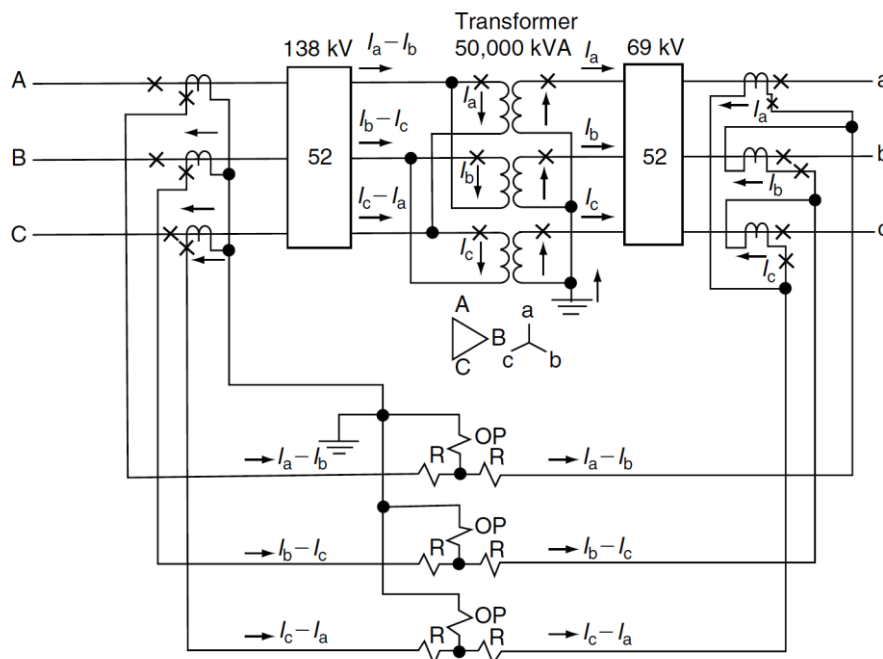


Εικόνα 1.46: Ποσοστιαία διαφορική προστασία με περιορισμό αρμονικών [2]

### 1.6.4 Διαφορική προστασία τριφασικών Μ/Σ

Οι τριφασικοί Μ/Σ βρίσκονται στα Σ.Η.Ε. με διάφορους συνδυασμούς συνδέσεων των τυλιγμάτων τους. Στην περίπτωση της σύνδεσης τριγώνου-αστέρα, επειδή οι Μ/Σ έντασης της διαφορικής προστασίας εγκαθίστανται συνήθως πάνω στις φάσεις και όχι μέσα στα τυλίγματα του Μ/Σ, θα παρουσιαζόταν διαφορά φάσεως στα μετρούμενα ρεύματα με αποτέλεσμα την εμφάνιση κάποιου σταθερού διαφορικού ρεύματος στην κανονική κατάσταση λειτουργίας.

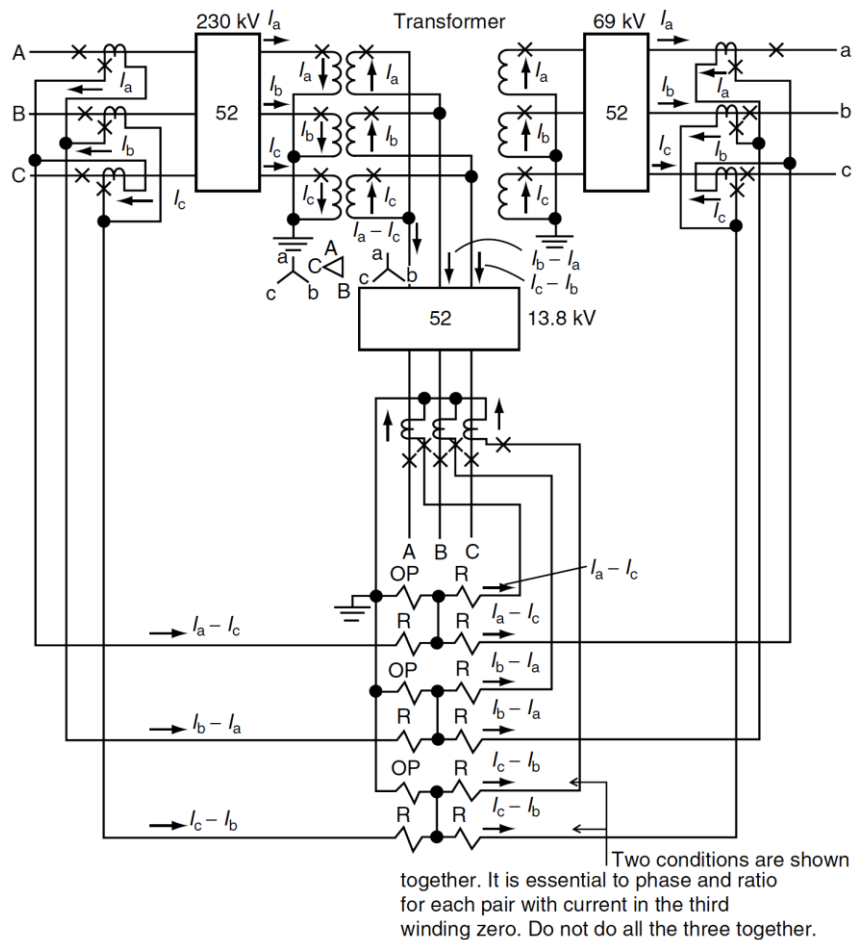
Για να αντιμετωπίσουμε το φαινόμενο της στροφής φάσεως στους τριφασικούς Μ/Σ, φροντίζουμε να συνδέουμε κατάλληλα τους Μ/Σ έντασης μεταξύ τους ώστε να το εξαλείφουν. Ο βασικός κανόνας είναι ότι οι Μ/Σ εντάσεως της πλευράς αστέρα πρέπει να συνδέονται σε τρίγωνο, ενώ οι Μ/Σ εντάσεως της πλευράς τριγώνου σε αστέρα. Ακόμη, οι λόγοι μετασχηματισμού των Μ/Σ έντασης θα πρέπει να είναι τέτοιοι ώστε τα ρεύματα των Μ/Σ έντασης της πλευράς τριγώνου να είναι  $1/\sqrt{3}$  φορές τα ρεύματα των Μ/Σ έντασης της πλευράς του αστέρα.



Εικόνα 1.47: Διαφορική προστασία 3Φ Μ/Σ σε σύνδεση τριγώνου-αστέρα [3]

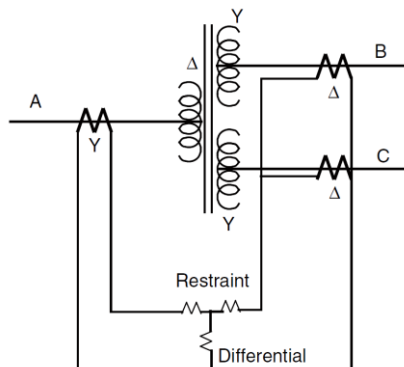
### 1.6.5 Διαφορική προστασία τριφασικών Μ/Σ πολλαπλών τυλιγμάτων

Για την προστασία τριφασικών Μ/Σ πολλαπλών τυλιγμάτων που είναι συνδεδεμένα με εξωτερικά κυκλώματα, τα οποία μπορεί να περιέχουν πηγές ισχύος, χρησιμοποιούνται διαφορικοί Η/Ν τριών πηνίων αναστολής.



Εικόνα 1.48: Διαφορική προστασία 3Φ Μ/Σ πολλαπλών τυλιγμάτων σε σύνδεση τριγώνου-αστέρα-τριγώνου [3]

Αξίζει να επισημανθεί ότι για την προστασία τριφασικών Μ/Σ πολλαπλών τυλιγμάτων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και διαφορικοί Η/Ν δύο πηνίων αναστολής, υπό την προϋπόθεση, όμως, ότι μόνο ένα εκ των τυλιγμάτων μπορεί να είναι συνδεδεμένο σε κύκλωμα που περιέχει πηγές ισχύος. Ένα τέτοιο σχήμα προστασία φαίνεται στην Εικόνα 1.49.

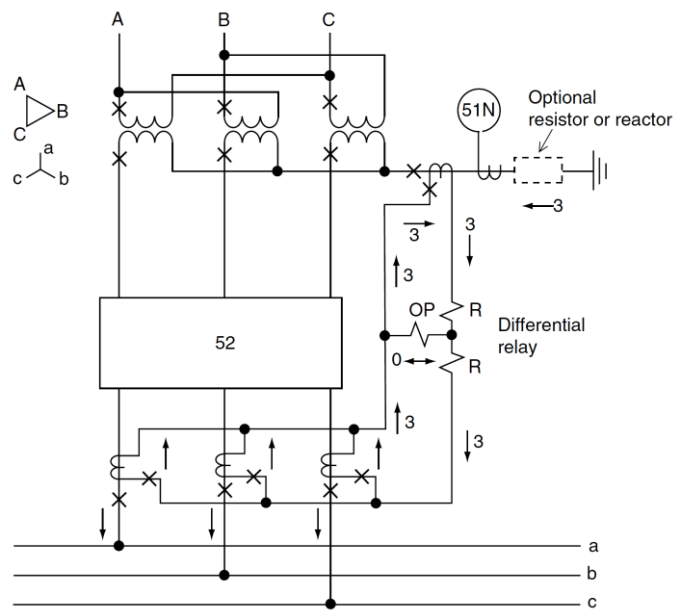


Εικόνα 1.49: Διαφορική προστασία 3Φ Μ/Σ πολλαπλών τυλιγμάτων όταν μόνο ένα εκ των τυλιγμάτων περιέχει πηγές ισχύος [2]

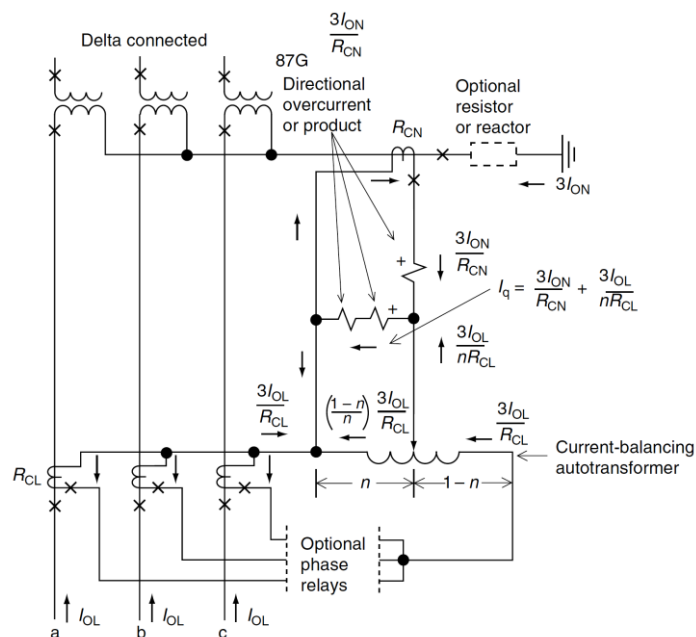
### 1.6.6 Διαφορική προστασία γης Μ/Σ

Στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν ή δεν είναι βολικοί οι Μ/Σ έντασης στην πλευρά τριγώνου ενός Μ/Σ τριγώνου-γειωμένου αστέρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το σχήμα διαφορικής προστασίας γης που φαίνεται στην Εικόνα 1.50 και το οποίο παρέχει προστασία μόνο για τα τυλίγματα της πλευράς του αστέρα και μόνο για την περίπτωση εμφάνισης σφαλμάτων προς γη. Όπως είναι λογικό, ο Η/Ν υπερεντάσεως που χρησιμοποιείται θα πρέπει να είναι συγχρονισμένος με τους υπόλοιπους Η/Ν του οποίους επικαλύπτει.

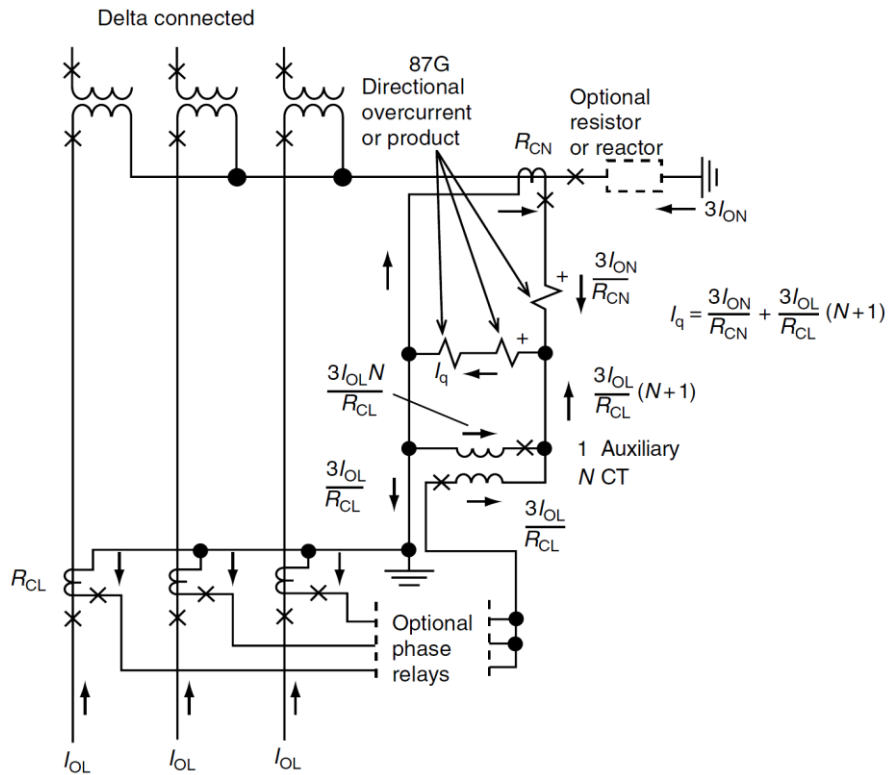
Διαφορική προστασία γης μπορεί επίσης να επιτευχθεί και μέσω της χρήσης Η/Ν υπερεντάσεως-κατευθύνσεως σε διαφορική συνδεσμολογία. Το σχήμα αυτό φαίνεται στην Εικόνα 1.51 και Εικόνα 1.52, όπου στην πρώτη από αυτές χρησιμοποιείται ένας βοηθητικός αυτομετασχηματιστής ισορροπίας ρεύματος, ενώ στη δεύτερη ένας βοηθητικός Μ/Σ λόγου 1:Ν.



Εικόνα 1.50: Διαφορική προστασία γης με Η/Ν υπερεντάσεως [3]



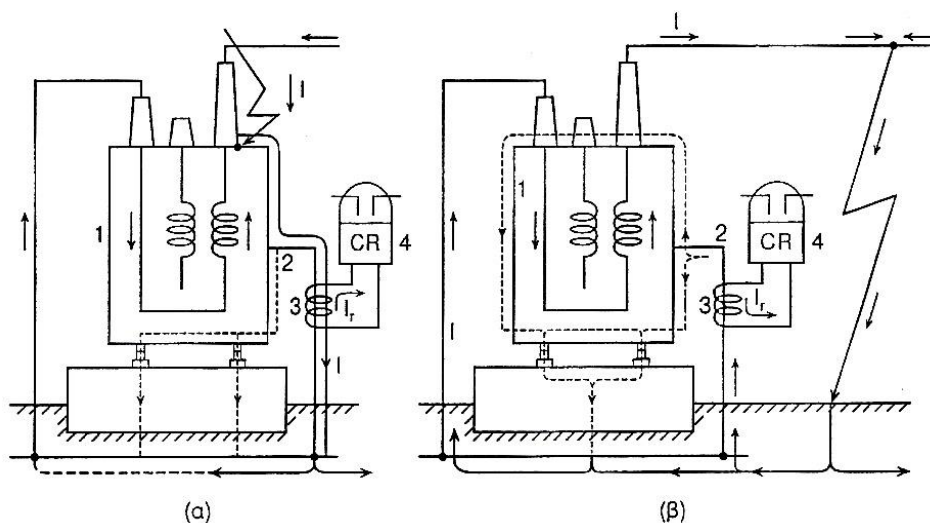
Εικόνα 1.51: Λειτουργία διαφορικής προστασίας γης με Η/Ν κατεύθυνσης και βοηθητικό αυτομετασχηματιστή ισορροπίας ρεύματος για εσωτερικό σφάλμα [3]



Εικόνα 1.52: Λειτουργία διαφορικής προστασίας γης με H/N κατεύθυνσης και βοηθητικό M/Σ λόγου 1:N για εσωτερικό σφάλμα [3]

### 1.6.7 Προστασία από σφάλματα προς το κέλυφος του Μ/Σ

Πολλά από τα σφάλματα που εκδηλώνονται στους Μ/Σ είναι βραχυκυκλώματα προς τα κελύφη τους. Μία προστασία έναντι αυτών των σφαλμάτων που χρησιμοποιείται όταν ο Μ/Σ έχει τον ένα από τους δύο ουδέτερους των τυλιγμάτων του γειωμένο είτε απευθείας είτε μέσω αντίστασης μικρής τιμής, φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Η προστασία εξασφαλίζεται με τη σύνδεση του κελύφους του Μ/Σ προς το πλέγμα γειώσεως του υποσταθμού από ένα μόνο σημείο του και μέσω ενός μόνο αγωγού. Πάνω στον εν λόγω αγωγό εγκαθίσταται Μ/Σ εντάσεως και στο δευτερεύον αυτού ένας Η/Ν υπερεντάσεως. Τα ρεύματα που φαίνονται με διακεκομμένη γραμμή είναι μικρής τιμής λόγω της υψηλής αντίστασης που παρουσιάζει η βάση πάνω στην οποία εδράζεται ο Μ/Σ.

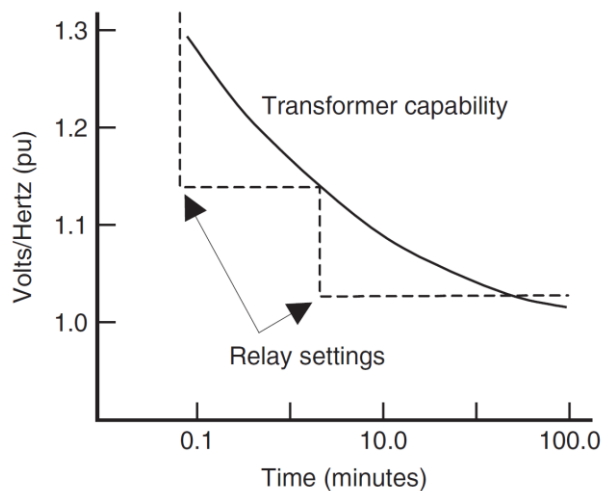


Εικόνα 1.53: Προστασία έναντι σφαλμάτων προς το κέλυφος του Μ/Σ | (α) Περίπτωση εκδήλωσης εσωτερικού σφάλματος | (β) Περίπτωση εκδήλωσης εξωτερικού σφάλματος [10]

### 1.6.8 Προστασία από υπερδιέγερση

Στην κανονική κατάσταση λειτουργίας τους, οι Μ/Σ δουλεύουν κοντά στο γόνατο της χαρακτηριστικής μαγνήτισής τους. Συνεπώς, οποιαδήποτε αυξητική μεταβολή της μαγνητικής ροής στον πυρήνα τους, είναι πιθανό να τους οδηγήσει σε κορεσμό με αποτέλεσμα την εμφάνιση δινορρευμάτων μεγάλου μέτρου, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές βλάβες.

Για την προστασία των Μ/Σ από αυτό το ενδεχόμενο, χρησιμοποιείται η προστασία V/Hz, η οποία αξιοποιεί το γεγονός ότι η μαγνητική ροή είναι ανάλογη της τάσεως και αντιστρόφως ανάλογη της συχνότητας λειτουργίας και επιτηρεί το λόγο της ανά μονάδα τάσεως προς την ανά μονάδα συχνότητα. Μια τυπική χαρακτηριστική λειτουργίας ενός τέτοιου H/N V/Hz φαίνεται στην Εικόνα 1.54. Συνήθως, ο H/N V/Hz ρυθμίζεται ώστε να σημαίνει συναγερμός όταν ξεπεραστεί το πρώτο όριο, ενώ απομονώνει τον Μ/Σ όταν ξεπεραστεί το επόμενο.



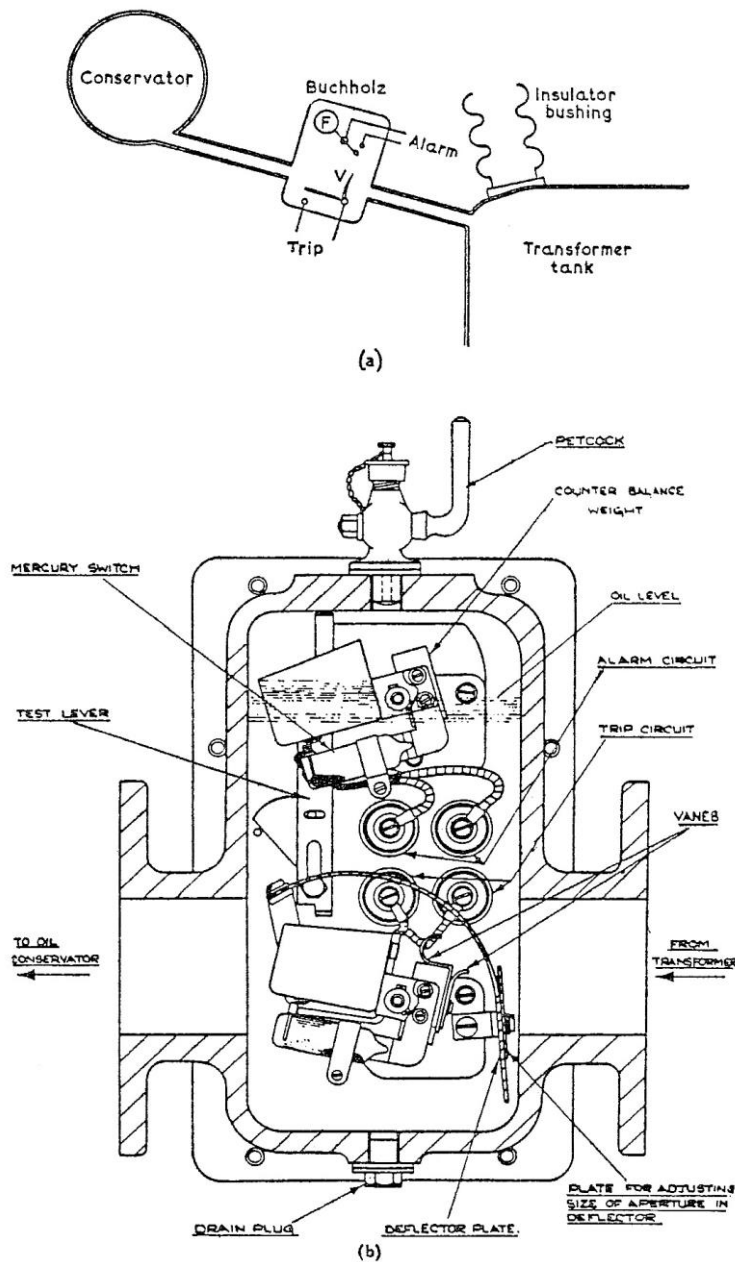
Εικόνα 1.54: Χαρακτηριστική λειτουργίας H/N V/Hz [2]

### 1.6.9 Μη ηλεκτρικές προστασίες

Ο H/N Buchholz αποτελεί μία πολύ καλή προστασία έναντι εσωτερικών σφαλμάτων για Μ/Σ λαδιού και για Μ/Σ που λειτουργούν ως ρυθμιστές. Ειδικά για τους Μ/Σ-ρυθμιστές, η προστασία Buchholz θεωρείται ως η κύρια και αποδοτικότερη προστασία τους, μιας και η διαφορική προστασία παρουσιάζει δυσκολίες στην ανίχνευση των σφαλμάτων στην περίπτωση τους.

Ο H/N Buchholz τοποθετείται στον σωλήνα που συνδέει το κύριο δοχείο του Μ/Σ με το δοχείο διαστολής του μονωτικού λαδιού. Κατά την εμφάνιση ενός εσωτερικού σφάλματος σε έναν Μ/Σ λαδιού, δημιουργούνται αέρια λόγω του τόξου, τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν κύματα πίεσης, πράγμα το οποίο αντιλαμβάνεται ο H/N Buchholz μέσω του πτερυγίου πίεσής του και λειτουργεί σημαίνοντας κάποιον συναγερμό ή και απομονώνοντας τον Μ/Σ. Στην Εικόνα 1.55 φαίνεται η αρχή λειτουργίας και η κατασκευαστική διαμόρφωση ενός H/N Buchholz.

Ένα στοιχείο προστασίας που μπορεί να βρεθεί σε Μ/Σ είναι και οι ανιχνευτές θερμοκρασίας, οι οποίοι μετρούν είτε άμεσα είτε έμμεσα τη θερμοκρασία και, σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι είναι πολύ υψηλή, ενεργοποιούνται οι κατάλληλοι συναγερμοί, ενώ, σε περίπτωση εμφάνισης ακραίων θερμοκρασιών, μπορεί να επακολουθήσει ακόμη και απομόνωση του Μ/Σ.



Εικόνα 1.55: Η/Ν Buchholz | (a) Αρχή λειτουργίας | (b) Κατασκευαστική διαμόρφωση [10]



## 1.7 Προστασία ζυγών

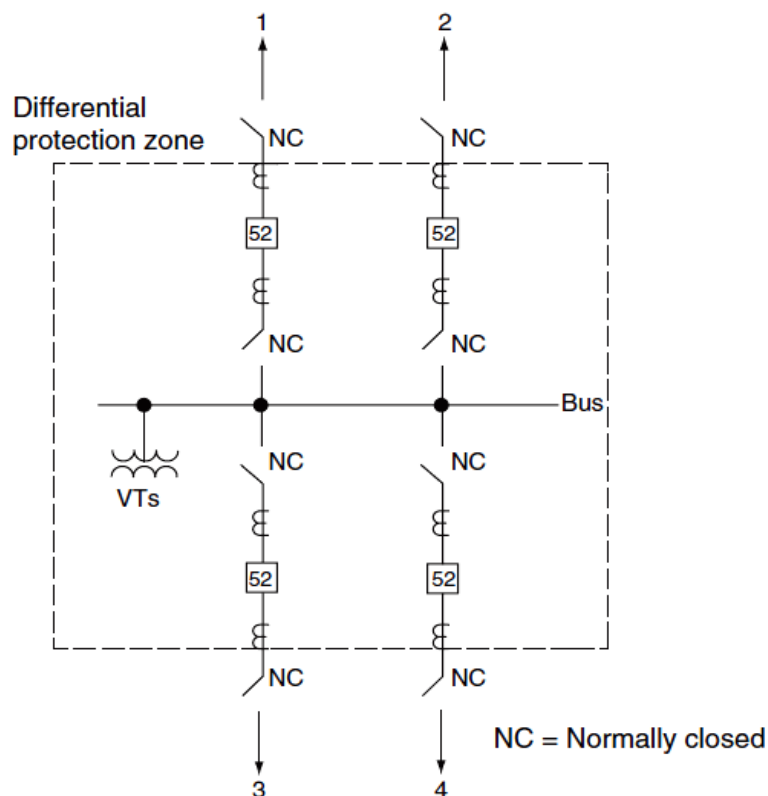
Οι ζυγοί χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση δύο ή περισσότερων κυκλωμάτων ενός δικτύου και γι' αυτό η αποτελεσματική προστασία τους είναι θεμελιώδους σημασίας από πλευράς διατήρησης της ισχυρής συνοχής των σύγχρονων Σ.Η.Ε.

Τα σφάλματα των ζυγών έχουν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις, αλλά εμφανίζονται σπάνια. Τα κύρια αίτια που τα προκαλούν είναι οι βλάβες του εξοπλισμού, η επαφή με μικρά ζώα (π.χ. φίδια), οι φθαρμένοι μονωτήρες, τα αντικείμενα που μεταφέρει ο άνεμος και η μόλυνση του περιβάλλοντος χώρου. Για να αποκοπεί ένα σφάλμα στους ζυγούς, είναι αναγκαίο να ανοίξουν όσοι διακόπτες ισχύος χρειαστούν, ώστε να σταματήσει η τροφοδότησή του. Κάτι τέτοιο, όμως, οδηγεί σε εκτεταμένη μη τροφοδότηση φορτίων και δημιουργεί ισχυρές διαταραχές σε όλο το δίκτυο.

Η βασικότερη μέθοδος προστασίας των ζυγών βασίζεται στη χρήση σχημάτων διαφορικής προστασίας. Σε σημαντικούς ζυγούς του συστήματος, εγκαθίστανται συχνά δύο σχήματα διαφορικής προστασίας για να υπάρξει εφεδρεία σε περίπτωση δυσλειτουργίας του ενός.

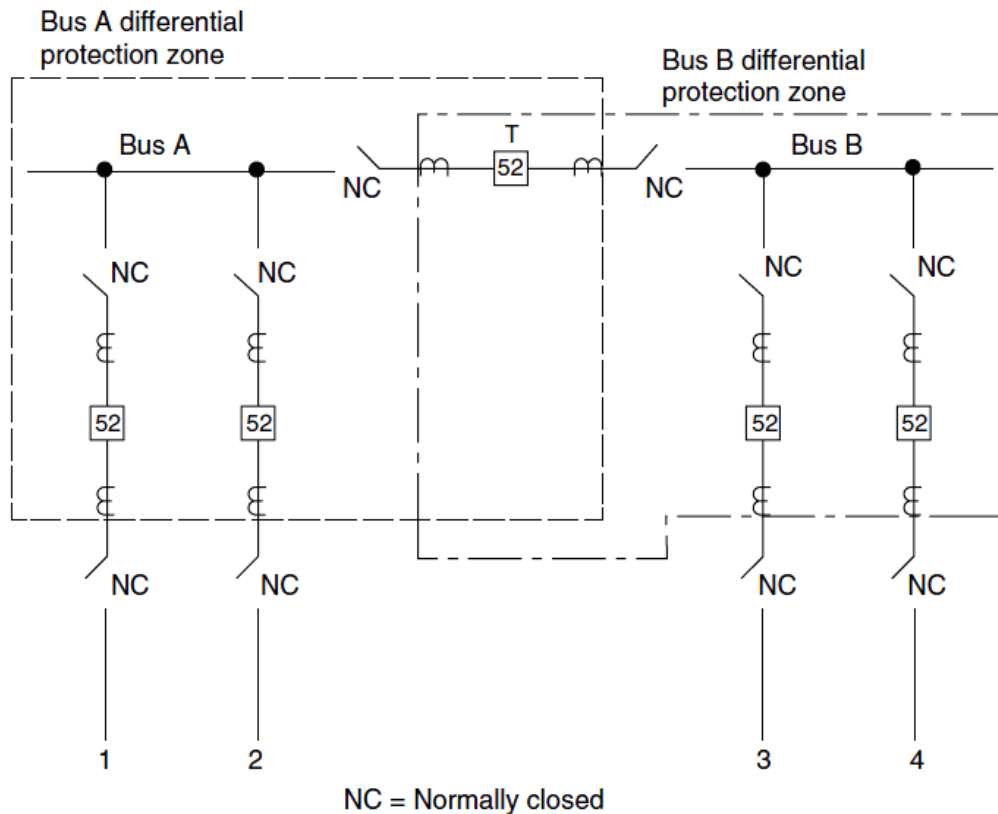
### 1.7.1 Κύριες διατάξεις ζυγών

Ο τρόπος διάταξης των ζυγών παίζει σημαντικότερο ρόλο ως προς την μετέπειτα ευελιξία και λειτουργικότητά τους. Η διάταξη single breaker-single bus είναι η πιο απλή, οικονομική και ευρέως χρησιμοποιούμενη στα δίκτυα διανομής και γενικά σε χαμηλές τάσεις. Δεν παρέχει καμία λειτουργική ευελιξία μιας και οποιοδήποτε σφάλμα εμφανιστεί στο ζυγό, οδηγεί αναπόφευκτα στο άνοιγμα όλων των Δ/Ι. Επίσης, η επισκευή οποιουδήποτε προβλήματος παρουσιαστεί στους Δ/Ι ή η τακτική συντήρηση της διάταξης αυτής, γίνεται μόνο αν το κύκλωμα τεθεί εκτός λειτουργίας. Η διαφορική προστασία αυτής της διάταξης ζυγών είναι αρκετά απλή όπως φαίνεται και από την Εικόνα 1.56.



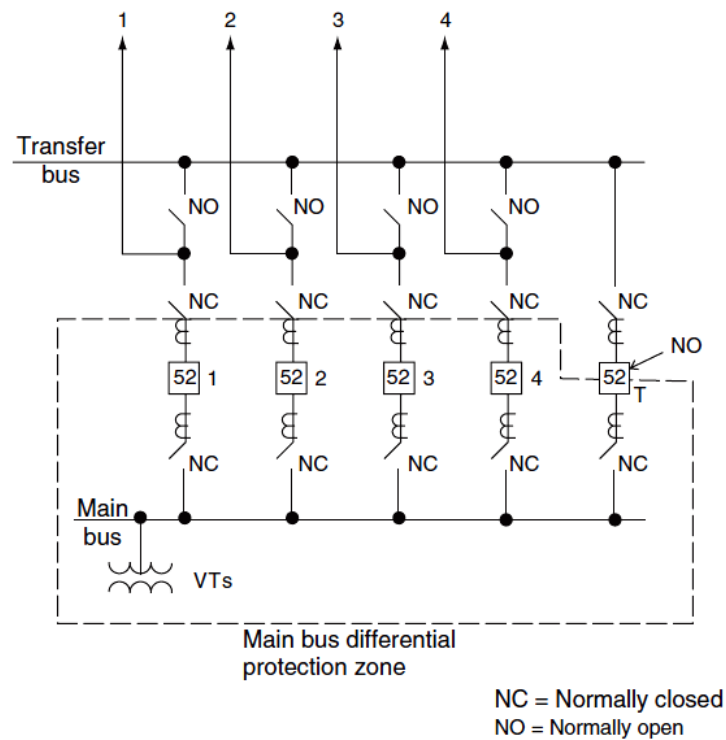
Εικόνα 1.56: Διάταξη ζυγών τύπου single breaker - single bus [3]

Η διάταξη με ζυγούς συνδεδεμένους μέσω Δ/Ι (single buses connected with bus ties) αποτελεί επέκταση της προηγούμενη διάταξης και χρησιμοποιείται σε χαμηλές τάσεις στις περιπτώσεις όπου πρόκειται να εξυπηρετηθεί μεγάλος αριθμός κυκλωμάτων. Παρέχει αυξημένη ευελιξία όταν οι ζυγοί της τροφοδοτούνται από ανεξάρτητες πηγές ισχύος. Σε περίπτωση που μία από τις πηγές χαθεί, υπάρχει η δυνατότητα τροφοδότησης όλων των φορτίων από την άλλη, κλείνοντας τον Δ/Ι που ενώνει τους ζυγούς. Ακόμη, οποιοδήποτε σφάλμα σε κάποιο ζυγό δε θέτει εκτός λειτουργίας όλη τη διάταξη, μιας και στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται ξεχωριστές διαφορικές ζώνες προστασίας για κάθε ζυγό.



Εικόνα 1.57: Διάταξη με ζυγούς συνδεδεμένους μέσω διακόπτη ισχύος [3]

Η διάταξη που κάνει χρήση ενός κύριου ζυγού σε συνδυασμό με έναν ζυγό μεταφοράς (main & transfer buses with single breakers) έχει αυξημένη λειτουργική ευελιξία. Στην κανονική κατάσταση λειτουργίας, όλα τα κυκλώματα τροφοδοτούνται από τον κύριο ζυγό, ο οποίος προστατεύεται από μία ζώνη διαφορικής προστασίας, ενώ ο ζυγός μεταφοράς δεν τροφοδοτείται. Ως εκ τούτου, οποιοδήποτε σφάλμα στο ζυγό, επιβάλλει το άνοιγμα όλων των Δ/Ι. Το πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ότι, σε περίπτωση που εμφανιστεί πρόβλημα σε κάποιον από τους Δ/Ι του κύριου ζυγού ή χρειαστεί να γίνει συντήρηση σε κάποιο τμήμα του, το κύκλωμα το οποίο εξυπηρετείται από αυτόν μπορεί να συνδεθεί με τον ζυγό μεταφοράς, μέσω του ανάλογου διακόπτη και του κλεισίματος του διακόπτη σύνδεσης του κύριου ζυγού με τον ζυγό μεταφοράς. Από την άλλη, βέβαια, το μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι πως, λόγω της αλλαγής που επέρχεται στην διάταξη των ζυγών μετά την ενεργοποίηση του ζυγού μεταφοράς, το σύστημα προστασίας θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί κατάλληλα ώστε να έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζει τις ρυθμίσεις του στα νέα δεδομένα. Το τελευταίο μπορεί να γίνει αρκετά εύκολα μόνο με τη χρήση των ψηφιακών Η/Ν.



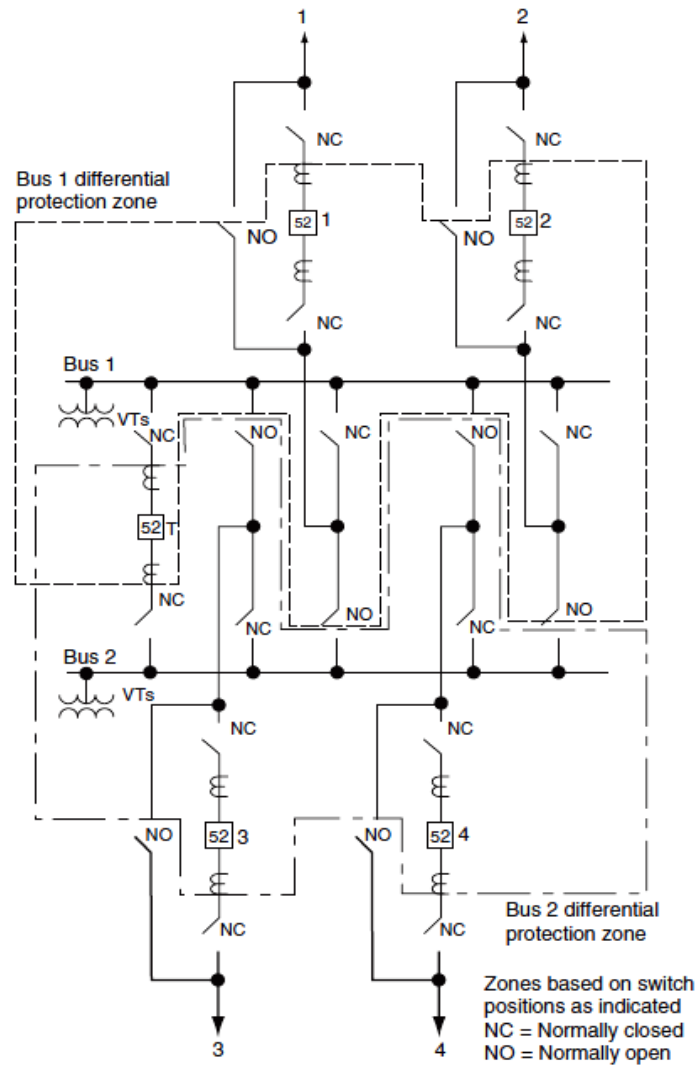
Εικόνα 1.58: Διάταξη με κύριο ζυγό & ζυγό μεταφοράς [3]

Η διάταξη single breaker-double bus που δίνεται στην Εικόνα 1.59, παρέχει υψηλή λειτουργική ευελιξία επειδή επιτρέπει την εξυπηρέτηση οποιασδήποτε γραμμής από όποιον ζυγό επιθυμούμε, οι δύο ζυγοί μπορούν να λειτουργούν μαζί ή ξεχωριστά και, τέλος, ο ένας από αυτούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ζυγός μεταφοράς αν κάποιος  $\Delta/I$  τεθεί εκτός λειτουργίας. Για την προστασία αυτής της διάταξης χρησιμοποιούνται δύο ζώνες διαφορικής προστασίας. Το μειονέκτημα αυτής της διάταξης είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα στην εναλλαγή των ρυθμίσεων των προστασιών. Ακόμη, για να εκκαθαριστεί οποιοδήποτε σφάλμα σε κάποιον από τους ζυγούς, απαιτείται το άνοιγμα όλων των  $\Delta/I$  του ζυγού αυτού, ενώ για σφάλμα στον  $\Delta/I$  που λειτουργεί ως σύνδεση κύριου ζυγού με το ζυγό μεταφοράς, απαιτείται το άνοιγμα όλων των  $\Delta/I$  της διάταξης. Αξίζει να επισημανθεί ότι και σε αυτή την περίπτωση, η χρήση των ψηφιακών H/N μπορεί να διευκολύνει σημαντικά τη σωστή ρύθμιση των προστασιών.

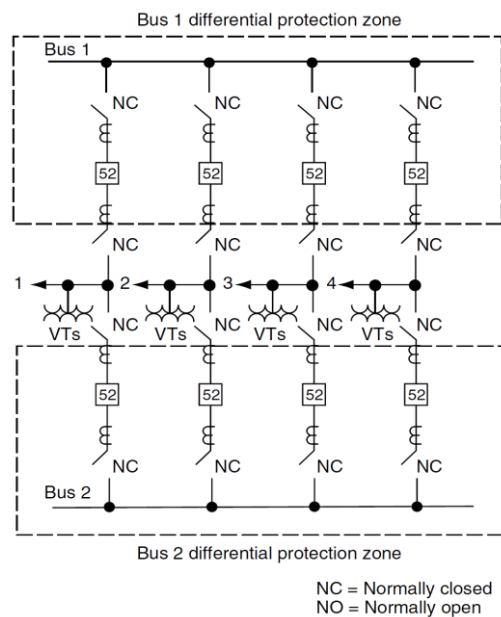
Η double breaker-double bus (Εικόνα 1.60) είναι μία εξαιρετικά ευέλικτη διάταξη ζυγών, αλλά χρησιμοποιεί δύο  $\Delta/I$  για κάθε ένα κύκλωμα που τροφοδοτείται από αυτούς. Κάθε ζυγός της διάταξης αυτής προστατεύεται από μία ξεχωριστή ζώνη διαφορικής προστασίας. Η προστασία γραμμής που επιτηρεί τις γραμμές που αναχωρούν από τους ζυγούς λειτουργεί ανοίγοντας και τους δύο  $\Delta/I$  που της αναλογούν, επειδή σχεδιάζεται ώστε να παρέχει προστασία στο κομμάτι μεταξύ των δύο ζωνών διαφορικής προστασίας λαμβάνοντας μετρήσεις από τους Μ/Σ εντάσεως σε παράλληλη σύνδεση. Τέλος, στη διάταξη αυτή, οποιοδήποτε σφάλμα κι αν εμφανιστεί σε κάποιον από τους ζυγούς, δεν οδηγεί σε διακοπή τροφοδότησης των κυκλωμάτων.

Η διάταξη τύπου δαχτυλιδιού (ring bus - Εικόνα 1.61) χρησιμοποιείται συνήθως στις υψηλές τάσεις και έχει το πλεονέκτημα να παρέχει υψηλή ευελιξία με τον ελάχιστο απαιτούμενο αριθμό  $\Delta/I$ . Κάθε  $\Delta/I$  της διάταξης αυτής τροφοδοτεί δύο κυκλώματα και συνεπώς πρέπει να ανοίξει για οποιοδήποτε σφάλμα σε κάποιο από αυτά. Η προστασία της διάταξης επιτυγχάνεται μέσω της προστασίας των κυκλωμάτων που τροφοδοτεί διότι ουσιαστικά αποτελεί μέρος αυτών. Έτσι, δεν απαιτείται στην περίπτωση αυτή, εγκατάσταση κάποιας άλλης ειδικής προστασίας. Τέλος, αν το δαχτυλίδι που σχηματίζει η διάταξη «σπάσει» για οποιοδήποτε λόγο και τύχει να συμβεί κάποιο

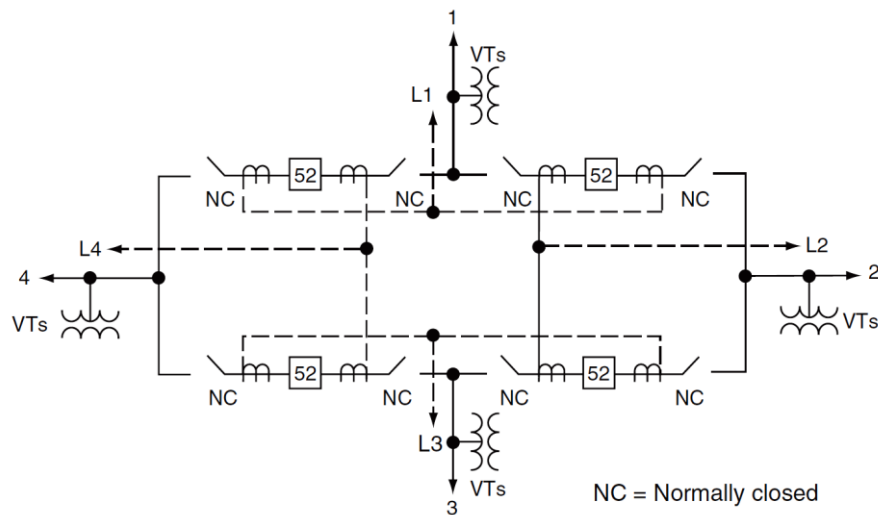
σφάλμα σε ένα κύκλωμα, τότε είναι πιθανό να αποσυνδεθούν και όλα τα υπόλοιπα κυκλώματα από το ζυγό ώστε να αποκοπεί το σφάλμα, με άμεσο, φυσικά, αντίκτυπο στη συνοχή του Σ.Η.Ε.



Εικόνα 1.59: Διάταξη ζυγών τύπου single breaker-double bus [3]

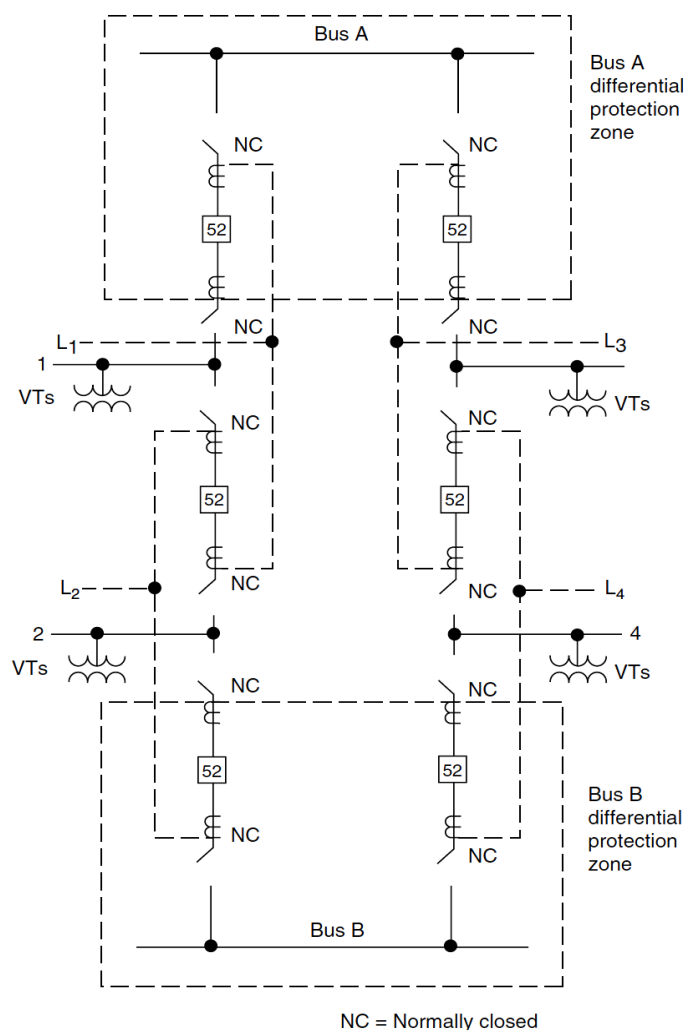


Εικόνα 1.60: Διάταξη ζυγών τύπου double breaker-double bus [3]



Εικόνα 1.61: Διάταξη τύπου δαχτυλιδιού [3]

Η διάταξη breaker-and-half bus παρέχει ακόμη μεγαλύτερη ευελιξία λειτουργίας, αλλά απαιτεί μεγαλύτερο αριθμό  $\Delta/I$  από τη διάταξη τύπου δαχτυλιδιού. Χρησιμοποιείται σε συστήματα υψηλής τάσης με πολλά κυκλώματα. Διαθέτει δύο ζυγούς λειτουργίας, οι οποίοι είναι εφοδιασμένοι με ξεχωριστά σχήματα διαφορικής προστασίας. Τέλος, κάθε κύκλωμα τροφοδοτείται και από τους δύο ζυγούς μέσω δύο  $\Delta/I$ .



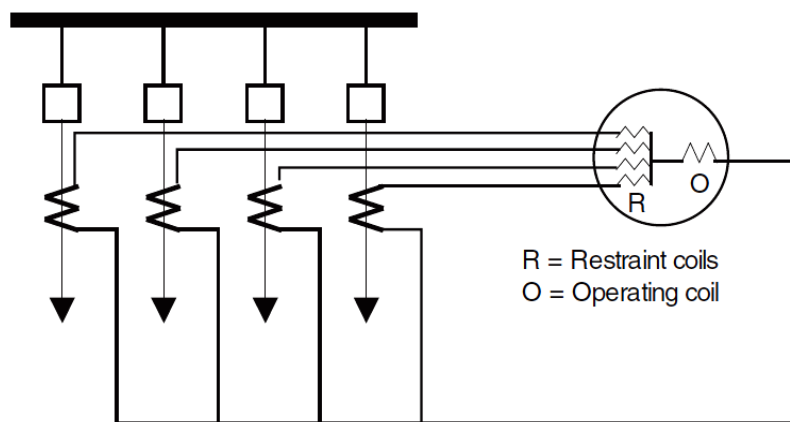
Εικόνα 1.62: Διάταξη breaker-and-half bus [3]

### 1.7.2 Διαφορική προστασία ζυγών

Αν θέλουμε να επιτύχουμε πλήρη διαφορική προστασία στις διατάξεις ζυγών, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλα τα κυκλώματα που συνδέονται σε αυτούς. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι θα πρέπει να γίνονται συγκρίσεις μεταξύ ρευμάτων που μπορεί να προέρχονται από Μ/Σ εντάσεως, οι οποίοι να έχουν διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά και οι οποίοι δέχονται ρεύματα αρκετά διαφορετικού μέτρου. Με άλλα λόγια, οι Μ/Σ εντάσεως σε ένα κύκλωμα στο οποίο παρουσιάζεται κάποιο σφάλμα, θα πρέπει να αναπαράγουν στο δευτερεύον τους ένα αρκετά υψηλής τιμής ρεύματος σφάλματος με αρκετή ακρίβεια, ώστε, συγκρινόμενο με τα ρεύματα συνεισφοράς από τους άλλους Μ/Σ εντάσεως, τα οποία είναι σαφώς μικρότερα του ρεύματος σφάλματος, να μην οδηγήσουν τη διαφορική προστασία του ζυγού σε λειτουργία. Αυτό είναι το βασικότερο πρόβλημα της διαφορικής προστασίας των ζυγών.

#### 1.7.2.1 Διαφορική προστασία με πολλαπλά πηνία αναστολής

Η διαφορική προστασία με πολλαπλά πηνία αναστολής χρησιμοποιείται πολύ συχνά, παρόλη τη δυσκολία που παρουσιάζει στην εφαρμογή της. Χρησιμοποιεί συμβατικούς Μ/Σ έντασης, οι οποίοι μετρούν τα ρεύματα που ρέουν στις φάσεις των κυκλωμάτων που είναι συνδεδεμένα στο ζυγό, τα οδηγούν σε ίσο αριθμό πηνίων αναστολής όπου αθροίζονται και γίνεται η διαφορική σύγκριση σε ένα πηνίο λειτουργίας ώστε να αποφασιστεί η ύπαρξη ή μη κάποιου σφάλματος. Επισημαίνεται πως τα κυκλώματα που δεν συνεισφέρουν ιδιαίτερος σε σφάλματα μπορούν να παραλληλιστούν σε ένα κοινό πηνίο αναστολής. Τέλος, όλοι οι Μ/Σ έντασης συνδέονται σε αστέρα μιας και δεν υπάρχουν θέματα στροφής φάσης.



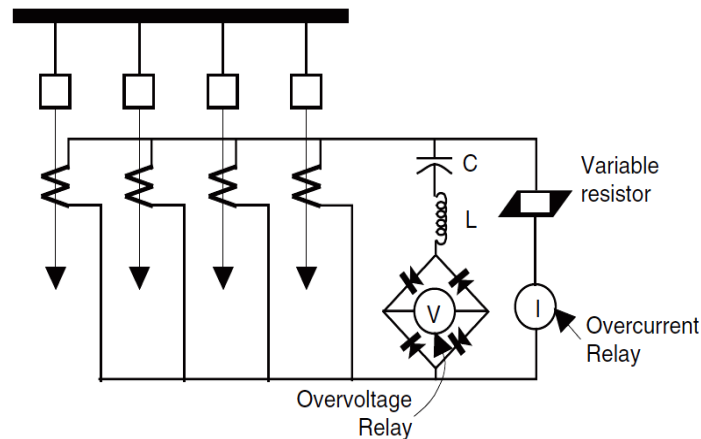
Εικόνα 1.63: Διαφορική προστασία ζυγών με πολλαπλά πηνία αναστολής [2]

#### 1.7.2.2 Διαφορική προστασία με H/N τάσεως υψηλής σύνθετης αντίστασης

Η διαφορική προστασία με πολλαπλά πηνία αναστολής που παρουσιάστηκε προηγουμένως είναι αρκετά ευαίσθητη και μπορεί να λειτουργήσει χωρίς να χρειάζεται, π.χ. όταν, λόγω κάποιου εξωτερικού και κοντινού προς το ζυγό σφάλματος, φθάσει στον κορεσμό κάποιος από τους Μ/Σ έντασης που χρησιμοποιεί. Την λύση σε αυτό το πρόβλημα δίνει η διαφορική προστασία με H/N τάσεως υψηλής σύνθετης αντίστασης, η οποία μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να λάβει υπόψη της την μέγιστη τάση που μπορεί να εμφανιστεί στο πηνίο λειτουργίας της λόγω του κορεσμού των Μ/Σ έντασης.

Το εν λόγω σχήμα προστασίας φαίνεται στην Εικόνα 1.64. Αποτελείται από ένα κύκλωμα L-C ρυθμισμένο ώστε να επιτρέπει τη διέλευση ημιτόνων συχνότητας 50Hz σε σειρά με έναν H/N υπέρτασης. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται τυχόν δυσλειτουργία του H/N λόγω DC συνιστώσας

ή αρμονικών. Επίσης, για την ταχεία απομόνωση των μεγάλου μέτρου ρευμάτων σφάλματος, χρησιμοποιείται ένας H/N υπερεντάσεως στιγμιαίου χρόνου σε σειρά με μία μεταβλητή αντίσταση, η οποία περιορίζει την ανάπτυξη υπερβολικής τάσεως επί του H/N.

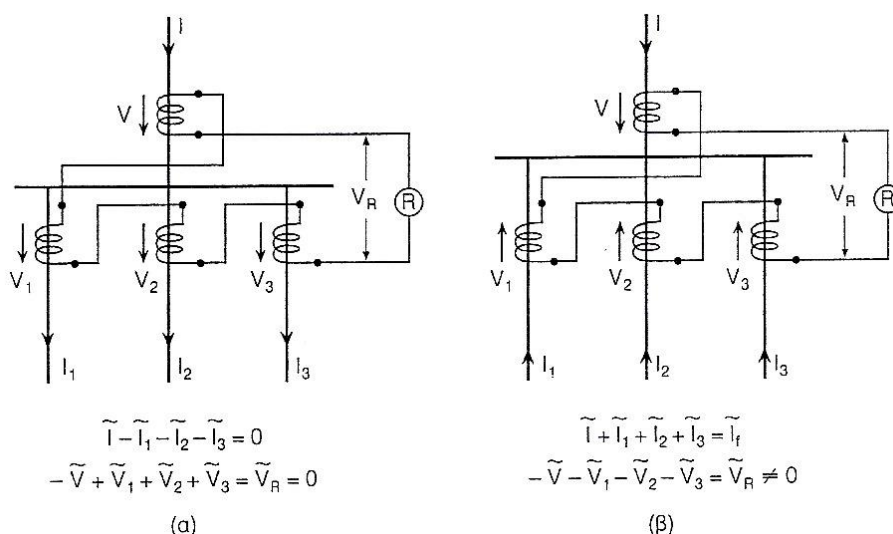


Εικόνα 1.64: Διαφορική προστασία με H/N τάσεως υψηλής σύνθετης αντίστασης [2]

Είναι άξιο επισημάνσης στο σημείο αυτό ότι συνδυάζοντας τη διαφορική προστασία με πολλαπλά πηνία αναστολής και τη διαφορική προστασία με H/N τάσεως υψηλής σύνθετης αντίστασης, προκύπτει η λεγόμενη μετριοπαθής διαφορική προστασία υψηλής αντίστασης, η οποία πλεονεκτεί έναντι των προηγούμενων λόγω της υψηλότερης ταχύτητάς της.

### 1.7.2.3 Διαφορική προστασία με χρήση γραμμικών πηνίων ζεύξης

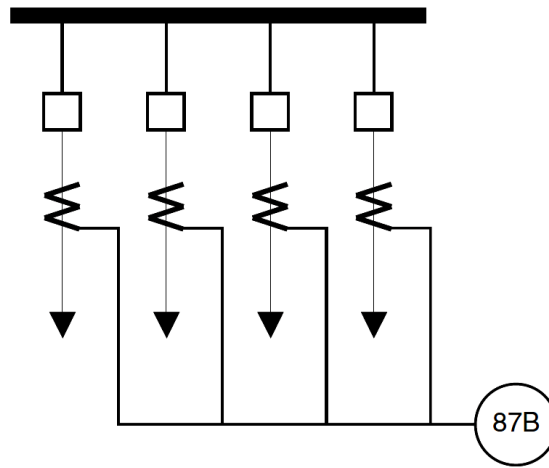
Όπως είδαμε, η διαφορική προστασία με H/N τάσεως υψηλής σύνθετης αντίστασης δεν απαλείφει το πρόβλημα του κορεσμού των Μ/Σ έντασης, αλλά προσπαθεί να το απομονώσει και να το καταστήσει ελεγχόμενο. Μία μέθοδος διαφορικής προστασίας, η οποία είναι απαλλαγμένη από φαινόμενα κορεσμού, είναι αυτή που κάνει χρήση αλληλεπαγωγικών πηνίων αέρος ή γραμμικών πηνίων ζεύξης αντί Μ/Σ για την μέτρηση των ρευμάτων. Τα αλληλεπαγωγικά πηνία αέρος μπορεί να μοιάζουν μορφολογικά με τους συνήθεις Μ/Σ έντασης, αλλά παράγουν μία τάση εξ επαγωγής που είναι ανάλογη του ρεύματος πρωτεύοντος. Έτσι, για την διαφορική προστασία π.χ. ενός ζυγού, τα δευτερεύοντα των αλληλεπαγωγικών πηνίων αέρος συνδέονται σε σειρά και η αρχή λειτουργίας της φαίνεται στην Εικόνα 1.65.



Εικόνα 1.65: Προστασία ζυγών με αλληλεπαγωγικά πηνία αέρος [10]

#### 1.7.2.4 Διαφορική προστασία με H/N υπερεντάσεως

Στην διαφορική προστασία με H/N υπερεντάσεως, τα δευτερεύοντα των Μ/Σ έντασης κάθε φάσης παραλληλίζονται και συνδέονται σε έναν H/N υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου, ο οποίος πρέπει να ρυθμιστεί κατάλληλα ώστε να μην λειτουργεί για την μέγιστη τιμή του ρεύματος που μπορεί να εμφανιστεί λόγω κάποιου εξωτερικού σφάλματος. Από τις διαθέσιμες χαρακτηριστικές εντάσεως-χρόνου, έχει παρατηρηθεί ότι η χαρακτηριστική τύπου inverse λειτουργεί αποδοτικότερα σε αυτές τις περιπτώσεις, επειδή για μικρά ρεύματα αφήνει ένα ικανό χρονικό διάστημα προτού λειτουργήσει, ώστε να μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι το ρεύμα αυτό δεν είναι απλώς μια μεταβατική DC συνιστώσα που εμφανίστηκε, αλλά ένα πραγματικό σφάλμα. Συνεπώς, η διαφορική προστασία με H/N υπερεντάσεως είναι γενικά αργή και γι' αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρούς και χαμηλής τάσεως ζυγούς.



Εικόνα 1.66: Διαφορική προστασία ζυγών με H/N υπερεντάσεως [2]

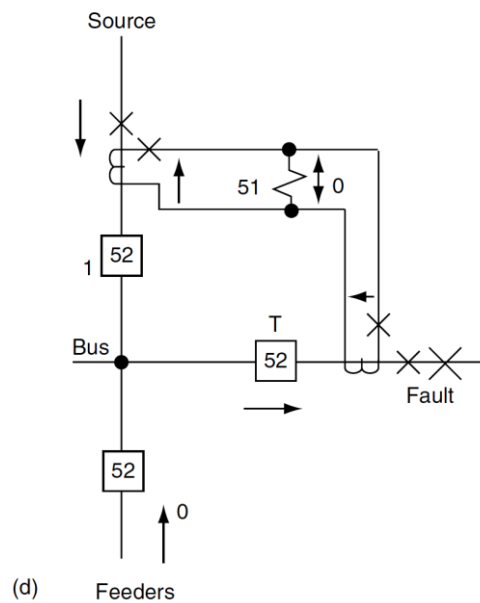
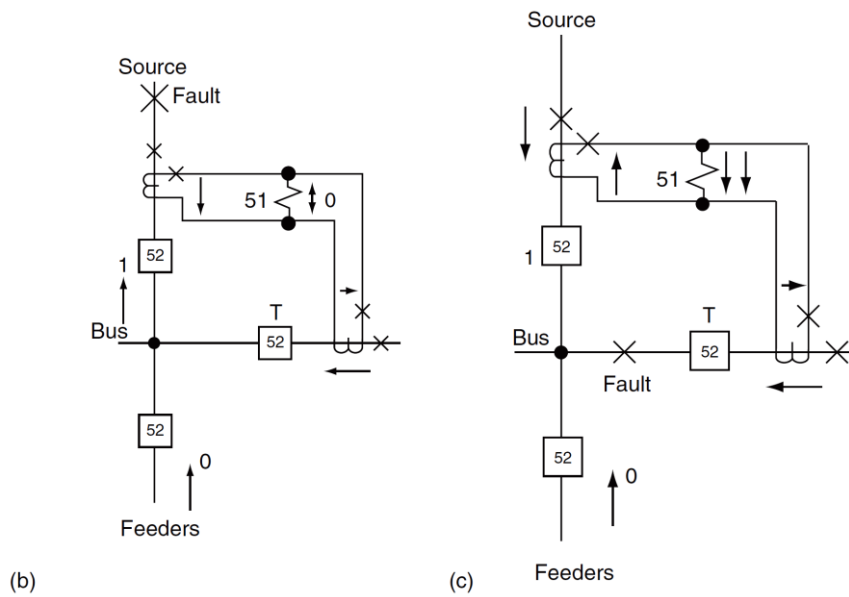
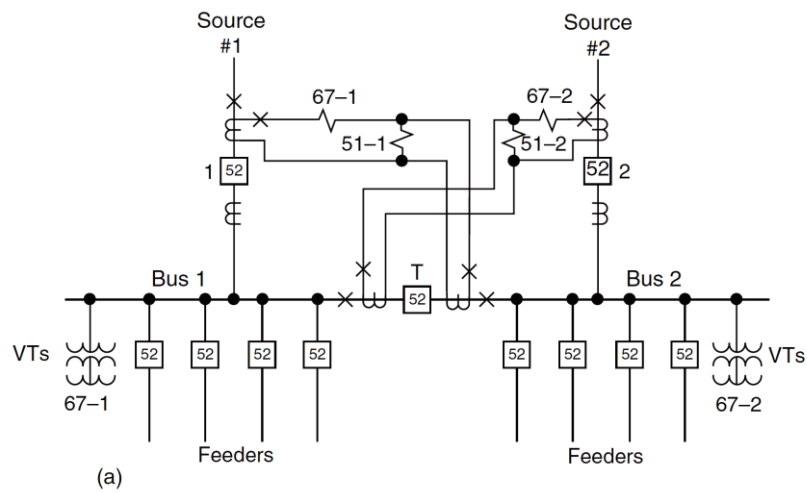
#### 1.7.2.5 Διαφορική προστασία με σύγκριση κατευθύνσεως

Για την εφαρμογή διαφορικής προστασίας με σύγκριση κατευθύνσεως χρησιμοποιείται ένας H/N κατευθύνσεως σε κάθε κύκλωμα που τροφοδοτείται από το ζυγό. Οι H/N αυτοί ρυθμίζονται ώστε να λειτουργούν όταν η φορά ρεύματος είναι προς τον ζυγό. Το πλεονέκτημα αυτής της προστασίας είναι η απαλοιφή των προβλημάτων που σχετίζονται με την απόδοση των Μ/Σ έντασης, τα χαρακτηριστικά τους και το λόγο μετασχηματισμού τους. Τα μειονεκτήματά της είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασής της, η ανάγκη ύπαρξης πηγής τάσης και η δυσκολία ρύθμισης των H/N ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός συγχρονισμός των επαφών τους.

#### 1.7.2.6 Μερική διαφορική προστασία

Αυτό το σχήμα προστασίας χρησιμοποιείται συχνά σε ζυγούς υποσταθμών χαμηλής τάσης βιομηχανιών όταν υπάρχουν κυκλώματα που τροφοδοτούν με αμελητέο ρεύμα συνεισφοράς τα σφάλματά τους και δεν υπάρχουν αρκετοί ή κατάλληλοι Μ/Σ έντασης για την εφαρμογή πλήρους διαφορικής προστασίας. Για την ορθή λειτουργία της εν λόγω προστασίας απαιτείται η παράλληλη σύνδεση των Μ/Σ έντασης που μετρούν τα ρεύματα που συνεισφέρουν σε κάποιο σφάλμα του ζυγού με έναν H/N υπερεντάσεως, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.67. Ο H/N υπερεντάσεως θα πρέπει να ρυθμιστεί κατάλληλα ώστε να είναι χρονικά συγχρονισμένος με τις προστασίες των κυκλωμάτων που τροφοδοτεί ο ζυγός. Μία χαρακτηριστική ρεύματος-χρόνου που προσφέρει καλή συμπεριφορά σε τέτοιες περιπτώσεις είναι η τύπου inverse.





Εικόνα 1.67: Μερική διαφορική προστασία ζυγών & δευτερεύουσα προστασία κυκλωμάτων τροφοδότησης | (a) Παράδειγμα μονογραμμικού διαγράμματος | (b) Περίπτωση σφάλματος στην πλευρά των πηγών | (c) Περίπτωση σφάλματος στο ζυγό ή στην πλευρά των κυκλωμάτων τροφοδότησης | (d) Περίπτωση σφάλματος στον διπλανό ζυγό [3]

Σε περίπτωση όπου υπάρχουν εγκατεστημένα στα κυκλώματα τροφοδότησης του ζυγού πηνία που περιορίζουν το μέγεθος του ρεύματος σφάλματος και έχουμε στη διάθεσή μας τους απαραίτητους Μ/Σ τάσης, τότε αντί των Η/Ν υπερεντάσεως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν Η/Ν αποστάσεως ρυθμισμένοι να επιτηρούν το δίκτυο μέχρι και το εσωτερικό των πηνίων. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται πιο γρήγορη και ευαίσθητη προστασία.

### **1.7.3 Προστασία ζυγών από σφάλματα γης**

Τα στηρίγματα των ζυγών και ο εξοπλισμός ενός υποσταθμού είναι μονωμένα από τη γη και συνδέονται όλα μαζί σε μία κοινή γείωση μέσω ενός Η/Ν υπερεντάσεως. Με αυτό τον τρόπο, αν ποτέ εμφανιστεί κάποιο σφάλμα γης στο σύστημα αυτό, το ρεύμα σφάλματος θα ενεργοποιήσει τον Η/Ν, ο οποίος θα λειτουργήσει και θα το αποκόψει.

## 1.8 Προστασία γραμμών μεταφοράς

Η κατανόηση των προβλημάτων προστασίας και των αντίστοιχων λύσεων που έχουν εφευρεθεί για την περίπτωση των γραμμών μεταφοράς βοηθά στην κατανόηση όλων των υπολοίπων μεθόδων προστασίας των δομικών στοιχείων ενός Σ.Η.Ε. Το εύρος του μέτρου των ρευμάτων σφάλματος, η επίδραση του φορτίου σε αυτό, η κατεύθυνσή του και το αντίκτυπό του στο όλο σύστημα είναι μερικά μόνο από τα θέματα που χρειάζεται να μελετηθούν και να ληφθούν υπόψη. Ακόμη, επειδή οι γραμμές μεταφοράς συνδέονται με γειτονικές γραμμές μεταφοράς ή άλλον εξοπλισμό, γίνεται επιτακτική η ανάγκη επιλογικής ρύθμισης του συστήματος προστασίας τους με τα αντίστοιχα συστήματα των γειτονικών του στοιχείων. Οι γραμμές μεταφοράς απειλούνται κυρίως από βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσεων ή μεταξύ φάσεων και γης.

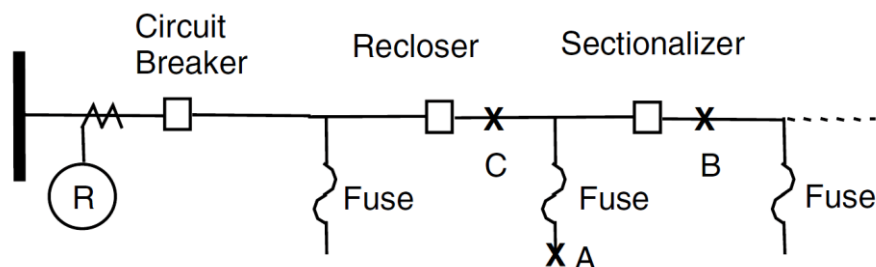
Οι διαβαθμισμένες προστασίες των γραμμών μεταφοράς είναι εκείνες των οποίων η λειτουργία βασίζεται αποκλειστικά σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών στη θέση εγκατάστασης του Η/Ν ή γενικά της συσκευής προστασίας της προστατευόμενης γραμμής μεταφοράς (όπως π.χ. η προστασία υπερεντάσεως ή αποστάσεως). Το πρόβλημα αυτών των προστασιών είναι ότι δεν μπορούν να ρυθμιστούν με απόλυτη ακρίβεια ώστε να προστατεύουν ολόκληρη τη γραμμή μεταφοράς λόγω των εξαιρετικά μικρών διαφορών που παρουσιάζονται στις αντιστάσεις ή στα ρεύματα σφάλματος, για σφάλματα στο άκρο της και σε μία σχετικά μικρή απόσταση πριν από αυτό.

Ως εκ τούτου, η στιγμιαία απομόνωση όλων των σφαλμάτων μιας γραμμής μεταφοράς δεν μπορεί να εξασφαλιστεί με τη χρήση διαβαθμισμένων προστασιών. Αν θέλαμε να επιτύχουμε κάτι τέτοιο, το πιο ιδανικό σχήμα προστασίας θα ήταν το διαφορικό. Το πρόβλημα με τη διαφορική προστασία των γραμμών μεταφοράς είναι το υψηλό κόστος της λόγω των μεγάλων μηκών τους. Ακόμη, ένα τέτοιο σχήμα προστασίας θα απαιτούσε έξι αγωγούς πολύ καλά μονωμένους λόγω της εγγύτητάς τους προς τη γραμμή μεταφοράς. Επίσης, σε ένα τέτοιο σχήμα είναι πιθανό να εμφανίζονταν λανθασμένα διαφορικά ρεύματα λόγω των διάφορων ατελειών του συστήματος.

Η ανάπτυξη των ψηφιακών Η/Ν, όμως, σε συνδυασμό με την εξέλιξη στα συστήματα επικοινωνίας, έδωσε τη δυνατότητα στους μηχανικούς προστασίας να εφεύρουν σχήματα διαφορικής προστασίας, τα οποία δεν είχαν ανάγκη την ύπαρξη ξεχωριστών καλωδίων ελέγχου μεταξύ των τερματικών ζυγών μιας γραμμής μεταφοράς. Αυτή είναι η λεγόμενη προστασία με αγωγούς πιλότους ή κανάλια επικοινωνίας.

### 1.8.1 Προστασία των γραμμών των δικτύων διανομής

Τα δίκτυα διανομής ορίζονται ως τα κομμάτια του Σ.Η.Ε. που τροφοδοτούν τον τελικό Μ/Σ υποβιβασμού, ο οποίος με τη σειρά του τροφοδοτεί τα βιομηχανικά, εμπορικά και οικιακά φορτία. Ένα δίκτυο διανομής αποτελείται από κορμούς και διακλαδώσεις και είναι σχεδόν πάντοτε ακτινικής μορφής, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

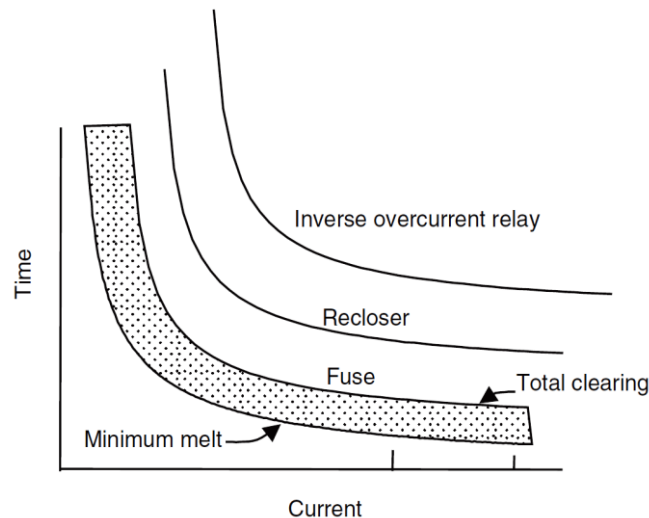


Εικόνα 1.68: Μορφή δικτύου διανομής [2]

Οι κορμοί είναι τριφασικές γραμμές, ενώ οι διακλαδώσεις είναι μονοφασικές συνδέσεις προς τους κορμούς. Μερικά βιομηχανικά ή εμπορικά φορτία που επιθυμούν τριφασική τροφοδότηση συνδέονται στον κορμό, ενώ τα υπόλοιπα μονοφασικά τροφοδοτούμενα φορτία συνδέονται στην πλειονότητά τους πάνω σε διακλαδώσεις.

### 1.8.1.1 Ασφάλειες

Το πιο βασικό μέσο προστασίας στα δίκτυα διανομής είναι η ασφάλεια (fuse). Οι ασφάλειες επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε το ονομαστικό τους ρεύμα να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το μέγιστο ρεύμα κανονικής λειτουργίας που μπορεί να εμφανιστεί και η διακοπτική τους ικανότητα να είναι ίση ή μεγαλύτερη από το μέγιστο πιθανό ρεύμα σφάλματος. Οι χαρακτηριστικές λειτουργίας των ασφαλειών διαφέρουν αναλόγως του κατασκευαστή και έχουν την μορφή που φαίνεται στην Εικόνα 1.69. Ο ελάχιστος χρόνος τήξης (minimum melt time) είναι το χρονικό διάστημα από την εμφάνιση ενός ρεύματος ικανού να τήξει την ασφάλεια και της στιγμής που ξεκινά το τόξο. Ο χρόνος ολικής εκκαθάρισης (total clearing time) είναι ο χρόνος μεταξύ της εμφάνισης κάποιας υπερέντασης ικανής να τήξει την ασφάλεια μέχρι τη στιγμή πλήρους εκκαθάρισής της. Το ρεύμα συνεχούς φορτίου των ασφαλειών ορίζεται ως το μέγιστο ρεύμα το οποίο μπορεί να αντέξει η ασφάλεια για τρεις ή περισσότερες ώρες χωρίς να φθαρεί. Το «hot load» ρεύμα είναι το εκείνο που μπορεί να αντέξει επ' αόριστον η ασφάλεια και υπό το οποίο μπορεί στιγμιαία να αποσυνδεθεί και να επανασυνδεθεί χωρίς να προκληθεί κάψιμό της. Τέλος, το «cold load» ρεύμα είναι εκείνο που μπορεί να αντέξει η ασφάλεια όταν επανατροφοδοτηθεί μετά από κάποια παροδική διακοπή τροφοδότησης.



Εικόνα 1.69: Χαρακτηριστικές λειτουργίας ασφάλειας, διακόπτη επαναφοράς και H/N υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου [2]

### 1.8.1.2 Διακόπτες επαναφοράς & διακόπτες απομόνωσης τμημάτων

Εκτός από τις ασφάλειες, άλλες κοινές διακοπτικές συσκευές που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα διανομής, είναι επίσης οι διακόπτες επαναφοράς (reclosers) και οι διακόπτες απομόνωσης τμημάτων (sectionalizers). Οι διακόπτες απομόνωσης τμημάτων δεν μπορούν να διακόψουν σφάλματα, αλλά χρησιμοποιούνται για να απομονώνουν τμήματα του δικτύου διανομής που παρουσιάζουν επίμονα (μόνιμα) σφάλματα. Για να το επιτύχουν αυτό, συνεργάζονται με τους διακόπτες επαναφοράς, οι οποίοι έχουν κάποια περιορισμένη διακοπτική ικανότητα σφαλμάτων. Όταν, λοιπόν, εμφανίζεται κάποιο σφάλμα στο τμήμα που επιτηρεί ο διακόπτης απομόνωσης

τιμήματος, τότε αυτό εντοπίζεται και απλώς προστίθεται σε έναν μετρητή εντός του εν λόγω διακόπτη. Τότε, οι διακόπτες επαναφοράς λειτουργούν ώστε να εκκαθαρίσουν το σφάλμα και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα δοκιμάζουν να επαναφέρουν την τροφοδότηση. Αν το σφάλμα επιμένει να υφίσταται, ο διακόπτης απομόνωσης τμημάτων μετρά άλλη μία εκδήλωση σφάλματος και εφόσον φθάσει στο όριο που του έχει ανατεθεί, αναμένει να εκκαθαριστεί και πάλι το σφάλμα από τον διακόπτη επαναφοράς ώστε να ανοίξει κι αυτός εκ των υστέρων και να απομονώσει το προβληματικό κομμάτι του δικτύου διανομής. Έτσι, εξασφαλίζεται η τροφοδότηση των υπόλοιπων υγιών περιοχών του δικτύου διανομής μετά την νέα επανατροφοδότησή του από το διακόπτη επαναφοράς.

### **1.8.1.3 Προστασία με H/N υπερεντάσεως**

Πέραν των μέσων προστασίας που αναφέρθηκαν, τα δίκτυα διανομής διαθέτουν στις αρχές των κορμών τους H/N υπερεντάσεως ρυθμισμένους ώστε να λειτουργούν σε πιο αργό χρόνο από τα προς τα κατάντη τους διακοπτικά μέσα ώστε να εξασφαλίζεται ο απαραίτητος συγχρονισμός και η αναγκαία εφεδρεία σε περίπτωση βλάβης.

### **1.8.1.4 Δυσκολίες προστασίας σύγχρονων δικτύων διανομής**

Λόγω της αλματώδους αύξησης των ανεξάρτητων παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. φωτοβολταϊκά) που συνδέονται πάνω στα δίκτυα διανομής των σύγχρονων Σ.Η.Ε. καθώς και των διασυνδέσεων που υλοποιούνται μεταξύ των δικτύων διανομής με στόχο την επίτευξη μικρότερων χρόνων μη εξυπηρέτησης των καταναλωτών μετά από κάποια βλάβη, η προστασία των δικτύων διανομής γίνεται όλο και πιο πολύπλοκη. Τα μέσα προστασίας και ιδιαιτέρως οι H/N καλούνται πλέον να αναγνωρίζουν την κατεύθυνση του ρεύματος σφάλματος, πράγμα το οποίο επιβάλλει τη χρήση κατάλληλων H/N κατευθύνσεως και την εξασφάλιση πηγών πόλωσης αναφοράς, όπως και την δυνατότητα αυτόματης προσαρμογής των ρυθμίσεών τους σε όλες τις πιθανές διαφοροποιήσεις των τοπολογιών των δικτύων διανομής λόγω χειρισμών ή αποκοπής κομματιών του δικτύου λόγω λειτουργίας κάποιας προστασίας.

## **1.8.2 Προστασία των γραμμών του συστήματος μεταφοράς**

Οι γραμμές του συστήματος μεταφοράς ενός Σ.Η.Ε. αναλαμβάνουν την μεταφορά ισχύος από τις πηγές παραγωγής προς τις περιοχές των φορτίων και την ανταλλαγή ισχύος με άλλα γειτονικά Σ.Η.Ε. Αυτές οι γραμμές μεταφοράς είναι γενικά βροχοειδείς, ούτως ώστε η τροφοδότηση να είναι αξιόπιστη και ευέλικτη. Η προστασία των γραμμών μεταφοράς υλοποιείται στα τερματικά τους σημεία μέσω της χρήσης H/N και Δ/Ι. Οι στόχοι του συστήματος προστασίας των γραμμών μεταφοράς είναι οι εξής:

- Η γρήγορη εκκαθάριση των σφαλμάτων που εμφανίζονται, ώστε να ενισχυθεί η μεταβατική ευστάθεια του συστήματος, να ελαχιστοποιηθεί η διαταραχή του επιπέδου τάσεως και να αποσοβηθεί οποιαδήποτε βλάβη του εξοπλισμού.
- Για την εκκαθάριση του σφάλματος θα πρέπει να λειτουργήσουν μόνο οι απολύτως απαραίτητοι Δ/Ι ώστε να μην προκληθεί μεγαλύτερη της αναγκαίας διακοπή τροφοδότησης.
- Για τις εναέριες γραμμές μεταφοράς θα πρέπει να εφαρμόζεται ειδικό αυτοματοποιημένο σύστημα επανατροφοδότησής τους (reclosing) μετά από εμφάνιση παροδικών σφαλμάτων.

- Οι ρυθμίσεις του συστήματος προστασίας θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε η γραμμή να μπορεί να λειτουργήσει απρόσκοπτα για κάποιο περιορισμένο χρονικό διάστημα με το μέγιστο φορτίο έκτακτης ανάγκης.

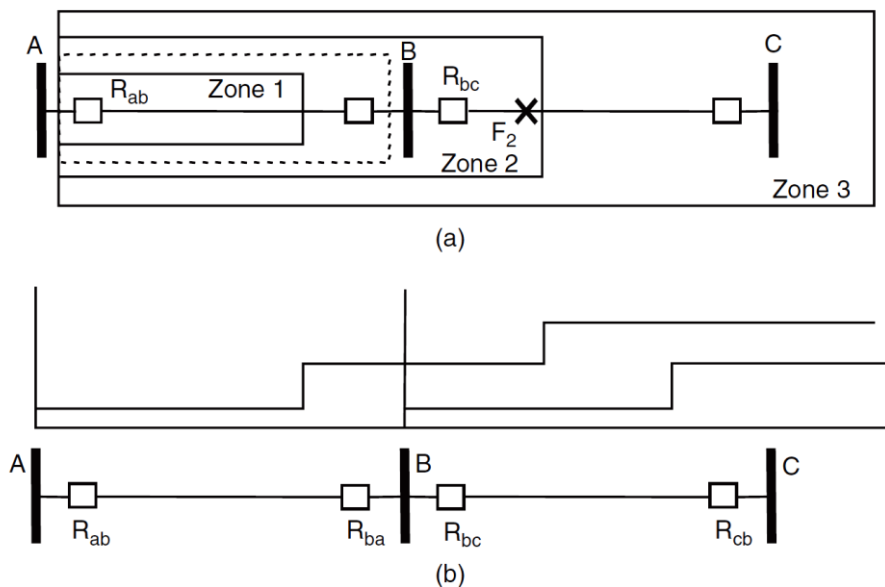
### 1.8.2.1 Με χρήση H/N υπερέντασης

Οι H/N υπερέντασης χρησιμοποιούνται στις γραμμές του συστήματος μεταφοράς κατά κύριο λόγο ως δευτερεύουσα προστασία σε περίπτωση που οι πρωτεύουσες προστασίες της αποτύχουν να εντοπίσουν ή και να αποκόψουν κάποιο σφάλμα. Λόγω της βροχοειδούς μορφής των συστημάτων μεταφοράς, οι H/N υπερέντασης που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως ελεγχόμενοι από ένα στοιχείο κατευθύνσεως.

Όσον αφορά τις ρυθμίσεις των H/N υπερέντασης φάσεως, το ρεύμα λειτουργίας τους θα πρέπει να ρυθμίζεται σε γενικές γραμμές κάπου ανάμεσα στο εύρος τιμών που ορίζει, από τη μία, το διπλάσιο του μέγιστου ρεύματος φορτίου και, από την άλλη, το ένα τρίτο του ελαχίστου ρεύματος σφάλματος, ενώ ο χρόνος καθυστέρησης λειτουργίας τους (TDS) θα πρέπει να επιλεγεί κατάλληλα ώστε να αφήνει αρκετό χρόνο στις πρωτεύουσες προστασίες να λειτουργήσουν πρώτες και γενικώς να εξασφαλίζεται η επιλογικότητα του συστήματος προστασίας. Παρόμοιας λογικής είναι και οι ρυθμίσεις των H/N υπερεντάσεως γης, το ρεύμα λειτουργίας των οποίων θα πρέπει να τεθεί σε κάποια τιμή μεγαλύτερη από τη προσδοκώμενη τιμή του ρεύματος στον ουδέτερο λόγω ασυμμετριών στις φάσεις ή στο φορτίο και σφαλμάτων των Μ/Σ έντασης. Σε περίπτωση που δεν έχουμε διαθέσιμες αυτές τις πληροφορίες, το ρεύμα λειτουργίας μπορεί να τεθεί περί το 10% του ρεύματος φορτίου.

### 1.8.2.2 Με χρήση H/N αποστάσεως

Οι H/N αποστάσεως χρησιμοποιούνται συνήθως ως πρωτεύουσα προστασία των γραμμών μεταφοράς. Μια γραμμή μεταφοράς που επιθυμείται να προστατευθεί με H/N αποστάσεως, πρέπει αρχικά να χωριστεί σε ζώνες προστασίας όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.70: Προστασία αποστάσεως γραμμής μεταφοράς [2]

Στην Εικόνα 1.70, η απολύτως επιθυμητή 1<sup>η</sup> ζώνη προστασίας της γραμμής AB είναι εκείνη που φαίνεται με διακεκομμένη γραμμή. Δυστυχώς, όμως, αυτή η ζώνη προστασίας δεν μπορεί να

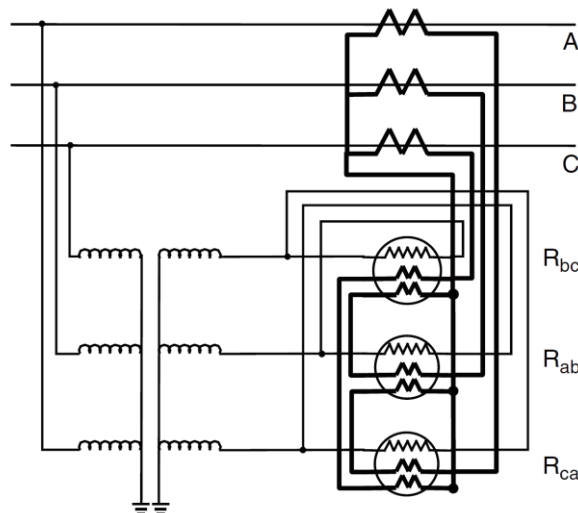
ρυθμίζεται με πλήρη αξιοπιστία, λόγω του πρακτικού προβλήματος ακριβούς καθορισμού του μήκους των ζωνών μέσω των σύνθετων αντιστάσεων. Δηλαδή, με άλλα λόγια, η διαφορά της τιμής της σύνθετης αντίστασης από τον H/N μέχρι δύο κοντινά προς το ζυγό Β σημεία είναι τόσο μικρή με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατόν να ρυθμιστούν με ακρίβεια τα όρια της ζώνης προστασίας του. Γι' αυτό το λόγο, έχουν καθιερωθεί κάποιες εμπειρικές ρυθμίσεις των ζωνών προστασίας για τους H/N αποστάσεως. Βάσει αυτών, η 1<sup>η</sup> ζώνη προστασίας μιας γραμμής μεταφοράς ρυθμίζεται στο 85%-90% του μήκους της γραμμής και λειτουργεί στιγμιαία σε περίπτωση σφάλματος. Η 2<sup>η</sup> ζώνη προστασίας ρυθμίζεται στο 120%-150% του μήκους της γραμμής με χρόνο λειτουργίας λίγο μεγαλύτερο της 1<sup>ης</sup>, ούτως ώστε να καλύψει το υπόλοιπο μέρος της γραμμής αλλά και να παρέχει δευτερεύουσα προστασία σε ένα κομμάτι της επόμενης. Τέλος, αν επιθυμείται να παρέχουμε δευτερεύουσα προστασία και στο υπόλοιπο κομμάτι της γειτονικής γραμμής, θα πρέπει να οριστεί άλλη μία ζώνη προστασίας στο 120%-180% του μήκους της με χρόνο λειτουργίας περί το 1sec.

#### 1.8.2.2.1 Τρόπος σύνδεσης Μ/Σ τάσης και έντασης αναλόγως των σφαλμάτων

Τα σφάλματα των γραμμών μεταφοράς εκδηλώνονται ως βραχυκυκλώματα φάσεων ή γης. Για τα βραχυκυκλώματα φάσεων, δηλαδή το διφασικό βραχυκύκλωμα με ή χωρίς γη και το τριφασικό συμμετρικό βραχυκύκλωμα, αποδεικνύεται ότι η σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας από τον H/N μέχρι το σφάλμα μπορεί να μετρηθεί δίνοντας στον H/N ως εισόδους την πολική τάση των εμπλεκόμενων φάσεων και τη διαφορά των ρευμάτων των εμπλεκόμενων φάσεων. Δηλαδή

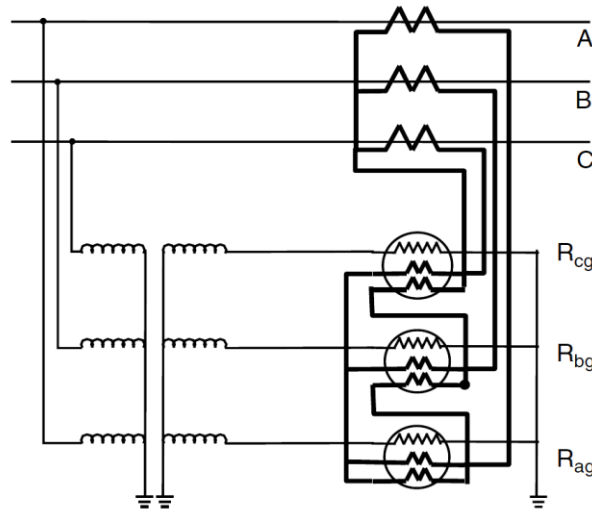
$$Z_{1F} = \frac{E_a - E_b}{I_a - I_b} = \frac{E_b - E_c}{I_b - I_c} = \frac{E_c - E_a}{I_c - I_a}$$

Η συνδεσμολογία των Μ/Σ έντασης και τάσεως για την περίπτωση των σφαλμάτων μεταξύ φάσεων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.71: Σύνδεση Μ/Σ τάσης και έντασης με τους H/N αποστάσεως για προστασία έναντι σφαλμάτων φάσεων [2]

Ομοίως, για τα βραχυκυκλώματα γης, αποδεικνύεται ότι η σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας από τον H/N μέχρι το σημείο του σφάλματος μπορεί να μετρηθεί αν δοθούν στον H/N ως είσοδοι η φασική τάση της εμπλεκόμενης φάσης και το λεγόμενο αντισταθμισμένο ρεύμα της εμπλεκόμενης φάσεως, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.72: Σύνδεση Μ/Σ τάσης και έντασης με τους Η/Ν αποστάσεως για προστασία έναντι σφαλμάτων φάσης με γη [2]

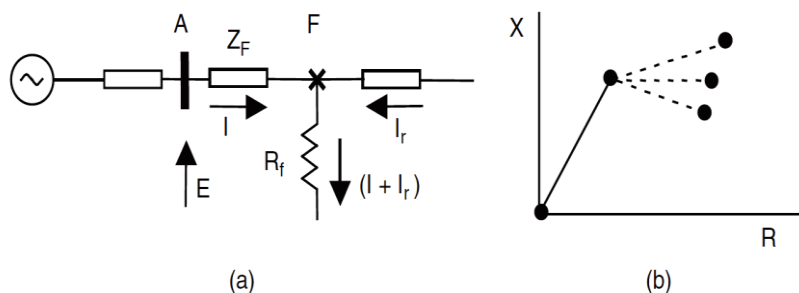
Από τις παραπάνω εικόνες, εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι, ενώ για την προστασία των γραμμών μεταφοράς χρησιμοποιούνται συνολικά 6 Η/Ν αποστάσεως, μόνο ο ένας από αυτούς μετράει τη σωστή σύνθετη αντίσταση μέχρι το σφάλμα. Οι υπόλοιποι Η/Ν συνήθως μετρούν μεγαλύτερη αντίσταση από αυτή χωρίς, όμως, να είναι απίθανο το ενδεχόμενο κάποιος από αυτούς να οδηγήσει σε λανθασμένη λειτουργία της προστασίας.

#### 1.8.2.2.2 Επίδραση αντίστασης σφάλματος στην λειτουργία των Η/Ν αποστάσεως

Ένας παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την ορθή λειτουργία των Η/Ν αποστάσεως είναι η αντίσταση σφάλματος. Η αντίσταση σφάλματος μπορεί να αποτελείται είτε αποκλειστικά από την αντίσταση του τόξου που εμφανίζεται, είτε από την αντίσταση του τόξου σε σειρά με την αντίσταση βάσης του πυλώνα στην περίπτωση ενός σφάλματος γης. Η αντίσταση βάσης του πυλώνα παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια του σφάλματος και κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των 5-50Ω. Η αντίσταση του τόξου μεταβάλλεται όσο το ρεύμα σφάλματος συνεχίζει να ρέει. Για τις μελέτες προστασίας μπορεί να γίνει η παραδοχή ότι η αντίσταση του τόξου είναι σταθερή και μπορεί να υπολογιστεί βάσει της εμπειρικής σχέσης

$$R_{\text{τόξου}} = \frac{76V^2}{S_{\text{βραχ}}}$$

όπου το V είναι η τάση του συστήματος σε kV και το  $S_{\text{βραχ}}$  η αρχική ισχύς βραχυκύκλωσης στο σημείο του σφάλματος σε kVA.



Εικόνα 1.73: Επίδραση αντίστασης σφάλματος στην λειτουργία των Η/Ν αποστάσεως [2]

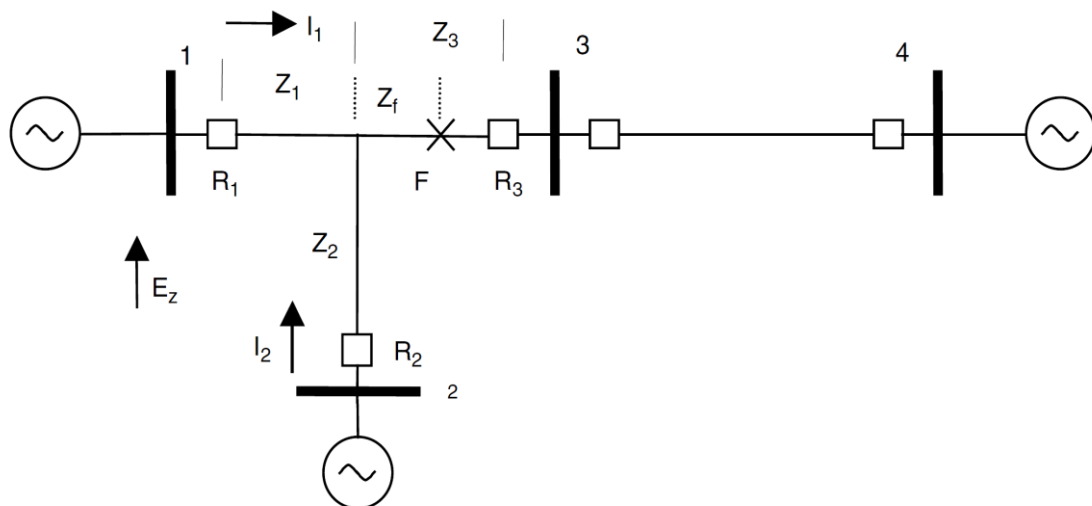


### 1.8.2.2.3 Λειτουργία H/N σε περίπτωση σφάλματος μηδενικής τάσης

Μερικά σφάλματα στις γραμμές μεταφοράς μηδενίζουν την μετρούμενη από τον H/N αποστάσεως τάση με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος να δυσλειτουργήσει το σύστημα προστασίας. Για την αποφυγή αυτού του κινδύνου, οι ψηφιακοί H/N έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύουν την προ της εκδήλωσης του σφάλματος τάση, την οποία και αξιοποιούν καταλλήλως ώστε να ληφθεί η σωστή απόφαση.

### 1.8.2.2.4 Δυσκολίες στην προστασία πολυτεματικών γραμμών μεταφοράς

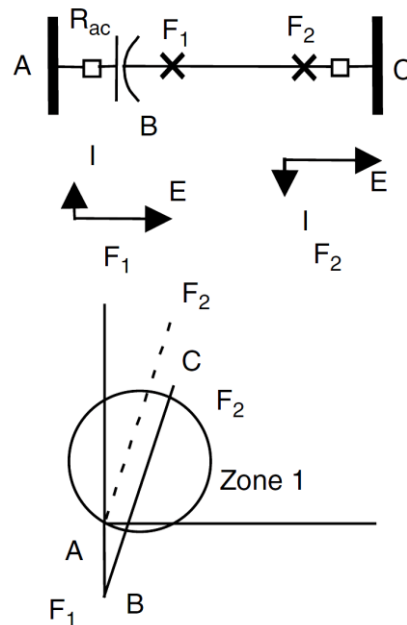
Στην περίπτωση που επιθυμείται να προστατευθεί μία πολυτεματική γραμμή μεταφοράς, όπως είναι αυτή που φαίνεται στην Εικόνα 1.74, η ρύθμιση των H/N αποστάσεως πρέπει να γίνει με ειδικό τρόπο. Μπορεί ναδειχθεί ότι η μετρούμενη από τον H/N R1 σύνθετη αντίσταση θα είναι μεγαλύτερη της πραγματικής, λόγω της συνεισφοράς από το ζυγό 2. Για την 1<sup>η</sup> ζώνη προστασίας, η οποία πρέπει να μην ξεπερνά τον ζυγό 3, η ρύθμιση πρέπει να υπολογιστεί σαν να μην υπήρχε συνεισφορά από το ζυγό 2 στο σφάλμα. Έτσι, εξασφαλίζεται ότι ο H/N δεν θα λειτουργήσει ως πρωτεύουσα προστασία σε περίπτωση που χαθεί η συνεισφορά του ζυγού 2 και έχουμε ρυθμίσει τον H/N σε υψηλότερη τιμή σύνθετης αντίστασης. Για τη 2<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> ζώνη προστασίας, η ρύθμιση μπορεί να γίνει με όλες τις συνεισφορές παρούσες αφού δεν υπάρχει ιδιαίτερο θέμα επιλογικότητας.



Εικόνα 1.74: Προστασία αποστάσεως πολυτεματικής γραμμής μεταφοράς [2]

### 1.8.2.2.5 Επίδραση των συσκευών αντιστάθμισης στην προστασία αποστάσεως

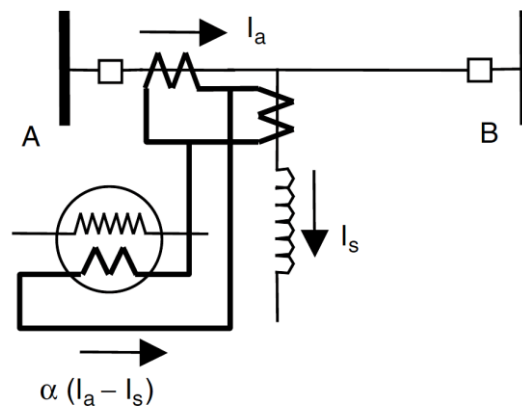
Η επίδραση των συσκευών αντιστάθμισης που εγκαθίστανται συχνά στις γραμμές μεταφοράς όσον αφορά την λειτουργία των H/N αποστάσεως του συστήματος προστασίας τους, χρήζει ιδιαίτερης μνείας. Στην περίπτωση των εν σειρά συνδεδεμένων πυκνωτών στην προστατευόμενη από τον H/N αποστάσεως γραμμή μεταφοράς που φαίνεται στην Εικόνα 1.75, το σφάλμα στο σημείο  $F_1$  δεν θα μπορούσε να εκκαθαριστεί. Ένας τρόπος αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος θα ήταν η εισαγωγή κάποιας καθυστέρησης στην λειτουργία του H/N αποστάσεως, ώστε να προλάβουν να ενεργήσουν πρώτα τα μέσα προστασίας των εν σειρά πυκνωτών, τα οποία σε τέτοιες περιπτώσεις κλείνουν έναν διακόπτη θέτοντας τους πυκνωτές εκτός της γραμμής. Μετά από την αποσύνδεση αυτή, ο H/N αποστάσεως θα μπορούσε πλέον να λειτουργήσει ορθά.



Εικόνα 1.75: Επίδραση εν σειρά πυκνωτών αντιστάθμισης στους Η/Ν αποστάσεως [2]

Στην περίπτωση των εν σειρά συνδεδεμένων πηνίων με γραμμή μεταφοράς προστατευόμενη από Η/Ν αποστάσεως, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, η επίδραση στο σύστημα προστασίας είναι ανεπαίσθητη, λόγω της σχεδόν αποκλειστικά επαγωγικής φύσης των πηνίων, η οποία συμπίπτει σε μεγάλο βαθμό με αυτή των γραμμών μεταφοράς. Στο σημείο αυτό αξ σημειωθεί ότι τα εν σειρά συνδεδεμένα πηνία επιδρούν κατά κύριο λόγο στους Η/Ν υπερεντάσεως, οι οποίοι θα πρέπει να ρυθμιστούν ώστε να λειτουργούν για μικρότερα ρεύματα σφάλματος.

Τέλος, οι εγκάρσιοι πυκνωτές και πηνία συνήθως δεν έχουν καμιά σημαντική επίδραση στους Η/Ν των γραμμών μεταφοράς, παρόλο που δημιουργούν κάποιο ρεύμα που μπορούν να δουν ο Η/Ν, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

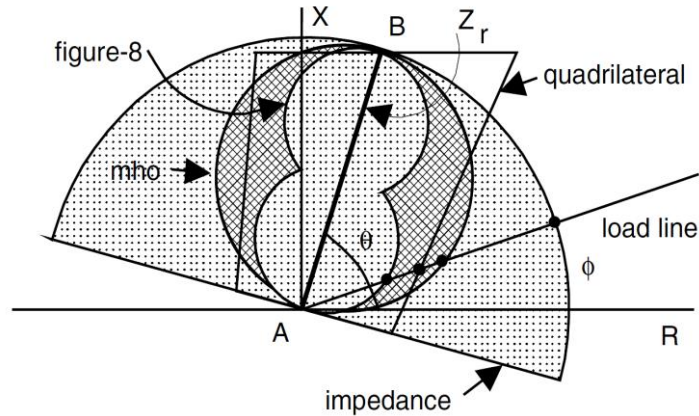


Εικόνα 1.76: Επίδραση παράλληλων συσκευών αντιστάθμισης στην προστασία αποστάσεως [2]

#### 1.8.2.2.6 Επίδραση αύξησης της φόρτισης της γραμμής στην προστασία αποστάσεως

Η σταδιακή αύξηση του φορτίου της γραμμής μπορεί να φθάσει την μετρούμενη από τους Η/Ν αποστάσεως σύνθετη αντίσταση κανονικής λειτουργίας σε τέτοια τιμή ώστε να προκύψει ανούσια λειτουργία της προστασίας αποστάσεως. Όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα αυτό είναι ιδιαίτερος επικίνδυνος όταν για την προστασία της γραμμής χρησιμοποιείται ένας Η/Ν

κατευθύνσεως, αλλά λιγότερο επικίνδυνο με τη χρήση H/N αποστάσεως με χαρακτηριστική τύπου mho. Για ακόμη μεγαλύτερη προστασία έναντι τέτοιων πιθανών δυσλειτουργιών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε η χαρακτηριστική offset mho (μορφή «8»), είτε η χαρακτηριστική τετράπλευρου. Επισημαίνεται ότι οι χαρακτηριστικές τετράπλευρου είναι οι πιο ευέλικτες, αλλά είναι διαθέσιμες σχεδόν αποκλειστικά στους ψηφιακούς H/N.



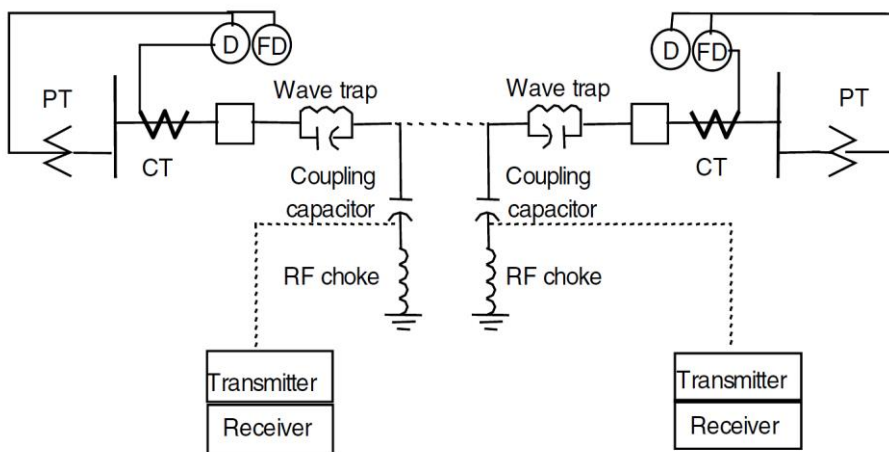
Εικόνα 1.77: Συμπεριφορά χαρακτηριστικών λειτουργίας H/N αποστάσεως ως προς το φορτίο της προστατευόμενης γραμμής [2]

### 1.8.2.3 Με χρήση διαφορικής προστασίας μέσω καναλιών επικοινωνίας

Η διαφορική προστασία των γραμμών μεταφοράς χαρακτηρίζεται από την υψηλή της ευαισθησία όσον αφορά την ανίχνευση όλων των πιθανών σφαλμάτων που μπορούν να συμβούν επάνω στη γραμμή με αποτέλεσμα να μπορεί να τα απομονώνει στιγμιαία.

#### 1.8.2.3.1 Κανάλια επικοινωνίας

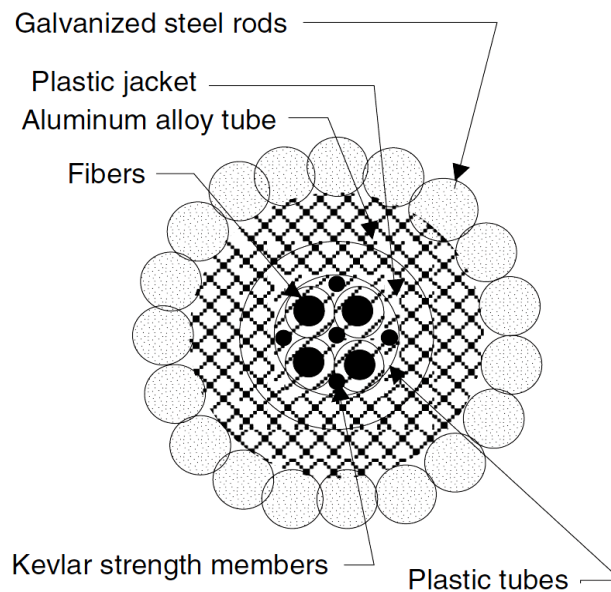
Απαραίτητη προϋπόθεση για να μπορεί να εγκατασταθεί διαφορικό σχήμα προστασίας σε μια γραμμή μεταφοράς είναι η ύπαρξη κάποιου είδους καναλιού επικοινωνίας μεταξύ των άκρων της. Στην Εικόνα 1.78 φαίνεται ένα τρόπος δημιουργίας τέτοιων καναλιών επικοινωνίας. Πρόκειται για τη ζεύξη με φέρουσες συχνότητες, η οποία μεταδίδει σήματα ραδιοφωνικών συχνοτήτων εύρους 10-490kHz μέσω των ίδιων των γραμμών μεταφοράς. Αυτή η μέθοδος επικοινωνίας εφαρμόζεται σε σχετικά μεγάλους μήκους γραμμές μεταφοράς και το μειονέκτημά της είναι η ευαισθησία της στον θόρυβο που προκαλείται από κεραυνούς, σφάλματα, χειρισμούς και άλλα φαινόμενα που προκαλούν τόξο.



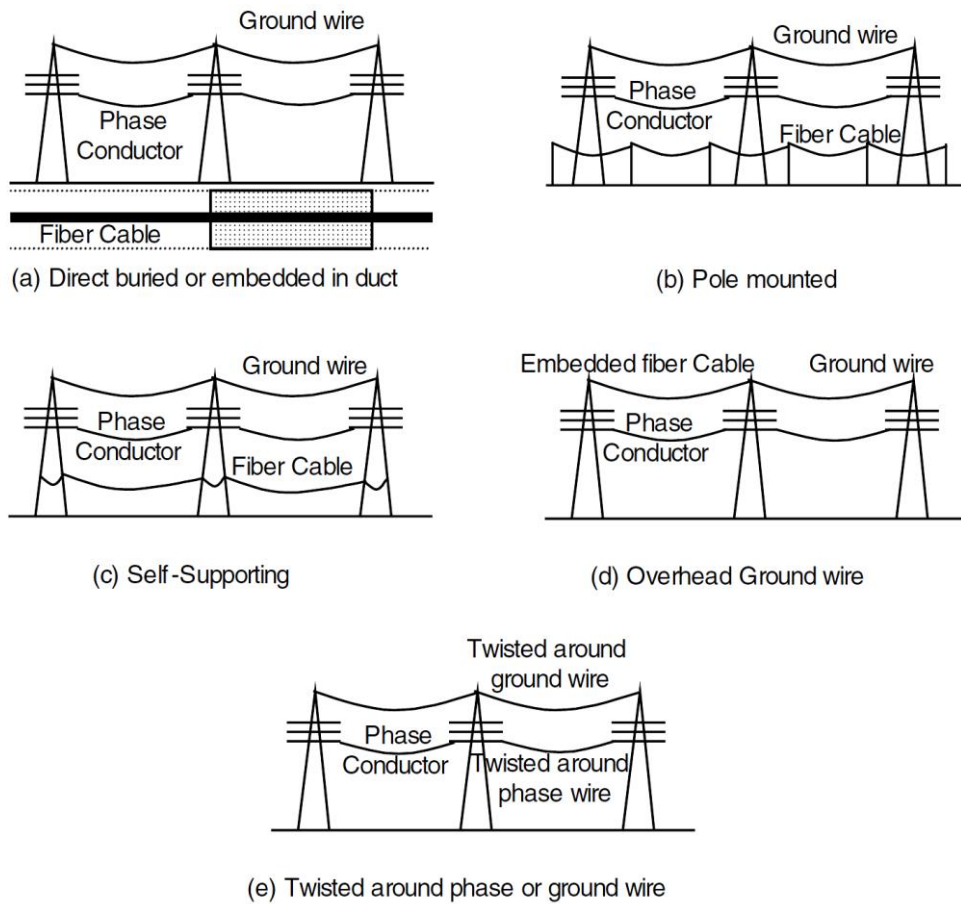
Εικόνα 1.78: Κανάλι επικοινωνίας με φέρουσες συχνότητες [2]

Κανάλια επικοινωνίας μεταξύ των άκρων των γραμμών μεταφοράς μπορούν επίσης να δημιουργηθούν με ασύρματη ζεύξη μέσω κεραιών. Αυτή είναι η λεγόμενη ζεύξη μέσω μικροκυμάτων, η οποία λειτουργεί σε συχνότητες από 150MHz έως 20GHz. Από το πλήθος των καναλιών αυτών, μόνο ένα μικρό μέρος δαπανάται συνήθως για την μετάδοση των πληροφοριών που χρειάζεται το σύστημα προστασίας. Το πλεονέκτημα αυτής της ζεύξης είναι η ανοσία που παρουσιάζει σε προβλήματα που μπορούν να προκύψουν πάνω στην γραμμή μεταφοράς. Τα μειονεκτήματά της είναι η εξάρτηση της απόδοσής της από την ατμοσφαιρική εξασθένηση και παραμόρφωση και η εξάρτηση του μήκους μετάδοσης από την τοποθεσία εγκατάστασης των κεραιών.

Η χρήση καναλιών επικοινωνίας με καλώδια οπτικών ινών συναντάται όλο και πιο συχνά τα τελευταία χρόνια στα Σ.Η.Ε. Τα πλεονεκτήματά τους είναι πολλά και σημαντικά. Πρώτα απ' όλα, τα καλώδια οπτικών ινών, όντας μονωτές, έχουν ανοσία σε παρεμβολές από ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία με αποτέλεσμα να παρέχουν εξαιρετική ποιότητα μετάδοσης. Επίσης, η εξασθένηση του μεταδιδόμενου σήματος είναι πολύ μικρή και συνεπώς το μήκος μετάδοσης δεν αποτελεί σημαντικό πρόβλημα. Τέλος, το πλήθος των καναλιών στα καλώδια αυτά είναι πρακτικά απεριόριστο σε σχέση με τις ανάγκες του συστήματος προστασίας και γι' αυτό σχεδόν πάντοτε χρησιμοποιείται για μετάδοση μεγάλου όγκου πληροφοριών. Το μειονέκτημα των καλωδίων οπτικών ινών είναι το υψηλό τους κόστος. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται η κατασκευαστική δομή ενός καλωδίου οπτικών ινών και οι κύριοι τρόποι εγκατάστασής τους παράλληλα προς τις γραμμές μεταφοράς.

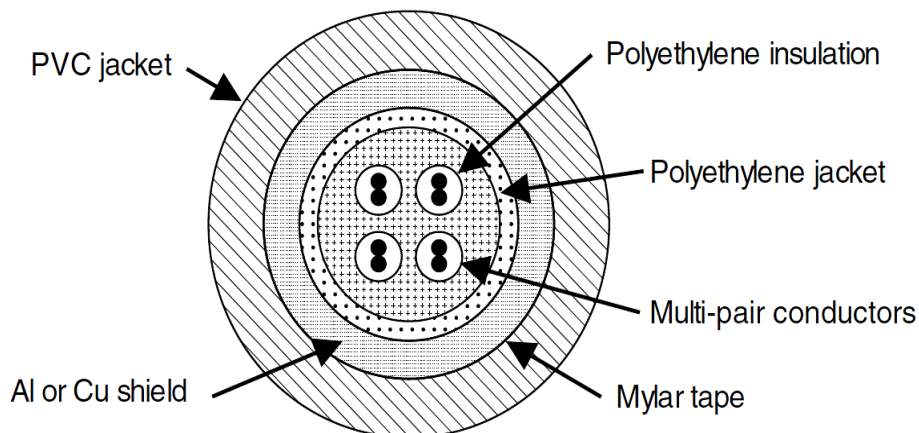


Εικόνα 1.79: Κατασκευαστική δομή καλωδίου οπτικών ινών [2]



Εικόνα 1.80: Κύριοι τρόποι εγκατάστασης καλωδίων οπτικών ινών παράλληλα προς τις γραμμές μεταφοράς [2]

Για τα μικρά μήκη γραμμών μεταφοράς, η διαφορική προστασία συνήθως επιτυγχάνεται μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας με αγωγούς πλότους, δηλαδή τηλεφωνικών καλωδίων, τα οποία είναι μονωμένα μέχρι τα 15kV και αποτελούνται από θωρακισμένους αγωγούς χαλκού. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η κατασκευαστική δομή ενός αγωγού πλότου. Τα μειονεκτήματα αυτού του μέσου επικοινωνίας είναι η εξασθένηση του σήματος, η οποία είναι συνάρτηση του είδους του καλωδίου που χρησιμοποιείται, του μήκους του και της συχνότητας, οι επαγωγικές παρεμβολές που εμφανίζονται από κοντινές γραμμές μεταφοράς και ο κίνδυνος που διατρέχει είτε από επαγόμενες τάσεις λόγω σφαλμάτων ή κεραυνών σε περίπτωση που εγκατασταθεί εναέρια, είτε η φθορά λόγω έργων ή ζώων όταν εγκαθίσταται υπογείως.



Εικόνα 1.81: Κατασκευαστική δομή αγωγού πλότου [2]

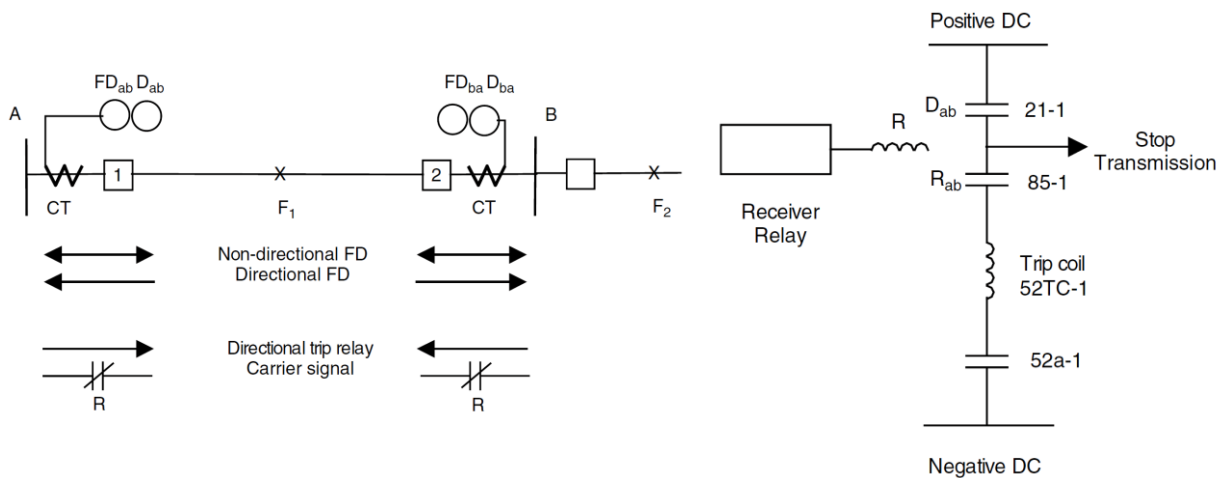
1.8.2.3.2 Ερμηνεία ύπαρξης μεταδιδόμενου σήματος

Το μεταδιδόμενο, μέσω του εκάστοτε καναλιού επικοινωνίας, σήμα μπορεί να έχει δύο τρόπους ερμηνείας από τη διαφορική προστασία της γραμμής μεταφοράς. Όταν η ύπαρξη του μεταδιδόμενου σήματος εμποδίζει την λειτουργία των Δ/Ι, τότε λέγεται ότι το σχήμα είναι σε λειτουργία εμπλοκής (blocking mode). Αντιθέτως, όταν η ύπαρξη μεταδιδόμενου σήματος προκαλεί την λειτουργία των Δ/Ι, τότε λέγεται ότι το σχήμα βρίσκεται σε λειτουργία ενεργοποίησης (tripping mode).

Η λειτουργία εμπλοκής συνήθως επιλέγεται όταν η μετάδοση του σήματος έχει άμεση σχέση με την κατάσταση της ίδιας της επιτηρούμενης γραμμής μεταφοράς, όπως ισχύει στη ζεύξη με φέρουσες συχνότητες. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται ότι οι Δ/Ι θα λειτουργήσουν σίγουρα σε περίπτωση σφάλματος στη γραμμή, αφού δεν θα χρειάζεται μετάδοση σήματος για αυτό το σκοπό. Η λειτουργία ενεργοποίησης προτιμάται όταν χρησιμοποιούνται μικροκύματα, οπτικές ίνες ή αγωγοί πιλότοι.

1.8.2.3.3 Διαφορική προστασία με σύγκριση κατεύθυνσης και λειτουργία εμπλοκής

Αυτό το σχήμα διαφορικής προστασίας χρησιμοποιείται όταν το κανάλι επικοινωνίας υλοποιείται μέσω φερουσών συχνοτήτων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η λογική του. Οι H/N  $D_{ab}$  και  $D_{ba}$  ρυθμίζονται ώστε να εντοπίζουν σφάλματα προς το εσωτερικό της γραμμής και πέρα από αυτή, ενώ οι H/N  $FD_{ab}$  και  $FD_{ba}$  μπορούν να είναι κατευθυντικοί ή μη εντοπίζοντας σφάλματα έξω από τη γραμμή. Οι H/N που χρησιμοποιούνται συνήθως σε τέτοια σχήματα προστασίας είναι H/N αποστάσεως διότι παρουσιάζουν ευκολία στη ρύθμισή τους, αλλά για τα σφάλματα γης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και H/N υπερεντάσεως-κατευθύνσεως γης.

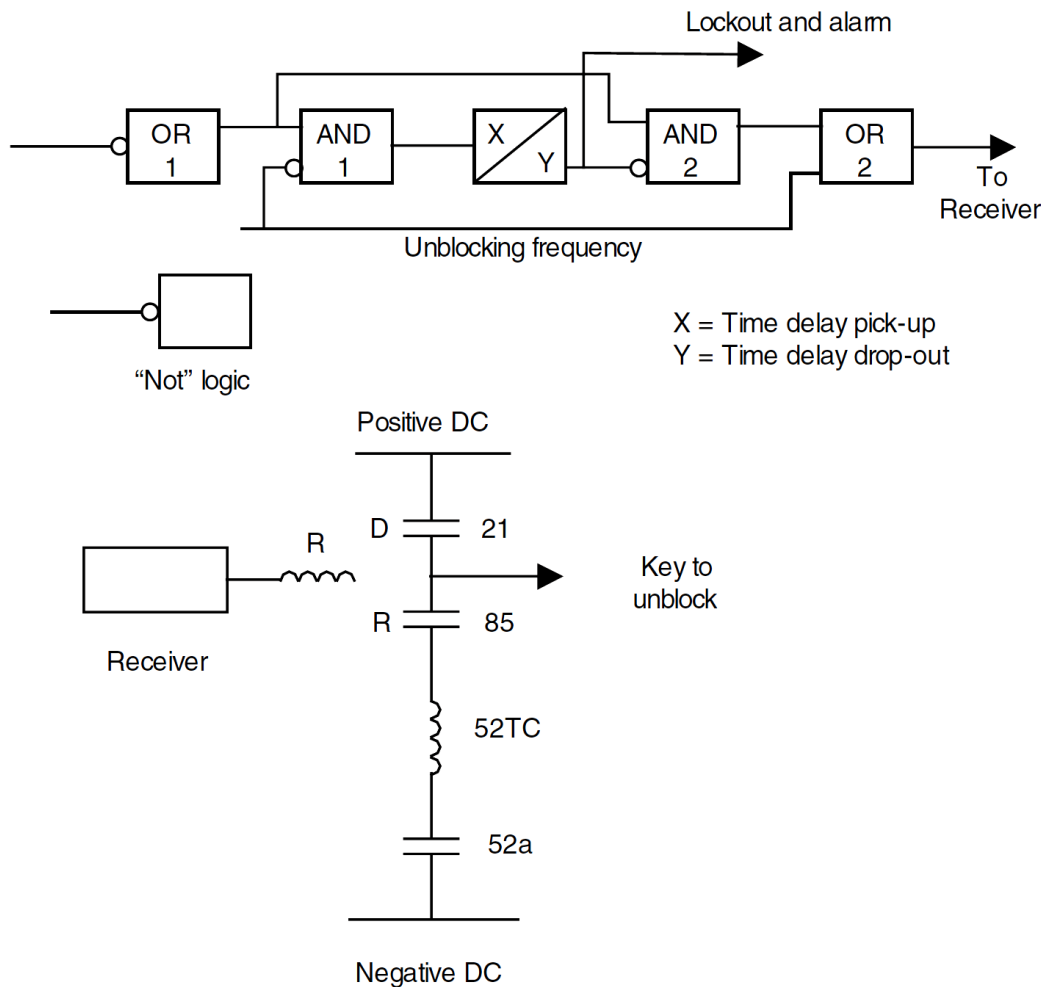


Εικόνα 1.82: Λογική λειτουργίας και κύκλωμα ελέγχου διαφορικής προστασίας με σύγκριση κατεύθυνσης και λειτουργία εμπλοκής [2]

1.8.2.3.4 Διαφορική προστασία με σύγκριση κατεύθυνσης και λειτουργία απεμπλοκής

Το προηγούμενο σχήμα προστασίας κινδυνεύει από προβλήματα που μπορεί να υπάρξουν στο μέσο επικοινωνίας, επειδή το σήμα εμπλοκής μεταδίδεται μόνο σε περίπτωση εμφάνισης σφάλματος. Για να καλυφθεί αυτό το κενό ασφαλείας, δημιουργήθηκε η διαφορική προστασία με σύγκριση κατεύθυνσης και λειτουργία απεμπλοκής. Σε αυτό το σχήμα προστασίας, το σήμα εμπλοκής μεταδίδεται συνεχώς στην κανονική κατάσταση λειτουργίας, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα να επιτηρείται και η λειτουργικότητα του καναλιού επικοινωνίας. Σε περίπτωση

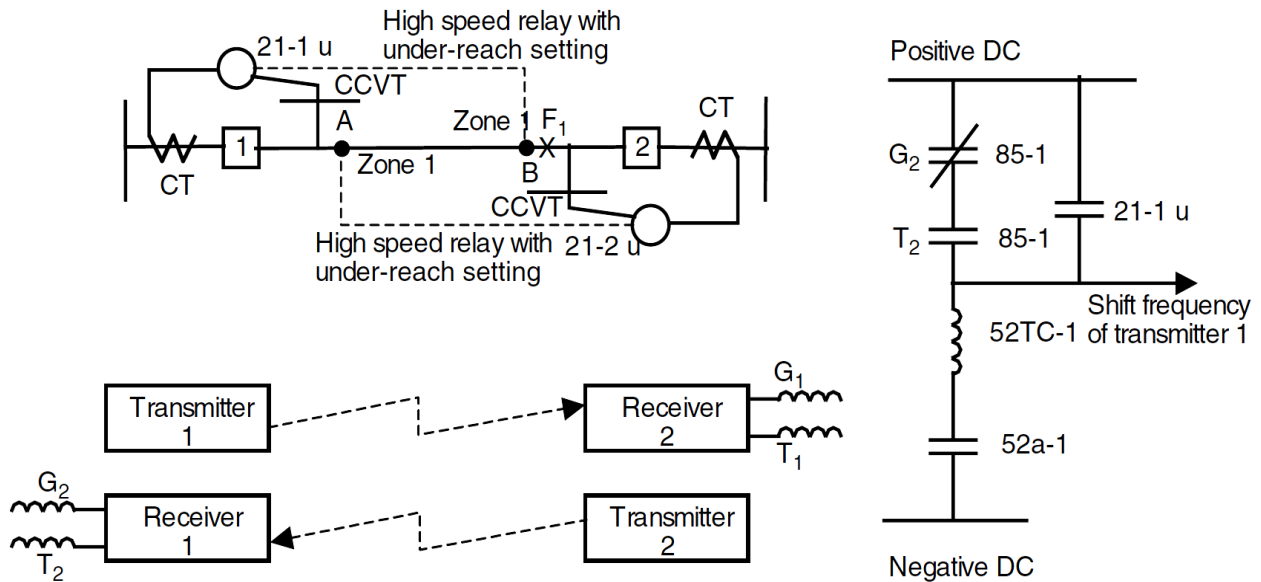
σφάλματος επάνω στη γραμμή, το σήμα αυτό αλλάζει για να επιτρέψει στους Δ/Ι να το απομονώσουν. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το εν λόγω σχήμα προστασίας.



Εικόνα 1.83: Λογική λειτουργίας σχήματος διαφορικής προστασίας με σύγκριση κατεύθυνσης και λειτουργία απεμπλοκής [2]

#### 1.8.2.3.5 Διαφορική προστασία με H/N ρυθμισμένους να επιτηρούν ένα κομμάτι της γραμμής και λειτουργία ενεργοποίησης

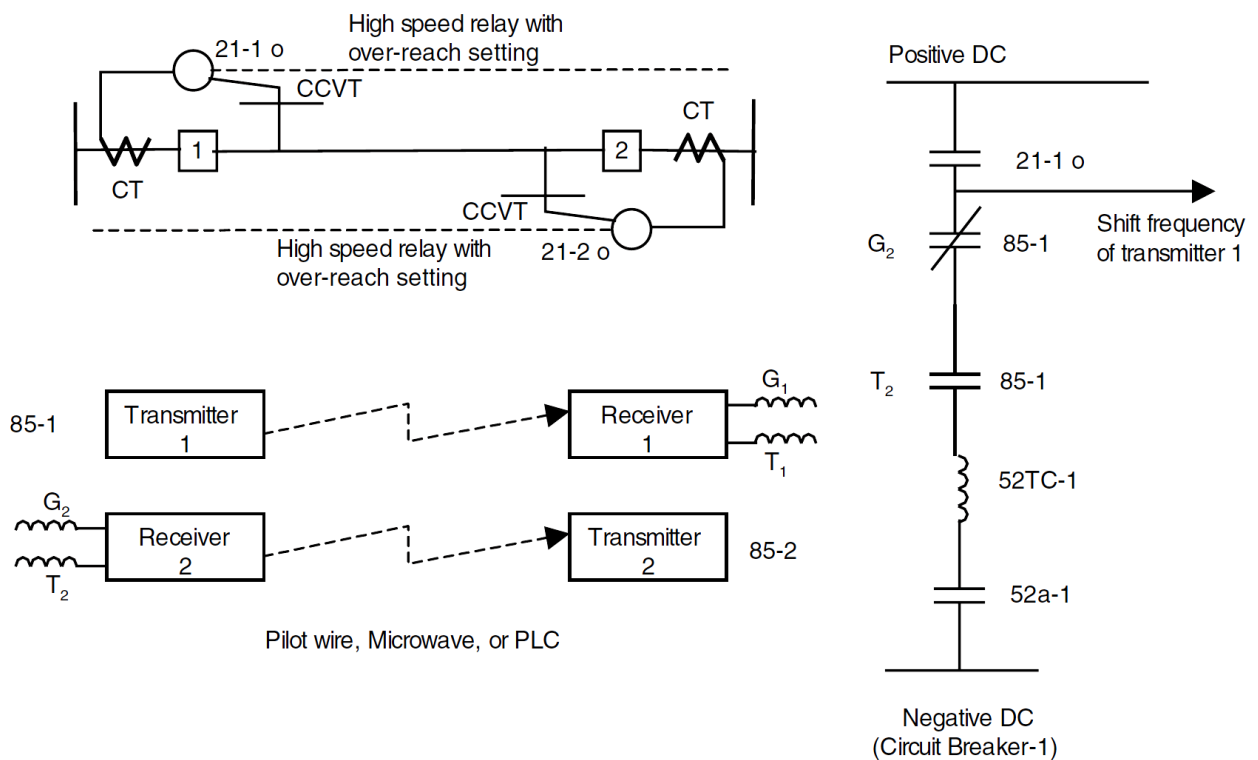
Η λειτουργία ενεργοποίησης είναι καλύτερη από αυτή της εμπλοκής, επειδή δεν απαιτεί την εισαγωγή χρονικών καθυστερήσεων για να εξασφαλιστεί ο απαιτούμενος συγχρονισμός και οι H/N δεν χρειάζεται να είναι ιδιαίτερος ευαίσθητοι. Στο σχήμα αυτό εκπέμπονται δύο σήματα. Το σήμα φρουρού και το σήμα ενεργοποίησης. Κατά την κανονική λειτουργία της γραμμής, εκπέμπεται συνεχώς μόνο το σήμα φρουρού και έτσι επιτυγχάνεται παράλληλα και ο έλεγχος της ακεραιότητας του μέσου επικοινωνίας. Όταν εμφανιστεί κάποιο σφάλμα, το σήμα φρουρού πρέπει να σταματήσει, ενώ πρέπει να ξεκινήσει η εκπομπή του σήματος ενεργοποίησης ώστε να επιτραπεί το άνοιγμα των Δ/Ι. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται πιθανές ανούσιες απομονώσεις της γραμμής λόγω θορύβου. Οι H/N που χρησιμοποιούνται σε αυτό το σχήμα προστασίας είναι H/N αποστάσεως με αναγνώριση κατεύθυνσης για τα σφάλματα φάσεων και H/N υπερεντάσεως-κατευθύνσεως ή H/N αποστάσεως γης για τα σφάλματα γης. Στην Εικόνα 1.84 φαίνεται αυτό το σχήμα προστασίας.



Εικόνα 1.84: Διαφορική προστασία με H/N που επιτηρούν ένα κομμάτι της γραμμής και λειτουργία ενεργοποίησης [2]

1.8.2.3.6 Διαφορική προστασία με H/N ρυθμισμένους να επιτηρούν όλη τη γραμμή και λειτουργία ενεργοποίησης

Αυτό το σχήμα προστασίας μοιάζει με το προηγούμενο, αλλά είναι πιο οικονομικό και παράλληλα πιο ασφαλές. Διαφοροποιείται στο ότι για να δοθεί εντολή απομόνωσης της γραμμής, χρειάζεται να λειτουργήσουν οι H/N αλλά και να αντιστραφούν τα σήματα φρουρού και ενεργοποίησης και από τα δύο άκρα της γραμμής. Το εν λόγω σχήμα προστασίας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

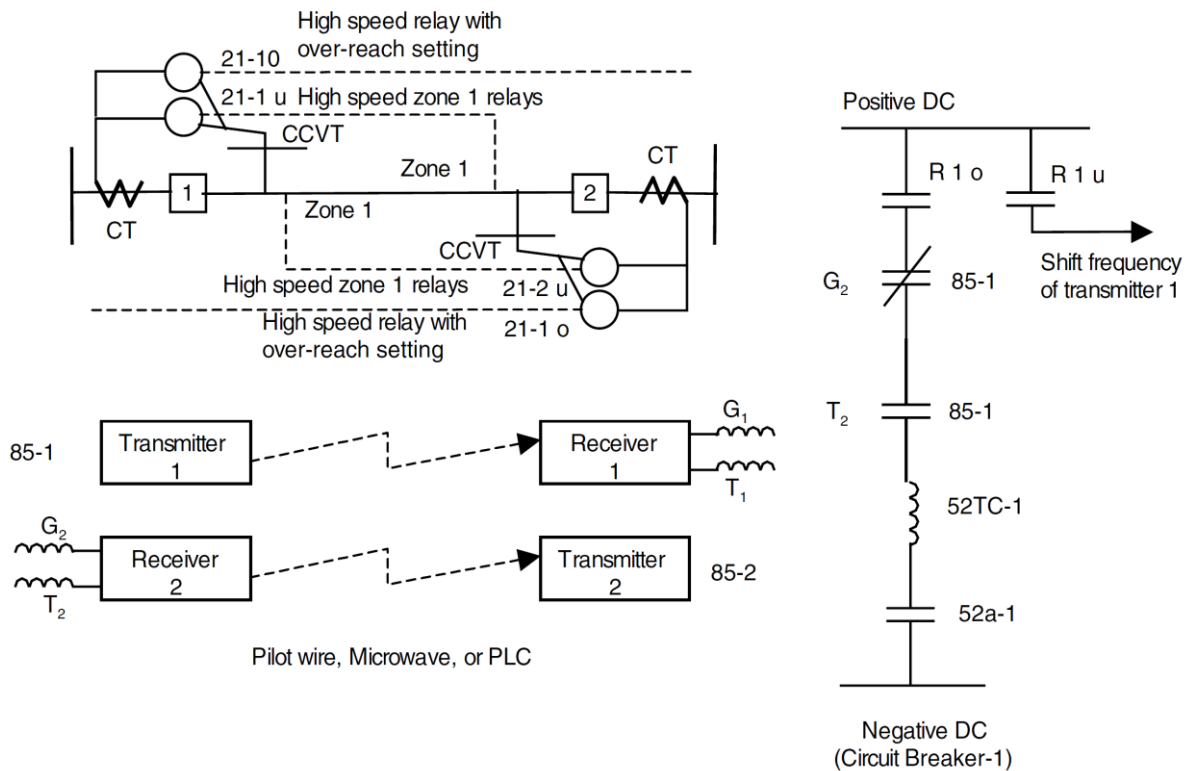


Εικόνα 1.85: Διαφορική προστασία με H/N ρυθμισμένους να επιτηρούν όλη τη γραμμή και λειτουργία ενεργοποίησης [2]



1.8.2.3.7 Διαφορική προστασία με ζεύγη H/N σε κάθε άκρο της γραμμής και λειτουργία ενεργοποίησης

Για επίτευξη ακόμη μεγαλύτερης ασφάλειας και εφεδρείας, το σχήμα προστασίας, που φαίνεται στην Εικόνα 1.86, κάνει χρήση ενός ζεύγους H/N σε κάθε άκρο της γραμμής που επιτηρεί. Ο ένας H/N του ζεύγους ρυθμίζεται ώστε να προστατεύει ένα κομμάτι της γραμμής, ενώ ο άλλος ρυθμίζεται ώστε να προστατεύει όλη τη γραμμή.

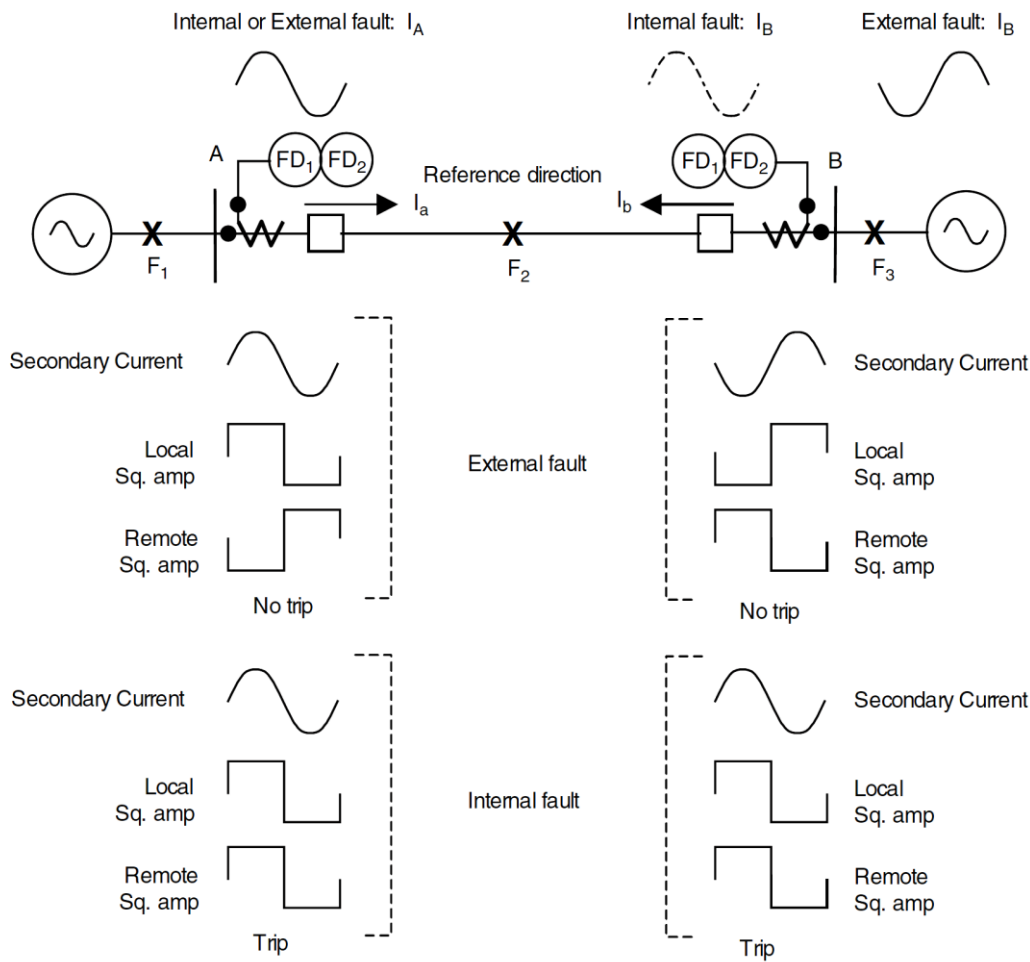


Εικόνα 1.86: Διαφορική προστασία με ζεύγη H/N στα άκρα της γραμμής και λειτουργία ενεργοποίησης [2]

1.8.2.3.8 Διαφορική προστασία με σύγκριση φάσεων

Η διαφορική προστασία με σύγκριση φάσεων συγκρίνει τις φασικές γωνίες των ρευμάτων στα άκρα της γραμμής και βάσει αυτού αποφασίζει αν πρέπει να λειτουργήσει. Όταν τα δύο ρεύματα είναι σε φάση, τότε δεν υπάρχει σφάλμα επάνω στη γραμμή, ενώ όταν είναι εκτός φάσης κατά 180°, τότε η προστασία πρέπει να λειτουργήσει. Για την εφαρμογή αυτής της προστασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας.

Στην Εικόνα 1.87, οι Μ/Σ έντασης που χρησιμοποιούνται, συνδέονται με τέτοιο τρόπο ώστε τα ρεύματα που παράγουν στα δευτερεύοντά τους να είναι σε φάση όταν πρόκειται για σφάλμα επί της γραμμής και εκτός φάσης για εξωτερικό σφάλμα. Κατόπιν, τα δευτερεύοντα ρεύματα περνούν από ειδικό κύκλωμα το οποίο παράγει έναν τετραγωνικό παλμό, ο οποίος χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της φασικής διαφοράς. Οι ανιχνευτές σφάλματος FD<sub>1</sub>, που έχουν ρυθμιστεί ώστε να επικαλύπτονται, εκκινούν τον πομπό και παράλληλα παρέχουν μία είσοδο προς έναν συγκριτή. Τα στοιχεία FD<sub>2</sub>, που έχουν ρυθμιστεί να βλέπουν όλη τη γραμμή, χρησιμοποιούνται για να θέσουν το σύστημα προστασίας σε κατάσταση ετοιμότητας ώστε να λειτουργήσει.



Εικόνα 1.87: Διαφορική προστασία με σύγκριση φάσεων [2]

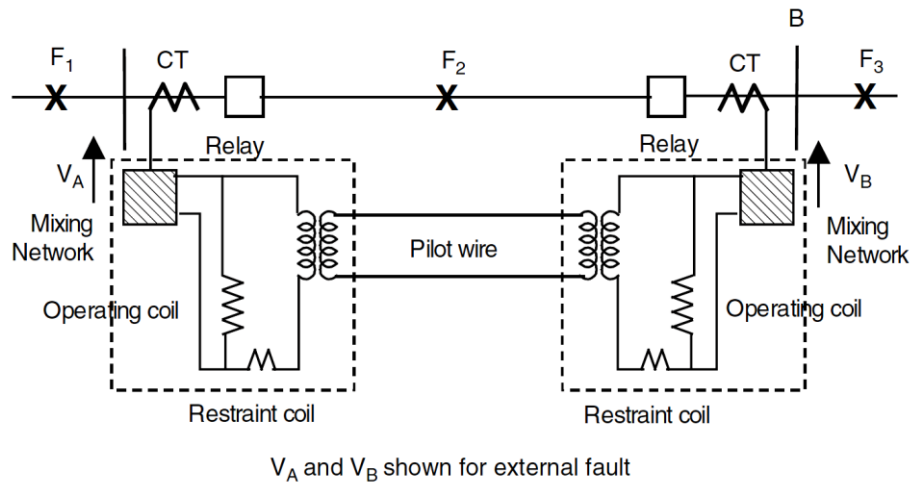
#### 1.8.2.3.9 Διαφορική προστασία με σύγκριση ρευμάτων

Αυτό το σχήμα προστασίας μπορεί να υλοποιηθεί με δύο τρόπους. Στον πρώτο τρόπο τα μετρούμενα ρεύματα από το κάθε άκρο της γραμμής συνδυάζονται σε ένα σύνθετο σήμα και ακολούθως συγκρίνονται μεταξύ τους μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας. Ο δεύτερος τρόπος εκτελεί δειγματοληψία στα ρεύματα φάσεων κάθε άκρου, τα μετατρέπει σε ψηφιακό σήμα και τα μεταδίδει ώστε να συγκριθούν. Αυτή η προστασία είναι πολύ πιο ευαίσθητη στην ανίχνευση σφαλμάτων από αυτές που χρησιμοποιούν Η/Ν αποστάσεως και παράλληλα αναίσθητη σε ταλαντώσεις του συστήματος και άλλα παρόμοια προβλήματα. Το μειονέκτημά της είναι ότι δεν είναι τόσο ασφαλής σε σχέση με τις προηγούμενες και δεν παρέχει κάποια εφεδρεία.

#### 1.8.2.3.10 Προστασία με αγωγούς πιλότους

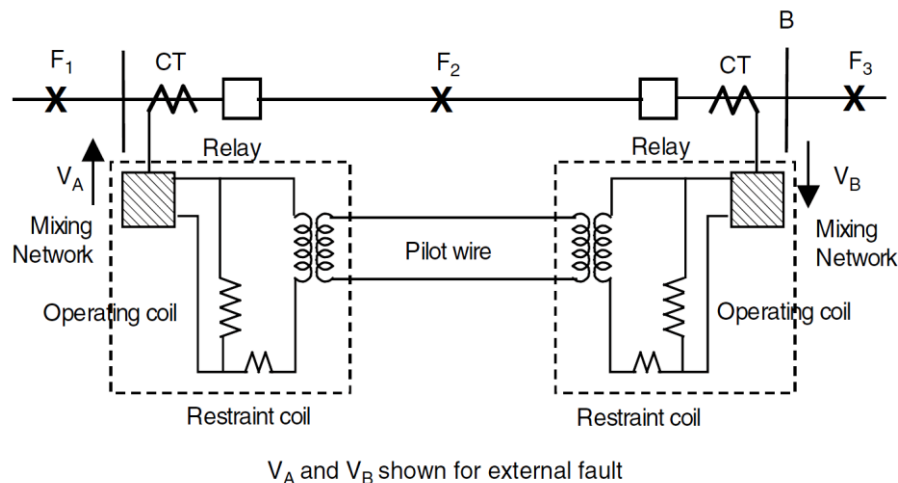
Η προστασία των γραμμών μεταφοράς με αγωγούς πιλότους χρησιμοποιεί ένα ζεύγος μεταλλικών καλωδίων μέσω των οποίων συγκρίνει τα φασικά ρεύματα των δύο άκρων τους. Στην Εικόνα 1.88 φαίνεται ένα σύστημα προστασίας με αγωγούς πιλότους σε λειτουργία ενεργοποίησης. Τα μετρούμενα ρεύματα φάσεων στα άκρα της γραμμής περνάνε μέσα από ένα δίκτυο το οποίο παράγει μία τάση με την πολικότητα που αναγράφεται στην εικόνα. Η τάση αυτή εφαρμόζεται στο κύκλωμα λειτουργίας και αναστολής όπως και στους αγωγούς πιλότους μέσω ενός Μ/Σ απομόνωσης. Όταν δεν υπάρχει σφάλμα στη γραμμή, οι τάσεις αυτές είναι ίσες τόσο σε μέτρο όσο και σε φάση. Συνεπώς, δεν κυκλοφορεί καθόλου ρεύμα στους αγωγούς πιλότους ή στο κύκλωμα λειτουργίας. Αντιθέτως, όταν συμβεί κάποιο σφάλμα επάνω στη γραμμή, οι τάσεις που

παράγονται είναι εκτός φάσης κατά  $180^\circ$  και πιθανότατα και σε μέτρο, οπότε κυκλοφορεί μια ικανή ποσότητα ρεύματος από το κύκλωμα λειτουργίας ώστε να προκαλέσει την ενεργοποίηση της προστασίας.



Εικόνα 1.88: Προστασία με αγωγούς πιλότους σε λειτουργία ενεργοποίησης [2]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το σύστημα προστασίας με αγωγούς πιλότους σε λειτουργία εμπλοκής. Οι διαφορές του από το προηγούμενο εντοπίζονται στη σχετική θέση των κυκλωμάτων αναστολής και λειτουργίας τους καθώς και στις πολικότητες των παραγόμενων τάσεων από τα μετρούμενα ρεύματα. Σε αυτή την εκδοχή, η κυκλοφορία ρεύματος μέσα από τους αγωγούς πιλότους εμποδίζει την λειτουργία της προστασίας.



Εικόνα 1.89: Προστασία με αγωγούς πιλότους σε λειτουργία εμπλοκής [2]

Το μειονέκτημα της προστασίας μέσω αγωγών πιλότων είναι ο κίνδυνος δυσλειτουργίας της σε περίπτωση που το κανάλι επικοινωνίας ανοικτοκυκλωθεί ή εμφανιστεί βραχυκύκλωμα στους αγωγούς πιλότους. Για την επιτήρηση της ακεραιότητας του καναλιού επικοινωνίας μπορεί να εφαρμοστεί ένα DC ρεύμα μερικών mA πάνω στους αγωγούς πιλότους. Για την αποφυγή ανούσιων ενεργοποιήσεων της προστασίας, μπορεί να εγκατασταθεί ένας ανιχνευτής σφάλματος, ο οποίος θα εμποδίζει την λειτουργία του σχήματος προστασίας όταν δεν έχει ανιχνεύσει κι εκείνος το σφάλμα. Φυσικά, το τελευταίο έχει αρνητικές συνέπειες όσον αφορά την ευαισθησία της προστασίας με αγωγούς πιλότους.

*1.8.2.3.11 Δυσκολίες στην προστασία πολυτερματικών γραμμών μεταφοράς*

Η διαφορική προστασία πολυτερματικών γραμμών μεταφοράς μέσω καναλιών επικοινωνίας παρουσιάζει κάποιες ειδικές δυσκολίες. Όταν δεν υπάρχει περίπτωση να εμφανιστούν ρεύματα εκροής από οποιονδήποτε ζυγό της εν λόγω γραμμής, τότε προτιμάται η διαφορική προστασία μέσω σύγκρισης κατευθύνσεως. Όταν, όμως, λόγω της μορφής του συστήματος, εμφανίζονται ρεύματα εκροής από κάποιους ζυγούς της γραμμής, τότε το σχήμα προστασίας δε θα λειτουργήσει ως όφειλε μιας και δεν θα μπορέσουν όλοι οι Η/Ν ενεργοποίησης (βλ. π.χ. τους Η/Ν D στην 1.8.2.3.3 παράγραφο) να δουν το σφάλμα. Μία λύση σε αυτό το πρόβλημα θα ήταν να περιμένουμε έως ότου να λειτουργήσουν οι άλλοι Η/Ν των εν λόγω ζυγών της γραμμής, πράγμα το οποίο θα οδηγούσε σε άνοιγμα των Δ/Ι τους και εν τέλει σε μετατροπή της γραμμής σε διτερματική, οπότε το σχήμα προστασίας θα λειτουργούσε πλέον κανονικά. Μία άλλη λύση θα ήταν η εφαρμογή ενός σχήματος διαφορικής προστασίας με σύγκριση φάσεως.

Τέλος, για την ρύθμιση των Η/Ν έναρξης μετάδοσης σήματος ενεργοποίησης ή εμπλοκής συνίσταται η ρύθμιση αυτή να γίνεται χωρίς να ληφθούν υπόψη οποιαδήποτε ρεύματα εισροής μπορούν να εμφανιστούν, ενώ για την ρύθμιση των Η/Ν ενεργοποίησης λειτουργίας πρέπει να ληφθούν υπόψη και τα μέγιστα ρεύματα εισροής.

## 1.9 Προστασία πηνίων

Τα πηνία τα συναντούμε στα Σ.Η.Ε. συνδεδεμένα:

- Στον ουδέτερο ως αντιστάσεις γείωσης με σκοπό να περιορίσουν το ρεύμα σφάλματος
- Σε σειρά στις φάσεις για να μειώσουν το ρεύμα σφάλματος φάσεων
- Παράλληλα σε μεγάλου μήκους γραμμές μεταφοράς και καλώδια με στόχο την αντιστάθμιση της χωρητικότητάς τους

### 1.9.1 Προστασία των εν σειρά συνδεδεμένων πηνίων

Η προστασία των εν σειρά συνδεδεμένων πηνίων παρέχεται από την προστασία του εξοπλισμού πάνω στον οποίο συνδέονται, δηλαδή τις προστασίες αποστάσεως και υπερεντάσεως των γραμμών μεταφοράς, τη διαφορική προστασία των μετασχηματιστών κλπ.

### 1.9.2 Τύποι παράλληλα συνδεδεμένων πηνίων

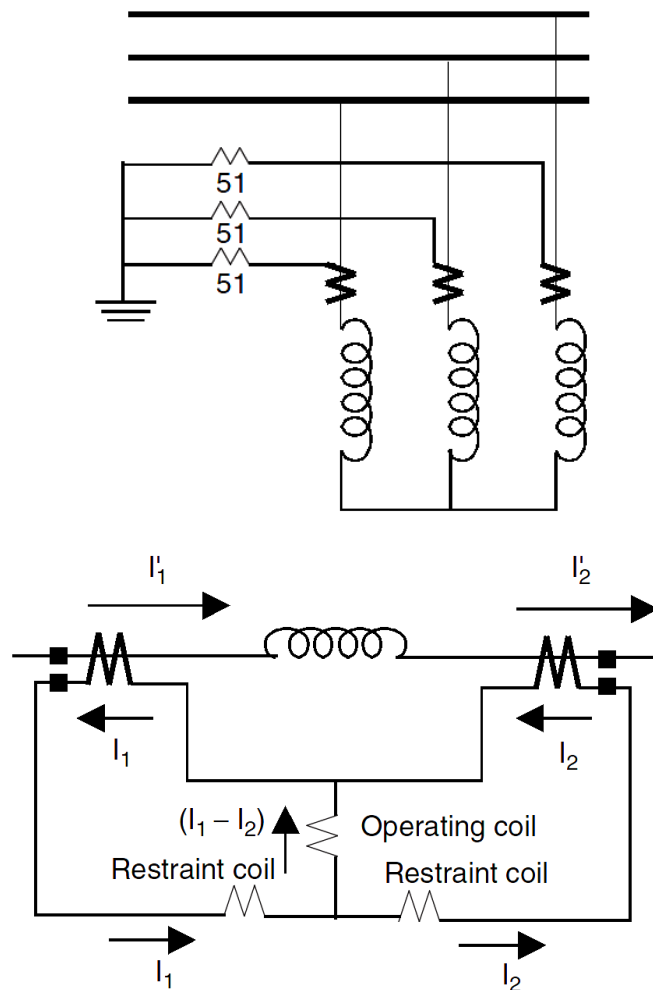
Υπάρχουν δύο πιθανές διαμορφώσεις παράλληλων πηνίων. Τα ξηρού τύπου πηνία (dry-type reactors), τα οποία συνδέονται ως αγείωτος αστέρας στο τριτεύον των Μ/Σ ισχύος και τα τύπου ελαίου πηνία (oil-immersed reactors) που συνδέονται ως αστέρας απευθείας γειωμένος ή γειωμένος με σύνθετη αντίσταση στο σύστημα μεταφοράς. Οι δύο αυτές διαμορφώσεις μπορούν να αποτελούνται από μονοφασικά πηνία, στα οποία κάθε φάση βρίσκεται σε δικό της κέλυφος και τα οποία τα συναντούμε συνήθως σε γραμμές μεταφοράς υψηλής ή υπερυψηλής τάσης, ή από τριφασικά πηνία με όλα τα τυλίγματα να είναι στην ίδια δεξαμενή, τα οποία τα βρίσκουμε σε χαμηλότερης τάσεως εφαρμογές.

### 1.9.3 Προστασία παράλληλων πηνίων ξηρού τύπου

Τα σφάλματα από τα οποία κινδυνεύουν τα πηνία ξηρού τύπου είναι:

- Σφάλματα φάσεων στο τριτεύον, τα οποία χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές ρευμάτων σφάλματος αλλά εμφανίζονται σπάνια λόγω της σχετικά μεγάλης απόστασης μεταξύ των φάσεων
- Σφάλματα γης στο τριτεύον, τα ρεύματα σφάλματος των οποίων είναι μικρού μέτρου. Και αυτά τα σφάλματα είναι σπάνια λόγω του ότι τα πηνία είναι αναρτημένα σε μονωτήρες
- Σφάλματα μεταξύ σπειρών μέσα στο κέλυφος των πηνίων, τα οποία ξεκινούν με μια μικρή αλλαγή του ρεύματος φάσης, οδηγούν σε καταστροφή της μόνωσης του τυλίγματος και καταλήγουν σε σφάλμα γης, το οποίο μπορεί να αυξήσει το ρεύμα στις υγιείς φάσεις μέχρι και  $\sqrt{3}$  φορές το κανονικό.

Για την προστασία των πηνίων ξηρού τύπου χρησιμοποιούνται τόσο ηλεκτρονόμοι υπερεντάσεως όσο και διαφορικοί Η/Ν, συνδεδεμένοι με τον τρόπο που φαίνεται στην Εικόνα 1.90. Οι Η/Ν υπερεντάσεως προστατεύουν από σφάλματα μεταξύ φάσεων, σφάλματα μεταξύ φάσεων και γης καθώς και σφάλματα μεταξύ σπειρών. Η ρύθμιση των Η/Ν υπερεντάσεως πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην λειτουργήσει η προστασία για το ρεύμα κανονικής λειτουργίας. Σημειώνεται πως, λόγω της παρουσίας ρευμάτων αρνητικής ακολουθίας στα σφάλματα που μόλις αναφέραμε, αντί για Η/Ν υπερεντάσεως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν Η/Ν αρνητικής ακολουθίας συνδεδεμένοι με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Οι διαφορικοί Η/Ν, από την άλλη, παρέχουν ευαίσθητη προστασία έναντι σφαλμάτων μεταξύ φάσεων και σφαλμάτων μεταξύ φάσεων και γης, αλλά δεν μπορούν να ανιχνεύσουν σφάλματα μεταξύ σπειρών.



Εικόνα 1.90: Προστασία πηνίων ξηρού τύπου με H/N υπερεντάσεως και διαφορικούς H/N [2]

Ένας εναλλακτικός τρόπος προστασίας έναντι σφαλμάτων μεταξύ σπειρών για πηνία ξηρού τύπου είναι η χρήση ενός σχήματος προστασίας ισορροπίας τάσης, το οποίο συγκρίνει τη τάση μεταξύ του ουδετέρου του πηνίου με τη γη με αυτή ενός Μ/Σ γειωμένου αστέρα με συνδεσμολογία ανοικτού δέλτα στο δευτερεύον. Η εμφάνιση κάποιου εσωτερικού σφάλματος προκαλεί διαφορές στις δύο αυτές τάσεις και προκαλεί την ενεργοποίηση ενός κατάλληλα συνδεδεμένου H/N υπερεντάσεως.

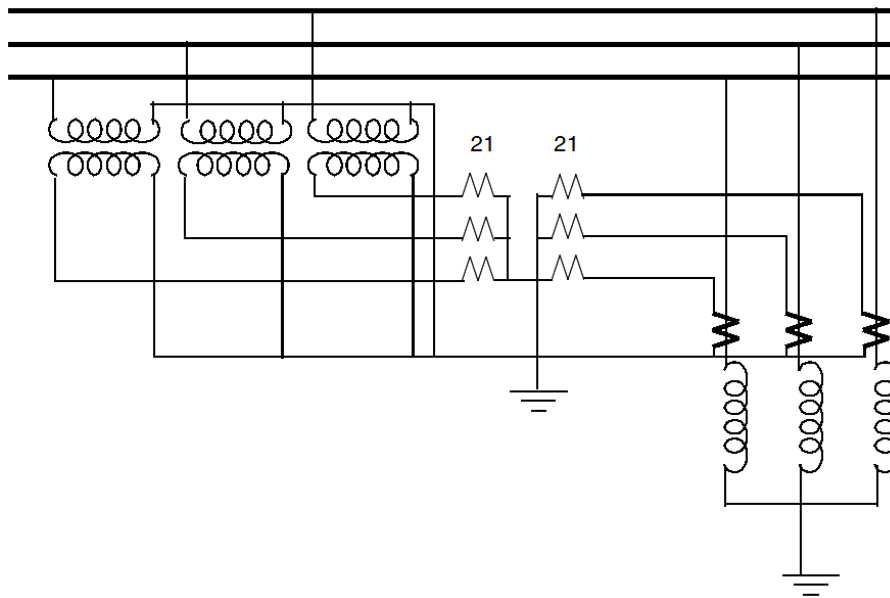
#### 1.9.4 Προστασία παράλληλων πηνίων τύπου ελαίου

Οι κίνδυνοι από τους οποίους πρέπει να προστατευθούν τα πηνία τύπου ελαίου είναι:

- Σφάλματα μεταξύ φάσεων και μεταξύ φάσεων και γης, τα οποία προκαλούν μεγάλη μεταβολή των ρευμάτων φάσεων
- Σφάλματα μεταξύ σπειρών, τα οποία προκαλούν μικρές μεταβολές των ρευμάτων φάσεων
- Σφάλματα που έχουν να κάνουν με το σύστημα ψύξης των εν λόγω πηνίων, όπως είναι η διαρροή του λαδιού ή η απώλεια του συστήματος ψύξης.

Η προστασία των πηνίων ελαίου από σφάλματα που προκαλούν σημαντικά ρεύματα γίνεται με συνδυασμό H/N υπερεντάσεως, διαφορικών H/N και H/N αποστάσεως. Για τους H/N υπερεντάσεως και τους διαφορικούς H/N ισχύουν όσα ειπώθηκαν στην προηγούμενη υποενότητα. Οι H/N αποστάσεως μπορούν να εντοπίζουν σφάλματα μεταξύ σπειρών, λόγω της σημαντικής

μείωσης της τιμής σύνθετης αντιστάσεως κατά την εμφάνιση ενός τέτοιου σφάλματος. Η σύνδεση του H/N αποστάσεως για το σκοπό αυτό φαίνεται στην Εικόνα 1.91.



Εικόνα 1.91: Προστασία αποστάσεως για πηνία τύπου ελαίου [2]

Τέλος, προστασία των πηνίων τύπου ελαίου από βλάβες στο σύστημα ψύξης καθώς και από σφάλματα μεταξύ σπειρών μπορεί να εξασφαλιστεί με χρήση H/N πίεσης, θερμοκρασίας ή ροής.

## 1.10 Προστασία πυκνωτών

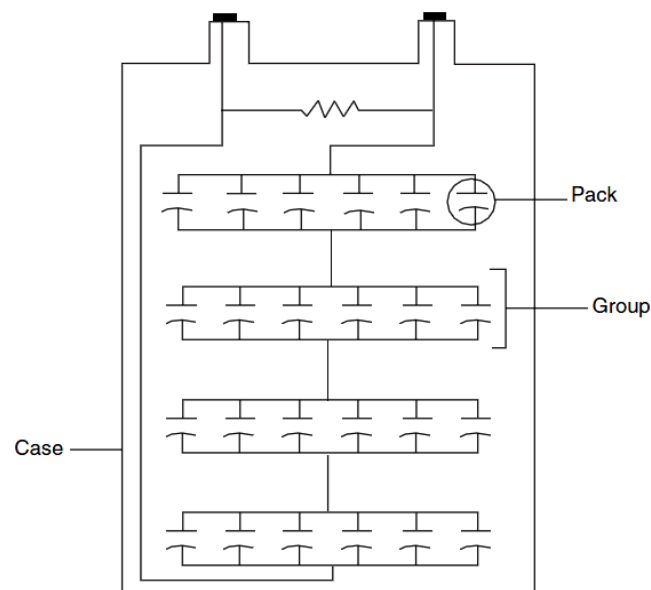
Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται στα Σ.Η.Ε. συνδεδεμένοι:

- Σε σειρά σε μεγάλους μήκους γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης για να μειώσουν την συνολική σύνθετη αντίσταση μεταξύ μεγάλων πηγών ισχύος, με άμεση συνέπεια την αύξηση των δυνατοτήτων μεταφοράς ισχύος και την βελτίωση της ευστάθειας.
- Παράλληλα σε κάθε επίπεδο τάσης του δικτύου, με βασικό στόχο να αναλάβουν την τροφοδότηση μέρους της αέργου ισχύος που απαιτείται από το δίκτυο και τα φορτία του καθώς και για να επιτευχθεί έλεγχος της τάσεως και του συντελεστή ισχύος όπου χρειάζεται.

### 1.10.1 Εσωτερική δομή & προδιαγραφές πυκνωτών

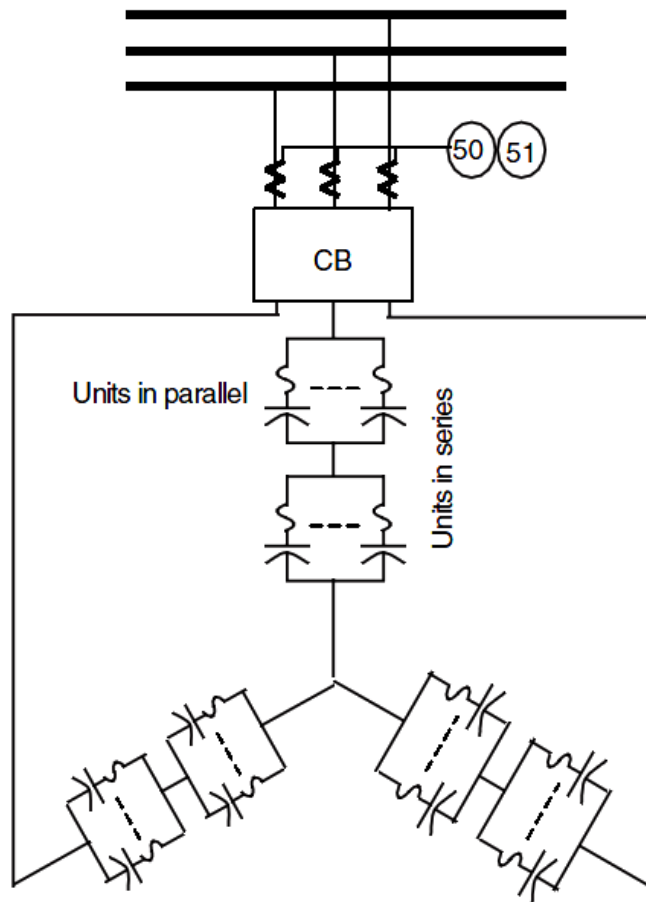
Οι πυκνωτές που εγκαθίστανται στα Σ.Η.Ε. αποτελούνται από μία ή περισσότερες μονάδες (units) πυκνωτών συνδεδεμένες σε αστέρα ή τρίγωνο. Μία μονάδα πυκνωτών είναι ένας αριθμός από εν σειρά συνδεδεμένες ομάδες (groups) πυκνωτών, οι οποίες περικλείουν εσωτερικά πυκνωτές (capacitor packs) σε παράλληλη σύνδεση μεταξύ τους, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.92.

Οι μεγάλες εγκαταστάσεις πυκνωτών (20-400MVA) αποτελούνται από πολλές, παράλληλα συνδεδεμένες μεταξύ τους, μονάδες πυκνωτών σε σειρά με άλλες παρόμοια συνδεδεμένες ομάδες μονάδων πυκνωτών (groups of capacitor units). Κάθε μονάδα πυκνωτών μπορεί να διαθέτει είτε εξωτερικές, είτε εσωτερικές, είτε και καθόλου ασφάλειες. Οι εξωτερικές ασφάλειες, όταν υπάρχουν, εγκαθίστανται σε κάθε μία μονάδα πυκνωτών που χρησιμοποιείται. Οι εσωτερικές ασφάλειες τοποθετούνται σε κάθε πυκνωτή όλων των ομάδων πυκνωτών κάθε μονάδας πυκνωτών (βλ. Εικόνα 1.93). Οι μονάδες πυκνωτών με εξωτερικές ή καθόλου ασφάλειες υπερτερούν των αντίστοιχων εσωτερικά ασφαλισμένων, λόγω του μικρότερου όγκου τους, της απλότητάς τους, των λιγότερων απωλειών, τις μικρότερης πιθανότητας εμφάνισης διάρρηξης στο κιβώτιό τους, της μηδαμινής πιθανότητας λειτουργίας των ασφαλειών χωρίς να υπάρχει ουσιαστικός λόγος και της δυνατότητας να επιτύχουμε πιο ευαίσθητη προστασία. Στην Εικόνα 1.94 φαίνονται μονάδες πυκνωτών με εξωτερικές ασφάλειες.

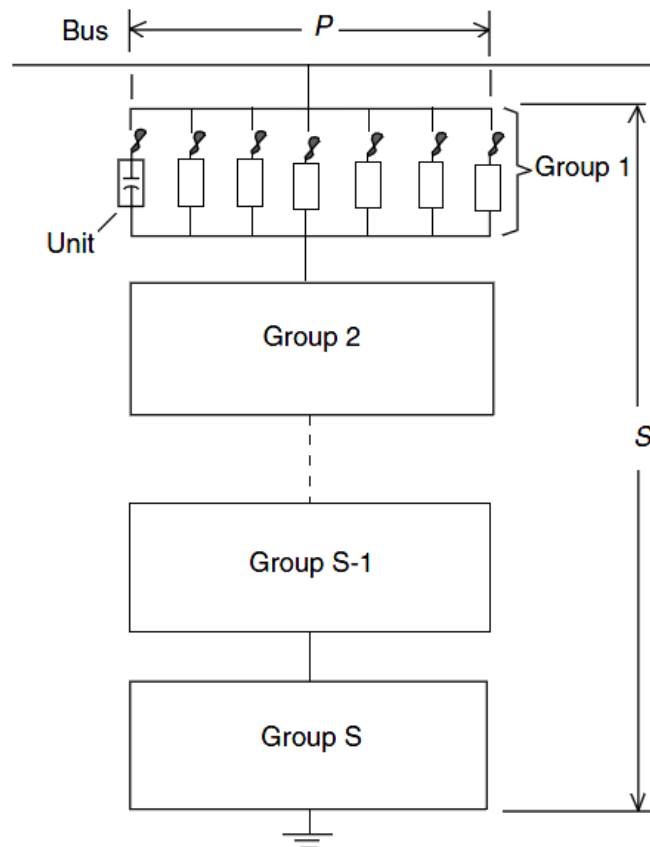


Εικόνα 1.92: Εσωτερική δομή μιας τυπικής μονάδας πυκνωτή [3]





Εικόνα 1.93: Τυπική διάταξη πυκνωτών υψηλής τάσης & προστασίες που χρησιμοποιούνται [2]



Εικόνα 1.94: Ομάδες από μονάδες πυκνωτών με εξωτερικές ασφάλειες [3]

Οι κανονισμοί ορίζουν ότι οι μονάδες πυκνωτών θα πρέπει να κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν τη δυνατότητα να υφίστανται τάσεις μέχρι και το 110% της ονομαστικής τους, χωρίς κανένα πρόβλημα. Επίσης, οι κανονισμοί προβλέπουν ότι οι μονάδες πυκνωτών θα πρέπει να μπορούν να λειτουργήσουν μέχρι και το 135% της ονομαστικής άεργης ισχύος τους.

### 1.10.2 Προστασία πυκνωτών συστήματος διανομής

Οι πυκνωτές που εγκαθίστανται αναρτημένοι στα συστήματα διανομής, προστατεύονται από πιθανή διάρρηξη του κιβωτίου τους, λόγω της εμφάνισης κάποιου εσωτερικού σφάλματος, με χρήση ασφαλειών σε κάθε φάση. Οι ασφάλειες αυτές θα πρέπει να έχουν χαρακτηριστικές λειτουργίας, οι οποίες να επιτρέπουν την ταχεία απομόνωση οποιουδήποτε εσωτερικού σφάλματος, επιδεικνύοντας, όμως, ανοχή σε οποιαδήποτε τιμή ρεύματος μπορεί να εμφανιστεί κατά τη διάρκεια της κανονικής τους λειτουργίας, όπως είναι π.χ. το μέγιστο ρεύμα λειτουργίας, το ρεύμα αρχικής τροφοδότησης κλπ. Επίσης, οι πυκνωτές του συστήματος διανομής μπορεί να διαθέτουν και κατάλληλο διακόπτη, ο οποίος έχει την ικανότητα να τους θέτει εντός ή εκτός λειτουργίας κατά το δοκούν.

### 1.10.3 Προστασία παράλληλων πυκνωτών μεγάλης ισχύος

Για την προστασία των παράλληλων πυκνωτών μεγάλης ισχύος χρησιμοποιούνται διάφορα σχήματα προστασίας. Οι ασφάλειες, όταν περιέχονται σε αυτούς τους πυκνωτές, παρέχουν ένα επίπεδο ασφαλείας έναντι εσωτερικών σφαλμάτων, το οποίο όμως πρέπει να ενισχυθεί είτε με την εφαρμογή προστασίας ασυμμετρίας, είτε με ένα σχήμα διαφορικής σύγκρισης τάσεως.

Η προστασία ασυμμετρίας λειτουργεί προειδοποιητικά, ενεργοποιώντας κατάλληλο συναγερμό όταν διαπιστώσει πως κάποια μονάδα πυκνωτών ή ξεχωριστός πυκνωτής παρουσιάζει σφάλμα, ενώ αποσυνδέει ολόκληρο το σύστημα πυκνωτών όταν διαπιστωθεί μεγάλη ασυμμετρία. Για την ανίχνευση αυτών των ασυμμετριών, όταν οι πυκνωτές είναι συνδεδεμένοι στο δίκτυο ως γειωμένος αστέρας, χρησιμοποιούνται κατάλληλοι Η/Ν που επιτηρούν τη τάση ή το ρεύμα στον ουδέτερο. Όταν το σύστημα πυκνωτών είναι πλήρως συμμετρικό, δεν ρέει καθόλου ρεύμα στον ουδέτερο, ενώ όταν, λόγω λειτουργίας κάποιων εκ των ασφαλειών των πυκνωτών ή βραχυκυκλωμάτων, οι πυκνωτές γίνουν ασύμμετροι, το ρεύμα του ουδετέρου αυξάνει και έτσι ενεργοποιείται η προστασία.

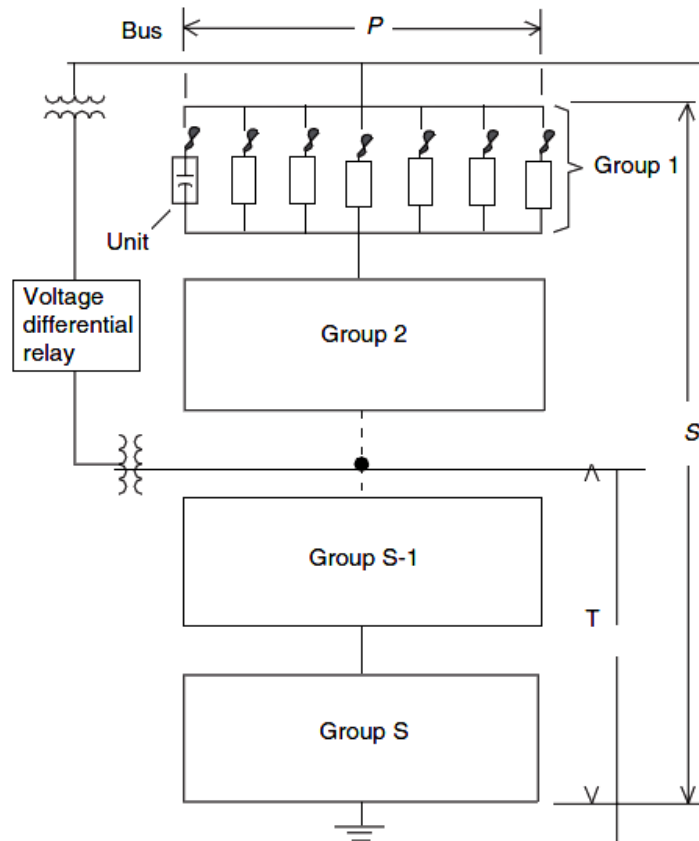
Η προστασία ασυμμετρίας, όμως, δεν είναι πάντοτε εφαρμόσιμη και αποδοτική. Γι' αυτό το λόγο, ένας εναλλακτικός τρόπος προστασίας που προτιμάται είναι η χρήση του σχήματος διαφορικής σύγκρισης τάσεως, το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 1.95. Σε αυτό το σχήμα προστασίας, η τάση του ζυγού πάνω στον οποίο συνδέονται οι πυκνωτές συγκρίνεται μέσω κατάλληλου Η/Ν με τη τάση σε κάποιο σημείο μεταξύ των ομάδων από ομάδες πυκνωτών, το οποίο συνήθως επιλέγεται να είναι το κέντρο αυτών.

Πέρα από τις προαναφερθείσες προστασίες, οι παράλληλοι πυκνωτές μπορούν να έχουν επίσης:

- Προστασία από υπερεντάσεις λόγω σφαλμάτων φάσεων ή γης μέσω Η/Ν υπερέντασης αντιστρόφου ή στιγμιαίου χρόνου στις φάσεις σύνδεσης με το δίκτυο.
- Προστασία υπέρτασης μέσω Η/Ν υπέρτασης ρυθμισμένων να λειτουργούν στο 110% της ονομαστικής τάσεως των πυκνωτών.
- Προστασία από απώλεια τάσεως του ζυγού πάνω στον οποίο συνδέονται, μέσω Η/Ν υποτάσεως εγκατεστημένου πάνω στο ζυγό. Στόχος αυτής της προστασίας είναι να

αποφευχθούν ανεπιθύμητες μεταβατικές καταστάσεις στην περίπτωση που υπάρχει εγκατεστημένο σύστημα αυτόματης επαναφοράς διακοπών μετά από σφάλμα.

- Προστασία από βλάβη των διακοπών ισχύος των πυκνωτών μέσω κατάλληλου τοπικού σχήματος προστασίας.



Εικόνα 1.95: Προστασία διαφορικής σύγκρισης τάσεως [3]

#### 1.10.4 Προστασία εν σειρά συνδεδεμένων πυκνωτών

Η προστασία των εν σειρά συνδεδεμένων πυκνωτών σε γραμμές μεταφοράς εξασφαλίζεται από τα ίδια τα μέσα προστασίας που χρησιμοποιούνται και για τις γραμμές μεταφοράς. Επιπροσθέτως, οι εν σειρά πυκνωτές διαθέτουν κατάλληλο σύστημα με το οποίο μπορούν να αποσυνδέονται ή να επανασυνδέονται αυτόματα επάνω στη γραμμή μεταφοράς, με στόχο να μειώνεται ο χρόνος μη εξυπηρέτησης των φορτίων, λόγω σφαλμάτων που μπορούν να εκδηλωθούν εντός των εν λόγω πυκνωτών. Κάτι τέτοιο, όμως, επιβάλλει ότι η ρύθμιση των προστασιών της γραμμής μεταφοράς θα πρέπει να μπορεί να προσαρμόζεται αυτόματα ώστε να προστατεύει τη γραμμή αποδοτικά με ή χωρίς τους πυκνωτές συνδεδεμένους σε αυτή.

Πέρα από τις προστασίες των γραμμών μεταφοράς, οι εν σειρά πυκνωτές μπορούν επίσης να διαθέτουν:

- Ειδικές συσκευές προστασίας έναντι υπερτάσεων που μπορούν να εμφανιστούν λόγω ρευμάτων σφάλματος προερχόμενα από σφάλματα του δικτύου.
- Προστασία ισορροπίας ώστε να εντοπίζονται τυχόν εσωτερικές βλάβες της συστοιχίας των πυκνωτών.
- Προστασία υπερεντάσεως με H/N υπερεντάσεως κατάλληλα ρυθμισμένους ώστε να προστατεύουν από υπερφορτίσεις και σφάλματα γης.

## 1.11 Προστασία AC κινητήρων

Η προστασία των AC κινητήρων που συνδέονται σε ένα Σ.Η.Ε. δεν είναι ιδιαίτερος τυποποιημένη, αλλά βασίζεται κατά κύριο λόγο στη σημασία του εκάστοτε κινητήρα, η οποία είναι γενικά συνυφασμένη με το μέγεθος της ισχύος του.

Οι κίνδυνοι από τους οποίους πρέπει να προστατευθεί ένας AC σύγχρονος ή ασύγχρονος κινητήρας είναι συνοπτικά οι εξής:

- Βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσεων και μεταξύ φάσεων και γης
- Θερμική καταπόνηση λόγω υπερφόρτισης ή ακινητοποιημένου δρομέα
- Ανώμαλες συνθήκες λειτουργίας, όπως η λειτουργία υπό ανομοιόμορφες τάσεις, η εμφάνιση υπερτάσεων ή υποτάσεων, η αντιστροφή των φάσεων, η ταχεία αυτόματη επαναφορά των διακοπών ισχύος ενώ ο κινητήρας συνεχίζει να στρέφεται, οι ασυνήθιστες συνθήκες περιβάλλοντος λειτουργίας (ζέστη, κρύο κλπ.) και η ημιτελής διαδικασία εκκίνησης

Οι επιπρόσθετοι κίνδυνοι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τους AC σύγχρονους κινητήρες είναι οι εξής:

- Απώλεια πεδίου διέγερσης
- Λειτουργία εκτός συγχρονισμού
- Συγχρονισμός εκτός φάσης

Για την μελέτη της προστασίας των AC κινητήρων θα πρέπει να είναι γνωστά τα εξής:

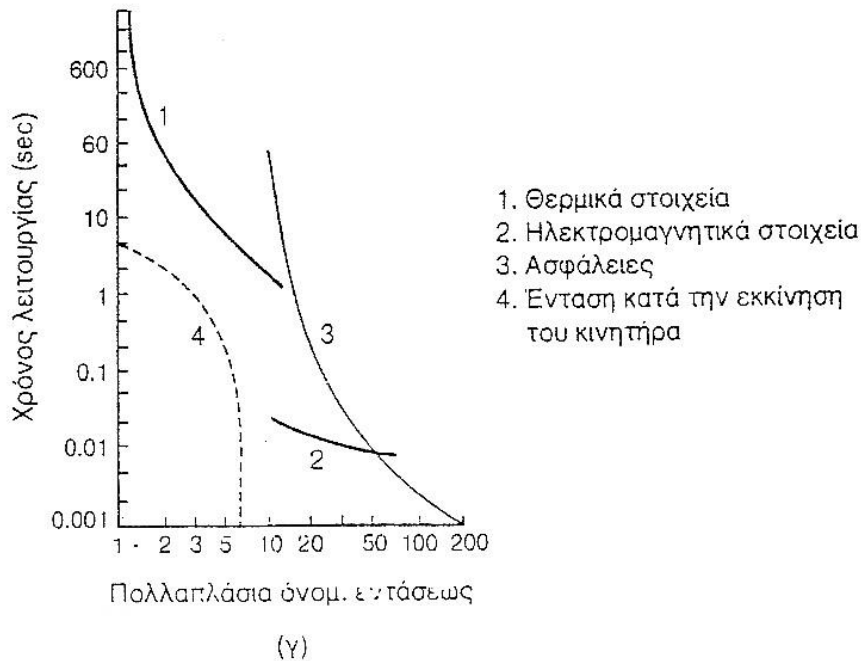
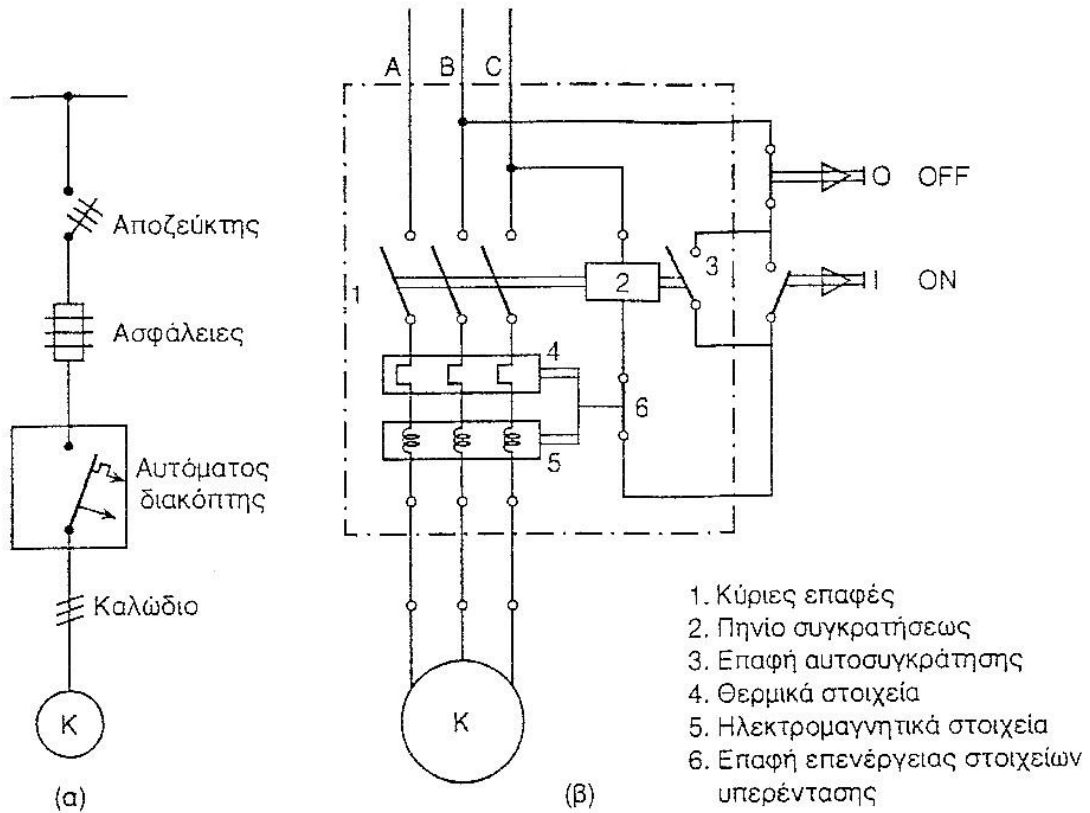
- Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του
- Τα χαρακτηριστικά του δικτύου που τον τροφοδοτεί
- Οι καμπύλες των ρευμάτων εκκίνησής του & η καμπύλη θερμικής αντοχής του, η οποία θα πρέπει να περιέχει και το μέγιστο επιτρεπτό θερμικό όριο ακινητοποιημένου δρομέα
- Η σταθερά  $K = R_{r2}/R_{r1}$  ( $R_{r2}$ : αντίσταση αρνητικής ακολουθίας δρομέα,  $R_{r1}$ : αντίσταση θετικής ακολουθίας δρομέα)

### 1.11.1 Προστασία κινητήρων μικρού και μεσαίου μεγέθους

Για την προστασία (ασύγχρονων κυρίως) κινητήρων χαμηλής τάσης και ισχύος από 1 kW έως μερικές εκατοντάδες kW, για τους οποίους δεν απαιτείται ιδιαίτερη προστασία, το σχήμα προστασίας που χρησιμοποιείται πιο συχνά φαίνεται στην Εικόνα 1.96.

Την προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων και μακροχρόνιων υπερφορτίσεων παρέχει το ηλεκτρομαγνητικό και θερμικό στοιχείο του αυτόματου διακόπτη (Α/Δ) αντιστοίχως, ενώ οι ασφάλειες που προηγούνται του Α/Δ είναι απαραίτητες τόσο για την προστασία του ίδιου του Α/Δ αλλά και για την αποκοπή σφαλμάτων, το ρεύμα σφάλματος των οποίων είναι μεγαλύτερο από την διακοπτική ικανότητα του Α/Δ.

Ακόμη, το πηνίο συγκρατήσεως (2) στην Εικόνα 1.96 παρέχει μερική προστασία του κινητήρα από υποτάσεις, διότι ανοίγει και τον απομονώνει σε περίπτωση που η τάση τροφοδοτήσεως του κινητήρα πέσει κάτω από το 70% περίπου της ονομαστικής. Όταν, βέβαια, απαιτείται πληρέστερη προστασία του κινητήρα από ενδεχόμενη υπόταση, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ειδικός Η/Ν υπότασης.



Εικόνα 1.96: Προστασία τριφασικού ασύγχρονου κινητήρα χαμηλής τάσεως [10]

Σε περιπτώσεις κινητήρων, οι οποίοι πρόκειται να υπόκεινται σε συχνές εκκινήσεις, ο Α/Δ αντικαθίσταται από έναν επαφέα (contactor). Ο επαφέας είναι ένας διακόπτης ειδικά σχεδιασμένος να μην φθείρεται λόγω των συχνών ζεύξεων-αποζεύξεων, αλλά με περιορισμένη ικανότητα διακοπής υπερεντάσεων. Ως εκ τούτου, ο επαφέας μπορεί να περιλαμβάνει μόνο προστασία έναντι μακροχρόνιων υπερφορτίσεων μέσω θερμικών στοιχείων, ενώ για την προστασία του κινητήρα από βραχυκυκλώματα, η εγκατάσταση κατάλληλων ασφαλειών είναι επιβεβλημένη στην περίπτωση αυτή.

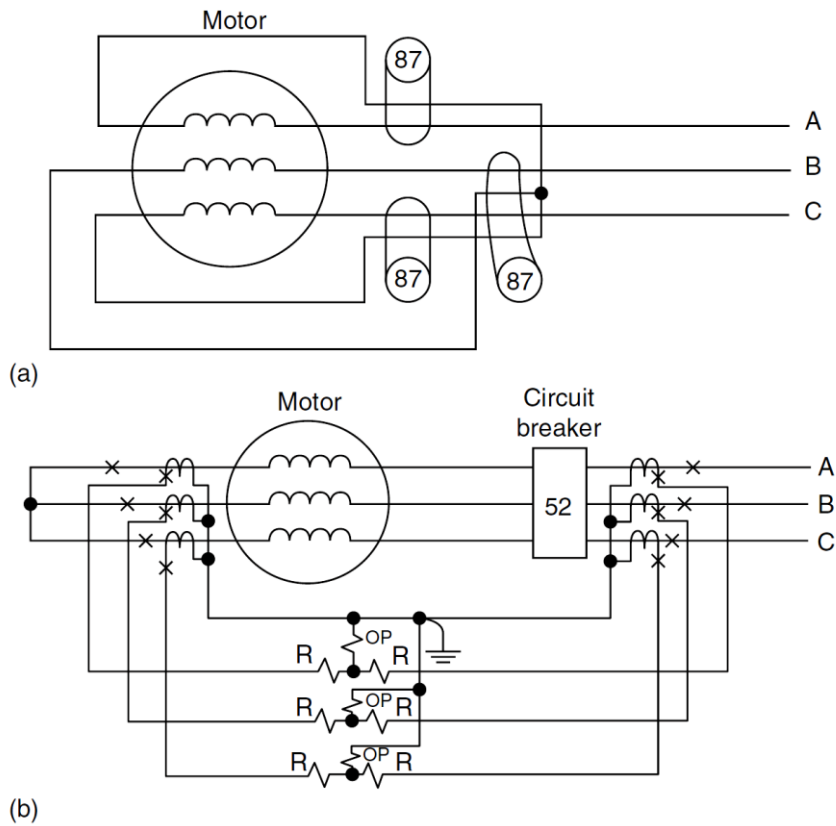
### 1.11.2 Προστασία κινητήρων μεσαίου και μεγάλου μεγέθους

Για την προστασία σημαντικών κινητήρων άνω του 1kV, χρησιμοποιούνται Η/Ν με εισόδους από κατάλληλα συνδεδεμένους Μ/Σ τάσης και έντασης.

#### 1.11.2.1 Προστασία από σφάλματα μεταξύ φάσεων

Η προστασία έναντι υπερεντάσεων λόγω βραχυκυκλωμάτων μεταξύ φάσεων, επιτυγχάνεται μέσω Η/Ν υπερεντάσεως στιγμιαίου χρόνου στις φάσεις του κινητήρα, ρυθμισμένων ώστε να μην λειτουργούν για τα ρεύματα εκκίνησής του.

Ένας πιο αποτελεσματικός τρόπος προστασίας έναντι σφαλμάτων φάσεων είναι η εφαρμογή διαφορικής προστασίας στον κινητήρα, όταν αυτό είναι δυνατό. Η διαφορική προστασία μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους. Όταν έχουμε στη διάθεσή μας και τις δύο άκρες των τυλιγμάτων του κινητήρα και τα καλώδια είναι επαρκούς μικρής διατομής, ο καλύτερος τρόπος βασίζεται στη χρήση ενός Μ/Σ άθροισης ροής με τους αγωγούς κατάλληλα περασμένους από μέσα του ώστε να επιτυγχάνεται διαφορική σύγκριση. Όταν, όμως, αυτό δεν μπορεί να γίνει, τότε μπορούμε πάντοτε να εφαρμόσουμε την κλασική συνδεσμολογία της διαφορικής προστασίας. Οι συνδεσμολογίες που μόλις αναφέρθηκαν δίνονται με περισσότερη λεπτομέρεια στην Εικόνα 1.97.

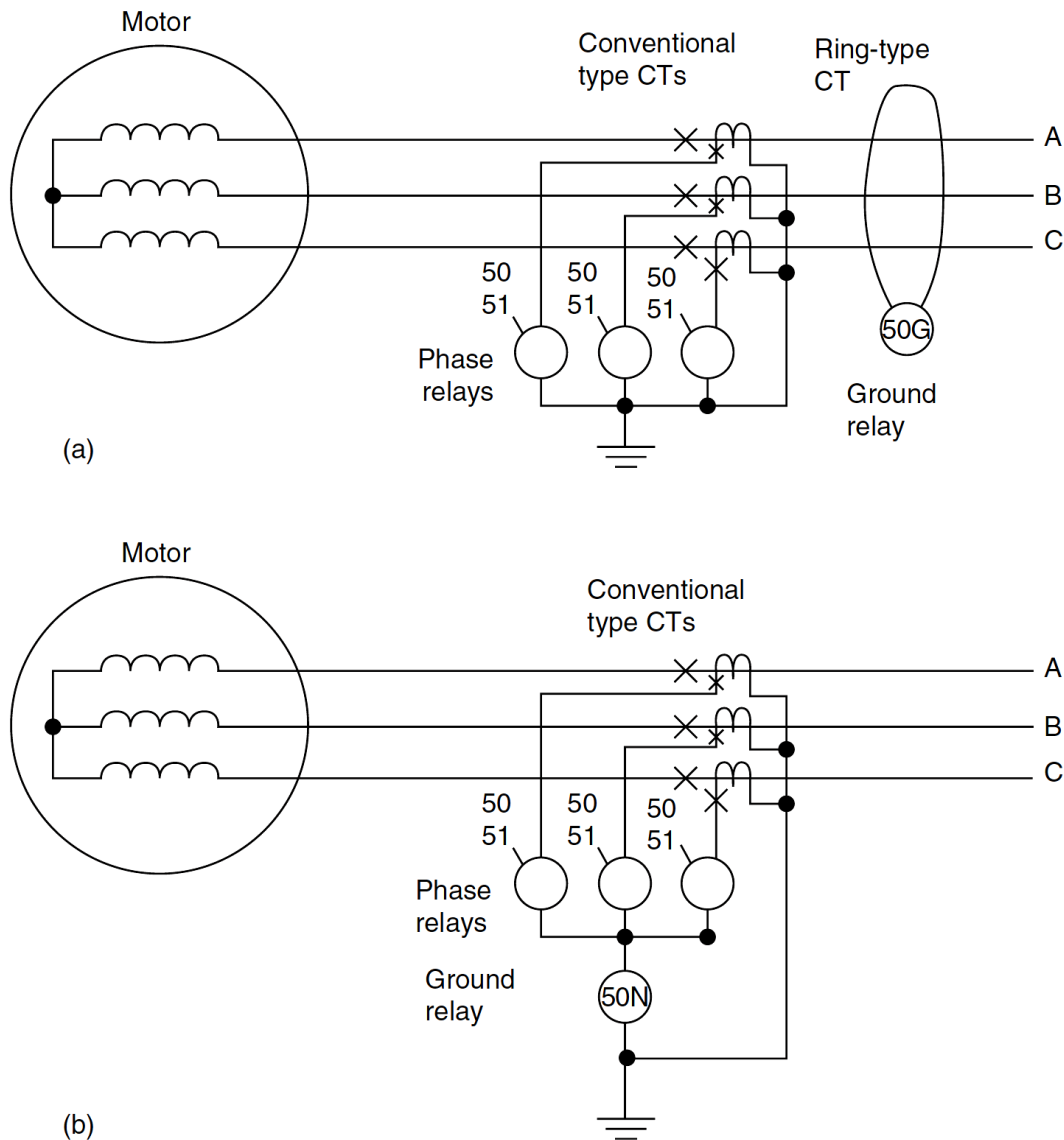


Εικόνα 1.97: Διαφορική προστασία κινητήρων από σφάλματα μεταξύ φάσεων με διαθέσιμες τις δύο άκρες των τυλιγμάτων τους | (a) με χρήση Μ/Σ άθροισης ροής | (b) με συμβατικούς Μ/Σ έντασης και διαφορικούς Η/Ν [3]

#### 1.11.2.2 Προστασία από σφάλματα μεταξύ φάσεων και γης

Για την προστασία αυτών των κινητήρων από σφάλματα μεταξύ φάσεων και γης, η προτιμότερη μέθοδος βασίζεται και πάλι στη χρήση ενός Μ/Σ άθροισης ροής με τους τρεις αγωγούς του κινητήρα να περνούν από μέσα του, ούτως ώστε να δίνουν το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας  $3I_0$ . Αν, όμως, κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, λόγω του μεγέθους των αγωγών, τότε

μπορεί να τοποθετηθεί, ως εναλλακτική λύση, ένας στιγμιαίος H/N υπερεντάσεως στον ουδέτερο. Οι δύο παραπάνω προστασίες μαζί με τις προστασίες έναντι σφαλμάτων φάσεων μέσω H/N υπερεντάσεως (50 & 51) φαίνονται στην Εικόνα 1.98.

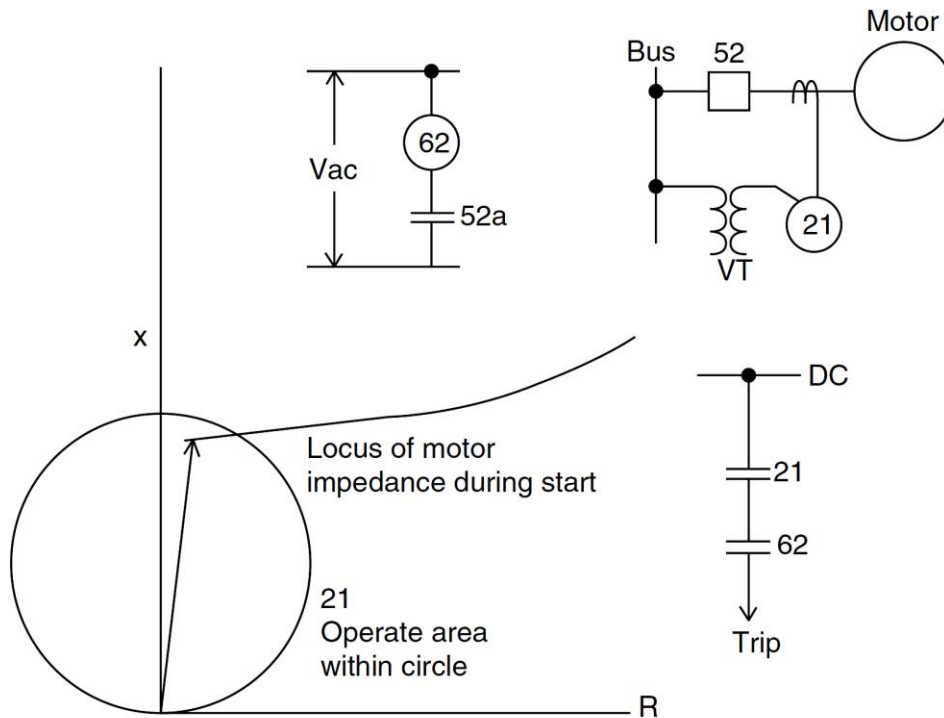


Εικόνα 1.98: Προστασία κινητήρων από σφάλματα γης (a) όταν και οι τρεις αγωγοί φάσεων μπορούν να περάσουν μέσα από έναν Μ/Σ άθροισης ροής | (b) μέσω συμβατικών Μ/Σ έντασης [3]

### 1.11.2.3 Προστασία από υπερφορτίσεις και την περίπτωση του ακινητοποιημένου δρομέα

Η προστασία από υπερφόρτιση απαιτεί τη χρήση θερμικών H/N ή H/N υπερεντάσεως, οι οποίοι ρυθμίζονται ώστε να προσεγγίζουν την καμπύλη θερμικής αντοχής του κινητήρα όσο το δυνατόν καλύτερα, ενώ παράλληλα, για τους H/N υπερεντάσεως, φροντίζουμε να ρυθμιστούν σωστά ώστε να μην λειτουργήσουν για το ρεύμα εκκίνησης του κινητήρα.

Για την προστασία του κινητήρα από την περίπτωση του ακινητοποιημένου δρομέα, χρησιμοποιούνται, για τους μικρούς και μεσαίους κινητήρες, H/N υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου, ενώ, για τους μεγάλους κινητήρες, επιστρατεύονται H/N αποστάσεως τύπου impedance, οι οποίοι συνδέονται έτσι ώστε να επιτηρούν την μεταβολή της σύνθετης αντίστασης του κινητήρα κατά την εκκίνηση και λειτουργούν αν αυτή δεν φύγει έξω από την χαρακτηριστική λειτουργίας τους μέσα σε ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα που καθορίζει κάποιο χρονικό. Η προστασία ακινητοποιημένου δρομέα φαίνεται στην Εικόνα 1.99.



Εικόνα 1.99: Προστασία ακινητοποιημένου δρομέα με H/N αποστάσεως και χρονικό [3]

#### 1.11.2.4 Προστασία από ανομοιομορφία τάσεων και αντιστροφή φάσεων

Για την προστασία του κινητήρα από ανομοιομορφίες των τάσεων τροφοδότησής του, χρησιμοποιείται είτε ένας H/N ισορροπίας ρεύματος, ο οποίος επιτηρεί συνεχόμενα τα μέτρα των ρευμάτων φάσεων και λειτουργεί όταν κάποιο από αυτά παρουσιάσει μια προκαθορισμένη διαφορά σε σχέση με τα άλλα, είτε ένας H/N τάσης αρνητικής ακολουθίας, ο οποίος ελέγχει αν υπάρχει τάση αρνητικής ακολουθίας για να λειτουργήσει. Η προστασία έναντι αντιστροφής φάσεων γίνεται και αυτή μέσω του H/N τάσης αρνητικής ακολουθίας λόγω της υψηλής τιμής τάσης αρνητικής ακολουθίας που εμφανίζεται σε αυτή την περίπτωση.

#### 1.11.2.5 Προστασία από υποτάσεις

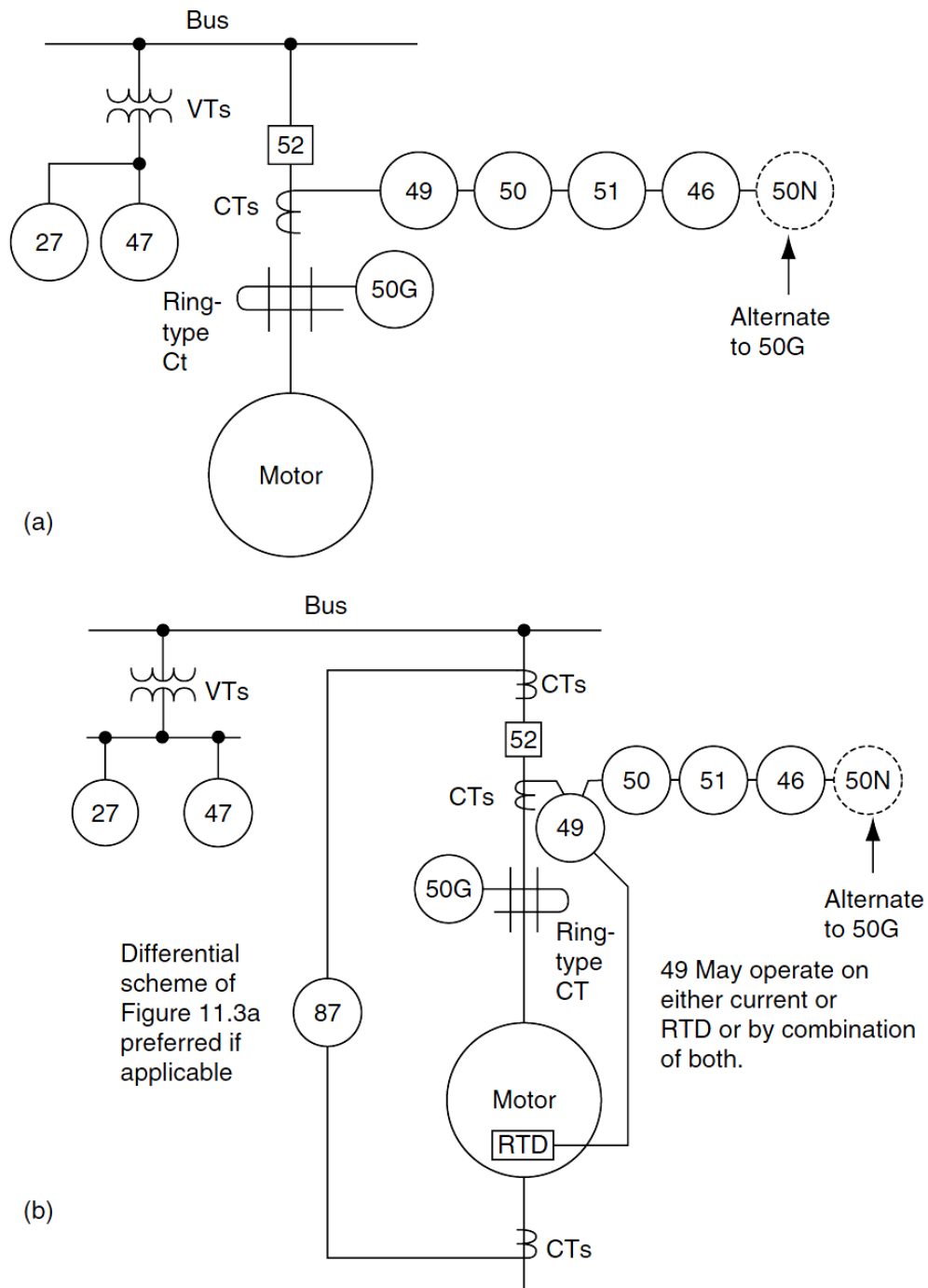
Μείωση της τάσης τροφοδότησης σε έναν κινητήρα δημιουργεί υψηλά ρεύματα όπως και λειτουργικά προβλήματα. Για την αποφυγή αυτών των δυσάρεστων συνεπειών, συνίσταται η χρήση ενός H/N υποτάσεως αντιστρόφου χρόνου, ο οποίος λειτουργεί όταν εμφανιστεί υπόταση στη τάση για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

#### 1.11.2.6 Πρόσθετες προστασίες για σύγχρονους κινητήρες

Οι προστασίες που παρουσιάστηκαν αφορούν τόσο τους ασύγχρονους όσο και τους σύγχρονους AC κινητήρες. Ειδικότερα για τους σύγχρονους κινητήρες, το σύστημα προστασίας τους περιλαμβάνει και σχήμα προστασίας έναντι απώλειας του πεδίου διεγέρσεως. Στους μικρούς κινητήρες χρησιμοποιείται για αυτό το σκοπό ένας H/N συντελεστή ισχύος, ο οποίος λειτουργεί όταν το ρεύμα ανιχνευθεί να έπεται της τάσης περισσότερο από  $30^\circ$ . Για μεγαλύτερους κινητήρες, χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό το σχήμα που περιγράφηκε στην 1.5.5 υποενότητα.

Στην Εικόνα 1.100 φαίνονται τα συνήθη σχήματα προστασίας κινητήρων αναλόγως της διαθεσιμότητας των μερών των τυλιγμάτων τους.





Εικόνα 1.100: Ενδεικνύμενες προστασίες κινητήρων που διαθέτουν ανιχνευτές θερμοκρασίας | (a) αλλά δεν είναι προσβάσιμα και τα δύο άκρα των τυλιγμάτων τους | (b) και είναι προσβάσιμα τα δύο άκρα των τυλιγμάτων τους [3]

## 1.12 Ψηφιακοί Η/Ν & αυτοματισμοί υποσταθμών

Λόγω της αλματώδους εξέλιξης των μικροεπεξεργαστών και γενικώς της ψηφιακής τεχνολογίας, οι ψηφιακοί Η/Ν, οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLCs) και τα ψηφιακά συστήματα επικοινωνίας χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο (αν όχι αποκλειστικά) στα σύγχρονα Σ.Η.Ε. Ως εκ τούτου, η διαμόρφωση των δωματίων ελέγχου των υποσταθμών άλλαξε καίρια λόγω της δραστηκής μείωσης των απαιτούμενων καλωδιώσεων, της μείωσης του μεγέθους των πινάκων ελέγχου και της εγκατάστασης οθονών για την λειτουργία και την προβολή της κατάστασης και των ρυθμίσεων του υποσταθμού, για σημάνσεις/συναγερμούς και για εμφάνιση/καταγραφή γεγονότων.

### 1.12.1 Σύντομη περιγραφή ψηφιακών Η/Ν

Οι ψηφιακοί Η/Ν και πιο συγκεκριμένα οι αριθμητικοί ψηφιακοί Η/Ν παίρνουν αποφάσεις και δρουν κατά κύριο λόγο βάσει των ρευμάτων και τάσεων που τους παρέχονται από τους Μ/Σ έντασης και τάσης που είναι εγκατεστημένοι στα διάφορα μέρη του προστατευόμενου Σ.Η.Ε. Τα ρεύματα και οι τάσεις που μετρώνται, όντας αναλογικά σήματα, υφίστανται περιοδική δειγματοληψία, φιλτράρονται και εν συνεχεία εφαρμόζονται σε κατάλληλο αναλογικό-ψηφιακό μετατροπέα (A/D converter) ώστε να μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή λέξης των 8 ή 16 bits. Ο ρυθμός της δειγματοληψίας κυμαίνεται συνήθως από 4 έως 16 δείγματα ανά κύκλο (ηλεκτρικό). Κατόπιν, η ψηφιακή πληροφορία που προκύπτει χρησιμοποιείται από τους αλγόριθμους του Η/Ν που προσομοιώνουν την λειτουργία των στοιχείων προστασίας. Πέρα από τα σήματα εισόδου ρευμάτων και τάσεων, οι ψηφιακοί Η/Ν μπορούν να δέχονται και άλλες εισόδους όπως σήματα που καθορίζουν την κατάσταση των διακοπών ισχύος του δικτύου (ανοικτός/κλειστός), σήματα επαναφοράς των σημάνσεων του Η/Ν (reset signals), σήματα που επιτρέπουν την εφαρμογή διαφορικής προστασίας μέσω καναλιών επικοινωνίας, σήματα κατάστασης των δεκτών των σχημάτων προστασίας με αγωγούς πιλότους κ.α.

Οι ψηφιακοί Η/Ν μπορούν να βρεθούν είτε σε μορφή κατάλληλη για απευθείας τοποθέτηση στις θέσεις των παλιών ηλεκτρομηχανικών Η/Ν χωρίς ιδιαίτερες αλλαγές στην υπάρχουσα καλωδίωση, είτε σε κέλυφος κατάλληλο για εγκατάσταση επάνω σε ράγα με συγκεκριμένες συνδέσεις εισόδων/εξόδων.

Οι λειτουργίες προστασίας και ελέγχου που επιτελούν οι ψηφιακοί Η/Ν μπορεί να είναι από λίγες και απλές έως πολλές και κατάλληλα επιλεγμένες ώστε να παρέχουν πλήρη προστασία για μία γραμμή μεταφοράς, γεννήτρια κλπ.

Τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών Η/Ν είναι:

- ✓ Η επίτευξη μεγαλύτερης προστασίας με μικρότερο κόστος
- ✓ Η απλοποίηση των καλωδιακών συνδέσεων
- ✓ Η μεγαλύτερη ευελιξία τους
- ✓ Οι λιγότερες απαιτήσεις συντήρησης
- ✓ Η μείωση του απαιτούμενου χώρου για την εγκατάσταση του συστήματος προστασίας
- ✓ Η δυνατότητα δημιουργίας αναφορών γεγονότων
- ✓ Η δυνατότητα εκτίμησης και προβολής της αποστάσεως από το εκάστοτε σφάλμα
- ✓ Η παροχή δεδομένων για άλλες μετρήσεις
- ✓ Η εσωτερική υλοποίηση των λογικών ελέγχου και αυτοματισμών ενός υποσταθμού
- ✓ Η δυνατότητα αυτο-επιτήρησης που διαθέτουν

- ✓ Η δυνατότητα επικοινωνίας τους με άλλες συσκευές ή Η/Ν ώστε να δημιουργηθούν ακόμη πιο ισχυρά σχήματα προστασίας
- ✓ Η δυνατότητα απομακρυσμένης επίβλεψης και ρύθμισής τους
- ✓ Η δυνατότητα αυτόματης αλλαγής των ρυθμίσεών τους βάσει της κατάστασης του δικτύου

Τα μειονεκτήματα των ψηφιακών Η/Ν είναι:

- ✓ Η πιθανότητα απώλειας πολλών λειτουργιών και προστασιών λόγω ενός και μόνο εσωτερικού σφάλματος κάποιου ψηφιακού Η/Ν
- ✓ Η δυσκολία που παρουσιάζουν τα εγχειρίδια χρήσης τους
- ✓ Ο μεγάλος αριθμός δεδομένων εισόδου που χρειάζεται για την ρύθμισή τους και την υλοποίηση της απαραίτητης λογικής

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι κατά την προμήθεια ψηφιακών Η/Ν ακολουθούνται γενικώς τα εξής βήματα:

1. Εργαστηριακές δοκιμές ώστε να εξασφαλιστεί η ορθή λειτουργία τους
2. Εφαρμογή καθορισμένων ρυθμίσεων
3. Επιβεβαίωση ορθής σύνδεσης καλωδίων
4. Λειτουργικές δοκιμές όλων των συστημάτων προστασίας και ελέγχου
5. Δοκιμές σε κατάσταση λειτουργίας

### 1.12.2 Περιγραφή προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών

Οι λειτουργίες ελέγχου που ήταν αναγκαίες σε έναν υποσταθμό επιτελούνταν παλαιότερα αποκλειστικά μέσω κατάλληλων ηλεκτρομηχανικών Η/Ν. Στις μέρες μας, οι ηλεκτρομηχανικοί Η/Ν έχουν αντικατασταθεί από τους λεγόμενους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (PLCs). Τα PLCs είναι συσκευές που χρησιμοποιούν έναν ψηφιακό υπολογιστή εφοδιασμένο με ένα κατάλληλο πρόγραμμα, το οποίο μπορεί να προσομοιώνει τις συνδέσεις μεταξύ των Η/Ν του υποσταθμού και, βάσει των εισόδων που του παρέχονται, να εκτελεί συγκεκριμένες λογικές εργασίες και να αποδίδει εξόδους. Τα PLCs έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνήσουν με τους σύγχρονους ψηφιακούς Η/Ν όπως και με άλλες ψηφιακές συσκευές, αλλά και να επιτηρούνται και να ελέγχονται απομακρυσμένα. Ας σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι οι σημερινοί ψηφιακοί Η/Ν σχεδιάζονται και αναπτύσσονται όλο και περισσότερο με τέτοιο τρόπο ώστε οι περισσότερες εκ των απαιτούμενων λειτουργιών ελέγχου και λογικής να γίνονται στο εσωτερικό τους και συνεπώς να μειώνεται η ανάγκη χρήσης των PLCs.

### 1.12.3 Προγραμματισμός & ρύθμιση ψηφιακών Η/Ν

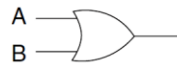
Για να μπορεί κάποιος να προγραμματίσει και να ρυθμίσει τους ψηφιακούς Η/Ν ώστε να επιτελέσουν κάποια λειτουργία, χρειάζεται να έχει μια γενική γνώση των προγραμματιστικών τεχνικών που χρησιμοποιούνται. Τα προγραμματιστικά εργαλεία που είναι διαθέσιμα στους σύγχρονους ψηφιακούς Η/Ν περιλαμβάνουν τελεστές της άλγεβρας Boole, στοιχεία εξισώσεων ελέγχου (control equation elements), δυαδικά στοιχεία (binary elements), αναλογικές ποσότητες και μαθηματικούς τελεστές.

#### 1.12.3.1 Άλγεβρα Boole

Συνίσταται γενικά στους μηχανικούς προστασίας Σ.Η.Ε. να έχουν ένα καλό υπόβαθρο όσον αφορά την άλγεβρα Boole και την λογική σχεδίαση κυκλωμάτων. Στην Εικόνα 1.101 φαίνονται

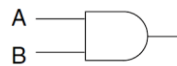
οι κυριότεροι τελεστές της άλγεβρας Boole σε μορφή λογικών πυλών μαζί με τους πίνακες αληθείας τους. Στους ψηφιακούς Η/Ν οι τελεστές της άλγεβρας Boole χρησιμοποιούνται βάσει συγκεκριμένων συμβόλων.

A	B	Output
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



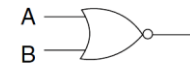
“OR” logic function

A	B	Output
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



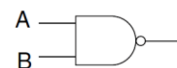
“AND” logic function

A	B	Output
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0



“NOR” logic function

A	B	Output
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



“NAND” logic function

A	Output
0	1
1	0



“NOT” logic function

A	B	Output
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



“Exclusive OR” function

Εικόνα 1.101: Οι λογικές πύλες της άλγεβρας Boole μαζί με τους πίνακες αληθείας τους

### 1.12.3.2 Στοιχεία εξισώσεων ελέγχου

Τα στοιχεία εξισώσεων ελέγχου είναι μια συλλογή από διαθέσιμες θέσεις μνήμης, μετρητές και απαριθμητές που είναι διαθέσιμοι μέσα στον ψηφιακό Η/Ν με σκοπό να αξιοποιηθούν κατά το δοκούν από τον μηχανικό προστασίας και να βοηθήσουν στην ορθή ρύθμιση της λειτουργίας του.

### 1.12.3.3 Δυαδικά στοιχεία

Τα δυαδικά στοιχεία είναι έξοδοι που παράγονται από την εσωτερική λογική του ψηφιακού Η/Ν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εξισώσεις Boole για να δημιουργήσουν μια άλλη λογική ή και να προκαλέσουν συγκεκριμένες ενέργειες όπως π.χ. να δώσουν σήμα ενεργοποίησης προς τους Δ/Ι του σχήματος προστασίας, να δώσουν εντολή να ξεκινήσει η καταγραφή κάποιου γεγονότος κ.α.

#### **1.12.3.4 Αναλογικές ποσότητες**

Οι αναλογικές ποσότητες είναι οι τάσεις και τα ρεύματα που δίνονται ως είσοδοι και μετρώνται από τον ψηφιακό Η/Ν και μπορεί να αναφέρονται είτε σε στιγμιαίες, είτε σε μέσες, είτε σε RMS τιμές.

#### **1.12.3.5 Μαθηματικοί τελεστές**

Οι μαθηματικοί τελεστές χρησιμεύουν στη γραφή μαθηματικών εξισώσεων ελέγχου κάνοντας χρήση των αναλογικών ποσοτήτων του ψηφιακού Η/Ν. Κοινοί μαθηματικοί τελεστές στους εν λόγω Η/Ν είναι η πρόσθεση, η αφαίρεση, ο πολλαπλασιασμός, η διαίρεση, η τετραγωνική ρίζα, οι λογάριθμοι, τα εκθετικά κ.α.

#### **1.12.3.6 Άλλες ρυθμίσεις ψηφιακών Η/Ν**

Πέρα από τον προγραμματισμό των λογικών εξισώσεων ενός ψηφιακού Η/Ν, υπάρχουν πολλές ακόμη ρυθμίσεις διαθέσιμες που είναι θεμελιώδεις για την λειτουργία του συστήματος προστασίας. Τέτοιες ρυθμίσεις είναι το επίπεδο και η χρονική καθυστέρηση των διαφόρων δυαδικών στοιχείων μετά την οποία αλλάζουν κατάσταση, η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση λειτουργιών, η ρύθμιση της ακολουθίας των ηλεκτρικών μεγεθών του δικτύου, οι λόγοι μετασχηματισμού των Μ/Σ τάσης και έντασης που χρησιμοποιούνται, οι χαρακτηριστικές εντάσεως-χρόνου που θα χρησιμοποιηθούν κ.α. Ακόμη, πολλοί ψηφιακοί Η/Ν επιτρέπουν την δημιουργία ομάδων ρυθμίσεων και την αυτόματη ή χειροκίνητη εναλλαγή μεταξύ τους αναλόγως της κατάστασης του δικτύου.

#### **1.12.4 Αναφορές γεγονότων**

Η ικανότητα των ψηφιακών Η/Ν να δημιουργούν και να προβάλλουν αναφορές γεγονότων είναι ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία για την ανάλυση της φύσης των διαταραχών σε ένα Σ.Η.Ε. καθώς και της απόδοσης του εκάστοτε συστήματος προστασίας.

Οι αναφορές γεγονότων είναι αρχεία που αποθηκεύονται και αναγράφουν τί ανέχνευσε ο Η/Ν και πώς ανταποκρίθηκε κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος ή ενός άλλου γεγονότος. Η εκκίνηση καταγραφής και δημιουργίας μιας αναφοράς γεγονότων γίνεται μέσω ειδικών σταθερών ή ρυθμιζόμενων διεγερτών (triggers) που διαθέτει ο ίδιος ο Η/Ν. Οι πληροφορίες που περιέχονται σε μία αναφορά γεγονότων μπορούν να είναι οι καταστάσεις όλων των στοιχείων προστασίας και των στοιχείων προγραμματιζόμενης λογικής, η κατάσταση των επαφών εισόδου και εξόδου, τα ρεύματα και οι τάσεις τη στιγμή της καταγραφής καθώς και οι ρυθμίσεις που είναι ενεργές.

Πλήρης αναφορά γεγονότων είναι αυτή που περιέχει όλες τις πληροφορίες που κατεγράφησαν από τον ψηφιακό Η/Ν. Η μορφή των αναφορών γεγονότων είναι αυτή ενός αρχείου κειμένου ASCII, το οποίο διαβάζεται καθέτως. Τα δεδομένα προβάλλονται σε στήλες με κάθε στήλη να υποδηλώνει μία χρονική στιγμή. Τα διαστήματα των χρόνων εξαρτώνται από το ρυθμό δειγματοληψίας. Οι αναφορές γεγονότων είναι περιορισμένες σε μήκος χάριν οικονομίας αποθηκευτικού χώρου και γενικά κυμαίνονται από 11 έως και 60 κύκλους δεδομένων.

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι κατασκευαστές ψηφιακών Η/Ν παρέχουν και κάποιο ειδικό λογισμικό για την προβολή των αναφορών γεγονότων. Με αυτό τον τρόπο ο μηχανικός μπορεί να προσπελάσει και να αναλύσει πολύ εύκολα τις κυματομορφές των μετρούμενων αναλογικών μεγεθών, την κατάσταση των ψηφιακών στοιχείων, τα μέτρα και τις φάσεις των ηλεκτρικών μεγεθών και τις τιμές των συμμετρικών συνιστωσών.

Οι σύγχρονοι ψηφιακοί Η/Ν έχουν επίσης τη δυνατότητα δημιουργίας συντετμημένων αναφορών. Μία από αυτές είναι η λεγόμενη ιστορική αναφορά, η οποία περιέχει μόνο το γεγονός που συνέβη και τη χρονική στιγμή που συνέβη. Ένα άλλο είδος αναφοράς είναι τα αυτόματα συνοπτικά μηνύματα, τα οποία στέλνονται απευθείας στην θύρα επικοινωνίας του ψηφιακού Η/Ν ώστε να μεταδοθούν μέχρι το σταθμό ελέγχου. Τέλος, υπάρχουν και οι λεγόμενες αναφορές διαδοχής γεγονότων, οι οποίες επιτηρούν και καταγράφουν τη χρονική στιγμή που αλλάζουν κατάσταση τα στοιχεία που έχουμε ρυθμίσει να επιτηρούνται και να καταγράφονται.

### 1.12.5 Εντοπισμός σημείου σφάλματος

Ο γρήγορος εντοπισμός της τοποθεσίας ενός σφάλματος είναι βασική παράμετρος βελτίωσης των δεικτών αξιοπιστίας των Σ.Η.Ε. και είναι ιδιαίτερος σημαντικός στην περίπτωση των γραμμών μεταφοράς μεγάλου μήκους. Όσο πιο γρήγορα φτάσει το προσωπικό αποκατάστασης βλαβών στο σημείο του σφάλματος, τόσο γρηγορότερα θα αποκατασταθεί η τροφοδότηση στους καταναλωτές.

Πολλοί από τους σύγχρονους ψηφιακούς Η/Ν έχουν την ικανότητα να προσεγγίζουν το σημείο του σφάλματος σε γραμμές μεταφοράς. Αυτή η λειτουργία απαιτεί φυσικά περισσότερους αλγόριθμους να τρέξουν μέσα στον Η/Ν και άρα περισσότερο φόρτο εργασίας. Οι απαιτούμενες αναλογικές ποσότητες για αυτόν τον υπολογισμό, όμως, είναι ήδη διαθέσιμες στον Η/Ν και η υπολογιστική ικανότητά τους αυξάνεται συνεχώς. Με αυτό τον τρόπο άλλο ένα πολύ ισχυρό εργαλείο προστίθεται στη διάθεσή μας και μάλιστα χωρίς ιδιαίτερο χρηματικό κόστος.

Υπήρξαν κατά καιρούς αρκετές μέθοδοι υπολογισμού του σημείου σφάλματος. Η πρώτη από αυτές στηριζόταν στην αντιστοίχιση των δεδομένων του σφάλματος που καταγράφονταν με τα δεδομένα από την μελέτη βραχυκυκλωμάτων, όμως ήταν αρκετά αργή και περιορισμένη κυρίως στα συστήματα υψηλής τάσεως. Μία άλλη μέθοδος περιελάμβανε τη χρονική μέτρηση των μεταδιδόμενων κυμάτων που δημιουργούνταν από το σφάλμα. Η μέθοδος αυτή, αν και αποδοτική, ήταν και εξακολουθεί να είναι αρκετά δαπανηρή διότι καθιστά αναγκαία την προμήθεια ειδικού εξοπλισμού για την υλοποίησή της. Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη μέθοδος εντοπισμού του σημείου σφάλματος είναι αυτή που βασίζεται στις μετρούμενες σύνθετες αντιστάσεις από το σημείο εγκατάστασης των Μ/Σ τάσης και έντασης μέχρι και το σφάλμα. Έχοντας διαθέσιμες αυτές τις τιμές και θεωρώντας ότι η γραμμή είναι ομοιόμορφη όσον αφορά την σύνθετη αντίσταση που παρουσιάζει ανά κάποιο προκαθορισμένο μήκος της, μπορεί να εκτιμηθεί το σημείο του σφάλματος.

Η μέθοδος εντοπισμού του σημείου σφάλματος μέσω της σύνθετης αντίστασης υπόκειται σε διάφορα σφάλματα, όπως είναι το σφάλμα αυτού καθαυτού του υπολογισμού της σύνθετης αντίστασης της γραμμής μεταφοράς και τα σφάλματα των Μ/Σ τάσης και έντασης. Ακόμη, η μέθοδος αυτή επηρεάζεται αρνητικά από τη ροή φορτίου και τις διαφορές των φάσεων των ρευμάτων που ρέουν προς το σφάλμα. Για να αντιμετωπιστεί το τελευταίο πρόβλημα, έχουν αναπτυχθεί ειδικοί αλγόριθμοι που μπορούν να λάβουν υπόψη τους αυτές τις πληροφορίες και συνεπώς να βελτιωθεί η ακρίβεια του υπολογισμού. Κάτι τέτοιο βέβαια προϋποθέτει ότι οι εν λόγω πληροφορίες θα πρέπει να παρέχονται στους Η/Ν ως επιπλέον είσοδοι.

Οι περισσότεροι σύγχρονοι ψηφιακοί αριθμητικοί Η/Ν διαθέτουν την ικανότητα υπολογισμού και προβολής της απόστασης του Η/Ν από το σφάλμα. Η χρησιμότητα αυτού του χαρακτηριστικού βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο είδος του Σ.Η.Ε. στο οποίο εφαρμόζεται. Όταν έχουμε να κάνουμε με ένα δίκτυο διανομής, η πληροφορία της αποστάσεως από το σφάλμα έχει μειωμένη αξία, διότι η σύνθετη αντίσταση των γραμμών διανομής δεν είναι αρκετά ομοιόμορφη και συνήθως τέτοιου είδους δίκτυα έχουν τη τάση να εκτείνονται προς διάφορες κατευθύνσεις

μέσω των πολλαπλών διακλαδώσεών του. Συνεπώς, ο υπολογισμός της απόστασης από το σφάλμα για τα δίκτυα διανομής βοηθά περισσότερο στο να περιοριστούν τα πιθανά σημεία του σφάλματος παρά στον ακριβή προσδιορισμό της θέσης του. Από την άλλη μεριά, η χρησιμότητα του υπολογισμού της απόστασης από το σφάλμα σε γραμμές μεταφοράς είναι αρκετά σημαντική λόγω της ομοιομορφίας που αυτές παρουσιάζουν και των λίγων διακλαδώσεών τους (αν υπάρχουν).

Η εμπειρία έχει δείξει ότι η γνώση της απόστασης από το σφάλμα είναι ένα από τα βασικότερα εργαλεία όσον αφορά την προσπάθεια μείωσης του χρόνου μη τροφοδότησης των φορτίων ενός δικτύου. Η πληροφορία αυτή, όμως, θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή λόγω των σφαλμάτων που υπεισέρχονται. Πέραν των σφαλμάτων που ειπώθηκαν σημαντικό σφάλμα υπεισέρχεται στον υπολογισμό και από τυχόν λανθασμένη αναγνώριση του τύπου του σφάλματος, π.χ. στην περίπτωση εμφάνισης κάποιου εξελισσόμενου σφάλματος. Ακόμη, τα σύντομης διάρκειας σφάλματα μπορούν επίσης να εισάγουν αρκετό σφάλμα στην μέτρηση. Όταν, λοιπόν, υπάρχουν αμφιβολίες για την ακρίβεια της μέτρησης της απόστασης του σφάλματος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα εργαλεία ανάλυσης ώστε να επιβεβαιωθεί ή να απορριφθεί η μέτρηση με το ανάλογο κόστος, φυσικά, στον χρόνο εύρεσης του σημείου σφάλματος και τελικώς της αποκατάστασης της τροφοδότησης.

### 1.12.6 Αυτοματισμοί Σ.Η.Ε.

Όταν αναφερόμαστε στους αυτοματισμούς των Σ.Η.Ε. εννοούμε όλες εκείνες τις έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές που μας επιτρέπουν να καταστήσουμε τον έλεγχο λειτουργίας τους αυτοματοποιημένο. Οι συσκευές προστασίας αποτελούν ένα μέρος αυτών των αυτοματισμών.

Η σημασία των αυτοματισμών ενός Σ.Η.Ε. βρίσκεται στην ικανότητά τους να μπορούν να επεξεργάζονται τεράστιες ποσότητες δεδομένων και ταυτόχρονα να λαμβάνουν γρήγορες αποφάσεις. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μείωση του χρόνου μη τροφοδότησης των φορτίων όπως και σημαντικότερα οικονομικά οφέλη.

Κατά τα πρώτα χρόνια των Σ.Η.Ε., ο έλεγχος λειτουργίας τους επιτυγχανόταν χειροκίνητα μέσω συσκευών μεταγωγής και ελέγχου. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ανάγκη ύπαρξης προσωπικού στους υποσταθμούς του δικτύου επί 24ώρου βάσεως ώστε να εκτελούνται οι απαραίτητοι χειρισμοί αλλά και να καταγράφονται και να αρχειοθετούνται οι ενδείξεις των διαφόρων μετρητών τους. Η εξέλιξη στα συστήματα επικοινωνίας και τις ηλεκτρονικές συσκευές ελέγχου οδήγησε στην ανάπτυξη των συστημάτων εποπτείας, ελέγχου και συλλογής δεδομένων (Supervisory Control And Data Acquisition – SCADAs), τα οποία έδωσαν τη δυνατότητα στους διαχειριστές των Σ.Η.Ε. να συλλέγουν αυτόματα τα δεδομένα και τις μετρήσεις από τους υποσταθμούς μέσω καναλιών επικοινωνίας και να μπορούν να χειριστούν τις συσκευές των υποσταθμών απομακρυσμένα. Η ανάπτυξη των έξυπνων ψηφιακών συσκευών τα τελευταία χρόνια κατέστησε δυνατή την αυτοματοποίηση των περισσότερων εκ των αποφάσεων χειρισμών και ελέγχου του δικτύου που γινόταν μέχρι τότε αποκλειστικά από τους διαχειριστές.

Ο αυτοματισμός των Σ.Η.Ε. απαιτεί την διασύνδεση όλων των έξυπνων συσκευών ελέγχου, συσκευών συλλογής δεδομένων και ψηφιακών υπολογιστών που έχουν προγραμματιστεί να επεξεργάζονται τα δεδομένα και να δίνουν εντολές ελέγχου. Η διασύνδεση αυτή προϋποθέτει την ύπαρξη συστημάτων επικοινωνιών. Στο επίπεδο των υποσταθμών, ένας επεξεργαστής επικοινωνιών χρησιμοποιείται ως κόμβος πάνω στον οποίο συνδέονται ταυτόχρονα πολλές επικοινωνιακές συνδέσεις. Ο ίδιος επεξεργαστής συλλέγει τα δεδομένα και ελέγχει τις υπόλοιπες έξυπνες συσκευές του υποσταθμού. Ως εκ τούτου, οι ψηφιακοί Η/Ν είναι και αυτοί συνδεδεμένοι με αυτόν τον επεξεργαστή, πράγμα το οποίο μας δίνει τη δυνατότητα να προβάλλουμε και να αλλάξουμε τις ρυθμίσεις τους απομακρυσμένα.

Υπάρχουν διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται από τα συστήματα επικοινωνίας των αυτοματισμών των Σ.Η.Ε. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας είναι ένα σύνολο συμβάσεων για την μορφή και γενικώς τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ δύο επικοινωνιακών τερματικών. Κοινά πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι τα εξής:

- ASCII: Είναι ένα απλό αλλά σχετικά αργό πρωτόκολλο που μετατρέπει εύκολα τα μηνύματα σε χαρακτήρες και αριθμούς ώστε να μπορούν να διαβαστούν.
- MODBUS: Είναι ένα εμπορικό σύστημα το οποίο μιμείται την μεταφορά δεδομένων των καταχωρητών των προγραμματιζόμενων λογικών ελεγκτών.
- MODBUS PLUS: Είναι ένα εμπορικό δίκτυο μεσαίας ταχύτητας και αποτελεί ουσιαστικά επέκταση του πρωτόκολλου MODBUS.
- UCA/MMS: Είναι ένα ομοιόμορφο πρωτόκολλο που έχει ως στόχο να διευκολύνει την επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων συσκευών ανεξαρτήτως κατασκευαστή.

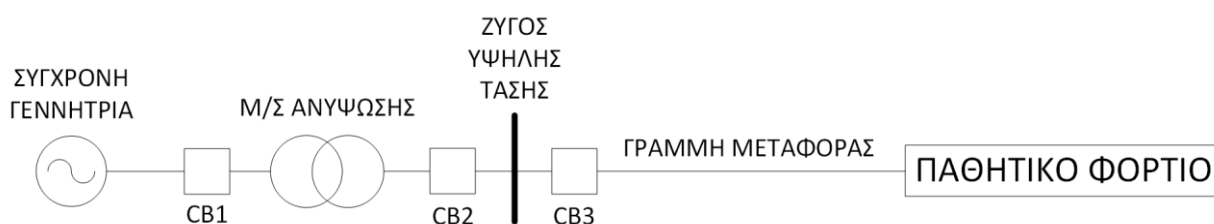
Πέραν των πρωτοκόλλων επικοινωνίας, υπάρχουν και διαφορετικές διατάξεις συστημάτων επικοινωνίας. Μπορούν να υπάρξουν δίκτυα επικοινωνιών με ευθεία ή multidrop σύνδεση. Στην ευθεία σύνδεση, δύο συσκευές συνδέονται απευθείας η μία με την άλλη μέσω ενός μεταλλικού ή ασύρματου μέσου επικοινωνίας ή και μέσω καλωδίων οπτικών ινών. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται συνεχής έλεγχος της σύνδεσης και κάθε συσκευή είναι ενήμερη για την παρουσία της άλλης. Ένα σύστημα που δημιουργείται χρησιμοποιώντας πολλές ευθείες συνδέσεις από μία συσκευή σε πολλές άλλες ονομάζεται τύπου αστέρα και επιτρέπει την ταυτόχρονη επικοινωνία των συσκευών με πολλές άλλες ταυτόχρονα. Οι Η/Ν προστασίας συνδέονται συνήθως σε έναν επεξεργαστή επικοινωνιών σε διάταξη αστέρα. Τα δίκτυα αστέρα χρησιμοποιούνται επίσης στα περισσότερα συστήματα Ethernet μαζί με έναν δρομολογητή (router), κόμβο (hub) ή διακόπτη (switch) ως κέντρο του δικτύου. Εναλλακτικά, πολλές έξυπνες συσκευές μπορούν να συνδεθούν σε διάταξη δαχτυλιδιού (ring) ή διαύλου (bus) ώστε να δημιουργήσουν ένα multidrop δίκτυο. Σε αυτό το δίκτυο μόνο μία συσκευή επιτρέπεται να «μιλά» κάθε στιγμή, όλες οι υπόλοιπες συσκευές πρέπει να «μιλούν» την ίδια γλώσσα, να χρησιμοποιούν τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (baud rate) και να μοιράζονται την ίδια φυσική σύνδεση. Σε αυτά τα δίκτυα υπάρχει και η δυνατότητα μετάδοσης ενός μηνύματος από έναν πομπό σε πολλούς δέκτες ταυτόχρονα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ & ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ

### 2.1 Γενική παρουσίαση του εργαστηριακού συστήματος προστασίας

Το εργαστηριακό σύστημα προστασίας που είναι εγκατεστημένο στο Εργαστήριο Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε αποκλειστικά για εκπαιδευτικούς σκοπούς από την εταιρεία [PROT.A.S.I.S SA](#). Το εν λόγω σύστημα θεωρήθηκε ότι επρόκειτο να προστατεύσει ένα εικονικό Σ.Η.Ε. αποτελούμενο από μία γεννήτρια, έναν μετασχηματιστή (Μ/Σ) ανύψωσης, έναν ζυγό υψηλής τάσης και μία γραμμή μεταφοράς, το οποίο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα μαζί με τις θέσεις των εικονικά εγκατεστημένων διακοπών ισχύος (Δ/Ι) του.

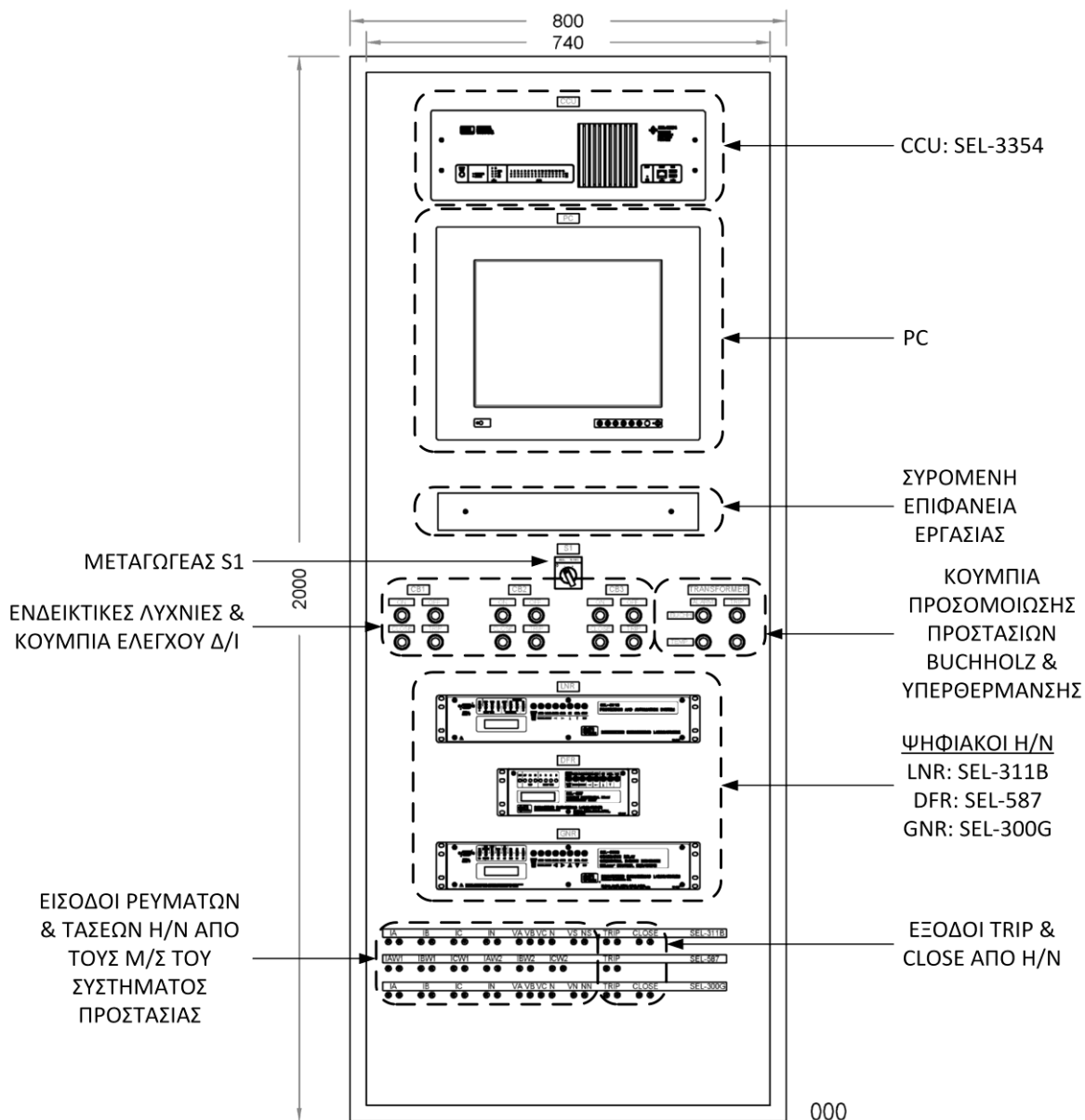


Εικόνα 2.1: Το Σ.Η.Ε. που καλείται να προστατεύσει το εργαστηριακό σύστημα προστασίας

Για να καταστεί δυνατή η προστασία του παραπάνω δικτύου, το εργαστηριακό σύστημα προστασίας εφοδιάστηκε με τρεις ψηφιακούς ηλεκτρονόμους (H/N) της εταιρείας [Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.](#), καθένας από τους οποίους είναι επιφορτισμένος ώστε να παρέχει προστασία σε κάποιο από τα δομικά στοιχεία του επιτηρούμενου δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, ο H/N [SEL-300G](#) αναλαμβάνει να προστατεύσει τη γεννήτρια του συστήματος, ο H/N [SEL-587](#) προστατεύει τον Μ/Σ ανύψωσης της γεννήτριας, ενώ ο H/N [SEL-311B](#) αναλαμβάνει την προστασία της γραμμής μεταφοράς του δικτύου. Κάθε H/N από αυτούς λαμβάνει τα απαραίτητα για την λειτουργία του σήματα εισόδου (τάσεις ή/και ρεύματα) από το δίκτυο, σε τιμές δευτερεύοντος των Μ/Σ υποβιβασμού που θεωρούνται ότι παρεμβάλλονται μεταξύ του δικτύου και των H/N, μέσω κατάλληλων ακροδεκτών εισόδου. Ακόμη, οι H/N αυτοί έχουν σχεδιαστεί ώστε να παράγουν και μερικά σήματα εξόδου (σήματα TRIP και CLOSE – δηλαδή σήματα που υποδηλώνουν ότι άνοιξε ή έκλεισε κάποιος Δ/Ι του δικτύου λόγω λειτουργίας κάποιας προστασίας του αντίστοιχου H/N) και τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν κατά το δοκούν.

Οι ψηφιακοί H/N συνδέονται σειριακά με την υπολογιστική πλατφόρμα [SEL-3354](#) στην οποία στέλνουν τα δεδομένα τους (εισόδους, εξόδους, καταστάσεις Δ/Ι και γενικώς ό,τι άλλο έχουν την ικανότητα να επιτηρούν) μαζί με το χρόνο καταγραφής τους και εκείνη τα κρατάει σε μία πεπερασμένου μεγέθους προσωρινή μνήμη (buffer) έως ότου καταφέρει να τα στείλει στην δεύτερη υπολογιστική μονάδα PC του συστήματος μέσω της υφιστάμενης τοπικής σύνδεσης και των ανάλογων πρωτοκόλλων επικοινωνίας.

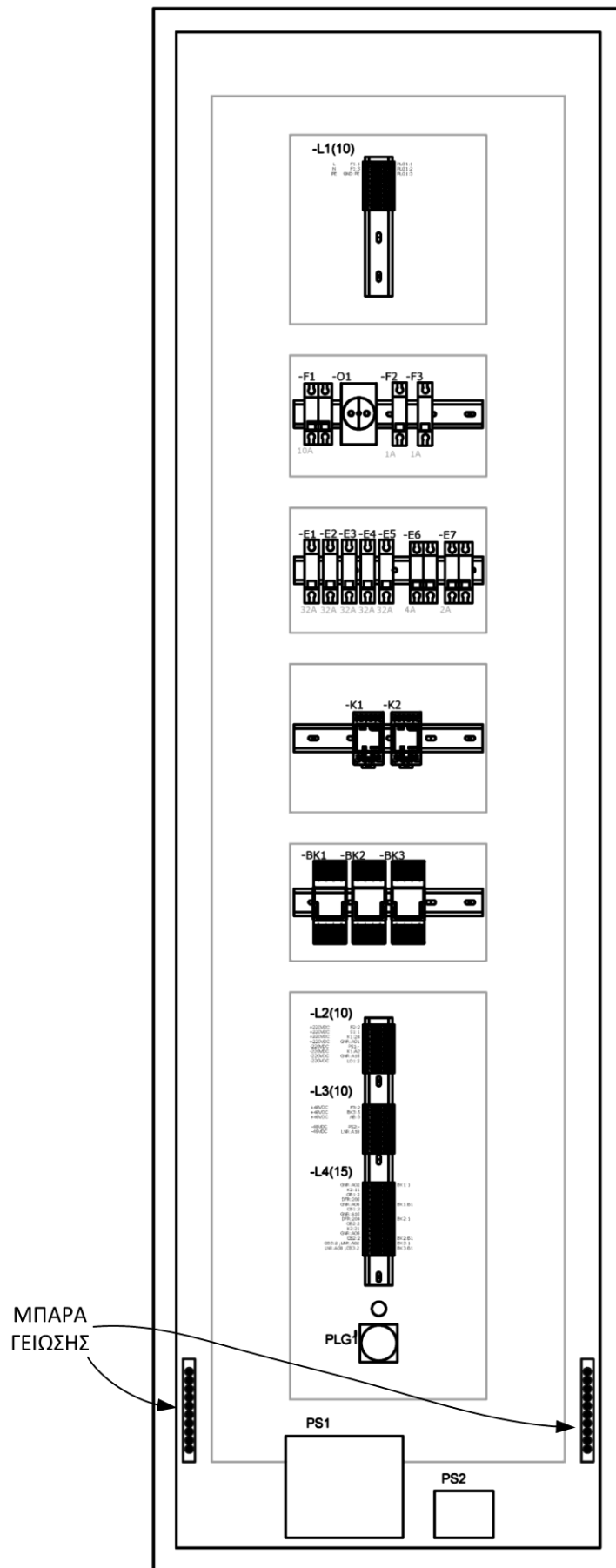
Η μονάδα PC έχει ως στόχο να παραλαμβάνει τα δεδομένα από την συσκευή SEL-3354 και να τα αξιοποιεί για την λειτουργία του εγκατεστημένου σε αυτήν προγράμματος εποπτείας, ελέγχου και συλλογής πληροφοριών (Supervisory Control And Data Acquisition - SCADA), το οποίο απεικονίζει σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση του επιτηρούμενου δικτύου και του συστήματος προστασίας ώστε να διευκολύνει την εποπτεία και διαχείρισή τους. Η πρόοψη του εργαστηριακού συστήματος προστασίας φαίνεται στην Εικόνα 2.2.



Εικόνα 2.2: Πρόοψη του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [11]

Πέραν των προαναφερθέντων συσκευών, στην πρόοψη του συστήματος υπάρχουν και διάφορες ενδεικτικές λυχνίες και κουμπιά. Οι κόκκινες λυχνίες ανάβουν όταν ο αντίστοιχος Δ/Ι είναι κλειστός, ενώ οι πράσινες λυχνίες είναι αναμμένες όταν ο αντίστοιχος Δ/Ι είναι ανοικτός. Τα κουμπιά που υπάρχουν κάτω από τις ενδεικτικές λυχνίες μπορούν να δώσουν εντολή για άνοιγμα (πράσινα κουμπιά) ή κλείσιμο (κόκκινα κουμπιά) κάποιου εκ των Δ/Ι του δικτύου μόνον όταν ο μεταγωγέας S1 βρίσκεται στη θέση LOCAL, δηλαδή εφόσον έχει επιτραπεί ο τοπικός χειρισμός των Δ/Ι και παράλληλα απαγορευτεί οποιοσδήποτε απομακρυσμένος χειρισμός. Ο τελευταίος έλεγχος (interlocking) είναι απαραίτητος ώστε να αποφευχθούν καταστάσεις που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε κάποιο ατύχημα σε πραγματικές εφαρμογές. Τέλος, πέραν των κουμπιών χειρισμού των Δ/Ι, υπάρχουν και τέσσερα επιπλέον κουμπιά που προσομοιώνουν τις λειτουργίες σήμανσης συναγερμού και λειτουργίας των προστασιών Buchholz και υπερθέρμανσης, οι οποίες κατά κανόνα εφαρμόζονται στους Μ/Σ ισχύος των Σ.Η.Ε.

Στην Εικόνα 2.3 παρατίθεται η εσωτερική αριστερή πλάγια όψη του εργαστηριακού συστήματος προστασίας. Ακολούθως, ο Πίνακας 2.1 αναλύει συνοπτικά τα στοιχεία που είναι εγκατεστημένα στην εν λόγω πλευρά του συστήματος.



Εικόνα 2.3: Εσωτερική αριστερή πλάγια όψη του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [11]

Στοιχείο	Περιγραφή
BK1-3	H/N γενικού σκοπού που χρησιμοποιούνται για να προσομοιάσουμε την άνοιγμα ή κλείσιμο των Δ/Ι CB1-3 του δικτύου
E1-E5	Διπολικοί αποζεύκτες 32A για την τροφοδοσία των συσκευών PC και SEL-3354 καθώς και των ψηφιακών H/N του συστήματος
E6-7	Διπολικές ασφαλειοθήκες εφοδιασμένες με ασφάλειες κυλινδρικού σχήματος, τύπου NFC και ονομαστικού ρεύματος 4A και 2A αντίστοιχα για την προστασία των ανορθωτών του συστήματος στην πλευρά AC
F1	Γενικός διπολικός μικροαυτόματος διακόπτης 10A που τροφοδοτεί και προστατεύει όλο το σύστημα προστασίας
F2	Μονοπολικός μικροαυτόματος διακόπτης 3A για την προστασία του ανορθωτή των 220V <sub>dc</sub> στην πλευρά DC
F3	Μονοπολικός μικροαυτόματος διακόπτης 1A για την τροφοδοσία και την προστασία του ανορθωτή των 48V <sub>dc</sub> στην πλευρά DC
K1-2	H/N γενικού σκοπού εκ των οποίων ο K1 χρησιμοποιείται για την μεταφορά του σήματος κατάστασης του μεταγωγέα S1, ενώ ο K2 για την μεταφορά των σημάτων συναγερμού και λειτουργίας των προστασιών Buchholz και υπερθέρμανσης
L1, L2, L3	Κλεμοσειρές (terminal blocks/strips) με 10 επαφές εκ των οποίων η L1 χρησιμοποιείται για τη σύνδεση της εξωτερικής τροφοδοσίας με το σύστημα και για την τροφοδοσία των ενδεικτικών λυχνιών, η L2 για τη διανομή της τάσεως των 220V <sub>dc</sub> και η L3 για τη διανομή της τάσεως των 48V <sub>dc</sub>
L4	Κλεμοσειρές (terminal blocks/strips) με 20 επαφές για την υλοποίηση των συνδέσεων που είναι απαραίτητες για να επιτευχθεί το άνοιγμα ή κλείσιμο οποιουδήποτε εκ των Δ/Ι του δικτύου
PLG1	Καλώδιο εξωτερικής τροφοδοσίας συστήματος
PS1	Ανορθωτής 220V <sub>ac</sub> /220V <sub>dc</sub> για την τροφοδοσία των επαφών εισόδων και εξόδων των H/N SEL-300G και SEL-587
PS2	Ανορθωτής 220V <sub>ac</sub> /48V <sub>dc</sub> για την τροφοδοσία των επαφών εισόδων και εξόδων του H/N SEL-311B
Q1	Εσωτερική εφεδρική πρίζα συστήματος

Πίνακας 2.1: Περιγραφή εσωτερικά εγκατεστημένων στοιχείων του εργαστηριακού συστήματος προστασίας

## 2.2 Εκκίνηση & τερματισμός του εργαστηριακού συστήματος προστασίας

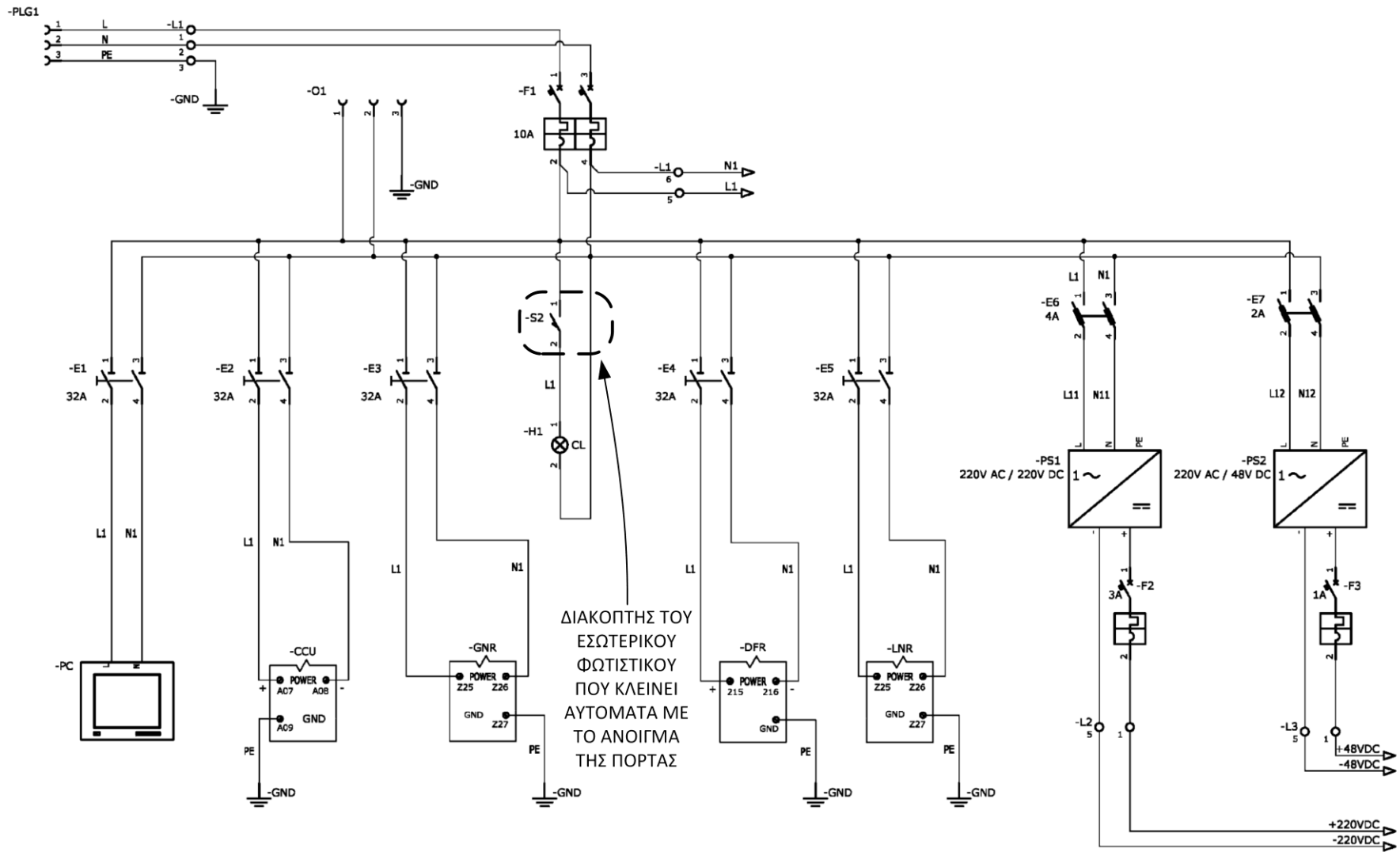
Η διαδικασία εκκίνησης και τερματισμού του εργαστηριακού συστήματος προστασίας είναι τυποποιημένη και διευκολύνεται σημαντικά όταν ο χρήστης έχει μπροστά του και το διάγραμμα τροφοδοσιών των συσκευών που παρατίθεται στην Εικόνα 2.4 και μπορεί να βρεθεί στη θήκη της οπίσθιας θύρας του εργαστηριακού συστήματος προστασίας μαζί με τα υπόλοιπα κατασκευαστικά και λειτουργικά διαγράμμάτα του.

Για να εκκινήσετε το σύστημα προστασίας ακολουθήστε την εξής διαδικασία:

1. Συνδέστε την πρίζα PLG1 στην εξωτερική τροφοδοσία.
2. Κλείστε τις ασφαλειοθήκες E6 και E7.
3. Κλείστε τον γενικό μικροαυτόματο διακόπτη F1.
4. Κλείστε τους μικροαυτόματους διακόπτες των ανορθωτών του συστήματος F2 και F3.
5. Κλείστε τους αποζεύκτες τροφοδοσίας E3, E4 και E5 των ψηφιακών H/N SEL-300G, SEL-587 και SEL-311B αντίστοιχα.
6. Κλείστε τον αποζεύκτη τροφοδοσίας E2 της συσκευής SEL-3354.
7. Κλείστε τον αποζεύκτη τροφοδοσίας E1 της συσκευής PC.

Για τον τερματισμό του συστήματος προστασίας ακολουθήστε την εξής διαδικασία:

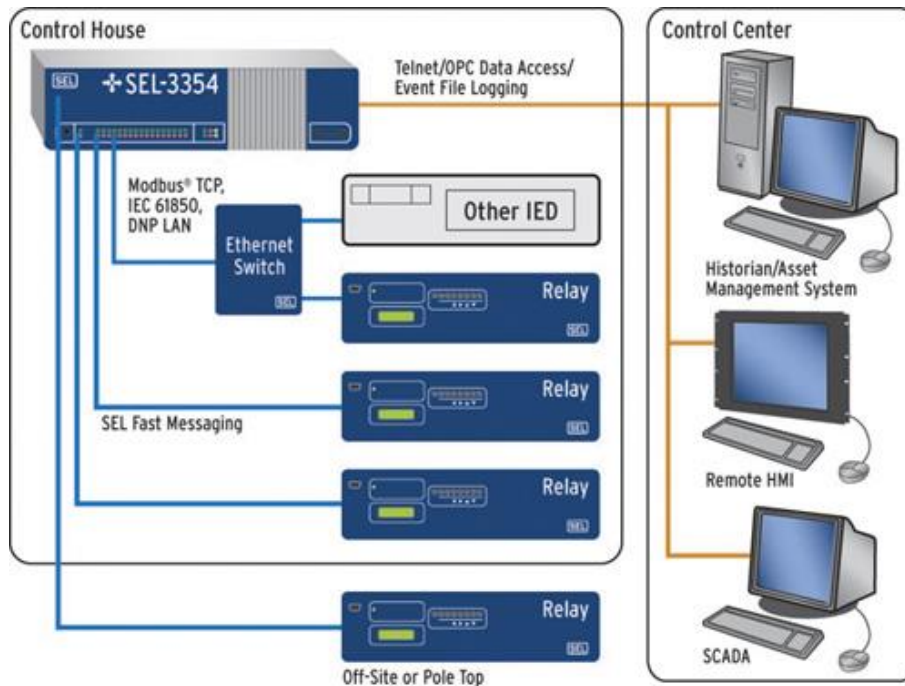
1. Τερματίστε τα Windows της συσκευής SEL-3354, συνδεδεμένοι απομακρυσμένα στην επιφάνεια εργασίας της μέσω του προγράμματος RealVNC (βλ. 2.4.3 υποενότητα).
2. Τερματίστε τα Windows της συσκευής PC.
3. Αναμείνατε μέχρι το led HDD της συσκευής SEL-3354 να σταματήσει να αναβοσβήνει ώστε να εξαλειφθεί οποιαδήποτε πιθανότητα πρόκλησης βλάβης στον σκληρό δίσκο κατά τη διακοπή της τροφοδότησής της.
4. Ανοίξτε τον αποζεύκτη τροφοδοσίας E1 της συσκευής PC.
5. Ανοίξτε τον αποζεύκτη τροφοδοσίας E2 της συσκευής SEL-3354.
6. Ανοίξτε τους αποζεύκτες τροφοδοσίας E3, E4 και E5 των ψηφιακών H/N SEL-300G, SEL-587 και SEL-311B αντίστοιχα.
7. Ανοίξτε τους μικροαυτόματους διακόπτες των ανορθωτών του συστήματος F2 και F3.
8. Ανοίξτε τον μικροαυτόματο γενικό διακόπτη F1.
9. Ανοίξτε τις ασφαλειοθήκες E6 και E7.
10. Αποσυνδέστε την πρίζα PLG1 από την εξωτερική τροφοδοσία.



Εικόνα 2.4: Διάγραμμα τροφοδοσιών του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [11]

## 2.3 Περιγραφή συσκευής SEL-3354

Η συσκευή SEL-3354 έχει ως στόχο να λαμβάνει τα διαθέσιμα δεδομένα από τους ψηφιακούς H/N του εργαστηριακού συστήματος προστασίας και να τα αποστέλλει εν συνεχεία στη συσκευή PC ώστε να αξιοποιηθούν από το πρόγραμμα SCADA. Για το σκοπό αυτό η συσκευή SEL-3354 έχει ρυθμιστεί να λειτουργεί ως master με slaves τους H/N του εργαστηριακού συστήματος. Ένα τυπικό σύστημα προστασίας που κάνει χρήση της συσκευής SEL-3354 φαίνεται στην Εικόνα 2.5.



Εικόνα 2.5: Τυπική εφαρμογή συσκευής SEL-3354 σε συστήματα προστασίας [12]

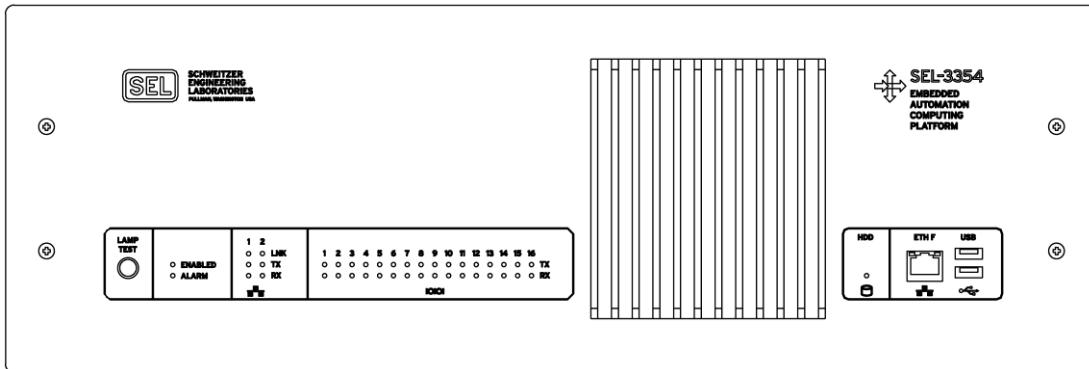
Η συσκευή SEL-3354 είναι μία ενσωματωμένη υπολογιστική πλατφόρμα ειδικά σχεδιασμένη και κατασκευασμένη ώστε να λειτουργεί μακροχρόνια σε σκληρά περιβάλλοντα όπως είναι αυτά των υποσταθμών των Σ.Η.Ε., των βιομηχανικών εγκαταστάσεων κ.α. Μερικά από τα βασικότερα χαρακτηριστικά και δυνατότητες της εν λόγω εργαστηριακής συσκευής είναι τα εξής:

- ✓ Δεν διαθέτει κανένα κινούμενο μέρος, όπως συμβατικούς περιστρεφόμενους σκληρούς δίσκους και ανεμιστήρες ψύξεως. Η αποθηκευτική ικανότητα της συσκευής εξασφαλίζεται με την χρήση μνημών CompactFlash® (CF) ή δίσκων στερεάς κατάστασης (solid-state drives – SSDs) των 60 ή 120GB.
- ✓ Διαθέτει μνήμη RAM με ειδικό κώδικα διόρθωσης (Error Correcting Code Memory – ECC Memory) έναντι εμφάνισης μεμονωμένων αναστροφών bits στα εκάστοτε δεδομένα των μνημών RAM, τα οποία οφείλονται στην επίδραση της κοσμικής ακτινοβολίας. [13]
- ✓ Διαθέτει προεγκατεστημένο και καταλλήλως ρυθμισμένο λειτουργικό σύστημα τα Windows XP Professional.
- ✓ Η ειδική διάταξη προγραμματιζόμενων πυλών (Field Programmable Gate Array – FPGA) που διαθέτει, επιτρέπει την ύπαρξη λειτουργίας επαγρύπνησης (watchdog functionality) ώστε να γίνεται αυτομάτως επανεκκίνηση της συσκευής σε περίπτωση εμφάνισης προβλήματος στο λειτουργικό σύστημα ή σε συγκεκριμένες σημαντικές υπηρεσίες ή εφαρμογές που εκτελούνται σε αυτό.
- ✓ Δυνατότητα ενημέρωσης του ρολογιού του υπολογιστικού συστήματος από την υπηρεσία SEL SysMon μέσω αποκωδικοποίησης σήματος τύπου IRIG-B, το οποίο θα πρέπει να

παρέχεται από μία κατάλληλη εξωτερική πηγή. Η αποκωδικοποίηση αυτή γίνεται μέσω του εγκατεστημένου FPGA.

- ✓ Η συσκευή μπορεί να δημιουργήσει η ίδια σήμα τύπου IRIG-B μέσω του FPGA της όταν δεν την έχει δοθεί άλλη πηγή σήματος IRIG-B και να το διαβιβάσει ώστε να συγχρονίσει τα ρολόγια όλων των άλλων συσκευών που συνδέονται με αυτή μέσω των θυρών COM στην οπίσθια όψη της. Η διαβίβαση του σήματος IRIG-B γίνεται μέσω των ακροδεκτών 4 και 6 των καλωδίων EIA-232 που χρησιμοποιούνται.

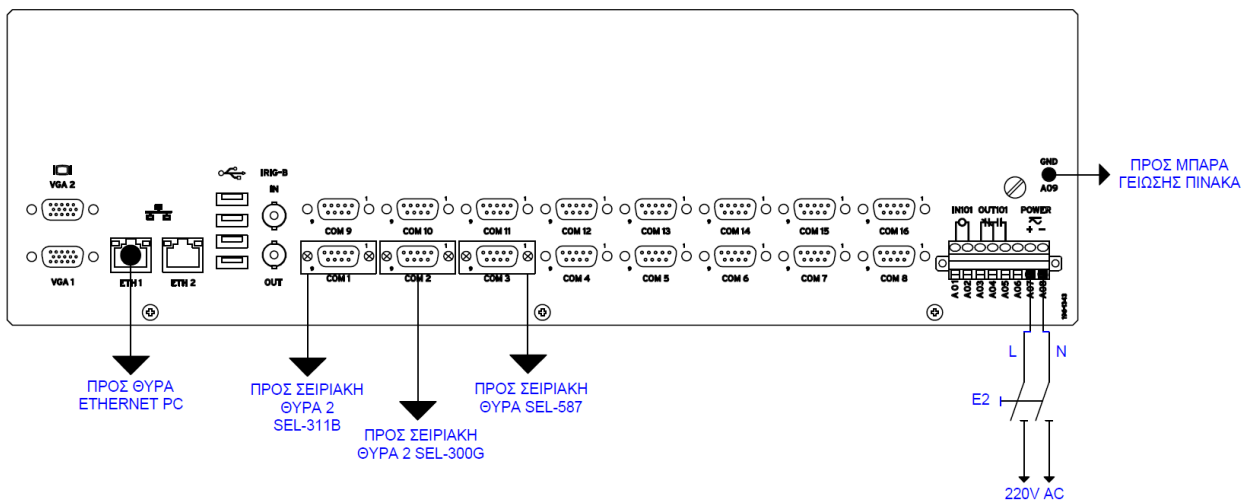
Στην Εικόνα 2.6 φαίνεται η πρόοψη της συσκευής SEL-3354.



Εικόνα 2.6: Πρόοψη συσκευής SEL-3354 [14]

Το κουμπί LAMP TEST χρησιμοποιείται για να ελέγξουμε αν τα ενδεικτικά leds της συσκευής λειτουργούν σωστά. Το ενδεικτικό led ENABLED δείχνει ότι η μονάδα βρίσκεται σε λειτουργία, ενώ το ALARM ανάβει όταν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο BIOS της συσκευής ή στο υλικό, λογισμικό ή/και λειτουργικό της σύστημα. Τα leds LNK υποδεικνύουν αν έχει συνδεθεί κάποιο καλώδιο Ethernet στις θύρες ETH 1 και ETH 2 που υπάρχουν στην οπίσθια όψη του. Τα TX leds ανάβουν όταν υπάρχει μετάδοση δεδομένων από τη συσκευή, ενώ τα RX leds δείχνουν αν υπάρχει λήψη δεδομένων μέσω της σύνδεσης Ethernet. Τα leds των θυρών COMs έχουν παρόμοια σημασιολογία με αυτά που περιγράψαμε για τις θύρες Ethernet. Το led HDD ανάβει όταν λειτουργεί ο σκληρός δίσκος της συσκευής. Τέλος, η θύρα Ethernet ETH F καθώς και οι δύο θύρες USB που υπάρχουν στην πρόοψη της συσκευής παρέχουν ευκολότερη πρόσβαση.

Στην Εικόνα 2.7 φαίνεται η οπίσθια όψη της συσκευής SEL-3354 μαζί με τις συνδέσεις που έχουν γίνει στο εργαστηριακό σύστημα.



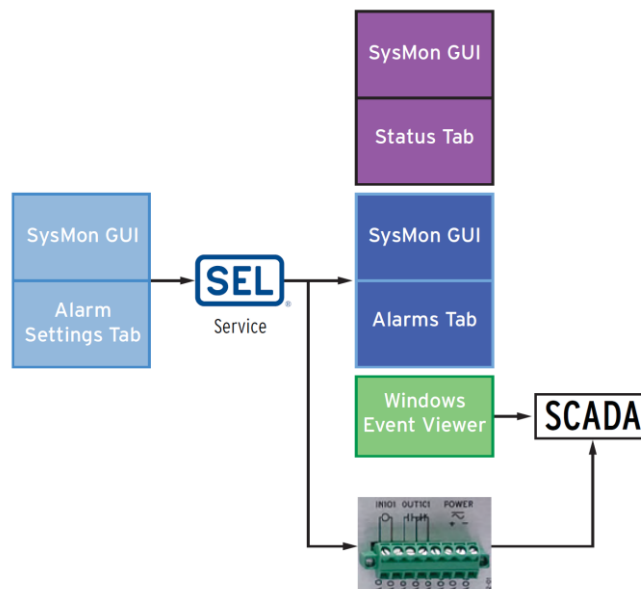
Εικόνα 2.7: Οπίσθια όψη συσκευής SEL-3354 [15]



Όπως διαπιστώνετε, οι ψηφιακοί Η/Ν συνδέονται και επικοινωνούν με την συσκευή SEL-3354 μέσω των σειριακών συνδέσεων από τις θύρες COM που διαθέτει. Για την μεταφορά των δεδομένων από την συσκευή SEL-3354 προς το PC αλλά και για να μπορούμε να αποκτήσουμε πρόσβαση στην επιφάνεια εργασίας του λειτουργικού συστήματος, χρησιμοποιείται η τοπική σύνδεση Ethernet από τη θύρα ETH 1. Οι ακροδέκτες A07 και A08 της συσκευής αποτελούν την τροφοδοσία της συσκευής, ενώ οι υπόλοιποι είναι ακροδέκτες σημάτων (alarms) που αξιοποιούνται σε συνδυασμό με την υπηρεσία SEL SysMon, η οποία είναι εγκατεστημένη στη συσκευή. Οι ακροδέκτες σημάτων IRIG-B χρησιμοποιούνται σε άλλες εφαρμογές για το συγχρονισμό των ρολογιών. Επίσης, το σύστημα διαθέτει δύο διαθέσιμες θύρες VGA για σύνδεση οθονών καθώς και τέσσερις θύρες USB.

### 2.3.1 Περιγραφή υπηρεσίας SEL Service & λογισμικού SEL SysMon GUI

Το γραφικό περιβάλλον (Graphical User Interface – GUI) του λογισμικού SEL SysMon εμφανίζεται αυτόματα στην περιοχή ειδοποιήσεων με τη σύνδεση του χρήστη στα Windows, ενώ η υπηρεσία SEL Service εκκινεί αυτόματα με το που ξεκινά να λειτουργεί η συσκευή. Το λογισμικό αυτό έχει ως στόχο να επιτηρεί την λειτουργία της συσκευής συνολικά ώστε σε περίπτωση εμφάνισης κάποιας βλάβης ή ανεπιθύμητης κατάστασης να αποστέλλεται σήμα ALARM μέσω των ακροδεκτών A01-06 που βρίσκονται στην οπίσθια όψη, να καταγράφεται το γεγονός στο αρχείο καταγραφής γεγονότων των Windows (βλ. Windows Event Viewer) και να ανάβει το ALARM led στην πρόοψη της συσκευής. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να αξιοποιηθούν εκ των υστέρων από το SCADA του συστήματος προστασίας αναλόγως των απαιτήσεων. Στην περίπτωση του εργαστηριακού συστήματος προστασίας δεν υπάρχει κάποια σχετική αξιοποίηση αυτών των πληροφοριών.

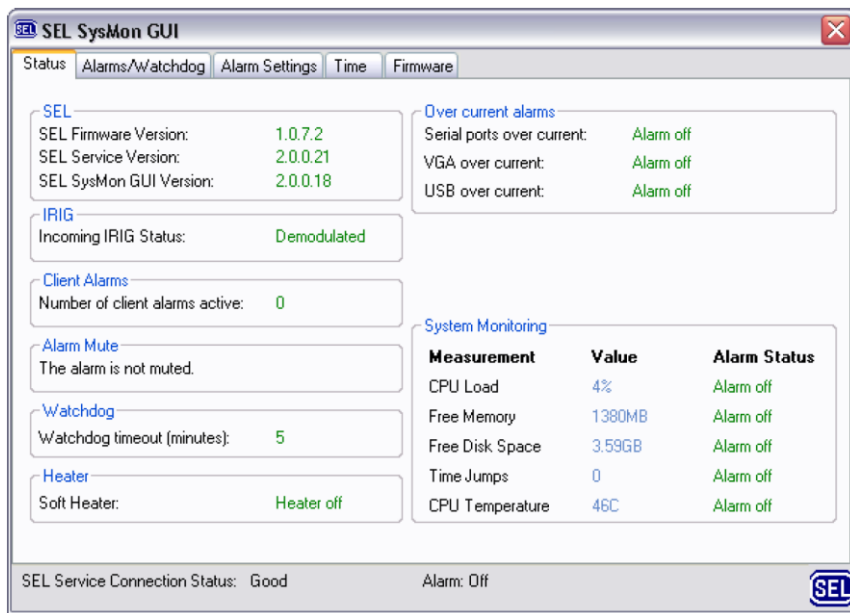


Εικόνα 2.8: Τρόπος λειτουργίας λογισμικού SEL SysMon με υπηρεσία SEL Service [16]

Για να εμφανιστεί το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού, κάντε διπλό κλικ στο εικονίδιο με το λογότυπο της SEL που εμφανίζεται στην περιοχή ειδοποιήσεων.

#### 2.3.1.1 Περιγραφή καρτέλας Status

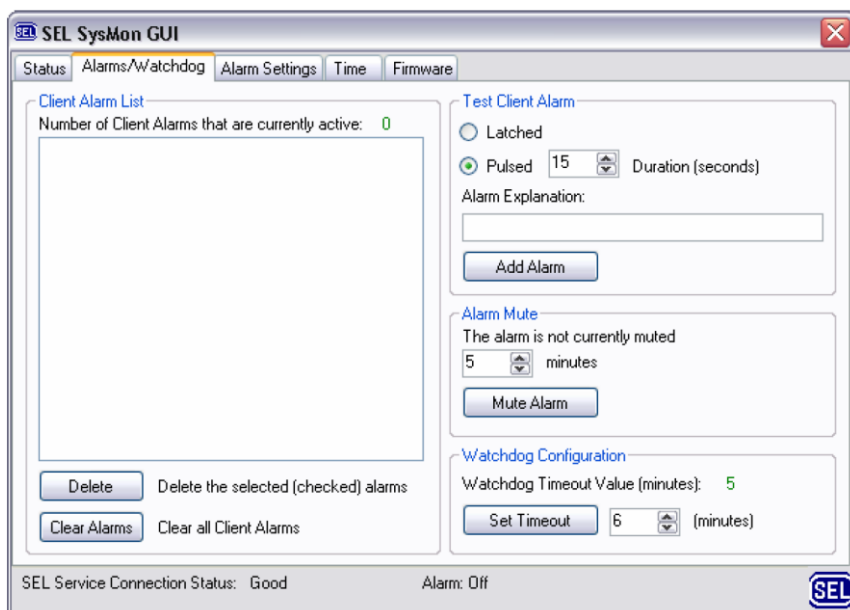
Η καρτέλα Status του γραφικού περιβάλλοντος του λογισμικού συνοψίζει τις βασικότερες πληροφορίες και ρυθμίσεις που αφορούν τις διάφορες λειτουργίες και δυνατότητές του.



Εικόνα 2.9: Καρτέλα Status του λογισμικού SEL SysMon GUI [16]

### 2.3.1.2 Περιγραφή καρτέλας Alarms/Watchdog

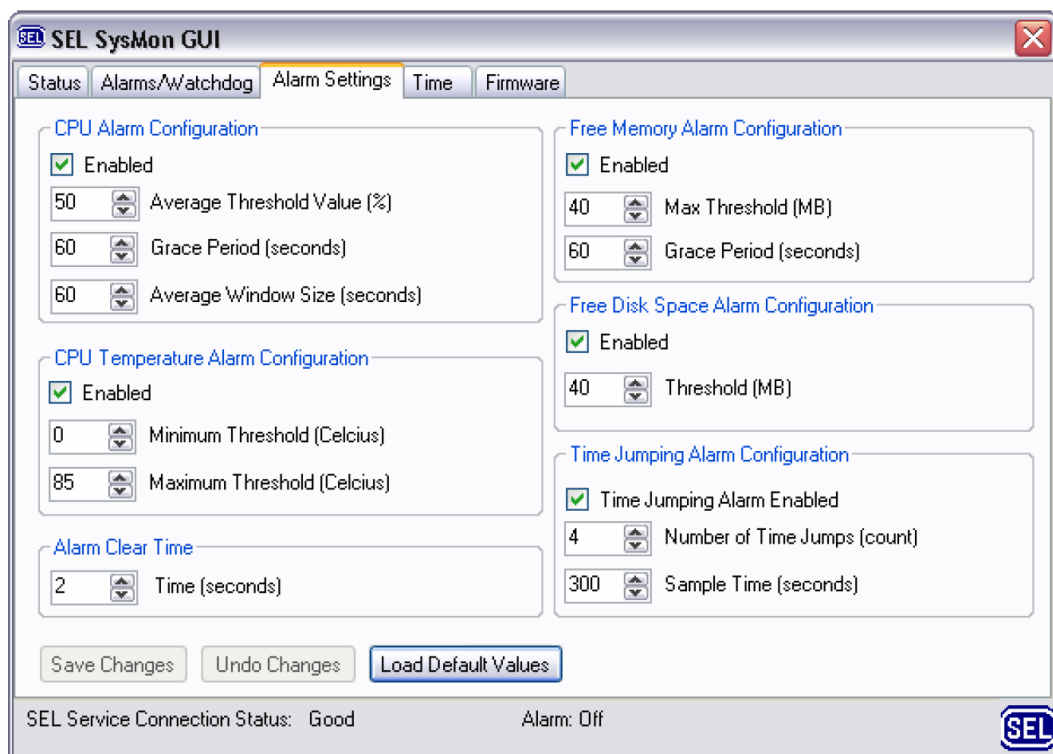
Η καρτέλα Alarms/Watchdog δίνει τη δυνατότητα να δημιουργήσετε δοκιμαστικούς συναγερμούς (alarms), να διαγράψετε υπάρχοντες ενεργούς συναγερμούς, να σιγήσετε όλους τους συναγερμούς για να ένα ορισμένο χρονικό διάστημα καθώς και να ορίσετε το χρονικό όριο επαγρύπνησης. Η υπηρεσία του λογισμικού SEL SysMon αρχικοποιεί το χρονικό που αφορά την επαγρύπνηση κάθε δευτερόλεπτο. Όταν η εν λόγω υπηρεσία αποτύχει να αρχικοποιήσει το χρονικό αυτό για πάνω από το ήμισυ του χρονικού ορίου επαγρύπνησης, η υπηρεσία καταγράφει ένα μήνυμα προειδοποίησης στο αρχείο καταγραφής γεγονότων των Windows και, αν αυτό συνεχιστεί μέχρι και το 75% του ορίου αυτού, καταγράφεται ένα μήνυμα σφάλματος ανά αποτυχία αρχικοποίησης. Τέλος, αν η υπηρεσία δεν καταφέρει να αρχικοποιήσει το χρονικό μέχρι τη λήξη του χρονικού ορίου επαγρύπνησης, το FPGA που υπάρχει στη συσκευή αναλαμβάνει να την επανεκκινήσει αυτόματα.



Εικόνα 2.10: Καρτέλα Alarms/Watchdog του λογισμικού SEL SysMon GUI [16]

### 2.3.1.3 Περιγραφή καρτέλας Alarm Settings

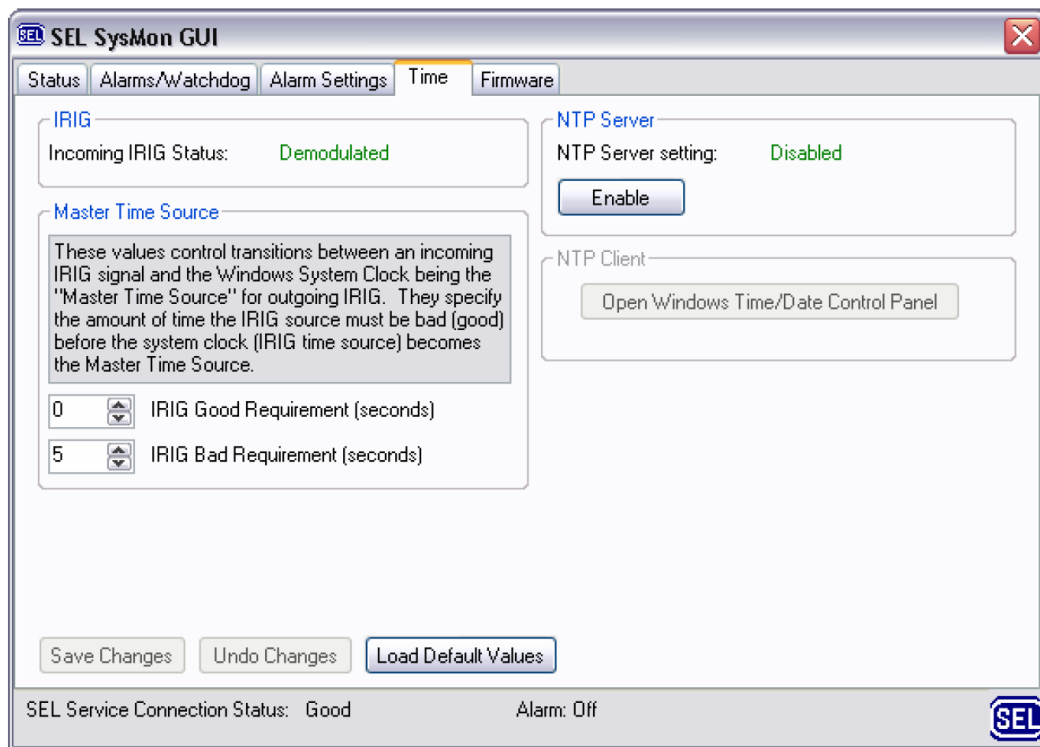
Από την καρτέλα Alarm Settings μπορείτε να ρυθμίσετε τους συναγερμούς που έχουν να κάνουν με το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό χρήσης της CPU, την μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία της CPU, την ελάχιστη επιτρεπόμενη διαθέσιμη μνήμη RAM, τον ελάχιστο επιτρεπόμενο διαθέσιμο αποθηκευτικό χώρο του σκληρού δίσκου και το μέγιστο επιτρεπόμενο χρόνο μεταξύ διαδοχικών αλλαγών του ρολογιού του συστήματος. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα να ορίσετε ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο οι συναγερμοί θα μένουν ενεργοί προτού επανέλθουν στην κατάσταση ηρεμίας, ώστε να αποφευχθούν εξαιρετικά βραχείς συναγερμοί.



Εικόνα 2.11: Καρτέλα Alarm Settings του λογισμικού SEL SysMon GUI [16]

### 2.3.1.4 Περιγραφή καρτέλας Time

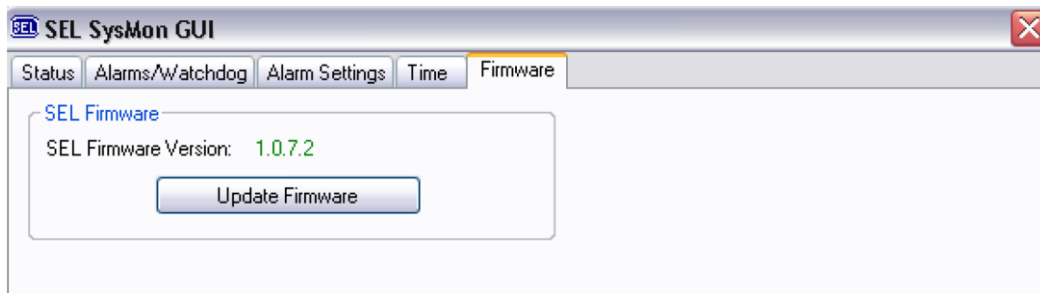
Από την καρτέλα Time μπορείτε να καθορίσετε με ποιο τρόπο η συσκευή SEL-3354 εκτελεί τον συγχρονισμό του ρολογιού της. Το «Incoming IRIG Status» εμφανίζει «Not present» όταν δεν υπάρχει συνδεδεμένο στον ακροδέκτη IRIG-B IN κάποιο ανάλογο σήμα, ενώ σε διαφορετική εμφανίζει «Modulated» ή «Demodulated» αναλόγως του τύπου του σήματος IRIG-B που έχει συνδεθεί. Στις ρυθμίσεις της υποκατηγορίας ρυθμίσεων «Master Time Source», μπορείτε να καθορίσετε πότε η συσκευή θα αλλάζει την κύρια πηγή του χρόνου μέσω των ρυθμίσεων «IRIG Good/Bad Requirement». Επίσης, η συσκευή SEL-3354 μπορεί να λειτουργήσει και ως διακομιστής από τον οποίο θα συγχρονίζονται τα ρολόγια των υπολοίπων συνδεδεμένων συσκευών. Τέλος, όταν δεν υπάρχει συνδεδεμένη στη συσκευή κάποια πηγή IRIG-B σήματος μπορείτε να ανοίξετε και να ρυθμίσετε το ρολόι του συστήματος από τον πίνακα ελέγχου των Windows ή να το βάλετε να συγχρονίζεται αυτόματα με κάποιον άλλο διακομιστή μέσω Internet.



Εικόνα 2.12: Καρτέλα Time του λογισμικού SEL SysMon GUI [16]

### 2.3.1.5 Περιγραφή καρτέλας Firmware

Από την καρτέλα Firmware μπορείτε να ενημερώσετε το υλικολογισμικό της συσκευής επιλέγοντας το απαραίτητο .fnw αρχείο και ακολουθώντας τις οδηγίες που θα εμφανιστούν.



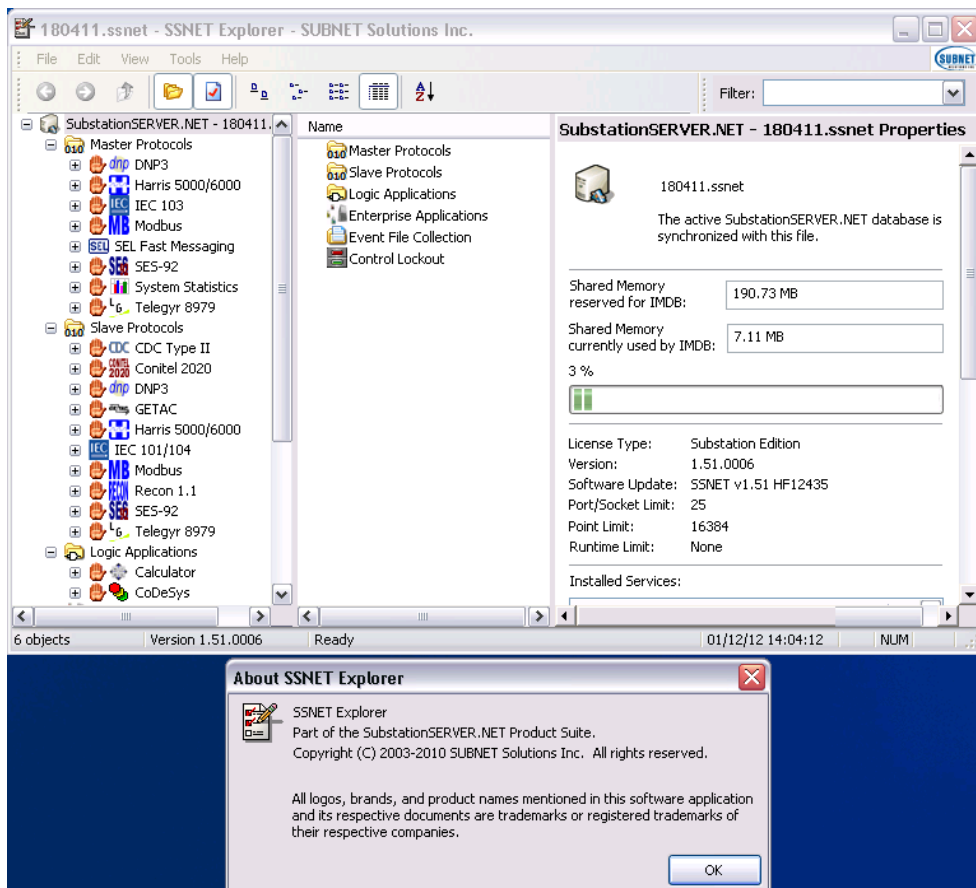
Εικόνα 2.13: Καρτέλα Firmware του λογισμικού SEL SysMon GUI [16]

## 2.3.2 Περιγραφή λογισμικού SubstationSERVER.NET™

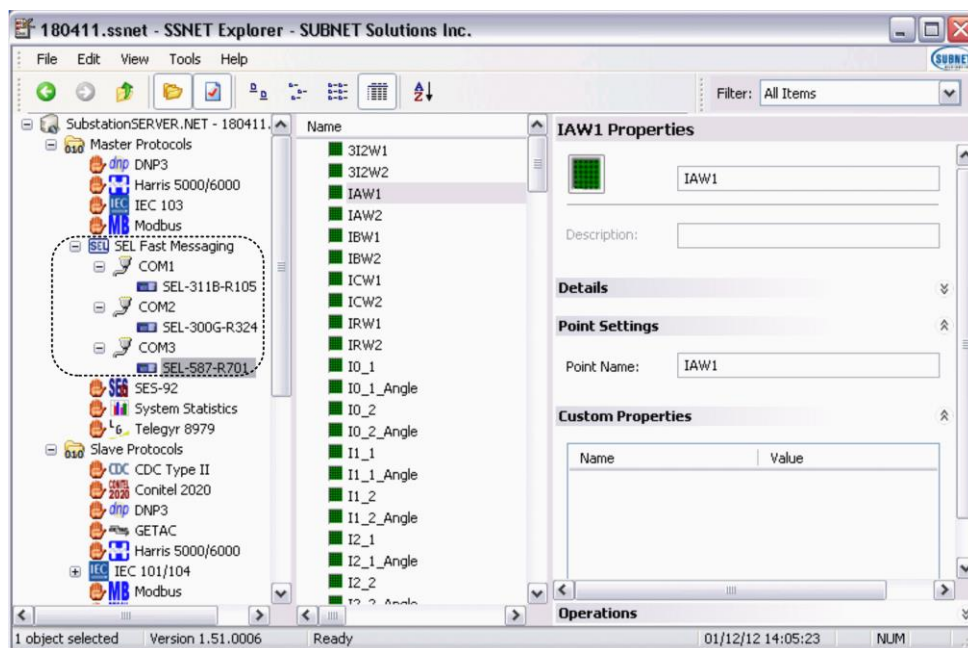
Το λογισμικό [SubstationSERVER.NET™](#) είναι αυτό που δίνει τη δυνατότητα στη συσκευή SEL-3354 να λειτουργήσει ως μονάδα συλλογής δεδομένων (Data Concentrator Unit), τα οποία της αποστέλλονται από τους ψηφιακούς H/N μέσω των σειριακών θυρών. Το ίδιο λογισμικό χρησιμοποιείται και για την αποστολή των εν λόγω δεδομένων προς τη συσκευή PC μέσω της υφιστάμενης μεταξύ τους τοπικής σύνδεσης από την οπίσθια θύρα Ethernet ETH1.

### 2.3.2.1 Πρωτόκολλα επικοινωνίας & διεύθυνση δεδομένων

Εκτελώντας την εφαρμογή SubstationSERVER.NET™ μπορείτε να εντοπίσετε και να περιεργαστείτε το πρωτόκολλο επικοινωνίας SEL Fast Messaging, το οποίο είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία των ψηφιακών H/N με τη συσκευή SEL-3354. Το δεύτερο πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται και χρήζει επισημάνσεως είναι το IEC 60870-5 101/104 που αφορά την επικοινωνία της SEL-3354 με την συσκευή PC.

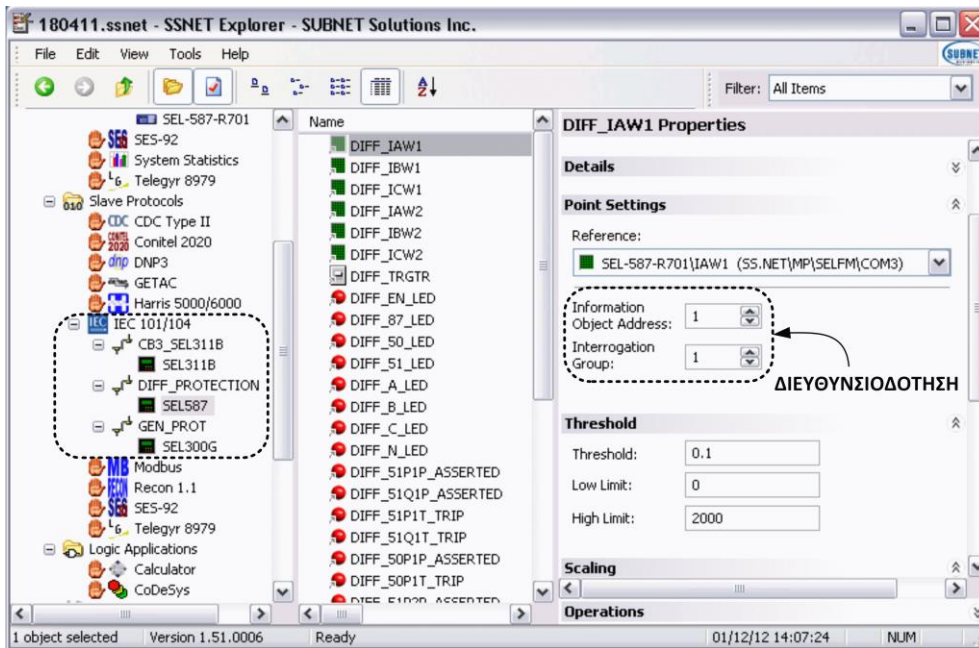


Εικόνα 2.14: Παράθυρο SubstationSERVER.NET™



Εικόνα 2.15: Πρωτόκολλο επικοινωνίας SEL Fast Messaging στο λογισμικό SubstationSERVER.NET™

Τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους ψηφιακούς Η/Ν αποθηκεύονται σε μία πεπερασμένου μεγέθους προσωρινή μνήμη και διευθυνσιοδοτούνται (βλ. Information Object Address – IOA & Interrogation Group) καταλλήλως όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.16. Η διεύθυνση αυτή πρόκειται στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί από το PC και πιο συγκεκριμένα από το πρόγραμμα SCADA που τρέχει σε αυτό για να καταστεί δυνατή η προσπέλαση και αξιοποίησή τους.

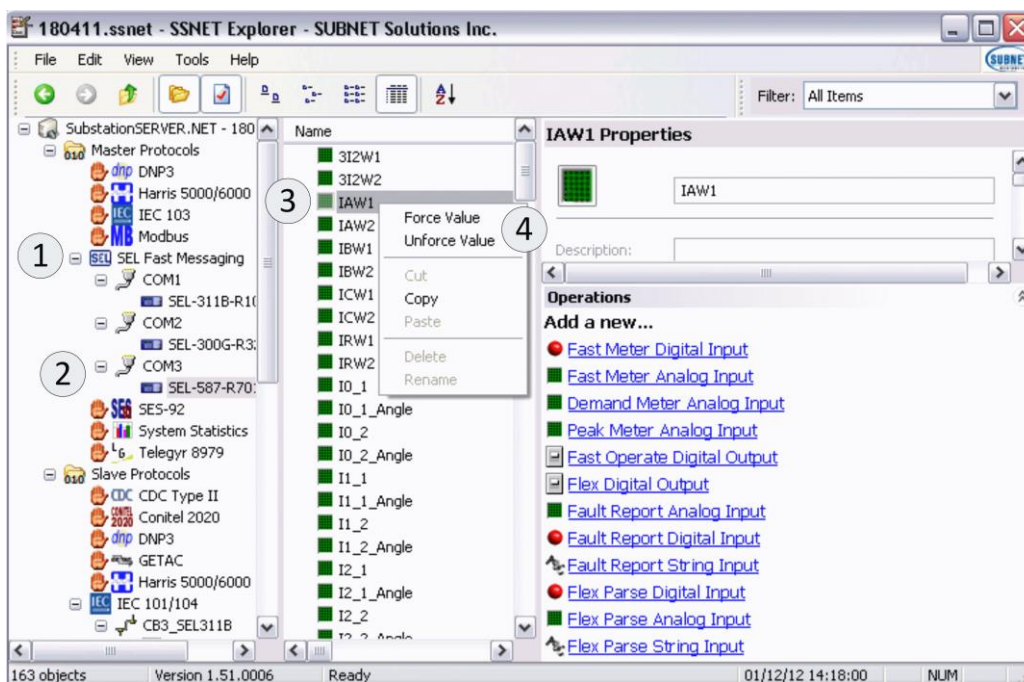


Εικόνα 2.16: Πρωτόκολλο επικοινωνίας IEC 60870-5 101/104 & τρόπος διευθυνσιοδότησης δεδομένων στο λογισμικό SubstationSERVER.NET™

### 2.3.2.2 Τρόπος απόδοσης εικονικής τιμής σε κάποιο δεδομένο

Υπάρχουν περιπτώσεις που επιθυμούμε να ελέγξουμε κάποια λειτουργία του SCADA που τρέχει στην συσκευή PC δίνοντας σε κάποιο δεδομένο μία συγκεκριμένη τιμή. Αυτό μπορεί να γίνει ακολουθώντας την εξής διαδικασία:

1. Ανοίγετε τα περιεχόμενα του πρωτόκολλου επικοινωνίας SEL Fast Messaging.
2. Εντοπίζετε το δεδομένο που σας ενδιαφέρει από τον H/N που αυτό προέρχεται.
3. Κάνετε δεξί κλικ πάνω στο δεδομένο και επιλέγετε «Force Value».
4. Δίνετε την επιθυμητή τιμή και πατάτε «Force».

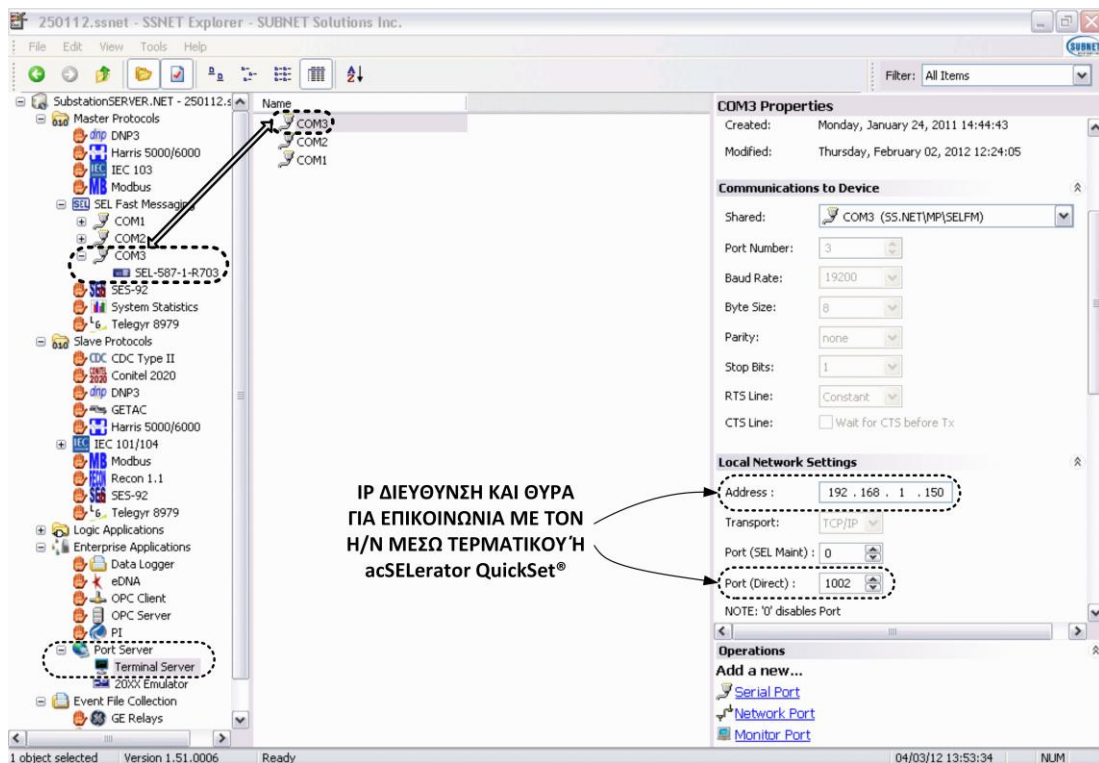


Εικόνα 2.17: Διαδικασία απόδοσης εικονικής τιμής σε κάποιο δεδομένο προερχόμενο από τους H/N στο λογισμικό SubstationSERVER.NET™

**ΠΡΟΣΟΧΗ!** Η απόδοση τιμής σε κάποιο δεδομένο με την προηγούμενη διαδικασία συνεπάγεται την επ' αόριστον διατήρηση της τιμής αυτής έως ότου κάνετε την ίδια διαδικασία με πριν και επιλέξετε «Unforce Value».

### 2.3.2.3 Ρυθμίσεις επικοινωνίας με ψηφιακούς Η/Ν

Από το επίπεδο ρυθμίσεων Port Server του λογισμικού SubstationSERVER.NET™ μπορείτε να βρείτε ποια θύρα (port) και ποια IP διεύθυνση έχει ανατεθεί σε κάθε ψηφιακό Η/Ν του εργαστηριακού συστήματος προστασίας. Η πληροφορία αυτή είναι αρκετά σημαντική όταν θέλουμε να συνδεθούμε με τους ψηφιακούς Η/Ν για να τους ρυθμίσουμε μέσω του τερματικού του ειδικού προγράμματος acSELeRator QuickSet® που παρέχει για αυτό το σκοπό η εταιρεία Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.



Εικόνα 2.18: Επίπεδο ρυθμίσεων Port Server στο λογισμικό SubstationSERVER.NET™

Για το εργαστηριακό σύστημα οι ρυθμίσεις που αφορούν αυτή την επικοινωνία συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Ψηφιακός Η/Ν	IP διεύθυνση	Αντιστοιχισμένη θύρα (Port)
<b>SEL-311B</b>	192.168.180	1001
<b>SEL-587</b>	192.168.180	1002
<b>SEL-300G</b>	192.168.180	1003

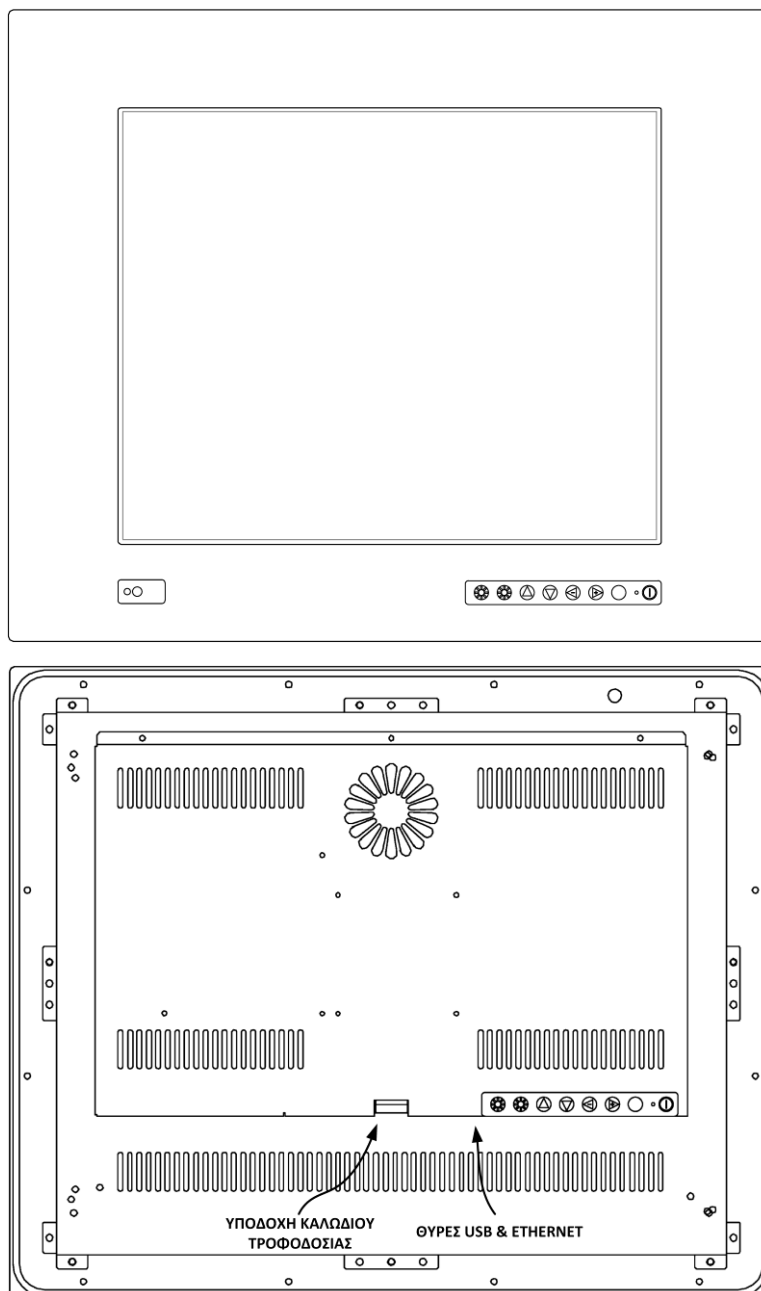
Πίνακας 2.2: Αντιστοίχιση θυρών και IP διευθύνσεων για τους ψηφιακούς Η/Ν του εργαστηριακού συστήματος προστασίας με το λογισμικό SubstationSERVER.NET™

## 2.4 Περιγραφή συσκευής PC

Η συσκευή PC είναι ένας ενσωματωμένος ηλεκτρονικός υπολογιστής με οθόνη αφής. Ο βασικός στόχος της εν λόγω συσκευής είναι η εκτέλεση του προγράμματος εποπτείας, ελέγχου και συλλογής πληροφοριών (SCADA) που δημιουργήθηκε από την εταιρεία PROT.A.S.I.S SA. Το εν λόγω SCADA απεικονίζει σε πραγματικό χρόνο την κατάσταση του επιτηρούμενου δικτύου και του συστήματος προστασίας ώστε να διευκολύνει την διαχείριση και επιτήρησή του. Ακόμη, ένας δευτερεύον στόχος που εξυπηρετεί η εν λόγω μονάδα είναι η δυνατότητα που μας δίνει να συνδεθούμε απομακρυσμένα με τη συσκευή SEL-3354 ώστε να την χειριστούμε καταλλήλως όταν κάτι τέτοιο χρειαστεί.

Το λειτουργικό σύστημα που έχει εγκατασταθεί στην συσκευή PC είναι τα Windows XP και τα κυριότερα προγράμματα που είναι εγκατεστημένα σε αυτό είναι το Zenon Editor και Zenon Runtime της εταιρείας [COPADATA](#) καθώς και το πρόγραμμα της εταιρείας [RealVNC](#).

Στην Εικόνα 2.19 φαίνεται η πρόοψη και η οπίσθια όψη της συσκευής PC.



Εικόνα 2.19: Πρόοψη και οπίσθια όψη συσκευής PC [11]



Η θύρα Ethernet της συσκευής χρησιμοποιείται για την δημιουργία της τοπικής σύνδεσης μεταξύ των συσκευών PC και SEL-3354. Η σύνδεση αυτή επιτρέπει τη λήψη των δεδομένων που η SEL-3354 συλλέγει από τους Η/Ν αλλά και τον απομακρυσμένο έλεγχο της SEL-3354 από την PC μέσω του προγράμματος RealVNC που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια. Επίσης, η μία εκ των δύο θυρών USB που είναι διαθέσιμες χρησιμοποιείται για την σύνδεση της άδειας του λογισμικού Zenon σε μορφή μονάδας USB.

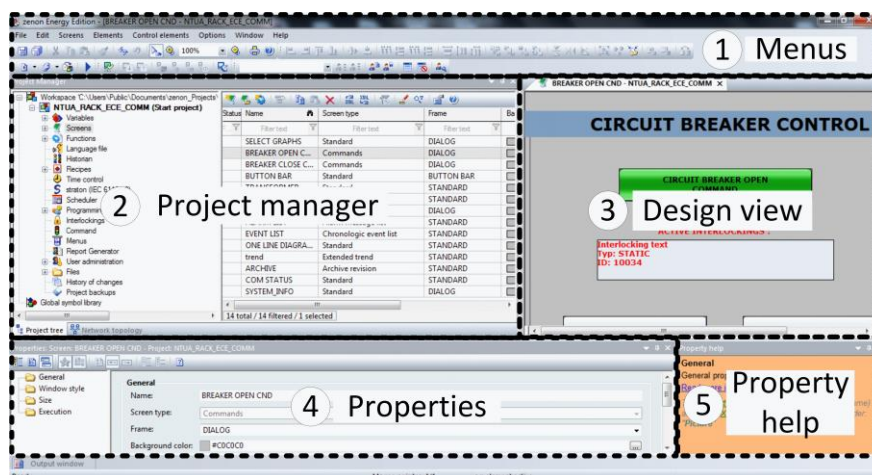
## 2.4.1 Σύντομη περιγραφή λογισμικού Zenon Editor

Το λογισμικό Zenon Editor είναι αυτό που χρησιμοποιήθηκε για τον σχεδιασμό και την κατασκευή του SCADA του εργαστηριακού συστήματος προστασίας. Χρησιμοποιώντας αυτό το πρόγραμμα μπορείτε να αλλάξετε την μορφή και την λειτουργία του SCADA αναλόγως των απαιτήσεών σας. Η υποενότητα αυτή δεν θα αναλωθεί σε μία μακροσκελή περιγραφή του εν λόγω λογισμικού, θα εξηγηθούν, όμως, τα κυριότερα σημεία που θα βοηθήσουν τον αναγνώστη να έχει μια αίσθηση του τρόπου με τον οποίο σχεδιάστηκε το SCADA.

### 2.4.1.1 Περιγραφή περιοχών παραθύρου

Στο παράθυρο του Zenon Editor που φαίνεται στην Εικόνα 2.20 διακρίνουμε της εξής περιοχές:

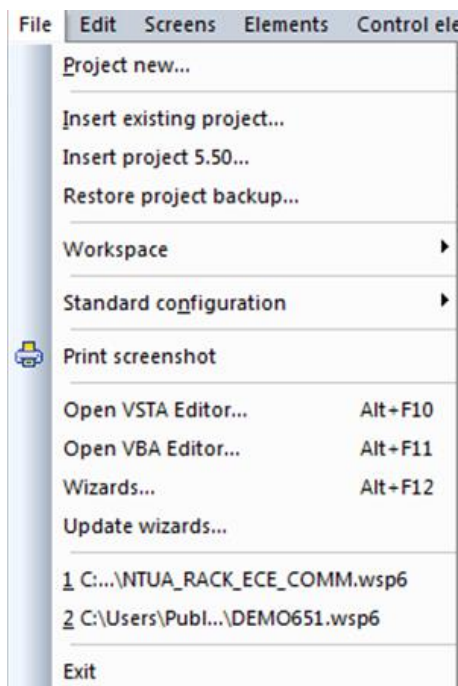
1. Τα μενού (Menus) που υπάρχουν σχεδόν σε κάθε λογισμικό και που παρέχουν πρόσβαση στα διάφορα εργαλεία και λειτουργίες του.
2. Τον διαχειριστή έργου (Project manager) που αποτελείται από δύο ξεχωριστές υποπεριοχές. Η αριστερή υποπεριοχή περιλαμβάνει τις ρυθμίσεις του έργου συνολικά, ξεκινώντας από τις ρυθμίσεις που αφορούν τον χώρο εργασίας (Workspace), συνεχίζοντας με τις ρυθμίσεις που αφορούν τα έργα που περιέχονται στον εκάστοτε χώρο εργασίας και τελειώνοντας με τις μεμονωμένες εσωτερικές ρυθμίσεις κάθε ενός έργου. Στη δεξιά υποπεριοχή του διαχειριστή έργου εμφανίζονται οι λεπτομέρειες (Details) των ρυθμίσεων που είναι επιλεγμένες από την αριστερή περιοχή.
3. Την περιοχή γραφικής σχεδίασης (Design view) όπου σχεδιάζονται οι οθόνες του SCADA.
4. Την περιοχή ιδιοτήτων (Properties) όπου φαίνονται οι ιδιότητες των στοιχείων που είναι επιλεγμένα από την υποπεριοχή των λεπτομερειών του διαχειριστή έργου και οι οποίες δίνουν επιπλέον επιπρόσθετες δυνατότητες ρυθμίσεων.
5. Η περιοχή βοήθειας (Property help) που παρέχει βοήθεια σχετικά με τις ιδιότητες που είναι επιλεγμένες στην περιοχή ιδιοτήτων.



Εικόνα 2.20: Περιοχές παραθύρου λογισμικού Zenon Editor

### 2.4.1.2 Διαδικασία δημιουργίας νέου έργου

Η δημιουργία ενός νέου έργου (project) από μηδενικής βάσεως ξεκινά με την δημιουργία ενός χώρου εργασίας (workspace). Ο χώρος εργασίας είναι ένας φάκελος μέσα στον οποίο θα περιέχονται όλα τα έργα που θα του αναθέσουμε. Η δημιουργία ενός χώρου εργασίας γίνεται πηγαίνοντας στο File→Workspace→New, ρυθμίζοντας σε ποιον φάκελο του λειτουργικού συστήματος θα δημιουργηθεί ο φάκελος του χώρου εργασίας (προεπιλεγμένος φάκελος είναι ο \Documents\zenon\_projects\) και πληκτρολογώντας ένα χαρακτηριστικό όνομα για τον εν λόγω φάκελο. Κατόπιν, η δημιουργία ενός νέου έργου μέσα στον νέο χώρο εργασίας γίνεται πηγαίνοντας File→Project new.



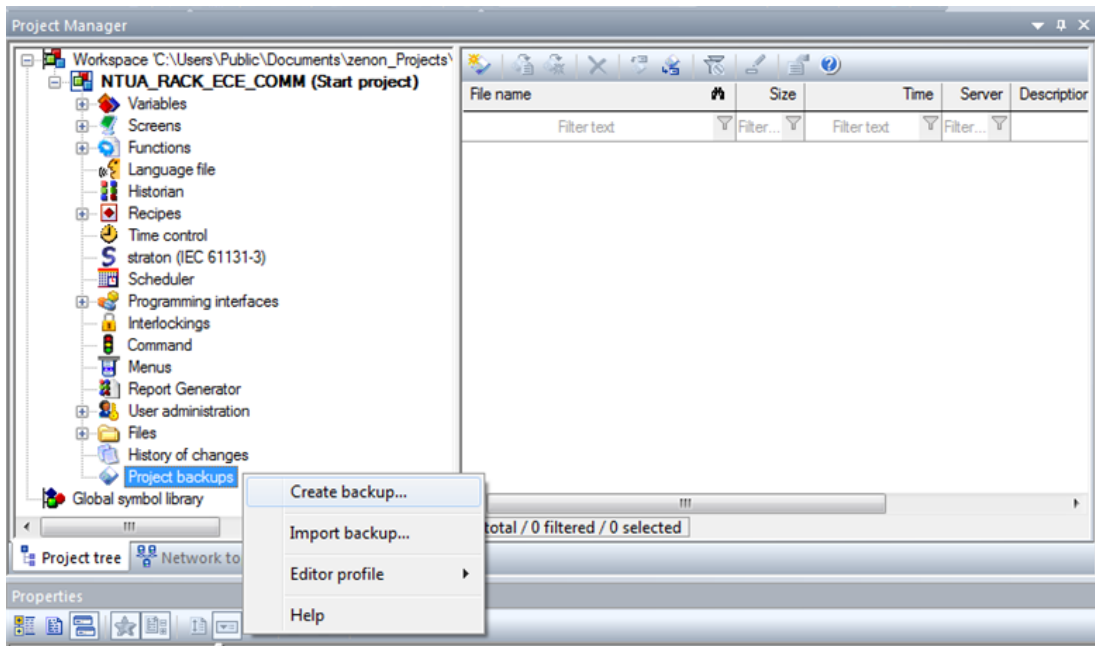
Εικόνα 2.21: Αναπτυσσόμενο μενού File απ' όπου γίνεται η δημιουργία νέου χώρου εργασίας και νέου έργου στο λογισμικό Zenon Editor

### 2.4.1.3 Διαδικασία δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας έργων & επαναφοράς έργων

Για να δημιουργήσετε αντίγραφο ασφαλείας ενός έργου σας, κάντε δεξί κλικ στο «Project backups» που βρίσκεται στην αριστερή υποπεριοχή του διαχειριστή έργου και επιλέξτε «Create backup». Είναι γενικά επιθυμητό να κρατάτε αντίγραφα ασφαλείας αρκετά συχνά αλλά και να τους δίνεται κάποια αναλυτική περιγραφή όσον αφορά π.χ. τις αλλαγές που κάνετε σε σχέση με το προηγούμενο αντίγραφο ασφαλείας του έργου.

Για να πάρετε μαζί σας κάποιο αντίγραφο ασφαλείας που δημιουργήσατε, επιλέξτε το από την υποπεριοχή λεπτομερειών του διαχειριστή έργου, κάντε δεξί κλικ και επιλέξτε «Export Backup».

Η επαναφορά ενός έργου από ένα αντίγραφο ασφαλείας γίνεται κάνοντας δεξί κλικ επάνω στο «Project backups», επιλέγοντας «Import backup» ώστε να το προσθέσετε στην λίστα του «Project backups» και κατόπιν κάνοντας δεξί κλικ επάνω του και επιλέγοντας «Restore backup».



Εικόνα 2.22: Διαδικασία δημιουργίας αντιγράφων ασφαλείας και επαναφοράς έργων στο λογισμικό Zenon Editor

#### 2.4.1.4 Περιγραφή επιπέδου ρυθμίσεων Variables ενός έργου

Στο επίπεδο ρυθμίσεων Variables του εκάστοτε έργου μπορείτε να βρείτε και να ορίσετε όλες εκείνες τις μεταβλητές που πρόκειται να αξιοποιηθούν από το SCADA. Μιλώντας για μεταβλητές εννοείται είτε κάποιο εκ των δεδομένων που μπορεί να λάβει το PC από τους ψηφιακούς Η/Ν μέσω της τοπικής σύνδεσής του με την συσκευή SEL-3354, είτε οποιεσδήποτε εσωτερικές μεταβλητές επιθυμείτε να χρησιμοποιηθούν αναλόγως των απαιτήσεών σας.

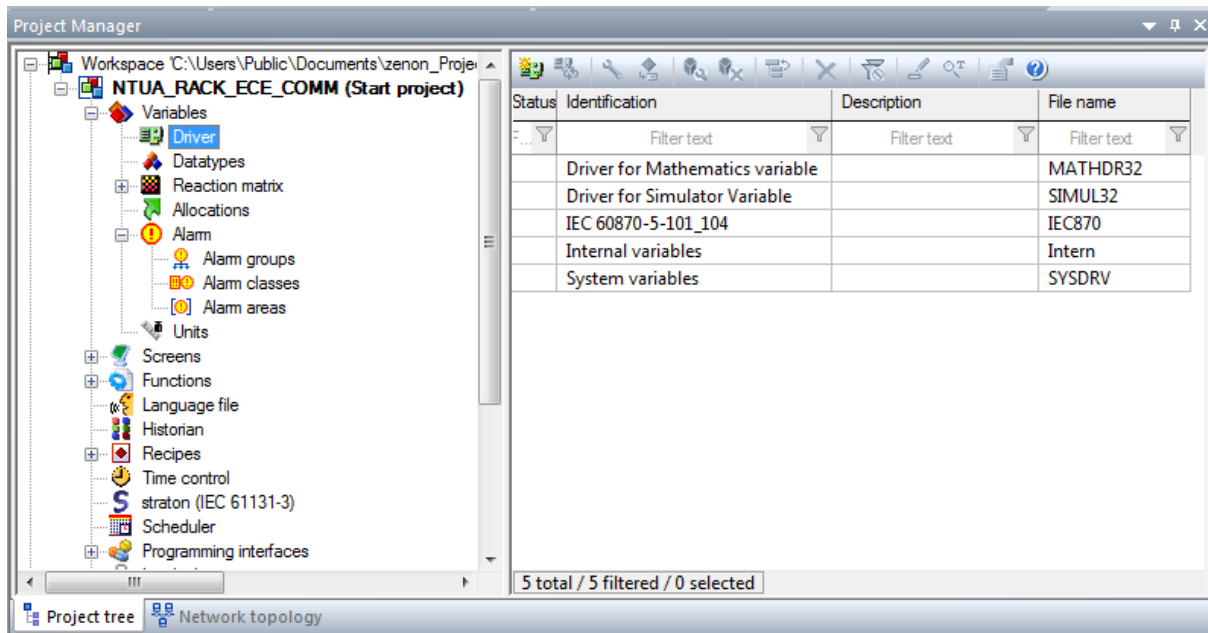
 The screenshot shows the 'Variables' configuration screen in Zenon Editor. The left pane shows the project tree with 'Variables' selected. The main area displays a table of variables with columns: Name, Identification, Measur., and Net address. A callout box with a black border and white background contains the following text:
 

Παρατηρήστε τον τρόπο αντιστοίχισης των μεταβλητών του SCADA με τα δεδομένα που έρχονται από τη συσκευή SEL-3354. Τα IOAs τους θα είναι ίδια με αυτά που αναφέρονται στο λογισμικό SubstationSERVER.NET κάτω από το πρωτόκολλο IEC 60870-5 101/104.

 Below the table, the 'Properties' window for the selected variable 'DIFF\_IAW1' is visible, showing fields for Net address, Offset, Alignment, and IEC870 COA.

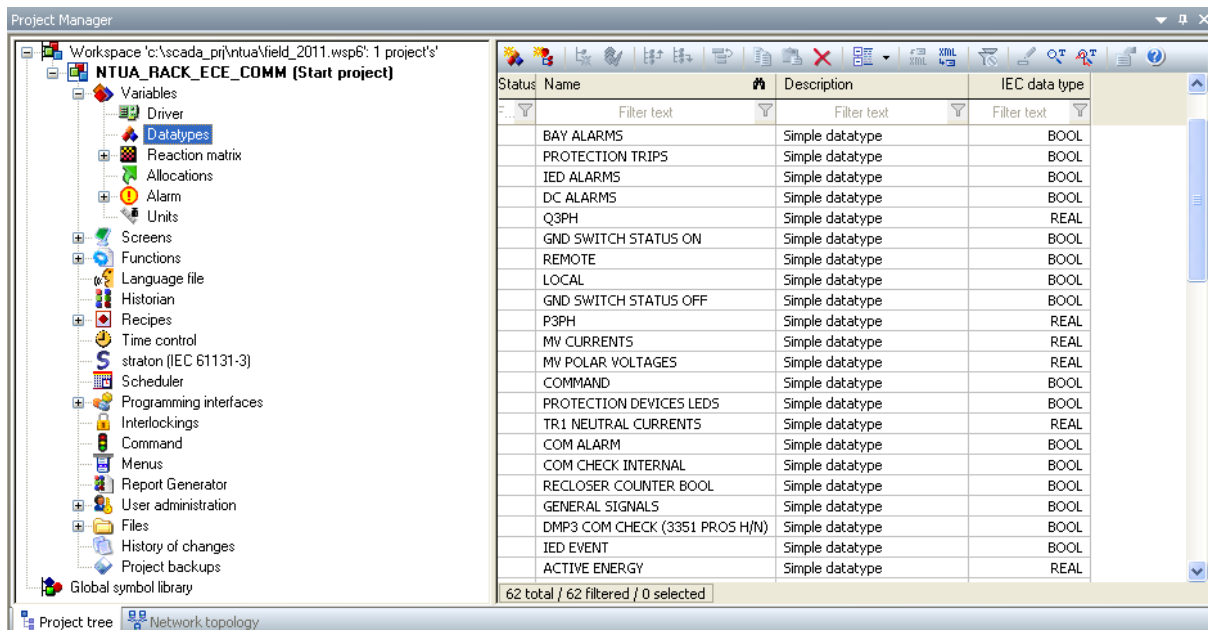
Εικόνα 2.23: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables και αξιοποίηση της διευθυνσιοδότησης των δεδομένων στο λογισμικό Zenon Editor

Στο επίπεδο ρυθμίσεων Variables→Driver μπορείτε να βρείτε όλους τους οδηγούς που χρησιμοποιούνται από το SCADA. Στην περίπτωση του εργαστηριακού SCADA, ο οδηγός που καθορίζει το τρόπο επικοινωνίας μεταξύ του PC και του SEL-3354 είναι το πρωτόκολλο επικοινωνίας IEC 60870-5 101/104.



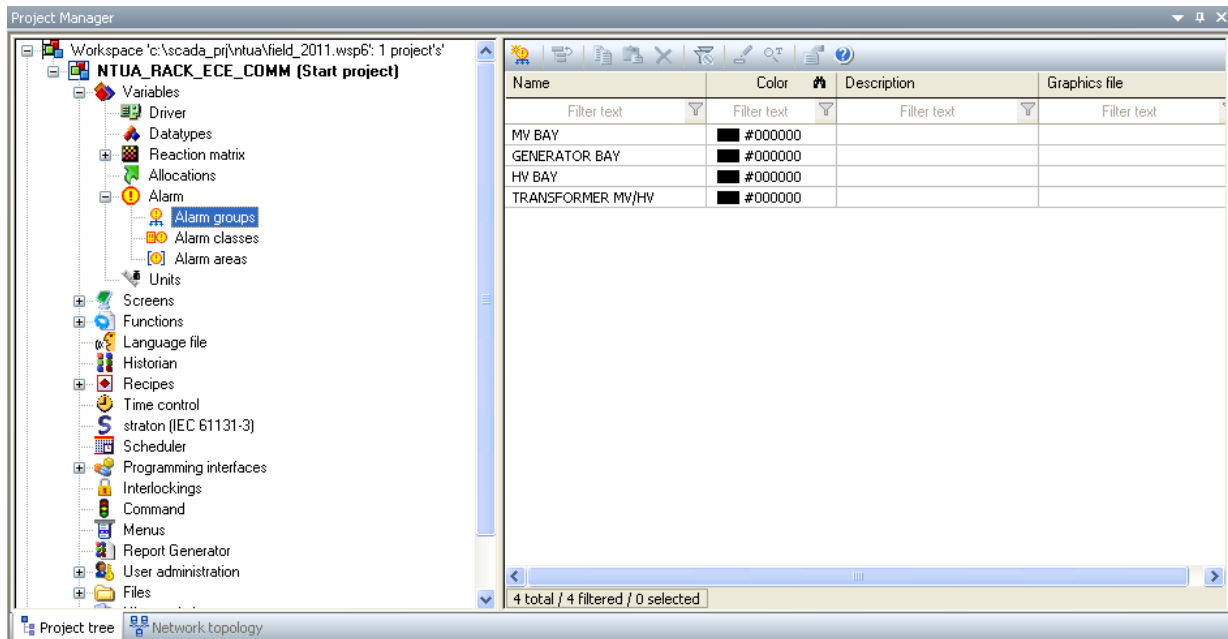
Εικόνα 2.24: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables → Driver στο λογισμικό Zenon Editor

Στο επίπεδο ρυθμίσεων Variables → Datatypes μπορεί να καθοριστεί ο τύπος κάθε μεταβλητής π.χ. αν πρόκειται για λογική μεταβλητή θα επιλέξουμε BOOL, ενώ, αν πρόκειται για αριθμό, είναι πιθανό να επιλέξουμε το τύπο REAL.

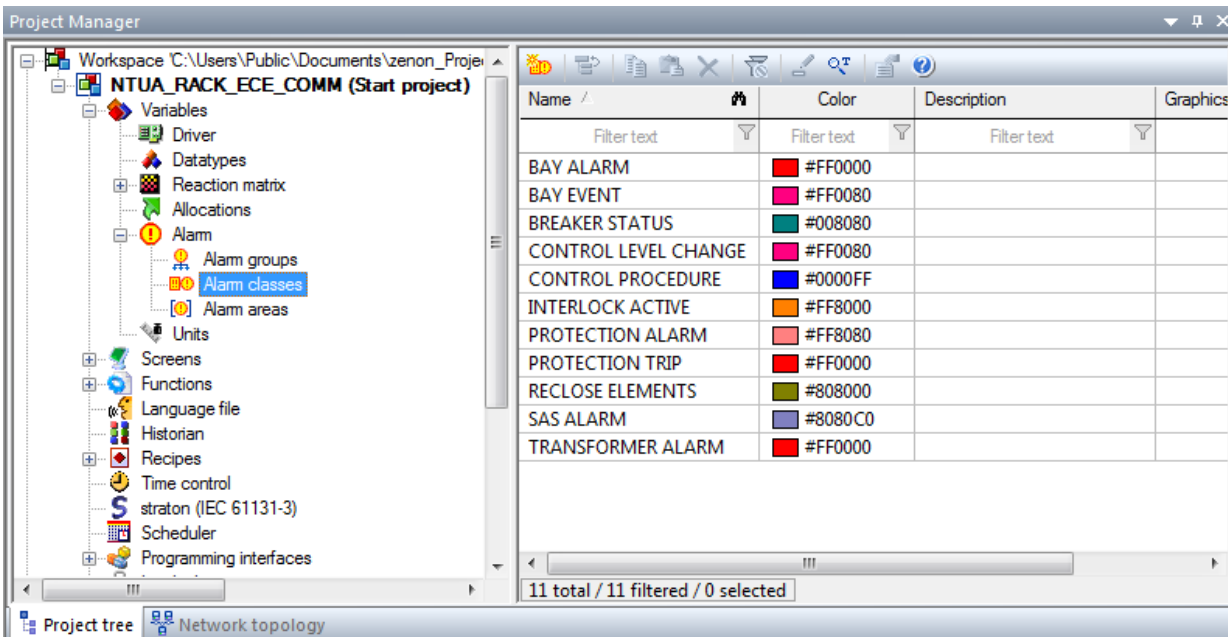


Εικόνα 2.25: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables → Datatypes στο λογισμικό Zenon Editor

Τέλος, στο επίπεδο ρυθμίσεων Variables → Alarm ορίζονται οι ομάδες συναγερμών (alarm groups) και οι κατηγορίες συναγερμών (alarm classes) που μπορεί να υπάρχουν σε κάποιο SCADA. Στο εργαστηριακό SCADA, οι ομάδες συναγερμών χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν ποιο κομμάτι του επιτηρούμενου δικτύου αφορά κάποιος συναγερμός (π.χ. MV BAY, GENERATOR BAY κλπ.), ενώ οι κατηγορίες συναγερμών δείχνουν τι αφορά κάποιος συναγερμός (π.χ. PROTECTION ALARM/TRIP κλπ.).



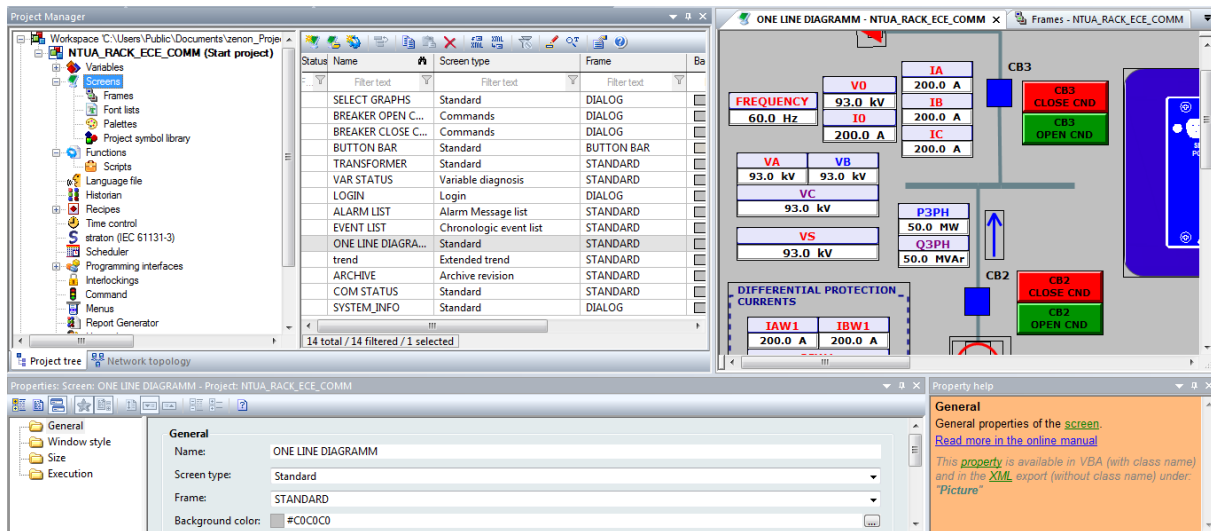
Εικόνα 2.26: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables → Alarm groups στο λογισμικό Zenon Editor



Εικόνα 2.27: Επίπεδο ρυθμίσεων Variables → Alarm classes στο λογισμικό Zenon Editor

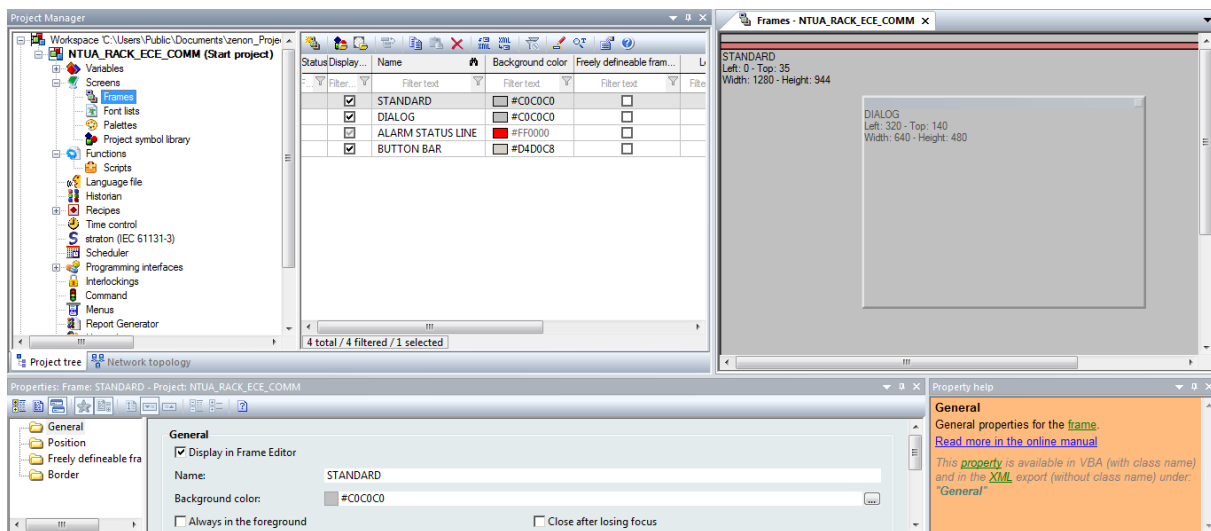
#### 2.4.1.5 Περιγραφή επιπέδου ρυθμίσεων Screens ενός έργου

Το επίπεδο ρυθμίσεων Screens ενός έργου σε συνδυασμό με το μενού Elements και Control Elements παρέχει όλα τα εργαλεία που είναι απαραίτητα για τη γραφική σχεδίαση των διαφόρων οθονών του SCADA.



Εικόνα 2.28: Επίπεδο ρυθμίσεων Screens στο λογισμικό Zenon Editor

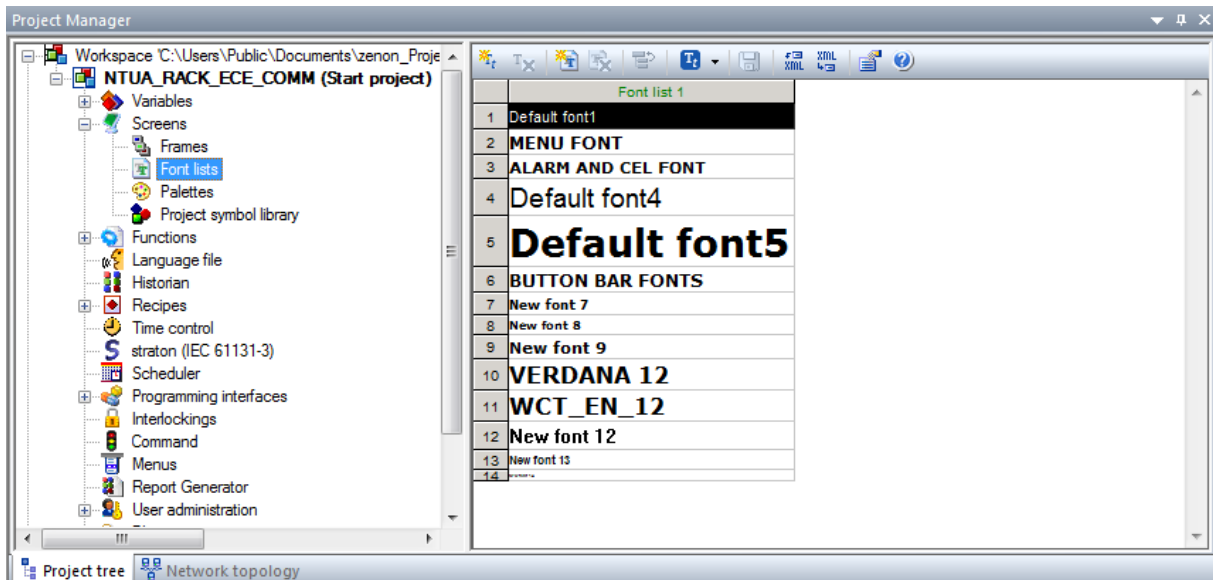
Για να δημιουργηθεί μια οθόνη SCADA πρέπει αρχικά να καθοριστούν οι διαστάσεις του πλαισίου της (frame size), δηλαδή ο χώρος που καταλαμβάνει στην οθόνη. Αυτό γίνεται από το επίπεδο ρυθμίσεων Screen→Frames όπου μπορείτε να ορίσετε με ακρίβεια pixel τις διαστάσεις των οθονών σας όπως και τη θέση τους στην οθόνη (αν δεν την καλύπτουν ολόκληρη).



Εικόνα 2.29: Επίπεδο ρυθμίσεων Screens →Frames στο λογισμικό Zenon Editor

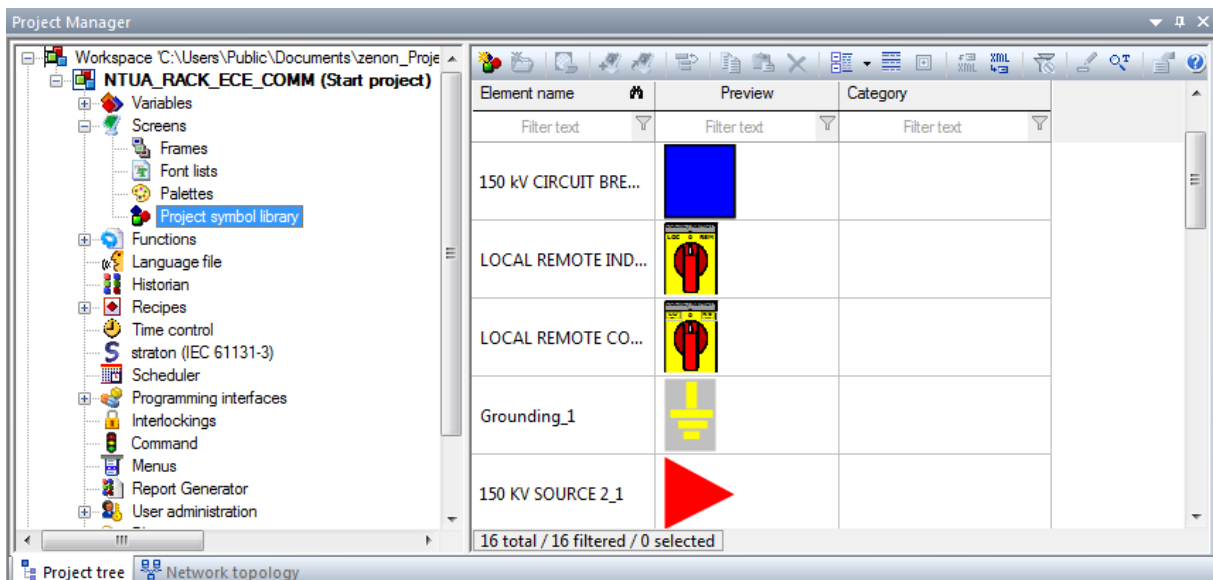
Τα γραφικά στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία οθόνη μπορεί να είναι διανυσματικά (vector elements) ή δυναμικά (dynamic). Τα διανυσματικά στοιχεία δεν αλλάζουν μορφή κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του SCADA, ενώ τα δυναμικά στοιχεία χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με κάποια μεταβλητή ώστε να αλλάζουν μορφή βάσει αυτής.

Οι γραμματοσειρές που χρησιμοποιούνται για τα κομμάτια κειμένου που υπάρχουν στο SCADA καθορίζονται από το επίπεδο ρυθμίσεων Screens→Font lists.



Εικόνα 2.30: Επίπεδο ρυθμίσεων Screens → Font lists στο λογισμικό Zenon Editor

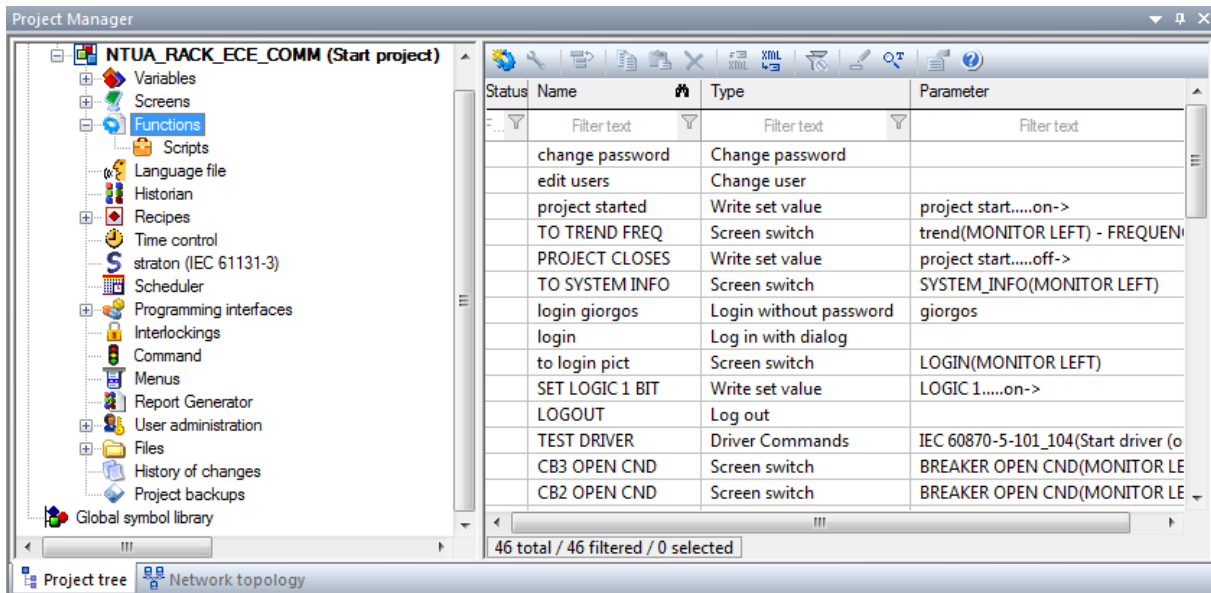
Τέλος, στο επίπεδο ρυθμίσεων Screens → Project Symbol Library υπάρχουν διάφορα σύμβολα διαθέσιμα προς άμεση χρήση κατά τη σχεδίαση των οθονών του SCADA.



Εικόνα 2.31: Επίπεδο ρυθμίσεων Screens → Project Symbol Library στο λογισμικό Zenon Editor

#### 2.4.1.6 Περιγραφή επιπέδου ρυθμίσεων Functions ενός έργου

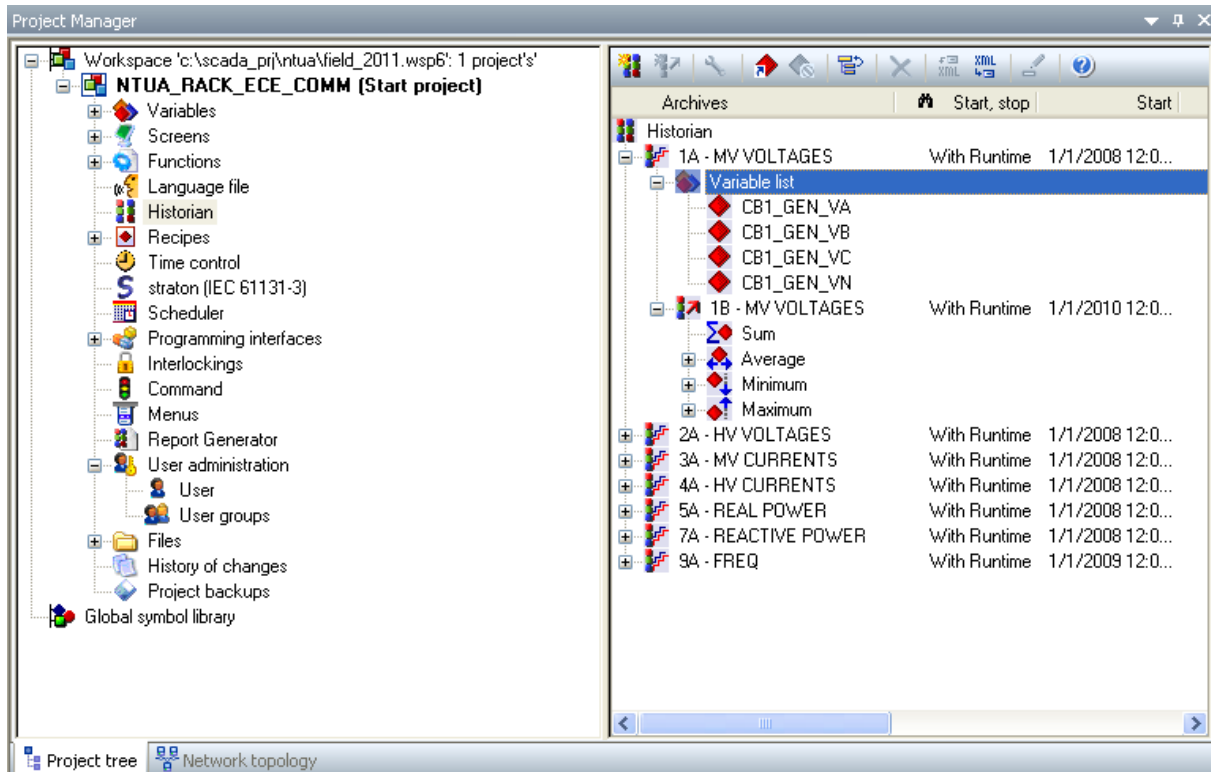
Το επίπεδο ρυθμίσεων Functions ενός έργου περιλαμβάνει συναρτήσεις ειδικού σκοπού. Στην περίπτωση του εργαστηριακού SCADA, πολλές από τις συναρτήσεις χρησιμοποιούνται για να μεταβούμε από μία οθόνη σε μία άλλη μέσω των κουμπιών που υπάρχουν στις διάφορες οθόνες του ή για να δώσουμε εντολή ανοίγματος ή κλεισίματος κάποιου Δ/Ι μέσω του SCADA.



Εικόνα 2.32: Επίπεδο ρυθμίσεων Functions στο λογισμικό Zenon Editor

#### 2.4.1.7 Περιγραφή επιπέδου ρυθμίσεων Historian ενός έργου

Από το επίπεδο ρυθμίσεων Historian ενός έργου μπορείτε να ορίσετε ή να τροποποιήσετε ποιες μεταβλητές θα διατηρούνται στο αρχείο καταγραφής του SCADA και με ποιο τρόπο (π.χ. ως μέγιστη ή μέση τιμή κ.α.). Στην περίπτωση του εργαστηριακού SCADA τα μεγέθη αυτά είναι οι τάσεις, τα ρεύματα, η ενεργός και άεργος ισχύς και η συχνότητα, δηλαδή τα μετρούμενα από τους Η/Ν ηλεκτρικά μεγέθη.

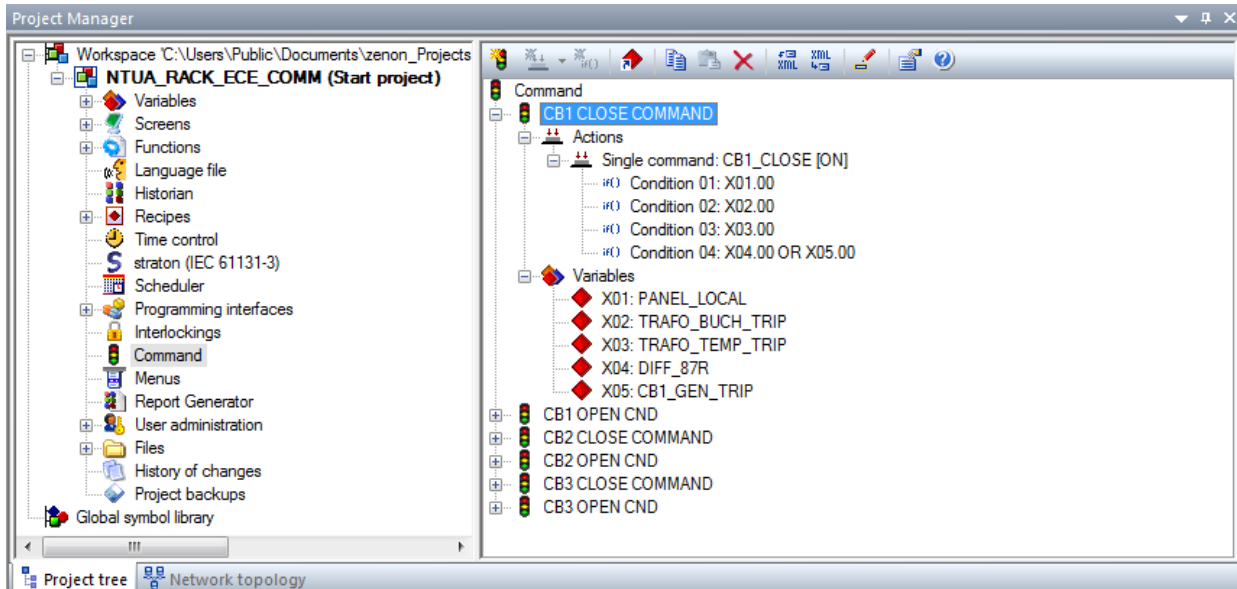


Εικόνα 2.33: Επίπεδο ρυθμίσεων Historian στο λογισμικό Zenon Editor



### 2.4.1.8 Περιγραφή επιπέδου ρυθμίσεων Command ενός έργου

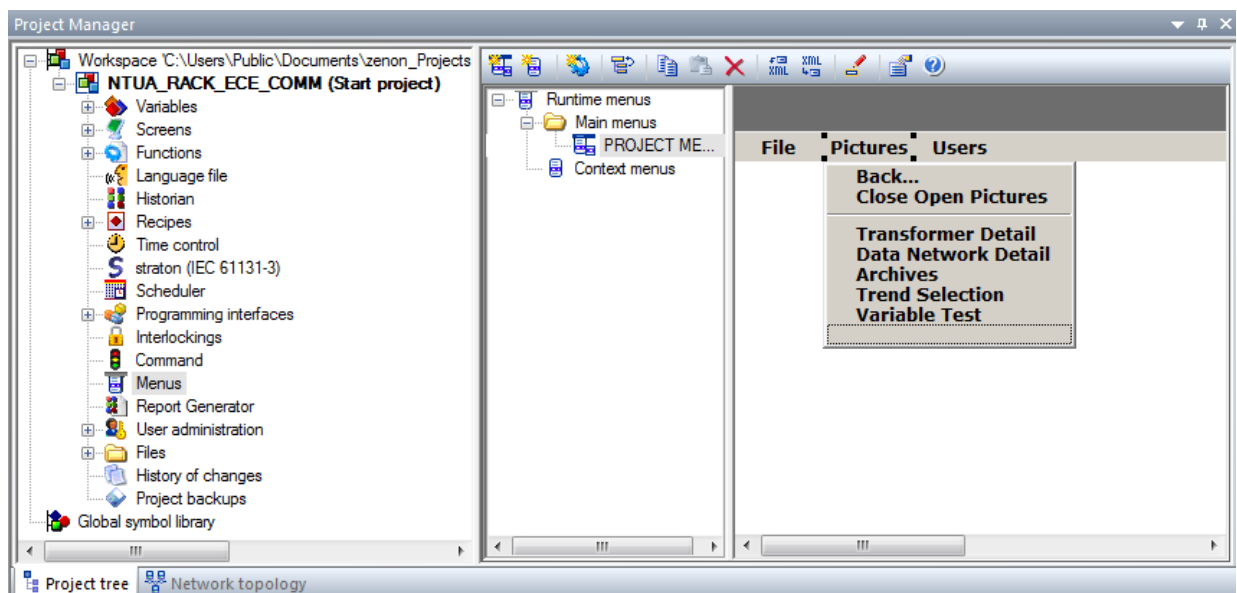
Στο επίπεδο ρυθμίσεων Command ενός έργου μπορούν να καθοριστούν οι συνθήκες βάσει των οποίων θα επιτρέπεται η εκτέλεση διαφόρων εντολών από το SCADA. Για το εργαστηριακό SCADA, οι ρυθμίσεις αυτές έχουν να κάνουν με τις εντολές ανοίγματος ή κλεισίματος των Δ/Ι του δικτύου σε σχέση με τη θέση του μεταγωγέα S1, η οποία καθορίζει αν επιτρέπονται οι τοπικοί ή απομακρυσμένοι χειρισμοί.



Εικόνα 2.34: Επίπεδο ρυθμίσεων Commands στο λογισμικό Zenon Editor

### 2.4.1.9 Περιγραφή επιπέδου ρυθμίσεων Menus ενός έργου

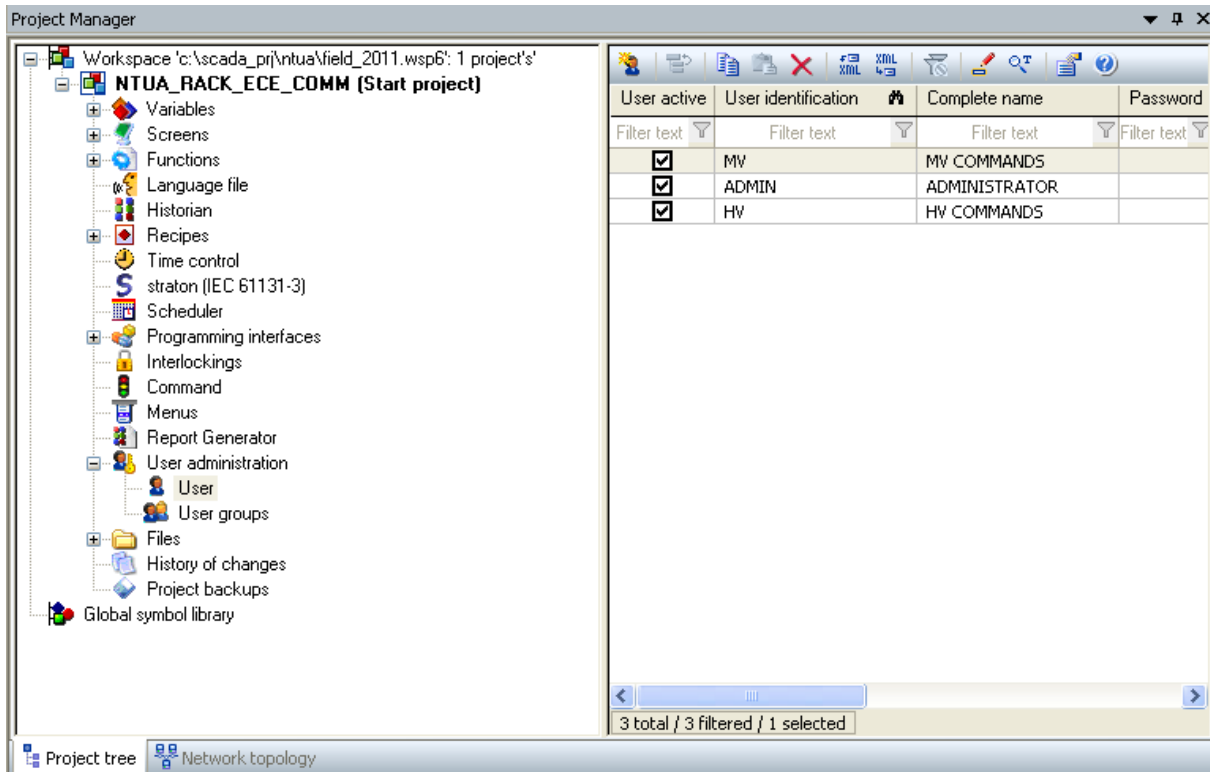
Σχεδόν κάθε πρόγραμμα Η/Υ έχει μία μπάρα με αναπτυσσόμενα μενού στο πάνω αριστερό κομμάτι του παραθύρου του. Το SCADA μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να έχει μία τέτοια μπάρα μέσω του επιπέδου ρυθμίσεων Menus του έργου. Για την περίπτωση του εργαστηριακού SCADA έχουν δημιουργηθεί τρία αναπτυσσόμενα μενού (File, Pictures και Users) που επιτρέπουν στο χρήστη να εκτελέσει διάφορες λειτουργίες όπως π.χ. μετάβαση από μία οθόνη σε μία άλλη, τερματισμό του SCADA κ.α.



Εικόνα 2.35: Επίπεδο ρυθμίσεων Menus στο λογισμικό Zenon Editor

**2.4.1.10 Περιγραφή επιπέδου ρυθμίσεων Users ενός έργου**

Για λόγους ασφαλείας, κάθε SCADA πρέπει να έχει την ικανότητα να χειριστεί λογαριασμούς χρηστών οι οποίοι μπορεί να έχουν διαφορετικά δικαιώματα πρόσβασης και εκτέλεσης ενεργειών. Το λογισμικό Zenon Editor δίνει αυτή τη δυνατότητα από το επίπεδο ρυθμίσεων Users ενός έργου.



*Εικόνα 2.36: Επίπεδο ρυθμίσεων Users στο λογισμικό Zenon Editor*

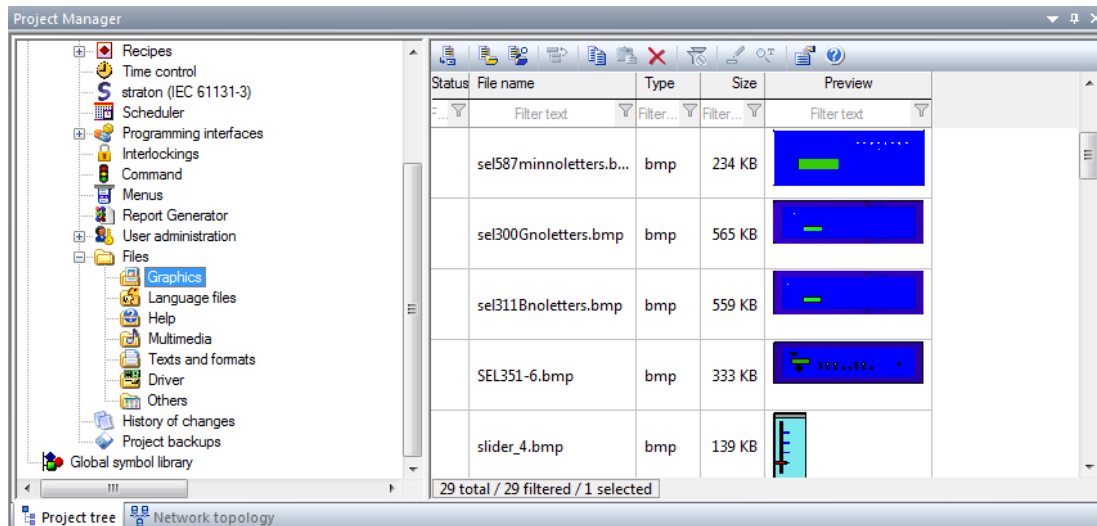
Για την περίπτωση του εργαστηριακού SCADA, ο Πίνακας 2.3 συνοψίζει τους λογαριασμούς χρήστη που έχουν δημιουργηθεί, τα δικαιώματα χειρισμών που τους έχουν δοθεί καθώς και τους κωδικούς πρόσβασής τους.

Όνομα χρήστη	Δικαιώματα	Κωδικός πρόσβασης
ADMIN	Χειρισμός όλων των Δ/Ι	123456
MV	Χειρισμός μόνο του Δ/Ι στη μέση τάση CB1	
HV	Χειρισμός μόνο των Δ/Ι στην υψηλή τάση CB2 και CB3	

*Πίνακας 2.3: Λογαριασμοί χρήστη, δικαιώματα και κωδικοί πρόσβασης στο εργαστηριακό SCADA*

**2.4.1.11 Περιγραφή επιπέδου ρυθμίσεων Files ενός έργου**

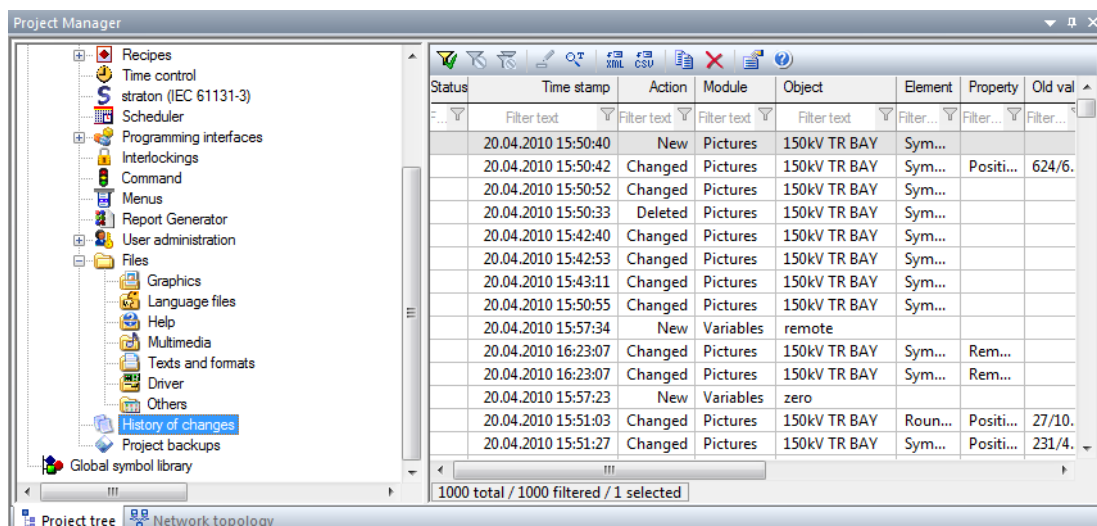
Από το επίπεδο ρυθμίσεων Files ενός έργου μπορείτε να εισάγετε αρχεία τα οποία δύναται να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του SCADA. Στο εργαστηριακό SCADA, θα βρείτε στις ρυθμίσεις αυτές εικόνες των ψηφιακών H/N μαζί με άλλα εν δυνάμει χρήσιμα αρχεία.



Εικόνα 2.37: Επίπεδο ρυθμίσεων Files στο λογισμικό Zenon Editor

#### 2.4.1.12 Περιγραφή επιπέδου ρυθμίσεων History of changes ενός έργου

Στο επίπεδο ρυθμίσεων History of Changes ενός έργου μπορείτε να καταγράψετε οποιοσδήποτε αλλαγές κάνετε στο SCADA κατά τη διάρκεια της σχεδίασης και κατασκευής του ώστε να συμβάλλετε στην καλύτερη οργάνωση της όλης διαδικασίας.



Εικόνα 2.38: Επίπεδο ρυθμίσεων History of changes στο λογισμικό Zenon Editor

## 2.4.2 Περιγραφή λογισμικού Zenon Runtime & SCADA

Το λογισμικό Zenon Runtime είναι η εφαρμογή που αναλαμβάνει την εκτέλεση του SCADA του εργαστηριακού συστήματος προστασίας που σχεδιάστηκε μέσω του προγράμματος Zenon Editor. Με την εκτέλεση του λογισμικού Zenon Runtime, εκκινεί αυτόματα το SCADA του εργαστηριακού συστήματος καταλαμβάνοντας όλη την οθόνη του PC.

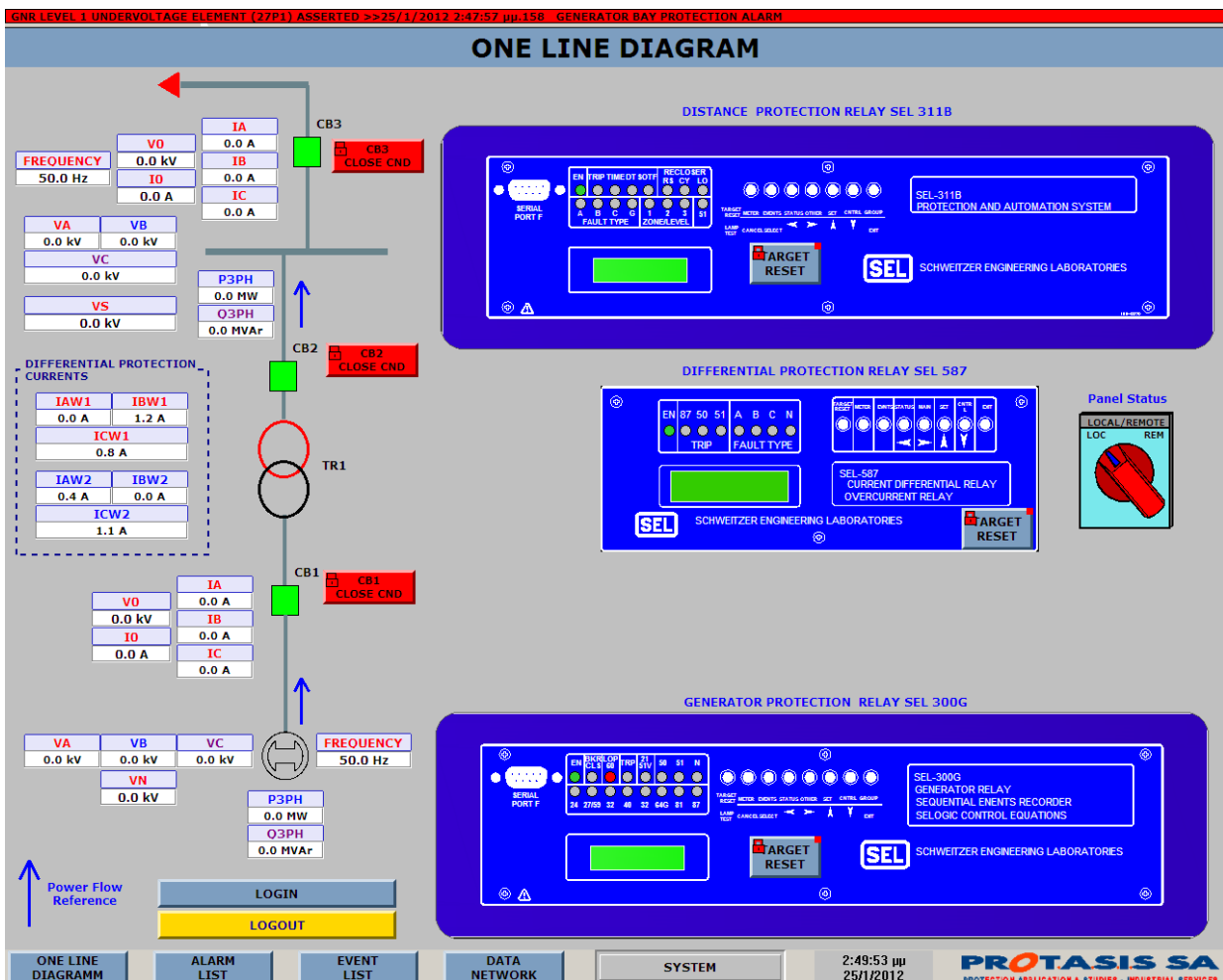
### 2.4.2.1 Περιγραφή κεντρικής οθόνης

Η κεντρική οθόνη του SCADA που εμφανίζεται και παρατίθεται στην Εικόνα 2.39, παρέχει τις εξής πληροφορίες και δυνατότητες:

- Το μονογραμμικό σχέδιο του προστατευόμενου Σ.Η.Ε. συνοδευόμενο από τα μετρούμενα από τους Η/Ν μεγέθη (τάσεις, ρεύματα, ισχύς, συχνότητα κ.α.) και την κατάσταση των Δ/Ι

με χρήση κατάλληλων χρωμάτων ανάλογων με αυτών που χρησιμοποιούνται και στις ενδεικτικές λυχνίες του εργαστηριακού συστήματος (πράσινο: ανοικτός Δ/Ι, κόκκινο: κλειστός Δ/Ι)

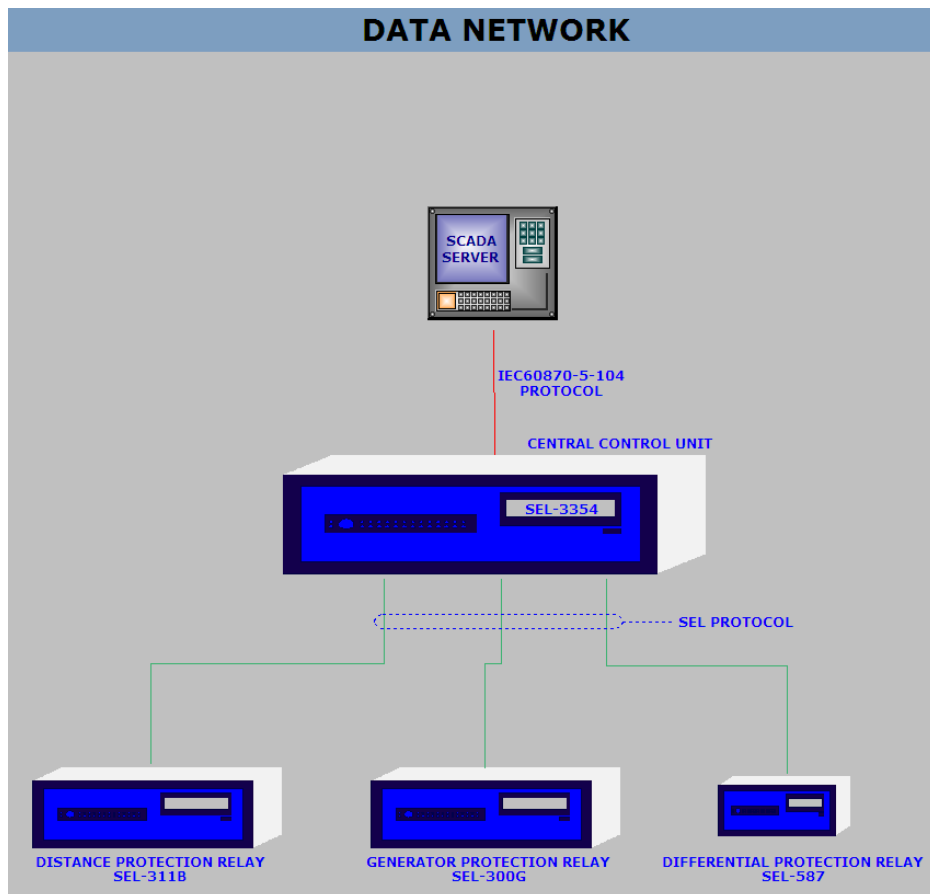
- Την κατάσταση του μεταγωγέα S1, ο οποίος καθορίζει αν επιτρέπεται ο τοπικός ή ο απομακρυσμένος χειρισμός των Δ/Ι του συστήματος
- Την γραφική αναπαράσταση της πρόωσης όλων των ψηφιακών Η/Ν με τις ενδεικτικές λυχνίες τους να αλλάζουν χρώμα αυτόματα προσομοιώνοντας την αλλαγή των πραγματικών ενδεικτικών λυχνιών των Η/Ν
- Το κουμπί LOGIN που επιτρέπει την σύνδεση χρηστών με διαφορετικά δικαιώματα εκτέλεσης χειρισμών στο SCADA
- Την γραμμή κατάστασης συναγερμού (alarm status line) στο πάνω μέρος της κεντρικής οθόνης, η οποία εμφανίζεται σε περίπτωση ύπαρξης κάποιου ιδιαίτερος σοβαρού γεγονότος όπως είναι η ενεργοποίηση κάποιας προστασίας ενός Η/Ν
- Τα μενού στο πάνω αριστερά μέρος της κεντρικής οθόνης από τα οποία μπορείτε να αποκτήσετε πρόσβαση σε άλλες οθόνες και λειτουργίες του προγράμματος SCADA
- Την γραμμή με τα κουμπιά στο κάτω μέρος της οθόνης από την οποία παρέχεται γρηγορότερη πρόσβαση στις κυριότερες οθόνες του SCADA
- Ένδειξη του ενεργού χρήστη του συστήματος (SYSTEM, ADMINISTRATOR, MV, HV)
- Σήμανση της τοπικής ώρας
- Το λογότυπο της εταιρείας PROT.A.S.I.S που δημιούργησε το SCADA



Εικόνα 2.39: Η κεντρική οθόνη του εργαστηριακού SCADA

### 2.4.2.2 Περιγραφή οθόνης DATA NETWORK

Από το κουμπί DATA NETWORK της κεντρικής οθόνης του SCADA μεταβαίνουμε σε μία οθόνη που παρέχει πληροφορίες όσον αφορά την ακεραιότητα των συνδέσεων μεταξύ της συσκευής SEL-3354 και των ψηφιακών Η/Ν. Αν για οποιοδήποτε λόγο κάποια από τις εν λόγω συνδέσεις αρχίσει να δυσλειτουργεί, η αντίστοιχη γραμμή που ενώνει τις δύο συσκευές θα γίνει κόκκινη. Επισημαίνεται πως η σύνδεση μεταξύ του PC και της SEL-3354 είναι μονίμως κόκκινη μιας και δεν επιτηρείται.



Εικόνα 2.40: Οθόνη Data Network του εργαστηριακού SCADA

### 2.4.2.3 Περιγραφή οθόνης ALARM LIST

Από το κουμπί ALARM LIST της κεντρικής οθόνης εμφανίζεται μία λίστα που περιέχει όλους τους ενεργούς συναγερμούς λόγω π.χ. της λειτουργίας κάποιας προστασίας ενός Η/Ν. Στην οθόνη αυτή ο χρήστης μπορεί να αναγνωρίσει (acknowledge) το συναγερμό και να προβεί στις απαραίτητες ενέργειες προκειμένου να διορθώσει το πρόβλημα. Μετά την εκκαθάριση του σφάλματος, ο αντίστοιχος συναγερμός διαγράφεται αυτόματα από την λίστα.

The screenshot shows the ALARM LIST interface. It includes a Filter Selection section with 'Total' (1) and 'Not acknowledged' (0) counts, and a 'Filter' field with a 'Filter...' button. There are 'Print' buttons (Print Dialog, Stop Print) and 'Navigation' buttons (Line up, Page up, Page down, Line down). The 'Alarms...' section contains buttons for Acknowledge, Acknowledge page, Acknowl. All, Delete page, Delete all, and Export Alarms. Below the buttons is a table of alarms:

Text	Time received	Time cleared	Time acknowledged	Alarm group
GNR LEVEL 1 UNDERVOLTAGE ELEMENT (27P1) ASSERTED	>>25/1/2012 2:47:57 μμ.158		--25/1/2012 2:51:13 μμ	GENERATOR BAY

Εικόνα 2.41: Οθόνη Alarm List του εργαστηριακού SCADA

### 2.4.2.4 Περιγραφή οθόνης EVENT LIST

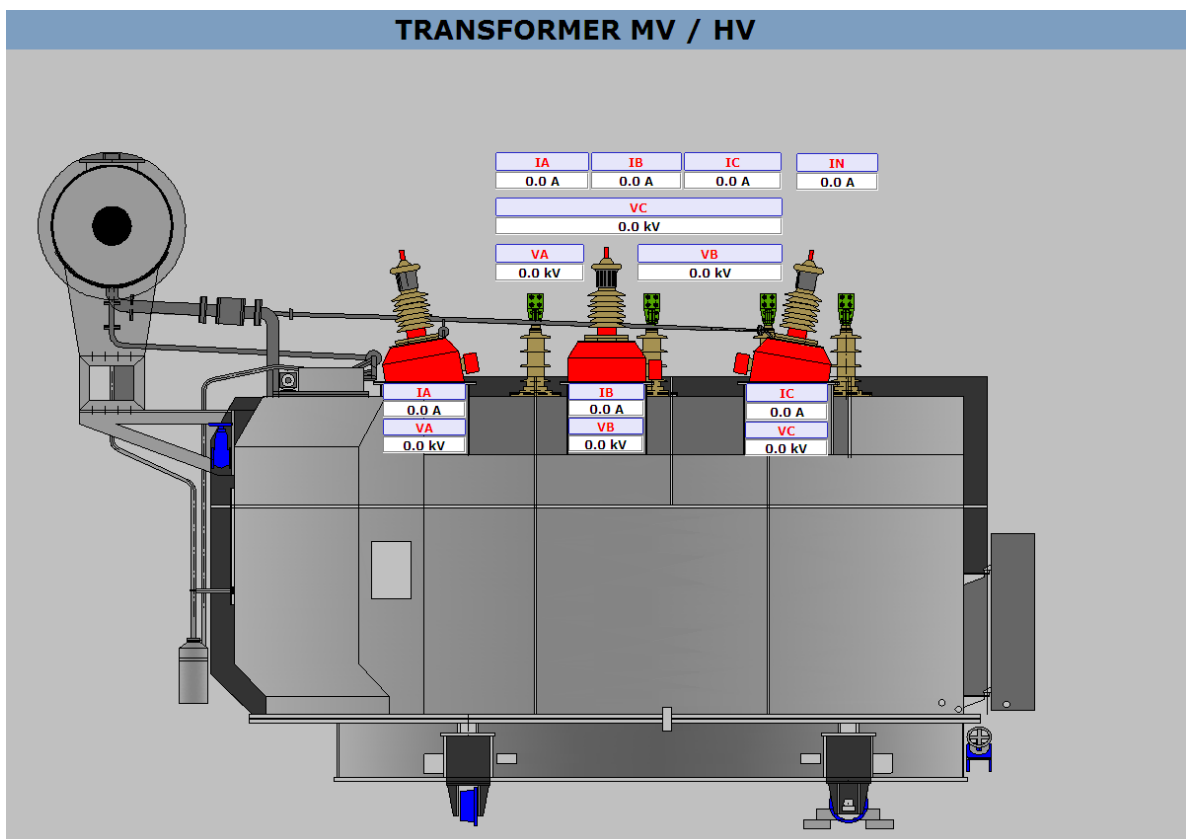
Από το κουμπί EVENT LIST ο χρήστης μπορεί να δει μία λίστα που περιέχει όλα τα γεγονότα που αφορούν το εργαστηριακό σύστημα προστασίας ανεξαρτήτως σημαντικότητας.

CHRONOLOGICAL EVENT LIST			
Filter Selection	Print	Export	Navigation
Number: 249 Filter: [*]-[*]-[Grp]-[Cls] <input type="button" value="Filter..."/>	<input type="button" value="Print Dialog"/> <input type="button" value="Stop"/>	<input type="button" value="Export CEL to File"/> <input type="button" value="Save CEL to File"/>	<input type="button" value="Line up"/> <input type="button" value="Page up"/> <input type="button" value="Line down"/> <input type="button" value="Page down"/>
Text	Time received	Alarm class	Alarm group
ΕΝΑΡΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	25/1/2012 1:17:38 μμ.562	SAS ALARM	5
GNR LEVEL 1 UNDERVOLTAGE ELEMENT (27P1) DEASSERTED	25/1/2012 1:17:59 μμ.359	PROTECTION ALARM	GENERATOR BAY
ΛΗΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	25/1/2012 1:51:47 μμ.484	SAS ALARM	5
ΕΝΑΡΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	25/1/2012 2:30:42 μμ.781	SAS ALARM	5
LNR CONTROL PANEL REMOTE	25/1/2012 2:32:16 μμ.915	CONTROL LEVEL CHANGE	HV BAY
GENERATOR PROTECTION RELAY (GNR-SEL300G) ON LINE	25/1/2012 2:36:57 μμ.210	SAS ALARM	GENERATOR BAY
DIFFERENTIAL PROTECTION RELAY (DFR-SELS87) ON LINE	25/1/2012 2:36:57 μμ.451	SAS ALARM	TRANSFORMER MV/HV
GENERATOR PROTECTION RELAY (GNR-SEL300G) OFF LINE	25/1/2012 2:37:12 μμ.546	SAS ALARM	GENERATOR BAY
DIFFERENTIAL PROTECTION RELAY (DFR-SELS87) OFF LINE	25/1/2012 2:37:12 μμ.546	SAS ALARM	TRANSFORMER MV/HV
DIFFERENTIAL PROTECTION RELAY (DFR-SELS87) ON LINE	25/1/2012 2:37:12 μμ.593	SAS ALARM	TRANSFORMER MV/HV
GENERATOR PROTECTION RELAY (GNR-SEL300G) ON LINE	25/1/2012 2:37:12 μμ.656	SAS ALARM	GENERATOR BAY
GNR LEVEL 1 UNDERVOLTAGE ELEMENT (27P1) ASSERTED	25/1/2012 2:37:19 μμ.222	PROTECTION ALARM	GENERATOR BAY
ΛΗΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	25/1/2012 2:38:49 μμ.875	SAS ALARM	5

Εικόνα 2.42: Οθόνη Event List του εργαστηριακού SCADA

### 2.4.2.5 Περιγραφή οθόνης TRANSFORMER DETAIL

Από το αναπτυσσόμενο μενού Picture στο πάνω μέρος της κεντρικής οθόνης, ο χρήστης μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση σε ορισμένες δευτερεύουσες οθόνες του SCADA. Η Εικόνα 2.43 δείχνει την οθόνη Transformer detail, η οποία εστιάζει την προσοχή στον Μ/Σ ανύψωσης του επιτηρούμενου δικτύου και παρέχει πληροφορίες που τον αφορούν όπως τα μετρούμενα ρεύματα και τις τάσεις στο πρωτεύον και δευτερεύον του.



Εικόνα 2.43: Οθόνη Transformer Detail του εργαστηριακού SCADA

### 2.4.2.6 Περιγραφή οθόνης TREND SELECTION

Από το αναπτυσσόμενο μενού Pictures→Trend selection μεταβαίνετε σε μία οθόνη όπου μπορείτε να επιλέξετε κάποιο από τα μετρούμενα από τους H/N μεγέθη ώστε να δείτε τη χρονολογική εξέλιξή του.

The image displays two screenshots from a SCADA software interface. The top screenshot is a dialog box titled 'SELECT GRAPHS' with a sub-header 'TREND SELECTION'. It contains seven buttons for selecting data series: 'MV VOLTAGES', 'HV VOLTAGES', 'MV CURRENTS', 'HV CURRENTS', 'ACTIVE POWER', 'REACTIVE POWER', and 'FREQUENCY'. The bottom screenshot shows the main 'TRENDS' window. It features a menu bar with 'File', 'Pictures', 'Users', and 'Back...'. Below the menu are several control panels: 'General Preferences...' with buttons for 'Diagram...', 'Frame...', 'Refresh', 'Play', 'Printdialog', 'Paste to Clipboard', 'Scan', and 'Stop'; 'Profile...' with a dropdown and 'Save' button; 'Navigation...' with 'zoom', 'Rezoom', 'zoom -', 'zoom +', '<<', and '>>' buttons; and 'Trend Preferences...' with 'Activate', 'Axis...', 'Color', and 'Curves...' buttons. A list of data series is shown in a table:

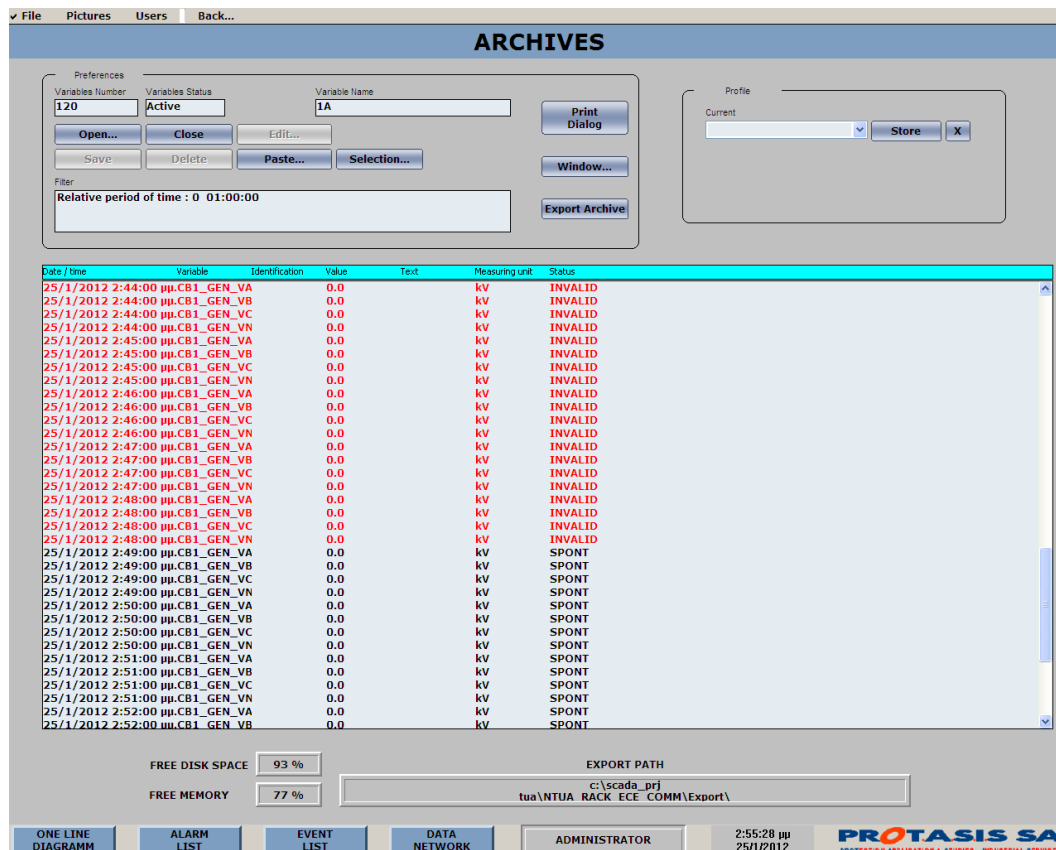
AV(1A,CB1_GEN_VN)	CB1_GEN_VN
AV(1A,CB1_GEN_VC)	CB1_GEN_VC
AV(1A,CB1_GEN_VB)	CB1_GEN_VB
AV(1A,CB1_GEN_VA)	CB1_GEN_VA
CB1_GEN_VN	CB1_GEN_VN
CB1_GEN_VC	CB1_GEN_VC
CB1_GEN_VB	CB1_GEN_VB
CB1_GEN_VA	CB1_GEN_VA

The main plot area is titled 'MV VOLTAGES' and shows a graph with a y-axis labeled '[kV]' ranging from 1.3 to 13.0 and an x-axis with time markers: 01:54:45 p.m 01/25/2012, 02:09:47 p.m 01/25/2012, 02:24:50 p.m 01/25/2012, 02:39:52 p.m 01/25/2012, and 02:54:55 p.m 01/25/2012. The plot area is currently empty. At the bottom, there is a status bar with buttons for 'ONE LINE DIAGRAM', 'ALARM LIST', 'EVENT LIST', 'DATA NETWORK', 'ADMINISTRATOR', and a timestamp '2:54:48 μμ 25/1/2012'. The logo for 'PROTASIS SA' is also visible.

Εικόνα 2.44: Παράθυρο επιλογής δεδομένου και οθόνη Trend Selection του εργαστηριακού SCADA

### 2.4.2.7 Περιγραφή οθόνης ARCHIVES

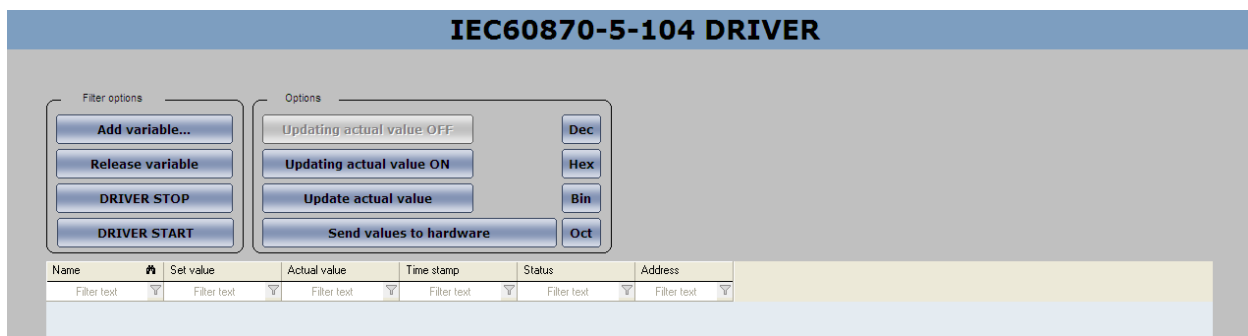
Ακόμη, από το μενού Pictures→Archives, μπορείτε να μεταβείτε στην οθόνη Archives στην οποία δίνεται η δυνατότητα να προβάλλετε το αρχείο καταγραφής των τιμών των μετρούμενων από τους Η/Ν μεγεθών. Όταν στην στήλη STATUS εμφανίζεται η λέξη INVALID, η καταγεγραμμένη τιμή του συγκεκριμένου μεγέθους θα πρέπει να θεωρείται ότι είναι εσφαλμένη διότι πάθηκε ενώ υπήρχε πρόβλημα στην σύνδεση του SCADA με το SEL-3354 και άρα με τους Η/Ν. Αντιθέτως όταν στη στήλη STATUS υπάρχει η λέξη SPONT, η καταγεγραμμένη τιμή μπορεί να θεωρείται έγκυρη.



Εικόνα 2.45: Οθόνη Archives του εργαστηριακού SCADA

### 2.4.2.8 Περιγραφή οθόνης VARIABLE TEST

Επίσης, από το μενού Pictures→Variable Test, παρέχεται πρόσβαση σε μία οθόνη που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή της ορθής λειτουργίας του SCADA. Ο χρήστης μπορεί σε αυτή την οθόνη να θέσει τιμές σε μεταβλητές του SCADA ώστε να ελέγξει αν η συμπεριφορά του είναι η αναμενόμενη.

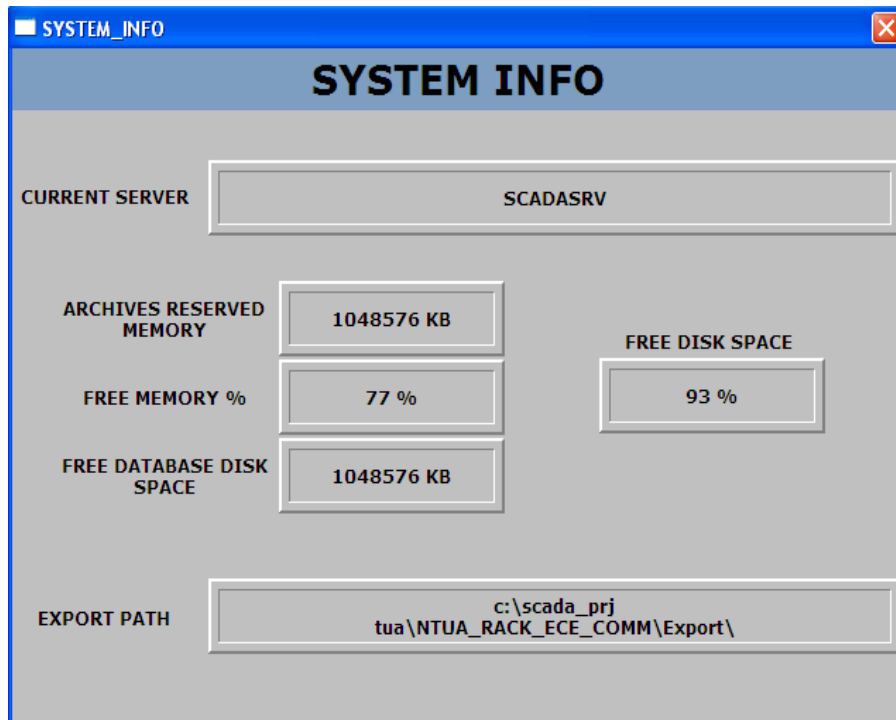


Εικόνα 2.46: Οθόνη Variable Test του εργαστηριακού SCADA



### 2.4.2.9 Περιγραφή οθόνης SYSTEM INFO

Τέλος, από το μενού File→System Info, εμφανίζεται μια οθόνη η οποία είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται περισσότεροι από ένας ηλεκτρονικοί υπολογιστές για την εκτέλεση του προγράμματος SCADA. Στην οθόνη αυτή ο χρήστης μπορεί να δει ποιος υπολογιστής χρησιμοποιείται την συγκεκριμένη στιγμή, πληροφορίες που αφορούν την διαθέσιμη ελεύθερη μνήμη και αποθηκευτικό χώρο στο σκληρό δίσκο του καθώς και τον φάκελο όπου αποθηκεύονται οι καταγραφές του SCADA.



Εικόνα 2.47: Οθόνη System Info του εργαστηριακού SCADA

### 2.4.3 Περιγραφή λογισμικού RealVNC

Το πρόγραμμα RealVNC δίνει τη δυνατότητα απομακρυσμένης σύνδεσης στην επιφάνεια εργασίας της συσκευής SEL-3354. Εκτελώντας το πρόγραμμα RealVNC, εμφανίζεται μια οθόνη που ζητά να εισάγετε την IP διεύθυνση που έχει ανατεθεί στην συσκευή SEL-3354. Κατόπιν, μεταβαίνετε σε ένα δεύτερο παράθυρο το οποίο ζητά να πληκτρολογήσετε τον κωδικό πρόσβασης που έχει καθοριστεί για την σύνδεση αυτή. Ο Πίνακας 2.4 περιέχει τις ρυθμίσεις που έχουν γίνει για το εργαστηριακό σύστημα προστασίας.

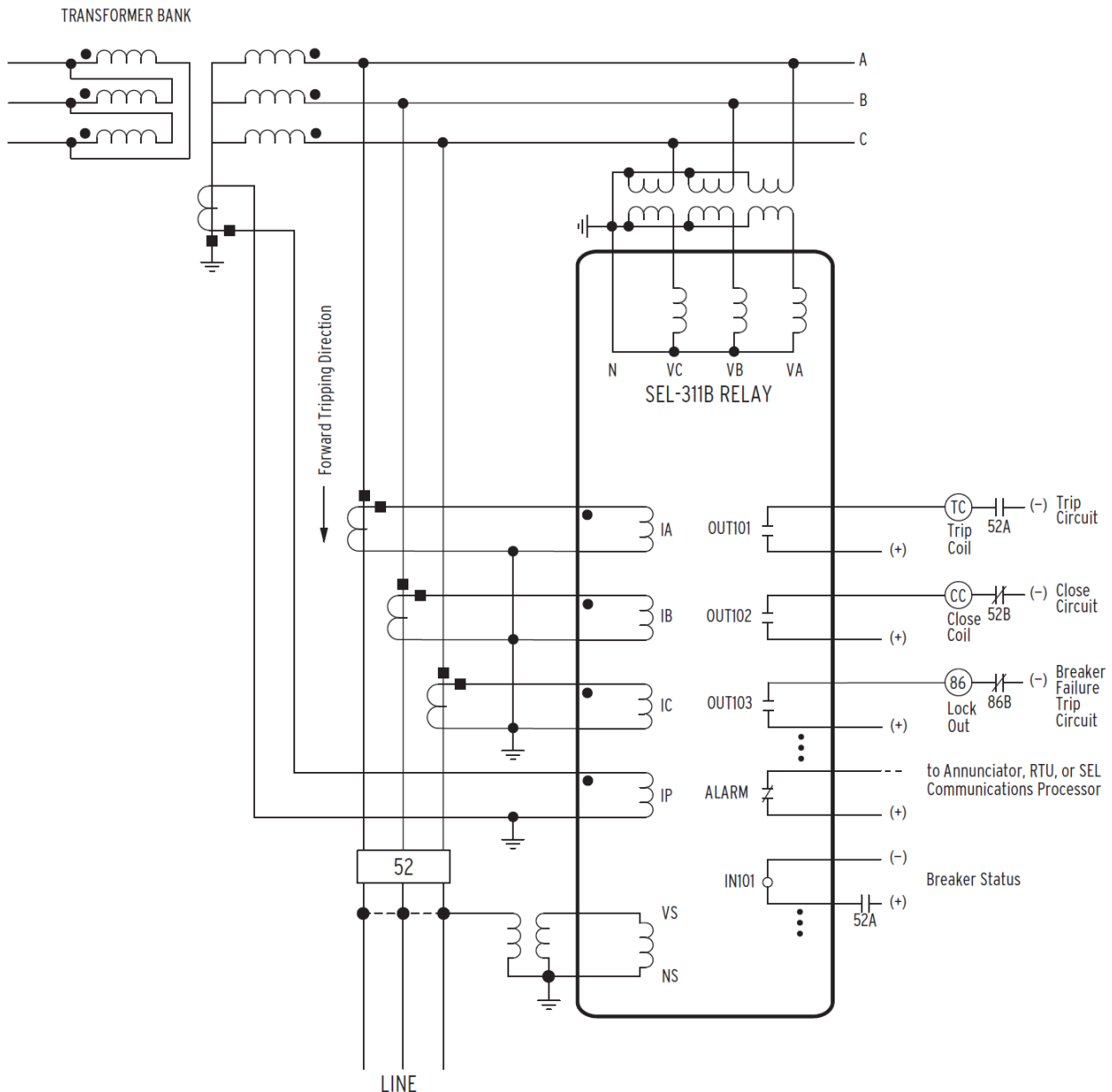
<b>IP διεύθυνση</b>	192.168.1.150
<b>Κωδικός πρόσβασης</b>	123456

Πίνακας 2.4: IP διεύθυνση και κωδικός πρόσβασης για απομακρυσμένη σύνδεση στην επιφάνεια εργασίας της συσκευής SEL-3354 μέσω του προγράμματος RealVNC

Επισημαίνεται ότι το πρόγραμμα RealVNC έχει εγκατασταθεί και στη συσκευή SEL-3354 από την οποία μπορούμε να συνδεθούμε απομακρυσμένα με το PC, αν κάτι τέτοιο χρειαστεί, με τον ίδιο κωδικό πρόσβασης αλλά με διεύθυνση IP 192.168.1.160.

## 2.5 Περιγραφή ψηφιακού Η/Ν SEL-311B

Ο ψηφιακός Η/Ν SEL-311B χρησιμοποιείται από το εργαστηριακό σύστημα προστασίας για την προστασία της γραμμής μεταφοράς του δικτύου. Στην Εικόνα 2.48 φαίνεται ένας τυπικός τρόπος σύνδεσης του Η/Ν SEL-311B σε μία γραμμή μεταφοράς, μαζί με τους απαραίτητους Μ/Σ υποβιβασμού τάσης και έντασης, για την επίτευξη προστασίας αποστάσεως και υπερεντάσεως και δημιουργία σχήματος αυτόματης επαναφοράς των Δ/Ι.

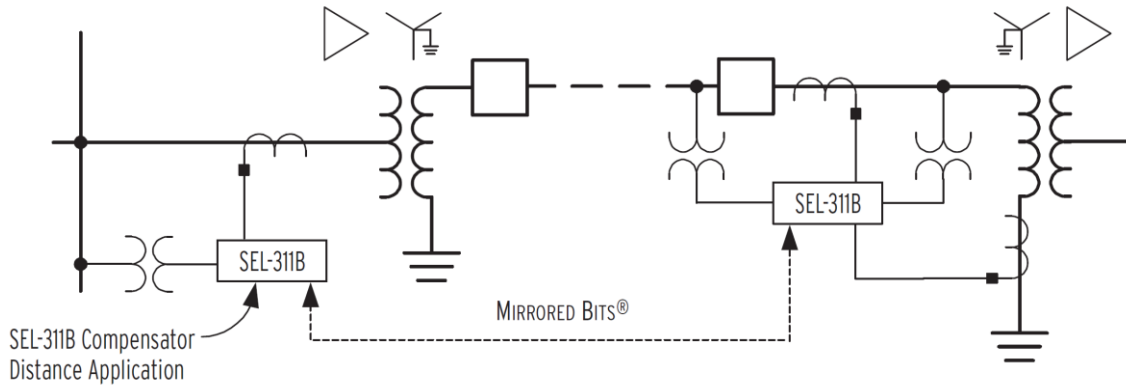


Voltage Channel VS does not need to be connected. It is used only in voltage and synchronism check elements and voltage metering.

In this example, current Channel IP provides current polarization for a directional element used to control ground elements.

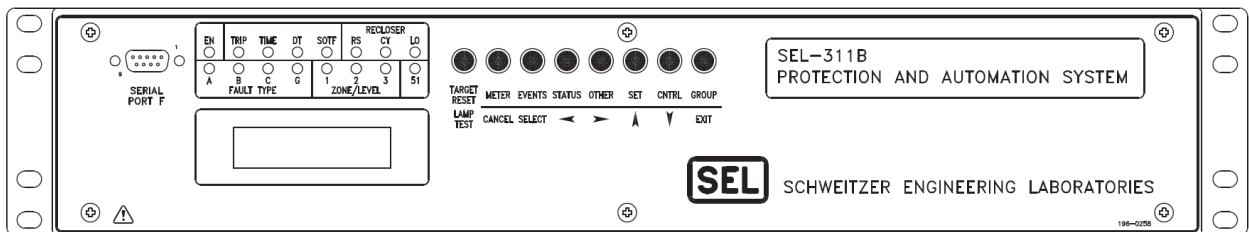
*Εικόνα 2.48: Τρόπος σύνδεσης Η/Ν SEL-311B για επίτευξη προστασίας αποστάσεως και υπερεντάσεως και δημιουργία σχήματος αυτόματης επαναφοράς Δ/Ι σε γραμμή μεταφοράς [17]*

Επίσης, ο εν λόγω Η/Ν μπορεί να επικοινωνήσει με άλλους Η/Ν αποστάσεως μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας MIRRORING BITS<sup>®</sup> που διαθέτει ώστε να δημιουργηθούν σχήματα προστασίας γραμμών μεταφοράς μέσω καναλιών επικοινωνίας. Στην Εικόνα 2.49 φαίνεται ένα παράδειγμα ενός τέτοιου σχήματος προστασίας.



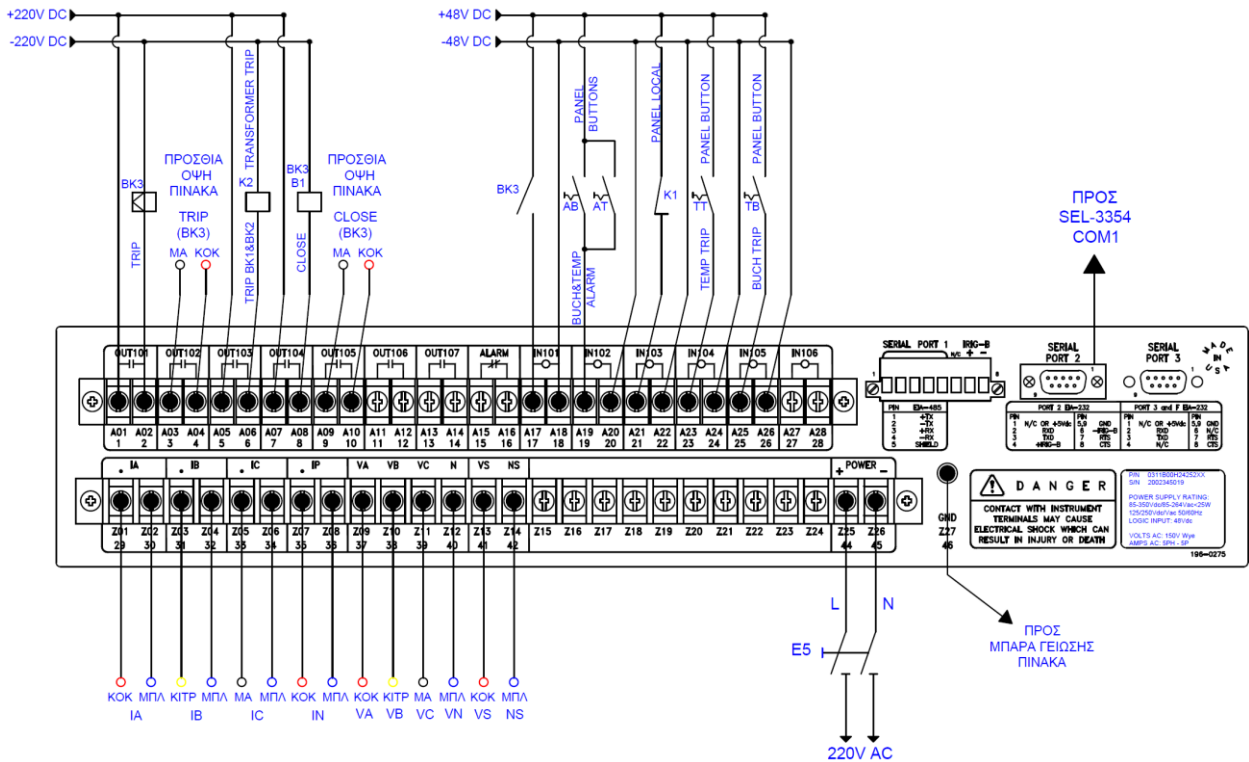
Εικόνα 2.49: Προστασία γραμμής μεταφοράς με Η/Ν SEL-311B και κανάλι επικοινωνίας MIRRORED BITS® [17]

Στην Εικόνα 2.50 φαίνεται η πρόοψη του Η/Ν SEL-311B.



Εικόνα 2.50: Πρόοψη Η/Ν SEL-311B [17]

Στην Εικόνα 2.51 φαίνεται η οπίσθια όψη του Η/Ν SEL-311B του εργαστηριακού συστήματος μαζί με τις συνδέσεις που έχουν γίνει.



Εικόνα 2.51: Οπίσθια όψη Η/Ν SEL-311B του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [15]

### 2.5.1 Προδιαγραφές

Ο ψηφιακός Η/Ν SEL-311B του εργαστηριακού συστήματος έχει τις εξής προδιαγραφές:

<b>Part Number (P/N)</b>	0311B00H24252XX
<b>Serial Number (S/N)</b>	2002345019
<b>Firmware Identifier (FID)</b>	SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703
<b>Checksum Identifier (CID)</b>	3C2F
<b>Protection</b>	Standard με τρεις ζώνες προστασίας αποστάσεως γραμμής μεταφοράς μαζί με στοιχεία τάσεως και υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας, δυνατότητα ρύθμισης λογικής αυτόματης επαναφοράς (reclosing logic) των Δ/Ι και λογική ελέγχου συγχρονισμού
<b>Firmware</b>	Standard
<b>Chassis</b>	2U
<b>Mounting</b>	Horizontal Rack Mount
<b>LCD Interface</b>	LCD & Targets
<b>Power Supply</b>	125/250 V <sub>dc</sub> or V <sub>ac</sub>
<b>Burden</b>	<25W
<b>Secondary Input Voltage</b>	V <sub>a</sub> , V <sub>b</sub> , V <sub>c</sub> για συνδεσμολογία αστέρα με μέγιστο τα 150V <sub>ac</sub>
<b>Secondary Input Current</b>	5 Amp Phase and 5 Amp Polarizing Current
<b>Control Input Voltage</b>	48V <sub>dc</sub>
<b>Communications Protocol</b>	SEL ASCII, SEL Compressed ASCII, SEL Distributed Port Switch (LMD), SEL Fast Meter with Configuration, Fast Operate, Fast SER, and MIRRORED BITS <sup>®</sup> Communications

Πίνακας 2.5: Προδιαγραφές Η/Ν SEL-311B του εργαστηριακού συστήματος [18]

Επιπροσθέτως, διαθέτει 3 σειριακές θύρες επικοινωνίας τύπου EIA-232 (μία στην πρόψη και δύο στην οπίσθια όψη του) καθώς και μία τύπου EIA-485 στην οπίσθια όψη του.

### 2.5.2 Στοιχεία αποστάσεως

Ο Η/Ν SEL-311B διαθέτει τρεις ζώνες προστασίας αποστάσεως φάσης και γης τύπου mho, οι οποίες ρυθμίζονται ανεξάρτητα μεταξύ τους. Από αυτές, η 1η και 2η ζώνη λειτουργούν μόνο προς τα κατάντη του Η/Ν, ενώ η 3η ζώνη μπορεί να ρυθμιστεί να λειτουργεί είτε προς τα κατάντη, είτε προς τα ανάντη. Τα στοιχεία αποστάσεως φάσης προστατεύουν τη γραμμή από βραχυκυκλώματα διφασικά με ή χωρίς γη καθώς και από συμμετρικά τριφασικά βραχυκυκλώματα, ενώ τα στοιχεία αποστάσεως γης εντοπίζουν μόνο μονοφασικά προς γη βραχυκυκλώματα.

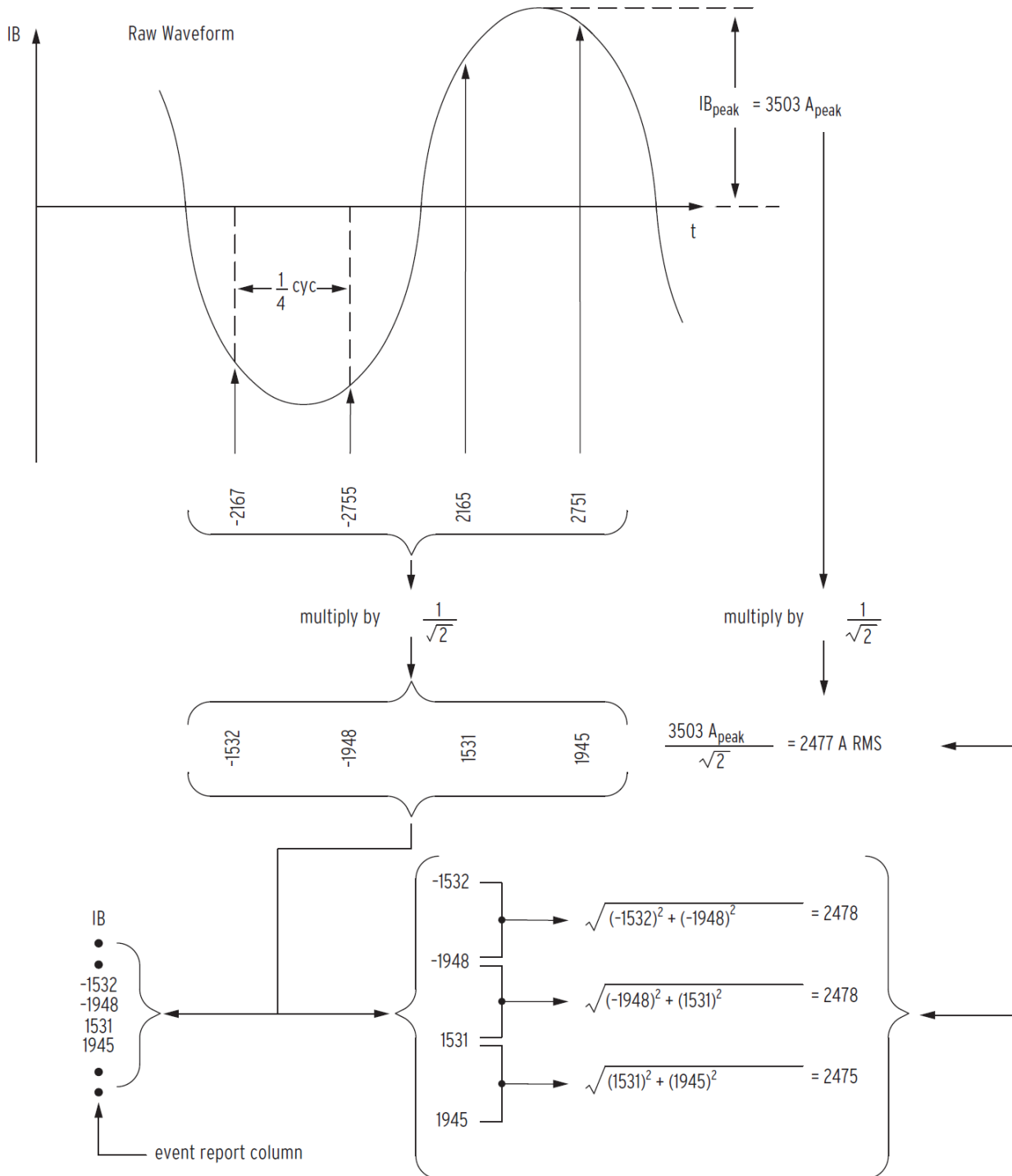
Τα στοιχεία αποστάσεως φάσης του Η/Ν που μπορούν να λειτουργήσουν είτε με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη, είτε με αντισταθμισμένη πόλωση. Η αντισταθμισμένη πόλωση προτιμάται στις εξής περιπτώσεις:

- Όταν οι Μ/Σ υποβιβασμού τάσης και έντασης του Η/Ν έχουν εγκατασταθεί πριν από κάποιον Μ/Σ τριγώνου-αστέρα που προηγείται μιας γραμμής μεταφοράς.
- Όταν απαιτείται ένας διαφορετικός τρόπος λειτουργίας της προστασίας απόστασης ως δευτερεύουσα προστασία.
- Όταν επιθυμούμε να έχουμε τη δυνατότητα παρεμπόδισης του σχήματος αυτόματης επαναφοράς των Δ/Ι σε περίπτωση εμφάνισης τριφασικών σφαλμάτων.

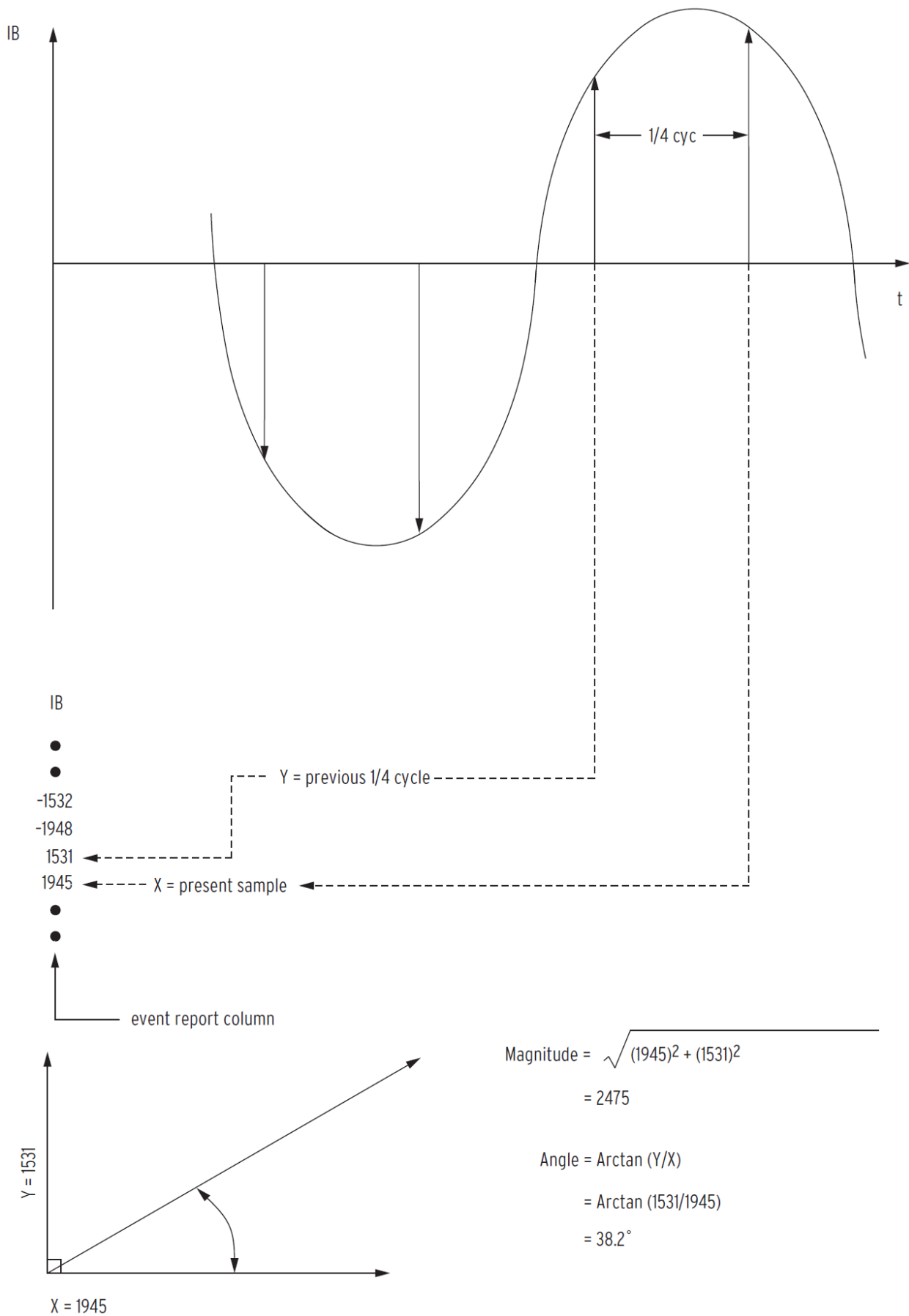
Τα στοιχεία γης του εν λόγω Η/Ν λειτουργούν αποκλειστικά με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη.

**2.5.2.1 Αναπαράσταση των μετρούμενων ρευμάτων και τάσεων ως διανύσματα**

Τα ρεύματα και οι τάσεις από τους Μ/Σ υποβιβασμού έντασης και τάσης του Η/Ν SEL-311B υφίστανται δειγματοληψία για να αναπαρασταθούν ως διανύσματα. Το πιο πρόσφατο δείγμα τους θεωρείται ως το πραγματικό περιεχόμενο του διανύσματος, ενώ το δείγμα που πάρθηκε ένα τέταρτο του κύκλου νωρίτερα θεωρείται ως το φανταστικό περιεχόμενό του. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται με περισσότερη λεπτομέρεια μέσα από τις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 2.52: Τρόπος υπολογισμού των rms τιμών των μετρούμενων από τους Μ/Σ υποβιβασμού μεγεθών τάσης και έντασης στον Η/Ν SEL-311B [17]



Εικόνα 2.53: Τρόπος αναπαράστασης των μετρούμενων από τους Μ/Σ υποβιβασμού μεγεθών τάσης και έντασης σε μορφή διανυσμάτων στον H/N SEL-311B [17]

**2.5.2.2 Λειτουργία στοιχείων αποστάσεως με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη**

Τα στοιχεία αποστάσεως του H/N SEL-311B που χρησιμοποιούν πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη δεν κινδυνεύουν να δυσλειτουργήσουν λόγω σφαλμάτων μηδενικής τάσης και διευρύνουν την χαρακτηριστική λειτουργίας τύπου mho τους με αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία τους για ένα αρκετά σημαντικό εύρος αντιστάσεων σφάλματος.

**2.5.2.2.1 Περιγραφή αρχής λειτουργίας**

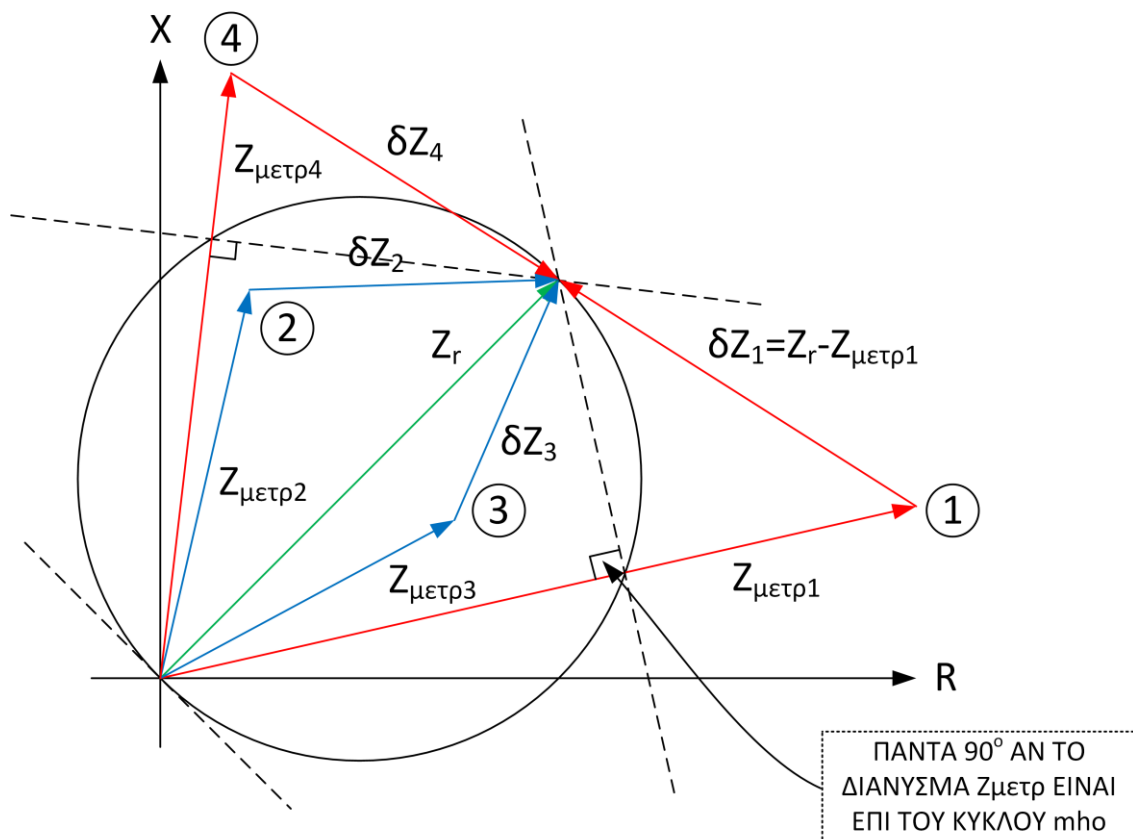
Για να εξηγήσουμε τον τρόπο λειτουργίας των εν λόγω στοιχείων, ας θεωρήσουμε ότι ένας H/N αποστάσεως τύπου mho πολώνεται από την εκάστοτε μετρούμενη από τους M/Σ τάση του και έστω τότε το διάνυσμα

$$\delta V = Z_r \cdot I - V$$

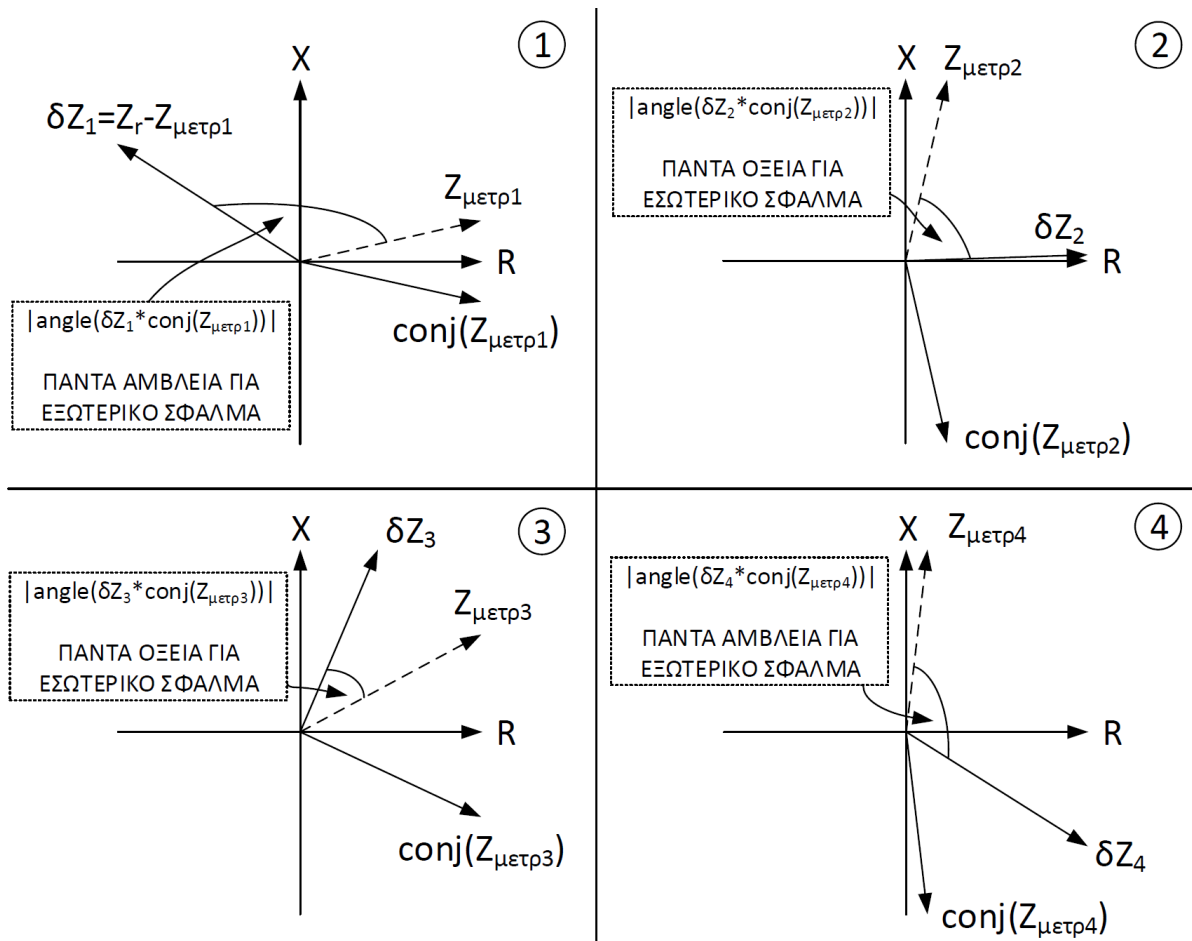
όπου  $Z_r = r \cdot Z$  είναι η εμβέλεια της χαρακτηριστικής mho του H/N ως ποσοστό  $r$  επί του διανύσματος της σύνθετης αντίστασης της γραμμής  $Z$  που επιτηρεί,  $I$  το μετρούμενο ρεύμα και  $V$  η μετρούμενη τάση.

Έπειτα από διερεύνηση και με τη βοήθεια των παρακάτω εικόνων, διαπιστώνονται τα εξής:

- Όταν η μετρούμενη σύνθετη αντίσταση βρίσκεται επάνω στον κύκλο mho, η γωνία  $\theta$  μεταξύ των διανυσμάτων  $\delta V$  και  $V$  είναι πάντοτε  $\theta = 90^\circ$ .
- Όταν η μετρούμενη σύνθετη αντίσταση είναι μέσα στον κύκλο mho, η γωνία  $\theta$  μεταξύ των διανυσμάτων  $\delta V$  και  $V$  είναι  $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$ .
- Όταν η μετρούμενη σύνθετη αντίσταση είναι μέσα στον κύκλο mho, η γωνία  $\theta$  μεταξύ των διανυσμάτων  $\delta V$  και  $V$  είναι  $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$ .



Εικόνα 2.54: Διερεύνηση σχέσεων διανυσμάτων σε χαρακτηριστική τύπου mho (1)



Εικόνα 2.55: Διερεύνηση σχέσεων διανυσμάτων σε χαρακτηριστική τύπου mho (2)

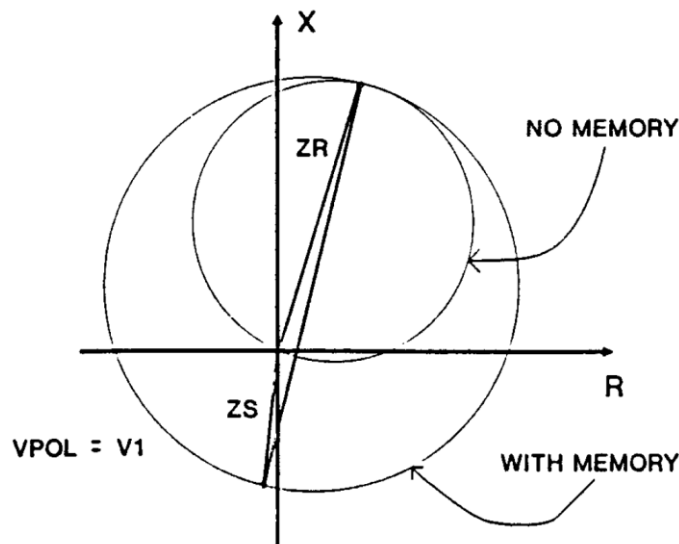
Με βάση αυτές τις παρατηρήσεις, διαπιστώνεται ότι ένας τρόπος ελέγχου της θέσης του διανύσματος της μετρούμενης σύνθετης αντίστασης σε σχέση με έναν κύκλο τύπου mho είναι ο έλεγχος της ποσότητας  $P = Re[\delta V \cdot V^*]$ . Ισχύουν τότε τα εξής:

- Όταν  $P > 0$ , τότε η μετρούμενη σύνθετη αντίσταση βρίσκεται εντός του κύκλου mho.
- Όταν  $P = 0$ , τότε η μετρούμενη σύνθετη αντίσταση βρίσκεται επί του κύκλου mho.
- Όταν  $P < 0$ , τότε η μετρούμενη σύνθετη αντίσταση βρίσκεται εκτός του κύκλου mho.

Η πόλωση, όμως, ενός H/N αποστάσεως με χαρακτηριστική τύπου mho από την ίδια την μετρούμενη τάση του ενέχει κινδύνους όσον αφορά την ασφάλεια του, αφού σε περίπτωση εμφάνισης ενός σφάλματος μηδενικής μετρούμενης τάσης, παύει να υπάρχει η απαραίτητη για τη λειτουργία του τάση πόλωσης. Σε αυτή την περίπτωση ο H/N δεν είναι πια ασφαλής μιας και η γωνία ενός διανύσματος (σχεδόν) μηδενικού μέτρου δεν είναι αξιόπιστη.

Για να αποφευχθούν αυτά τα προβλήματα ασφαλείας, ο H/N SEL-311B έχει σχεδιαστεί ώστε να χρησιμοποιεί πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη. Με αυτό τον τρόπο, η χαρακτηριστική λειτουργίας τύπου mho επεκτείνεται προς τα πίσω όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.56.





Εικόνα 2.56: Χαρακτηριστική τύπου mho H/N αποστάσεως με/χωρίς πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη [19]

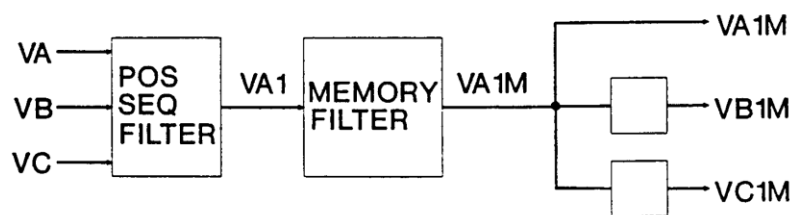
Έτσι, η ποσότητα P υπολογίζεται πλέον από το τύπο

$$P = \text{Re} \left( (Z_r \cdot I - V) \cdot V_p^* \right)$$

και με βάση το πρόσημό της διαπιστώνεται αν η μετρούμενη σύνθετη αντίσταση βρίσκεται, εντός, εκτός ή επί της διευρυμένης χαρακτηριστικής λειτουργίας.

#### 2.5.2.2.2 Τρόπος υπολογισμού πόλωσης τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη

Η πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη υπολογίζεται από τον H/N SEL-311B ακολουθώντας τη διαδικασία που φαίνεται στην Εικόνα 2.57.



Εικόνα 2.57: Τρόπος υπολογισμού τάσης πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη [19]

Αρχικά, λαμβάνονται δείγματα των τάσεων των τριών φάσεων κάθε 90° (δηλαδή τέσσερις φορές ανά κύκλο). Έπειτα, οι τιμές αυτές περνούν μέσα από κατάλληλο ψηφιακό φίλτρο ώστε να αφαιρεθεί η DC συνιστώσα τους και να παραχθούν τελικά τα διανύσματα των τάσεων των τριών φάσεων. Ακολούθως, ο H/N υπολογίζει τη τάση θετικής ακολουθίας της φάσης A βάσει του τύπου (θεωρώντας θετική ακολουθία των τάσεων του δικτύου)

$$V_{A1} = \frac{V_A - (a^2 + 1)V_B - (a + 1)V_C}{3}$$

όπου  $a = 1 \angle 120^\circ$ . Οι συντελεστές των  $V_B$  και  $V_C$  έχουν γραφτεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μην περιστρέφουν τις τάσεις κατά  $\pm 120^\circ$ , αλλά να τις στρέφουν αρχικά κατά  $\mp 60^\circ$  αντίστοιχα και

έπειτα να τις αντιστρέφουν, διότι έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη μεταβατική απόκριση του φίλτρου POS SEQ λόγω των μικρότερων χρονικών καθυστερήσεων που απαιτούνται για τον υπολογισμό αυτό.

Μετά τον υπολογισμό της τάσης  $V_{A1}$ , ο H/N υπολογίζει τη πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη βάσει του τύπου

$$V_{A1M_k} = \frac{1}{16} V_{A1k} - \frac{15}{16} V_{A1M_{k-2}}$$

όπου  $k$  είναι το τέταρτο του κύκλου στον οποίο βρισκόμαστε. Όπως είναι φανερό, η εξίσωση αυτή φέρνει την τάση πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη που είχε υπολογιστεί δύο  $k$  ( $180^\circ$ ) νωρίτερα, την αντιστρέφει και κρατάει τα  $15/16$  της στα οποία προσθέτει το  $1/16$  της τάσεως θετικής ακολουθίας που υπολόγισε στο τρέχον  $k$ . Με αυτό τον τρόπο, αποδεικνύεται ότι σε μία απότομη μείωση της τάσεως, ο H/N έχει τη δυνατότητα για μερικούς κύκλους να λειτουργήσει ορθά.

Μετά τον υπολογισμό της, η τάση πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη  $V_{A1M_k}$  που προέκυψε περιστρέφεται κατά  $\pm 60^\circ$  και τα αποτελέσματα αντιστρέφονται ώστε να υπολογιστούν οι  $V_{B1M_k}$  και  $V_{C1M_k}$  αντίστοιχα. Τέλος, για τον υπολογισμό των τάσεων πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη για τα στοιχεία αποστάσεως των φάσεων BC, CA και AB, αρκεί μια απλή περιστροφή των  $V_{A1M_k}$ ,  $V_{B1M_k}$  και  $V_{C1M_k}$  κατά  $+90^\circ$ .

#### 2.5.2.2.3 Θέματα ασφαλείας που ανακύπτουν

Η χρήση πόλωσης τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη στα στοιχεία αποστάσεως και η διεύρυνση της χαρακτηριστικής  $mho$  που αυτή συνεπάγεται, έλυσε μεν κάποια προβλήματα, αλλά δημιούργησε κάποια άλλα. Ο σημαντικότερος κίνδυνος που αντιμετωπίζει αυτός ο τρόπος πόλωσης είναι ότι, για δεδομένο σφάλμα επί της γραμμής, μπορεί να λειτουργήσουν πάνω από ένα στοιχεία αποστάσεως.

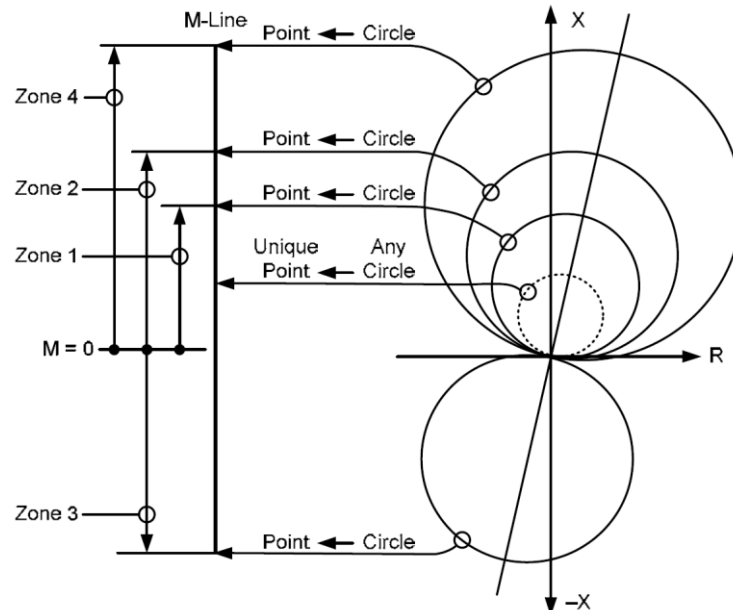
Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος αποδεικνύεται μέσα από εκτενείς μελέτες ότι ένα πολύ καλό εργαλείο διάκρισης του τύπου σφάλματος και συνεπώς ορθής επιλογής του στοιχείου προστασίας που θα πρέπει κάθε φορά να λειτουργήσει είναι το μέτρο των υπολογιζόμενων ποσοτήτων  $P$  των στοιχείων αποστάσεως, οι οποίες προσομοιάζουν σαν μεγέθη με τις ροπές που συναντούμε σε επαγωγικούς H/N.

#### 2.5.2.2.4 Τρόπος ελέγχου συνθηκών λειτουργίας από τους ψηφιακούς H/N

Για κάθε στοιχείο αποστάσεως θα χρειάζονταν ένας συγκριτής για κάθε ζώνη προστασίας και για κάθε συνδυασμό ρευμάτων και τάσεων που χρησιμοποιούνται. Για να εξοικονομηθεί υπολογιστικός χρόνος χωρίς καμιά απώλεια από πλευράς απόδοσης, ο H/N SEL-311B ελέγχει αν η μετρούμενη σύνθετη αντίσταση βρίσκεται εντός, εκτός ή επί τους κύκλους  $mho$  των ζωνών προστασίας, υπολογίζοντας την εμβέλεια του κύκλου  $mho$  που αντιστοιχεί στις εκάστοτε μετρούμενες και υπολογιζόμενες τιμές των  $V$ ,  $I$  και  $V_p$ . Έστω  $r$  ένα ποσοστό επί τοις εκατό της σύνθετης αντίστασης της γραμμής. Τότε, το  $r$  του κύκλου  $mho$  που αντιστοιχεί στα εκάστοτε  $V$ ,  $I$  και  $V_p$  είναι:

$$P = Re[\delta V \cdot V_p^*] = Re([(r \cdot Z \cdot I - V) \cdot V_p^*]) = 0 \Rightarrow r = \frac{Re(V \cdot V_p^*)}{Re(Z \cdot I \cdot V_p^*)}$$

Με αυτό τον τρόπο, το  $r$  που προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση μπορεί πολύ εύκολα να συγκριθεί με τα  $r$  που έχουν ανατεθεί για κάθε ζώνη προστασίας και να αποφασιστεί αν το ανάλογο στοιχείο πρέπει να λειτουργήσει ή όχι.



Εικόνα 2.58: Αντιστοίχιση ζωνών προστασίας χαρακτηριστικής τύπου  $mho$  σε ανά μονάδα τιμές της σύνθετης αντίστασης της γραμμής μεταφοράς [20]

### 2.5.2.3 Λειτουργία στοιχείων αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση

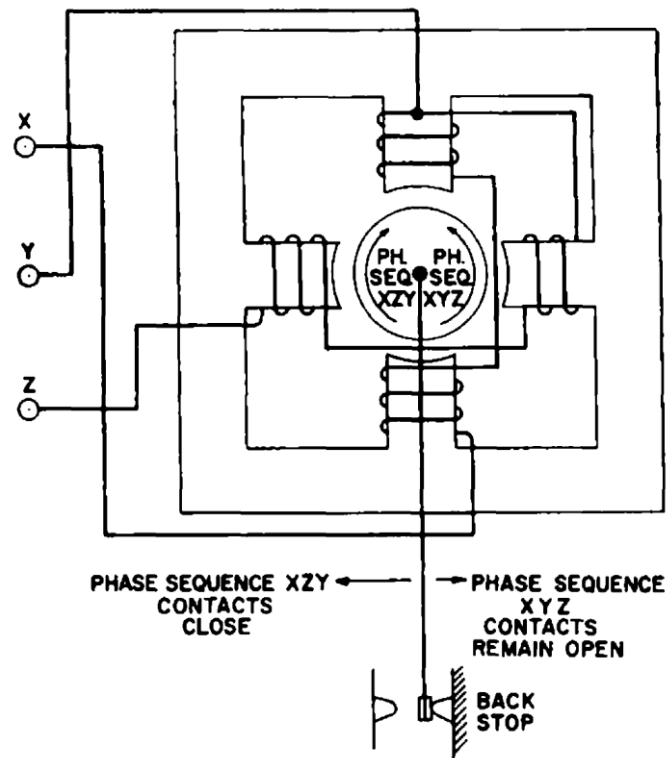
Τα στοιχεία αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση μπορούν να παρέχουν προστασία έναντι τριφασικών συμμετρικών σφαλμάτων ή διφασικών σφαλμάτων με ή χωρίς γη. Ουσιαστικά πρόκειται για δύο πολυφασικά στοιχεία, εκ των οποίων το πρώτο αποκρίνεται καλύτερα σε διφασικά σφάλματα χωρίς γη, ενώ το δεύτερο σε τριφασικά σφάλματα. Όσον αφορά τα διφασικά σφάλματα με γη, αποδεικνύεται ότι καλύπτονται επαρκώς με συνδυασμό και των δύο στοιχείων.

#### 2.5.2.3.1 Περιγραφή M/Σ αντιστάθμισης

Τα στοιχεία αυτά χαρακτηρίζονται από τους M/Σ αντιστάθμισης που χρησιμοποιούνταν στους παλιούς ηλεκτρομηχανικούς H/N αυτού του είδους, οι οποίοι ήταν M/Σ κενού αέρος που τροφοδοτούνταν στο πρωτεύον τους με ρεύμα και παρήγαγαν στο δευτερεύον τους μία τάση. Η τάση αυτή με τη σειρά της αφαιρούνταν από μια τάση του δικτύου και οι προκύπτουσες τάσεις εφαρμόζονταν εκ των υστέρων σε έναν επαγωγικό H/N, ο οποίος ανέπτυξε μία ροπή λειτουργίας ή αναστολής αναλόγως του τύπου και του σημείου του σφάλματος.

#### 2.5.2.3.2 Περιγραφή ηλεκτρομηχανικού H/N επαγωγής που χρησιμοποιούνταν

Ο επαγωγικός H/N που χρησιμοποιούνταν για αυτή την προστασία αποστάσεως λειτουργούσε ουσιαστικά ως ένας πολυφασικός κινητήρας επαγωγής. Όταν οι ακροδέκτες  $a$ ,  $b$  και  $c$  ενός κινητήρα επαγωγής τροφοδοτηθούν με τάσεις ακολουθίας  $abc$ , τότε ο κινητήρας αρχίζει να αναπτύσσει μια ροπή προς μία κατεύθυνση, ενώ όταν κάποιο εκ των ζευγών φάσεων αντιστραφεί ο κινητήρας αναπτύσσει πλέον ροπή και κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση.



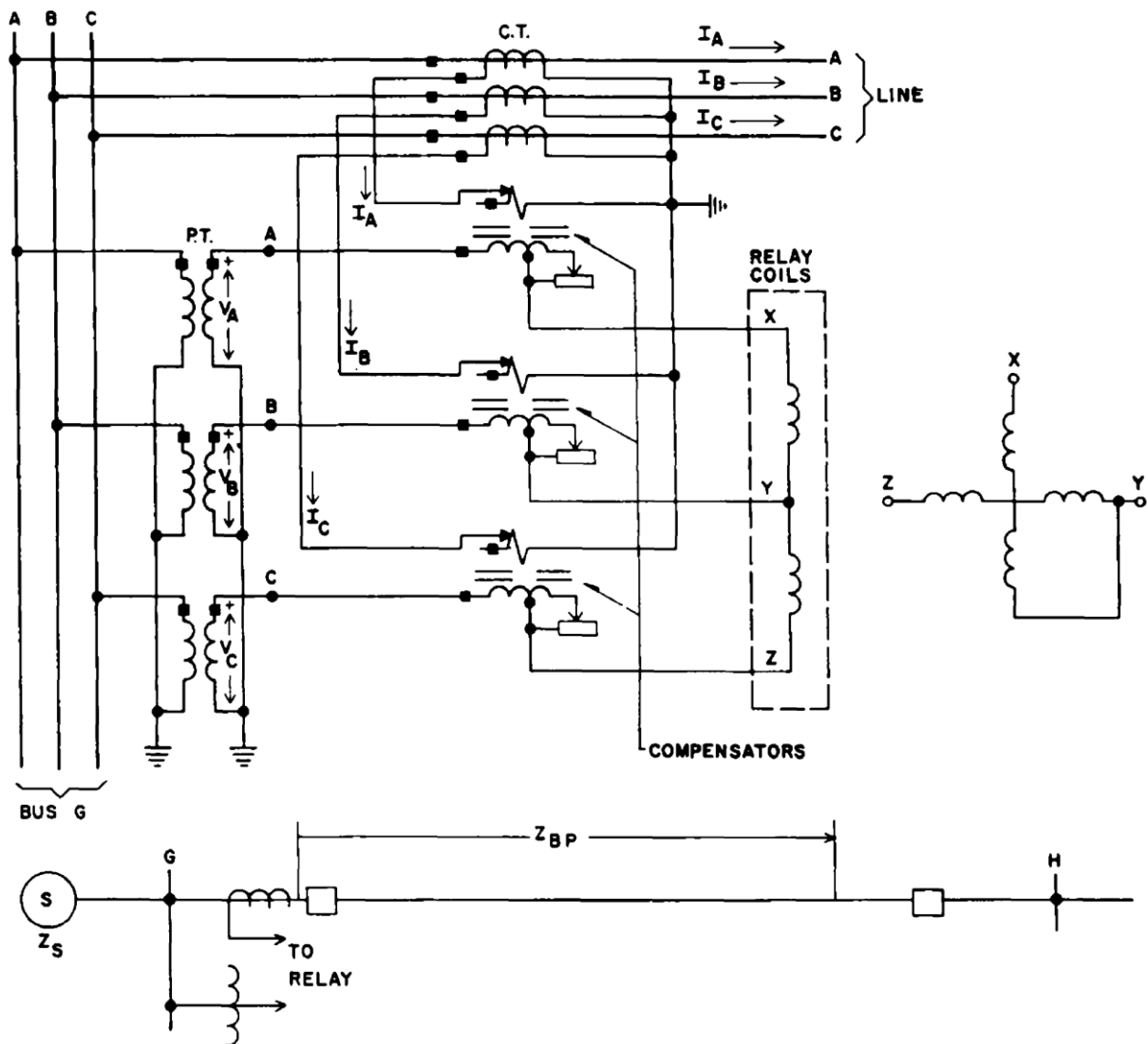
Εικόνα 2.59: Λειτουργία επαγωγικού Η/Ν που χρησιμοποιούνται για προστασία αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση [21]

Κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή χωρίς την ύπαρξη κάποιου σφάλματος στο δίκτυο και με εφαρμοζόμενες τάσεις abc, ο επαγωγικός Η/Ν έχει σχεδιαστεί ώστε να αναπτύσσει μια ροπή προς την κατεύθυνση ανοίγματος της επαφής. Όταν εμφανιζόταν κάποιο σφάλμα πέρα από το ρυθμισμένο σημείο ισορροπίας, οι εφαρμοζόμενες τάσεις διατηρούσαν την ακολουθία τους και ο Η/Ν συγκρατούσε την επαφή του ανοικτή. Όταν πάλι εμφανιζόταν σφάλμα ακριβώς στο σημείο ισορροπίας, τότε οι τάσεις που εφαρμόζονταν στον Η/Ν κατέληγαν να ισοδυναμούν με μονοφασική τροφοδοτήσή του με αποτέλεσμα να μην αναπτύσσεται καμία ροπή. Για σφάλμα επί της γραμμής μεταφοράς και μεταξύ του Η/Ν και του σημείου ισορροπίας, οι τάσεις που εφαρμόζονταν στον Η/Ν αντιστρέφονταν π.χ. σε acb ακολουθία και έτσι αναπτυσσόταν μία αντίθετη ροπή που προκαλούσε το κλείσιμο της επαφής. Τέλος, για σφάλμα πίσω από τον Η/Ν, οι εφαρμοζόμενες τάσεις παρέμεναν στην υγιή abc ακολουθία τους και ο Η/Ν διατηρούσε την επαφή του ανοικτή.

### 2.5.2.3.3 Στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διφασικά σφάλματα χωρίς γη

Στην Εικόνα 2.60 φαίνεται το στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διφασικά σφάλματα χωρίς γη. Όπως είναι φανερό, οι τάσεις του δικτύου στους ακροδέκτες Α, Β και C τροποποιούνται από την πτώση τάσης που εμφανίζεται στους Μ/Σ αντιστάθμισης για να δώσουν τελικά τις τάσεις  $V_X$ ,  $V_Y$ ,  $V_Z$  που εφαρμόζονται στον Η/Ν. Η ακολουθία των τάσεων XYZ είναι τέτοια ώστε όταν δεν ρέει καθόλου ρεύμα στη γραμμή να εμφανίζεται ροπή αναστολής στον Η/Ν και η επαφή να διατηρείται ανοικτή. Η αμοιβαία σύνθετη αντίσταση  $Z_C$  του Μ/Σ αντιστάθμισης τίθεται ίση με τη σύνθετη αντίσταση που «βλέπει» ο Η/Ν μέχρι το σημείο ισορροπίας σε τιμές δευτερεύοντος. Επίσης, ο ρυθμιζόμενος αντιστάτης που φαίνεται συνδεδεμένος στο δευτερεύον κάθε Μ/Σ αντιστάθμισης μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να κάνει τη γωνία μεταξύ του ρεύματος στο

πρωτεύον του με τη τάση στην έξοδό του ίση με τη γωνία της προστατευόμενης γραμμής μεταφοράς.



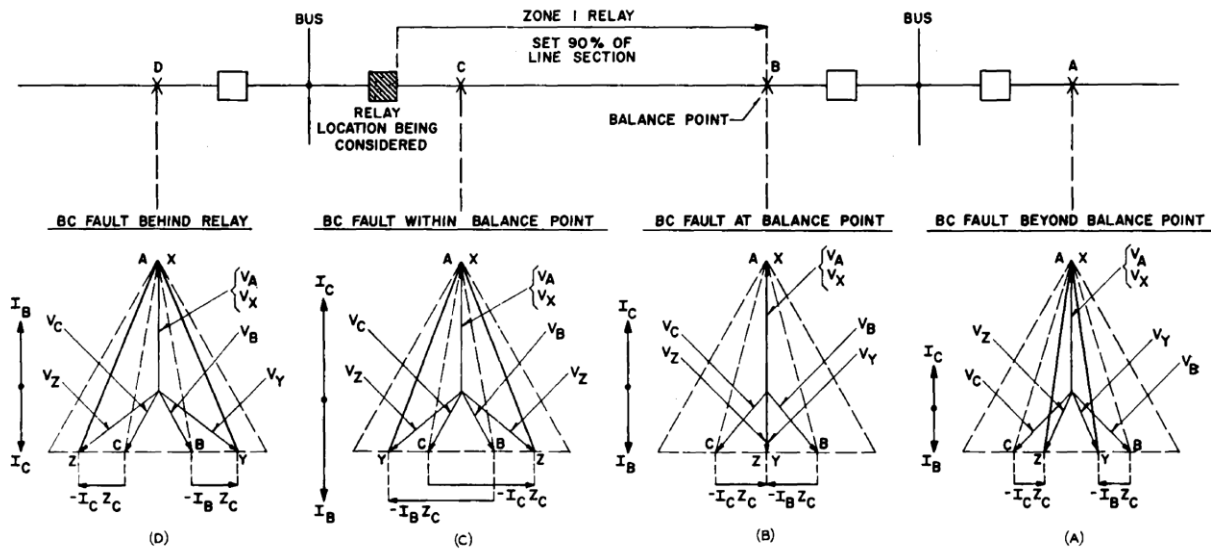
Εικόνα 2.60: Στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διφασικά σφάλματα χωρίς γη [21]

Στην Εικόνα 2.61 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλονται οι τάσεις που εφαρμόζονται στο στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διφασικά σφάλματα χωρίς γη στις φάσεις BC σε διάφορα σημεία του δικτύου υποθέτοντας ότι το ρεύμα γραμμής έχει γωνία  $90^\circ$ .

Η χαρακτηριστική και η περιοχή λειτουργίας του στοιχείου αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διφασικά σφάλματα χωρίς γη φαίνονται στην Εικόνα 2.62 όπου  $Z_s$  θεωρείται η σύνθετη αντίσταση του συστήματος πίσω από τον H/N.

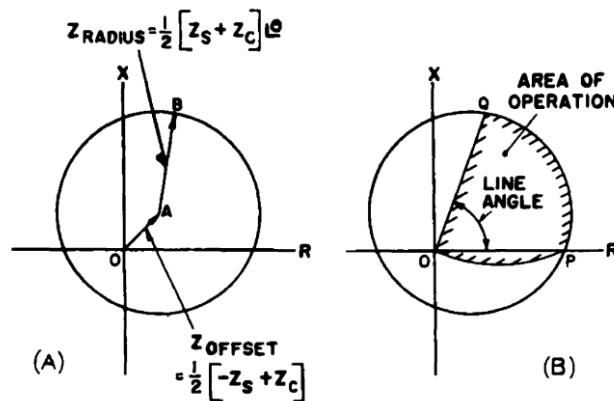
Από την Εικόνα 2.63 μπορούμε να δούμε την εξάρτηση της χαρακτηριστικής λειτουργίας του στοιχείου αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διφασικά σφάλματα χωρίς γη από την τιμή της σύνθετης αντίστασης του συστήματος. Είναι φανερό ότι για οποιαδήποτε τιμή, ο κύκλος της χαρακτηριστικής περνάει πάντα πάνω από το σημείο ισοροπίας που έχουμε θέσει βάσει της τιμής του  $Z_c$ . Επίσης, η επέκταση της χαρακτηριστικής όταν  $Z_s \gg Z_c$  αποτελεί πλεονέκτημα σε περιπτώσεις προστασίας γραμμών μεταφοράς μικρού μήκους, διότι κάνει το στοιχείο να λειτουργεί για υψηλότερες τιμές αντιστάσεων σφάλματος.

Το στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διαφασικά σφάλματα χωρίς γη λειτουργεί για όλα τα διαφασικά σφάλματα χωρίς γη, αλλά όχι για τριφασικά σφάλματα, ρεύματα φορτίου, ταλαντώσεις του συστήματος ή καταστάσεις απώλειας συγχρονισμού.

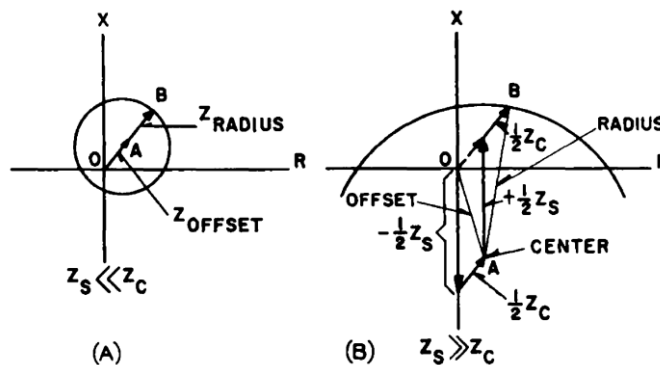


Note: The voltage triangles at each fault location, A, B, C, D, represent the voltages seen by the relay located at the shaded breaker for phase to phase faults at each location, A, B, C, D

Εικόνα 2.61: Μεταβολή διανυσμάτων τάσεων στοιχείου αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διαφασικά σφάλματα χωρίς γη στις φάσεις BC σε διάφορα σημεία του δικτύου υποθέτοντας ότι το ρεύμα γραμμής έχει γωνία 90° [21]



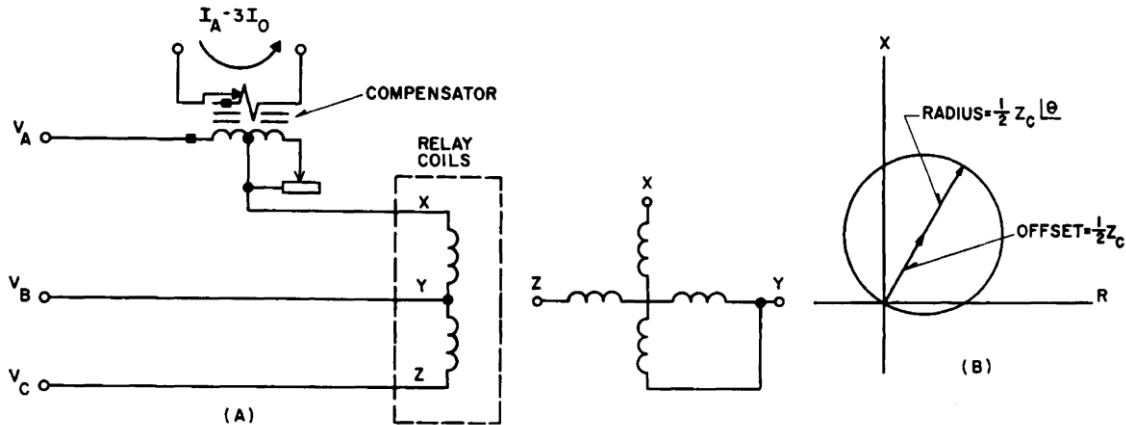
Εικόνα 2.62: Χαρακτηριστική & περιοχή λειτουργίας στοιχείου αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διαφασικά σφάλματα χωρίς γη [21]



Εικόνα 2.63: Επίδραση σύνθετης αντίστασης συστήματος στην χαρακτηριστική λειτουργίας του στοιχείου αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διαφασικά σφάλματα χωρίς γη [21]

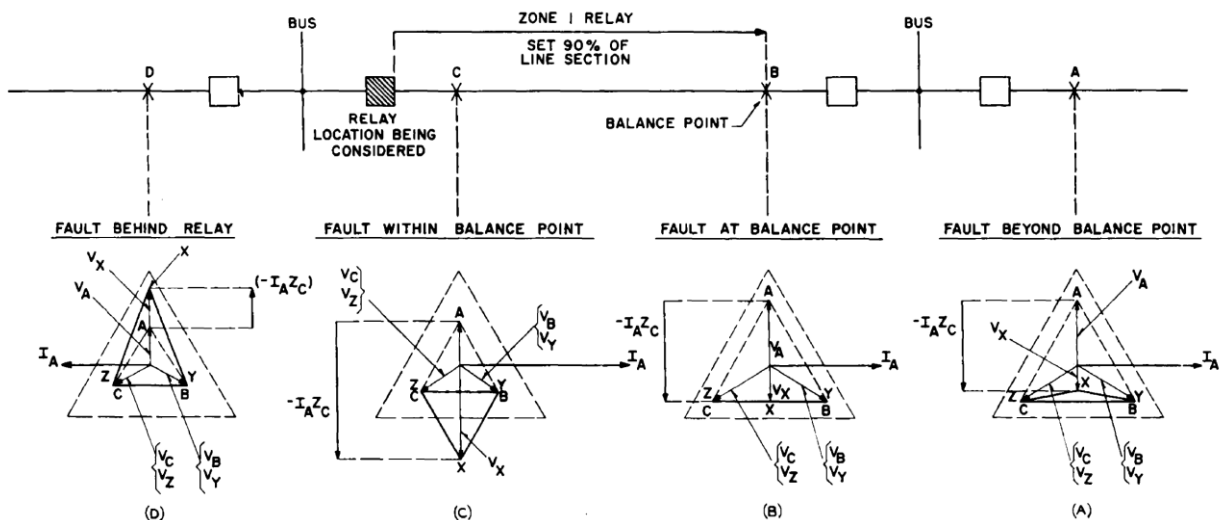
2.5.2.3.4 Στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για τριφασικά σφάλματα

Στην Εικόνα 2.64 φαίνεται το στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για τριφασικά σφάλματα μαζί με την χαρακτηριστική λειτουργίας του. Το στοιχείο αυτό διαφέρει από το στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διφασικά σφάλματα χωρίς γη στο ότι χρησιμοποιεί μόνο έναν Μ/Σ αντιστάθμισης για να λειτουργήσει. Ο Μ/Σ αντιστάθμισης έχει αμοιβαία σύνθετη αντίσταση ίση με  $1\frac{1}{2}$  φορές την επιθυμητή σύνθετη αντίσταση από φάση σε ουδέτερο του σημείου ισορροπίας σε τιμές δευτερεύοντος. Ακόμη, η χαρακτηριστική του εν λόγω στοιχείου τέμνει πάντοτε την αρχή των αξόνων και δεν εξαρτάται από την σύνθετη αντίσταση του συστήματος πριν τον Η/Ν. Ο όρος  $3I_0$  που φαίνεται θα εξηγηθεί στην 2.5.2.3.5 παράγραφο.



Εικόνα 2.64: Στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για τριφασικά σφάλματα (A) και η χαρακτηριστική λειτουργίας του (B) [21]

Στην Εικόνα 2.65 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλονται οι τάσεις που εφαρμόζονται στο στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για τριφασικά σφάλματα σε διάφορα σημεία ενός δικτύου.



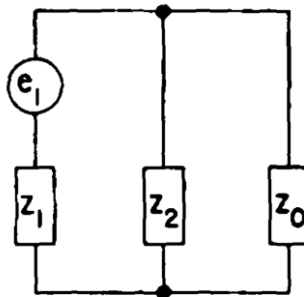
Εικόνα 2.65: Μεταβολή διανυσμάτων τάσεων στοιχείου αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για τριφασικά σφάλματα σε διάφορα σημεία του δικτύου υποθέτοντας ότι η γωνία της γραμμής είναι  $90^\circ$  [21]

Επισημαίνεται ότι για τριφασικά σφάλμα δίπλα στον Η/Ν, το εν λόγω στοιχείο αποστάσεως δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει, αφού τότε όλες οι τάσεις θα ήταν σχεδόν μηδενικές. Για να ξεπεραστεί αυτή η αδυναμία, στους ψηφιακούς Η/Ν χρησιμοποιείται πόλωση τάσης με μνήμη ενώ

στους παλιούς ηλεκτρομηχανικούς Η/Ν χρησιμοποιούνταν ένα κατάλληλο κύκλωμα σταδιακής απόσβεσης, ούτως ώστε οι τάσεις να διατηρηθούν σε αποδεκτά επίπεδα για αρκετό χρονικό διάστημα ώστε να προλάβει να λειτουργήσει το στοιχείο σωστά. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι το στοιχείο αυτό έχει και μια περιορισμένη δυνατότητα προστασίας έναντι διφασικών σφαλμάτων χωρίς γη που περιλαμβάνουν τη φάση Α όπου είναι εγκατεστημένος ο Μ/Σ αντιστάθμισης.

#### 2.5.2.3.5 Προστασία έναντι διφασικών σφαλμάτων προς γη

Για να επιτευχθεί πλήρης προστασία έναντι σφαλμάτων φάσεων, θα πρέπει τα στοιχεία αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση να μπορούν να αναγνωρίζουν και τα διφασικά σφάλματα προς γη. Τα σφάλματα αυτά αναλύονται βάσει του κυκλώματος που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.66: Ανάλυση διφασικού προς γη σφάλματος [21]

Παρατηρούμε τα εξής:

- Όταν η  $Z_0$  είναι αρκετά υψηλής τιμής, τότε η ανάλυση του διφασικού προς γη βραχυκυκλώματος τείνει να δώσει τα ίδια αποτελέσματα που θα έδινε και για ένα διφασικό σφάλμα χωρίς γη, πράγμα το οποίο μπορεί να αξιοποιήσει το στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για διφασικά σφάλματα χωρίς γη.
- Όταν η  $Z_0$  είναι πολύ μικρής τιμής, τότε η  $Z_2$  τείνει να βραχυκυκλωθεί και η όλη η ανάλυση να δώσει αποτελέσματα που προσομοιάζουν σε αυτά που εμφανίζονται κατά την εμφάνιση τριφασικών σφαλμάτων, πράγμα το οποίο μπορεί να αξιοποιήσει το στοιχείο αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση για τριφασικά σφάλματα, με την προϋπόθεση ότι θα του αφαιρεθεί το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας  $3I_0$ .

Βάσει των παρατηρήσεων που αναφέρθηκαν, διαπιστώνεται ότι τα στοιχεία αποστάσεως με αντισταθμισμένη πόλωση που παρουσιάστηκαν παρέχουν επαρκή προστασία και για τα διφασικά προς γη σφάλματα.

#### 2.5.2.4 Διαθέσιμα στοιχεία φάσης

Ο Η/Ν SEL-311B διαθέτει στοιχεία αποστάσεως φάσης που μπορούν να λειτουργήσουν είτε με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη, είτε με αντισταθμισμένη πόλωση. Για την ενεργοποίηση των εν λόγω στοιχείων προστασίας, χρησιμοποιείται η ρύθμιση E21P. Όταν τεθεί  $E21P = 1$  ή  $2$  ή  $3$ , ενεργοποιείται η πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη και ο ανάλογος αριθμός ζωνών προστασίας, ενώ όταν τεθεί  $E21P = 1C$  ή  $2C$  ή  $3C$ , ενεργοποιείται η αντισταθμισμένη πόλωση και ο ανάλογος αριθμός ζωνών προστασίας.



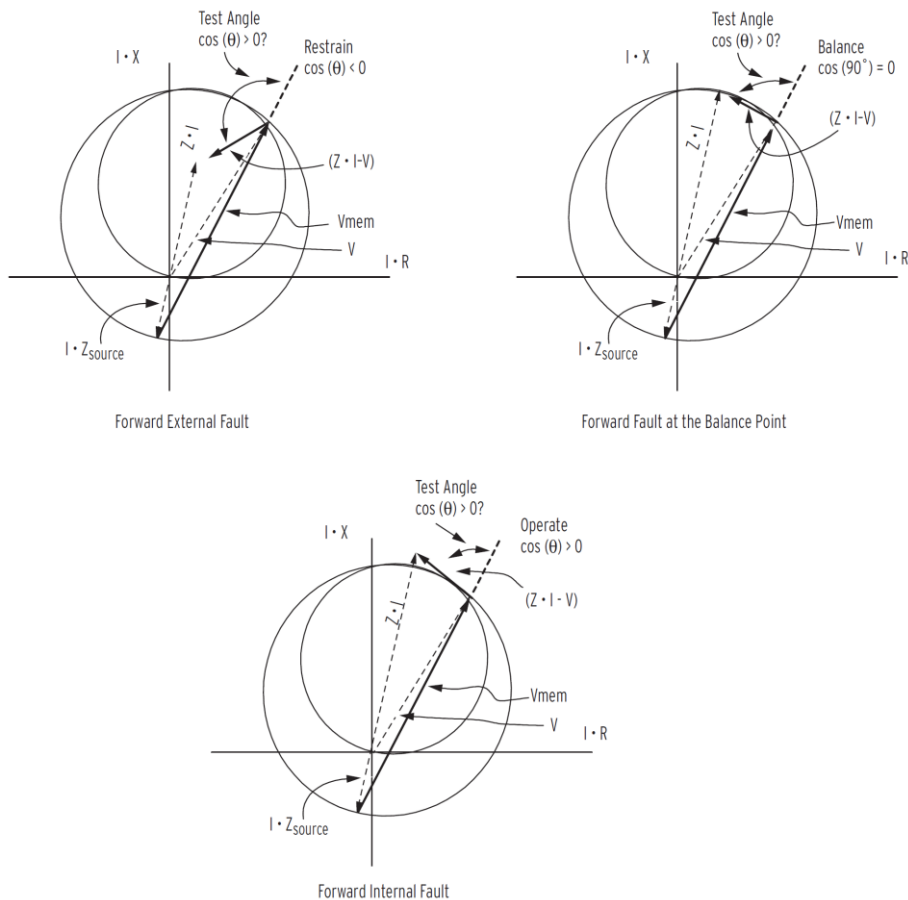
2.5.2.4.1 Με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη

Ο υπολογισμός της εμβέλειας του κύκλου mho που αντιστοιχεί στις εκάστοτε μετρούμενες και υπολογιζόμενες τιμές των  $V$ ,  $I$  και  $V_p$  που χρησιμοποιούνται, γίνεται βάσει των εξισώσεων που συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Φάσεις	Εξίσωση υπολογισμού $ Z_r $
<b>A-B</b>	$ Z_r  = \frac{Re(V_{AB} \cdot V_{AB1} mem^*)}{Re(1 \angle Z_r \cdot I_{AB} \cdot V_{AB1} mem^*)}$
<b>B-C</b>	$ Z_r  = \frac{Re(V_{BC} \cdot V_{BC1} mem^*)}{Re(1 \angle Z_r \cdot I_{BC} \cdot V_{BC1} mem^*)}$
<b>C-A</b>	$ Z_r  = \frac{Re(V_{CA} \cdot V_{CA1} mem^*)}{Re(1 \angle Z_r \cdot I_{CA} \cdot V_{CA1} mem^*)}$

Πίνακας 2.6: Τύποι υπολογισμού εμβέλειας κύκλου mho για τα εκάστοτε χρησιμοποιούμενα ηλεκτρικά μεγέθη στη γωνία του διανύσματος σύνθετης αντίστασης της προστατευόμενης γραμμής από τα στοιχεία απόστασης φάσης πόλωσης τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη του Η/Ν SEL-311B [17]

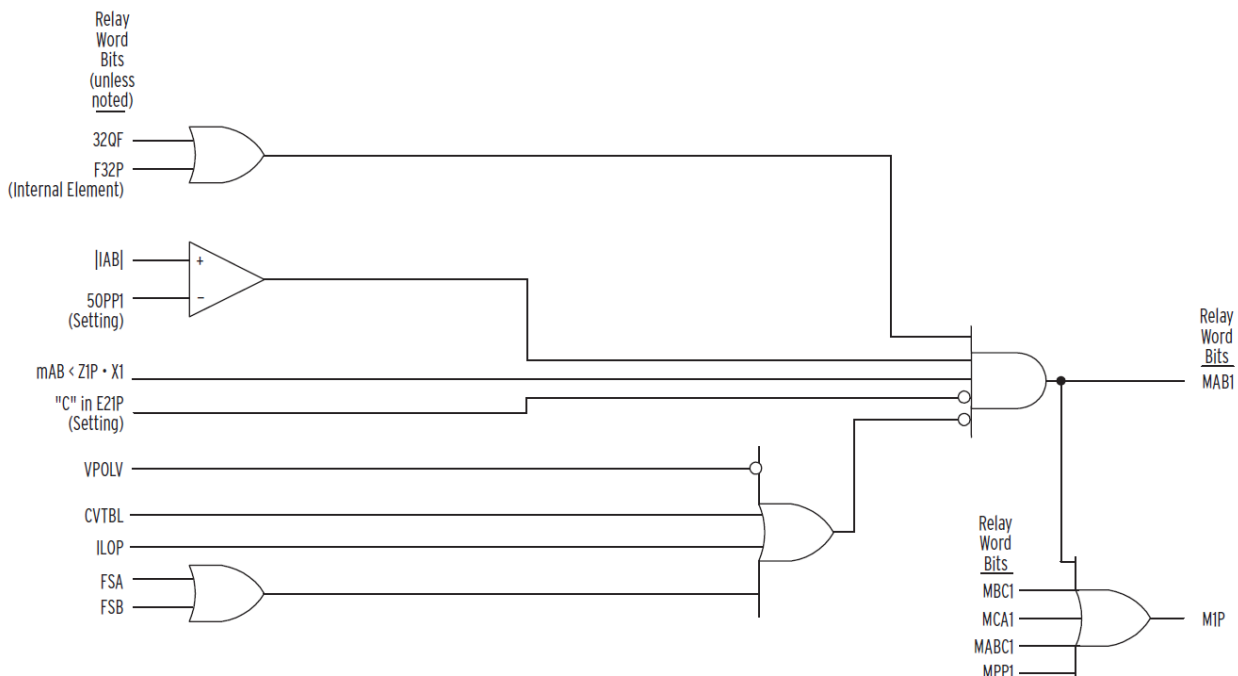
Τα μεγέθη που υπολογίζονται μέσω του παραπάνω πίνακα συγκρίνονται με τις αντίστοιχες ρυθμίσεις των ζωνών προστασίας (Z1P-Z3P) για να καθοριστεί αν πρέπει να λειτουργήσει η προστασία ή όχι. Στην Εικόνα 2.67 δίνεται σχηματικά η λογική λειτουργίας των στοιχείων απόστασης με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας.



Εικόνα 2.67: Έλεγχος λειτουργίας στοιχείων απόστασης φάσης με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη στον Η/Ν SEL-311B [17]

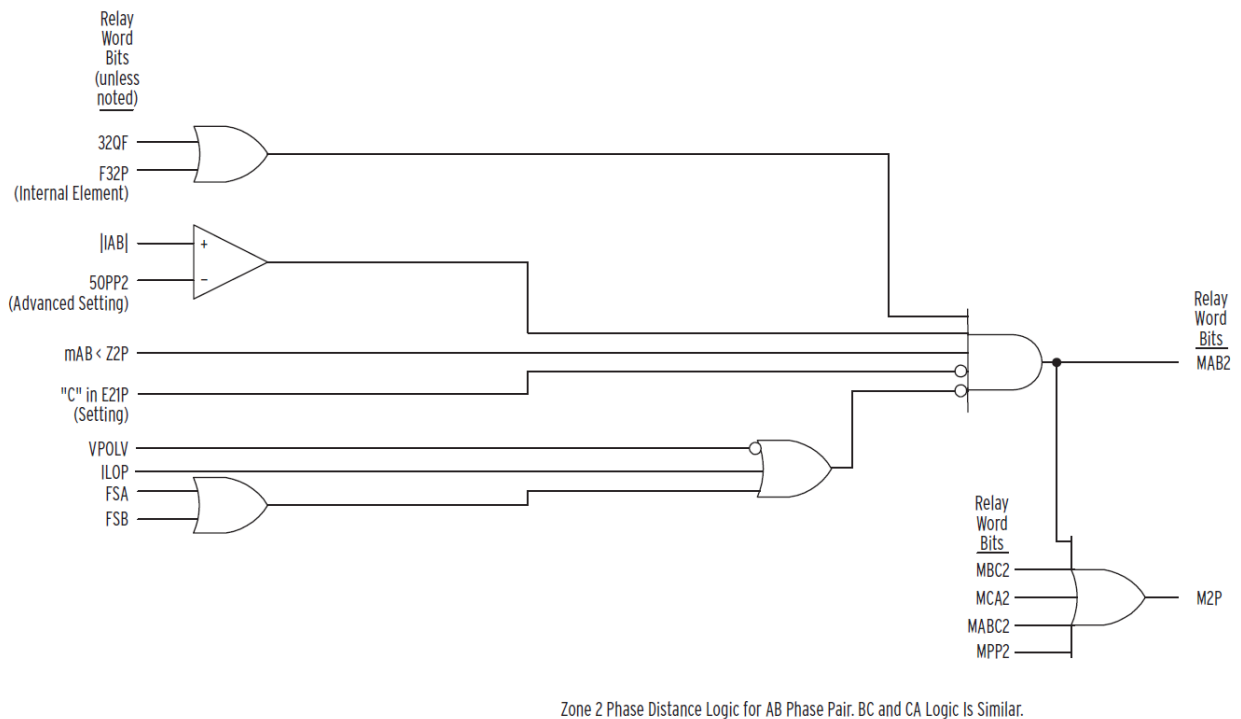
Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται τα κυκλώματα λειτουργίας των εν λόγω στοιχείων προστασίας για κάθε ζώνη προστασίας, με αφορμή τα οποία επισημαίνονται τα εξής:

- Τα σήματα 32QF, F32P, 32QR και R32P υποδηλώνουν αν το σφάλμα που αναγνωρίστηκε βρίσκεται εμπροσθεν ή όπισθεν του H/N (βλ. 2.5.10 υποενότητα).
- Η ρύθμιση DIR3 υποδεικνύει την επιθυμητή φορά του κύκλου mho στο στοιχείο αποστάσεως της 3ης ζώνης.
- Οι συγκριτές με τις ρυθμίσεις 50PP1-50PP3 χρησιμεύουν ως ανιχνευτές ρευμάτων σφάλματος.
- Η παράμετρος  $mAB$  είναι η υπολογιζόμενη εμβέλεια του κύκλου mho που αντιστοιχεί στις εκάστοτε μετρούμενες τιμές των  $V$ ,  $I$  και  $V_p$  (Πίνακας 2.6). Η παράμετρος  $ZxP$  είναι οι ρυθμίσεις εμβέλειας των κύκλων mho. Τέλος, η παράμετρος  $X1$  είναι η δυνατότητα επέκτασης της εμβέλειας του κύκλου mho 1<sup>ης</sup> ζώνης προστασίας (βλ. 2.5.2.7 παράγραφο).
- Το σήμα VPOLV χρησιμοποιείται για την απενεργοποίηση του στοιχείου αποστάσεως σε περίπτωση που η τάση πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη πέσει κάτω από το 1V (βλ. 2.5.2.6 παράγραφο).
- Το σήμα CVBTL χρησιμοποιείται για να την καθυστέρηση της λειτουργίας του στοιχείου απόστασης 1<sup>ης</sup> ζώνης με σκοπό την αποφυγή λειτουργίας της λόγω μεταβατικών φαινομένων στον πυκνωτικό Μ/Σ υποβιβασμού (βλ. 2.5.8 υποενότητα).
- Το σήμα ILOP χρησιμοποιείται για την απενεργοποίηση των στοιχείων προστασίας σε περίπτωση απώλειας του σήματος τάσης από τον Μ/Σ υποβιβασμού (βλ. 2.5.7 υποενότητα).
- Τα σήματα FSA και FSB υποδηλώνουν τις φάσεις που εμπλέκονται στο σφάλμα. Υπάρχει και το σήμα FSC το οποίο χρησιμοποιείται στα στοιχεία αποστάσεως των άλλων φάσεων.

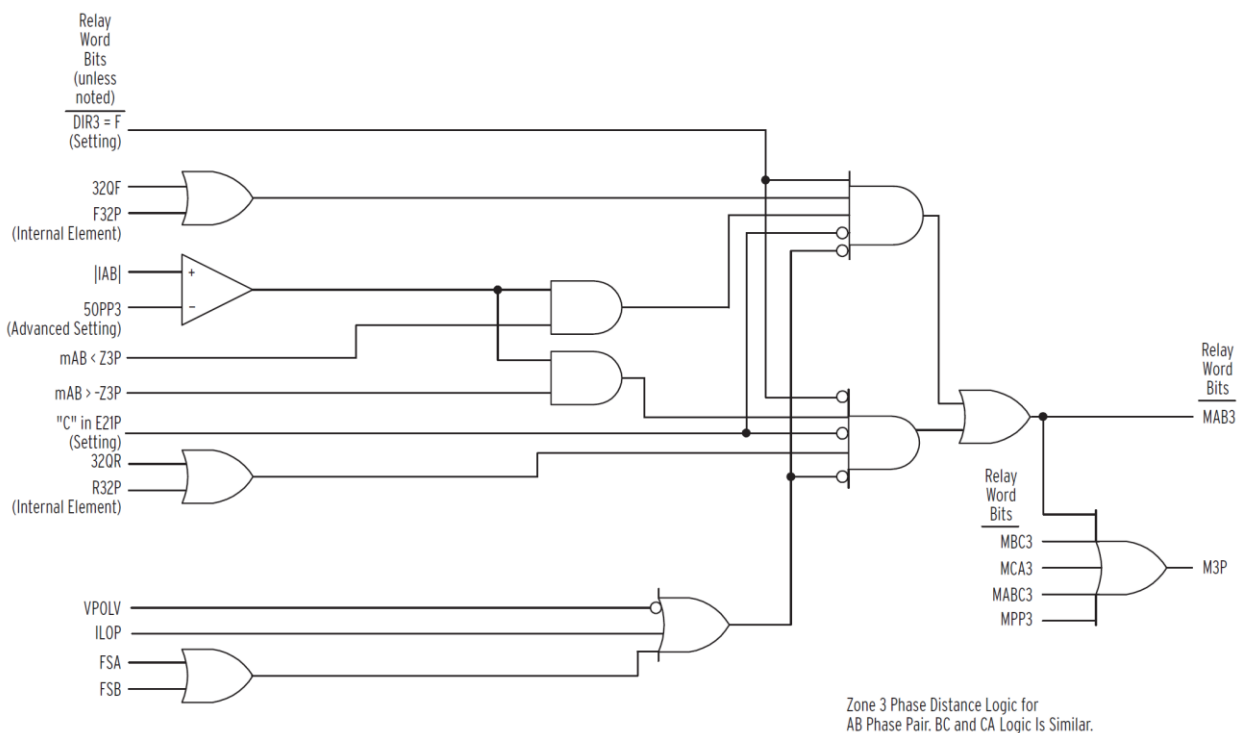


Zone 1 Phase Distance Logic for AB Phase Pair. BC and CA Logic Is Similar.

Εικόνα 2.68: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου αποστάσεως φάσης 1<sup>ης</sup> ζώνης με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη στον H/N SEL-311B [17]



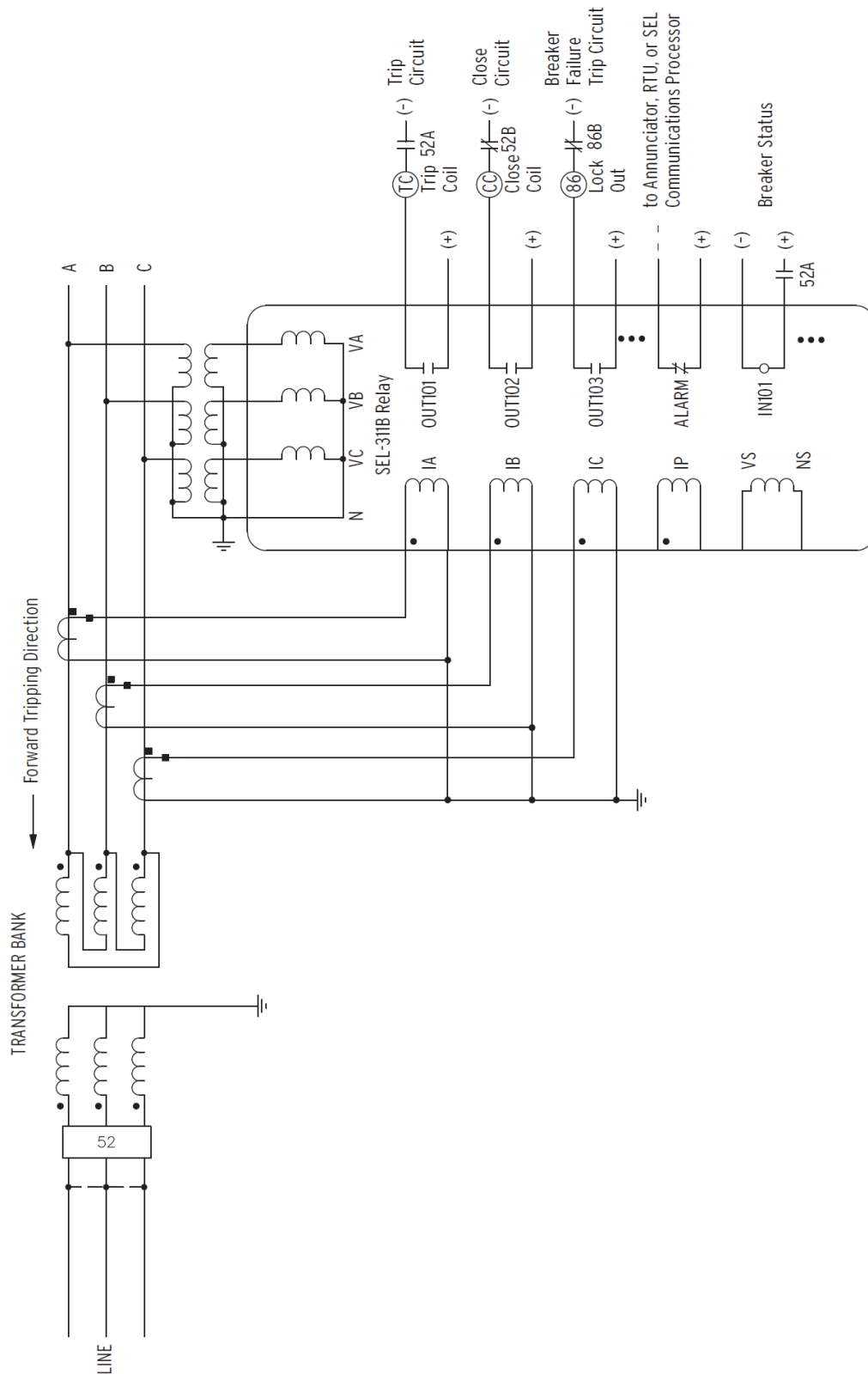
Εικόνα 2.69: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου αποστάσεως φάσης 2<sup>ης</sup> ζώνης με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη στον Η/Ν SEL-311B [17]



Εικόνα 2.70: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου αποστάσεως φάσης 3<sup>ης</sup> ζώνης με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη στον Η/Ν SEL-311B [17]

#### 2.5.2.4.2 Με αντισταθμισμένη πόλωση

Ο Η/Ν SEL-311B διαθέτει στοιχεία αποστάσεως φάσης που λειτουργούν με αντισταθμισμένη πόλωση. Στην Εικόνα 2.71 φαίνεται ένα κλασικό παράδειγμα χρήσης αυτών των στοιχείων για προστασία γραμμής μεταφοράς με τους Μ/Σ υποβιβασμού του Η/Ν να έχουν εγκατασταθεί πίσω από ένα Μ/Σ τριγώνου-αστέρα.



Use compensator distance elements for line protection through a delta-wye transformer.  
Voltage VS does not need to be connected.

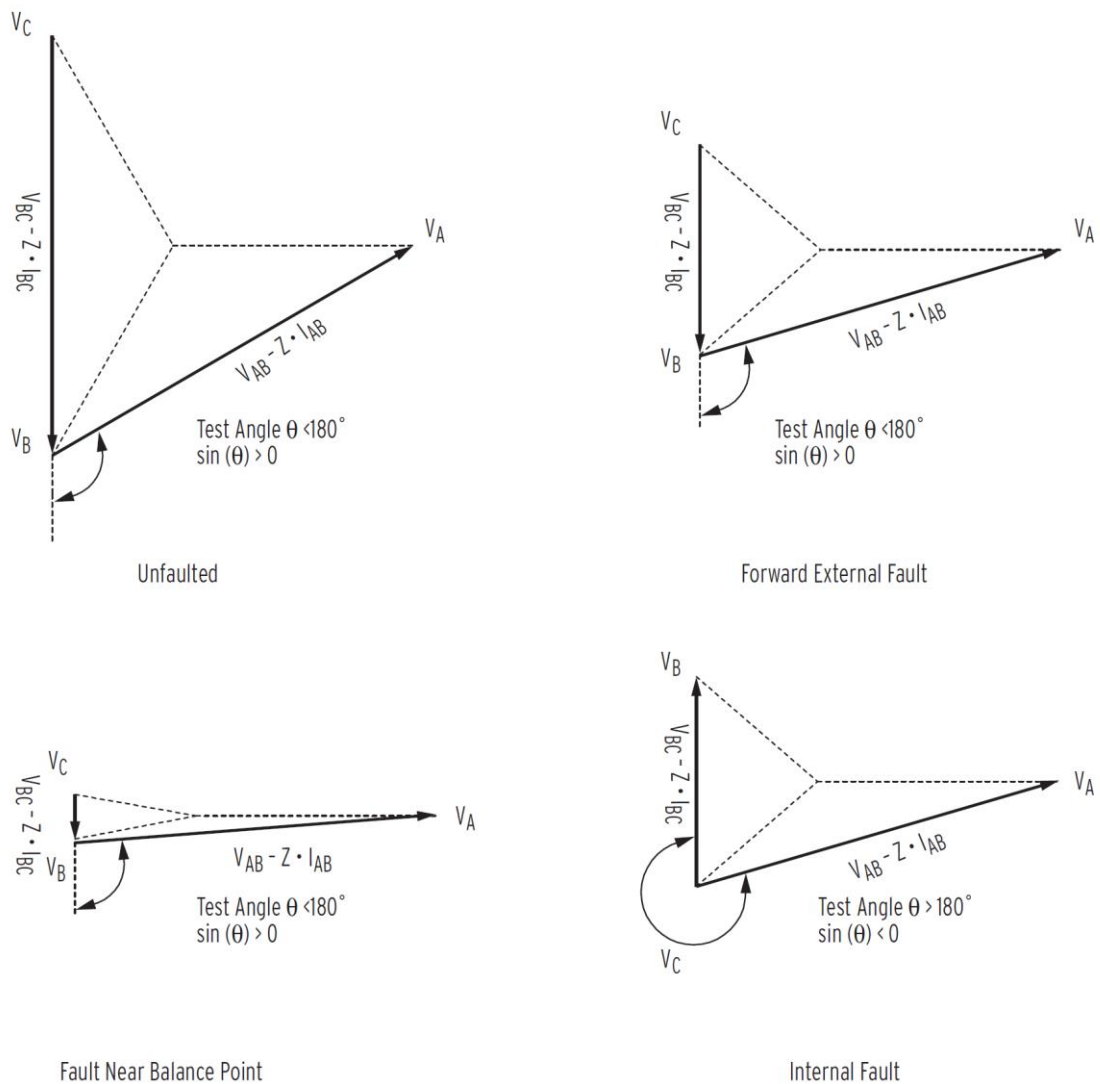
Εικόνα 2.71: Προστασία γραμμής μεταφοράς με στοιχεία αποστάσεως αντισταθμισμένης πόλωσης όταν οι Μ/Σ τάσης και έντασης τοποθετηθούν πίσω από Μ/Σ τριγώνου-αστέρα [17]

Τα αντισταθμισμένα στοιχεία αποστάσεως λειτουργούν υπολογίζοντας μεγέθη που μοιάζουν με ροπές και ελέγχοντας έπειτα το πρόσημό τους. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα εν λόγω μεγέθη.

Είδος σφάλματος	Υπολογιζόμενο μέγεθος-ροπή
Διφασικό	$mPP = Im[(V_{AB} - Z_r \cdot I_{AB}) \cdot (V_{BC} - Z_r \cdot I_{BC})^*]$
Τριφασικό	$mABC = Im[(V_{AB} - Z_r \cdot I_{AB}) \cdot (-j \cdot V_{AB} - 0.25 \cdot V_{C1} mem)^*]$

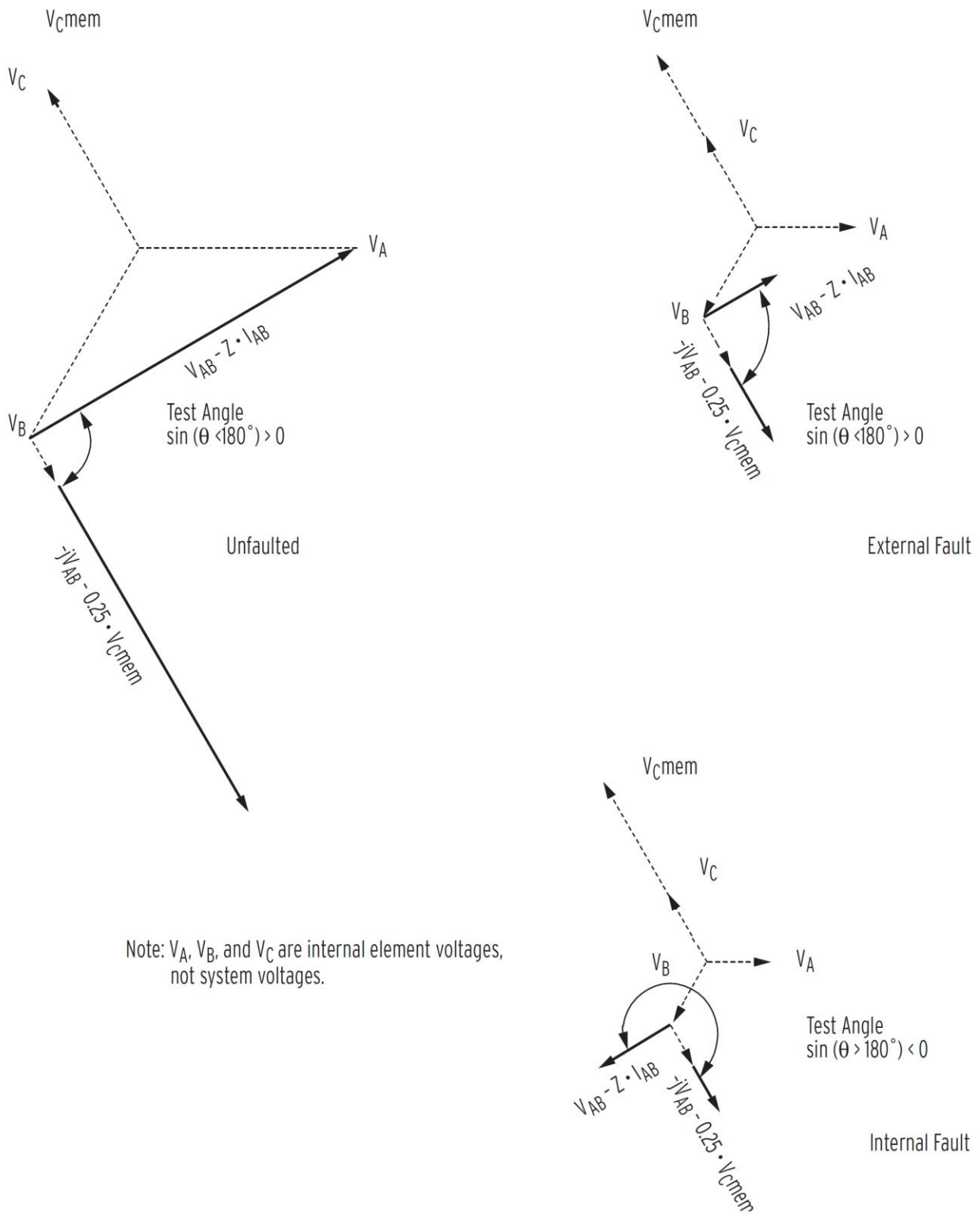
Πίνακας 2.7: Υπολογιζόμενα μεγέθη-ροπές για τον έλεγχο λειτουργίας των αντισταθμισμένων στοιχείων απόστασεως του Η/Ν SEL-311B [17]

Όταν το πρόσημο του ανάλογου μεγέθους του πίνακα προκύπτει θετικό, το στοιχείο δεν λειτουργεί, ενώ όταν προκύπτει αρνητικό, τότε το στοιχείο ενεργοποιείται. Το  $Z_r$  είναι η εμπέλεια του κύκλου mho σε μορφή ποσοστού του διανύσματος της σύνθετης αντίστασης της γραμμής που προστατεύεται. Παραδείγματα λειτουργίας των αντισταθμισμένων στοιχείων προστασίας φαίνονται στην Εικόνα 2.72 καθώς και στην Εικόνα 2.73.



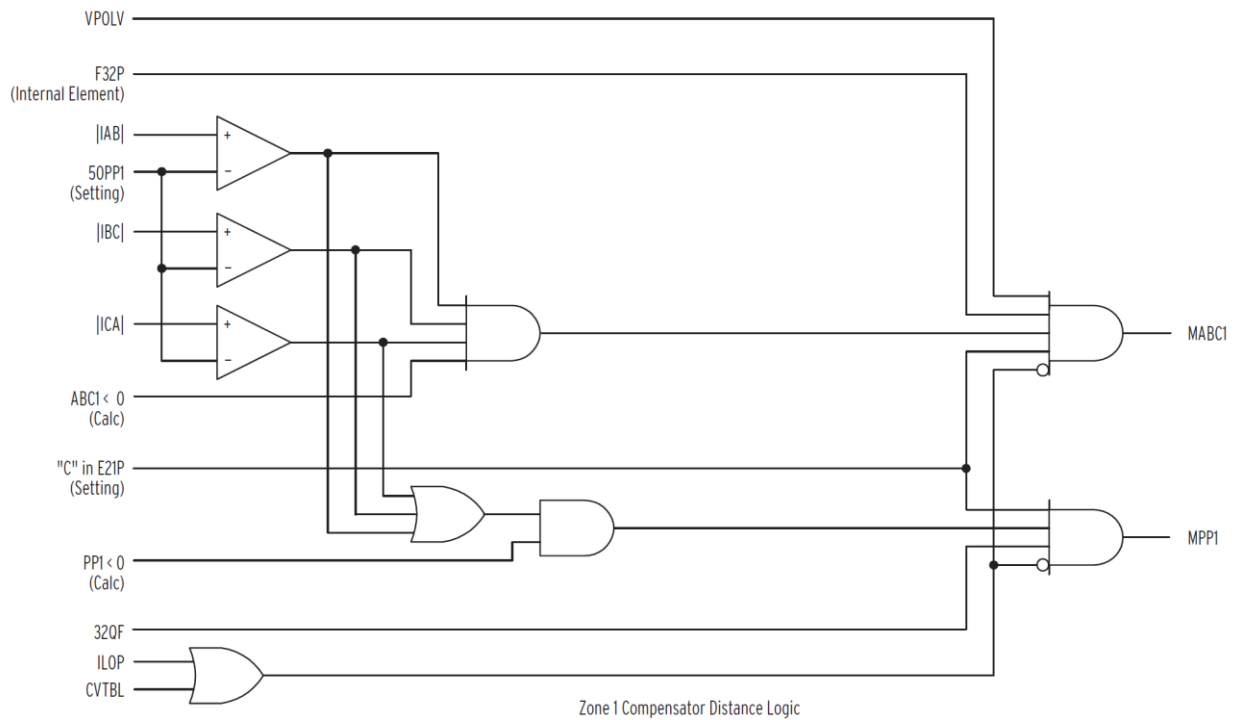
Note:  $V_A$ ,  $V_B$ , and  $V_C$  are internal element voltages, not system voltages.

Εικόνα 2.72: Παραδείγματα λειτουργίας αντισταθμισμένων στοιχείων απόστασεως για διφασικά σφάλματα [17]



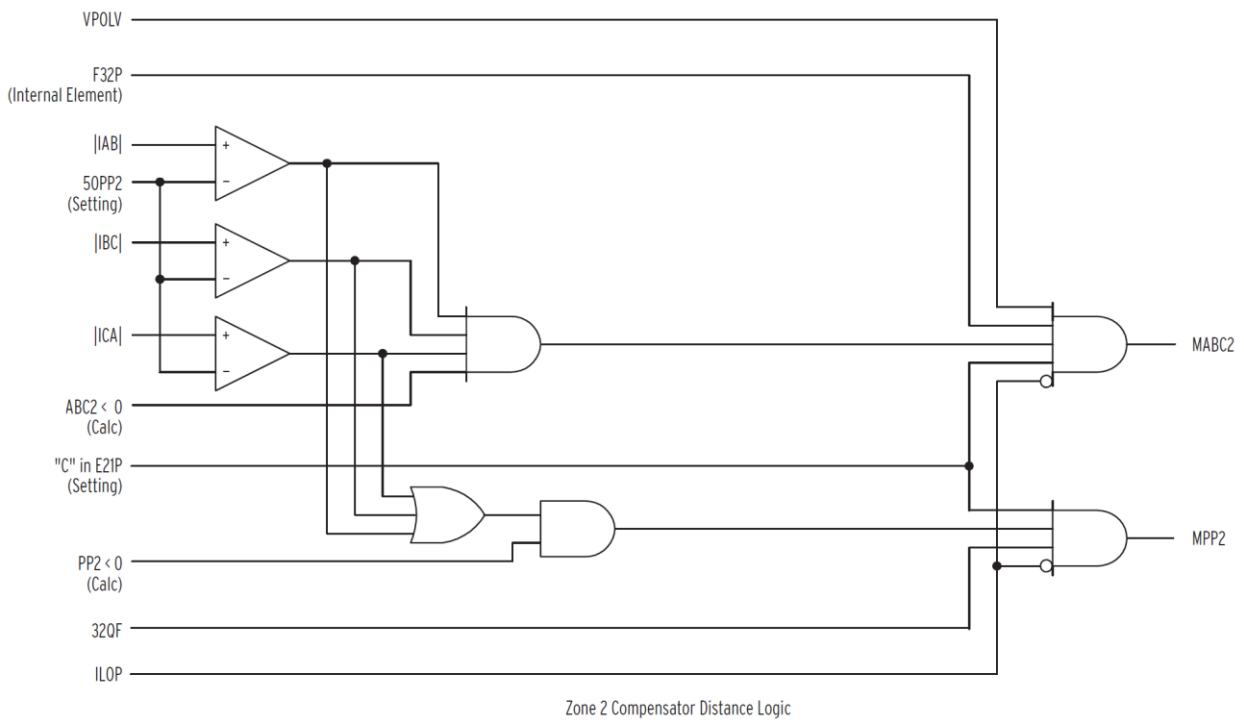
Εικόνα 2.73: Παραδείγματα λειτουργίας αντισταθμισμένων στοιχείων αποστάσεως για τριφασικά σφάλματα [17]

Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται τα κυκλώματα λειτουργίας των εν λόγω στοιχείων για κάθε ζώνη προστασίας. Όσον αφορά τα σήματα που εμφανίζονται στα σχηματικά διαγράμματα, ισχύουν όσα ειπώθηκαν στην 2.5.2.4.1 παράγραφο.



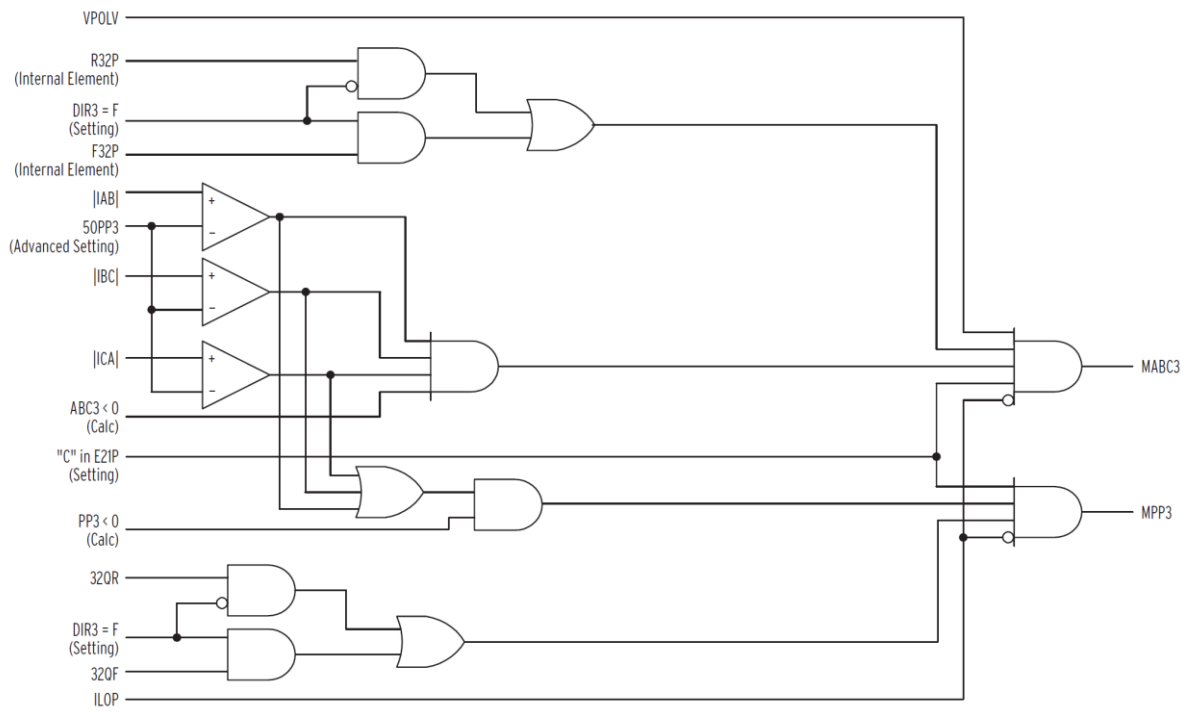
ABC1 and PP1 are compensator distance element calculations. Zone 1 extension, if active, is included

*Εικόνα 2.74: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων αποστάσεως φάσης 1<sup>ης</sup> ζώνης με αντισταθμισμένη πόλωση στον H/N SEL-311B [17]*



ABC2 and PP2 are compensator distance element calculations.

*Εικόνα 2.75: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων αποστάσεως φάσης 2<sup>ης</sup> ζώνης με αντισταθμισμένη πόλωση στον H/N SEL-311B [17]*



Zone 3 Compensator Distance Logic

ABC3 and PP3 are compensator distance element calculations.

Εικόνα 2.76: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων αποστάσεως φάσης 3<sup>ης</sup> ζώνης με αντισταθμισμένη πόλωση στον H/N SEL-311B [17]

### 2.5.2.5 Διαθέσιμα στοιχεία γης

Τα στοιχεία αποστάσεως γης εντοπίζουν μονοφασικά προς γη σφάλματα και λειτουργούν με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη. Η ενεργοποίηση αυτών των στοιχείων προστασίας γίνεται από τη ρύθμιση E21MG. Επισημαίνεται πως ο H/N διαθέτει ρύθμιση και για το μέτρο και την γωνία του παράγοντα αντιστάθμισης γης (βλ. Appendix A του [22])

$$k_0 = \frac{Z_0 - Z_1}{3Z_1}$$

Ο υπολογισμός της εμβέλειας του κύκλου mho που αντιστοιχεί στις εκάστοτε μετρούμενες και υπολογιζόμενες τιμές των  $V$ ,  $I$  και  $V_p$  που χρησιμοποιούνται, γίνεται βάσει των εξισώσεων που συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

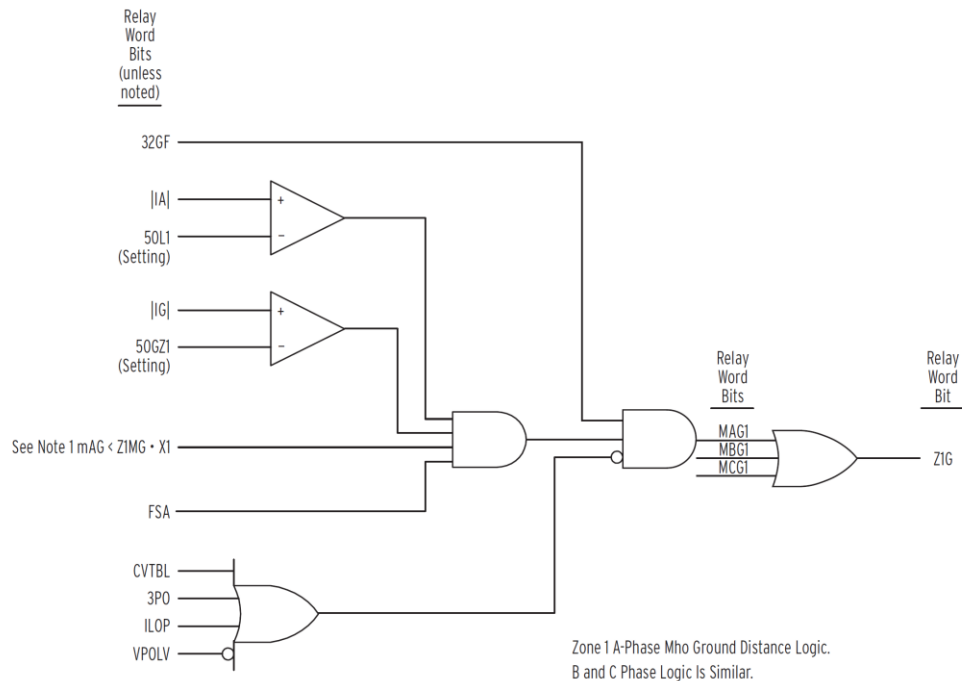
Φάση	Εξίσωση υπολογισμού $ Z_r $
<b>A</b>	$ Z_r  = \frac{Re(V_A \cdot V_{A1} mem^*)}{Re[1 \angle Z_r \cdot (I_A + k_0 \cdot 3I_0) \cdot V_{A1} mem^*]}$
<b>B</b>	$ Z_r  = \frac{Re(V_B \cdot V_{B1} mem^*)}{Re[1 \angle Z_r \cdot (I_B + k_0 \cdot 3I_0) \cdot V_{B1} mem^*]}$
<b>C</b>	$ Z_r  = \frac{Re(V_C \cdot V_{C1} mem^*)}{Re[1 \angle Z_r \cdot (I_C + k_0 \cdot 3I_0) \cdot V_{C1} mem^*]}$

Πίνακας 2.8: Τύποι υπολογισμού εμβέλειας κύκλου mho για τα εκάστοτε χρησιμοποιούμενα ηλεκτρικά μεγέθη στη γωνία του διανύσματος σύνθετης αντίστασης της προστατευόμενης γραμμής από τα στοιχεία αποστάσεως γης πόλωσης τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη του H/N SEL-311B



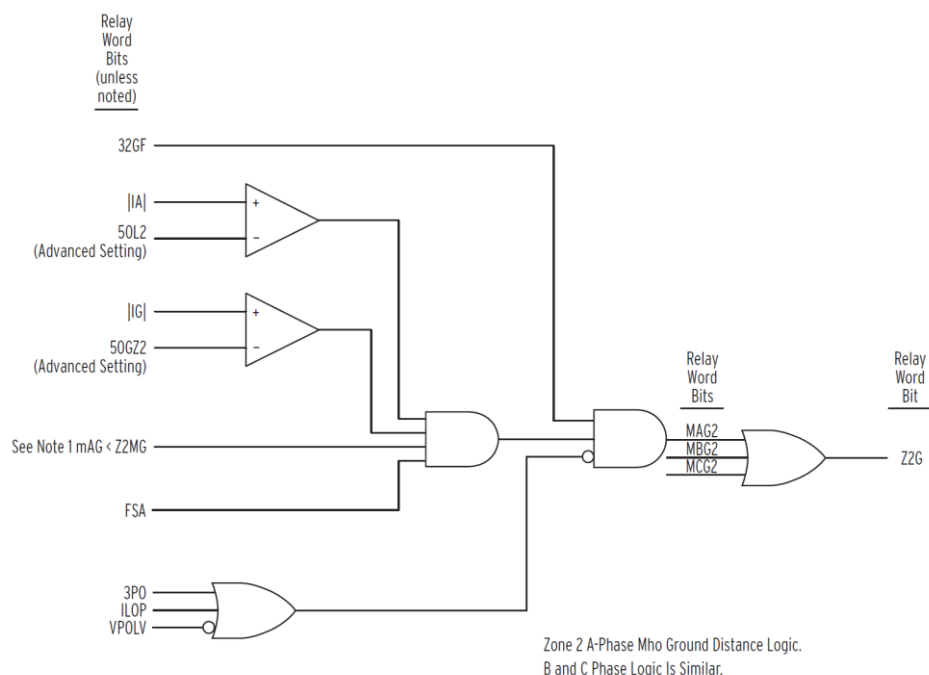
Τα κυκλώματα λειτουργίας των στοιχείων απόστασης γης φαίνονται στις παρακάτω εικόνες. Για τα σήματα που φαίνονται στις εικόνες ισχύουν όσα είπαμε στην 2.5.2.4.1 παράγραφο με τις εξής προσθήκες:

- Οι ρυθμίσεις 50L1-50L3 και 50GZ1-50GZ3 που εφαρμόζονται στους συγκριτές των διαγραμμάτων δίνουν τη δυνατότητα στον H/N να λειτουργήσει ως ανιχνευτής ρευμάτων σφάλματος.
- Το σήμα 3PO υποδηλώνει ότι ο Δ/Ι είναι ανοικτός.



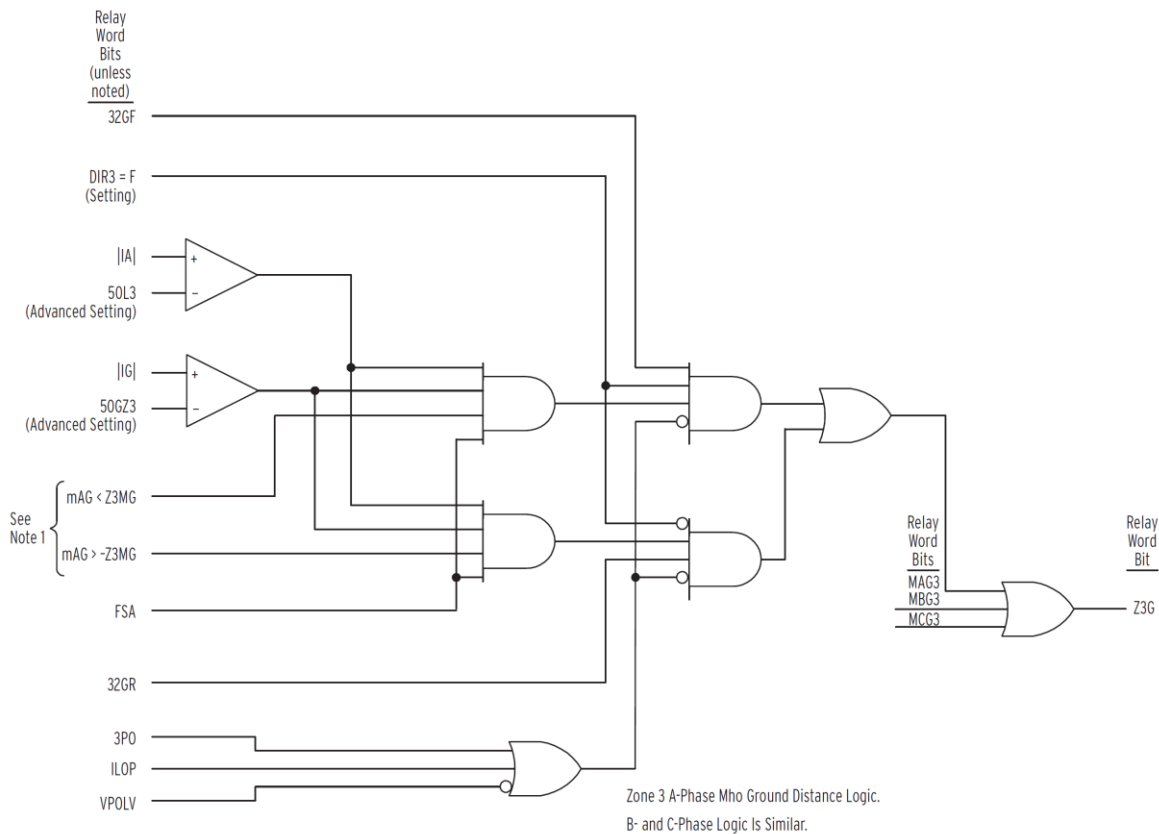
Note 1: mAG = A-Phase to Ground Distance Calculation, Z1MG = Zone 1 Distance Setting, X1 = Zone 1 Extension

Εικόνα 2.77: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων απόστασης γης 1ης ζώνης στον H/N SEL-311B [17]



Note 1: mAG = A-Phase to Ground Distance Calculation, Z2MG = Zone 2 Distance Setting.

Εικόνα 2.78: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων απόστασης γης 2ης ζώνης στον H/N SEL-311B [17]



Note 1: mAG = A-Phase to Ground Distance Calculation, Z3MG = Zone 3 Distance Setting.

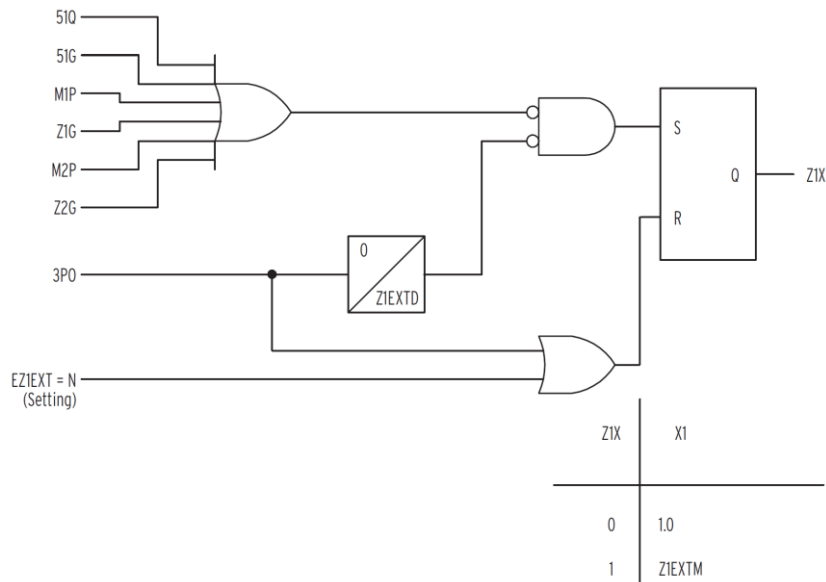
Εικόνα 2.79: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων απόστασης γης 3<sup>ης</sup> ζώνης στον H/N SEL-311B [17]

### 2.5.2.6 Πρόσθετη επιτήρηση στοιχείων αποστάσεως με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη

Τα στοιχεία αποστάσεως με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη του H/N SEL-311B επιτηρούνται ώστε να λειτουργούν με αξιοπιστία και μόνο για τα σφάλματα για τα οποία είναι ρυθμισμένα να λειτουργούν. Για να καταστεί αυτό δυνατό, ελέγχεται ότι η τάση πόλωση θετικής ακολουθίας με μνήμη είναι πάνω από 1V (σήμα VPOLV) και ακολούθως γίνεται σύγκριση μεταξύ των γωνιών των ρευμάτων μηδενικής και αρνητικής ακολουθίας ώστε να προσδιοριστούν ποιες φάσεις εμπλέκονται στο σφάλμα (σήματα FSA, FSB και FSC). Αυτό είναι ιδιαίτερος χρήσιμο σε σχήματα προστασίας στα οποία επιθυμείται να εφαρμοστεί μονοπολική απόζευξη, δηλαδή άνοιγμα των απολύτως απαραίτητων  $\Delta/I$  για την αποκοπή του σφάλματος.

### 2.5.2.7 Επέκταση της 1<sup>ης</sup> ζώνης προστασίας

Ο H/N SEL-311B δίνει τη δυνατότητα επέκτασης της εμβέλειας της 1<sup>ης</sup> ζώνης προστασίας όλων των στοιχείων αποστάσεως επί έναν σταθερό πολλαπλασιαστή Z1EXTM μετά την πάροδο Z1EXTD χρόνου από τη στιγμή που κλείσουν όλοι οι πόλοι του  $\Delta/I$ . Στην Εικόνα 2.80 φαίνεται το κύκλωμα που επιτρέπει αυτή την λειτουργία.



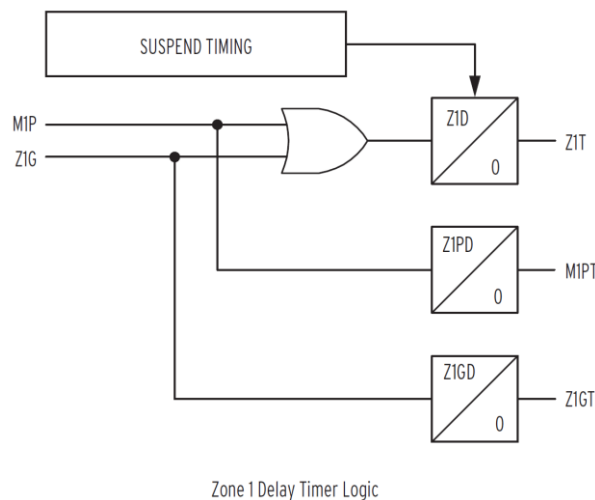
Εικόνα 2.80: Κύκλωμα επέτασης επέκτασης της 1<sup>ης</sup> ζώνης μετά από βραχυχρόνιο διάστημα από το κλείσιμο των πόλων του Δ/Ι στον H/N SEL-311B [17]

### 2.5.2.8 Ρύθμιση χρόνων λειτουργίας ζωνών προστασίας

Στον H/N SEL-311B μπορούμε να ρυθμίσουμε τους χρόνους λειτουργίας των ζωνών προστασίας με δύο διαφορετικούς τρόπους:

- Τον ανεξάρτητο χρονισμό των ζωνών προστασίας, στον οποίο τα στοιχεία αποστάσεως φάσης και γης οδηγούν ξεχωριστά χρονικά για κάθε ζώνη προστασίας (χρονικά φάσεων Z1PD-Z3PD & χρονικά γης Z1GD-Z3GD)
- Τον κοινό χρονισμό των ζωνών προστασίας, όπου τα στοιχεία αποστάσεως φάσης και γης μοιράζονται το ίδιο χρονικό (χρονικά Z1D-Z3D) και η αντίστροφη μέτρησή του μπορεί να «παγώσει» σε περίπτωση που η είσοδος του πάει στο «0» για ένα χρονικό διάστημα μικρότερο του ενός κύκλου ώστε να αποφευχθεί ο μηδενισμός του σε περίπτωση εμφάνισης κάποιου εξελισσόμενου σφάλματος.

Στην Εικόνα 2.81 φαίνεται το κύκλωμα ενός εκ των εν λόγω διαθέσιμων χρονικών.



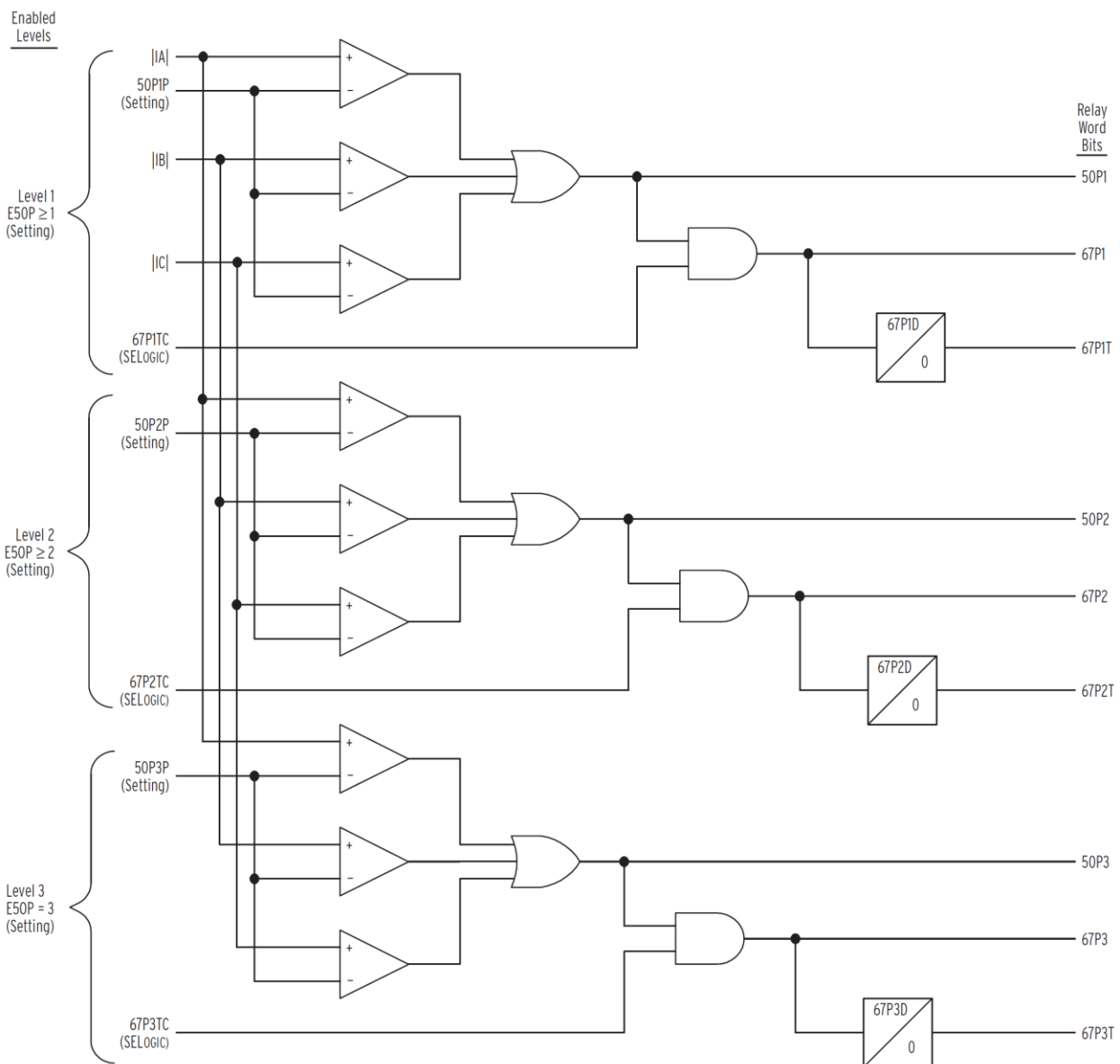
Εικόνα 2.81: Κύκλωμα λειτουργίας χρονικού 1<sup>ης</sup> ζώνης προστασίας των στοιχείων αποστάσεως στον H/N SEL-311B [17]

### 2.5.3 Στοιχεία υπερεντάσεως στιγμιαίου ή σταθερού χρόνου

#### 2.5.3.1 Στοιχεία φάσης

Ο Η/Ν SEL-311B διαθέτει στοιχείο υπερεντάσεως φάσης στιγμιαίου ή σταθερού χρόνου λειτουργίας με ή χωρίς έλεγχο κατεύθυνσης (50, 67) τριών επιπέδων, το οποίο ενεργοποιείται όταν τεθεί  $E50P \geq 1$ . Τα ρεύματα λειτουργίας (pickup currents) για κάθε επίπεδο (50P1P-50P3P) συγκρίνονται με τα μέτρα των ρευμάτων στις εισόδους τους Η/Ν ώστε να διαπιστωθεί αν το εκάστοτε στοιχείο πρέπει να λειτουργήσει στον χρόνο λειτουργίας που έχει ρυθμιστεί (67P1D-67P3D). Σημειώνεται ότι είναι θεμιτό να ισχύει  $50P1P > 50P2P > 50P3P$  ώστε οι αναφορές γεγονότων να εμφανίζονται πιο οργανωμένα.

Στην Εικόνα 2.82 φαίνεται το κύκλωμα λειτουργίας του εν λόγω στοιχείου προστασίας. Οι εξισώσεις ελέγχου 67P1TC-67P3TC δίνουν τη δυνατότητα έμμεσου προσδιορισμού της κατεύθυνσης του σφάλματος. Για παράδειγμα, μπορούμε να συσχετίσουμε κάποιο από τα εν λόγω σήματα ώστε να δίνει λογικό «1» π.χ. όταν λαμβάνεται λογικό «1» από κάποια επαφή εισόδου του Η/Ν ή όταν ενεργοποιείται το στοιχείο αποστάσεως για τη 2<sup>η</sup> ζώνη προστασίας.

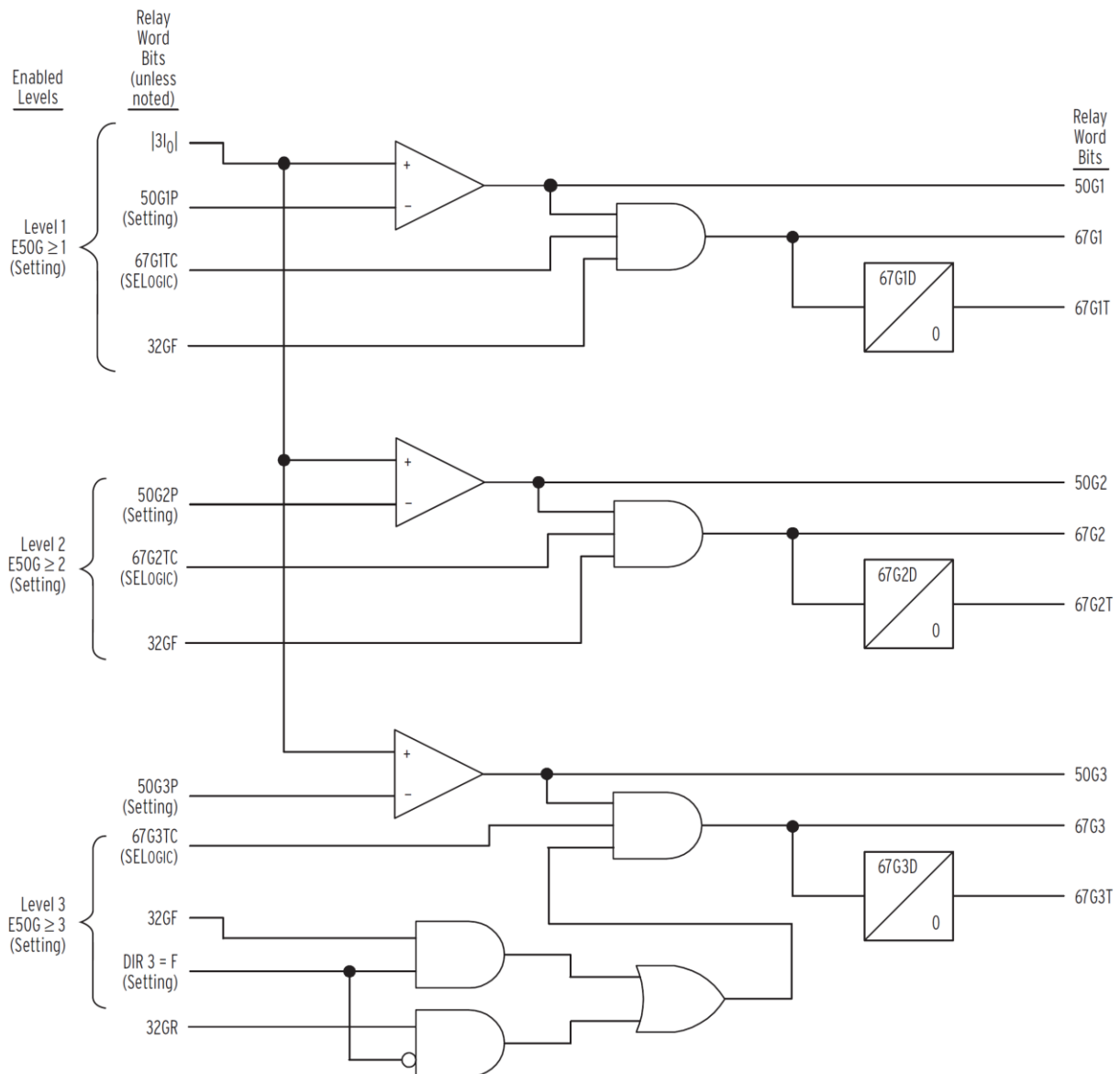


Εικόνα 2.82: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου υπερεντάσεως φάσης στιγμιαίου ή σταθερού χρόνου στον Η/Ν SEL-311B [17]

### 2.5.3.2 Στοιχεία γης

Ένα στοιχείο υπερεντάσεως γης στιγμιαίου ή σταθερού χρόνου τριών επιπέδων είναι διαθέσιμο στον H/N SEL-311B και ενεργοποιείται όταν  $E50G \geq 1$ . Από πλευράς τρόπου λειτουργίας, ο H/N υπολογίζει το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας  $|3I_0| = |I_A + I_B + I_C|$  και το συγκρίνει με τις ρυθμίσεις που έχουν γίνει (50G1P-50G3P) για να αποφασίσει αν πρέπει να λειτουργήσει στο χρόνο που του έχει ανατεθεί (67G1D-67G3D).

Στην Εικόνα 2.83 φαίνεται το κύκλωμα λειτουργίας του εν λόγω στοιχείου. Οι εξισώσεις ελέγχου 67G1TC-67G3TC δίνουν τη δυνατότητα έμμεσου προσδιορισμού της κατεύθυνσης του σφάλματος. Επισημαίνεται επίσης πως τα δύο πρώτα επίπεδα διαθέτουν και άμεσο έλεγχο κατεύθυνσης προς τα κατάντη του H/N (32GF), ενώ το τρίτο επίπεδο διαθέτει έλεγχο κατεύθυνσης είτε προς τα κατάντη (32GF) είτε προς τα ανάντη (32GR) του H/N. Η ρύθμιση DIR3 προσδιορίζει την κατεύθυνση προς την οποία θέλουμε να γίνεται ο έλεγχος στο τρίτο επίπεδο των εν λόγω στοιχείων κατεύθυνσης. Στην υποενότητα 2.5.10 μπορείτε να βρείτε περισσότερες πληροφορίες όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο έλεγχος κατεύθυνσης για τα στοιχεία αυτά.

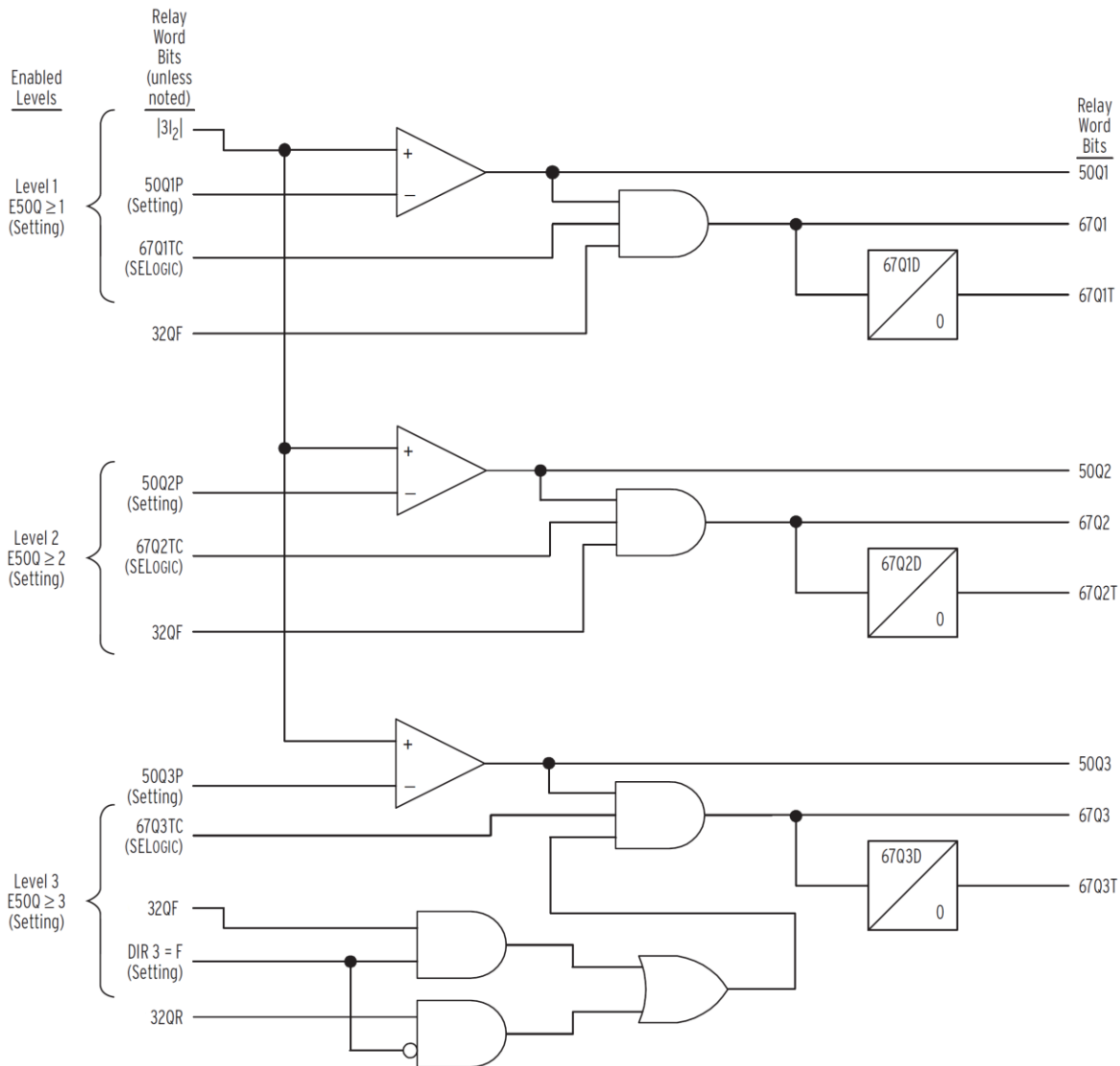


Εικόνα 2.83: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου υπερεντάσεως γης στιγμιαίου ή σταθερού χρόνου στον H/N SEL-311B [17]

2.5.3.3 Στοιχεία αρνητικής ακολουθίας

Ο Η/Ν SEL-311B διαθέτει στοιχείο υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας στιγμιαίου ή σταθερού χρόνου τριών επιπέδων, το οποίο ενεργοποιείται όταν τεθεί  $E50Q \geq 1$ . Τα στοιχεία αυτά λειτουργούν υπολογίζοντας το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας  $|3I_2| = |I_A + a^2I_B + aI_C|$  (αν έχουμε θετική ακολουθία τάσεων δικτύου) ή  $|3I_2| = |I_A + aI_B + a^2I_C|$  (αν έχουμε αρνητική ακολουθία τάσεων δικτύου) και συγκρίνοντάς το με τις ρυθμίσεις που τους έχουν ανατεθεί (50Q1P-50Q3P) για να αποφασιστεί αν πρέπει να λειτουργήσουν στον προκαθορισμένο χρόνο τους (67Q1D-67Q3D).

Στην Εικόνα 2.84 φαίνεται το κύκλωμα λειτουργίας του εν λόγω στοιχείου. Και σε αυτά τα στοιχεία, οι εξισώσεις ελέγχου 67Q1TC-67Q3TC δίνουν τη δυνατότητα έμμεσου προσδιορισμού της κατεύθυνσης του σφάλματος. Επίσης, τα δύο πρώτα επίπεδα διαθέτουν και άμεσο έλεγχο κατεύθυνσης προς τα κατάντη του Η/Ν (32QF), ενώ το τρίτο επίπεδο διαθέτει έλεγχο κατεύθυνσης είτε προς τα κατάντη (32QF) είτε προς τα ανάντη (32QR) του Η/Ν. Η ρύθμιση DIR3 προσδιορίζει προς ποια κατεύθυνση θέλουμε να γίνεται ο έλεγχος κατεύθυνσης στο τρίτο επίπεδο των εν λόγω στοιχείων. Στην υποενότητα 2.5.10 μπορείτε να βρείτε περισσότερες πληροφορίες όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο γίνεται ο έλεγχος κατεύθυνσης για τα στοιχεία αυτά.

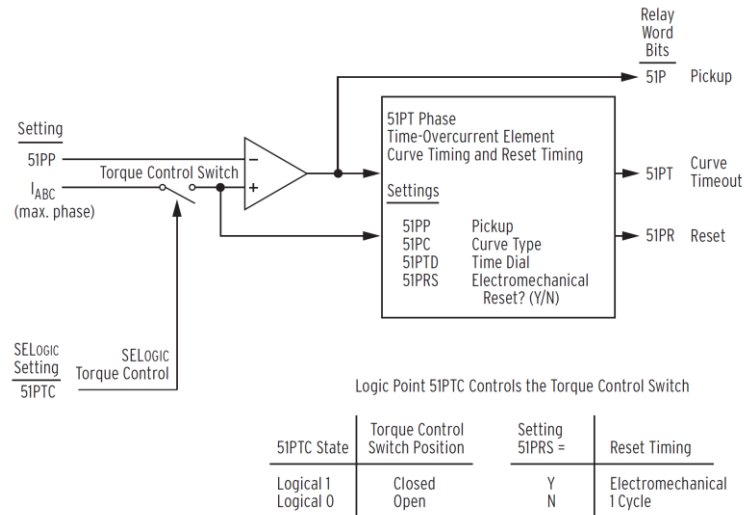


Εικόνα 2.84: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας στιγμιαίου ή σταθερού χρόνου στον Η/Ν SEL-311B [17]

## 2.5.4 Στοιχεία υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου

### 2.5.4.1 Στοιχείο φάσης

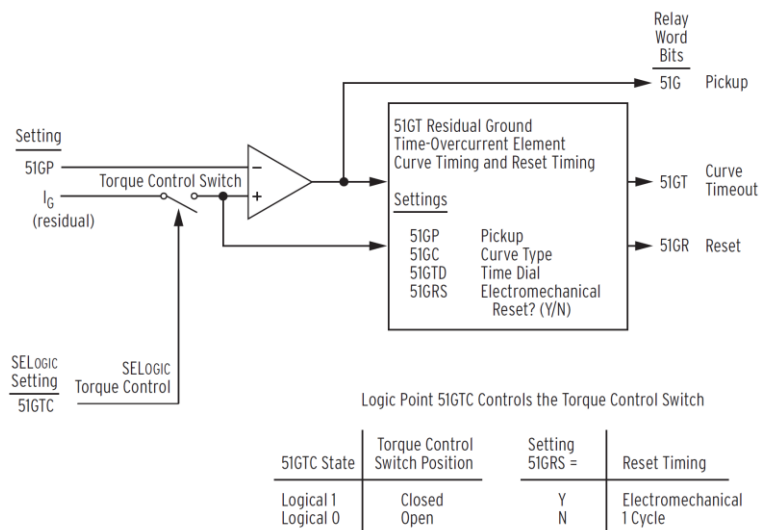
Ο Η/Ν SEL-311B διαθέτει ένα στοιχείο υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου, το οποίο ενεργοποιείται όταν τεθεί  $E51P = Y$ . Το κύκλωμα λειτουργίας του εν λόγω στοιχείου φαίνεται στην Εικόνα 2.85. Επισημαίνεται πως η εξίσωση ελέγχου 51PTC δίνει τη δυνατότητα έμμεσου προσδιορισμού της κατεύθυνσης του σφάλματος, ενώ η προεπιλεγμένη τιμή της είναι το λογικό «1».



Εικόνα 2.85: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου υπερεντάσεως φάσης αντιστρόφου χρόνου στον Η/Ν SEL-311B [17]

### 2.5.4.2 Στοιχείο γης

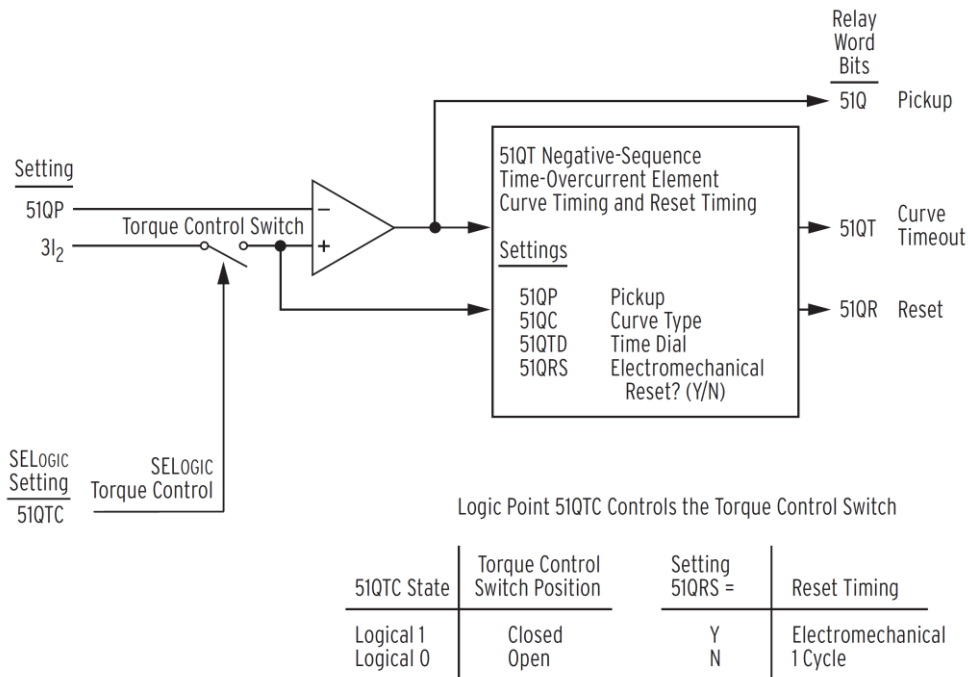
Ο Η/Ν SEL-311B διαθέτει ένα στοιχείο υπερεντάσεως γης αντιστρόφου χρόνου. Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιεί το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας  $I_G = 3I_0 = I_A + I_B + I_C$  για να πότε πρέπει να λειτουργήσει. Το κύκλωμα λειτουργίας του εν λόγω στοιχείου φαίνεται στην Εικόνα 2.86. Επισημαίνεται πως η εξίσωση ελέγχου 51GTC δίνει τη δυνατότητα έμμεσου προσδιορισμού της κατεύθυνσης του σφάλματος, ενώ η προεπιλεγμένη τιμή της είναι το λογικό «1».



Εικόνα 2.86: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου υπερεντάσεως γης αντιστρόφου χρόνου στον Η/Ν SEL-311B [17]

**2.5.4.3 Στοιχείο αρνητικής ακολουθίας**

Ο Η/Ν SEL-311B διαθέτει ένα στοιχείο υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου. Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιεί το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας  $3I_2 = I_A + a^2I_B + aI_C$  (αν έχουμε θετική ακολουθία τάσεων δικτύου) ή  $3I_2 = I_A + aI_B + a^2I_C$  (αν έχουμε αρνητική ακολουθία τάσεων δικτύου) και το κύκλωμα λειτουργίας του φαίνεται στην Εικόνα 2.87. Επισημαίνεται πως η εξίσωση ελέγχου 51QTC δίνει τη δυνατότητα έμμεσου προσδιορισμού της κατεύθυνσης του σφάλματος, ενώ η προεπιλεγμένη τιμή της είναι το λογικό «1».



Εικόνα 2.87: Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας στοιχείου υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου στον Η/Ν SEL-311B [17]

**2.5.4.4 Διαθέσιμες καμπύλες αντιστρόφου χρόνου**

Ο Πίνακας 2.9 συνοψίζει τις εξισώσεις των καμπυλών αντιστρόφου χρόνου που είναι διαθέσιμες στον Η/Ν SEL-311B.

Τύπος καμπύλης	Χρόνος λειτουργίας	Χρόνος επαναφοράς
<b>U1 (Moderately Inverse)</b>	$T_p = TD \cdot \left( 0.0226 + \frac{0.0104}{M^{0.02} - 1} \right)$	$T_r = TD \cdot \left( \frac{1.08}{1 - M^2} \right)$
<b>U2 (Inverse)</b>	$T_p = TD \cdot \left( 0.18 + \frac{5.95}{M^2 - 1} \right)$	$T_r = TD \cdot \left( \frac{5.95}{1 - M^2} \right)$
<b>U3 (Very Inverse)</b>	$T_p = TD \cdot \left( 0.0963 + \frac{3.88}{M^2 - 1} \right)$	$T_r = TD \cdot \left( \frac{3.88}{1 - M^2} \right)$
<b>U4 (Extremely Inverse)</b>	$T_p = TD \cdot \left( 0.0352 + \frac{5.67}{M^2 - 1} \right)$	$T_r = TD \cdot \left( \frac{5.67}{1 - M^2} \right)$
<b>U5 (Short-Time Inverse)</b>	$T_p = TD \cdot \left( 0.00262 + \frac{0.00342}{M^{0.02} - 1} \right)$	$T_r = TD \cdot \left( \frac{0.323}{1 - M^2} \right)$

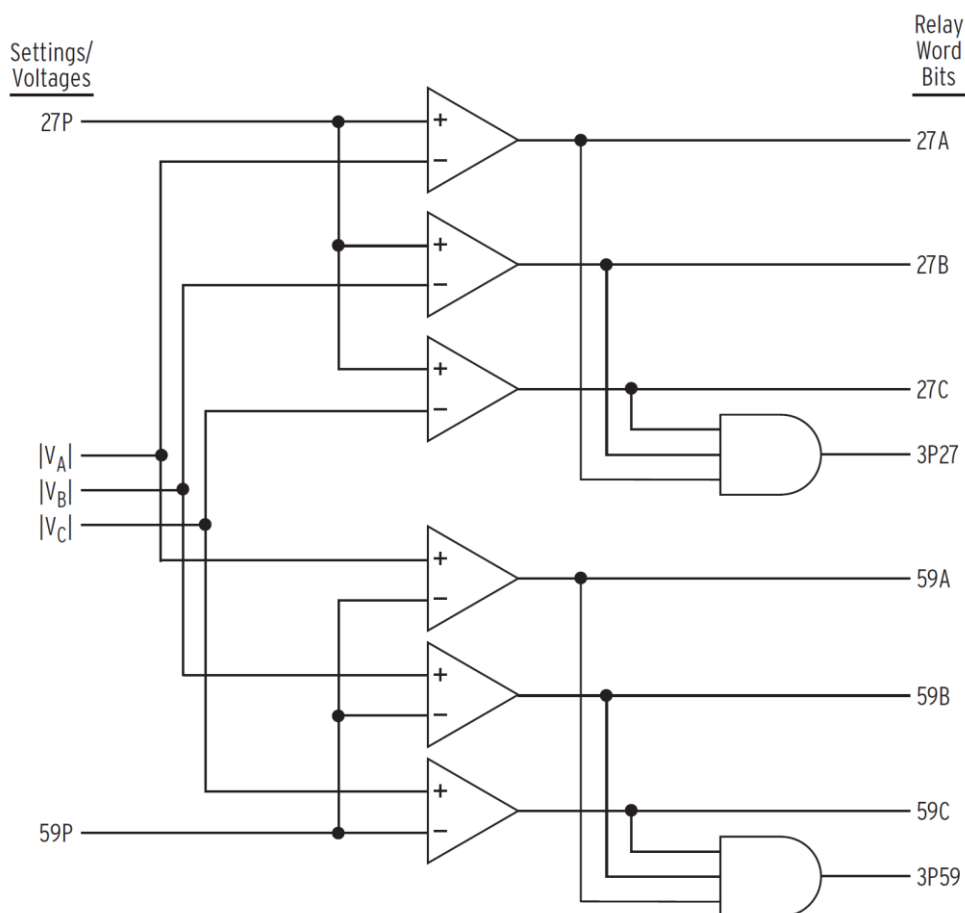


<b>C1 (Standard Inverse)</b>	$T_p = TD \cdot \frac{0.14}{M^{0.02} - 1}$	$T_r = TD \cdot \frac{13.5}{1 - M^2}$
<b>C2 (Very Inverse)</b>	$T_p = TD \cdot \frac{13.5}{M - 1}$	$T_r = TD \cdot \frac{47.3}{1 - M^2}$
<b>C3 (Extremely Inverse)</b>	$T_p = TD \cdot \frac{80}{M^2 - 1}$	$T_r = TD \cdot \frac{80}{1 - M^2}$
<b>C4 (Long-Time Inverse)</b>	$T_p = TD \cdot \frac{120}{M - 1}$	$T_r = TD \cdot \frac{120}{1 - M}$
<b>C5 (Short-Time Inverse)</b>	$T_p = TD \cdot \frac{0.05}{M^{0.04} - 1}$	$T_r = TD \cdot \frac{4.85}{1 - M^2}$

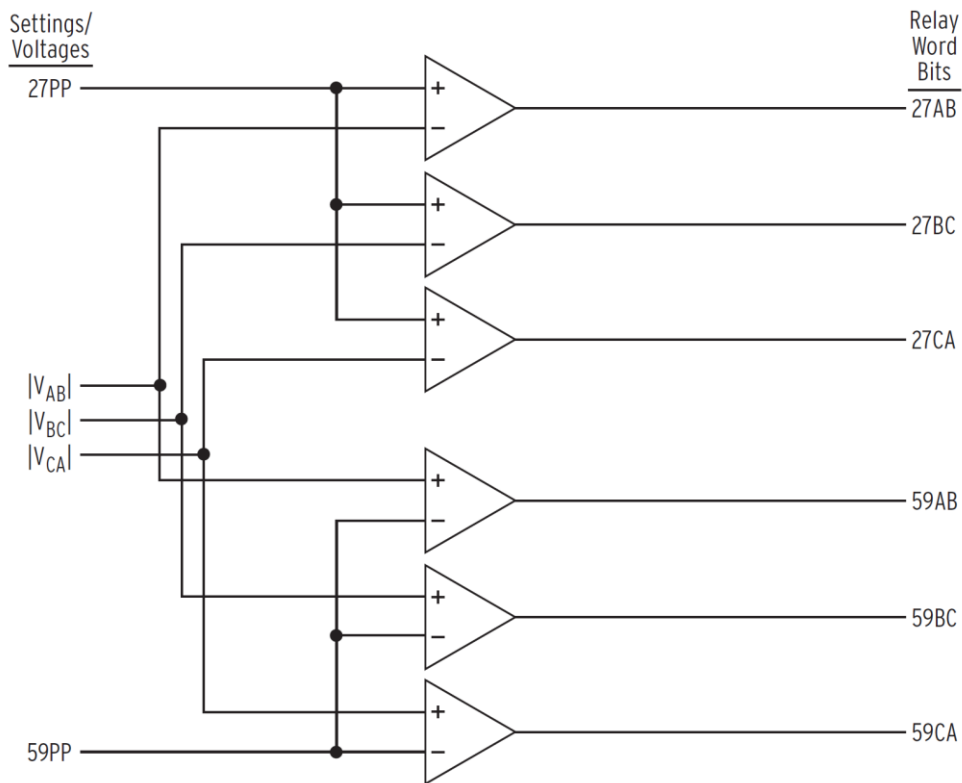
Πίνακας 2.9: Διαθέσιμες καμπύλες αντιστρόφου χρόνου μαζί με τις εξισώσεις που τις διέπουν για τα στοιχεία υπερεντάσεως του Η/Ν SEL-311B [17]

### 2.5.5 Στοιχεία επιτήρησης τάσεως

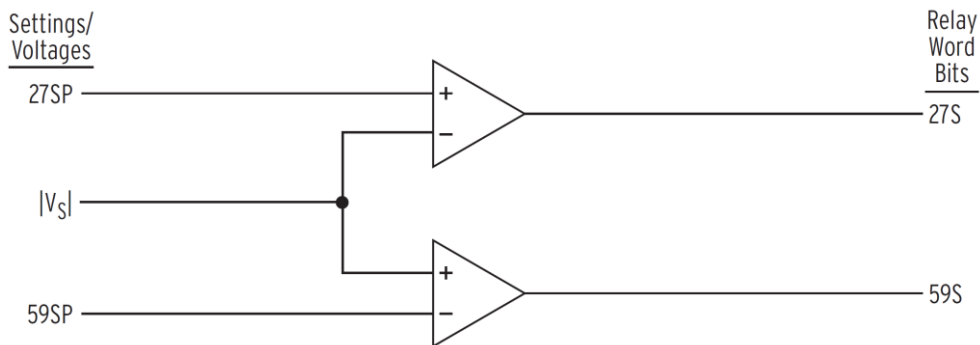
Ο Η/Ν SEL-311B διαθέτει στοιχεία υποτάσεως (27) και υπερτάσεως (59) για τις φασικές και πολικές τάσεις που μετρά. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα κυκλώματα λειτουργίας των εν λόγω στοιχείων.



Εικόνα 2.88: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου επιτήρησης των φασικών τάσεων στον Η/Ν SEL-311B [17]



Εικόνα 2.89: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου επιτήρησης των πολικών τάσεων στον H/N SEL-311B [17]



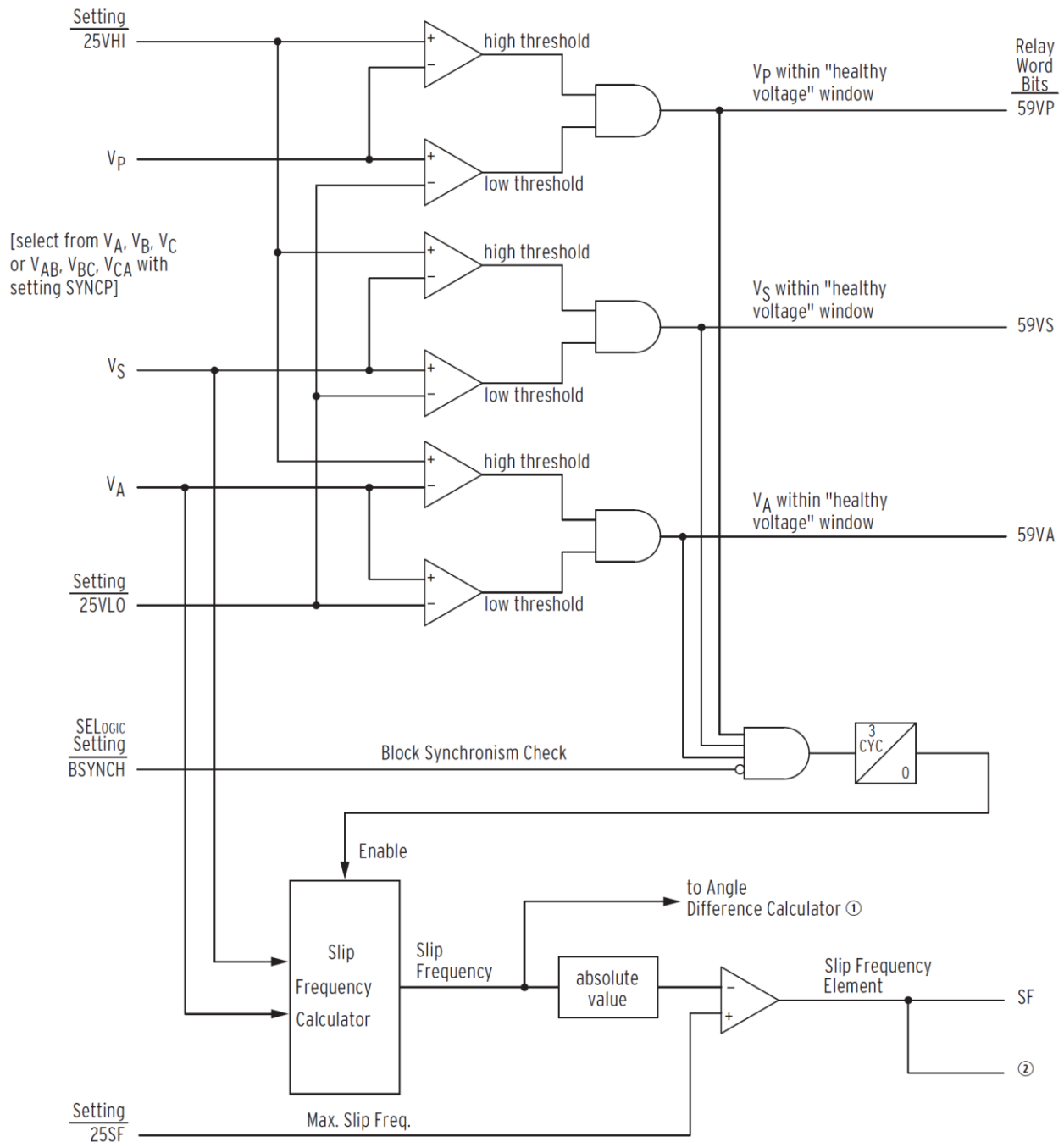
Εικόνα 2.90: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου επιτήρησης της τάσης ελέγχου συγχρονισμού στον H/N SEL-311B [17]

### 2.5.6 Στοιχεία ελέγχου συγχρονισμού

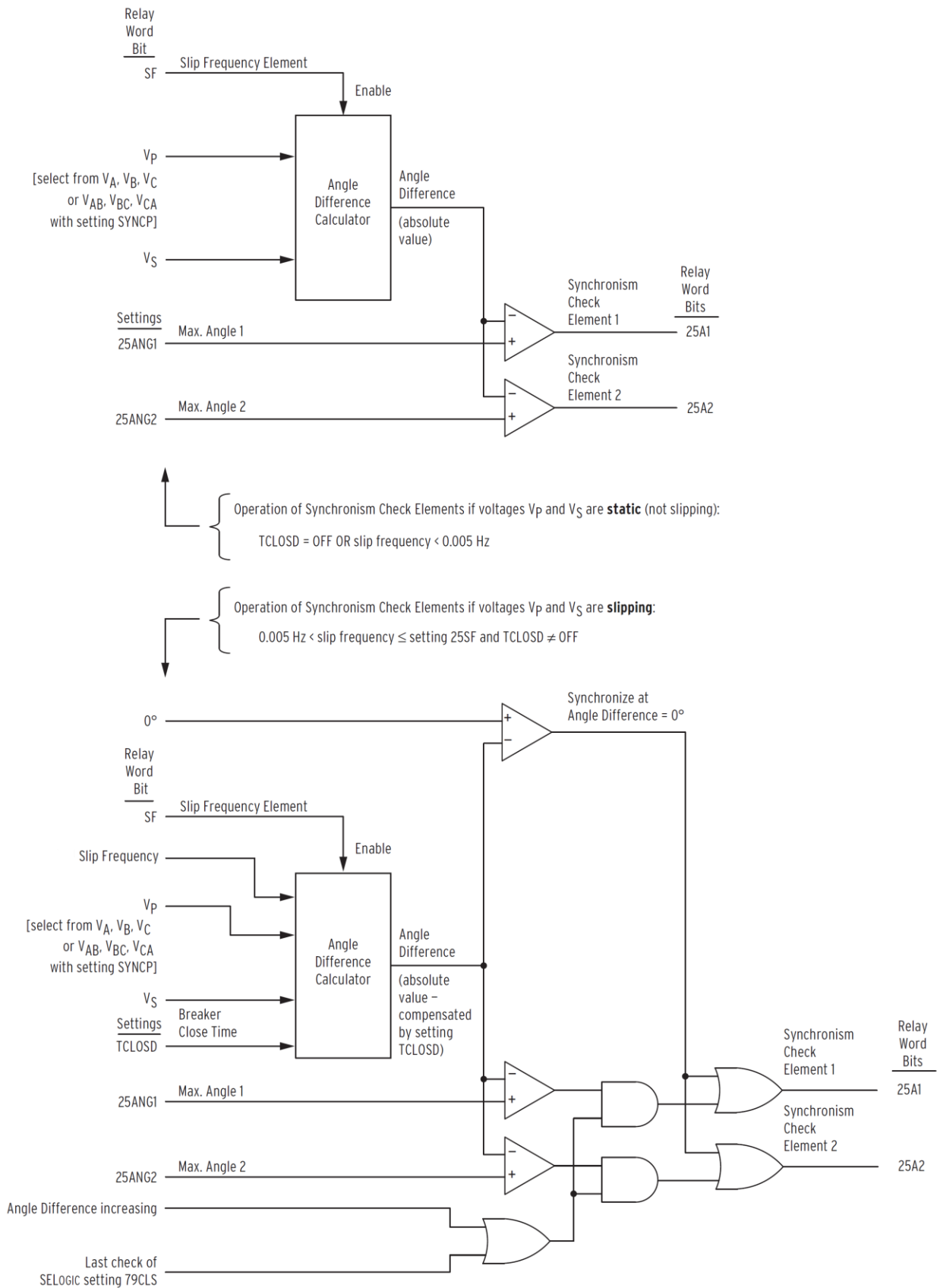
Επειδή ο H/N SEL-311B έχει τη δυνατότητα να δώσει εντολή κλεισίματος προς τον Δ/Ι του, είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποιος έλεγχος συγχρονισμού μεταξύ των δύο κομματιών του Σ.Η.Ε. που πρόκειται να επανασυνδεθούν ώστε να ελαχιστοποιηθεί το μεταβατικό φαινόμενο ζεύξης. Σε περίπτωση που τα δύο κομμάτια του Σ.Η.Ε. είναι ήδη συγχρονισμένα, δηλαδή οι τάσεις στις δύο μεριές δεν αλλάζουν γωνία η μία σε σχέση με την άλλη, τότε είναι αρκετό να ελεγχθεί ότι η φασική διαφορά μεταξύ των τάσεων τους είναι εντός προκαθορισμένων ορίων ώστε να επιτραπεί το κλείσιμο του Δ/Ι. Όταν, όμως, δεν είναι σίγουρο ότι τα δύο Σ.Η.Ε. είναι συγχρονισμένα, είναι απαραίτητη η επιτήρηση των διανυσμάτων των τάσεων των δύο Σ.Η.Ε. ώστε το κλείσιμο του Δ/Ι να γίνει τη στιγμή που τα εν λόγω διανύσματα πλησιάσουν μεταξύ τους.

Ο H/N SEL-311B διαθέτει δύο μονοφασικά στοιχεία ελέγχου συγχρονισμού (25). Για την λειτουργία αυτής της προστασίας, η τάση εισόδου VS συνδέεται στο δευτερεύον ενός Μ/Σ τάσης

που μετρά τη φασική ή πολική τάση στην μία μεριά του Δ/Ι, ενώ η άλλη τάση συγχρονισμού ( $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$ ,  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$ ,  $V_{CA}$ ) λαμβάνεται από το δευτερεύον Μ/Σ τάσης στην άλλη μεριά του Δ/Ι και επιλέγεται από τη ρύθμιση SYNCP. Τέλος, τα δύο στοιχεία προστασίας ελέγχου συγχρονισμού μοιράζονται τα ίδια μέγιστα και ελάχιστα όρια επιτρεπτών τάσεων (25VHI, 25VLO) και τις ίδιες ρυθμίσεις ολίσθησης συχνότητας (25SF). Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα κυκλώματα λειτουργίας των εν λόγω στοιχείων.



Εικόνα 2.91: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων ελέγχου συγχρονισμού για έλεγχο ορίων τάσεων και ολίσθησης συχνότητας στον H/N SEL-311B [17]



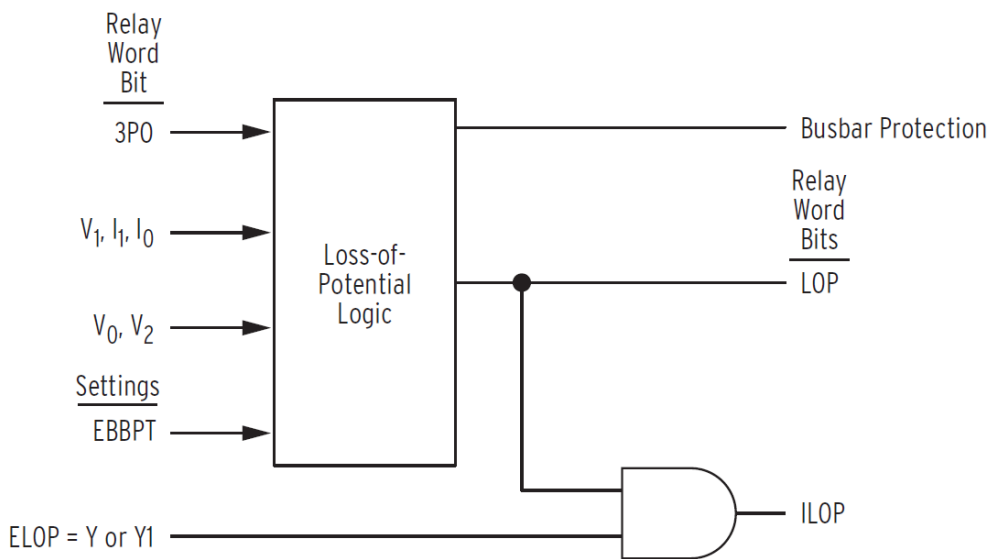
Εικόνα 2.92: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων ελέγχου συγχρονισμού στον Η/Ν SEL-311B [17]

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η ρύθμιση TCLOSD είναι ο θεωρητικός χρόνος κλεισίματος του  $\Delta/I$ , ο οποίος αξιοποιείται από τον Η/Ν για να γίνει με ακόμη μεγαλύτερη

ακρίβεια το κλείσιμο του Δ/Ι όταν τα διανύσματα των τάσεων των δύο κομματιών του Σ.Η.Ε. είναι σε φάση.

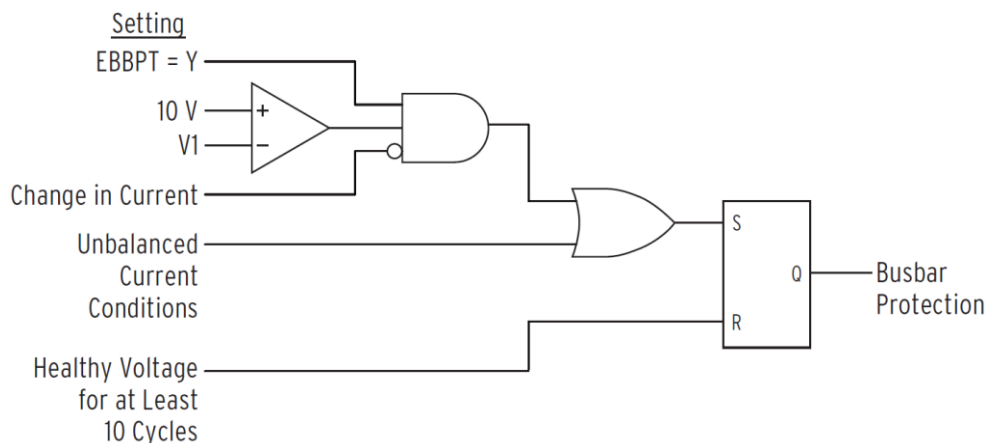
### 2.5.7 Προστασία έναντι απώλειας σήματος από τον Μ/Σ υποβιβασμού τάσης

Το κύκλωμα λειτουργίας έναντι απώλειας σήματος από τον Μ/Σ τάσης του Η/Ν φαίνεται στην Εικόνα 2.93. Για να λειτουργήσει αυτή η προστασία θα πρέπει το σήμα 3Ρ0, το οποίο προσδιορίζει αν οι πόλοι του Δ/Ι είναι ανοικτοί, να είναι «0», δηλαδή ο Δ/Ι να είναι κλειστός ή να έχει γίνει η ρύθμιση  $EBBPT = Y$ . Το σήμα LOP γίνεται «1» αν ανιχνευθεί πτώση της τάσης  $V_1$  μεγαλύτερη ή ίση με 10% χωρίς να υπάρξει κάποια ανάλογη αλλαγή στα ρεύματα  $I_1$  και  $I_0$ . Σε περίπτωση που η κατάσταση αυτή συνεχιστεί για τουλάχιστον 15 κύκλους, το σήμα LOP μανδαλώνει και για να γίνει ξανά «0» θα πρέπει όλες οι φασικές τάσεις να φτάσουν σε τιμή πάνω από τα 40V, η  $V_0$  να είναι μικρότερη από 5V και η  $V_2$  μικρότερη από το 15% της  $V_1$ .



Εικόνα 2.93: Κύκλωμα λειτουργίας λογικής έναντι απώλειας σήματος από τον Μ/Σ τάσης στον Η/Ν SEL-311B [17]

Η ρύθμιση EBBPT χρησιμοποιείται για να αποφευχθούν ανεπιθύμητες λειτουργίες των προστασιών του Η/Ν σε περιπτώσεις που οι Μ/Σ τάσης του έχουν εγκατασταθεί σε μια διάταξη ζυγών που παρουσιάζει ιδιαιτερότητες. Στην περίπτωση αυτή ενεργοποιείται και το παρακάτω κύκλωμα λειτουργίας.

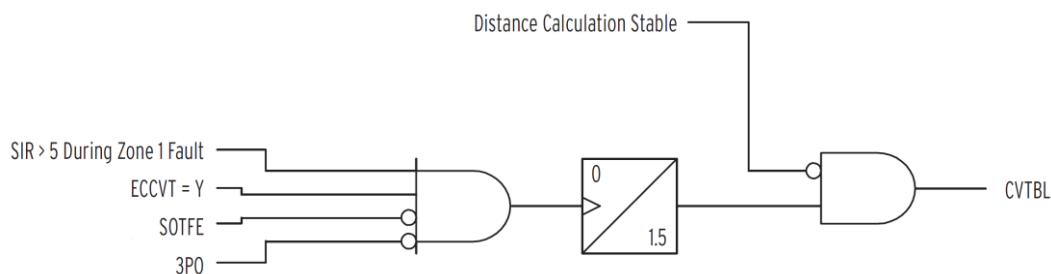


Εικόνα 2.94: Κύκλωμα λειτουργίας λογικής προστασίας ζυγού στον Η/Ν SEL-311B σε εφαρμογές όπου οι Μ/Σ του έχουν εγκατασταθεί σε ιδιαίτερες διατάξεις ζυγών [17]

Τέλος, η ρύθμιση ELOP δίνει τη δυνατότητα απενεργοποίησης των στοιχείων αποστάσεως και τα στοιχεία κατευθύνσεως με τάση πόλωσης θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας σε περίπτωση που διαπιστωθεί απώλεια σήματος από τον Μ/Σ υποβιβασμού τάσης. Το ρόλο αυτό αναλαμβάνει το σήμα ILOP που παράγεται.

### 2.5.8 Προστασία έναντι μεταβατικών φαινομένων στους πυκνωτικούς Μ/Σ τάσης

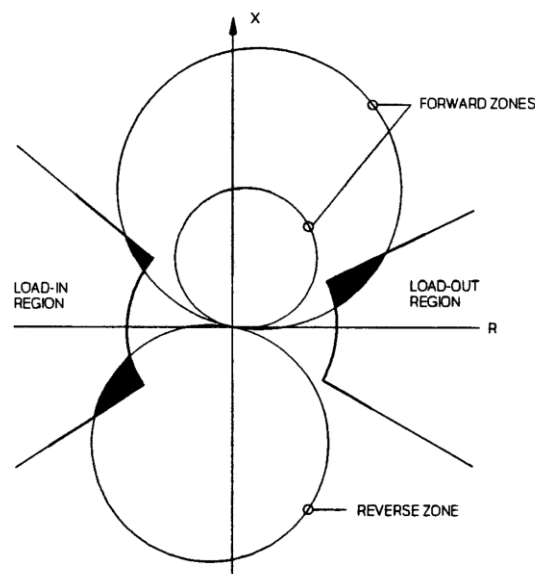
Τα μεταβατικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στον πυκνωτικό Μ/Σ τάσης (CCVT) κατά την εμφάνιση σφαλμάτων μπορούν να οδηγήσουν σε λειτουργία της 1<sup>ης</sup> ζώνης προστασίας αντί της πραγματικά επιθυμητής [23]. Ο Η/Ν SEL-311B μπορεί να μας προστατεύσει από αυτό το ενδεχόμενο εφόσον τεθεί ECCVT=Y. Σε περίπτωση, λοιπόν, όπου έχουμε υψηλή τιμή αναλογίας σύνθετης αντίστασης πηγής-γραμμής (SIR) κατά την εμφάνιση ενός σφάλματος εντός της 1<sup>ης</sup> ζώνης προστασίας, ο Η/Ν καθυστερεί την λειτουργία της προστασίας αποστάσεως 1<sup>ης</sup> ζώνης για 1.5 κύκλο, ώστε να δώσει τον απαραίτητο χρόνο στον CCVT να σταθεροποιήσει τη τάση του και να ληφθεί τελικά η σωστή απόφαση. Στην Εικόνα 2.95 φαίνεται το κύκλωμα λειτουργίας της εν λόγω προστασίας.



Εικόνα 2.95: Κύκλωμα λειτουργίας προστασίας έναντι μεταβατικών φαινομένων των πυκνωτικών Μ/Σ τάσης στον Η/Ν SEL-311B [17]

### 2.5.9 Λογική απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής

Η μετρούμενη σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας σε συνθήκες υψηλού φορτίου μπορεί να είναι μικρότερη από αυτή που εμφανίζεται για ορισμένα σφάλματα με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος ανούσιας λειτουργίας της προστασίας αποστάσεως όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.96.



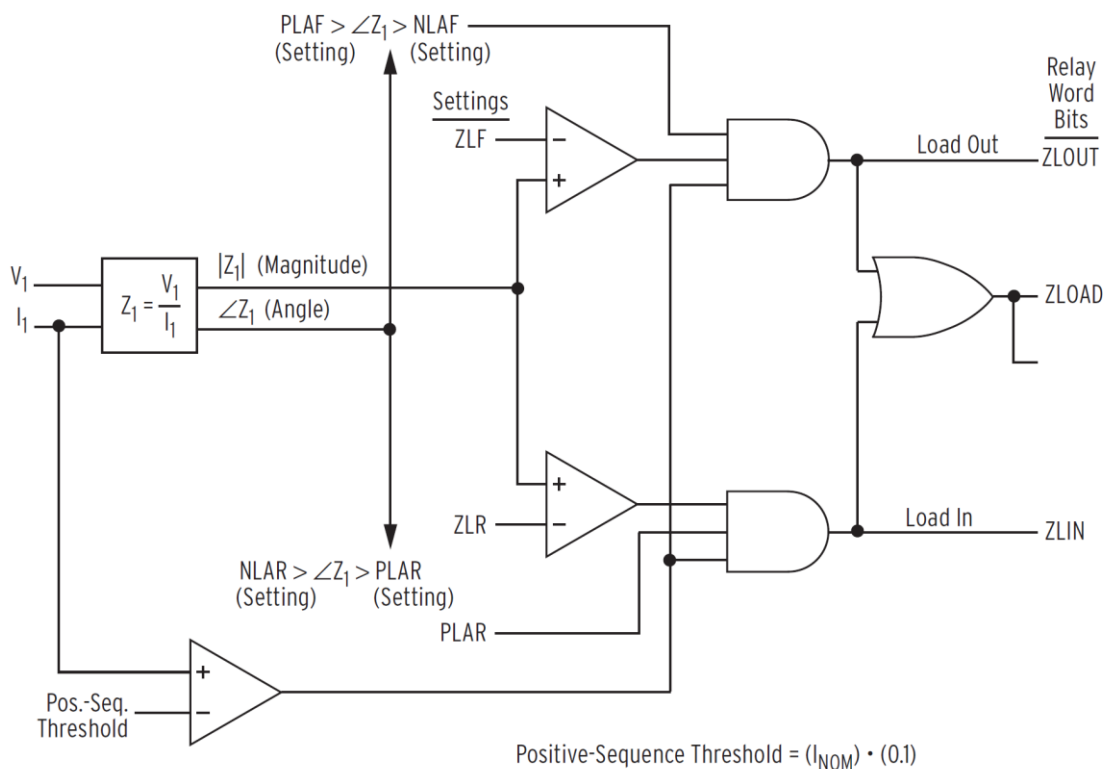
Εικόνα 2.96: Χαρακτηριστικές λειτουργίας στοιχείων αποστάσεως και γεωμετρικός τόπος μετρούμενης σύνθετης αντίστασης θετικής ακολουθίας σε συνθήκες υψηλής φόρτισης [20]

Στον H/N SEL-311B μπορούν να οριστούν οι περιοχές του R-X διαγράμματος στις οποίες μπορεί να βρεθεί η σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας του φορτίου και έτσι να εμποδιστεί εμμέσως η λειτουργία των στοιχείων αποστάσεως σε περίπτωση που η μετρούμενη αντίσταση βρεθεί μέσα σε μία από αυτές. Αυτή η λογική απευαισθητοποίησης των στοιχείων προστασίας από τις συνθήκες υψηλής φόρτισης έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

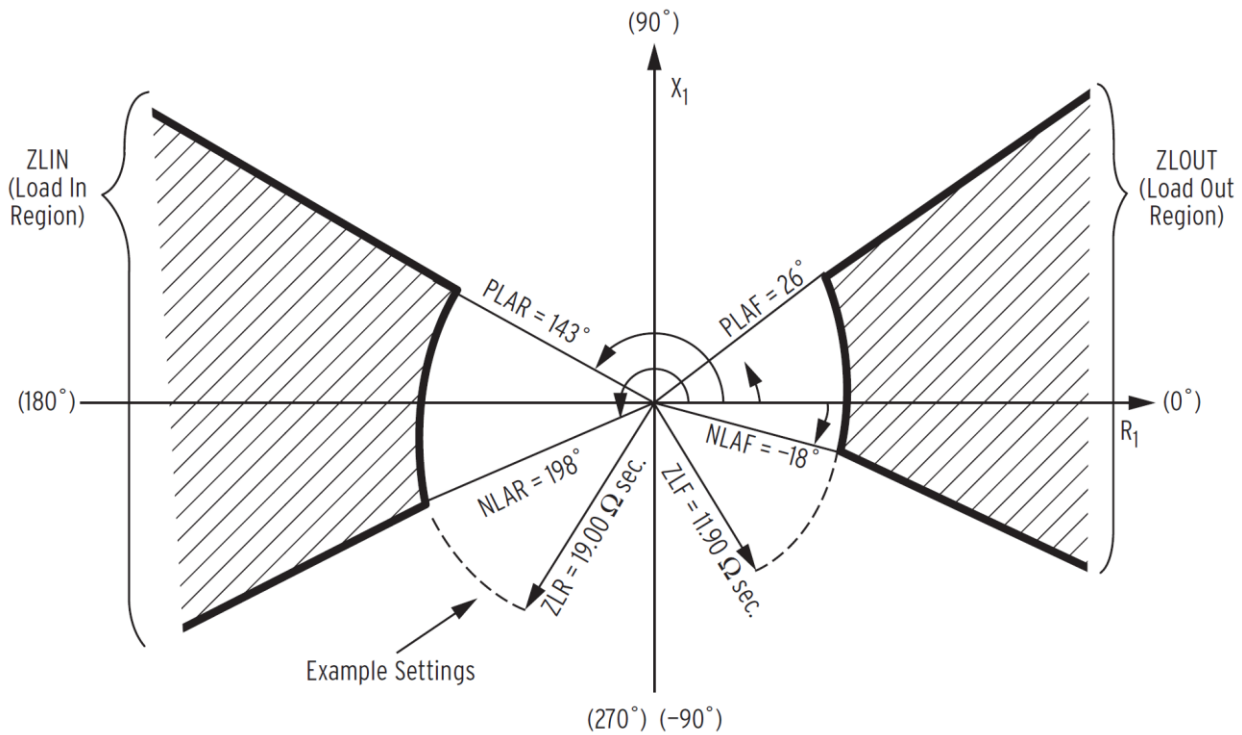
- ✓ Επιτυγχάνεται μεγαλύτερη κάλυψη σφαλμάτων διότι δεν χρειάζεται να κάνουμε συμβιβασμούς όσον αφορά την χαρακτηριστική λειτουργίας των στοιχείων αποστάσεως.
- ✓ Η ρύθμιση του γεωμετρικού τόπου όπου μπορεί να βρεθεί το φορτίο στο R-X διάγραμμα γίνεται πολύ εύκολα αρκεί να γνωρίζουμε τις συνθήκες φόρτισης που μπορούν να εμφανιστούν, δηλαδή το μέγιστο φορτίο και την διακύμανση του συντελεστή ισχύος.
- ✓ Μας δίνεται η δυνατότητα να ορίσουμε διαφορετικό γεωμετρικό τόπο για το εξερχόμενο (load-out) και άλλη για το εισερχόμενο (load-in) φορτίο.
- ✓ Περιορίζεται η πιθανότητα εσφαλμένης ρύθμισης του H/N αφού οι χαρακτηριστικές των στοιχείων αποστάσεως και της εν λόγω λογικής είναι ανεξάρτητες.

Επισημαίνεται πως η λογική αυτή αξιοποιείται γενικά για τα τριφασικά σφάλματα και δεν ενδείκνυται ούτε απαιτείται για τα υπόλοιπα ασύμμετρα σφάλματα.

Στον H/N SEL-311B, η ενεργοποίηση αυτής της λογικής απαιτεί να τεθεί ELOAD=Y. Με αυτό τον τρόπο εμποδίζεται την λειτουργία των στοιχείων κατεύθυνσης που πολώνονται με τάση θετικής ακολουθίας και συνεπώς γίνεται πιο δύσκολη η επίτρεψη λειτουργίας για τα στοιχεία απόστασης φάσης. Το bit λέξης ZLOAD μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί και για την παρεμπόδιση λειτουργίας των στοιχείων υπερεντάσεως έπειτα από κατάλληλη ρύθμιση. Στην Εικόνα 2.97 φαίνεται το κύκλωμα που υλοποιεί αυτή τη λογική και στην Εικόνα 2.98 δίνεται ένα παράδειγμα που περιγράφει επαρκώς τις ρυθμίσεις της.



Εικόνα 2.97: Κύκλωμα που υλοποιεί την λογική απευαισθητοποίησης των στοιχείων αποστάσεως από τις συνθήκες υψηλής φόρτισης στον H/N SEL-311B [17]



Εικόνα 2.98: Παράδειγμα ρυθμίσεων λογικής απευαισθητοποίησης των στοιχείων αποστάσεως από τις συνθήκες υψηλής φόρτισης στον H/N SEL-311B [17]

### 2.5.10 Έλεγχος κατεύθυνσης σφαλμάτων

Η δυνατότητα των H/N να αναγνωρίζουν την κατεύθυνση των σφαλμάτων είναι εξαιρετικά σημαντική για την ενίσχυση της ασφάλειας και της επιλογικότητας οποιουδήποτε συστήματος προστασίας. Οι ψηφιακοί H/N ενσωματώνουν πολλά στοιχεία κατευθύνσεως τα οποία βασίζονται σε υπολογισμούς μεγεθών που προσομοιάζουν σε ροπές ηλεκτρομηχανικών H/N ή χρησιμοποιούν τις μετρούμενες σύνθετες αντιστάσεις των ακολουθιακών κυκλωμάτων.

#### 2.5.10.1 Περιγραφή στοιχείων κατεύθυνσης φάσεων

Από την θεωρία μας γνωρίζουμε ότι για τον καθορισμό της κατεύθυνσης σφαλμάτων φάσεων προτιμώνται στοιχεία κατεύθυνσης 90°, τα οποία υπολογίζουν την εξής ροπή για τη φάση A:

$$T_A = |V_{BC}| \cdot |I_A| \cdot \cos(\angle V_{BC} - \angle I_A)$$

Όταν η παραπάνω ροπή προκύψει θετική, τότε θεωρείται ότι υπάρχει σφάλμα προς τα κατάντη του H/N, ενώ όταν η ροπή προκύψει αρνητική, τότε το σφάλμα βρίσκεται προς τα ανάντη του H/N.

Αποδεικνύεται μέσα από μελέτες ότι τα εν λόγω στοιχεία κατεύθυνσης λειτουργούν σωστά για συμμετρικά σφάλματα, αλλά μπορούν να δυσλειτουργήσουν σε περιπτώσεις μονοφασικών σφαλμάτων προς γη που θα συμβούν προς τα ανάντη του H/N με ρεύμα συνεισφοράς μηδενικής ακολουθίας από απομακρυσμένο ζυγό. Για την αντιμετώπιση της προαναφερθείσας αδυναμίας των στοιχείων κατεύθυνσης 90°, δημιουργήθηκαν τα στοιχεία κατεύθυνσης με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας. Το βασικό σκεπτικό για τη δημιουργία τους ήταν ότι, κατά τη διάρκεια συμμετρικών σφαλμάτων, αναπτύσσονται μόνο ρεύματα και τάσεις θετικής ακολουθίας και συνεπώς είναι καλύτερο να αξιοποιούμε μόνο αυτά τα μεγέθη. Τα στοιχεία αυτά λειτουργούν υπολογίζοντας ένα μέγεθος ροπής βάσει του παρακάτω τύπου:



$$T32P = |3V_1| \cdot |3I_1| \cdot \cos(\angle 3V_1 - (\angle 3I_1 + \angle Z_{L1}))$$

Θετικό πρόσημο στο εν λόγω μέγεθος σημαίνει σφάλμα προς τα κατάντη, ενώ αρνητικό σημαίνει σφάλμα προς τα ανάντη του H/N. Οριστική απόφαση ως προς την κατεύθυνση του σφάλματος λαμβάνεται μόνο αν όλα τα στοιχεία συμφωνούν μεταξύ τους, ενώ κάθε στοιχείο ξεχωριστά απαιτεί το υπολογιζόμενο μέγεθος ροπής να ξεπεράσει κάποιο ελάχιστο όριο. Ακόμη, αξίζει να επισημανθεί ότι για να καταπολεμήσουμε την πιθανότητα μη λειτουργίας των εν λόγω στοιχείων κατεύθυνσης σε περίπτωση εμφάνισης σφάλματος μηδενικής τάσης, χρησιμοποιείται στη θέση της απλής τάσεως θετικής ακολουθίας, τάση πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη.

Το στοιχείο T32P λειτουργεί πολύ ικανοποιητικά για την αναγνώριση της κατεύθυνσης συμμετρικών σφαλμάτων. Αποδεικνύεται, όμως, ότι χωλαίνει στην αναγνώριση της κατεύθυνσης ασύμμετρων σφαλμάτων φάσεων, των οποίων το επακόλουθο μέτρο του ρεύματος σφάλματος προσεγγίζει σε τιμή αυτό του ρεύματος φορτίου. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, δημιουργήθηκε ένα ακόμη στοιχείο κατεύθυνσης, ειδικά σχεδιασμένο για την αναγνώριση της κατεύθυνσης ασύμμετρων σφαλμάτων φάσεων. Το στοιχείο αυτό αξιοποιεί τις μόνες κοινώς εμφανίσιμες ηλεκτρικές ποσότητες στα ασύμμετρα σφάλματα φάσεων, δηλαδή τις τάσεις και τα ρεύματα αρνητικής ακολουθίας βάσει της παρακάτω εξίσωσης:

$$T32Q = |3V_2| \cdot |3I_2| \cdot \cos(\angle -3V_2 - (\angle 3I_2 + \angle Z_{L1}))$$

Θετικό πρόσημο στο εν λόγω μέγεθος σημαίνει σφάλμα προς τα κατάντη του H/N, ενώ αρνητικό σημαίνει σφάλμα προς τα ανάντη. Επίσης, για την λήψη οριστικής απόφασης, το στοιχείο αυτό απαιτεί το υπολογιζόμενο μέγεθος ροπής να ξεπεράσει κάποιο ελάχιστο όριο.

Συνδυάζοντας τα δύο στοιχεία κατεύθυνσης που μόλις παρουσιάστηκαν, μπορεί να προκύψει ένα πολύ ευαίσθητο και αποτελεσματικό συνδυαστικό στοιχείο κατεύθυνσης φάσης T32PQ, το οποίο θα εκτελεί άθροιση με βάρη μεταξύ των τιμών των υπολογιζόμενων ροπών των στοιχείων T32P και T32Q. Φυσικά, το μέγεθος στο οποίο θα πρέπει να δίνεται περισσότερη βαρύτητα είναι αυτό του T32Q.

### 2.5.10.2 Περιγραφή στοιχείων κατεύθυνσης γης

Ένα στοιχείο κατεύθυνσης σφαλμάτων γης που χρησιμοποιεί τις τάσεις και τα ρεύματα μηδενικής ακολουθίας, υπολογίζει την εξής ροπή:

$$T32V = |3V_0| \cdot |3I_0| \cdot \cos(\angle -3V_0 - (\angle 3I_0 + \angle Z_{L0}))$$

Θετικό πρόσημο στο εν λόγω μέγεθος σημαίνει σφάλμα προς τα κατάντη του H/N, ενώ αρνητικό σημαίνει σφάλμα προς τα ανάντη.

Ένα πρόβλημα που παρουσιάζει το στοιχείο κατεύθυνσης T32V είναι ότι για απομακρυσμένα σφάλματα γης, η τάση μηδενικής ακολουθίας είναι πολύ μικρή με αποτέλεσμα να υπονομεύεται η ορθή λειτουργία του. Για να αποφύγουμε αυτό το πρόβλημα, προτιμάται σε αυτές τις περιπτώσεις η χρήση ενός άλλου στοιχείου κατεύθυνσης, το οποίο πολώνεται μέσω μιας εξωτερικής πηγής ρεύματος πόλωσης. Το στοιχείο αυτό αξιοποιεί την ροπή

$$T32I = |I_{POL}| \cdot |3I_0| \cdot \cos(\angle I_{POL} - \angle 3I_0)$$

και έχει θετικό πρόσημο όταν το σφάλμα είναι προς τα κατάντη του H/N ή αρνητικό όταν το σφάλμα είναι προς τα ανάντη. Επισημαίνεται στο σημείο αυτό, ότι, όπως και στην περίπτωση των στοιχείων κατεύθυνσης φάσεων T32P και T32Q, έτσι και εδώ, τα στοιχεία T32V και T32I μπορούν να λειτουργήσουν σε συνδυασμό παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία στους μηχανικούς προστασίας. Ακόμη, αξίζει να αναφερθεί ότι, διάφορες μελέτες αποδεικνύουν, πως υπάρχει περίπτωση δυσλειτουργίας των στοιχείων κατεύθυνσης με τάση πόλωσης μηδενικής ακολουθίας όταν αυτά λειτουργούν σε δίκτυα με παράλληλες γραμμές μεταφοράς που έχουν υψηλής τιμής αμοιβαία σύζευξη μηδενικής ακολουθίας και απομονωμένες πηγές μηδενικής ακολουθίας.

Τα στοιχεία κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας T32Q που παρουσιάστηκαν στην 2.5.10.1 παράγραφο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν στοιχεία κατεύθυνσης για ασύμμετρα σφάλματα γης εξαιτίας των δύο σημαντικών πλεονεκτημάτων τους:

- Δεν τα επηρεάζει η ύπαρξη υψηλής τιμής αμοιβαία σύζευξης μηδενικής ακολουθίας μεταξύ παράλληλων γραμμών μεταφοράς.
- Σε περιπτώσεις που υπάρχει μια ισχυρή πηγής μηδενικής ακολουθίας προς τα ανάντη του H/N, η τάση αρνητικής ακολουθίας στη θέση του H/N είναι μεγαλύτερη από αυτή της τάσης μηδενικής ακολουθίας.

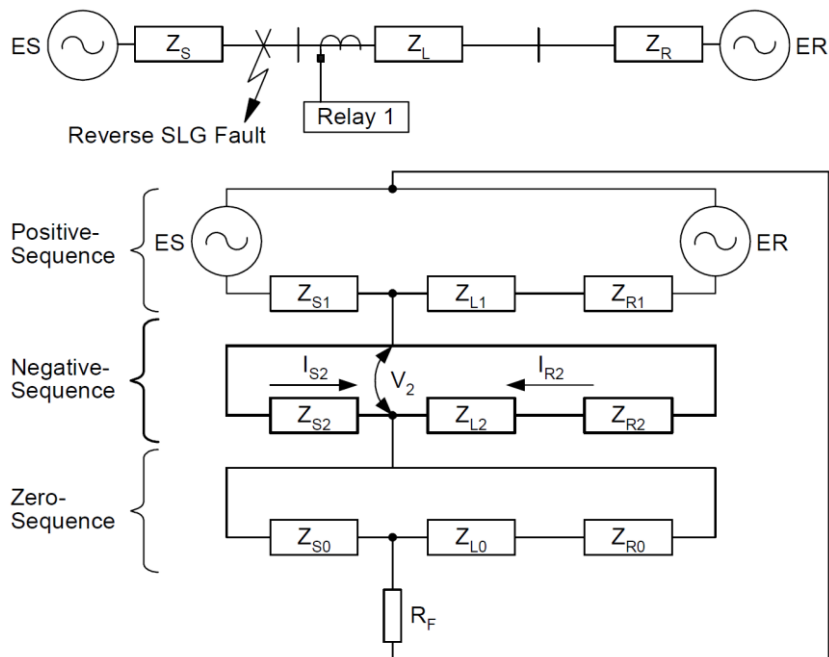
Σε περιπτώσεις, όμως, που η πηγή αρνητικής ακολουθίας η οποία βρίσκεται πίσω από τον H/N είναι αρκετά ισχυρή, το μέτρο της τάσης αρνητικής ακολουθίας που θα μετρήσει το στοιχείο T32Q μπορεί να είναι και αυτό πολύ μικρό για να μπορέσει να λειτουργήσει για ένα απομακρυσμένο σφάλμα γης. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, εφευρέθηκε ένας τρόπος ενίσχυσης της τάσεως αρνητικής ακολουθίας μέσω ενός παράγοντα αντιστάθμισης και έτσι δημιουργήθηκε ένα νέο αντισταθμισμένο στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας το οποίο λειτουργεί βάσει της εξίσωσης

$$T32QC = Re[(V_2 - a \cdot Z_{L1} \cdot I_2) \cdot (Z_{L1} \cdot I_2)^*]$$

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονισθεί ότι ο συντελεστής αντιστάθμισης  $a$  θα πρέπει να εκλεγεί με προσοχή ώστε να δώσει την απολύτως απαραίτητη ενίσχυση στη τάση αρνητικής ακολουθίας για την ορθή αναγνώριση της κατεύθυνσης των προς τα κατάντη του H/N σφαλμάτων, χωρίς όμως να υπονομευτεί η αναγνώριση της κατεύθυνσης των προς τα ανάντη σφαλμάτων. Θεωρώντας το δίκτυο και το σφάλμα προς τα ανάντη του H/N που φαίνεται στην Εικόνα 2.99 απαιτούμε:

$$V_2 - a \cdot Z_{L1} \cdot I_2 > 0 \xrightarrow{I_2 = -I_{R2}} V_2 > a \cdot Z_{L1} \cdot (-I_{R2}) \xrightarrow{V_2 = (-I_{R2}) \cdot (Z_{R2} + Z_{L2})}$$

$$\Rightarrow -I_{R2} \cdot (Z_{R2} + Z_{L2}) > a \cdot Z_{L2} \cdot (-I_{R2}) \Rightarrow a < \frac{Z_{R2}}{Z_{L2}} + 1$$



Εικόνα 2.99: Δίκτυο για εξαγωγή της συνθήκης που θα πρέπει να ικανοποιεί ο παράγοντας  $\alpha$  ώστε να λειτουργήσει σωστά το στοιχείο κατεύθυνσης T32QC [24]

Ένα θέμα που χρήζει επισήμανσης είναι το ότι, αν αφήσουμε ένα στοιχείο κατεύθυνσης σφαλμάτων γης να λειτουργεί χωρίς κάποιον άλλον έλεγχο, τότε υπάρχει πιθανότητα να λειτουργήσει ακόμη και με την εμφάνιση κάποιας φυσιολογικής ασυμμετρίας στο δίκτυο λόγω π.χ. μη μετατιθεμένων γραμμών μεταφοράς. Αυτό δεν έχει άμεση συνέπεια ως προς την αποτελεσματικότητα του συστήματος προστασίας, αλλά καθίσταται σημαντικό όταν, ενώ το στοιχείο κατεύθυνσης δείχνει προς μία κατεύθυνση λόγω ασυμμετρίας, εμφανιστεί ένα σφάλμα προς την αντίθετη κατεύθυνση. Σε αυτή την περίπτωση, μπορεί να υπάρξει κίνδυνος δυσλειτουργίας της προστασίας έως ότου πραγματοποιηθεί η αλλαγή της απόκρισης του στοιχείου κατεύθυνσης. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα χρησιμοποιούνται διάφοροι παράγοντες ελέγχου ( $a_2, a_0$ ), οι οποίοι επιτρέπουν την λειτουργία του στοιχείου κατεύθυνσης συγκρίνοντας τα ρεύματα ακολουθίας μεταξύ τους.

### 2.5.10.3 Λειτουργία στοιχείων κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας βάσει των μετρούμενων αντιστάσεων ακολουθίας

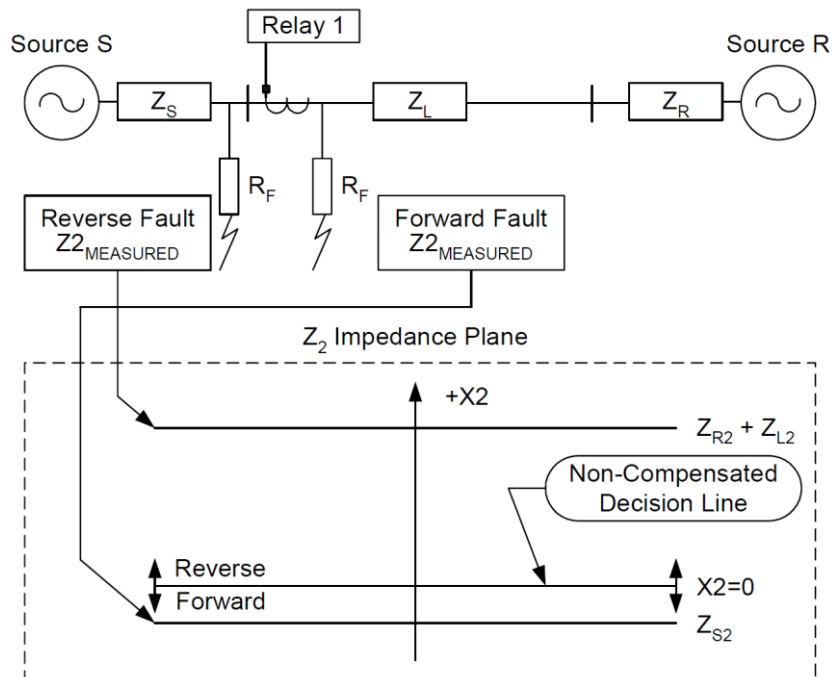
Παρατηρώντας ξανά την Εικόνα 2.99 και σκεπτόμενοι τις μετρούμενες τιμές των  $V_2$  και  $I_2$  από τον Η/Ν, εξάγουμε δύο συμπεράσματα:

- Για μονοφασικό σφάλμα προς γης μπροστά από τον Η/Ν ισχύει ότι:  $\frac{V_2}{I_{S2}} = -Z_{S2}$
- Για μονοφασικό σφάλμα προς γης πίσω από τον Η/Ν ισχύει ότι:  $\frac{V_2}{-I_{R2}} = Z_{L2} + Z_{R2}$

Συνεπώς, η μετρούμενη σύνθετη αντίσταση αρνητικής ακολουθίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο κατεύθυνσης των σφαλμάτων γης, δημιουργώντας ένα νέο στοιχείο κατεύθυνσης σύνθετης αντίστασης αρνητικής ακολουθίας, το οποίο θα αναφέρεται στα επόμενα με την ονομασία T32Q (αντικαθιστώντας το προηγούμενο ομώνυμο στοιχείο). Η σύνθετη αντίσταση αρνητικής ακολουθίας που μετρά ένας Η/Ν κάθε στιγμή μπορεί να υπολογιστεί βάσει του τύπου

$$Z_2 = \frac{\text{Re}[V_2 \cdot (I_2 \cdot 1\angle\theta)^*]}{|I_2|^2}$$

όπου  $\theta$  είναι η γωνία της σύνθετης αντίστασης αρνητικής ακολουθίας. Το στοιχείο T32Q αποφασίζει ότι υπάρχει σφάλμα προς τα κατάντη του Η/Ν όταν ισχύει  $Z_2 < Z2F$  και σφάλμα προς τα ανάντη του Η/Ν όταν  $Z_2 > Z2R$ , όπου  $Z2F$  και  $Z2R$  είναι κατάλληλα ρυθμισμένα όρια. Η Εικόνα 2.100 δείχνει γραφικά τη σχέση της μετρούμενης σύνθετης αντίστασης αρνητικής ακολουθίας με την κατεύθυνση του σφάλματος γης.



Εικόνα 2.100: Αξιοποίηση μετρούμενης σύνθετης αντίστασης αρνητικής ακολουθίας στον έλεγχο κατεύθυνσης σφαλμάτων γης [24]

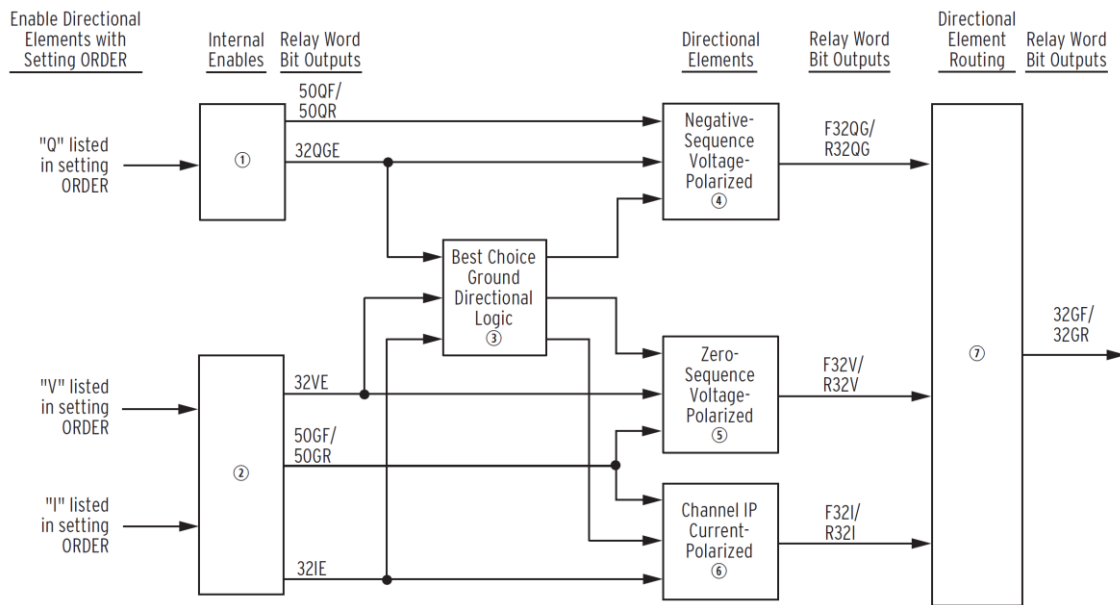
Παρόμοια συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν και για το στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας T32V. Συνεπώς, αυτός ο τρόπος ελέγχου λειτουργίας μπορεί να επεκταθεί και σε αυτό το στοιχείο, αλλά αυτή τη φορά χρησιμοποιώντας τη σύνθετη αντίσταση μηδενικής ακολουθίας.

#### 2.5.10.4 Διαθέσιμα στοιχεία κατεύθυνσης γης

Από τη ρύθμιση E32 του Η/Ν SEL-311B καθορίζεται ο τρόπος ρύθμισης των στοιχείων κατεύθυνσης σφαλμάτων γης. Τα στοιχεία κατεύθυνσης γης που είναι διαθέσιμα στον Η/Ν SEL-311B χρησιμοποιούνται στα στοιχεία απόστασεως γης και υπερεντάσεως γης και είναι τα εξής:

- Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας (T32Q)
- Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας (T32V)
- Στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση ρεύματος από την είσοδο IP (T32I)

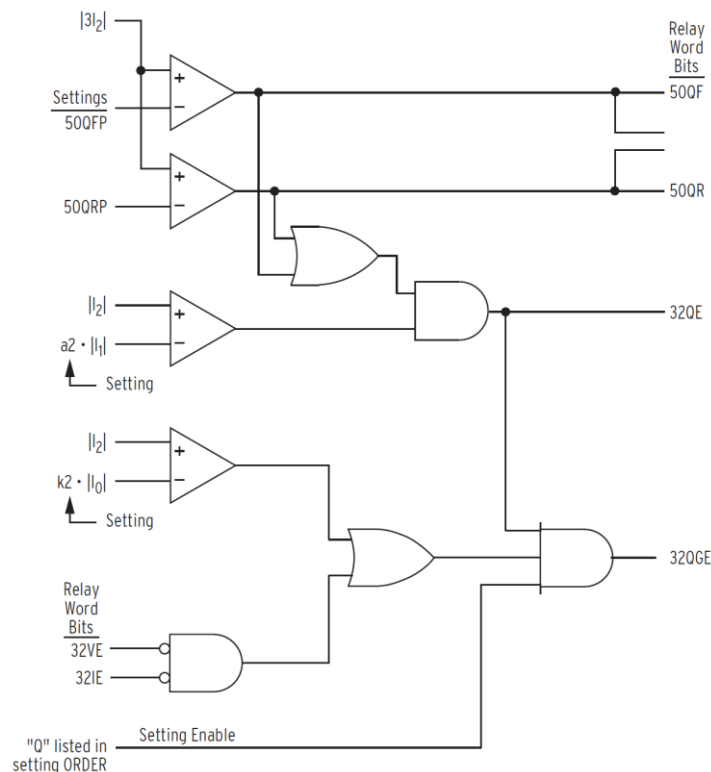
Στην Εικόνα 2.101 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο τα προαναφερθέντα στοιχεία κατευθύνσεως ενεργοποιούνται και προωθούν τις εξόδους τους στα κατάλληλα μονοπάτια για να ελέγξουν την λειτουργία των στοιχείων απόστασης γης και υπερέντασης γης.



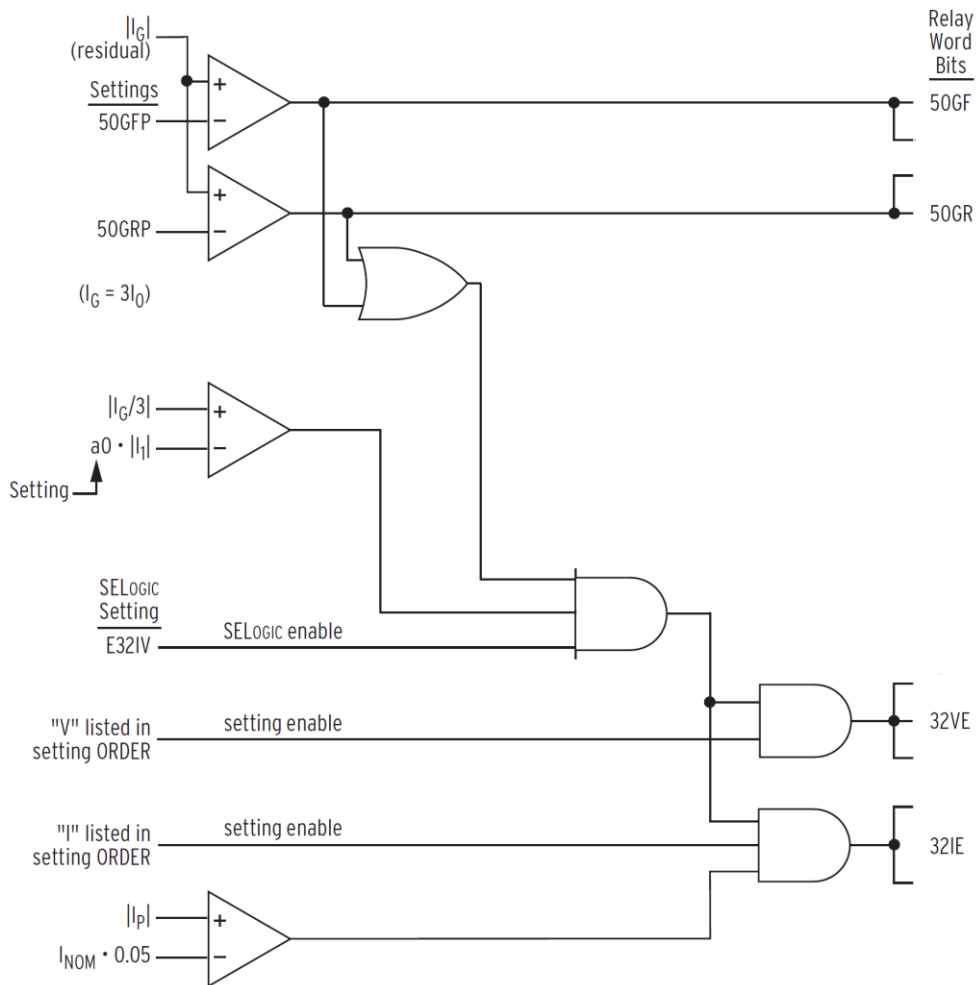
Εικόνα 2.101: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων κατεύθυνσης για τον έλεγχο λειτουργίας των στοιχείων απόστασης γης και υπερέντασης γης στον H/N SEL-311B [17]

Με αφορμή την παραπάνω εικόνα, επισημαίνονται τα εξής:

- Η ρύθμιση ORDER του H/N είναι υπεύθυνη για την εξωτερική επίτρεψη λειτουργίας κάθε στοιχείου κατεύθυνσης γης.
- Τα κυκλώματα εσωτερικής επίτρεψης λειτουργίας των στοιχείων κατεύθυνσης γης (Internal Enables) προσφέρουν επιπρόσθετη ασφάλεια και περιγράφονται επαρκώς μέσα από τις παρακάτω εικόνες.

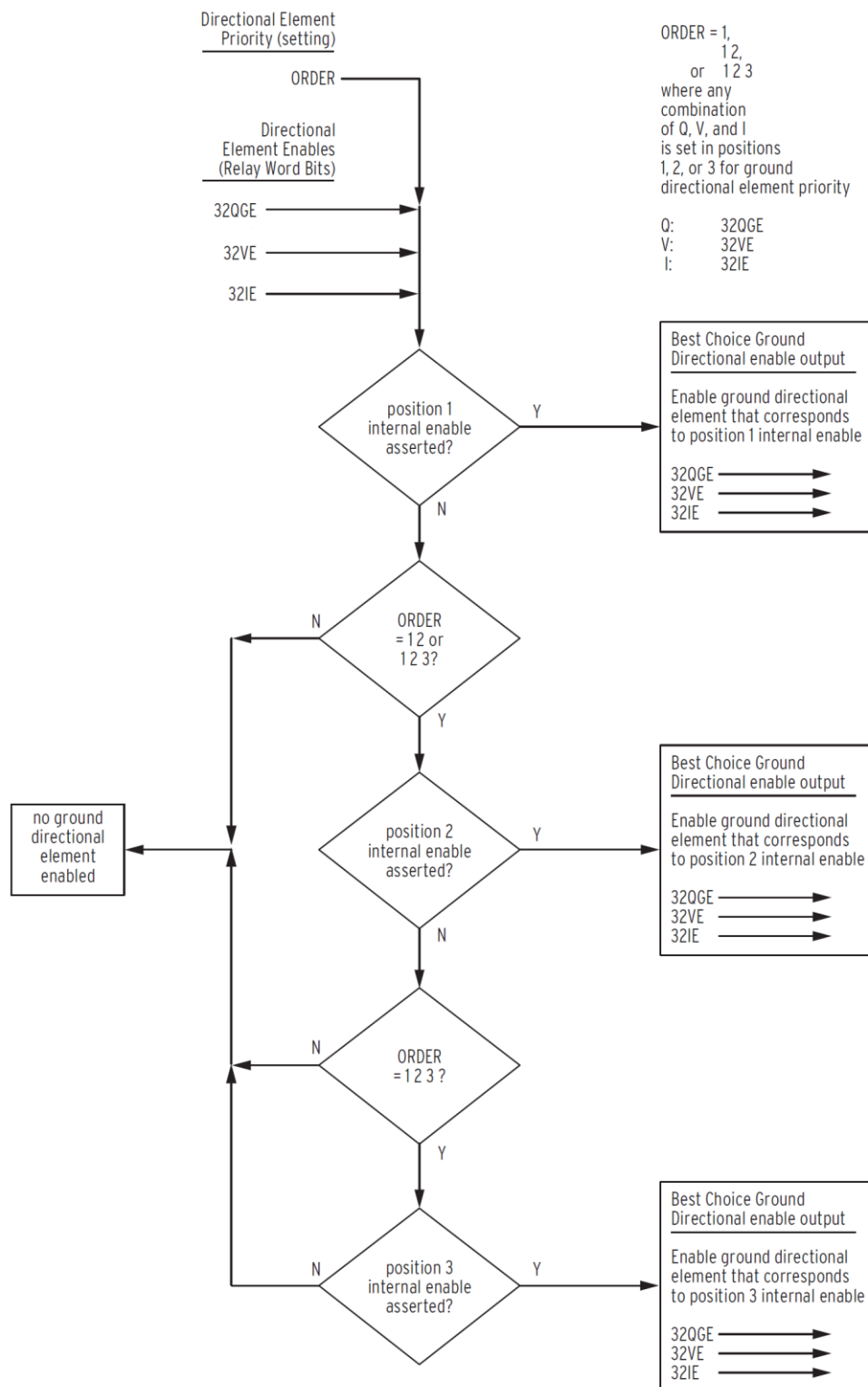


Εικόνα 2.102: Κύκλωμα εσωτερικής επίτρεψης λειτουργίας στοιχείων κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας (T32Q) στον H/N SEL-311B [17]



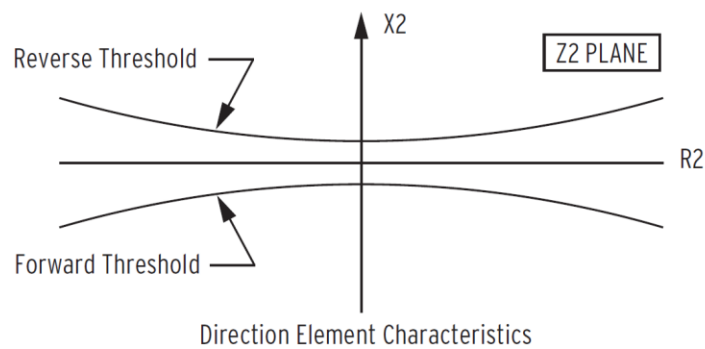
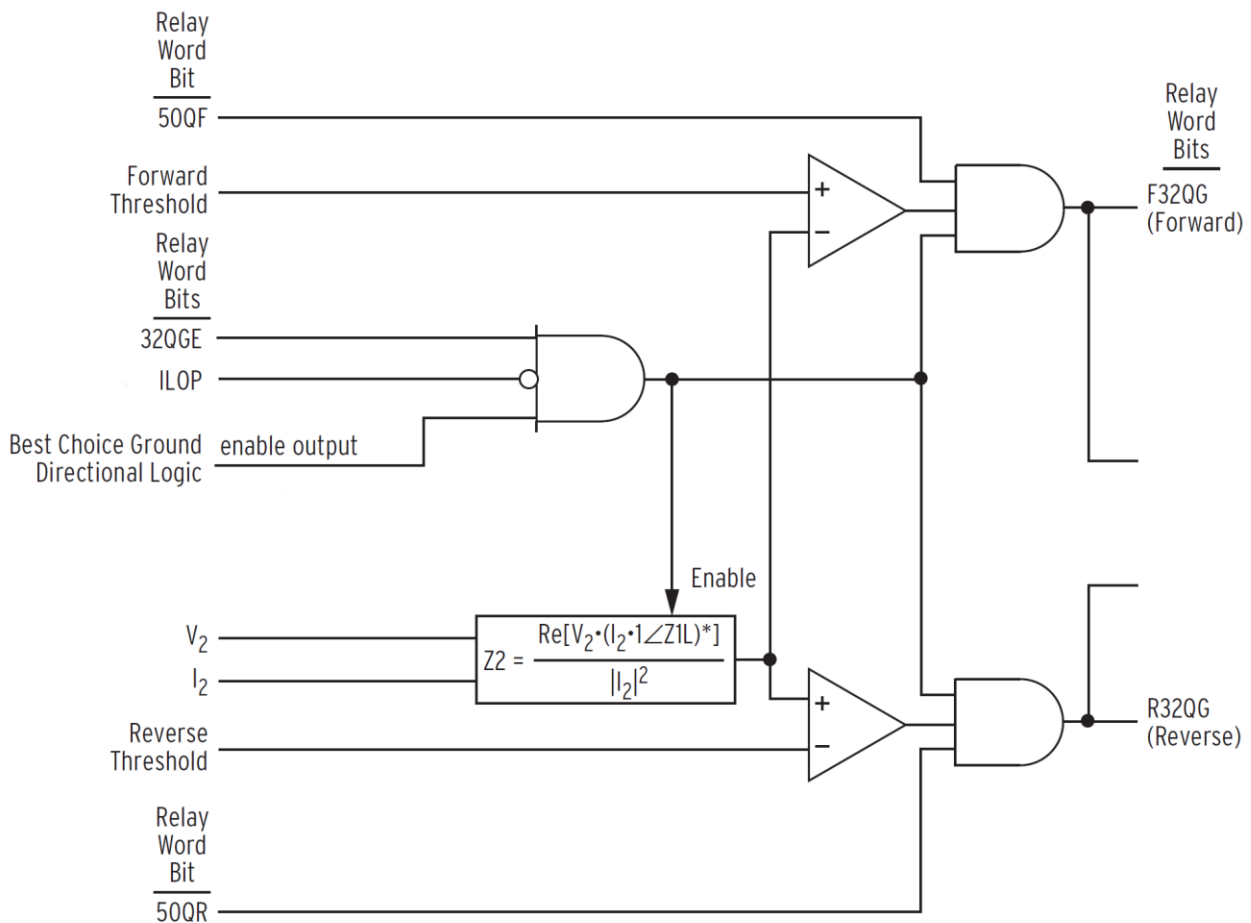
Εικόνα 2.103: Κύκλωμα εσωτερικής επίτρεψης λειτουργίας στοιχείων κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας ή πόλωση ρεύματος (T32Q & T32I) στον H/N SEL-311B [17]

- Οι έξοδοι 32QGE, 32VE και 32IE των κυκλωμάτων εσωτερικής επίτρεψης λειτουργίας των στοιχείων κατεύθυνσης γης καθώς και η ρύθμιση ORDER καθορίζουν την λογική σειρά με την οποία θα επιτραπεί σε κάθε στοιχείο κατεύθυνσης γης να λειτουργήσει (Best Ground Directional Logic). Η σημασία αυτής της ρύθμισης εξηγείται με την μορφή διαγράμματος ροής στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.104: Διάγραμμα ροής που αφορά τη σειρά με την οποία επιτρέπονται να λειτουργήσουν τα στοιχεία κατεύθυνσης γης βάσει της ρύθμισης ORDER στον H/N SEL-311B [17]

- Τα κυκλώματα που υλοποιούν την λειτουργία των στοιχείων κατεύθυνσης γης που διαθέτει ο H/N SEL-311B φαίνονται στις παρακάτω εικόνες. Παρατηρήστε ότι το σήμα ILOP που υποδηλώνει την απώλεια του σήματος τάσης από τον Μ/Σ υποβιβασμού απενεργοποιεί την λειτουργία των στοιχείων κατεύθυνσης T32Q και T32V που χρησιμοποιούν πόλωση τάσης για να λειτουργήσουν, ενώ παράλληλα προάγει την λειτουργία του στοιχείου T32I αφού αυτό δεν χρησιμοποιεί κάποια τάση για τη λειτουργία του.



Forward Threshold:

$$\text{If } Z2F \text{ Setting} \leq 0, \text{ Forward Threshold} = 0.75 \cdot Z2F - 0.25 \cdot \left| \frac{V_2}{I_2} \right|$$

$$\text{If } Z2F \text{ Setting} > 0, \text{ Forward Threshold} = 1.25 \cdot Z2F - 0.25 \cdot \left| \frac{V_2}{I_2} \right|$$

Reverse Threshold:

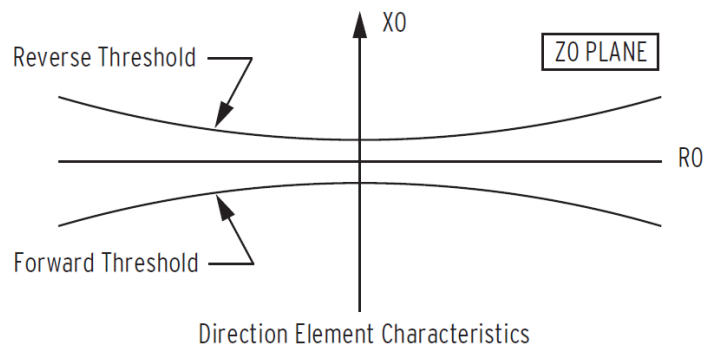
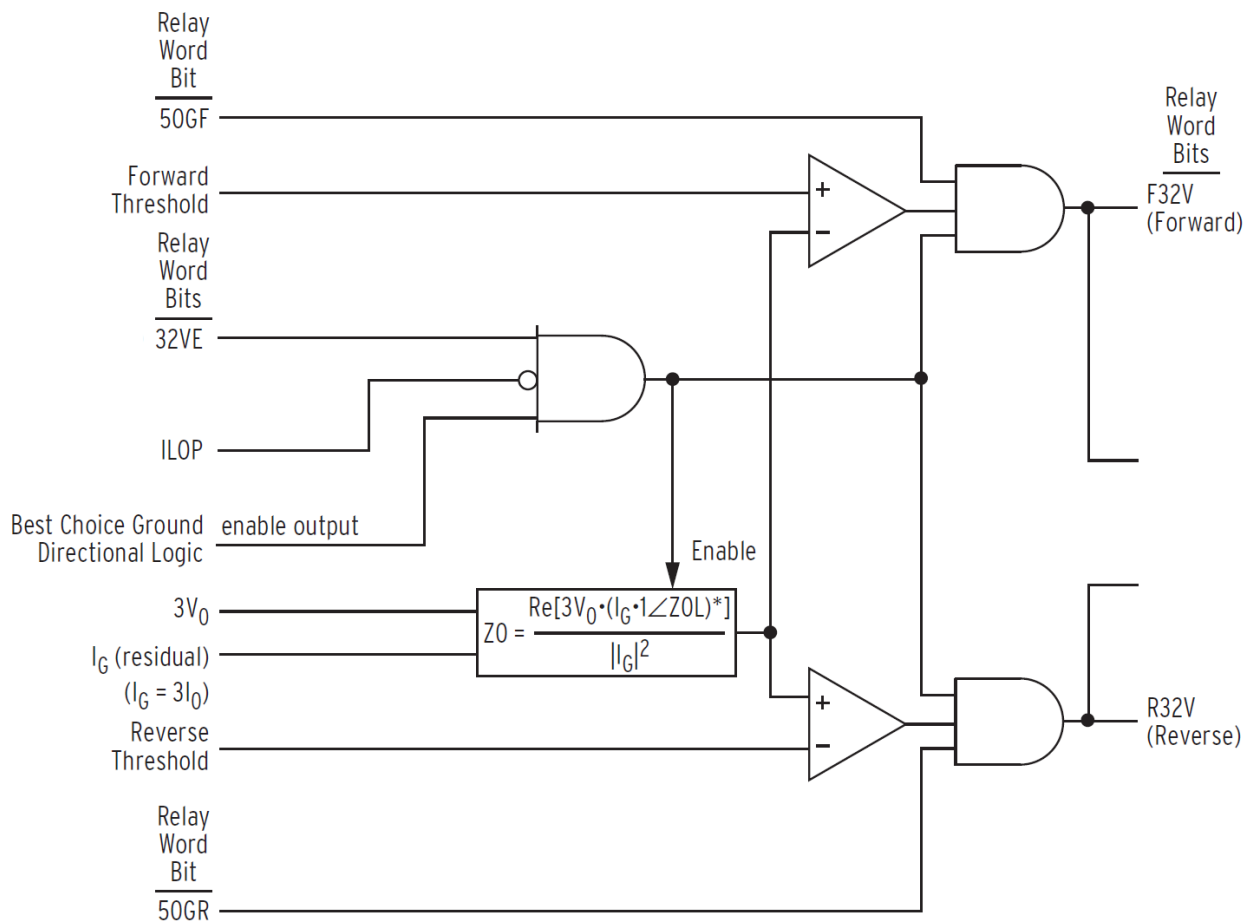
$$\text{If } Z2R \text{ Setting} \geq 0, \text{ Reverse Threshold} = 0.75 \cdot Z2R + 0.25 \cdot \left| \frac{V_2}{I_2} \right|$$

$$\text{If } Z2R \text{ Setting} < 0, \text{ Reverse Threshold} = 1.25 \cdot Z2R + 0.25 \cdot \left| \frac{V_2}{I_2} \right|$$

Note:  $1 \angle Z1L$  = One ohm at the positive-sequence line angle.

Εικόνα 2.105: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου κατεύθυνση με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας (T32Q) στον H/N SEL-311B [17]





Forward Threshold:

$$\text{If } Z0F \text{ Setting} \leq 0, \text{ Forward Threshold} = 0.75 \cdot Z0F - 0.25 \cdot \left| \frac{V_0}{I_0} \right|$$

$$\text{If } Z0F \text{ Setting} > 0, \text{ Forward Threshold} = 1.25 \cdot Z0F - 0.25 \cdot \left| \frac{V_0}{I_0} \right|$$

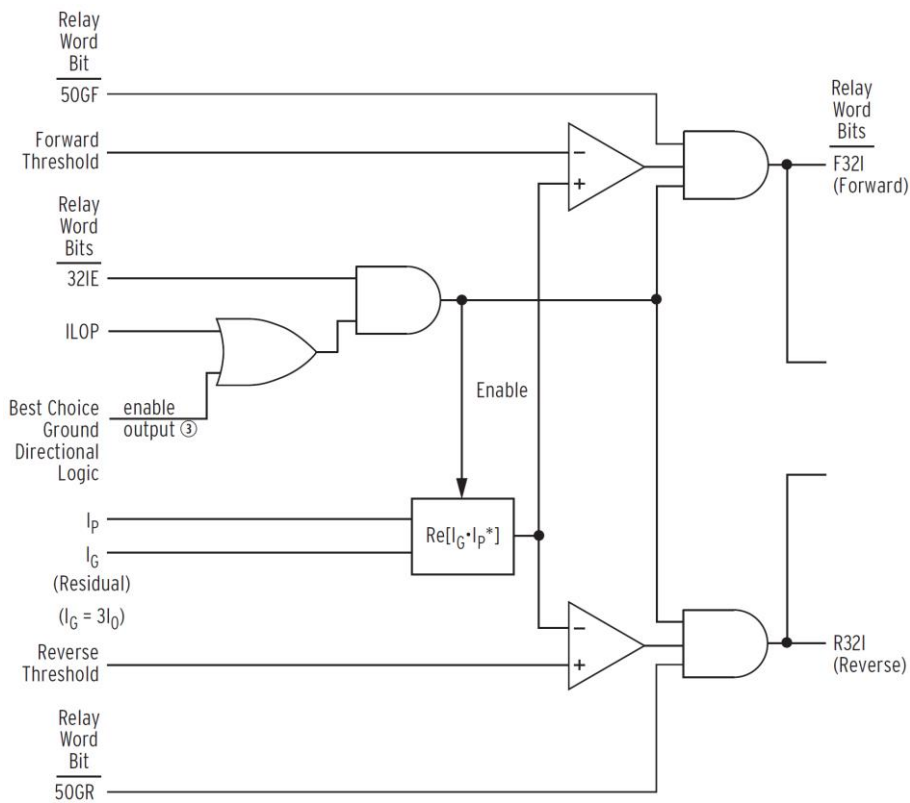
Reverse Threshold:

$$\text{If } Z0R \text{ Setting} \geq 0, \text{ Reverse Threshold} = 0.75 \cdot Z0R + 0.25 \cdot \left| \frac{V_0}{I_0} \right|$$

$$\text{If } Z0R \text{ Setting} < 0, \text{ Reverse Threshold} = 1.25 \cdot Z0R + 0.25 \cdot \left| \frac{V_0}{I_0} \right|$$

Note:  $1 \angle ZOL =$  One ohm at the zero-sequence line angle.

Εικόνα 2.106: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου κατεύθυνση με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας (T32V) στον Η/Ν SEL-311B [17]



Forward Threshold:

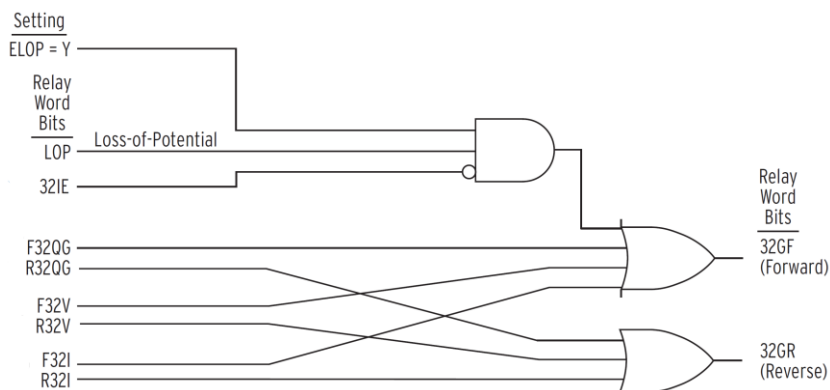
$$\text{Forward Threshold} = (\text{Channel } I_p \text{ Nominal Rating}) \cdot (\text{Phase Channels Nominal Rating}) \cdot (0.05)^2$$

Reverse Threshold:

$$\text{Reverse Threshold} = -(\text{Channel } I_p \text{ Nominal Rating}) \cdot (\text{Phase Channels Nominal Rating}) \cdot (0.05)^2$$

Εικόνα 2.107: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου κατεύθυνση με πόλωση ρεύματος (T32I) στον H/N SEL-311B [17]

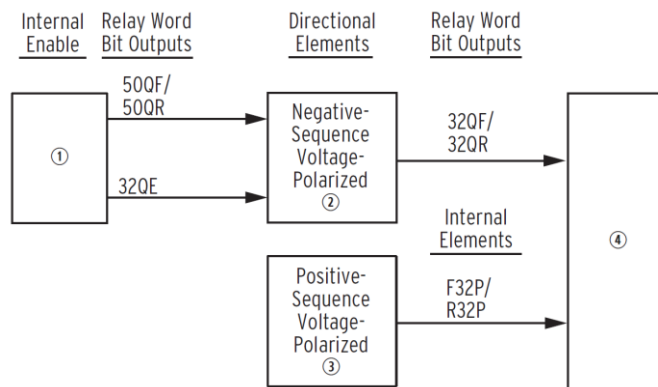
- Για την δρομολόγηση των αποτελεσμάτων των στοιχείων κατεύθυνσης προς τα στοιχεία αποστάσεως γης και υπερεντάσεως γης χρησιμοποιείται το κύκλωμα στην Εικόνα 2.108. Παρατηρείστε ότι μέσω των σημάτων ELOP και LOP, τα οποία υποδηλώνουν ότι υπάρχει απώλεια σήματος από τον Μ/Σ υποβιβασμού καθώς και του σήματος 32EI που δείχνει ότι δεν έχει ενεργοποιηθεί το στοιχείο κατεύθυνσης T32I, η έξοδος 32GF γίνεται «1», πράγμα το οποίο σημαίνει ότι τα στοιχεία υπερεντάσεως που δουλεύουν βάσει αυτής γίνονται μη κατευθυντικά ώστε να παρέχουν απρόσκοπτη προστασία σε τέτοιες περιπτώσεις.



Εικόνα 2.108: Κύκλωμα δρομολόγησης των εξόδων των στοιχείων κατεύθυνσης προς τα στοιχεία αποστάσεως γης και υπερεντάσεως γης στον H/N SEL-311B [17]

### 2.5.10.5 Διαθέσιμα στοιχεία κατεύθυνσης φάσης

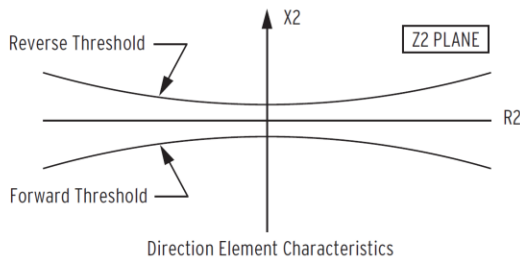
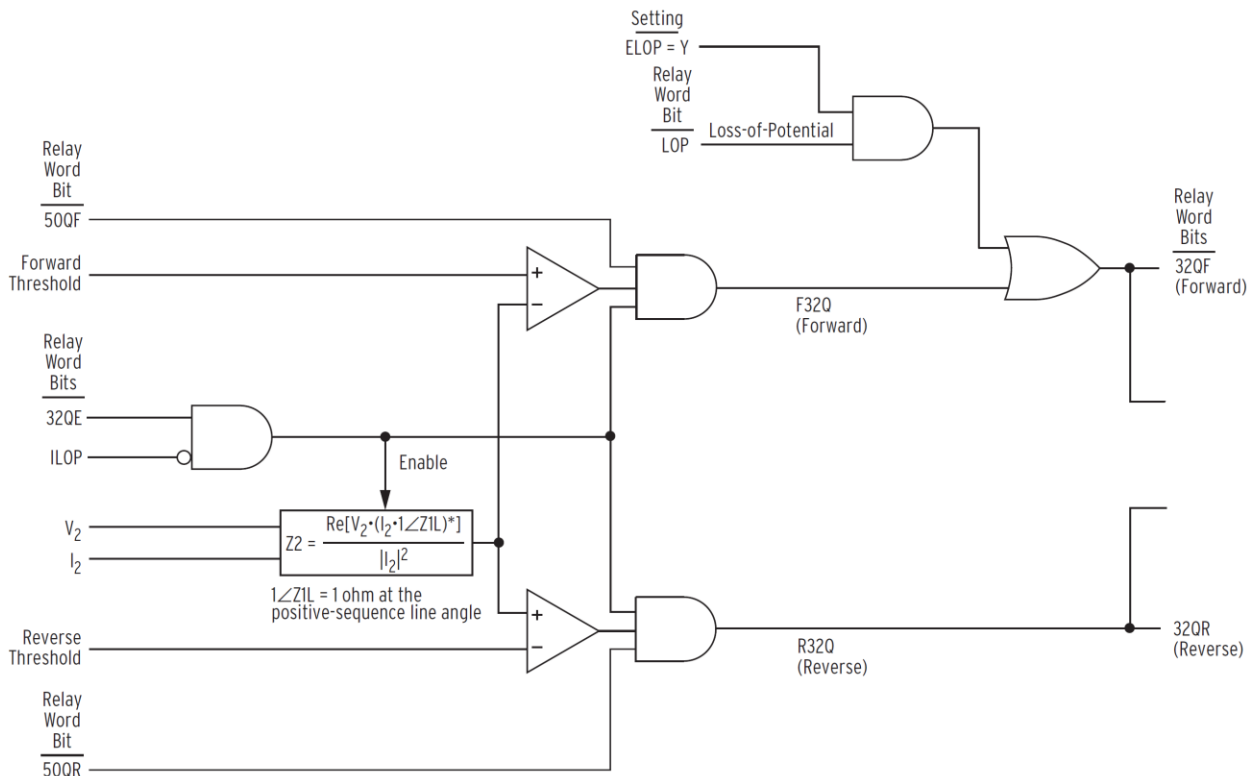
Ο Η/Ν SEL-311B διαθέτει στοιχεία κατεύθυνσης φάσης που χρησιμοποιούνται από τα στοιχεία αποστάσεως φάσης του Η/Ν. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούν πόλωση αρνητικής (T32Q) και θετικής ακολουθίας (T32P). Τα στοιχεία κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας λειτουργούν καλύτερα για ασύμμετρα σφάλματα, ενώ τα στοιχεία κατεύθυνσης με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας για συμμετρικά τριφασικά σφάλματα. Στην Εικόνα 2.109 φαίνεται το κύκλωμα που υλοποιεί τον έλεγχο κατεύθυνσης φάσης με τη χρήση των προαναφερθέντων στοιχείων κατεύθυνσης.



Εικόνα 2.109: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείων κατεύθυνσης φάσης για τα στοιχεία αποστάσεως φάσης και υπερεντάσεως φάσης αρνητικής ακολουθίας στον Η/Ν SEL-311B [17]

Με αφορμή την παραπάνω εικόνα, επισημαίνονται τα εξής:

- Ισχύουν όλα όσα αναφέρθηκαν στην 2.5.10.4 παράγραφο περί του κυκλώματος εσωτερικής επίτρεψης του στοιχείου κατεύθυνσης T32Q.
- Τα κυκλώματα που υλοποιούν την λειτουργία των στοιχείων κατεύθυνσης φάσης που διαθέτει ο Η/Ν SEL-311B φαίνονται στις παρακάτω εικόνες. Και σε αυτά τα στοιχεία υπάρχει ειδική μέριμνα για την περίπτωση απώλειας του σήματος τάσης από τον Μ/Σ υποβιβασμού ώστε να μην ενεργοποιούνται τα στοιχεία και το σήμα 32QF να γίνεται «1» κάνοντας τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης μη κατευθυντικά ώστε να παρέχουν απρόσκοπτη προστασία σε τέτοιες περιπτώσεις.



Forward Threshold:

$$\text{If } Z2F \text{ Setting} \leq 0, \text{ Forward Threshold} = 0.75 \cdot Z2F - 0.25 \cdot \left| \frac{V_2}{I_2} \right|$$

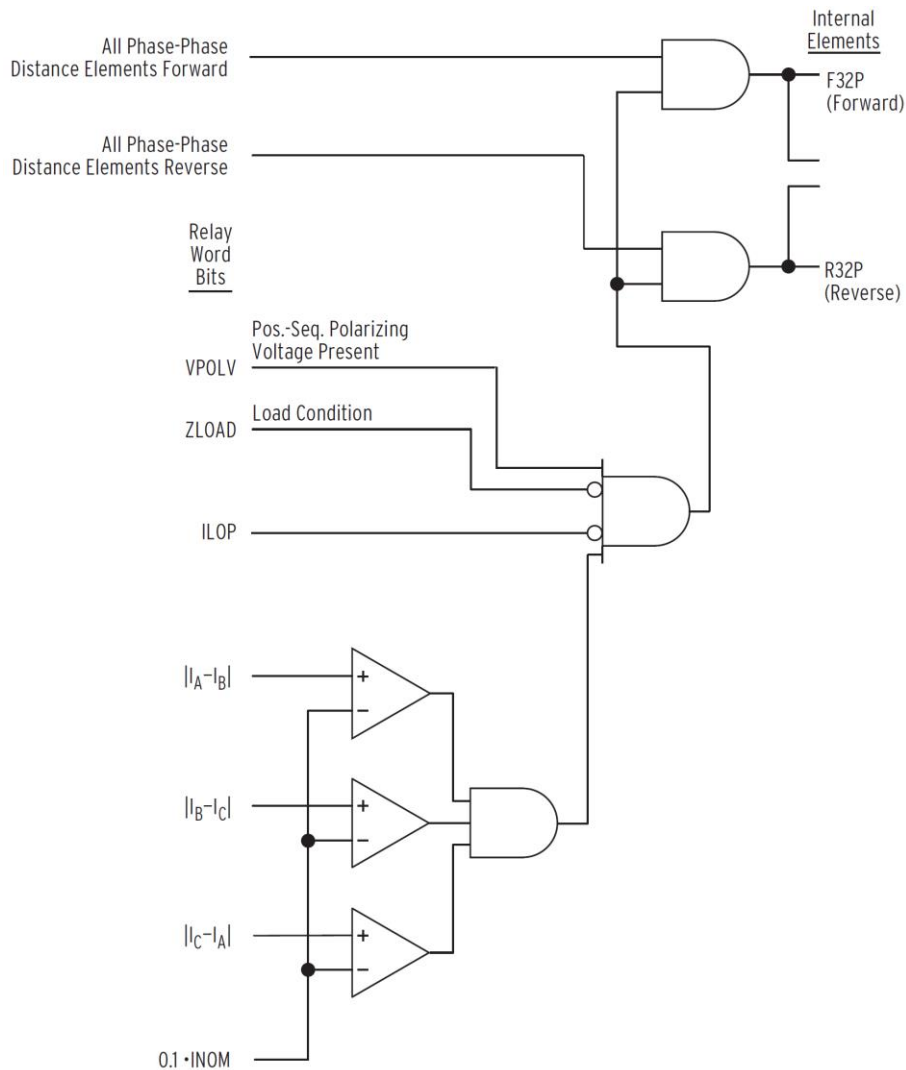
$$\text{If } Z2F \text{ Setting} > 0, \text{ Forward Threshold} = 1.25 \cdot Z2F - 0.25 \cdot \left| \frac{V_2}{I_2} \right|$$

Reverse Threshold:

$$\text{If } Z2R \text{ Setting} \geq 0, \text{ Reverse Threshold} = 0.75 \cdot Z2R + 0.25 \cdot \left| \frac{V_2}{I_2} \right|$$

$$\text{If } Z2R \text{ Setting} < 0, \text{ Reverse Threshold} = 1.25 \cdot Z2R + 0.25 \cdot \left| \frac{V_2}{I_2} \right|$$

Εικόνα 2.110: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου κατεύθυνσης φάσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας (T32Q) στον H/N SEL-311B [17]



Εικόνα 2.111: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου κατεύθυνση με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας (T32P) στον Η/Ν SEL-311B [17]

### 2.5.10.6 Επεξήγηση ρυθμίσεων στοιχείων κατεύθυνσης

Η ρύθμιση E32 καθορίζει τον τρόπο ρύθμισης των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα που υλοποιούν τον έλεγχο κατεύθυνσης των σφαλμάτων. Αν τεθεί  $E32 = AUTO$ , ο Η/Ν υπολογίζει και ρυθμίζει αυτοματοποιημένα τις περισσότερες παραμέτρους των στοιχείων κατεύθυνσης (Z2F, Z2R, 50QFP, 50QRP, a2, k2, 50GFP, 50GRP, a0, Z0F, Z0R), ενώ αν τεθεί  $E32 = Y$ , τότε είναι αποκλειστική ευθύνη του χρήστη να ρυθμίσει μία-μία όλες τις εν λόγω παραμέτρους. Επισημαίνεται πως η ρύθμιση  $E32 = AUTO$  προτιμάται όταν η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση  $Z_2$  στην ανάλυση βραχυκυκλωμάτων για την πιο ισχυρή πηγή προκύψει μικρότερη από 0.5 [25].

Η ρύθμιση DIR3 καθορίζει τη φορά της 3ης ζώνης προστασίας των στοιχείων αποστάσεως. Όταν  $DIR3=F$  τότε η κατεύθυνση της ζώνης είναι προς τα κατάντη του Η/Ν, ενώ όταν  $DIR3=R$  η κατεύθυνση της ζώνης είναι προς τα ανάντη του Η/Ν.

Η ρύθμιση ORDER μπορεί να τεθεί ως οποιοσδήποτε συνδυασμός των γραμμάτων Q, V και I. Το Q υποδηλώνει το στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας, το V το στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας και το I το στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση ρεύματος. Η ρύθμιση ORDER καθορίζει με ποια σειρά θα επιτρέπεται στα εν λόγω

στοιχεία κατεύθυνσης να λειτουργήσουν βάσει του διαγράμματος ροή που φαίνεται στην Εικόνα 2.104. Όσον αφορά την ρύθμιση αυτή μπορούμε να σημειώσουμε επιπλέον τα εξής [25]:

- Για τις περισσότερες περιπτώσεις δικτύων, η ρύθμιση  $ORDER = Q$  είναι ικανοποιητική.
- Σε περίπτωση που μπορεί να χαθεί η πηγή αρνητικής ακολουθίας λόγω π.χ. απώλειας κάποιας γραμμής ή γεννήτριας στο εκάστοτε δίκτυο και δεν εμφανίζεται αμοιβαία σύζευξη μηδενικής ακολουθίας μεταξύ τυχόν παράλληλων γραμμών μεταφοράς, προτείνεται να τεθεί  $ORDER = QV$ .

Οι παράγοντες  $a_2 = \frac{I_2}{I_1}$  και  $a_0 = \frac{I_0}{I_1}$  χρησιμοποιούνται από τα στοιχεία κατευθύνσεως του H/N ώστε να εμποδίσουν την λειτουργία τους σε περίπτωση εμφάνισης φυσιολογικών ασυμμετριών στο δίκτυο (βλ. Εικόνα 2.102 & Εικόνα 2.103). Όταν  $E32 = AUTO$ , οι ρυθμίσεις αυτές τίθενται αυτομάτως σε  $a_2 = 0.1$  και  $a_0 = 0.1$ .

Ο παράγοντας  $k_2 = \frac{I_2}{I_0}$  χρησιμοποιείται στην Εικόνα 2.102 για να βεβαιώσει ότι ο H/N θα χρησιμοποιήσει τις πιο ισχυρές αναλογικές ποσότητες που του είναι διαθέσιμες για να αποφασίσει περί της κατεύθυνσης του σφάλματος για τα στοιχεία αποστάσεως γης και υπερεντάσεως γης. Όταν  $E32 = AUTO$ , η ρύθμιση γίνεται αυτόματα  $k_2 = 0.2$ .

Οι ρυθμίσεις 50QFP και 50QRP είναι τα ρεύματα αρνητικής ακολουθίας  $3I_2$  που θα πρέπει να ξεπεραστούν ώστε να επιτραπεί η λειτουργία των στοιχείων κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας. Αυτές οι ρυθμίσεις θα πρέπει να τίθενται πάνω από το μέγιστο ρεύμα αρνητικής ακολουθίας που μπορεί αν εμφανιστεί λόγω κάποιας φυσιολογικής ασυμμετρίας του δικτύου και κάτω από ελάχιστο ρεύμα αρνητικής ακολουθίας λόγω κάποιου ασύμμετρου σφάλματος. Όταν έχει τεθεί  $E32 = AUTO$ , τότε οι εν λόγω ρυθμίσεις γίνονται αυτόματα  $50QFP = 0.1 A$  και  $50QRP = 0.05 A$ .

Οι ρυθμίσεις 50GFP και 50GRP είναι τα ρεύματα μηδενικής ακολουθίας  $3I_0$  που θα πρέπει να ξεπεραστούν ώστε να επιτραπεί η λειτουργία των στοιχείων κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας. Αυτές οι ρυθμίσεις θα πρέπει να τίθενται πάνω από το μέγιστο ρεύμα μηδενικής ακολουθίας που μπορεί αν εμφανιστεί λόγω κάποιας φυσιολογικής ασυμμετρίας του δικτύου και κάτω από ελάχιστο ρεύμα μηδενικής ακολουθίας λόγω κάποιου ασύμμετρου σφάλματος. Όταν έχει τεθεί  $E32 = AUTO$ , τότε οι εν λόγω ρυθμίσεις γίνονται αυτόματα  $50GFP = 0.1 A$  και  $50GRP = 0.05 A$ .

Οι ρυθμίσεις Z2F και Z2R χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ορίων λειτουργίας των στοιχείων κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας. Όταν το  $E32 = Y$  θα πρέπει να φροντίζουμε η τιμή Z2R να είναι μεγαλύτερη τουλάχιστον κατά  $0.5\Omega$  της τιμής Z2F. Όταν  $E32 = AUTO$ , οι τιμές που ανατίθενται αυτόματα στις εν λόγω ρυθμίσεις υπολογίζονται βάσει των εξής τύπων:

$$Z2F = \frac{Z1MAG}{2}$$

$$Z2R = \frac{Z1MAG}{2} + 0.5$$

Οι ρυθμίσεις Z0F και Z0R χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ορίων λειτουργίας των στοιχείων κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας. Όταν το  $E32 = Y$  θα πρέπει να φροντίζουμε η τιμή Z0R να είναι μεγαλύτερη τουλάχιστον κατά  $0.5\Omega$  της τιμής Z0F. Όταν  $E32 =$

*AUTO*, οι τιμές που ανατίθενται αυτόματα στις εν λόγω ρυθμίσεις υπολογίζονται βάσει των εξής τύπων:

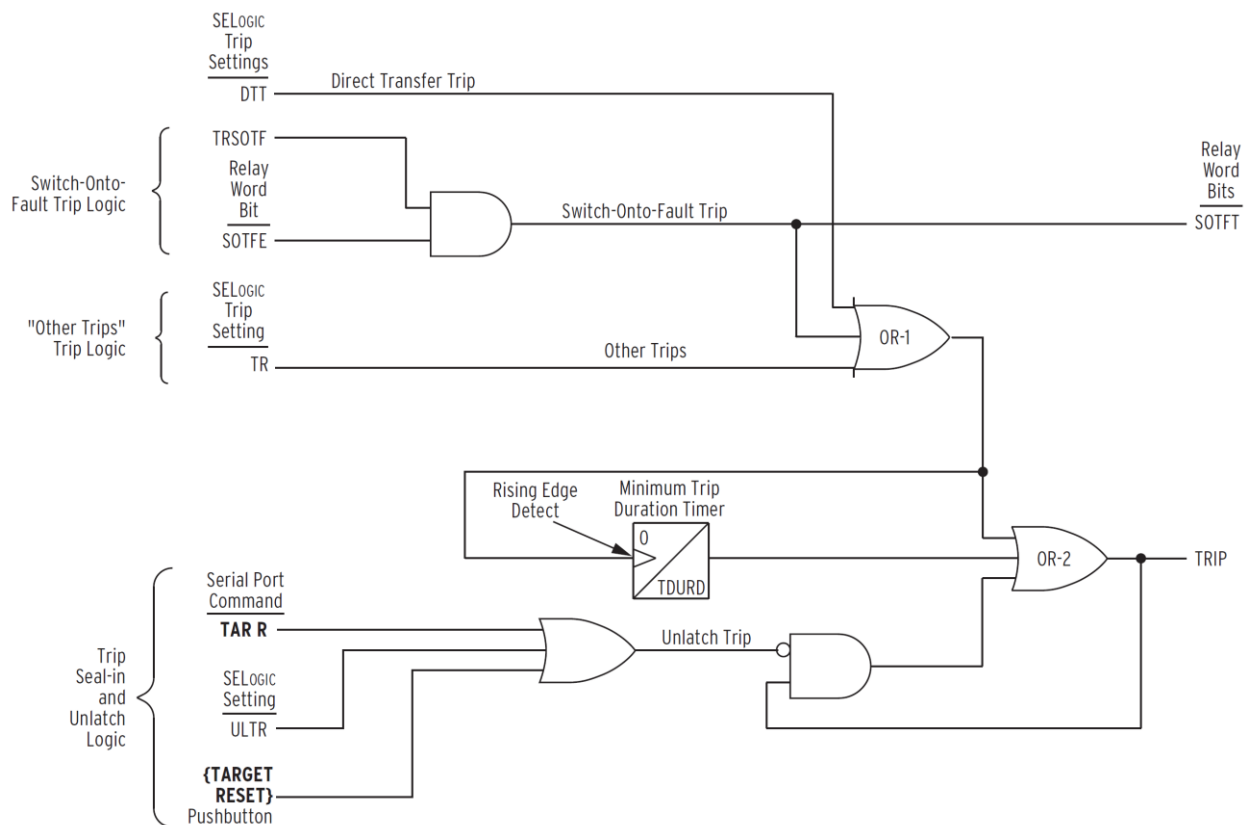
$$Z0F = \frac{Z0MAG}{2}$$

$$Z0R = \frac{Z0MAG}{2} + 0.5$$

Η ρύθμιση E32IV (βλ. Εικόνα 2.103) ενεργοποιεί/απενεργοποιεί τα στοιχεία κατεύθυνσης γης με πόλωση μηδενικής ακολουθίας και πόλωση ρεύματος. Συνήθως, αυτή η ρύθμιση τίθεται στο λογικό «1», αλλά σε περιπτώσεις όπου μπορούν να εμφανιστούν φαινόμενα αμοιβαίας σύζευξης μεταξύ γραμμών μεταφοράς, προτείνεται να τίθεται στο λογικό «0».

### 2.5.11 Λογική εντολής ανοίγματος του διακόπτη ισχύος

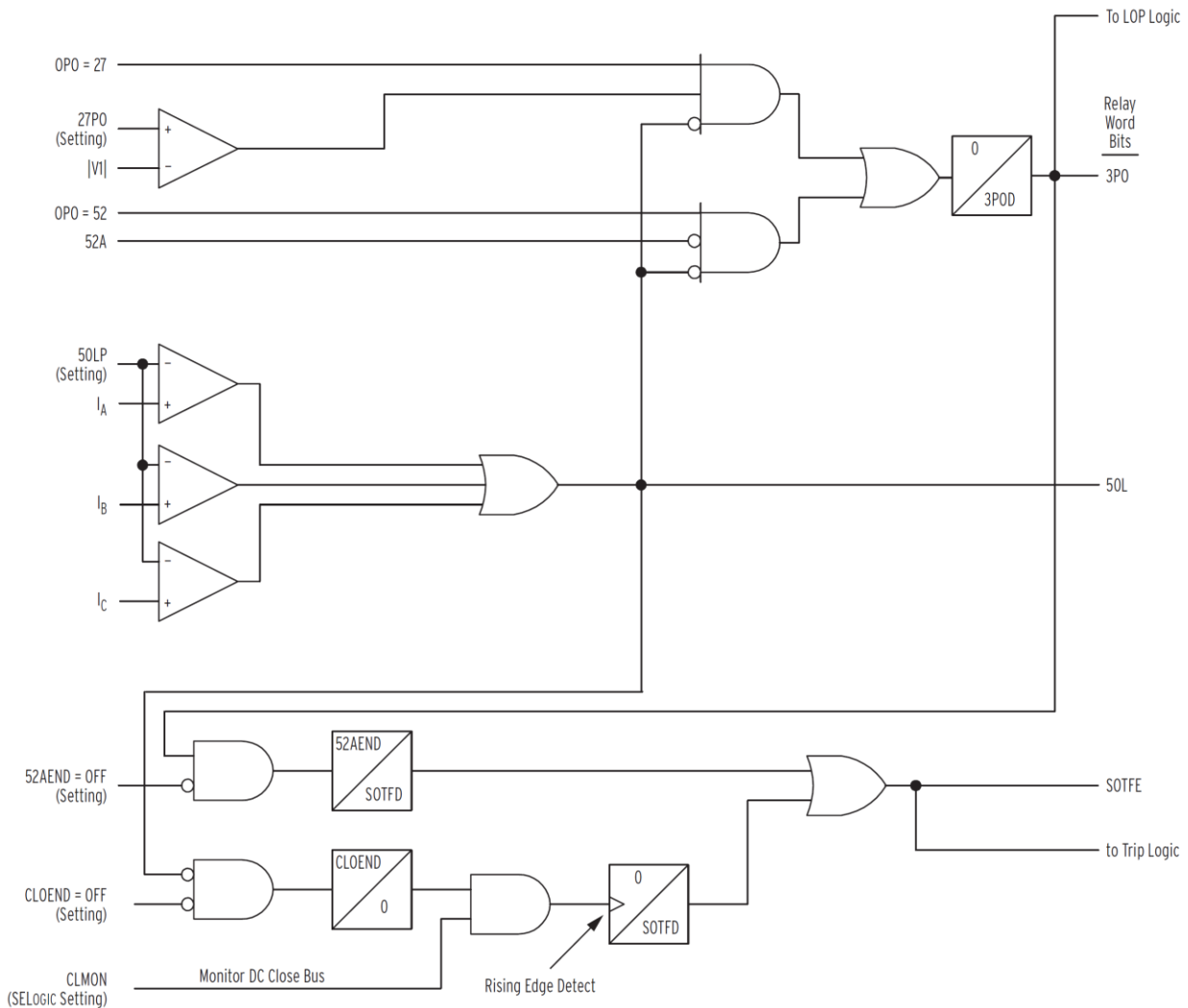
Η εντολή για το άνοιγμα του διακόπτη ισχύος του συστήματος προστασίας δίνεται από τον H/N SEL-311B μέσω κάποιας επαφής εξόδου του, η οποία αξιοποιεί το σήμα TRIP που υπολογίζεται εντός του H/N βάσει του κυκλώματος στην Εικόνα 2.112.



Εικόνα 2.112: Κύκλωμα που παράγει το σήμα TRIP για το άνοιγμα του διακόπτη ισχύος μέσω κάποιας επαφής εξόδου στον H/N SEL-311B [17]

Η εξίσωση ελέγχου DTT αξιοποιείται σε συστήματα προστασίας που χρησιμοποιούν επικοινωνία μέσω του πρωτοκόλλου MIRRORED BITS® μεταξύ H/N SEL-311B και πιο συγκεκριμένα όταν χρησιμοποιείται σχήμα προστασίας μιας γραμμής μεταφοράς μέσω καναλιών επικοινωνίας. Η εξίσωση ελέγχου TR χρησιμοποιείται για όλες τις υπόλοιπες συνθήκες για τις οποίες επιθυμείται να προκληθεί άνοιγμα του Δ/Ι.

Η εξίσωση ελέγχου TRSOFT και το σήμα SOTFE χρησιμοποιούνται για την επιτάχυνση της λειτουργίας κάποιων προστασιών (κατά προτίμηση μη κατευθυντικών) για ένα μικρό χρονικό διάστημα (SOTFD) μετά το κλείσιμο όλων των πόλων του Δ/Ι, σε περίπτωση συνέχισης του σφάλματος λόγω λάθους του προσωπικού συντήρησης, το οποίο μπορεί π.χ. να ξεχάσει να αποσυνδέσει τους σφιγκτήρες γείωσης ασφαλείας από το δίκτυο. Στην Εικόνα 2.113 φαίνεται το κύκλωμα που καθορίζει την κατάσταση του σήματος SOTFE.



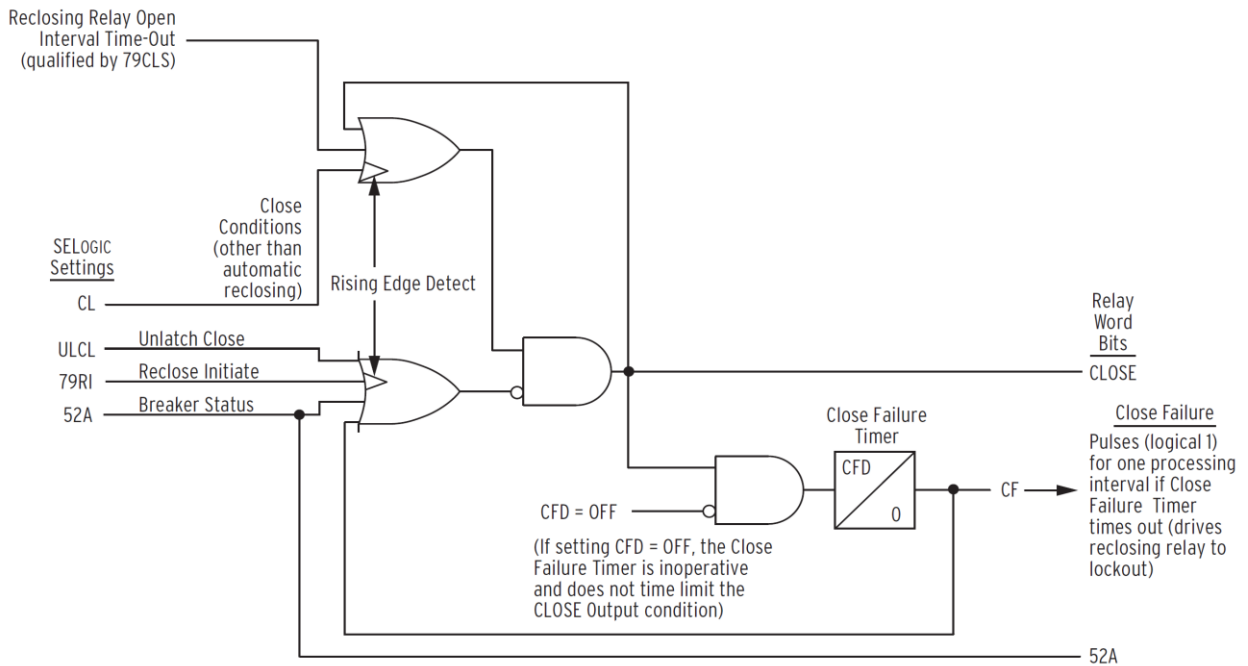
Εικόνα 2.113: Κύκλωμα λογικής για επιτάχυνση της λειτουργίας ορισμένων προστασιών για σύντομο διάστημα μετά το κλείσιμο του Δ/Ι στον Η/Ν SEL-311B [17]

## 2.5.12 Λογική εντολής κλεισίματος και αυτόματης επαναφοράς του διακόπτη ισχύος

### 2.5.12.1 Λογική κλεισίματος του διακόπτη ισχύος

Ο Η/Ν SEL-311B μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να μπορεί να δώσει εντολή κλεισίματος του διακόπτη ισχύος του έπειτα από τη λήψη κατάλληλου σήματος σε κάποια από τις επαφές εισόδου του ή κατόπιν σχετικής σειριακής εντολής ή λόγω ύπαρξης σχήματος αυτόματης επαναφοράς. Το κύκλωμα που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό φαίνεται στην Εικόνα 2.114.

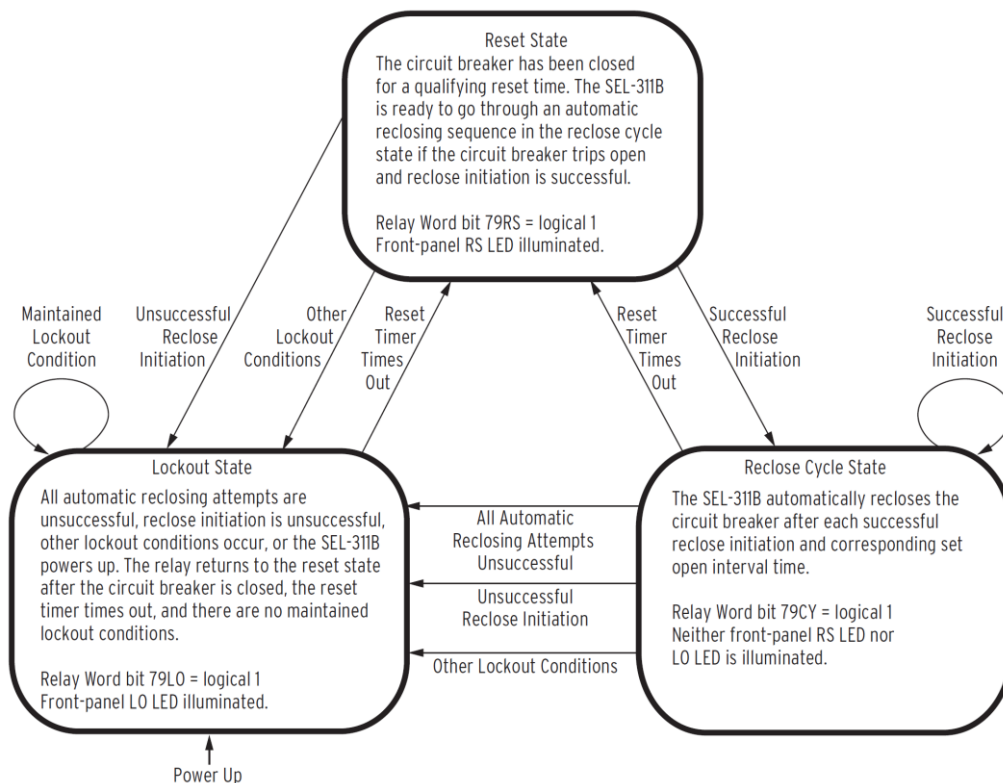




Εικόνα 2.114: Κύκλωμα λογικής κλεισίματος διακόπτη ισχύος στον Η/Ν SEL-311B [17]

### 2.5.12.2 Λογική δημιουργίας σχήματος αυτόματης επαναφοράς του διακόπτη ισχύος

Ο Η/Ν SEL-311B μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να εκτελεί αυτόματη επαναφορά του Δ/Ι που ελέγχει μέχρι και 4 φορές. Για την ενεργοποίηση αυτής της λογικής απαιτείται να καθοριστεί ο αριθμός των αυτόματων επαναφορών μέσω της ρύθμισης E79. Στην Εικόνα 2.115 φαίνεται οι καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί το σχήμα αυτόματης επαναφοράς του Η/Ν καθώς και η λειτουργία του.

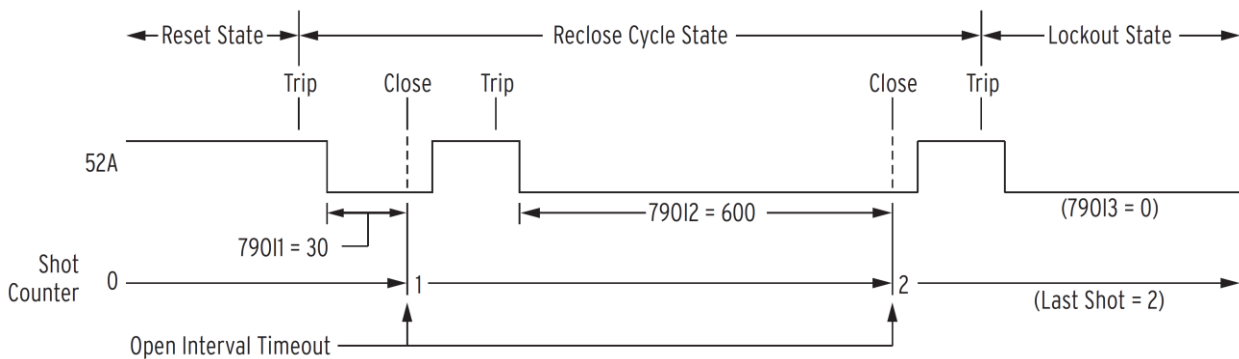


Εικόνα 2.115: Διάγραμμα καταστάσεων και λειτουργίας της λογικής αυτόματης επαναφοράς του Δ/Ι στον Η/Ν SEL-311B [17]

Η εκκίνηση της διαδικασίας αυτόματης επαναφοράς του Δ/Ι γίνεται μέσω των εξισώσεων ελέγχου 79RI και 79RIS. Η εξίσωση 79RIS επιβλέπει την εξίσωση 79RI για μεγαλύτερη ασφάλεια. Με άλλα λόγια, δεν μπορεί να ξεκινήσει η διαδικασία αυτόματης επαναφοράς αν η εξίσωση 79RI πάει από το λογικό «0» στο «1» ενώ η 79RIS είναι στο «0».

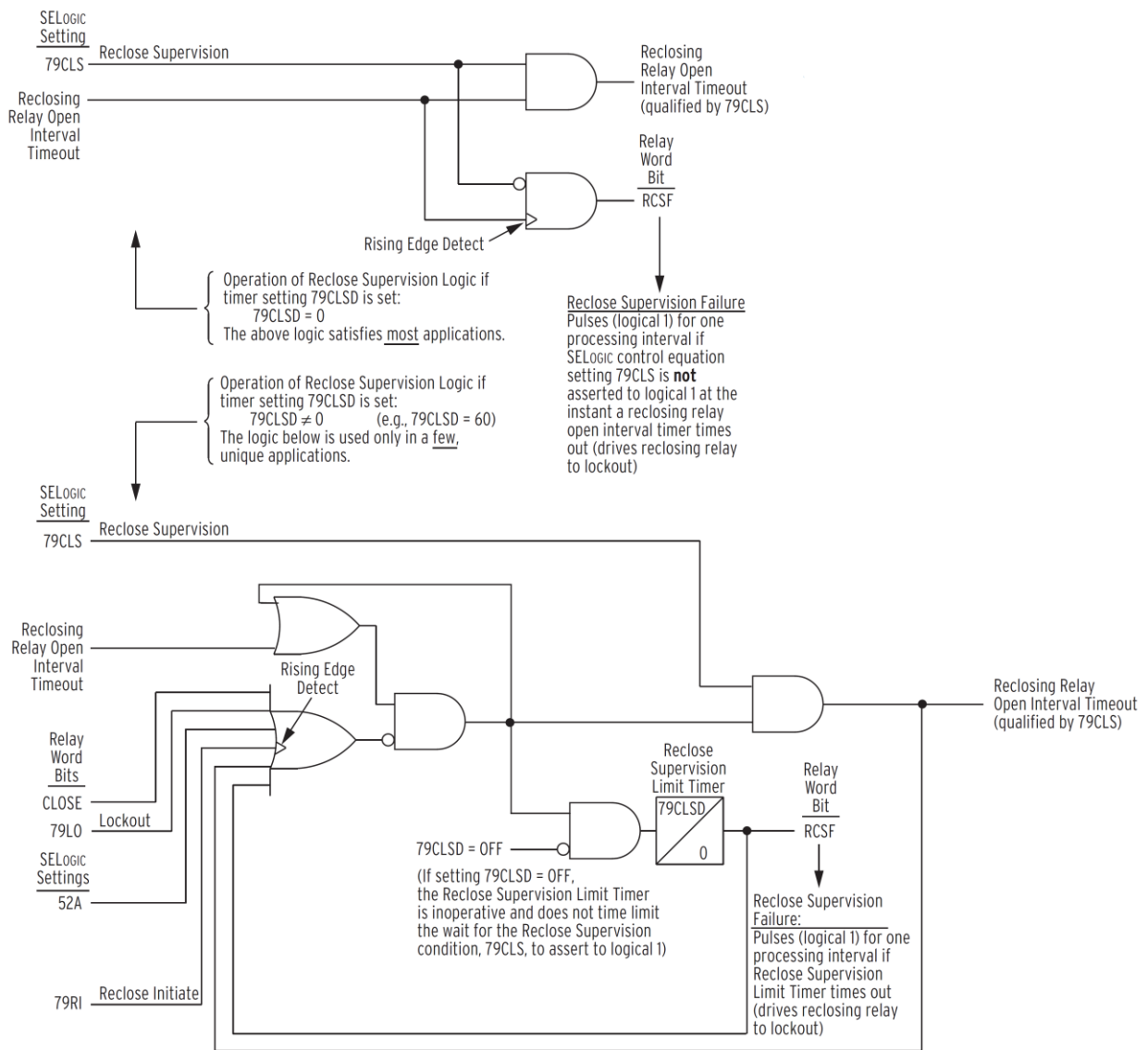
Τα χρονικά επαναφοράς από τις καταστάσεις “Reclose Cycle State” και “Lockout State” προς την κατάσταση “Reset State” μπορούν να ρυθμιστούν εντός του Η/Ν και ονομάζονται 79RSD και 79RSLD αντίστοιχα.

Οι χρόνοι κατά τους οποίους γίνεται οι αυτόματες επαναφορές του Δ/Ι καθορίζονται από τις ρυθμίσεις 79OI1-79OI4. Ένα παράδειγμα που δείχνει τις εν λόγω ρυθμίσεις και τον τρόπο που αυτές επηρεάζουν την λειτουργία του σχήματος αυτόματης επαναφοράς του Δ/Ι φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.116: Παράδειγμα λειτουργίας χρονικών του συστήματος αυτόματης επαναφοράς του Δ/Ι στον Η/Ν SEL-311B [17]

Όπως είδαμε στην Εικόνα 2.114, το σήμα για το κλείσιμο του διακόπτη λόγω αυτόματης επαναφοράς έρχεται και αυτό μέσω του άνω αριστερού σήματος. Το εν λόγω σήμα παράγεται βάσει του κυκλώματος στην Εικόνα 2.117 όπου το σήμα 79CLS δίνει περισσότερες δυνατότητες εποπτείας της διαδικασίας επανακλεισίματος για ακόμη μεγαλύτερη ασφάλεια, ενώ το χρονικό 79CLSD χρησιμοποιείται όποτε χρειάζεται να ελέγξουμε για ένα διάστημα χρόνου την κατάσταση του 79CLS ώστε να είμαστε σίγουροι αν πρέπει να προχωρήσουμε τη διαδικασία αυτόματης επαναφοράς ή όχι.



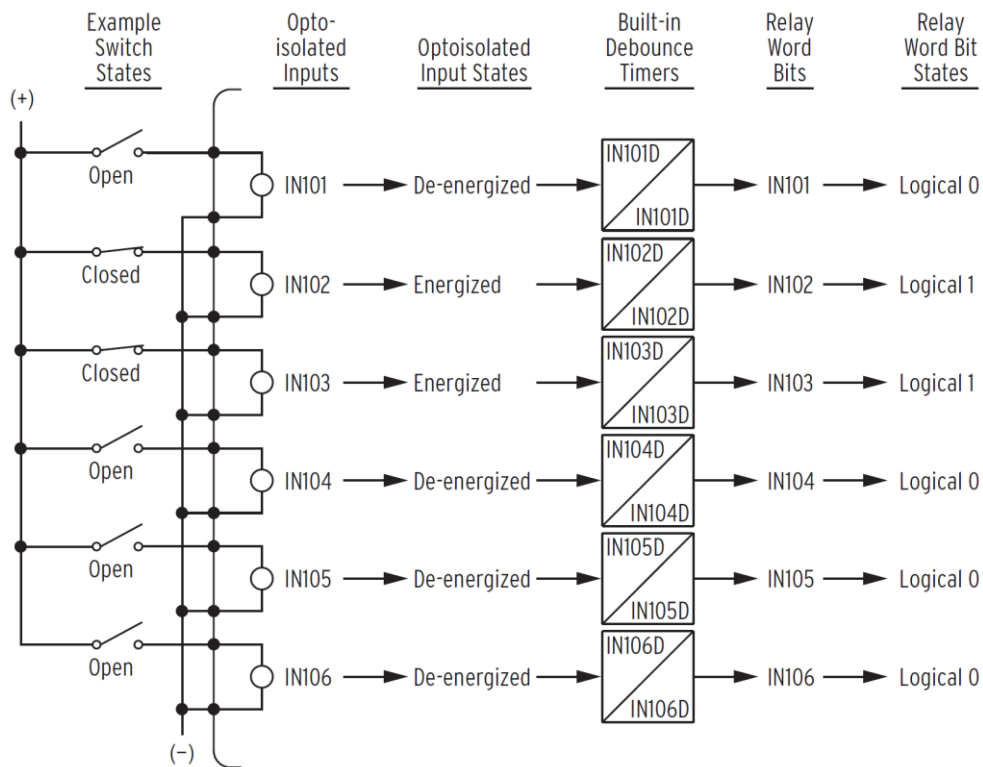
Εικόνα 2.117: Κύκλωμα εποπτείας της λειτουργίας του σχήματος αυτόματης επαναφοράς του διακόπτη ισχύος στον H/N SEL-311B [17]

### 2.5.13 Διαθέσιμες εισόδους, εξόδους, χρονικά και λοιπά στοιχεία ελέγχου

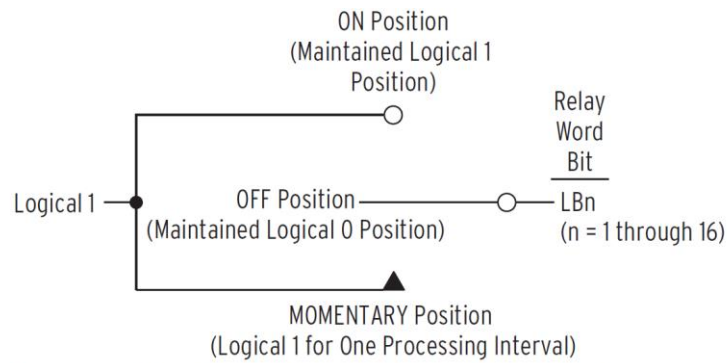
Από πλευράς διαθέσιμων εισόδων, εξόδων, χρονικών και λοιπών στοιχείων ελέγχου, ο H/N SEL-311B διαθέτει:

- 6 λογικές επαφές εισόδου (IN101-IN106) που δεν παρουσιάζουν αναπηδήσεις κατά την μετάβαση από την μία κατάσταση στην άλλη
- 16 λογικούς μεταγωγείς τοπικού ελέγχου (LB1-LB16) που αντικαθιστούν τους παραδοσιακούς ξεχωριστούς μεταγωγείς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διάφορες εξισώσεις ελέγχου του
- 16 λογικούς μεταγωγείς απομακρυσμένου ελέγχου (RB1-RB16), τους οποίους μπορούμε να χειριστούμε μόνο μέσω των σειριακών θυρών επικοινωνίας, λειτουργούν όπως οι λογικοί μεταγωγείς τοπικού ελέγχου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διάφορες εξισώσεις ελέγχου του

- 16 μεταγωγείς ελέγχου που μανδαλώνουν (LT1-LT16), σκοπός των οποίων είναι να αντικαταστήσουν τους παραδοσιακούς βοηθητικούς Η/Ν μανδάλωσης και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διάφορες εξισώσεις ελέγχου του
- 6 ανεξάρτητες ομάδες ρυθμίσεων εκ των οποίων μόνο μία μπορεί να είναι ενεργή κάθε στιγμή, ενώ η εναλλαγή μεταξύ τους μπορεί να γίνεται αυτόματα αναλόγως της κατάστασης συγκεκριμένων λογικών εξισώσεων ελέγχου (SS1-SS6), μέσω του κουμπιού GROUP στην πρόψη του Η/Ν ή μέσω της εντολής GROUP σειριακής θύρας
- 16 χρονικά (SV1T-SV16T) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διάφορες εξισώσεις ελέγχου κατά το δοκούν
- 7 λογικές επαφές εξόδου (OUT101-OUT107) μαζί με μία ακόμη λογική επαφή σήμανσης συναγερμού
- δυνατότητα εξάλειψης της ανάγκης ύπαρξης ενδεικτικών λυχνιών στους πίνακες των συστημάτων προστασίας που εγκαθίσταται μέσω της κυλιόμενης εμφάνισης μηνυμάτων στην LCD οθόνη του Η/Ν και κατάλληλης αξιοποίησης των λογικών θυρών εισόδου του



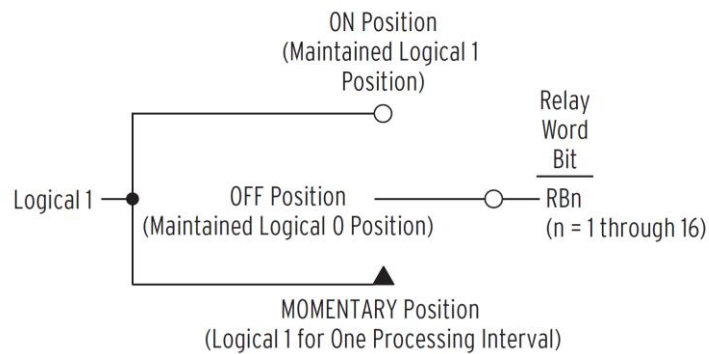
Εικόνα 2.118: Λειτουργία λογικών επαφών εισόδου (IN101-IN106) στον Η/Ν SEL-311B [17]



The switch representation in this figure is derived from the standard:

Graphics Symbols for Electrical and Electronics Diagrams IEEE Std 315-1975, CSA Z99-1975, ANSI Y32.2-1975, 4.11 Combination Locking and Nonlocking Switch, Item 4.11.1.

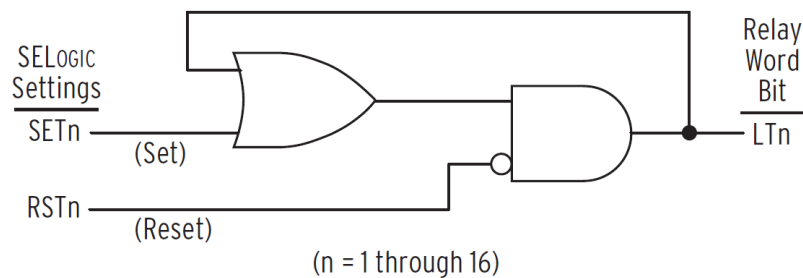
Εικόνα 2.119: Λογικοί μεταγωγείς τοπικού ελέγχου (LB1-LB16) στον H/N SEL-311B [17]



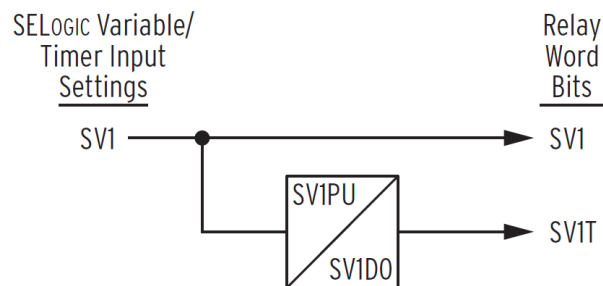
The switch representation in this figure is derived from the standard:

Graphics Symbols for Electrical and Electronics Diagrams IEEE Std 315-1975, CSA Z99-1975, ANSI Y32.2-1975, 4.11 Combination Locking and Nonlocking Switch, Item 4.11.1.

Εικόνα 2.120: Λογικοί μεταγωγείς απομακρυσμένου ελέγχου (RB1-RB16) H/N SEL-311B [17]



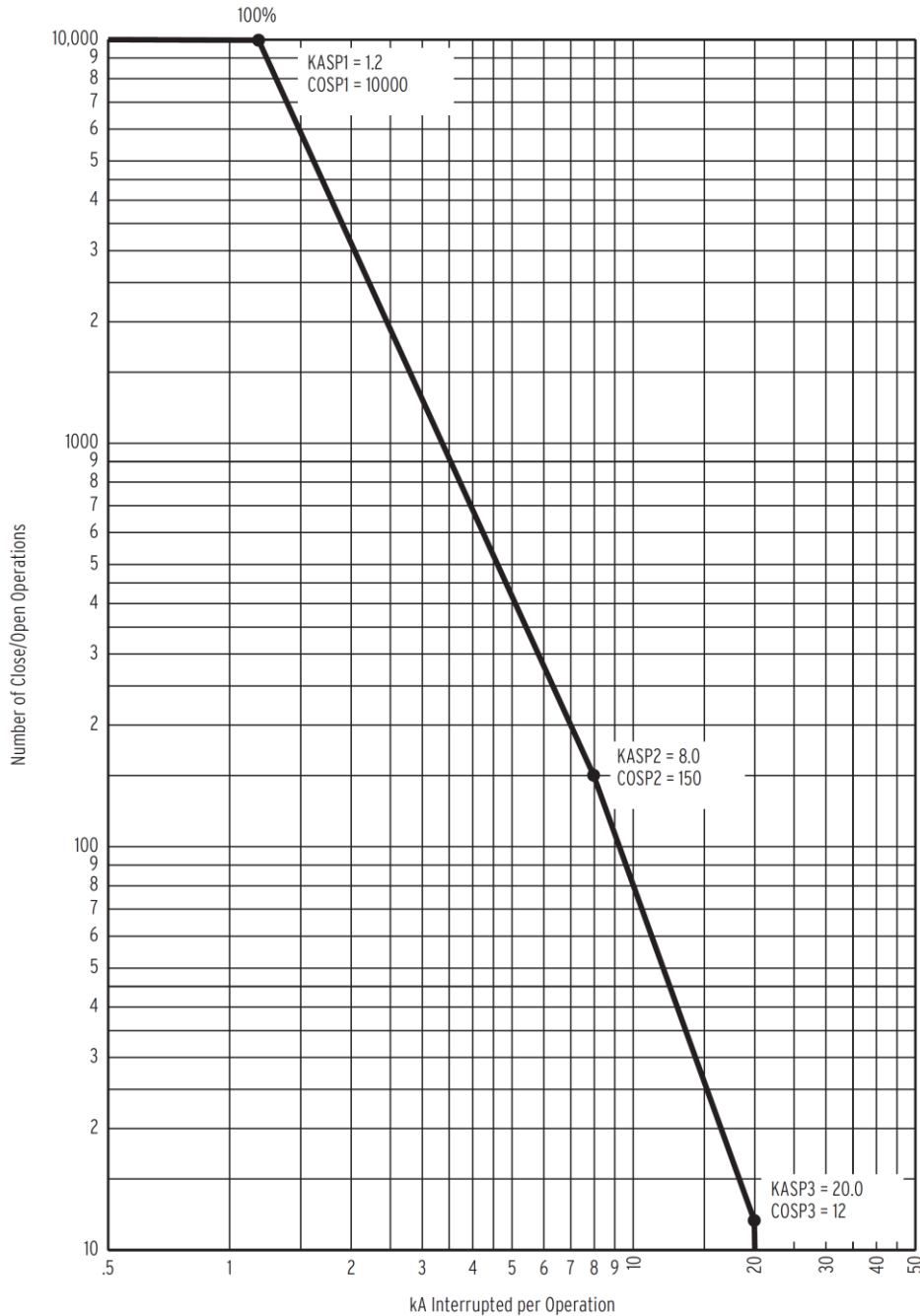
Εικόνα 2.121: Μεταγωγείς ελέγχου που μανδαλώνουν (LT1-LT16) στον H/N SEL-311B [17]



Εικόνα 2.122: Χρονικό H/N SEL-311B [17]

### 2.5.14 Δυνατότητα προγραμματισμού της συντήρησης του διακόπτη ισχύος

Ο Η/Ν SEL-311B μπορεί να τεθεί ώστε να επιτηρεί την κατάσταση του Δ/Ι του όσον αφορά το χρόνο κατά τον οποίο θα πρέπει να προγραμματιστεί η συντήρησή του. Για την ενεργοποίηση αυτής της λειτουργίας πρέπει να τεθεί  $EBMON = Y$ , ενώ η ρύθμισή της απαιτεί την γνώση των ειδικών προδιαγραφών συντήρησης του Δ/Ι από τον κατασκευαστή του. Η Εικόνα 2.123 δίνει τη γενική ιδέα βάσει της οποίας γίνεται η ρύθμιση αυτής της δυνατότητας του Η/Ν.

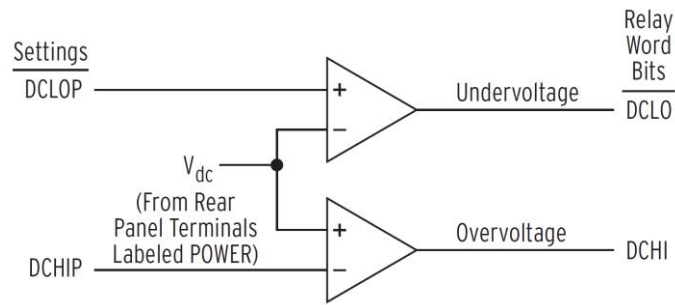


Εικόνα 2.123: Καμπύλη επιτήρησης χρόνου συντήρησης Δ/Ι στον Η/Ν SEL-311B [17]

### 2.5.15 Δυνατότητα επιτήρησης του υποσυστήματος μπαταριών

Ο Η/Ν SEL-311B μπορεί ρυθμιστεί ώστε να σημαίνει συναγερμό σε περίπτωση εμφάνισης συνθηκών υπότασης ή υπέρτασης στο υποσύστημα μπαταριών καθώς και να δώσει μια καλή εικόνα του ποσοστού βύθισης της τάσης των μπαταριών όταν διενεργείται το άνοιγμα ή το κλείσιμο ενός Δ/Ι και άλλες παρόμοιες dc λειτουργίες του συστήματος προστασίας.

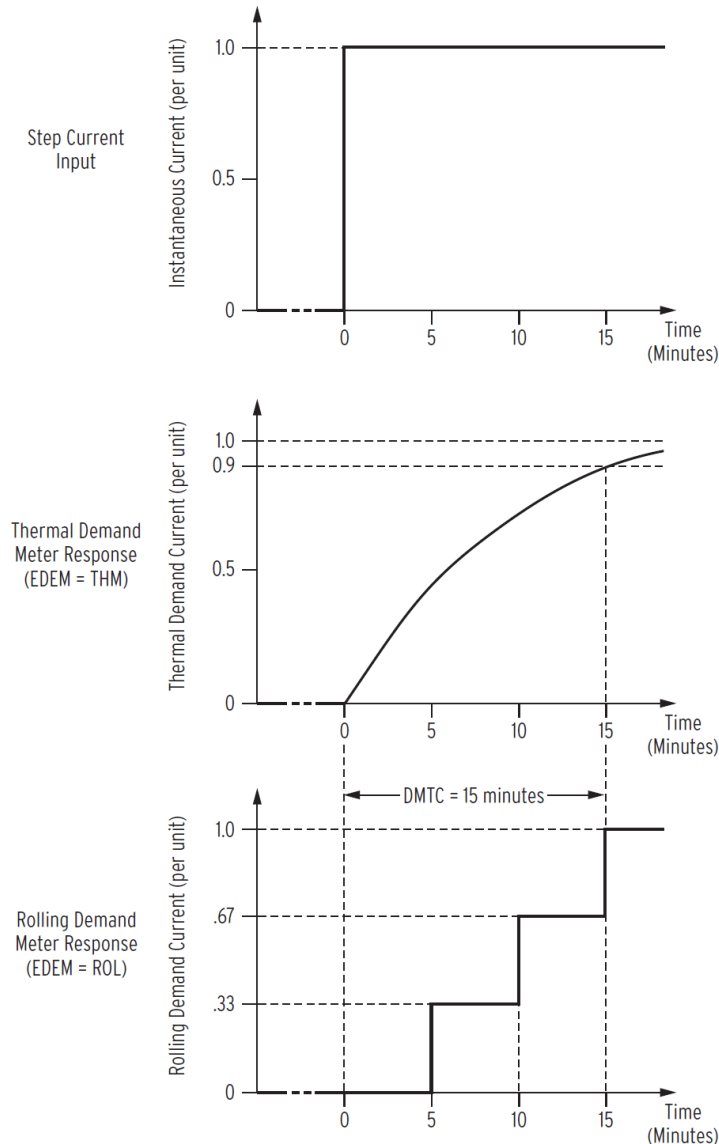
Για να το κάνει αυτό, ο H/N μετρά τη dc τάση τροφοδοσίας του από τα pins Z25 και Z26 της οπίσθιας όψης του και τα συγκρίνει με τις ρυθμίσεις που του έχουν ανατεθεί (DCLOP, DCHIP).



Εικόνα 2.124: Κύκλωμα λειτουργίας στοιχείου επιτήρησης υποσυστήματος μπαταριών στον H/N SEL-311B [17]

### 2.5.16 Δυνατότητα μέτρησης της ζήτησης και ενέργειας

Ο H/N SEL-311B μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να μετράει τη ζήτηση με δύο τρόπους θέτοντας  $EDEM = THM$  ή  $ROL$ . Στην Εικόνα 2.125 φαίνονται οι δύο τρόποι μέτρησης της ζήτησης, υποθέτοντας ότι τη στιγμή  $t=0$  εμφανίζεται βηματική μεταβολή του ρεύματος εισόδου στο 1pu.

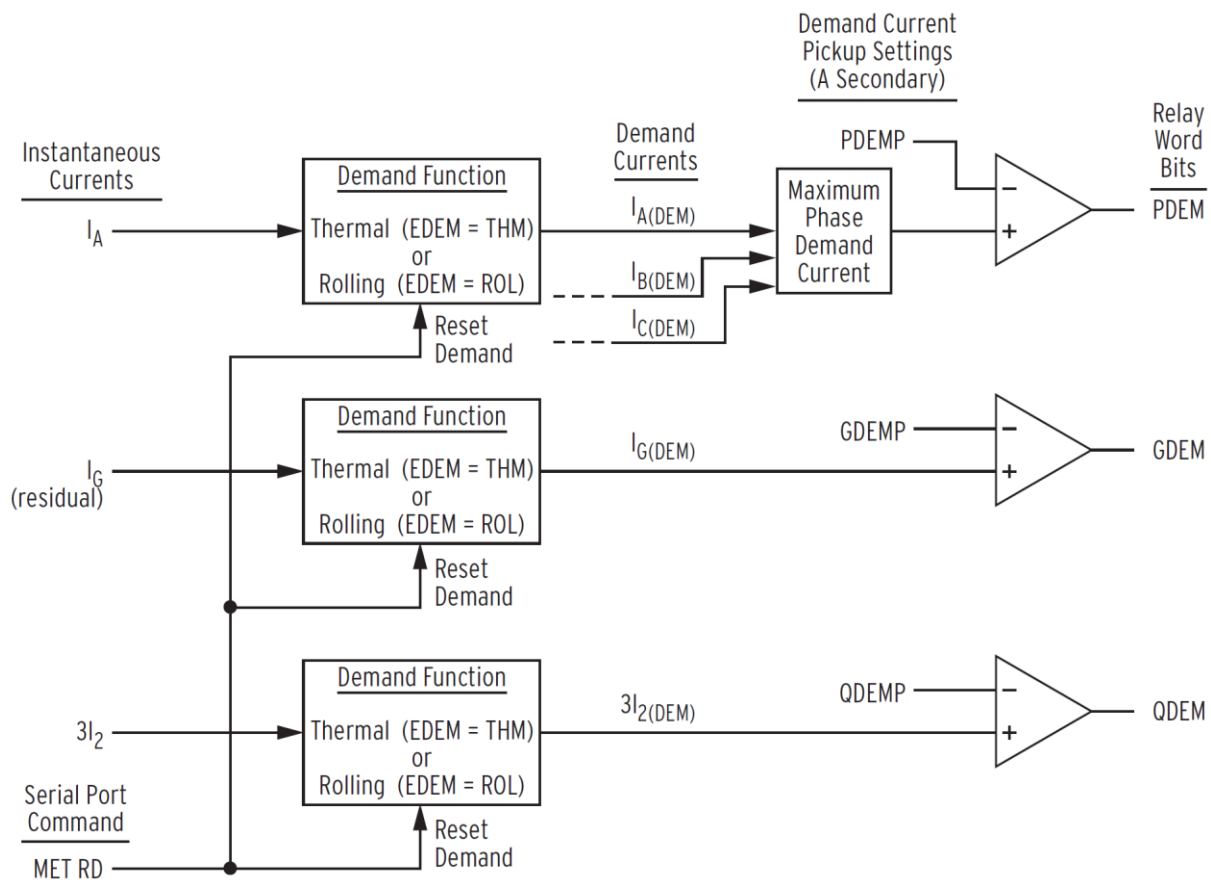


Εικόνα 2.125: Τρόποι μέτρησης της ζήτησης στον H/N SEL-311B [17]

Ο SEL-311B μετράει την ζήτηση και ανανεώνει τις τιμές κάθε δύο δευτερόλεπτα για τα εξής μεγέθη:

- Ρεύματα φάσεων  $I_{A,B,C}$
- Ρεύμα γης  $I_G = 3I_0 = I_A + I_B + I_C$
- Ρεύμα αρνητικής ακολουθίας  $3I_2$
- Ενεργός ισχύς μονοφασική και τριφασική σε MW
- Άεργος ισχύς μονοφασική και τριφασική σε MVAR

Τα ρεύματα που μετρώνται μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σύγκριση με κάποιες προκαθορισμένες τιμές ρευμάτων (PDEMP, GDEMP, QDEMP) για να σημάνουν συναγερό σε περίπτωση εμφάνισης συνθηκών υψηλής φόρτισης ή έντονης ασυμμετρίας.



Εικόνα 2.126: Επιτήρηση μετρούμενων ρευμάτων για σήμανση συναγερού σε περίπτωση υψηλής φόρτισης ή έντονης ασυμμετρίας στον H/N SEL-311B [17]

Ο H/N SEL-311B αποθηκεύει τις μέγιστες τιμές των μεγεθών που μετράει σε μη πτητική μνήμη μία φορά την ημέρα. Κατά την εμφάνιση σφαλμάτων στο δίκτυο, η λειτουργία μέτρησης της ζήτησης διακόπτεται στιγμιαία.

Επίσης, ο H/N SEL-311B μπορεί να καταγράφει και να εμφανίσει την μονοφασική και τριφασική ενέργεια που διακινείται σε MWh και MVarh. Η ανανέωση των τιμών ενέργειας γίνεται ανά δύο δευτερόλεπτα και η συνολική ημερήσια μέτρηση καταγράφεται σε μη πτητική μνήμη.



### 2.5.17 Δυνατότητα καταγραφής μέγιστων και ελάχιστων τιμών

Ο H/N SEL-311B μπορεί να καταγράφει και να εμφανίζει κατά το δοκούν τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των εξής μεγεθών:

- Ρεύματα φάσεων  $I_{A,B,C}$
- Ρεύμα γης  $I_G = 3I_0 = I_A + I_B + I_C$
- Τάσεις φάσεων  $V_{A,B,C}$
- Τάση ελέγχου συγχρονισμού  $V_s$
- Τριφασική ενεργός ισχύς σε MW
- Τριφασική άεργος ισχύς σε MVAR

Τις τιμές αυτές τις αποθηκεύει ο H/N σε μη πτητική μνήμη κάθε ημέρα.

### 2.5.18 Δυνατότητα υπολογισμού απόστασης από το σφάλμα

Ο ακριβής υπολογισμός του σημείου του σφάλματος μειώνει τα λειτουργικά έξοδα και αυξάνει την αξιοπιστία ενός Σ.Η.Ε. διότι αποφεύγονται άσκοπες μετακινήσεις του προσωπικού βλαβών και μειώνεται ο χρόνος μη τροφοδότησης των φορτίων. Αν τεθεί EFLOC=Y, ο H/N SEL-311B δοκιμάζει να υπολογίσει το σημείο του σφάλματος και το αποτέλεσμα του υπολογισμού αναγράφεται στην κλασσική αναφορά γεγονότων. Σε περίπτωση που ο αλγόριθμος δεν λειτουργήσει επιτυχημένα, δεν εμφανίζεται κανένα αποτέλεσμα στο ανάλογο πεδίο της αναφοράς γεγονότος. Ο εντοπισμός του σφάλματος βασίζεται πάνω στις τιμές που δίνονται για τη σύνθετη αντίσταση της γραμμής μεταφοράς τόσο για τη θετική (Z1MAG, Z1ANG) όσο και για την αρνητική ακολουθία (Z0MAG, Z0ANG) καθώς και στο δοθέν μήκος της (LL).

#### 2.5.18.1 Μέθοδοι υπολογισμού σημείου σφάλματος μέσω της σύνθετης αντίστασης

Κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετές μέθοδοι υπολογισμού του σημείου του σφάλματος, πολλές από τις οποίες όμως ήταν χρονοβόρες, συχνά δαπανηρές όσον αφορά τον εξοπλισμό που απαιτούνταν για να μπορέσουν να εφαρμοστούν και απαιτούσαν εξειδικευμένους μηχανικούς για να τις χρησιμοποιήσουν.

Από όλες αυτές τις μεθόδους, οι πιο ευέλικτες και αυτοματοποιημένες μέχρι στιγμής θεωρούνται ότι είναι αυτές που στηρίζονται στην μετρούμενη σύνθετη αντίσταση του H/N. Αυτές οι μέθοδοι ακολουθούν γενικά τα εξής βήματα:

- Μετρώνται τα διανύσματα των τάσεων και ρευμάτων.
- Εξάγεται η θεμελιώδης αρμονική συνιστώσα τους.
- Καθορίζονται τα διανύσματα και ο τύπος του σφάλματος.
- Εφαρμόζεται ο αλγόριθμος υπολογισμού του σημείου του σφάλματος που βασίζεται στη μετρούμενη σύνθετη αντίσταση.

Υπάρχουν μέθοδοι μετρούμενης σύνθετης αντίστασης μιας πλευράς και μέθοδοι δύο πλευρών. Οι πρώτες απαιτούν τα δεδομένα ενός μόνο H/N για να λειτουργήσουν και μπορεί κανείς να τις βρει σε όλα σχεδόν τα μοντέλα H/N με δυνατότητες προστασίας αποστάσεως. Από την άλλη, οι μέθοδοι δύο πλευρών απαιτούν να τους δοθούν δεδομένα και από τις πλευρές της γραμμής και συνεπώς από δύο H/N, αλλά μπορούν να δώσουν περισσότερο ακριβή αποτελέσματα.

Ο Πίνακας 2.10 περιέχει τους τύπους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστεί το σημείο του σφάλματος μέσω της μετρούμενης σύνθετης αντίστασης θετικής ακολουθίας

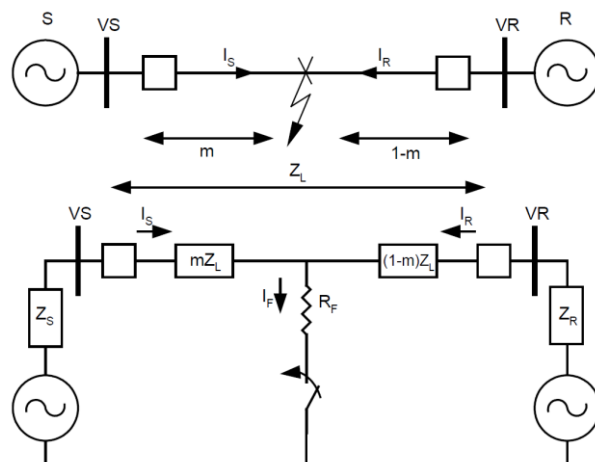
αναλόγως του τύπου του σφάλματος και με την προϋπόθεση ότι η αντίσταση του σφάλματος είναι μηδενική.

Είδος σφάλματος	Εξίσωση σύνθετης αντίστασης θετικής ακολουθίας ( $m \cdot Z_{1L} =$ )
Φάση Α προς γη	$\frac{V_a}{I_a + k \cdot 3 \cdot I_0}$
Φάση Β προς γη	$\frac{V_b}{I_b + k \cdot 3 \cdot I_0}$
Φάση C προς γη	$\frac{V_c}{I_c + k \cdot 3 \cdot I_0}$
Διφασικό Α και Β με ή χωρίς γη	$\frac{V_{ab}}{I_{ab}}$
Διφασικό Β και C με ή χωρίς γη	$\frac{V_{bc}}{I_{bc}}$
Διφασικό C και Α με ή χωρίς γη	$\frac{V_{ca}}{I_{ca}}$
Τριφασικό	$\frac{V_{ab}}{I_{ab}}$ ή $\frac{V_{bc}}{I_{bc}}$ ή $\frac{V_{ca}}{I_{ca}}$
<p>όπου <math>k = \frac{Z_{0L}-Z_{1L}}{3Z_{1L}}</math> είναι ο παράγοντας αντιστάθμισης γης (βλ. Appendix A του [22]), <math>Z_{0L}</math> η σύνθετη αντίσταση μηδενικής ακολουθίας της γραμμής μεταφοράς, <math>Z_{1L}</math> η σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας της γραμμής μεταφοράς, <math>m</math> η ανά μονάδα απόσταση από το σφάλμα και <math>I_0</math> το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας</p>	

Πίνακας 2.10: Μετρούμενη σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας από Η/Ν αναλόγως του είδους του σφάλματος και θεωρώντας μηδενική αντίσταση σφάλματος [26]

**2.5.18.2 Μέθοδοι μετρούμενης σύνθετης αντίστασης μιας πλευράς**

Για τις ανάγκες της παρουσίασης των δημοφιλέστερων μεθόδων μετρούμενης σύνθετης αντίστασης μιας πλευράς, θεωρείται το δίκτυο στην Εικόνα 2.127.



Εικόνα 2.127: Δίκτυο για επίδειξη μεθόδων υπολογισμού του σημείου σφάλματος [26]

Οι συνθήκες που δύναται να επιφέρουν σημαντικά σφάλματα στις μεθόδους μετρούμενης σύνθετης αντίστασης μιας πλευράς είναι:

- Η επίδραση της ύπαρξης μη μηδενικής αντίστασης σφάλματος και η φόρτιση της γραμμής
- Η αμοιβαία σύζευξη μηδενικής ακολουθίας
- Τα σφάλματα των μοντέλων μηδενικής ακολουθίας
- Η ανομοιογένεια του συστήματος
- Η ύπαρξη άλλων πηγών τροφοδότησης του σφάλματος (system infeeds)
- Οι ανακρίβειες στις μετρήσεις του H/N, στους M/Σ υποβιβασμού και στις παραμέτρους των γραμμών μεταφοράς

#### 2.5.18.2.1 Μέθοδος απλής επαγωγής

Η τάση του ζυγού S στην Εικόνα 2.127 είναι ίση με  $V_S = m \cdot Z_{1L} \cdot I_S + R_F \cdot I_F$ .

Για ένα μονοφασικό προς γη σφάλμα, θα ισχύει  $V_S = V_{ag}$  και  $I_S = I_a + k \cdot 3 \cdot I_0$ .

Στόχος της μεθόδου απλής επαγωγής είναι η ελαχιστοποίηση της επίδρασης του όρου που οφείλεται στην ύπαρξη της αντίστασης σφάλματος. Για το σκοπό αυτό, η μέθοδος απλής επαγωγής διαιρεί τα μέλη της εξίσωσης για το  $V_S$  με το ρεύμα  $I_S$  αγνοώντας τον όρο που αφορά την αντίσταση σφάλματος και παίρνοντας το φανταστικό μέρος της προκύπτουσας εξίσωσης. Έτσι έχουμε:

$$\operatorname{Im}\left(\frac{V_S}{I_S}\right) = \operatorname{Im}(m \cdot Z_{1L}) = m \cdot X_{1L} \Rightarrow m = \frac{\operatorname{Im}\left(\frac{V_S}{I_S}\right)}{X_{1L}}$$

Το σφάλμα αυτής της μεθόδου είναι μηδενικό αν  $R_F = 0$  ή  $\angle I_S = \angle I_F$ .

#### 2.5.18.2.2 Μέθοδος Takagi

Η μέθοδος Takagi απαιτεί τη γνώση δεδομένων πριν και μετά την εμφάνιση του σφάλματος, αλλά καταφέρνει να μειώσει την επίδραση της ροής φορτίου και να ελαχιστοποιήσει αυτήν της αντίστασης σφάλματος.

Η μέθοδος ξεκινά υπολογίζοντας το ρεύμα  $I_{sup} = I_F - I_{pre}$ , όπου  $I_F$  είναι το ρεύμα σφάλματος και  $I_{pre}$  το ρεύμα προ σφάλματος. Το  $I_{sup}$  είναι συμφασικό με το  $I_F$ . Στη συνέχεια η εξίσωση που δίνει τη τάση του ζυγού  $V_S$  πολλαπλασιάζεται με τον συζυγή του  $I_{sup}$  κρατώντας τελικά μόνο το φανταστικό μέρος της πράξης αυτής και αγνοώντας τον όρο που έχει να κάνει με την αντίσταση σφάλματος. Έτσι έχουμε:

$$V_S = m \cdot Z_{1L} \cdot I_S + R_F \cdot I_F \xrightarrow{\cdot I_{sup}^*} \operatorname{Im}(V_S \cdot I_{sup}^*) = m \cdot \operatorname{Im}(Z_{1L} \cdot I_S \cdot I_{sup}^*) + R_F \cdot \operatorname{Im}(I_F \cdot I_{sup}^*) \Rightarrow$$

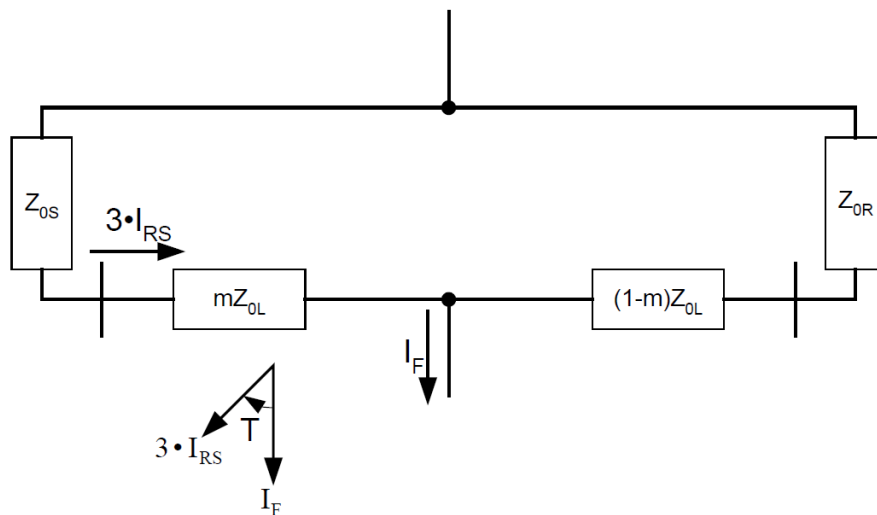
$$m = \frac{\operatorname{Im}(V_S \cdot I_{sup}^*)}{\operatorname{Im}(Z_{1L} \cdot I_S \cdot I_{sup}^*)}$$

Η μέθοδος Takagi δίνει ακριβή αποτελέσματα όταν το σύστημα μεταφοράς είναι ομογενές, δηλαδή όταν η γωνία συστήματος στα δύο άκρα της γραμμής είναι ίση με τη γωνία της σύνθετης αντίστασης της γραμμής  $\angle Z_S = \angle Z_R = \angle Z_L$ .

2.5.18.2.3 Τροποποιημένη μέθοδος Takagi

Η τροποποιημένη μέθοδος Takagi χρησιμοποιεί το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας  $3I_{0S}$  αντί του ρεύματος  $I_{sup}^*$  για τα σφάλματα γης και έτσι δεν χρειάζεται να της παρέχουμε δεδομένα προ του σφάλματος για να λειτουργήσει. Ακόμη, αυτή η μέθοδος μπορεί να κάνει διόρθωση γωνίας, δηλαδή σε περίπτωση που γνωρίζουμε τις σύνθετες αντιστάσεις των πηγών τροφοδότησης, τότε μπορούμε να τροποποιήσουμε το ρεύμα αρνητικής ακολουθίας κατά μία γωνία  $T$  για να βελτιώσουμε το αποτέλεσμα της εκτίμησης του σημείου σφάλματος. Η γωνία  $T$  βρίσκεται με βάση την Εικόνα 2.128 ως εξής:

$$\frac{I_F}{3 \cdot I_{RS}} = \frac{Z_{0S} + Z_{0L} + Z_{0R}}{(1 - m) \cdot Z_{0L} + Z_{0R}} = A \angle T$$



Εικόνα 2.128: Τρόπος υπολογισμού γωνίας διόρθωσης  $T$  για την τροποποιημένη μέθοδο εύρεσης του σημείου σφάλματος Takagi [26]

Έτσι, έχουμε τελικά:

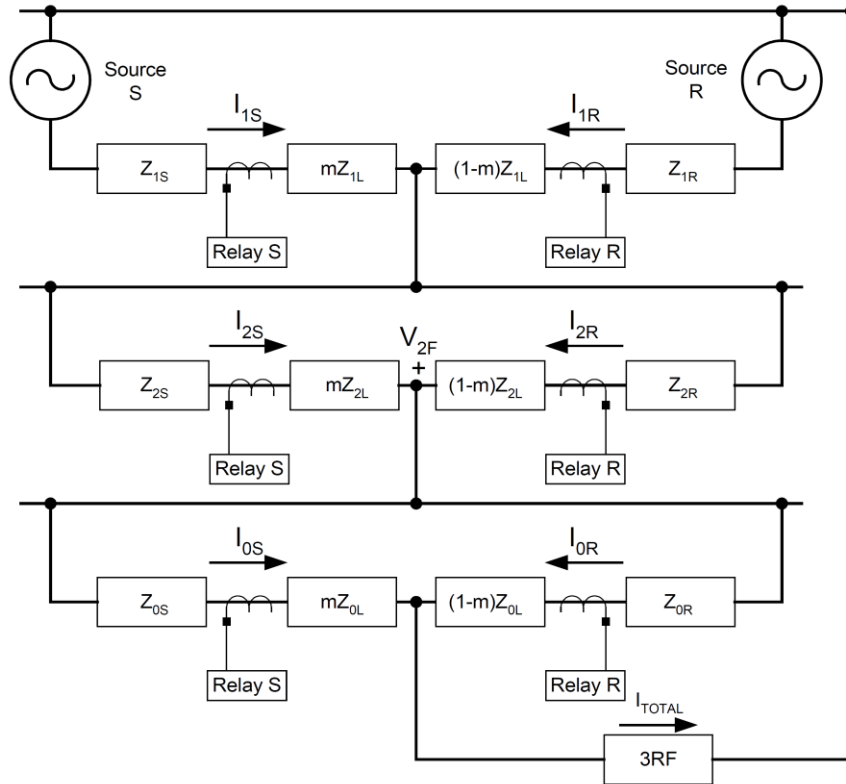
$$m = \frac{\text{Im}(V_S \cdot (3I_{0S})^* \cdot e^{-jT})}{\text{Im}(Z_{1L} \cdot I_S \cdot (3I_{0S})^* \cdot e^{-jT})}$$

2.5.18.3 Μέθοδος μετρούμενης σύνθετης αντίστασης αρνητικής ακολουθίας δύο πλευρών

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ποσότητες αρνητικής ακολουθίας από όλα τα άκρα της γραμμής για την εκτίμηση του σημείου ενός ασύμμετρου σφάλματος. Με αυτό τον τρόπο καταφέρνουμε να αναιρέσουμε την επίδραση του ρεύματος προ σφάλματος, της αντίστασης σφάλματος, της σύζευξης σύνθετης αντίστασης μηδενικής ακολουθίας και των άλλων πηγών τροφοδότησης μηδενικής ακολουθίας του σφάλματος πάνω στη γραμμή. Οι ποσότητες που χρησιμοποιούνται από το απομακρυσμένο άκρο της γραμμής είναι οι εξής:

- Το μέτρο του ρεύματος αρνητικής ακολουθίας
- Η υπολογιζόμενη σύνθετη αντίσταση αρνητικής ακολουθίας του συστήματος  $Z_2 \angle \theta_2$

Η εν λόγω μέθοδος άπτεται του γεγονότος ότι η τάση αρνητικής ακολουθίας  $V_{2F}$  στην Εικόνα 2.129 θα πρέπει να είναι η ίδια ανεξαρτήτως από ποιο άκρο της γραμμής την υπολογίζουμε.



Εικόνα 2.129: Ανάλυση 1Φ βραχυκυκλώματος επάνω στη γραμμή μεταφοράς του δικτύου στην Εικόνα 2.127 [26]

Έτσι, εφόσον είναι

$$V_S = -I_{2S} \cdot (Z_{2S} + m \cdot Z_{2L})$$

$$V_{2F} = -I_{2R} \cdot (Z_{2R} + (1 - m) \cdot Z_{2L})$$

θα έχουμε ότι:

$$I_{2R} = I_{2S} \cdot \frac{(Z_{2S} + m \cdot Z_{2L})}{(Z_{2R} + (1 - m) \cdot Z_{2L})}$$

Παίρνοντας το μέτρο της παραπάνω εξίσωσης έχουμε:

$$|I_{2R}| = \left| I_{2S} \cdot \frac{(Z_{2S} + m \cdot Z_{2L})}{(Z_{2R} + (1 - m) \cdot Z_{2L})} \right| \Rightarrow |I_{2R}| = \frac{|(I_{2S} \cdot Z_{2S}) + m \cdot (I_{2S} \cdot Z_{2L})|}{|(Z_{2R} + Z_{2L}) - m \cdot (Z_{2L})|}$$

Θέτοντας

$$I_{2S} \cdot Z_{2S} = a + jb$$

$$I_{2S} \cdot Z_{2L} = c + jd$$

$$Z_{2R} + Z_{2L} = e + jf$$

$$Z_{2L} = g + jh$$

και αντικαθιστώντας

$$|I_{2R}| = \frac{|(a + jb) + m \cdot (c + jd)|}{|(e + jf) - m \cdot (g + jh)|}$$

η οποία τελικά καταλήγει σε μία τετραγωνική εξίσωση του m:

$$A \cdot m^2 + B \cdot m + C = 0$$

$$A = |I_{2R}|^2 \cdot (g^2 + h^2) - (c^2 + d^2)$$

$$B = -2 \cdot |I_{2R}|^2 \cdot (e \cdot g + f \cdot h) - 2 \cdot (a \cdot c + b \cdot d)$$

$$C = |I_{2R}|^2 \cdot (e^2 + f^2) - (a^2 + b^2)$$

### 2.5.19 Δυνατότητα επικοινωνίας MIRRORED BITS<sup>®</sup>

Ο Η/Ν SEL-311B μπορεί να επικοινωνήσει απευθείας με έναν άλλο Η/Ν ώστε να ανταλλάξει εύκολα, γρήγορα, οικονομικά και με ασφάλεια πληροφορίες. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται δυνατός ο απομακρυσμένος έλεγχός του, η δημιουργία σχημάτων προστασίας γραμμών μεταφοράς μέσω καναλιών επικοινωνίας κ.α. Ο εν λόγω Η/Ν υποστηρίζει δύο κανάλια επικοινωνίας MIRRORED BITS<sup>®</sup> που συμβολίζονται με τα γράμματα Α και Β. Τα bits που μεταδίδονται από τον έναν Η/Ν στον άλλον είναι τα TMB1x-TMB8x όπου το x είναι το Α ή Β αντίστοιχα. Η κατάσταση των εν λόγω bits ελέγχεται από τις εξισώσεις ελέγχου που διαθέτει ο Η/Ν. Τα bits που λαμβάνονται από κάθε Η/Ν είναι τα RMB1x-RMB8x και μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά το δοκούν στις διάφορες εξισώσεις ελέγχου του. Τέλος, υπάρχουν και τα bits ROKx, RBADx, CBADx και LBOkx τα οποία επιτρέπουν να ελέγξουμε την κατάσταση των καναλιών επικοινωνίας και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στις διάφορες εξισώσεις ελέγχου του Η/Ν.

### 2.5.20 Δυνατότητα λήψης συγχρονισμένων μετρήσεων

Ο Η/Ν SEL-311B μπορεί να λειτουργήσει ως μονάδα λήψης συγχρονισμένων μετρήσεων με την προϋπόθεση ύπαρξης στην υποδοχή IRIG-B του μιας πηγής σήματος εξαιρετικά υψηλής ακρίβειας.

### 2.5.21 Δυνατότητα παραγωγής αναφορών γεγονότων

Στον Η/Ν SEL-311B υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής δύο ειδών αναφορών γεγονότων:

- Κλασσική αναφορά γεγονότων των 15, 30, 60 ή 180 κύκλων
- Αναφορά διαδοχής γεγονότων

#### 2.5.21.1 Κλασσική αναφορά γεγονότων

Η κλασσική αναφορά γεγονότων περιέχει πληροφορίες για την ημερομηνία, την ώρα, τα ρεύματα, τις τάσεις, τη συχνότητα, την κατάσταση των στοιχείων του Η/Ν, την κατάσταση των επαφών εισόδου και εξόδου και την εκτιμώμενη απόσταση από το σφάλμα.

Η παραγωγή των κλασσικών αναφορών γεγονότων προκαλείται από σταθερές αλλά και προγραμματιζόμενες συνθήκες. Ο Η/Ν SEL-311B μπορεί να διατηρήσει αποθηκευμένες:

- 43 κλασσικές αναφορές γεγονότων 15 κύκλων
- 25 κλασσικές αναφορές γεγονότων 30 κύκλων
- 13 κλασσικές αναφορές γεγονότων 60 κύκλων
- 4 κλασσικές αναφορές γεγονότων 180 κύκλων

Με την υπέρβαση των παραπάνω ορίων, η παλαιότερη κλασική αναφορά γεγονότων διαγράφεται και αντικαθίσταται από την καινούργια.

Η κλασσικές αναφορές γεγονότων έχουν προγραμματιζόμενο μήκος τόσο για μετά την εμφάνιση του γεγονότος όσο και πριν από αυτή.

Κλασσικές αναφορές γεγονότων παράγονται από τον Η/Ν όταν:

- Το σήμα TRIP γίνεται «1»
- Η εξίσωση ελέγχου ER γίνεται «1»
- Εκτελείται η σειριακή εντολή TRI
- Στέλνεται σήμα προς τις εξόδους OUT101-OUT107 μέσω σειριακής θύρας ή εντολής από τα κουμπιά στην πρόοψη του Η/Ν

Η εξίσωση ελέγχου ER χρησιμοποιείται για να εκκινεί την παραγωγή κλασσικών αναφορών γεγονότων για συνθήκες που δεν απαιτούν το άνοιγμα του Δ/Ι.

Κάθε φορά που ο Η/Ν παράγει μια κλασσική αναφορά γεγονότων, παράγεται και μία ανάλογη περίληψη της αναφοράς, η μορφή της οποίας φαίνεται στην Εικόνα 2.130.

```

SEL-311B                               Date: 08/18/00   Time: 08:53:34.926
EXAMPLE: BUS B, BREAKER 3

Event: BCG T      Location: 48.84      Trip Time: 08:53:34.930
#: 00008 Shot:    Freq: 60.01  Group: 1      Close Time: --:--:--:---
Targets: ZONE1                                         Breaker: Closed

PreFault:      IA      IB      IC      IP      IG      3I2      VA      VB      VC
MAG(A/kV)      199      200      201      0       2       0      131.500  131.610  131.730
ANG(DEG)      -0.04-120.27  120.04  59.15  149.15  165.15      0.00  -120.03  119.94
Fault:
MAG(A/kV)      200      2478      2480      0       212      4294  131.570  113.930  113.980
ANG(DEG)      -0.46-172.34  6.65  59.15  -11.30  94.15      0.73  -123.36  124.67

                                L C R      L C R
                                B B B R    B B B R
                                O A A O    O A A O
                                K D D K    K D D K
MB:8->1      RMBA      TMBA      RMBB      TMBB      A A A A    B B B B

TRIG 00000000 00000000 00000000 00000000 0 0 0 0 0 0 0 0 0
TRIP 00000000 00000000 00000000 00000000 0 0 0 0 0 0 0 0 0
    
```

*Εικόνα 2.130: Μορφή περίληψης αναφοράς γεγονότων στον Η/Ν SEL-311B [17]*

Παρακάτω παρατίθενται διάφορα κομμάτια μιας κλασσικής αναφοράς γεγονότων 15 κύκλων.

ΚΕΦ. 2º: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ & ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ

SEL-311B  
EXAMPLE: BUS B, BREAKER 3

Date: 08/18/00 Time: 08:53:34.926

FID=SEL-311B-R100-V0-Z001001-D20000818

CID=F30B

firmware identifier  
firmware checksum identifier

	Currents (Amps Pri)				IG	Voltages (kV Pri)			VS Vdc	V1 Mem	
	IA	IB	IC	IP		VA	VB	VC			
[1]	102	-200	98	0	0	67.4	-131.6	64.3	67.4	24	67.1
	171	2	-176	0	-3	112.9	1.9	-115.0	113.2	24	113.2
	-103	199	-99	-1	-3	-67.5	131.6	-64.2	-67.5	24	-67.2
	-173	-3	174	0	-2	-112.9	-2.0	115.0	-113.2	24	-113.1
[2]	102	-200	97	0	-1	67.6	-131.6	64.1	67.6	24	67.3
	171	2	-175	-1	-2	112.8	2.0	-115.1	113.1	24	113.1
	-103	199	-98	0	-2	-67.7	131.6	-64.0	-67.7	24	-67.4
	-172	-3	175	-1	0	-112.8	-2.1	115.1	-113.1	24	-113.0
[3]	102	-201	97	0	-2	67.8	-131.6	63.9	67.8	24	67.5
	171	2	-176	-1	-3	112.7	2.2	-115.2	113.0	24	113.0
	-104	200	-97	-1	-1	-67.9	131.6	-63.9	-67.9	24	-67.5
	-172	-4	175	0	-1	-112.6	-2.4	115.2	-112.9	24	-112.9
[4]	103	-270	165	0	-2	68.0	-130.8	63.0	68.0	24	67.6
	171	-686	576	-1	61	112.6	3.2	-114.7	112.9	24	112.7
	-104	936	-867	-1	-35	-68.1	121.8	-55.0	-68.1	24	-67.7
	-172	1661	-1653	0	-164	-112.5	0.9	108.8	-112.8	24	-111.2>

one cycle of data

Protection and Contact I/O Elements

```

21      V 51 50      32 67      Dm 27 59
ZZZZZZ P      P G Q      Q P G Q      255 TSih ZLV Out1 In1
ABCABC 0      1 1 1      V 1 1 1      P P      P 9S 7mo 10d 1357 135
BCAGGG L PGQ 232323 QI 232323 QG PPS PPS VFA 9et dPc 246A 246
[1]
..... V ..... 0.. 1..
..... V ..... 0.. 1..
..... V ..... 0.. 1..
..... V ..... 0.. 1..
[2]
..... V ..... 0.. 1..
..... V ..... 0.. 1..
..... V ..... 0.. 1..
..... V ..... 0.. 1..
[3]
..... V ..... 0.. 1..
..... V ..... 0.. 1..
..... V ..... 0.. 1..
..... V ..... 0.. 1..
[4]
..... V ..... 0.. 1..
..... V ..... 0.. 1..
..... V .p ..... QQ ..... 1..
..... V .pp ..... QQ ..... 1..>
    
```

Communication Elements

```

S TMB RMB TMB RMB RRCL Lc1 Rem Ltch SELogic
30 A A B B OBBB
PT 1357 1357 1357 1357 KAAO 0 RW RW RW RW RW RW 1111111
OF 2468 2468 2468 2468 DDK C 5 6 7 8 9 10 1234567890123456
[1]
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
[2]
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
[3]
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
[4]
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....
.. .. 00 00 00 00 40 00 .....>
    
```



...

Event: BCG T Location: 48.84 Shot: Frequency: 60.01  
 Targets: ZONE1  
 Currents (A Pri), ABCPGQ: 200 2478 2480 0 212 4294

Group 1

RID =SEL-311B		TID =EXAMPLE: BUS B, BREAKER 3	
CTR = 200			
CTRP = 200	PTR = 2000.00	PTRS = 2000.00	
Z1MAG = 7.80	Z1ANG = 84.00		
Z0MAG = 24.80	Z0ANG = 81.50	LL = 100.00	APP = 311B
E21P = 3	E21MG = 3		
E50P = 1	E50G = N	E50Q = N	
E51P = N	E51G = Y	E51Q = Y	
E32 = AUTO	ELOAD = Y	ESOTF = Y	
EVOLT = N	E25 = N	EFLOC = Y	
ELOP = Y	E79 = N	EZ1EXT= N	
ECCVT = N	ESV = N	ELAT = 16	EDP = 16
EDEM = THM	EADVS = N		
Z1P = 6.24	Z2P = 9.36	Z3P = 1.87	
50PP1 = 0.50			
Z1MG = 6.24	Z2MG = 9.36	Z3MG = 1.87	
50L1 = 0.50			
50GZ1 = 0.50			
k0M1 = 0.726	k0A1 = -3.69		
Z1PD = OFF	Z2PD = 20.00	Z3PD = OFF	
Z1GD = OFF	Z2GD = 20.00	Z3GD = OFF	
Z1D = OFF	Z2D = OFF	Z3D = OFF	
50P1P = 11.25			
67P1D = 0.00			
51GP = 0.75	51GC = U3	51GTD = 2.00	51GRS = Y
51QP = 2.20	51QC = U3	51QTD = 2.00	51QRS = N
ZLF = 9.22	ZLR = 9.22		
PLAF = 30.00	NLAF = -30.00	PLAR = 150.00	NLAR = 210.00
DIR3 = R			
ORDER = QVI			
CLOEND= OFF	52AEND= 10.00	SOTFD = 30.00	
DMTC = 60	PDEMP = OFF	GDEMP = OFF	QDEMP = OFF
TDURD = 9.00	CFD = 60.00	3POD = 0.50	OPO = 52
50LP = 0.25			

SELogic group 1

SELogic Control Equations:  
 TR =M1P + Z1G + M2PT + Z2GT + 51GT + 51QT + OC  
 TRSOTF=M2P + Z2G + 50P1  
 DTT =0  
 ULTR =!(50L + 51G)  
 52A =IN101  
 CL =CC  
 ULCL =TRIP  
 SET1 =0  
 RST1 =0  
 SET2 =0  
 RST2 =0  
 SET3 =0  
 RST3 =0  
 SET4 =0  
 RST4 =0  
 SET5 =0  
 RST5 =0  
 SET6 =0  
 RST6 =0  
 SET7 =0  
 RST7 =0  
 SET8 =0  
 RST8 =0  
 SET9 =0  
 RST9 =0  
 SET10 =0  
 RST10 =0  
 SET11 =0  
 RST11 =0  
 SET12 =0  
 RST12 =0  
 SET13 =0

```

RST13 =0
SET14 =0
RST14 =0
SET15 =0
RST15 =0
SET16 =0
RST16 =0
67P1TC=1
51GTC =1
51QTC =1
OUT101=TRIP
OUT102=TRIP
OUT103=CLOSE
OUT104=0
OUT105=0
OUT106=0
OUT107=0
DP1   =52A
DP2   =0
DP3   =0
DP4   =0
DP5   =0
DP6   =0
DP7   =0
DP8   =0
DP9   =0
DP10  =0
DP11  =0
DP12  =0
DP13  =0
DP14  =0
DP15  =0
DP16  =0
SS1   =0
SS2   =0
SS3   =0
SS4   =0
SS5   =0
SS6   =0
ER    =/M2P + /Z2G + /51G + /51Q + /50P1 + /LOP
FAULT =51G + 51Q + M2P + Z2G
BSYNCH=0
CLMON =0
E32IV =1

```

Global Settings:

```

TGR    = 1800.00   NFREQ = 60           PHROT = ABC
DATE_F= MDY      FP_TO  = 15.00        SCROLD= 5
LER    = 15       PRE    = 4           DCLOP = OFF      DCHIP = OFF
IN101D= 0.00     IN102D= 0.00        IN103D= 0.00    IN104D= 0.00
IN105D= 0.00     IN106D= 0.00
EBMON  = N

```

### 2.5.21.2 Αναφορά διαδοχής γεγονότων

Ο Η/Ν προσθέτει μία γραμμή στην αναφορά διαδοχής γεγονότων κάθε φορά που εμφανίζεται κάποια αλλαγή σε κάποιο στοιχείο που εμπεριέχεται στις εξισώσεις ελέγχου SER1-SER3. Ο Η/Ν επιβλέπει τα στοιχεία που περιέχονται στις εν λόγω εξισώσεις ελέγχου κάθε ένα τέταρτο του κύκλου. Οι πληροφορίες που περιέχονται σε αυτή την αναφορά είναι η ημερομηνία, ο χρόνος, το στοιχείο που άλλαξε κατάσταση και σε ποια κατάσταση μετέβη. Επίσης, ο Η/Ν καταγράφει την αρχική τροφοδότησή του και την αλλαγή ομάδας ρυθμίσεων ως γεγονός.

Ο Η/Ν SEL-311B μπορεί να διατηρεί αποθηκευμένες έως και 512 γραμμές στην αναφορά διαδοχής γεγονότων. Σε περίπτωση υπέρβασης αυτού του ορίου, η παλαιότερη γραμμή της

αναφοράς διαγράφεται και τη θέση της παίρνει η καινούργια. Στην Εικόνα 2.131 φαίνεται ένα παράδειγμα μιας αναφοράς διαδοχής γεγονότων.

SEL-311B Date: 08/20/00 Time: 08:56:47.400  
EXAMPLE: BUS B, BREAKER 3

FID=SEL-311B-R100-V0-Z001001-D20000818 CID=F30B

#	DATE	TIME	ELEMENT	STATE
14	08/19/00	08:53:34.083	IN101	Asserted
13	08/19/00	08:53:34.926	51G	Asserted
12	08/19/00	08:53:34.930	50P1	Asserted
11	08/19/00	08:53:34.930	M2P	Asserted
10	08/19/00	08:53:34.930	M1P	Asserted
9	08/19/00	08:53:34.930	OUT101	Asserted
8	08/19/00	08:53:34.930	OUT102	Asserted
7	08/19/00	08:53:35.026	50P1	Deasserted
6	08/19/00	08:53:35.026	M1P	Deasserted
5	08/19/00	08:53:35.026	51G	Deasserted
4	08/19/00	08:53:35.030	M2P	Deasserted
3	08/19/00	08:53:35.030	IN101	Deasserted
2	08/19/00	08:53:35.079	OUT101	Deasserted
1	08/19/00	08:53:35.079	OUT102	Deasserted

*Εικόνα 2.131: Μορφή αναφοράς διαδοχής γεγονότων στον Η/Ν SEL-311B [17]*

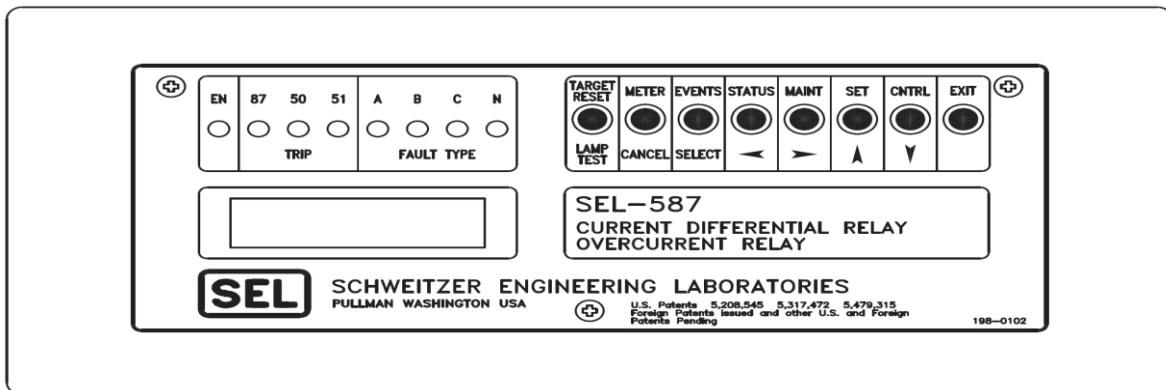
Επισημαίνεται πως πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι αναφορές διαδοχής γεγονότων αποθηκεύονται σε μη πτητική μνήμη EEPROM ώστε να μην χαθούν λόγω διακοπής της τροφοδοσίας του Η/Ν. Συνεπώς, θα πρέπει να γίνεται λελογισμένη χρήση της μνήμης αυτής όσον αφορά την συχνότητα των εγγραφών ώστε να επεκταθεί η διάρκεια ζωής της.

## 2.6 Περιγραφή ψηφιακού Η/Ν SEL-587

Ο Η/Ν SEL-587-1 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας έχει τη δυνατότητα να παρέχει διαφορική προστασία ρεύματος καθώς και προστασία υπερεντάσεως. Συνεπώς, είναι ειδικά κατασκευασμένος για να προστατεύει ηλεκτρολογικό εξοπλισμό ισχύος δύο θυρών, όπως είναι οι γεννήτριες, οι κινητήρες, οι Μ/Σ, τα πηνία κ.α. Στο εργαστηριακό σύστημα, ο εν λόγω Η/Ν προστατεύει τον Μ/Σ ανύψωσης του θεωρούμενου δικτύου.

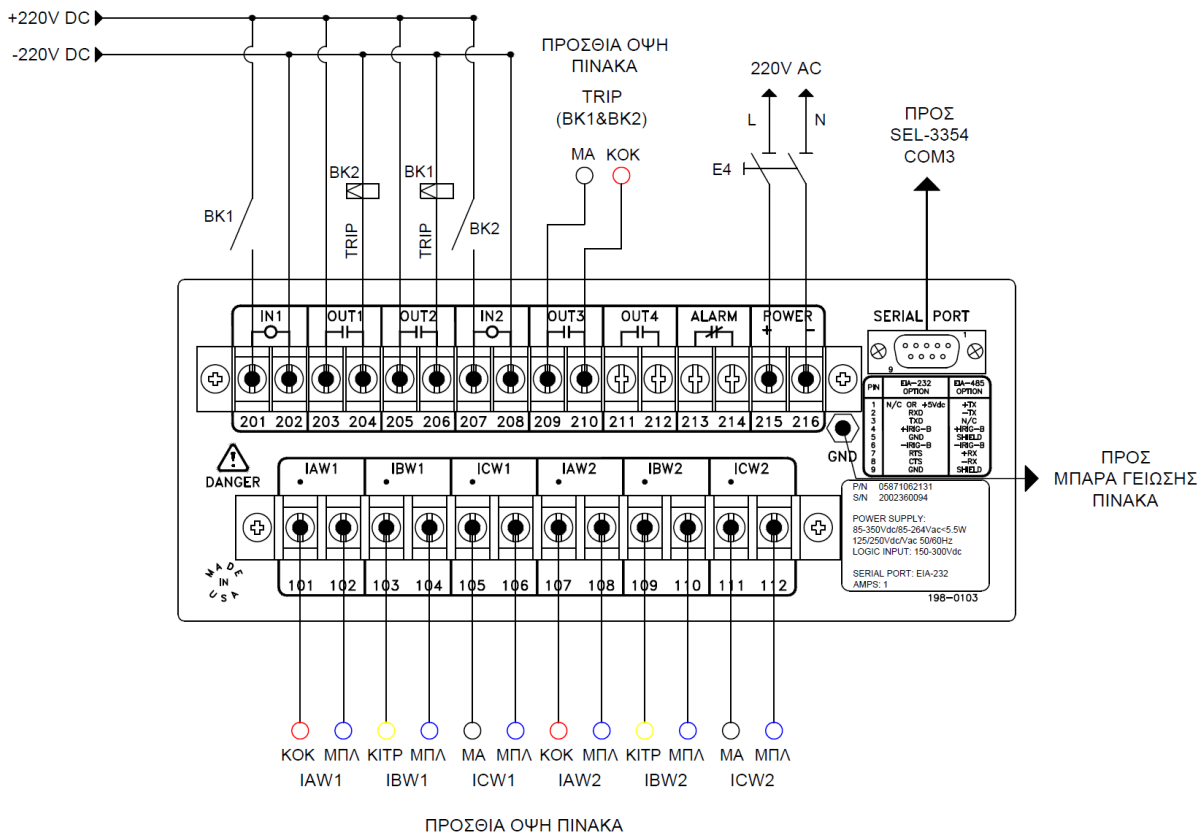
Η λειτουργία του Η/Ν ξεκινά λαμβάνοντας μετρήσεις από τις έξι αναλογικές εισόδους που διαθέτει για τα υποβιβασμένα ρεύματα του δικτύου και στη συνέχεια υπολογίζοντας τις ποσότητες διαφορικής λειτουργίας και αναστολής όπως και την 2η, 4η, 5η και DC συνιστώσα των ρευμάτων.

Η πρόοψη όψη του Η/Ν SEL-587 φαίνεται στην Εικόνα 2.132.



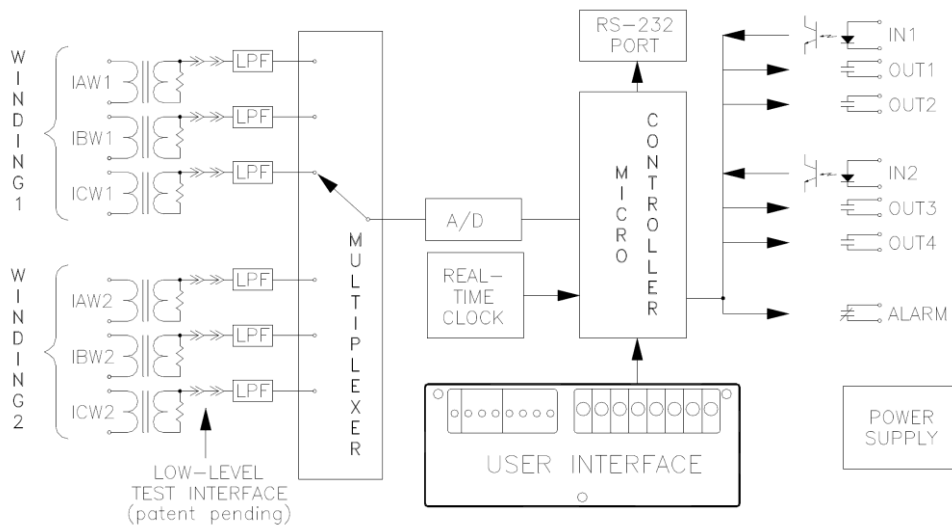
Εικόνα 2.132: Πρόοψη ψηφιακού Η/Ν SEL-587 [27]

Στην Εικόνα 2.133 δίνεται η οπίσθια όψη του Η/Ν SEL-587 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας μαζί με τις συνδέσεις που έχουν γίνει.



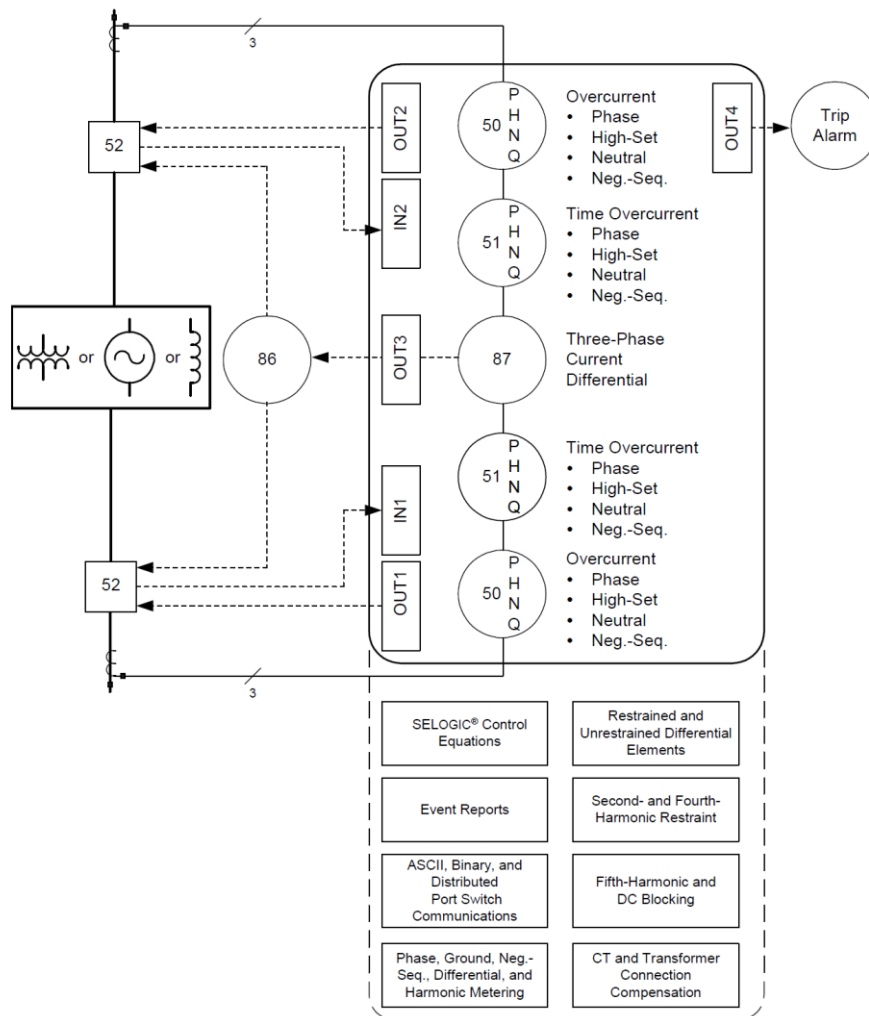
Εικόνα 2.133: Οπίσθια όψη Η/Ν SEL-587 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [15]

Στην Εικόνα 2.134 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα του υλικού (hardware) του ψηφιακού H/N SEL-587.



Εικόνα 2.134: Σχηματικό διάγραμμα υλικού ψηφιακού H/N SEL-587 [27]

Τέλος, οι δυνατότητες του H/N SEL-587 αποτυπώνονται σχηματικά στην Εικόνα 2.135.



Εικόνα 2.135: Δυνατότητες προστασίας ψηφιακού H/N SEL-587 [27]

### 2.6.1 Προδιαγραφές

Ο ψηφιακός Η/Ν SEL-587 του εργαστηριακού συστήματος έχει τις εξής προδιαγραφές:

<b>Part Number (P/N)</b>	05871062131
<b>Serial Number (S/N)</b>	2002360094
<b>Firmware Identifier (FID)</b>	SEL-587-1-R703-V1b-Z001001-D20061005
<b>Checksum Identifier (CID)</b>	ED1C
<b>Firmware</b>	Standard με πρόσθετες δυνατότητες για Harmonic Restraint, Trip unlatch και Zero Sequence removal
<b>Connection Type</b>	Terminal Block
<b>Conformal Coat</b>	No
<b>Power Supply</b>	125/250V <sub>dc</sub> ή V <sub>ac</sub>
<b>Burden</b>	<5.5W
<b>Communications Protocol</b>	Standard και Modbus <sup>®</sup>
<b>Secondary Input Current</b>	1 Amp Phase
<b>Packaging</b>	Horizontal Panel Mount
<b>Serial Port</b>	EIA-232
<b>Control Input Voltage</b>	250V <sub>dc</sub> (λόγω των jumpers που έχουν ρυθμιστεί στο εσωτερικό της συσκευής)

Πίνακας 2.11: Προδιαγραφές Η/Ν SEL-587 του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [28]

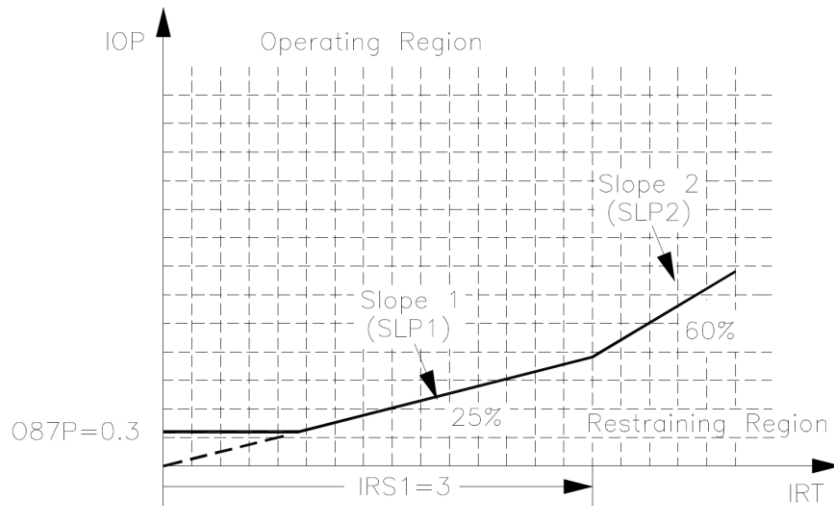
Ο Η/Ν SEL-587-1 διαθέτει επίσης 2 λογικές εισόδους (optoisolated inputs), 4 προγραμματιζόμενες λογικές εξόδους (programmable output contacts), 1 έξοδο συναγερμού (alarm output contact) και δυνατότητα λήψης σήματος τύπου IRIG-B για συγχρονισμό ρολογιών.

### 2.6.2 Στοιχεία διαφορικής προστασίας

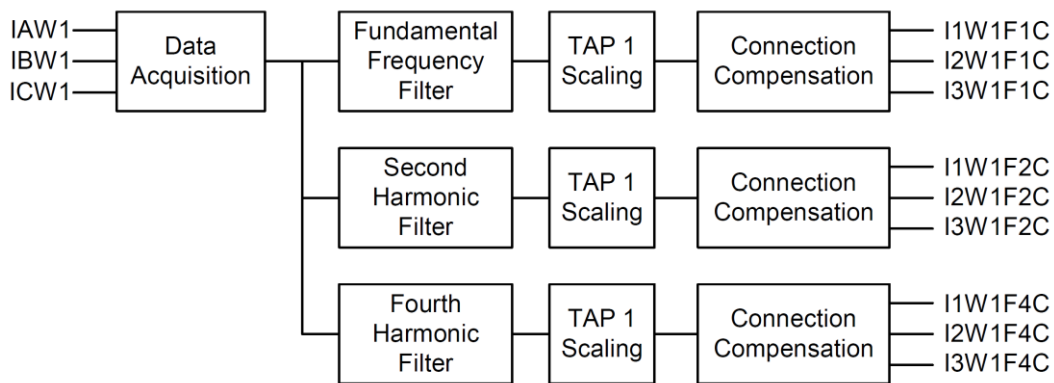
Ο Η/Ν SEL-587-1 περιέχει στοιχεία ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας με αναστολή, καθένα από τα οποία έχει ρυθμιζόμενο ρεύμα λειτουργίας (pickup current) και χαρακτηριστική λειτουργίας μονής (single) ή διπλής (dual) κλίσης. Η διπλή κλίση (βλ. Εικόνα 2.136) χρησιμοποιείται για να μπορέσει ο Η/Ν να διαχωρίσει τα εσωτερικά σφάλματα από τα εξωτερικά σφάλματα που έχουν μεγάλη τιμή ρεύματος σφάλματος με μεγαλύτερη αξιοπιστία. Ακόμη, ο Η/Ν διαθέτει και στοιχεία διαφορικής προστασίας χωρίς αναστολή, τα οποία είναι στιγμιαίας λειτουργίας και χρησιμοποιούνται για την γρήγορη εκκαθάριση σφαλμάτων με υψηλές τιμές ρευμάτων.

Σε κάθε ένα από τα στοιχεία ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας με αναστολή μπορούν να εφαρμοστούν επιπλέον αναστολές ή παρεμποδίσεις λειτουργίας βάσει των περιεχομένων των μετρούμενων ρευμάτων σε άρτιες αρμονικές ή/και 5<sup>η</sup> αρμονική συνιστώσα ή/και DC συνιστώσας. Αυτές οι συνιστώσες χρησιμοποιούνται για να διακρίνουμε τα εσωτερικά σφάλματα από τα διαφορικά ρεύματα που δημιουργούνται λόγω υπερδιέγερσης ή ρεύματος μαγνήτισης εισροής κατά την αρχική τροφοδότηση των προστατευόμενων συσκευών.

Στην Εικόνα 2.137 φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο ο Η/Ν SEL-587 επεξεργάζεται τα αναλογικά ρεύματα στις εισόδους του. Αρχικά, γίνεται η μετατροπή των αναλογικών ρευμάτων σε ψηφιακή μορφή. Έπειτα ακολουθεί φιλτράρισμα μέσω ειδικών ζωνοπερατών ψηφιακών φίλτρων ώστε να απομονωθεί η θεμελιώδης, η 2<sup>η</sup>, η 4<sup>η</sup>, η 5<sup>η</sup> και η DC συνιστώσα τους (τα δύο τελευταία φίλτρα δεν φαίνονται). Κατόπιν, τα τέσσερα πρώτα ρεύματα υφίστανται αντιστάθμιση που έχει να κάνει με την ύπαρξη Σ.Α.Τ.Υ.Φ. στη προστατευόμενη συσκευή καθώς και αντιστάθμιση που έχει να κάνει με τον τρόπο σύνδεσης των Μ/Σ υποβιβασμού ή/και του Μ/Σ ισχύος που προστατεύουμε.



Εικόνα 2.136: Χαρακτηριστική διπλής κλίσης στοιχείου ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας στον H/N SEL-587 [27]



Εικόνα 2.137: Επεξεργασία ρευμάτων εισόδου στον H/N SEL-587 [27]

### 2.6.3 Στοιχεία προστασίας υπερεντάσεως

Ο H/N SEL-587 διαθέτει στοιχεία προστασίας υπερεντάσεως σε κάθε ένα από τα δύο άκρα του εξοπλισμού που προστατεύουμε, τα οποία συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Είδος στοιχείου υπερεντάσεως	Σταθερού χρόνου	Στιγμιαίου χρόνου	Αντιστρόφου χρόνου
<b>Φάσεως (<math>I_a, I_b, I_c</math>) σε κάθε πλευρά</b>	50P1 50P2	50P1H 50P2H	51P1 51P2
<b>Αρνητικής ακολουθίας (<math>I_Q = 3I_2</math>) σε κάθε πλευρά</b>	50Q1 50Q2	-	51Q1 51Q2
<b>Γης (<math>I_R = 3I_0 = I_a + I_b + I_c</math>) σε κάθε πλευρά</b>	50N1 50N2	50N1H 50N2H	51N1 51N2

Πίνακας 2.12: Στοιχεία προστασίας υπερεντάσεως H/N SEL-587 [27]

Κάθε ένα από τα παραπάνω στοιχεία προστασίας μπορεί να έχει ξεχωριστές ρυθμίσεις όσον αφορά το ρεύμα λειτουργίας (pickup current) και τον χρόνο λειτουργίας (time-dial setting). Τέλος, επισημαίνεται πως τα στοιχεία αυτά δεν μπορούν να αναγνωρίσουν την κατεύθυνση του σφάλματος. Σε περίπτωση που θέλουμε να αναγνωρίζουμε και την κατεύθυνση του σφάλματος για την λειτουργία των στοιχείων υπερεντάσεως, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποια είσοδο

ελέγχου από αυτές που έχει διαθέσιμες ο H/N SEL-587 σε συνδυασμό με κάποιο εξωτερικό στοιχείο κατεύθυνσης.

#### **2.6.4 Δυνατότητα παραγωγής αναφορών γεγονότων**

Ο H/N SEL-587 μπορεί να δημιουργεί αυτόματα κλασσικές αναφορές γεγονότων 15 κύκλων καθώς και περιλήψεις αναφορών γεγονότων. Συγκεκριμένα, ο H/N λαμβάνει δεδομένα κάθε 16<sup>ο</sup> κύκλο για την κλασσική αναφορά γεγονότων και δίνει τη δυνατότητα προβολής αφού την περάσει μέσα από κατάλληλο φίλτρο ή και αφιλτράριστη. Τέλος, σημειώνεται ότι οι κλασσικές αναφορές γεγονότων μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να περιέχουν 4 ή 16 δείγματα δεδομένων ανά κύκλο.



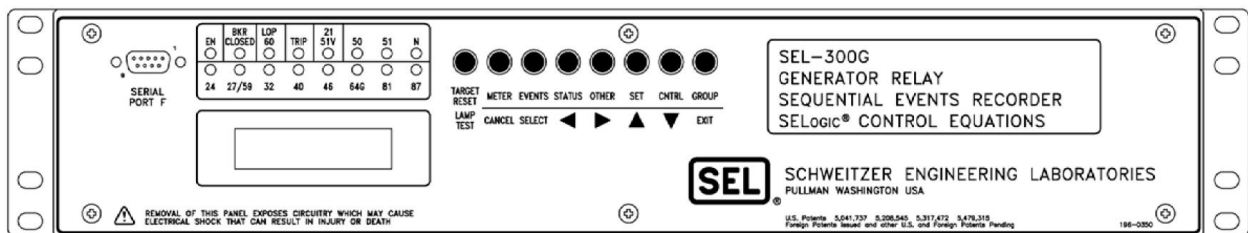
## 2.7 Περιγραφή ψηφιακού H/N SEL-300G

Ο ψηφιακός H/N SEL-300G χρησιμοποιείται για την προστασία σύγχρονων μηχανών. Στο εργαστηριακό σύστημα είναι επιφορτισμένος με την προστασία της σύγχρονης γεννήτριας του προστατευόμενου Σ.Η.Ε.

Η λειτουργία του εν λόγω H/N ακολουθεί τα εξής βήματα:

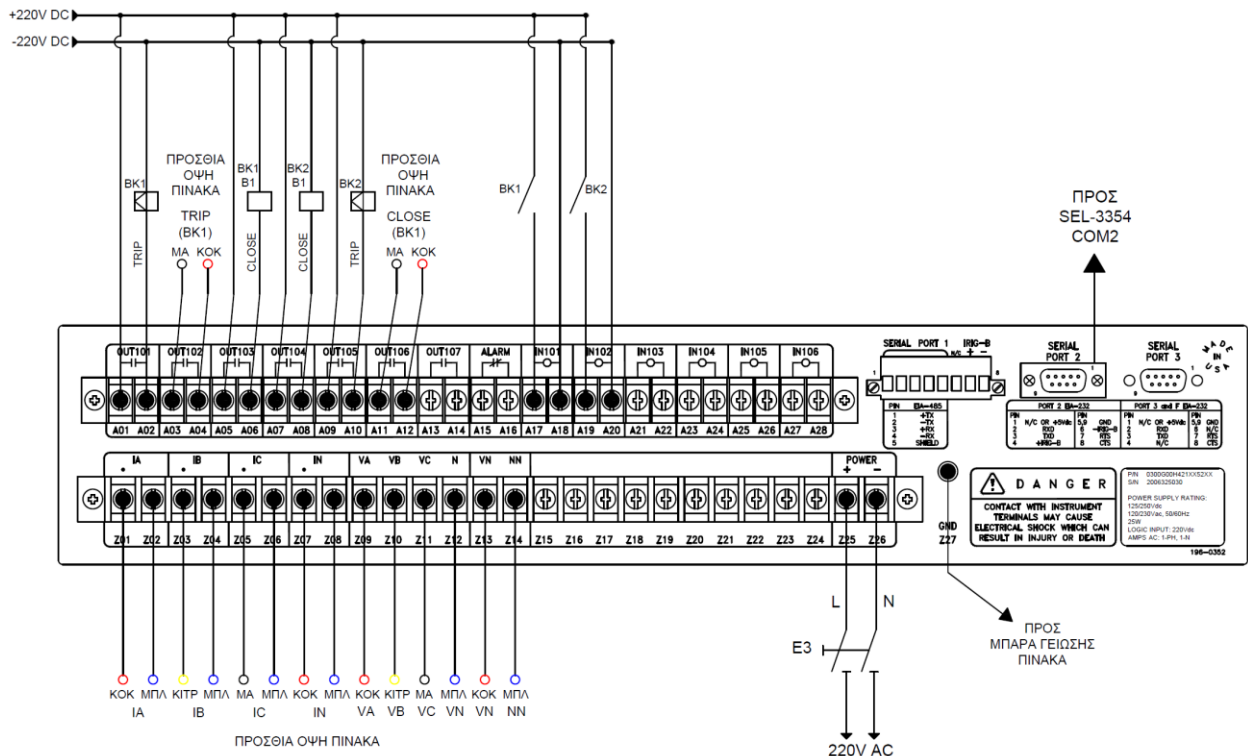
1. Μετρώνται τάσεις και τα ρεύματα της μηχανής
2. Λαμβάνονται υπόψη οι καταστάσεις των λογικών επαφών εισόδων του
3. Εκτελούνται οι αλγόριθμοι προσομοίωσης της λειτουργίας των προστασιών
4. Επιλύονται οι λογικές συνθήκες που έχουν καθοριστεί από το χρήστη όπως και αυτές που έχουν καθοριστεί από τον κατασκευαστή του H/N
5. Διαχειρίζονται καταλλήλως οι επαφές εξόδου

Στην Εικόνα 2.138 φαίνεται η πρόοψη του H/N SEL-300G.



Εικόνα 2.138: Πρόοψη του H/N SEL-300G [29]

Στην Εικόνα 2.139 φαίνεται η οπίσθια όψη του H/N SEL-300G του εργαστηριακού συστήματος μαζί με τις συνδέσεις που έχουν γίνει.



Εικόνα 2.139: Οπίσθια όψη H/N SEL-300G του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [15]

### 2.7.1 Προδιαγραφές

Ο ψηφιακός H/N SEL-300G του εργαστηριακού συστήματος έχει τις εξής προδιαγραφές:

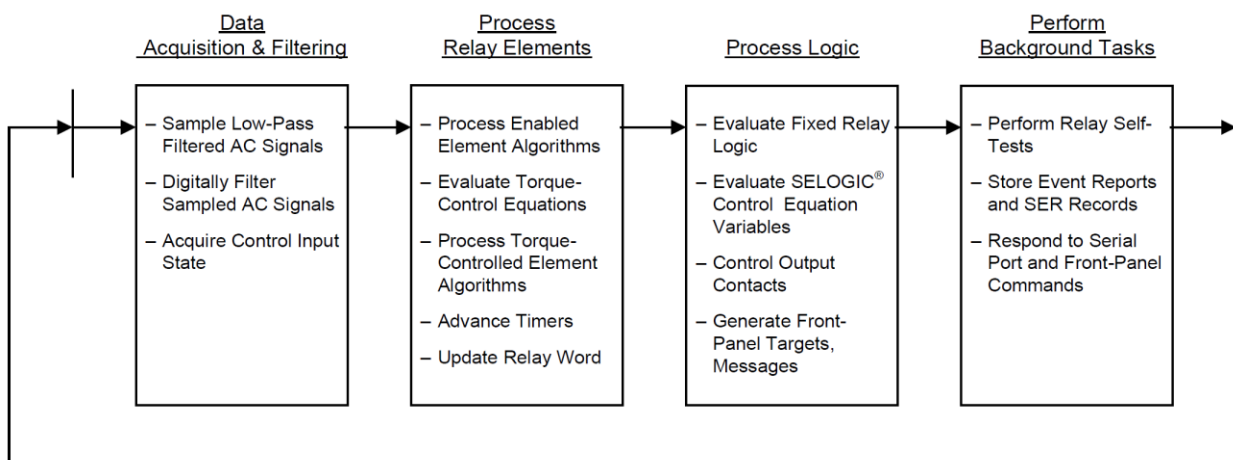
<b>Part Number (P/N)</b>	0300G00H421XX52XX
<b>Serial Number (S/N)</b>	2006325030
<b>Firmware Identifier (FID)</b>	SEL-300G-R324-V00H421XX52XX-Z301301-D20060731
<b>Checksum Identifier (CID)</b>	E26D
<b>Firmware</b>	Standard (Δεν διαθέτει ποσοστιαία διαφορική προστασία με αναστολή, δεν είναι συμβατό με συσκευές της σειράς SEL-2600 και δεν έχει δυνατότητα ελέγχου συγχρονισμού)
<b>I/O Board</b>	Δεν διαθέτει επιπλέον εισόδους/εξόδους
<b>Chassis</b>	2U
<b>Mounting</b>	Horizontal Rack Mount
<b>Power Supply</b>	125/250 V <sub>dc</sub> or V <sub>ac</sub>
<b>Burden</b>	<25W
<b>Secondary Input Voltage</b>	V <sub>a</sub> , V <sub>b</sub> , V <sub>c</sub> για συνδεσμολογία αστέρα V <sub>ab</sub> , V <sub>bc</sub> για συνδεσμολογία τριγώνου
<b>Secondary Input Current</b>	1 Amp Phase, 1 Amp Neutral
<b>Control Input Voltage</b>	220V <sub>dc</sub>
<b>Communications Protocol</b>	Standard και Modbus <sup>®</sup>
<b>Conformal Coat</b>	Όχι

Πίνακας 2.13: Προδιαγραφές ψηφιακού H/N SEL-300G του εργαστηριακού συστήματος [30]

Ο H/N SEL-300G διαθέτει επίσης 6 λογικές εισόδους (optoisolated inputs), 7 προγραμματιζόμενες λογικές εξόδους (programmable output contacts), 1 έξοδο συναγερμού (alarm output contact), 1 σειριακή θύρα EIA-485 στην οπίσθια όψη του, 3 σειριακές θύρες EIA-232 (μία στην πρόοψη και 2 στην οπίσθια όψη του) και δυνατότητα λήψης σήματος τύπου IRIG-B για συγχρονισμό ρολογιών.

### 2.7.2 Περιγραφή σταδίων λειτουργίας και επεξεργασίας δεδομένων

Στην παρακάτω εικόνα δίνονται σχηματικά τα στάδια λειτουργίας και επεξεργασίας δεδομένων του H/N SEL-300G.



Εικόνα 2.140: Σχηματικό διάγραμμα σταδίων λειτουργίας και επεξεργασίας δεδομένων του ψηφιακού H/N SEL-300G [29]

### 2.7.2.1 Στάδιο λήψης των δεδομένων και φιλτραρίσματος

Στο στάδιο λήψης των δεδομένων και φιλτραρίσματος, ο H/N χρησιμοποιεί Μ/Σ υποβιβασμού για να μειώσει εκ νέου τα επίπεδα των αναλογικών σημάτων που δέχεται ήδη υποβιβασμένα στις εισόδους του σε επίπεδα κατάλληλα ώστε να μπορούν να τα αξιοποιήσουν τα εσωτερικά ηλεκτρονικά στοιχεία του. Τα υποβιβασμένα σήματα που προκύπτουν περνούν από αναλογικά βαθυπερατά φίλτρα και έναν πολυπλέκτη (multiplexer) για να φθάσουν τελικά στον μετατροπέα σημάτων από αναλογικό σε ψηφιακό (A/D converter) ώστε να μετατραπούν σε ψηφιακά.

Ο H/N επιτηρεί τη συχνότητα των AC τάσεων και βάσει αυτής ρυθμίζει το ρυθμό δειγματοληψίας ώστε να πάρει 16 ψηφιακά δείγματα των αναλογικών σημάτων ανά κύκλο. Όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμες τάσεις στις ανάλογες εισόδους του H/N, τότε η συχνότητα και άρα ο ρυθμός δειγματοληψίας προσδιορίζονται από την ρυθμιζόμενη από το χρήστη μεταβλητή FNOM.

Αφού τα αναλογικά σήματα περάσουν από τον A/D μετατροπέα και γίνουν ψηφιακά, ακολουθεί το ψηφιακό φιλτράρισμα τους ώστε να απομακρυνθούν ανεπιθύμητα περιεχόμενα αρμονικών. Υπάρχουν, επίσης, ψηφιακά φίλτρα ώστε να εξάγεται η θεμελιώδης αρμονική συνιστώσα των ρευμάτων και τάσεων, η 3<sup>η</sup> αρμονική των τάσεων καθώς και η 2<sup>η</sup> αρμονική των ρευμάτων. Η πλειοψηφία των λειτουργιών προστασίας και μετρήσεων χρησιμοποιεί την θεμελιώδη αρμονική συνιστώσα. Η 3<sup>η</sup> αρμονική συνιστώσα των τάσεων χρησιμοποιείται για να επιτευχθεί 100% προστασία γης του στάτη, ενώ η 2<sup>η</sup> αρμονική συνιστώσα των ρευμάτων είναι χρήσιμη όταν το μοντέλο του H/N SEL-300G διαθέτει και στοιχείο διαφορικής προστασίας. Τέλος, στο στάδιο αυτό ελέγχεται αν κάποια από τις λογικές εισόδους του H/N άλλαξε κατάσταση.

### 2.7.2.2 Στάδιο επεξεργασίας δεδομένων από τα στοιχεία προστασίας

Στο στάδιο της επεξεργασίας των δεδομένων από τα στοιχεία προστασίας (Element Processing), ο H/N ελέγχει τις συνθήκες κάθε ενεργοποιημένου στοιχείου προστασίας. Κάποια στοιχεία προστασίας επιβλέπονται από κάποια ρύθμιση ελέγχου ροπής ή κάποιο χρονικό ούτως ώστε να αποτραπεί η λειτουργία τους όταν η λογική έξοδος της εξίσωσης που αντιστοιχεί σε αυτή τη ρύθμιση δεν είναι στο λογικό «1».

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι τα στοιχεία προστασίας απώλειας συγχρονισμού (out-of-step elements) και απώλειας πεδίου διέγερσης υπολογίζονται δύο φορές ανά κύκλο συχνότητας του συστήματος, ενώ τα στοιχεία που έχουν να κάνουν με τυχόν εγκατεστημένους ανιχνευτές θερμότητας (RTDs) εξετάζονται μία φορά ανά δύο δευτερόλεπτα. Τα υπόλοιπα στοιχεία ελέγχονται τέσσερις φορές ανά κύκλο συχνότητας του συστήματος.

Όταν κάποιο στοιχείο προστασίας ή κάποια λογική συνάρτηση προκύψει ότι πρέπει να αλλάξει κατάσταση, ο H/N αλλάζει το αντίστοιχο bit λέξης του H/N (Relay Word Bit) που αντιστοιχεί σε αυτό το στοιχείο προστασίας.

### 2.7.2.3 Επίλυση εξισώσεων ελέγχου

Ο H/N χρησιμοποιεί τα bits λέξης του H/N για να επιλύσει τις λογικές εξισώσεις ελέγχου (SELogic control equations) που έχουν καθοριστεί στις ρυθμίσεις του και βάσει αυτών να χειριστεί κατάλληλα τις επαφές εξόδου του.

### 2.7.2.4 Εκτέλεση άλλων διεργασιών στο παρασκήνιο

Λόγω του σχεδιασμού του συγκεκριμένου H/N, πάντα υπάρχει κάποιος ελεύθερος χρόνος μετά την ολοκλήρωση του χειρισμού των εξόδων του έως ότου ξεκινήσει να εκτελείται εκ νέου η ίδια διαδικασία. Κατά τη διάρκεια αυτού του χρόνου, ο H/N εκτελεί διεργασίες που του επιτρέπουν να

αυτοεξετάζεται ώστε, σε περίπτωση εμφάνισης κάποιας εσωτερικής βλάβης, να ενημερώσει αυτομάτως το προσωπικό, να αποθηκεύσει τις ανάλογες αναφορές γεγονότων και να αποκρίνεται σε εντολές που του αποδίδονται μέσω της σειριακής θύρας ή των κουμπιών που βρίσκονται στην πρόωπή του.

### 2.7.3 Ομάδες ρυθμίσεων & ενδεικνύμενα στοιχεία προστασίας βάσει μεθόδου γείωσης

Ο H/N SEL-300G έχει δύο ξεχωριστές ομάδες ρυθμίσεων για τα στοιχεία προστασίας από τις οποίες όμως μόνο μία μπορεί να είναι ενεργή κάθε στιγμή. Για να καθορίσετε ποια ομάδα ρυθμίσεων θα είναι ενεργή, μπορείτε να χρησιμοποιήσετε εντολές μέσω της σειριακής θύρας ή να κάνετε τις κατάλληλες ρυθμίσεις από την κατηγορία καθολικών ρυθμίσεων (Global setting category).

Ο Πίνακας 2.14 δείχνει τα στοιχεία προστασίας που ενδείκνυνται για την προστασία σύγχρονων γεννητριών βάσει της μεθόδου γείωσής της.

Στοιχείο/Λειτουργία	Γείωση με υψηλής τιμής σύνθετη αντίσταση	Γείωση μέσω αντίστασης	Απευθείας γείωση
Στοιχείο αποστάσεως (21)	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο
Στοιχείο V/Hz (24)	Ενδείκνυται	Ενδείκνυται	Ενδείκνυται
Στοιχείο υπότασης (27)	Προαιρετικό	Προαιρετικό	Προαιρετικό
Στοιχείο αντίστροφης φοράς ισχύος ή μικρής τιμής ισχύος (32)	Ενδείκνυται	Ενδείκνυται	Ενδείκνυται
Στοιχείο απώλειας πεδίου διέγερσης (40)	Ενδείκνυται	Ενδείκνυται	Ενδείκνυται
Στοιχείο υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας (46)	Ενδείκνυται	Ενδείκνυται	Ενδείκνυται
Στοιχείου υπερεντάσεως γης (50N/51N)	Προτείνεται	Προτείνεται	Ενδείκνυται
Στοιχείο υπερεντάσεως φάσης (50P)	Αντενδείκνυται	Αντενδείκνυται	Ενδείκνυται
Στοιχείο υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου ελεγχόμενο από τάση (51C/51V)	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο
Στοιχείο υπέρτασης (59)	Προαιρετικό	Προαιρετικό	Προαιρετικό
Στοιχείο για 100% προστασία γης στάτη (64G)	Ενδείκνυται	Προτείνεται	Αντενδείκνυται
Στοιχείο απώλειας συγχρονισμού (78)	Ενδείκνυται	Ενδείκνυται	Ενδείκνυται
Στοιχείο υποσυχνότητας και υπερσυχνότητας (81)	Ενδείκνυται	Ενδείκνυται	Ενδείκνυται
Σχήμα προστασίας για απαράδεκτη συχνότητα (81)	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο	Διαθέσιμο
Στοιχείο διαφορικής προστασίας (87)	Προτείνεται για μεγάλες μηχανές	Προαιρετικό	Προαιρετικό
Στοιχείο διαφορικής προστασίας γης (87N)	Αντενδείκνυται	Προτείνεται	Προτείνεται

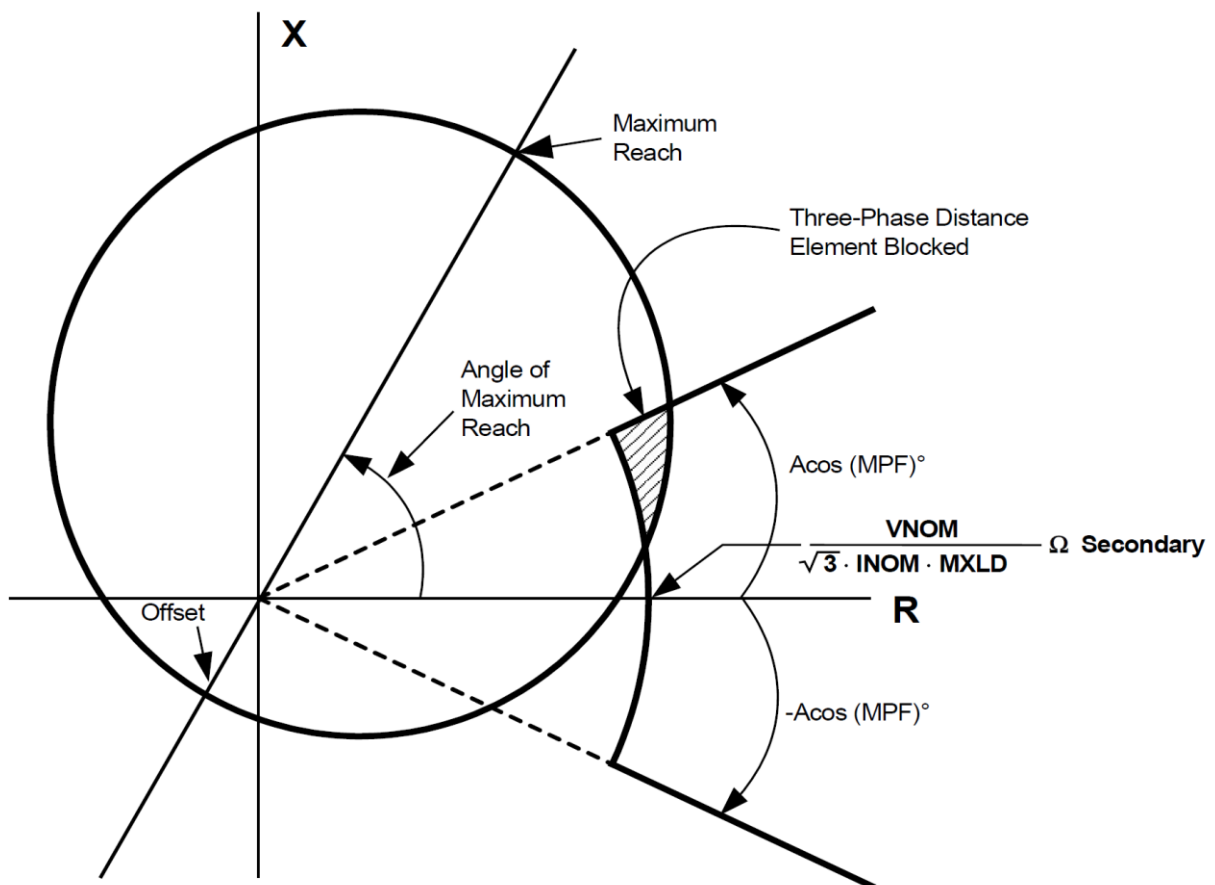
Πίνακας 2.14: Ενδεικνύμενα στοιχεία προστασίας H/N SEL-300G βάσει της μεθόδου γείωσης της σύγχρονης γεννήτριας [29]

### 2.7.4 Στοιχεία αποστάσεως

Ο H/N SEL-300G στοιχείο αποστάσεως δύο ζωνών προστασίας τύπου offset mho, το οποίο χρησιμοποιείται ως δευτερεύουσα προστασία για τριφασικά και διφασικά χωρίς γη σφάλματα. Η 1<sup>η</sup> ζώνη της προστασίας αποστάσεως συνήθως εκτείνεται μέχρι και τον Μ/Σ ανύψωσης της γεννήτριας και λειτουργεί στιγμιαία ή με κάποια μικρή καθυστέρηση ώστε να παρέχει προστασία έναντι τριφασικών και διφασικών χωρίς γης βραχυκυκλωμάτων στην περιοχή μεταξύ της γεννήτριας και του Μ/Σ ανύψωσης, η οποία δεν βρίσκεται εντός της ζώνης διαφορικής προστασίας. Η 2<sup>η</sup> ζώνη προστασίας συνήθως εκτείνεται πέρα από τον Μ/Σ ανύψωσης και λειτουργεί με μεγαλύτερη καθυστέρηση. Σε περίπτωση που υπάρχει κίνδυνος ανούσιας λειτουργίας της προστασίας αποστάσεως λόγω αυξημένου φορτίου, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί η λογική απευαισθητοποίησης από το φορτίο (load encroachment) που είναι διαθέσιμη και σε αυτόν τον H/N.

Οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό των ρυθμίσεων των στοιχείων προστασίας είναι:

- Η φαινόμενη από τον H/N γωνία και μέτρο της σύνθετης αντίστασης των ζωνών προστασίας
- Η συνδεσμολογία του Μ/Σ ανύψωσης (όταν κάποια από τις ζώνες τον περικλείει)
- Οι χρονικές καθυστερήσεις λειτουργίας για κάθε ζώνη προστασίας ώστε να επιτευχθεί ο συγχρονισμός των προστασιών
- Ο ελάχιστος ονομαστικός συντελεστής ισχύος της γεννήτριας και το μέγιστο φορτίο έκτακτης ανάγκης που μπορεί να εμφανιστεί

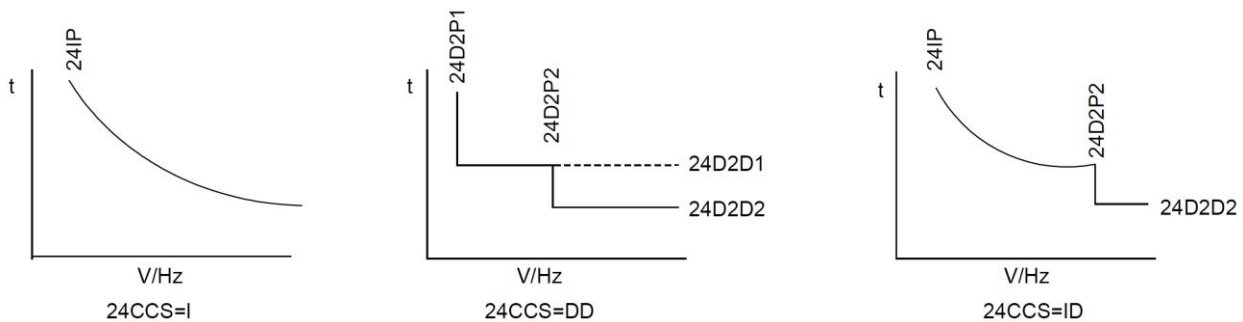


Εικόνα 2.141: Χαρακτηριστική λειτουργίας στοιχείου αποστάσεως στον H/N SEL-300G [29]

### 2.7.5 Στοιχείο προστασίας Volts/Hertz

Ο κορεσμός των πυρήνων των ηλεκτρικών μηχανών και των Μ/Σ προκαλεί απειλητική αύξηση της θερμοκρασίας. Η υπερδιέγερση αυτή μπορεί να ανιχνευτεί μέσω ενός στοιχείου V/Hz, το οποίο αξιοποιεί το γεγονός ότι η μαγνητική ροή είναι ανάλογη της τάσεως διέγερσης και αντιστρόφως ανάλογη της συχνότητας.

Ο H/N SEL-300G περιλαμβάνει ένα ευαίσθητο στοιχείο V/Hz που μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να λειτουργεί είτε ως στοιχείο αντιστρόφου χρόνου, είτε ως στοιχείο δύο σταθερών χρόνων, είτε ως στοιχείο αντιστρόφου και σταθερού χρόνου. Το στοιχείο V/Hz υπολογίζει ουσιαστικά τον λόγο της τάσης προς τη συχνότητα που μετράει από τις εισόδους του ως ποσοστό επί τοις εκατό του ονομαστικού λόγου V/Hz που καθορίζεται βάσει των τιμών των μεταβλητών VNOM και FNOM του H/N ώστε να αποφασίσει αν πρέπει να λειτουργήσει.



Εικόνα 2.142: Χαρακτηριστικές λειτουργίες στοιχείου V/Hz στον H/N SEL-300G [29]

Οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την ορθή ρύθμιση της προστασίας V/Hz είναι:

- Η χαρακτηριστική καμπύλη ορίου υπερδιέγερσης της γεννήτριας που παρέχεται από τον εκάστοτε κατασκευαστή
- Η χαρακτηριστική καμπύλη ορίου υπερδιέγερσης του Μ/Σ ανύψωσης από τον κατασκευαστή του (αν θέλουμε να παρέχουμε προστασία υπερδιέγερσης και σε αυτόν)

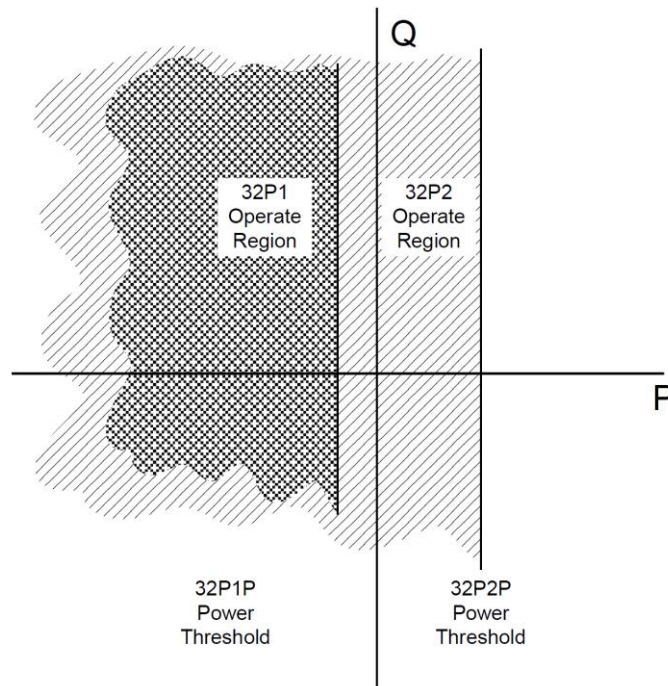
### 2.7.6 Στοιχείο αντίστροφης φοράς ισχύος ή μικρής παρεχόμενης ισχύος

Σε περίπτωση απώλειας της κινητήριας μηχανής της σύγχρονης γεννήτριας όσο αυτή είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο, η γεννήτρια θα αρχίσει να συμπεριφέρεται ως σύγχρονος κινητήρας προσπαθώντας να οδηγήσει τον άξονα της κινητήριας μηχανής, πράγμα το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση και εκτεταμένες φθορές στον στρόβιλό της. Επίσης, είναι πολύ πιθανή και η πρόκληση μηχανικών βλαβών και γενικά η εμφάνιση απαράδεκτων και επικίνδυνων συνθηκών λειτουργίας.

Το στοιχείο αντίστροφης φοράς ισχύος ή μικρής παρεχόμενης ισχύος του H/N SEL-300G παρέχει προστασία έναντι τέτοιων καταστάσεων. Το στοιχείο αυτό μετρά την ροή ισχύος από τη γεννήτρια και, σε περίπτωση που ανιχνεύσει πτώση της κάτω από ένα καθορισμένο όριο, εκκινεί τη διαδικασία λειτουργίας της προστασίας. Υπάρχουν δύο διαθέσιμα όρια αντίστροφης ροής ισχύος. Τα όρια αυτά ρυθμίζονται σε ανά μονάδα τιμές της ονομαστικής ισχύος της γεννήτριας, η οποία καθορίζεται από τις μεταβλητές VNOM και INOM του H/N.

Οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την ρύθμιση του στοιχείου αυτού είναι:

- Η ονομαστική τιμή ισχύος και το χρονικό όριο αντοχής οδήγησης της κινητήριας μηχανής από τη γεννήτρια που δουλεύει ως κινητήρας
- Η ονομαστική ισχύς της γεννήτριας



Εικόνα 2.143: Χαρακτηριστικές λειτουργίας προστασίας αντίστροφης φοράς ισχύος ή μικρής παρεχόμενης ισχύος στον H/N SEL-300G [29]

### 2.7.7 Στοιχείο προστασίας έναντι απώλειας του πεδίου διέγερσης

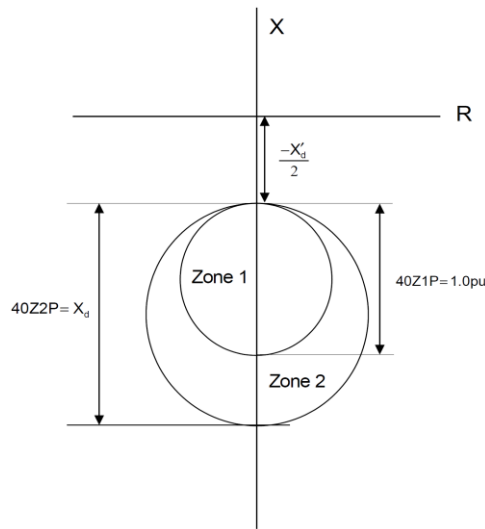
Η απώλεια του πεδίου διέγερσης κάνει την σύγχρονη γεννήτρια να λειτουργεί ως ασύγχρονη γεννήτρια. Αποτέλεσμα αυτού είναι να αυξάνεται η ταχύτητά της, να μειώνεται η παρεχόμενη ενεργός ισχύς και η γεννήτρια να απορροφά πλέον άεργη ισχύ από το δίκτυο με άμεσο αποτέλεσμα την εμφάνιση μεγάλων ρευμάτων στο στάτη και στο δρομέα της, τα οποία μπορούν να φθάσουν σε τιμή ακόμη και το 2 ανά μονάδα, δημιουργώντας έτσι έντονη υπερθέρμανση.

Ο H/N SEL-300G παρέχει προστασία έναντι απώλειας του πεδίου διέγερσης χρησιμοποιώντας στοιχεία αποστάσεως τύπου offset mho, μιας και το φαινόμενο της απώλειας του πεδίου διέγερσης είναι ένα συμμετρικό φαινόμενο, τα οποία χρησιμοποιούν την μετρούμενη σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας, η οποία σε τέτοιες περιπτώσεις μεταβαίνει στο 4<sup>ο</sup> τεταρτημόριο του R-X διαγράμματος.

Η 1<sup>η</sup> ζώνη προστασίας των στοιχείων αυτών συνήθως ρυθμίζεται ώστε να λειτουργεί με μικρή καθυστέρηση σε περίπτωση απώλειας του πεδίου διέγερσης υπό συνθήκες πλήρους φορτίου, ενώ η 2<sup>η</sup> ζώνη προστασίας ρυθμίζεται να λειτουργεί σε περίπτωση απώλειας του πεδίου διέγερσης υπό συνθήκες μικρού φορτίου.

Οι πληροφορίες που απαιτούνται για τη ρύθμιση αυτού του στοιχείου προστασίας είναι:

- Η επαγωγική αντίδραση ευθέως άξονα  $X_d$  της γεννήτριας σε  $\Omega$  δευτερεύοντος των M/Σ των H/N
- Η μεταβατική επαγωγική αντίδραση  $X'_d$  της γεννήτριας σε  $\Omega$  δευτερεύοντος των M/Σ των H/N
- Η ονομαστική πολική τάση της γεννήτριας σε V δευτερεύοντος των M/Σ των H/N
- Η ονομαστική τιμή του ρεύματος φάσης σε A δευτερεύοντος των M/Σ των H/N
- Η επαγωγική αντίδραση  $X_T$  του M/Σ ανύψωσης καθώς και η επαγωγική αντίδραση του συστήματος  $X_{sys}$  στο δευτερεύον των M/Σ των H/N καθώς και ο ονομαστικός συντελεστής ισχύος της γεννήτριας αν απαιτείται θετικά μετατοπισμένη 2<sup>η</sup> ζώνη προστασίας



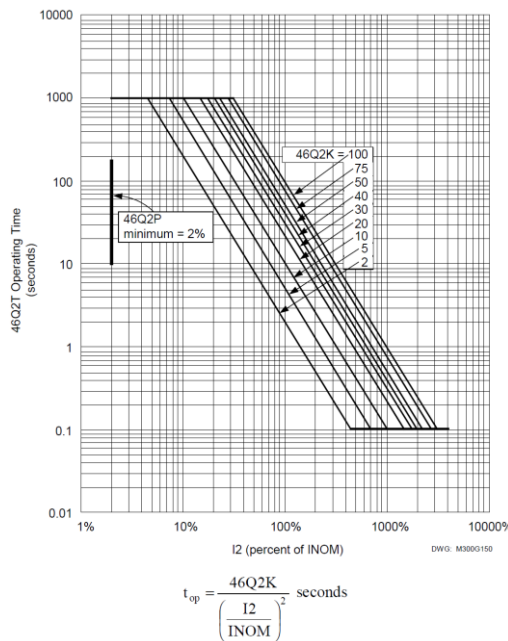
Εικόνα 2.144: Χαρακτηριστικές λειτουργίες προστασίας έναντι απώλειας πεδίου διέγερσης στον H/N SEL-300G [29]

### 2.7.8 Στοιχεία υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας

Η ασύμμετρη φόρτιση μπορεί να προξενήσει υπερθέρμανση στις σύγχρονες γεννήτριες. Ο H/N SEL-300G παρέχει ένα στοιχείο υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας σταθερού χρόνου κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν την ύπαρξη σημάνσεως συναγερμού λόγω ασύμμετρης φόρτισης καθώς και ένα στοιχείο  $I_2^2t$  αντιστρόφου χρόνου για την λειτουργία της προστασίας και την απομόνωση της γεννήτριας.

Οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για τη ρύθμιση αυτών των στοιχείων προστασίας είναι:

- Το ρεύμα ασύμμετρης φόρτισης που είναι ικανή να αντέξει η γεννήτρια σε συνεχή λειτουργία ως ποσοστό επί τοις εκατό του ονομαστικού
- Η ικανότητα αντοχής της γεννήτριας σε ρεύμα αρνητικής ακολουθίας για μικρό χρονικό διάστημα σε sec



Εικόνα 2.145: Χαρακτηριστικές λειτουργίες προστασίας από ασύμμετρη φόρτιση στον H/N SEL-300G [29]



### 2.7.9 Στοιχεία υπερεντάσεως

Ο H/N SEL-300G του εργαστηριακού συστήματος διαθέτει τα εξής στοιχεία υπερεντάσεως:

- Δύο επίπεδα προστασίας υπερέντασης φάσης σταθερού χρόνου (50P1, 50P2)
- Δύο επίπεδα προστασίας υπερέντασης ουδετέρου σταθερού χρόνου (50N1, 50N2)
- Δύο επίπεδα προστασίας υπερέντασης γης σταθερού χρόνου (50G1, 50G2)
- Ένα επίπεδο προστασίας υπερέντασης ουδετέρου αντιστρόφου χρόνου (51N)
- Ένα επίπεδο προστασίας υπερέντασης γης αντιστρόφου χρόνου (51G)

Τα στοιχεία υπερέντασης φάσεως χρησιμοποιούν για την λειτουργία τους τα ρεύματα φάσεων, τα στοιχεία υπερέντασης ουδετέρου χρησιμοποιούν το ρεύμα του ουδετέρου, ενώ τα στοιχεία υπερέντασης γης χρησιμοποιούν το άθροισμα των ρευμάτων φάσεων.

Ο H/N SEL-300G έχει διαθέσιμες 10 καμπύλες αντιστρόφου χρόνου που συμμορφώνονται με το πρότυπο «IEEE C37.11-1996 IEEE Standard Inverse-Time Characteristic». Οι 5 από αυτές τις καμπύλες είναι τύπου US, δηλαδή προσομοιώνουν την λειτουργία των επαγωγικών H/N που συναντώνται στην Βόρεια Αμερική, ενώ οι άλλες 5 είναι τύπου IEC και προσομοιώνουν την λειτουργία των H/N που συναντώνται πιο συχνά στην Ευρώπη.

Οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την ρύθμιση αυτών των στοιχείων προστασίας είναι:

- Το ρεύμα σφάλματος γης στους ακροδέκτες της γεννήτριας σε A πρωτεύοντος των Μ/Σ του H/N
- Ο λόγος μετασχηματισμού του Μ/Σ γείωσης ως προς 1 (όταν η γεννήτρια είναι γειωμένη με υψηλής τιμής σύνθετη αντίσταση)
- Ο λόγος μετασχηματισμού του Μ/Σ έντασης του ουδετέρου ως προς 1

### 2.7.10 Στοιχεία υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου ελεγχόμενα/παρεμποδιζόμενα από τάση

Ο H/N SEL-300G περιλαμβάνει ένα στοιχείο υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου που παρεμποδίζεται από τάση και ένα στοιχείο υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου που ελέγχεται από τάση. Ένα από αυτά τα στοιχεία εκλέγεται συνήθως για να παρέχει δευτερεύουσα προστασία έναντι σφαλμάτων φάσεων στην πλευρά του δικτύου μετά τον Μ/Σ ανύψωσης, τα οποία για κάποιο λόγο δεν έχουν εκκαθαριστεί.

Για την ρύθμιση αυτών των στοιχείων είναι απαραίτητες οι εξής πληροφορίες:

- Η ονομαστική τάση της γεννήτριας VNOM
- Το ρεύμα που μπορεί να αντέξει η γεννήτρια για παρατεταμένο χρονικό διάστημα λόγω σφάλματος φάσεων στην πλευρά του δικτύου σε A πρωτεύοντος των Μ/Σ των H/N
- Την τάση σφάλματος της γεννήτριας για σφάλματα φάσεων στην πλευρά του δικτύου σε V πρωτεύοντος των Μ/Σ του H/N
- Τους λόγους μετασχηματισμού των Μ/Σ τάσης και έντασης που χρησιμοποιούνται για να φέρουν τις μετρήσεις στους H/N ως προς 1

### 2.7.11 Στοιχεία υπέρτασης και υπότασης

Ο H/N SEL-300G δύναται να προστατεύσει τη γεννήτρια από φαινόμενα υπέρτασης ή υπότασης με στοιχεία προστασίας που έχουν:

- Δύο επίπεδα φασικής υπότασης (27P1, 27P2)

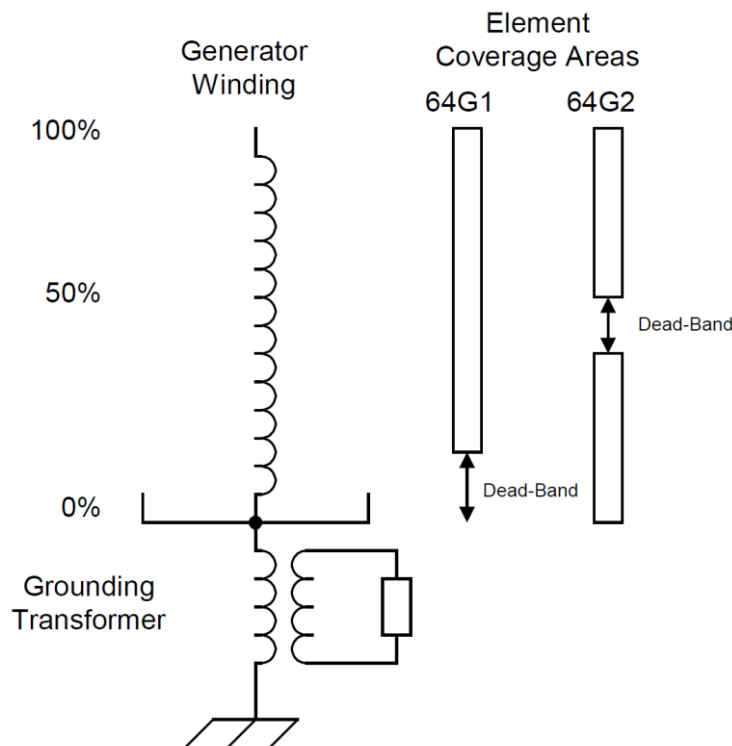
- Δύο επίπεδα πολικής υπότασης (27PP1, 27PP2)
- Ένα επίπεδο υπότασης θετικής ακολουθίας (27V1)
- Δύο επίπεδα φασικής υπέρτασης (59P1, 59P2)
- Δύο επίπεδα πολικής υπέρτασης (59PP1, 59PP2)
- Ένα επίπεδο υπέρτασης αρνητικής ακολουθίας (59Q)
- Ένα επίπεδο υπέρτασης θετικής ακολουθίας (59V1)

### 2.7.12 Στοιχείο προστασίας από απώλεια σήματος του Μ/Σ τάσης του Η/Ν

Ο Η/Ν SEL-300G διαθέτει ένα στοιχείο προστασίας που μπορεί να εντοπίσει τυχόν απώλεια του σήματος τάσης, η οποία μπορεί να οφείλεται σε κάποια καμένη ασφάλεια ή λειτουργία των Δ/Ι κλειστού τύπου. Το εν λόγω στοιχείο (60LOP) ενεργοποιείται όταν παρουσιαστεί 10% πτώση στην μετρούμενη τιμή της τάσης θετικής ακολουθίας χωρίς να παρουσιαστεί καμιά αλλαγή στα ρεύματα θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας.

### 2.7.13 Στοιχεία προστασίας 100% του στάτη από σφάλματα γης

Ο Η/Ν SEL-300G παρέχει δύο ζώνες προστασίας σχεδιασμένες να ανιχνεύουν σφάλματα γης για 100% προστασία του τυλίγματος στάτη σε περιπτώσεις γεννητριών που έχουν γειωθεί μέσω ωμικής αντίστασης ή σύνθετης αντίστασης υψηλής τιμής. Το στοιχείο της 1<sup>ης</sup> ζώνης (64G1) χρησιμοποιεί ένα στοιχείο θεμελιώδους συχνότητας υπέρτασης ουδετέρου, το οποίο είναι ευαίσθητο στην ανίχνευση σφαλμάτων γης που μπορούν να συμβούν από το κάτω έως το ανώτερο μέρος του τυλίγματος του στάτη, το οποίο παρουσιάζει, όμως, αδυναμίες στο κατώτερο μέρος του. Το στοιχείο 2<sup>ης</sup> ζώνης (64G2) χρησιμοποιεί ένα σχήμα διαφορικής προστασίας τάσης 3<sup>ης</sup> αρμονικής συχνότητας, το οποίο είναι ικανό να εντοπίσει τα εν λόγω σφάλματα στα ανώτερα και κατώτερα μέρη του τυλίγματος του στάτη. Έτσι, χρησιμοποιώντας τις δύο αυτές ζώνες μαζί, επιτυγχάνεται τελικώς 100% προστασία του τυλίγματος στάτη από σφάλματα γης.



Εικόνα 2.146: Προστασία 100% τυλίγματος στάτη στον Η/Ν SEL-300G [29]

Για την ρύθμιση αυτών των στοιχείων προστασίας είναι απαραίτητες οι εξής πληροφορίες:

- Η ονομαστική τάση της γεννήτριας VNOM
- Ο λόγος μετασχηματισμού του M/Σ γείωσης της γεννήτριας ως προς 1
- Ο λόγος μετασχηματισμού του M/Σ τάσης ουδετέρου της γεννήτριας ως προς 1
- Η τάση ουδετέρου της γεννήτριας κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος γης
- Οι ρυθμίσεις PTR, PTRN και DELTA\_Y του H/N

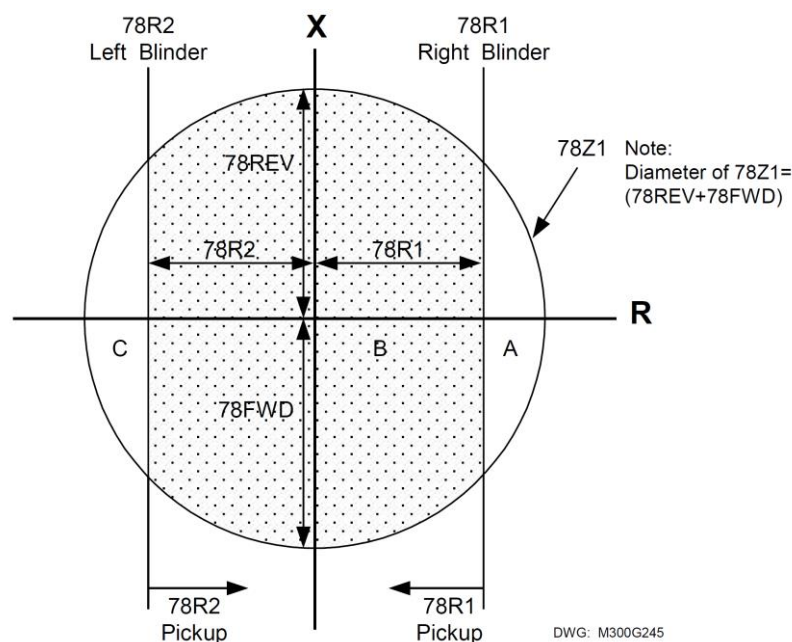
#### 2.7.14 Στοιχείο προστασίας τυλίγματος διέγερσης από σφάλματα γης

Ο SEL-300G μπορεί να συνεργαστεί με τη συσκευή SEL-2664 για να παρέχει προστασία στο τύλιγμα διέγερσης από σφάλματα γης. Το SEL-2664 είναι μια συσκευή που συνδέεται στα δύο άκρα του τυλίγματος διέγερσης της γεννήτριας και στην ψήκτρα γείωσης του δρομέα και υπολογίζει την τιμή της αντίστασης μόνωσης που εμφανίζεται ανάμεσα στο τύλιγμα διέγερσης και τη γη. Την τιμή αυτή την μεταδίδει στον H/N SEL-300G μέσω ενός καλωδίου οπτικών ινών, ο οποίος αναλαμβάνει να την συγκρίνει με τις ρυθμίσεις του στοιχείου (64F1P, 64F2P) για να αποφασίσει πώς θα δράσει. Συνήθως, το πρώτο επίπεδο λειτουργίας χρησιμοποιείται για σήμανση συναγερμού ενώ το δεύτερο ενεργοποιεί την λειτουργία της προστασίας.

#### 2.7.15 Στοιχείο προστασίας έναντι απώλειας συγχρονισμού

Απώλεια συγχρονισμού μπορεί να προκύψει σε μία γεννήτρια που είναι συνδεδεμένη με ένα Σ.Η.Ε. για πολλούς λόγους όπως είναι π.χ. η ξαφνική απώλεια του πεδίου διέγερσής της ή ένα σφάλμα που δεν εκκαθαρίστηκε αρκετά γρήγορα. Η απώλεια του συγχρονισμού πρέπει να ανιχνευτεί όσο το δυνατόν γρηγορότερα ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη ρευμάτων υψηλών τιμών, η καταπόνηση των τυλιγμάτων από τις δυνάμεις που εμφανίζονται καθώς και οι υψηλές ροπές στον άξονα της κινητήριας μηχανής της γεννήτριας.

Ο SEL-300G περιλαμβάνει ένα στοιχείο προστασίας έναντι απώλειας συγχρονισμού με χαρακτηριστική μονής παρωπίδας. Πρόκειται για ένα στοιχείο απόστασης (78Z1) με χαρακτηριστική λειτουργίας αυτή που προκύπτει από τη τομή ενός κύκλου τύπου mho και της χαρακτηριστικής παρωπίδων όπως στην Εικόνα 2.147.



Εικόνα 2.147: Προστασία έναντι απώλειας συγχρονισμού ψηφιακού H/N SEL-300G [29]

Αυτή η προστασία επιτηρεί τη τροχιά του διανύσματος σύνθετης αντίστασης και μέσω αυτού μπορεί να διακρίνει τα σφάλματα από τις ταλαντώσεις του συστήματος.

Επισημαίνεται ότι ο H/N SEL-300G διαθέτει άλλο ένα στοιχείο προστασίας έναντι απώλειας συγχρονισμού με χαρακτηριστική διπλής παρωπίδας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αναλόγως των απαιτήσεων.

Για την ρύθμιση αυτού του στοιχείου προστασίας είναι απαραίτητες οι εξής πληροφορίες:

- Η μεταβατική επαγωγική αντίδραση  $X'_d$  της γεννήτριας σε  $\Omega$  στο δευτερεύον των Μ/Σ του Η/Ν
- Η σύνθετη αντίσταση του Μ/Σ ανύψωσης της γεννήτριας σε  $\Omega$  στο δευτερεύον των Μ/Σ του Η/Ν
- Η σύνθετη αντίσταση των γραμμών πέρα από τον Μ/Σ ανύψωσης αν αυτό απαιτείται

### 2.7.16 Στοιχεία προστασίας συχνότητας

Ο Η/Ν SEL-300G διαθέτει έξι επίπεδα στοιχείων προστασίας συχνότητας. Κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία μπορεί να λειτουργήσει ως στοιχείο υποσυχνότητας (όταν ρυθμιστεί κάτω από την ονομαστική συχνότητα FNOM) ή ως στοιχείο υπερσυχνότητας (αν ρυθμιστεί πάνω από την ονομαστική συχνότητα FNOM). Ο Η/Ν υπολογίζει την εκάστοτε συχνότητα του συστήματος από την μετρούμενη τάση της φάσεως Α.

Οι πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την ρύθμιση αυτών των στοιχείων προστασίας είναι:

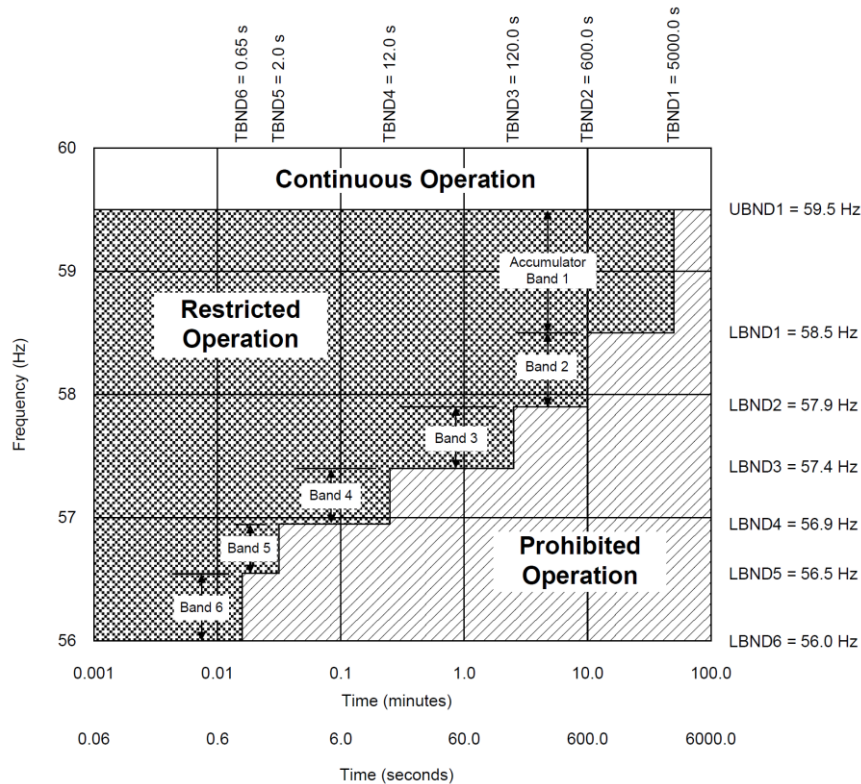
- Οι επιθυμητές συχνότητες στις οποίες θα πρέπει να τίθεται εκτός λειτουργίας η γεννήτρια καθώς και η χρονική καθυστέρηση που θα μεσολαβεί μέχρι να δοθεί η εν λόγω εντολή
- Οι συχνότητες στις οποίες θα πρέπει να δίνεται εντολή από τον Η/Ν για απόρριψη φορτίου (load shedding) σε μια προσπάθεια να κρατήσει τη συχνότητα εντός των επιτρεπόμενων ορίων καθώς και οι χρονικές καθυστερήσεις που θα υπεισέρχονται σε αυτή τη διαδικασία

### 2.7.17 Προστασία ταχύτητας κινητήριας μηχανής

Όταν σε μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ατμοστρόβιλους, η κινητήρια μηχανή περιστρέφεται με διαφορετική συχνότητα από αυτή για την οποία σχεδιάστηκε, ενέχει υψηλός κίνδυνος αθροιστικής κόπωσης του μετάλλου στα πτερύγια του στροβίλου λόγω των ταλαντώσεων που αναπτύσσονται.

Ο Η/Ν SEL-300G αθροίζει το χρόνο λειτουργίας της γεννήτριας σε μη ονομαστικές συχνότητες. Η μη επιτρεπές συχνότητες χωρίζονται σε έξι ζώνες συχνοτήτων. Κάθε μία από τις έξι ζώνες διαθέτει το δικό της χρονικό. Ο Η/Ν ξεκινά την αντίστροφη μέτρηση του εκάστοτε χρονικού μόλις η συχνότητα βρεθεί εντός της ανάλογης ζώνης συχνοτήτων. Αν μέχρι το πέρας της αντίστροφης μέτρησης του χρονικού, η συχνότητα δεν έχει εγκαταλείψει την ανάλογη ζώνη συχνοτήτων, τότε ο Η/Ν ξεκινά να αθροίζει το χρόνο λειτουργίας της γεννήτριας σε αυτή την μη επιτρεπτή ζώνη συχνοτήτων. Όταν τελικά αυτός ο αθροιστικός χρόνος βγει εκτός των προκαθορισμένων ορίων, δίνεται σήμα για την λειτουργία της προστασίας.

Για την ορθή ρύθμιση αυτής της προστασίας είναι απαραίτητες οι συστάσεις του κατασκευαστή του στροβίλου όσον αφορά τη λειτουργία σε μη ονομαστικές συχνότητες.



Εικόνα 2.148: Παράδειγμα χαρακτηριστικής λειτουργίας προστασία συχνότητας περιστροφής στον H/N SEL-300G [29]

### 2.7.18 Προστασία έναντι λανθασμένης αρχικής τροφοδότησης

Ο H/N SEL-300G μπορεί να προστατεύσει τη γεννήτρια από λανθασμένη αρχική τροφοδότηση μέσω μιας εξίσωσης ελέγχου που διαθέτει (INAD).

### 2.7.19 Προστασία από βλάβη Δ/I

Για την προστασία της γεννήτριας από βλάβη κάποιου Δ/I μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι διάφορες εξισώσεις ελέγχου που διαθέτει όπως και τυχόν αχρησιμοποίητα στοιχεία υπερεντάσεως.

### 2.7.20 Διαφορική προστασία γης

Ο H/N SEL-300G του εργαστηριακού συστήματος διαθέτει δύο στοιχεία διαφορικής προστασίας γης με ρυθμιζόμενη καθυστέρηση χρόνου λειτουργίας, τα οποία λειτουργούν βάσει της διαφοράς του μετρούμενου από αυτόν ρεύματος ουδετέρου και του αθροίσματος των ρευμάτων των τριών φάσεων. Αρχικά, υπολογίζεται το ρεύμα σφάλματος βάσει του αθροίσματος των ρευμάτων φάσεων και έπειτα συγκρίνεται με αυτό που λαμβάνεται από την είσοδο IN του. Αν η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών τιμών είναι πάνω από την ρυθμισμένη τιμή, το στοιχείο εκκινεί την αντίστροφη μέτρηση του χρονικού. Αν το χρονικό τερματίσει και εξακολουθεί να υφίσταται διαφορά στις δύο τιμές, η προστασία ενεργοποιείται. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιούνται για να παρέχουν ευαίσθητη ανίχνευση σφαλμάτων γης σε γεννήτριες γειωμένες μέσω ωμικής αντίστασης ή απευθείας γειωμένες.

Απαραίτητες πληροφορίες για τη σωστή ρύθμιση των στοιχείων αυτών είναι:

- Οι λόγοι μετασχηματισμού των M/Σ ρεύματος φάσεων και ουδετέρου CTR και CTRN
- Το μέγιστο ρεύμα σφάλματος της γεννήτριας IG

### **2.7.21 Άλλα στοιχεία προστασίας της σειράς των H/N SEL-300G**

Ο H/N SEL-300G του εργαστηρίου δεν διαθέτει όλες τις διαθέσιμες προστασίες των H/N αυτή της σειράς διότι είναι παλαιότερης έκδοσης. Οι νεότερες εκδόσεις του εν λόγω H/N διαθέτουν επιπλέον τα εξής:

- Στοιχεία ποσοστιαίας διαφορικής προστασίας με αναστολή
- Στοιχείο ελέγχου συγχρονισμού
- Προστασία με ανιχνευτές θερμοκρασίας (RTDs) και χρήση συσκευών της σειράς SEL-2600

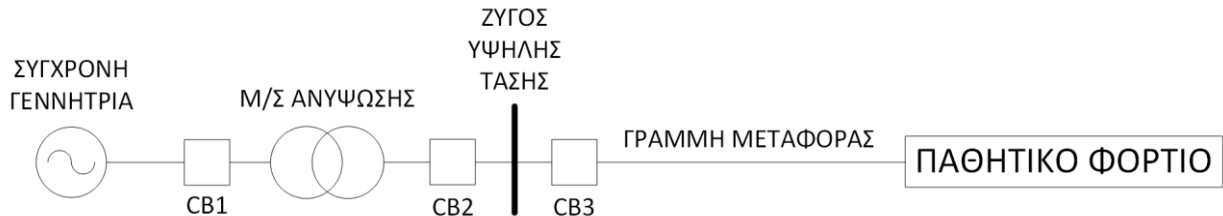
### **2.7.22 Λοιπές δυνατότητες του H/N SEL-300G**

Πέραν των προαναφερθέντων δυνατοτήτων προστασίας, ο H/N SEL-300G διαθέτει και κάποιες ακόμη βοηθητικές δυνατότητες όπως:

- Δυνατότητα αναγνώρισης κατάστασης ανοικτού Δ/Ι της γεννήτριας
- Δυνατότητα μέτρησης της ζήτησης
- Δυνατότητα επιτήρησης του υποσυστήματος μπαταριών
- Δυνατότητα προγραμματισμού του χρόνου συντήρησης του Δ/Ι
- Δυνατότητα δημιουργίας κλασσικών αναφορών γεγονότων 15 ή 30 ή 60 ή 180 κύκλων
- Δυνατότητα δημιουργίας αναφορών διαδοχής γεγονότων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο: ΜΕΛΕΤΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ & ΡΥΘΜΙΣΗ Η/Ν SEL-311B

Στην Εικόνα 3.1 φαίνεται το εικονικό δίκτυο, το οποίο θεωρήθηκε ότι επρόκειτο να προστατεύσει το εργαστηριακό σύστημα προστασίας. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μελέτη προστασίας της γραμμής μεταφοράς του εν λόγω δικτύου, ο τρόπος υπολογισμού των ρυθμίσεων καθώς και η διαδικασία ρύθμισης του εργαστηριακού ψηφιακού Η/Ν SEL-311B.



Εικόνα 3.1: Το εικονικό προστατευόμενο δίκτυο

### 3.1 Παράμετροι στοιχείων προστατευόμενου δικτύου

Οι παράμετροι των στοιχείων του προστατευόμενου δικτύου παρατίθενται παρακάτω με τη μορφή πινάκων.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	
Όνομαστική ισχύς	40 MVA
Όνομαστική τάση	20 kV
Όνομαστική συχνότητα	50 Hz
Όνομαστική ταχύτητα	3000 RPM
Όνομαστικός συντελεστής ισχύος	$\cos(\varphi) = 0.85$ (από σελ.11 και Figure 2 του [31])
Τύπος δρομέα	Κυλινδρικός
Συνδεσμολογία στάτη	Αστέρας (Y)
Τρόπος γείωσης	Απευθείας
Υπομεταβατική επαγωγική αντίδραση	$\frac{X_d'' \cdot 100}{40 \text{ MVA}} \cong 0.75 \frac{\%}{\text{MVA}} \Rightarrow X_d'' \cong 0.3 \text{ pu}$ (από Figure 1 του [31])
Αντίσταση τυλίγματος	$R_{Gf} \cong 0.07 \cdot X_d'' = 0.021 \text{ pu}$ (από σελ. 63 του [32])
Επαγωγική αντίδραση	$X_d = 1.7 \text{ pu}$ (από Figure 3 του [31])
Επαγωγική αντίδραση σε κατάσταση κορεσμού	$X_{d,sat} \cong 0.87 \cdot X_d = 1.479 \text{ pu}$ (από Figure 3 του [31])
Επαγωγική αντίδραση μηδενικής ακολουθίας	$\frac{X_{(0)}}{X_d''} = 0.5 \Rightarrow X_{(0)} = 0.15 \text{ pu}$ (από σελ. 9 του [31])
Επαγωγική αντίδραση αρνητικής ακολουθίας	Θεωρείται $X_{(2)} \cong X_d''$ (από σελ. 45, 65 του [32] & σελ. 27 του [33])

Πίνακας 3.1: Παράμετροι της σύγχρονης γεννήτριας του προστατευόμενου δικτύου

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗ ΑΝΥΨΩΣΗΣ	
Όνομαστική ισχύς	40 MVA
Όνομαστική τάση πρωτεύοντος/δευτερεύοντος	20 kV / 150 kV
Συνδεσμολογία τυλιγμάτων	Τρίγωνο / Αστέρας (YNd1)
Τρόπος γείωσης	Απευθείας
Τάση βραχυκύκλωσης θετικής ακολουθίας	$u_{kr(1)} = 8 + 0.92 \cdot \ln(40) \Rightarrow \Rightarrow u_{kr(1)} \cong 11.394 \%$ (από σελ. 13 του [31])
Αντίσταση	Θεωρείται $R_T \cong 0$ (από σελ. 53 του [32])
Σύνθετη αντίσταση αρνητικής ακολουθίας	Θεωρείται $Z_{(2)} = Z_{(1)}$ (από σελ. 47 του [32])
Τάση βραχυκύκλωσης μηδενικής ακολουθίας	$X_{(0)} \cong 0.9 \cdot X_{(1)} = 10.255 \%$ (από σελ. 13, 15 του [31])
Σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο	Ναι, στο τύλιγμα δευτερεύοντος με εύρος [-10%, 10%], βήμα 2% & επιθυμητή τάση 1.05 pu

Πίνακας 3.2: Παράμετροι του μετασχηματιστή ανύψωσης του προστατευόμενου δικτύου

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	
Μήκος	70 km
Τύπος	150 kV, απλού κυκλώματος, ελαφρού τύπου
Αντίσταση θετικής ακολουθίας	$R_1 = 0.1831 \frac{\Omega}{km}$
Επαγωγική αντίδραση θετικής ακολουθίας	$X_1 = 0.4458 \frac{\Omega}{km}$
Αντίσταση μηδενικής ακολουθίας	$R_0 = 0.4397 \frac{\Omega}{km}$
Επαγωγική αντίδραση μηδενικής ακολουθίας	$X_0 = 1.326 \frac{\Omega}{km}$
Σύνθετη αντίσταση αρνητικής ακολουθίας	Θεωρείται $Z_{(2)} = Z_{(1)}$ (από σελ. 47 του [32])
Αριθμός & διατομή αγωγών ανά φάση	1 × 170 mm <sup>2</sup> (1 × 336,4 MCM) ACSR
Θερμικό όριο ονομαστικής λειτουργίας	138 MVA
Θερμικό όριο δυσμενών συνθηκών	117 MVA
Χαρακτηριστική ισχύς	54 MW
Όνομαστική θερμοκρασία	20 °C
Θερμοκρασία λειτουργίας	40 °C
Max θερμοκρασία μετά το πέρας βραχυκυκλώματος	160 °C

Πίνακας 3.3: Παράμετροι της γραμμής μεταφοράς του προστατευόμενου δικτύου [34] [35]

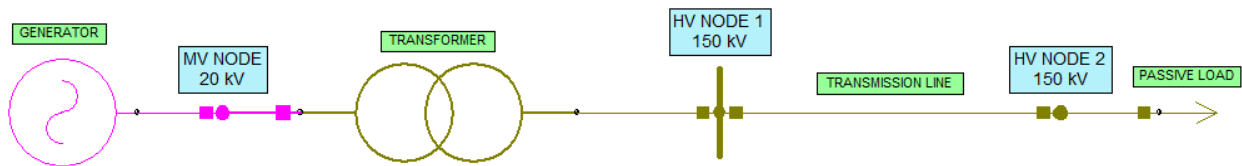
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΑΘΗΤΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ	
Διακύμανση φορτίου	15-30 MVA
Διακύμανση συντελεστή ισχύος	$\cos(\varphi) = 0.8$ επαγ. -0.95 χωρ.

Πίνακας 3.4: Παράμετροι του παθητικού φορτίου του προστατευόμενου δικτύου



### 3.2 Ανάλυση ροής φορτίου

Για την εκτέλεση της ανάλυσης ροής φορτίου χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό [NEPLAN®](#). Στην Εικόνα 3.2 φαίνεται το προστατευόμενο δίκτυο όπως σχεδιάστηκε στο εν λόγω πρόγραμμα.



Εικόνα 3.2: Το προστατευόμενο δίκτυο όπως αυτό σχεδιάστηκε στο λογισμικό NEPLAN®

Θεωρώντας ως ζυγό αναφοράς τον «MV NODE» της γεννήτριας και κάνοντας την υπόθεση ότι η τάση εξόδου της γεννήτριας ρυθμίζεται συνεχώς ώστε να παραμένει στην ονομαστική της τιμή, παίρνουμε τα αποτελέσματα των παρακάτω πινάκων για τις δύο ακραίες συνθήκες φόρτισης και τους κυριότερους συντελεστές ισχύος του παθητικού φορτίου. Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι οι ζυγοί «MV NODE» και «HV NODE 2» είναι βοηθητικοί και όχι υπαρκτοί στο προστατευόμενο δίκτυο. Τέλος, αξ σημειωθεί ότι η στήλη ANGLEU που εμφανίζεται στους πίνακες είναι η φασική απόκλιση των φασικών τάσεων στους ζυγούς του δικτύου και όχι των πολικών.

ΦΟΡΤΙΟ	NODE NAME	ELEMENT NAME	U (kV)	ANGLEU (°)	P (MW)	Q (MVar)	I (kA)	ANGLEI (°)	LOADING (%)	TAP
30 MVA	MV NODE	-	20	0	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 1	-	157.86	25	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 2	-	155.269	22.8	-	-	-	-	-	-
	MV NODE	GENERATOR	-	-	-30.478	-3.851	0.887	172.8	-	-
	MV NODE	TRANSFORMER	-	-	30.478	3.851	0.887	-7.2	76.8	3
	HV NODE 1	TRANSFORMER	-	-	-30.478	-1.163	0.112	202.8	76.25	3
	HV NODE 1	TRANSMISSION LINE	-	-	30.478	1.165	0.112	22.8	-	-
	HV NODE 2	TRANSMISSION LINE	-	-	-30	0	0.112	202.8	-	-
	HV NODE 2	PASSIVE LOAD	-	-	30	0	0.112	22.8	-	-
15 MVA	MV NODE	-	20	0	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 1	-	158.733	27.5	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 2	-	157.485	26.5	-	-	-	-	-	-
	MV NODE	GENERATOR	-	-	-15.116	-0.915	0.437	176.5	0	-
	MV NODE	TRANSFORMER	-	-	15.116	0.915	0.437	-3.5	37.86	3
	HV NODE 1	TRANSFORMER	-	-	-15.116	-0.262	0.055	206.5	37.8	3
	HV NODE 1	TRANSMISSION LINE	-	-	15.114	0.284	0.055	26.5	0	-
	HV NODE 2	TRANSMISSION LINE	-	-	-14.997	-0.001	0.055	206.5	0	-
	HV NODE 2	PASSIVE LOAD	-	-	15	0	0.055	26.5	0	-

Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα ανάλυσης ροής φορτίου για συντελεστή ισχύος παθητικού φορτίου  $\cos\varphi_{LD} = 1$  από το λογισμικό NEPLAN®

ΦΟΡΤΙΟ	NODE NAME	ELEMENT NAME	U (kV)	ANGLEU (°)	P (MW)	Q (MVar)	I (kA)	ANGLEI (°)	LOADING (%)	TAP
30 MVA	MV NODE	-	20	0	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 1	-	157.404	25.3	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 2	-	152.393	23.7	-	-	-	-	-	-
	MV NODE	GENERATOR	-	-	-27.497	-17.292	0.938	147.8	-	-
	MV NODE	TRANSFORMER	-	-	27.497	17.292	0.938	-32.2	81.2	5
	HV NODE 1	TRANSFORMER	-	-	-27.497	-14.286	0.114	177.8	77.47	5
	HV NODE 1	TRANSMISSION LINE	-	-	27.497	14.286	0.114	-2.2	-	-
	HV NODE 2	TRANSMISSION LINE	-	-	-27	-13.077	0.114	177.8	-	-
	HV NODE 2	PASSIVE LOAD	-	-	27	13.077	0.114	-2.2	-	-
15 MVA	MV NODE	-	20	0	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 1	-	158.666	27.7	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 2	-	156.238	27	-	-	-	-	-	-
	MV NODE	GENERATOR	-	-	-13.618	-7.496	0.449	151.2	0	-
	MV NODE	TRANSFORMER	-	-	13.618	7.496	0.449	-28.8	38.86	4
	HV NODE 1	TRANSFORMER	-	-	-13.618	-6.807	0.055	181.2	38.06	4
	HV NODE 1	TRANSMISSION LINE	-	-	13.616	6.826	0.055	1.1	0	-
	HV NODE 2	TRANSMISSION LINE	-	-	-13.498	-6.538	0.055	181.1	0	-
	HV NODE 2	PASSIVE LOAD	-	-	13.5	6.538	0.055	1.1	0	-

Πίνακας 3.6: Αποτελέσματα ανάλυσης ροής φορτίου για συντελεστή ισχύος παθητικού φορτίου  $\cos\phi_{LD} = 0.9$  επαγ. από το λογισμικό NEPLAN®

ΦΟΡΤΙΟ	NODE NAME	ELEMENT NAME	U (kV)	ANGLEU (°)	P (MW)	Q (MVar)	I (kA)	ANGLEI (°)	LOADING (%)	TAP
30 MVA	MV NODE	-	20	0	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 1	-	157.742	25.7	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 2	-	151.985	24.5	-	-	-	-	-	-
	MV NODE	GENERATOR	-	-	-24.499	-22.347	0.957	137.6	-	-
	MV NODE	TRANSFORMER	-	-	24.499	22.347	0.957	-42.4	82.9	6
	HV NODE 1	TRANSFORMER	-	-	-24.499	-19.215	0.114	167.6	77.84	6
	HV NODE 1	TRANSMISSION LINE	-	-	24.499	19.216	0.114	-12.4	-	-
	HV NODE 2	TRANSMISSION LINE	-	-	-24	-18	0.114	167.6	-	-
	HV NODE 2	PASSIVE LOAD	-	-	24	18	0.114	-12.4	-	-
15 MVA	MV NODE	-	20	0	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 1	-	157.5	28	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 2	-	154.681	27.4	-	-	-	-	-	-
	MV NODE	GENERATOR	-	-	-12.122	-9.967	0.453	140.6	0	-
	MV NODE	TRANSFORMER	-	-	12.122	9.967	0.453	-39.4	39.23	4
	HV NODE 1	TRANSFORMER	-	-	-12.122	-9.266	0.056	170.6	38.14	4
	HV NODE 1	TRANSMISSION LINE	-	-	12.12	9.293	0.056	-9.5	0	-
	HV NODE 2	TRANSMISSION LINE	-	-	-12	-8.999	0.056	170.5	0	-
	HV NODE 2	PASSIVE LOAD	-	-	12	9	0.056	-9.5	0	-

Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα ανάλυσης ροής φορτίου για συντελεστή ισχύος παθητικού φορτίου  $\cos\phi_{LD} = 0.8$  επαγ. από το λογισμικό NEPLAN®

ΦΟΡΤΙΟ	NODE NAME	ELEMENT NAME	U (kV)	ANGLEU (°)	P (MW)	Q (MVar)	I (kA)	ANGLEI (°)	LOADING (%)	TAP
30 MVA	MV NODE	-	20	0	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 1	-	156.019	25.4	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 2	-	155.414	23	-	-	-	-	-	-
	MV NODE	GENERATOR	-	-	-28.977	5.751	0.853	191.2	-	-
	MV NODE	TRANSFORMER	-	-	28.977	-5.751	0.853	11.2	73.86	1
	HV NODE 1	TRANSFORMER	-	-	-28.977	8.237	0.111	221.2	75.31	1
	HV NODE 1	TRANSMISSION LINE	-	-	28.97	-8.202	0.111	41.2	-	-
	HV NODE 2	TRANSMISSION LINE	-	-	-28.493	9.364	0.111	221.2	-	-
	HV NODE 2	PASSIVE LOAD	-	-	28.5	-9.367	0.111	41.2	-	-
15 MVA	MV NODE	-	20	0	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 1	-	157.806	27.7	-	-	-	-	-	-
	HV NODE 2	-	157.542	26.5	-	-	-	-	-	-
	MV NODE	GENERATOR	-	-	-14.366	3.774	0.429	194.7	0	-
	MV NODE	TRANSFORMER	-	-	14.366	-3.774	0.429	14.7	37.13	2
	HV NODE 1	TRANSFORMER	-	-	-14.366	4.402	0.055	224.7	37.56	2
	HV NODE 1	TRANSMISSION LINE	-	-	14.366	-4.401	0.055	44.7	0	-
	HV NODE 2	TRANSMISSION LINE	-	-	-14.25	4.684	0.055	224.7	0	-
	HV NODE 2	PASSIVE LOAD	-	-	14.25	-4.684	0.055	44.7	0	-

Πίνακας 3.8: Αποτελέσματα ανάλυσης ροής φορτίου για συντελεστή ισχύος παθητικού φορτίου  $\cos\varphi_{LD} = 0.95$  χωρ. από το λογισμικό NEPLAN®

### 3.3 Μελέτη σφαλμάτων βραχυκύκλωσης

Για την διενέργεια της μελέτης σφαλμάτων βραχυκύκλωσης στα επιθυμητά σημεία του προστατευόμενου δικτύου χρησιμοποιήθηκε και πάλι το λογισμικό **NEPLAN®** ενώ έγιναν και οι εξής ρυθμίσεις-υποθέσεις:

- Το λογισμικό NEPLAN® ρυθμίστηκε ώστε να εκτελέσει μελέτη βραχυκυκλωμάτων βάσει του προτύπου IEC 60909-0 ώστε να υπολογιστούν τα μέγιστα και τα ελάχιστα ρεύματα σφάλματος.
- Η σύγχρονη γεννήτρια και ο μετασχηματιστής ανύψωσης θεωρήθηκαν ότι αποτελούν μονάδα παραγωγής, γεγονός το οποίο επηρεάζει τον παράγοντα διόρθωσης  $K_S$  που υπεισέρχεται στον υπολογισμό των βραχυκυκλωμάτων [32]. Επίσης, η λειτουργία της γεννήτριας υπό χωρητικό συντελεστή ισχύος θεωρήθηκε ότι εμφανίζεται σπάνια και είναι αρκετά σύντομης διάρκειας.
- Η αντίσταση σφάλματος θεωρήθηκε μηδενική.

Τα αποτελέσματα της μελέτης βραχυκυκλωμάτων στα διάφορα ενδιαφέροντα σημεία του δικτύου φαίνονται στους παρακάτω πίνακες. Ο Πίνακας 3.9 δίνει την ερμηνεία των διαφόρων σύμβολων που εμφανίζονται στους εν λόγω πίνακες.

Σύμβολο	Ερμηνεία
k3	Τριφασικό βραχυκύκλωμα
k1	Μονοφασικό προς γη βραχυκύκλωμα
k2	Διφασικό χωρίς γη βραχυκύκλωμα
kE2E	Διφασικό με γη βραχυκύκλωμα
$U_{L-E}^{311B}$	Φασική τάση στο πρωτεύον του Μ/Σ του Η/Ν SEL-311B
$WU_{L-E}^{311B}$	Φασική απόκλιση της φασικής τάσης στο πρωτεύον του Μ/Σ του Η/Ν SEL-311B
$I_k''$	Υπομεταβατικό ρεύμα βραχυκυκλώματος
$WI_k''$	Φασική απόκλιση υπομεταβατικού ρεύματος βραχυκυκλώματος
$i_p$	Κρουστικό ρεύμα βραχυκυκλώματος
$I_b$	Ρεύμα διακοπής
$I_k$	Μόνιμο ρεύμα βραχυκυκλώματος
$I_{th}$	Θερμικά ισοδύναμο ρεύμα βραχυκυκλώματος
$i_{dc}$	Συνεχής συνιστώσα ρεύματος βραχυκυκλώματος
(0)	Μηδενική ακολουθία
(1)	Θετική ακολουθία
(2)	Αρνητική ακολουθία

Πίνακας 3.9: Ερμηνεία συμβόλων που χρησιμοποιούνται για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης βραχυκυκλωμάτων όπως αυτά ορίζονται στο πρότυπο IEC 60909-0 [32]

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΖΥΓΟ «MV NODE»											
Σφάλμα	Φάση	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
<b>k3</b>	L1	4.446	-86	11.409	4.16	2.088	3.555	4.051	(0)	0	-90
	L2	4.446	154	11.409	0	0	3.555	4.051	(1)	4.446	-86
	L3	4.446	34	11.409	0	0	3.555	4.051	(2)	0	-90
<b>k1</b>	L1	5.33	-85.2	13.676	5.33	5.33	5.458	4.855	(0)	1.777	-85.2
	L2	0	180	0	0	0	0	0	(1)	1.777	-85.2
	L3	0	180	0	0	0	0	0	(2)	1.777	-85.2
<b>k2</b>	L1	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	3.851	184	9.881	3.851	3.851	3.943	3.508	(1)	2.223	-86
	L3	3.851	4	9.881	3.851	3.851	3.943	3.508	(2)	2.223	94
<b>kE2E</b>	L1	0	0	0	0	0	0	0	(0)	2.216	95.99
	L2	5.174	144.05	13.276	5.174	5.174	5.299	4.713	(1)	3.331	-85.33
	L3	4.999	45.66	12.828	4.999	4.999	5.12	4.554	(2)	1.116	92.03

Πίνακας 3.10: Αποτελέσματα μελέτης μέγιστων βραχυκυκλωμάτων στο ζυγό «MV NODE» του προστατευόμενου δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΖΥΓΟ «MV NODE»											
Σφάλμα	Φάση	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
<b>k3</b>	L1	4.042	-86	10.372	3.818	0.554	1.917	3.682	(0)	0	-90
	L2	4.042	154	10.372	0	0	1.917	3.682	(1)	4.042	-86
	L3	4.042	34	10.372	0	0	1.917	3.682	(2)	0	-90
<b>k1</b>	L1	4.845	-85.2	12.433	4.845	4.845	4.962	4.414	(0)	1.615	-85.2
	L2	0	-90	0	0	0	0	0	(1)	1.615	-85.2
	L3	0	-90	0	0	0	0	0	(2)	1.615	-85.2
<b>k2</b>	L1	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	3.501	184	8.982	3.501	3.501	3.585	3.189	(1)	2.021	-86
	L3	3.501	4	8.982	3.501	3.501	3.585	3.189	(2)	2.021	94
<b>kE2E</b>	L1	0	0	0	0	0	0	0	(0)	2.015	95.99
	L2	4.704	144.05	12.069	4.704	4.704	4.817	4.285	(1)	3.028	-85.33
	L3	4.545	45.66	11.661	4.545	4.545	4.654	4.14	(2)	1.015	92.03

Πίνακας 3.11: Αποτελέσματα μελέτης ελαχίστων βραχυκυκλωμάτων στο ζυγό «MV NODE» του προστατευόμενου δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΖΥΓΟ “HV NODE 1”											
Σφάλμα	Φάση	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
<b>k3</b>	L1	0.408	-87.1	1.074	0.396	0.257	0.364	0.426	(0)	0	-90
	L2	0.408	152.9	1.074	0	0	0.364	0.426	(1)	0.408	-87.1
	L3	0.408	32.9	1.074	0	0	0.364	0.426	(2)	0	-90
<b>k1</b>	L1	0.545	-87.42	1.434	0.545	0.545	0.563	0.569	(0)	0.182	-87.42
	L2	0	-90	0	0	0	0	0	(1)	0.182	-87.42
	L3	0	-90	0	0	0	0	0	(2)	0.182	-87.42
<b>k2</b>	L1	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	0.353	182.9	0.93	0.353	0.353	0.365	0.369	(1)	0.204	-87.1
	L3	0.353	2.9	0.93	0.353	0.353	0.365	0.369	(2)	0.204	92.9
<b>kE2E</b>	L1	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0.273	91.94
	L2	0.536	133.14	1.412	0.536	0.536	0.554	0.561	(1)	0.34	-87.48
	L3	0.545	51.57	1.435	0.545	0.545	0.563	0.57	(2)	0.068	94.85

Πίνακας 3.12: Αποτελέσματα μελέτης μέγιστων βραχυκυκλωμάτων στο ζυγό «HV NODE 1» του προστατευόμενου δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΖΥΓΟ “HV NODE 1”											
Σφάλμα	Φάση	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
<b>k3</b>	L1	0.371	-87.1	0.976	0.363	0.07	0.208	0.388	(0)	0	-90
	L2	0.371	152.9	0.976	0	0	0.208	0.388	(1)	0.371	-87.1
	L3	0.371	32.9	0.976	0	0	0.208	0.388	(2)	0	-90
<b>k1</b>	L1	0.495	-87.42	1.303	0.495	0.495	0.511	0.517	(0)	0.165	-87.42
	L2	0	-90	0	0	0	0	0	(1)	0.165	-87.42
	L3	0	-90	0	0	0	0	0	(2)	0.165	-87.42
<b>k2</b>	L1	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	0.321	182.9	0.845	0.321	0.321	0.332	0.336	(1)	0.185	-87.1
	L3	0.321	2.9	0.845	0.321	0.321	0.332	0.336	(2)	0.185	92.9
<b>kE2E</b>	L1	0	262.87	0	0	0	0	0	(0)	0.248	91.94
	L2	0.487	133.14	1.283	0.487	0.487	0.504	0.51	(1)	0.309	-87.48
	L3	0.496	51.57	1.305	0.496	0.496	0.512	0.518	(2)	0.061	94.85

Πίνακας 3.13: Αποτελέσματα μελέτης ελαχίστων βραχυκυκλωμάτων στο ζυγό «HV NODE 1» του προστατευόμενου δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®



ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΖΥΓΟ «HV NODE 2»													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	12.099	-17	0.359	-84.67	0.893	0.352	0.249	0.324	0.287	(0)	0	-90
	L2	12.099	-137	0.359	155.33	0.893	0	0	0.324	0.287	(1)	0.359	-84.67
	L3	12.099	103	0.359	35.33	0.893	0	0	0.324	0.287	(2)	0	-90
k1	L1	22.995	-13.25	0.418	-83.28	1.04	0.418	0.418	0.425	0.334	(0)	0.139	-83.28
	L2	84.517	-105.92	0	90	0	0	0	0	0	(1)	0.139	-83.28
	L3	86.872	105.47	0	90	0	0	0	0	0	(2)	0.139	-83.28
k2	L1	95.263	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	51.676	-168.82	0.311	185.33	0.774	0.311	0.311	0.316	0.248	(1)	0.179	-84.67
	L3	45.68	167.33	0.311	5.33	0.774	0.311	0.311	0.316	0.248	(2)	0.179	95.33
kE2E	L1	66.131	-2.126	0	-60.64	0	0	0	0	0	(0)	0.166	98.67
	L2	22.823	-163.14	0.41	147.85	1.02	0.41	0.41	0.417	0.327	(1)	0.262	-83.62
	L3	20.665	139.5	0.387	45.42	0.964	0.387	0.387	0.394	0.309	(2)	0.096	92.44

Πίνακας 3.14: Αποτελέσματα μελέτης μέγιστων βραχυκυκλωμάτων στο ζυγό «HV NODE 2» του προστατευόμενου δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΖΥΓΟ «HV NODE 2»													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	12.049	-25.79	0.325	-83.14	0.783	0.322	0.068	0.179	0.219	(0)	0	-90
	L2	12.049	-145.79	0.325	156.86	0.783	0	0	0.179	0.219	(1)	0.325	-83.14
	L3	12.049	94.21	0.325	36.86	0.783	0	0	0.179	0.219	(2)	0	-90
k1	L1	22.44	-20.22	0.377	-80.67	0.909	0.377	0.377	0.383	0.254	(0)	0.126	-80.67
	L2	75.934	-106.28	0	0	0	0	0	0	0	(1)	0.126	-80.67
	L3	79.994	105.43	0	0	0	0	0	0	0	(2)	0.126	-80.67
k2	L1	86.603	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	48.755	-168.89	0.282	186.86	0.678	0.282	0.282	0.286	0.19	(1)	0.163	-83.14
	L3	39.884	166.37	0.282	6.86	0.678	0.282	0.282	0.286	0.19	(2)	0.163	96.86
kE2E	L1	60.789	-3.82	0	265.24	0	0	0	0	0	(0)	0.149	102.74
	L2	22.695	-168.52	0.377	150.67	0.909	0.377	0.377	0.383	0.254	(1)	0.237	-81.29
	L3	19.418	132.68	0.341	47.61	0.822	0.341	0.341	0.346	0.23	(2)	0.089	91.92

Πίνακας 3.15: Αποτελέσματα μελέτης ελαχίστων βραχυκυκλωμάτων στο ζυγό «HV NODE 2» του προστατευόμενου δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 20% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	2.679	-18.89	0.397	-86.56	1.032	0.386	0.255	0.355	0.391	(0)	0	-90
	L2	2.679	-138.89	0.397	153.44	1.032	0	0	0.355	0.391	(1)	0.397	-86.56
	L3	2.679	101.1	0.397	33.44	1.032	0	0	0.355	0.391	(2)	0	-90
k1	L1	5.655	-16.37	0.514	-86.4	1.335	0.514	0.514	0.528	0.506	(0)	0.171	-86.4
	L2	84.472	-101.97	0	0	0	0	0	0	0	(1)	0.171	-86.4
	L3	84.208	102.01	0	0	0	0	0	0	0	(2)	0.171	-86.4
k2	L1	95.263	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	48.432	-177.4	0.344	183.44	0.894	0.344	0.344	0.353	0.339	(1)	0.199	-86.56
	L3	46.932	177.32	0.344	3.44	0.894	0.344	0.344	0.353	0.339	(2)	0.199	93.44
kE2E	L1	52.643	-0.03	0	-84.64	0	0	0	0	0	(0)	0.242	93.9
	L2	6.163	-172.97	0.502	137.09	1.306	0.502	0.502	0.516	0.495	(1)	0.32	-86.39
	L3	5.875	141.76	0.498	50.27	1.296	0.498	0.498	0.512	0.491	(2)	0.077	92.73

Πίνακας 3.16: Αποτελέσματα μελέτης μέγιστων βραχυκυκλωμάτων στο 20% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 20% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	2.674	-28.87	0.361	-86.22	0.931	0.354	0.069	0.199	0.342	(0)	0	-90
	L2	2.674	-148.87	0.361	153.78	0.931	0	0	0.199	0.342	(1)	0.361	-86.22
	L3	2.674	91.13	0.361	33.78	0.931	0	0	0.199	0.342	(2)	0	-90
k1	L1	5.55	-25.3	0.467	-85.75	1.203	0.467	0.467	0.478	0.443	(0)	0.156	-85.75
	L2	76.495	-102.04	0	180	0	0	0	0	0	(1)	0.156	-85.75
	L3	76.86	101.98	0	180	0	0	0	0	0	(2)	0.156	-85.75
k2	L1	86.603	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	44.466	-177.39	0.312	183.78	0.806	0.312	0.312	0.32	0.296	(1)	0.18	-86.22
	L3	42.232	177.25	0.312	3.78	0.806	0.312	0.312	0.32	0.296	(2)	0.18	93.78
kE2E	L1	47.938	-1.01	0	87.32	0	0	0	0	0	(0)	0.22	95.11
	L2	6.096	179.16	0.46	137.92	1.185	0.46	0.46	0.471	0.436	(1)	0.29	-85.72
	L3	5.664	132.95	0.449	51.03	1.158	0.449	0.449	0.461	0.426	(2)	0.071	91.72

Πίνακας 3.17: Αποτελέσματα μελέτης ελαχίστων βραχυκυκλωμάτων στο 20% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 50% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	6.44	-18.14	0.382	-85.81	0.975	0.373	0.253	0.342	0.346	(0)	0	-90
	L2	6.44	-138.14	0.382	154.19	0.975	0	0	0.342	0.346	(1)	0.382	-85.81
	L3	6.44	101.86	0.382	34.19	0.975	0	0	0.342	0.346	(2)	0	-90
k1	L1	13.022	-15.05	0.473	-85.07	1.209	0.473	0.473	0.484	0.429	(0)	0.158	-85.07
	L2	84.365	-103.65	0	-90	0	0	0	0	0	(1)	0.158	-85.07
	L3	85.37	103.48	0	-90	0	0	0	0	0	(2)	0.158	-85.07
k2	L1	95.263	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	49.651	-173.87	0.331	184.19	0.845	0.331	0.331	0.338	0.3	(1)	0.191	-85.81
	L3	46.2	173.41	0.331	4.19	0.845	0.331	0.331	0.338	0.3	(2)	0.191	94.19
kE2E	L1	58.876	-1.4	0	262	0	0	0	0	0	(0)	0.207	96.12
	L2	13.577	-168.67	0.461	141.87	1.178	0.461	0.461	0.472	0.418	(1)	0.294	-85.13
	L3	12.64	141.13	0.446	48.32	1.14	0.446	0.446	0.456	0.404	(2)	0.087	91.91

Πίνακας 3.18: Αποτελέσματα μελέτης μέγιστων βραχυκυκλωμάτων στο 50% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 50% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	6.424	-27.64	0.347	-84.99	0.869	0.341	0.069	0.19	0.287	(0)	0	-90
	L2	6.424	-147.64	0.347	155.01	0.869	0	0	0.19	0.287	(1)	0.347	-84.99
	L3	6.424	92.37	0.347	35.01	0.869	0	0	0.19	0.287	(2)	0	-90
k1	L1	12.756	-23.14	0.429	-83.59	1.076	0.429	0.429	0.437	0.355	(0)	0.143	-83.59
	L2	76.083	-103.83	0	180	0	0	0	0	0	(1)	0.143	-83.59
	L3	78.263	103.43	0	194.04	0	0	0	0	0	(2)	0.143	-83.59
k2	L1	86.603	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	46.146	-173.87	0.3	185.01	0.753	0.3	0.3	0.306	0.248	(1)	0.173	-84.99
	L3	41.018	173.1	0.3	5.01	0.753	0.3	0.3	0.306	0.248	(2)	0.173	95.01
kE2E	L1	53.863	-2.95	0	-81.12	0	0	0	0	0	(0)	0.187	98.68
	L2	13.478	-175.35	0.424	143.64	1.063	0.424	0.424	0.432	0.351	(1)	0.267	-83.7
	L3	12.052	133.35	0.398	49.81	0.997	0.398	0.398	0.405	0.329	(2)	0.08	90.72

Πίνακας 3.19: Αποτελέσματα μελέτης ελαχίστων βραχυκυκλωμάτων στο 50% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 70% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	8.789	-17.67	0.372	-85.34	0.941	0.364	0.251	0.334	0.32	(0)	0	-90
	L2	8.789	-137.67	0.372	154.66	0.941	0	0	0.334	0.32	(1)	0.372	-85.34
	L3	8.789	102.33	0.372	34.66	0.941	0	0	0.334	0.32	(2)	0	-90
k1	L1	17.314	-14.27	0.449	-84.3	1.136	0.449	0.449	0.459	0.386	(0)	0.15	-84.3
	L2	84.388	-104.62	0	180	0	0	0	0	0	(1)	0.15	-84.3
	L3	86.026	104.34	0	90	0	0	0	0	0	(2)	0.15	-84.3
k2	L1	95.263	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	50.465	-171.74	0.322	184.66	0.815	0.322	0.322	0.329	0.277	(1)	0.186	-85.34
	L3	45.898	170.91	0.322	4.66	0.815	0.322	0.322	0.329	0.277	(2)	0.186	94.66
kE2E	L1	62.156	-1.82	0	-82	0	0	0	0	0	(0)	0.189	97.27
	L2	17.648	-166.26	0.439	144.51	1.109	0.439	0.439	0.448	0.377	(1)	0.28	-84.46
	L3	16.223	140.53	0.419	47.09	1.06	0.419	0.419	0.428	0.361	(2)	0.092	91.98

Πίνακας 3.20: Αποτελέσματα μελέτης μέγιστων βραχυκυκλωμάτων στο 70% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 70% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	8.762	-26.87	0.338	-84.22	0.833	0.333	0.068	0.185	0.257	(0)	0	-90
	L2	8.762	-146.87	0.338	155.78	0.833	0	0	0.185	0.257	(1)	0.338	-84.22
	L3	8.762	93.13	0.338	35.78	0.833	0	0	0.185	0.257	(2)	0	-90
k1	L1	16.937	-21.88	0.407	-82.33	1.003	0.407	0.407	0.414	0.309	(0)	0.136	-82.33
	L2	75.961	-104.88	0	0	0	0	0	0	0	(1)	0.136	-82.33
	L3	79.032	104.29	0	-90	0	0	0	0	0	(2)	0.136	-82.33
k2	L1	86.603	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	47.218	-171.76	0.292	185.78	0.721	0.292	0.292	0.297	0.222	(1)	0.169	-84.22
	L3	40.442	170.36	0.292	5.78	0.721	0.292	0.292	0.297	0.222	(2)	0.169	95.78
kE2E	L1	56.999	-3.5	0	-88.21	0	0	0	0	0	(0)	0.17	100.53
	L2	17.539	-172.34	0.404	146.75	0.995	0.404	0.404	0.41	0.307	(1)	0.254	-82.63
	L3	15.369	133.21	0.372	48.91	0.917	0.372	0.372	0.378	0.283	(2)	0.084	91

Πίνακας 3.21: Αποτελέσματα μελέτης ελαχίστων βραχυκυκλωμάτων στο 70% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 85% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	10.475	-17.33	0.365	-85	0.916	0.358	0.25	0.329	0.303	(0)	0	-90
	L2	10.475	-137.33	0.365	155	0.916	0	0	0.329	0.303	(1)	0.365	-85
	L3	10.475	102.67	0.365	35	0.916	0	0	0.329	0.303	(2)	0	-90
k1	L1	20.259	-13.74	0.433	-83.77	1.086	0.433	0.433	0.441	0.359	(0)	0.144	-83.77
	L2	84.441	-105.29	0	-90	0	0	0	0	0	(1)	0.144	-83.77
	L3	86.468	104.93	0	-90	0	0	0	0	0	(2)	0.144	-83.77
k2	L1	95.263	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	51.073	-170.24	0.316	185	0.794	0.316	0.316	0.322	0.262	(1)	0.183	-85
	L3	45.756	169.09	0.316	5	0.794	0.316	0.316	0.322	0.262	(2)	0.183	95
kE2E	L1	64.266	-2.01	0	-86.07	0	0	0	0	0	(0)	0.177	98.01
	L2	20.357	-164.63	0.423	146.26	1.062	0.423	0.423	0.432	0.351	(1)	0.271	-84.02
	L3	18.562	140.03	0.402	46.23	1.009	0.402	0.402	0.41	0.333	(2)	0.094	92.18

Πίνακας 3.22: Αποτελέσματα μελέτης μέγιστων βραχυκυκλωμάτων στο 85% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 85% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	10.438	-26.32	0.331	-83.67	0.807	0.328	0.068	0.182	0.237	(0)	0	-90
	L2	10.438	-146.32	0.331	156.33	0.807	0	0	0.182	0.237	(1)	0.331	-83.67
	L3	10.438	93.68	0.331	36.33	0.807	0	0	0.182	0.237	(2)	0	-90
k1	L1	19.794	-21.02	0.392	-81.47	0.954	0.392	0.392	0.397	0.28	(0)	0.131	-81.47
	L2	75.928	-105.61	0	-90	0	0	0	0	0	(1)	0.131	-81.47
	L3	79.538	104.88	0	-90	0	0	0	0	0	(2)	0.131	-81.47
k2	L1	86.603	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	47.997	-170.28	0.287	186.33	0.699	0.287	0.287	0.291	0.205	(1)	0.166	-83.67
	L3	40.121	168.35	0.287	6.33	0.699	0.287	0.287	0.291	0.205	(2)	0.166	96.33
kE2E	L1	59.014	-3.71	0	180	0	0	0	0	0	(0)	0.159	101.7
	L2	20.239	-170.34	0.39	148.81	0.95	0.39	0.39	0.396	0.279	(1)	0.245	-81.93
	L3	17.509	132.98	0.356	48.25	0.866	0.356	0.356	0.361	0.254	(2)	0.087	91.41

Πίνακας 3.23: Αποτελέσματα μελέτης ελαχίστων βραχυκυκλωμάτων στο 85% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 110% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	13.149	-16.79	0.354	-84.46	0.878	0.348	0.248	0.32	0.277	(0)	0	-90
	L2	13.149	-136.79	0.354	155.54	0.878	0	0	0.32	0.277	(1)	0.354	-84.46
	L3	13.149	103.21	0.354	35.54	0.878	0	0	0.32	0.277	(2)	0	-90
k1	L1	24.713	-12.94	0.408	-82.97	1.012	0.408	0.408	0.415	0.318	(0)	0.136	-82.97
	L2	84.577	-106.31	0	0	0	0	0	0	0	(1)	0.136	-82.97
	L3	87.122	105.82	0	0	0	0	0	0	0	(2)	0.136	-82.97
k2	L1	95.263	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	52.076	-167.92	0.307	185.54	0.761	0.307	0.307	0.312	0.239	(1)	0.177	-84.46
	L3	45.662	166.19	0.307	5.54	0.761	0.307	0.307	0.312	0.239	(2)	0.177	95.54
kE2E	L1	67.258	-2.18	0	235.49	0	0	0	0	0	(0)	0.16	99.06
	L2	24.35	-162.21	0.401	148.83	0.994	0.401	0.401	0.408	0.313	(1)	0.257	-83.37
	L3	21.956	139.14	0.378	44.92	0.937	0.378	0.378	0.385	0.295	(2)	0.097	92.64

Πίνακας 3.24: Αποτελέσματα μελέτης μέγιστων βραχυκυκλωμάτων στο 110% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 110% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	13.09	-25.44	0.321	-82.8	0.768	0.318	0.068	0.178	0.208	(0)	0	-90
	L2	13.09	-145.44	0.321	157.2	0.768	0	0	0.178	0.208	(1)	0.321	-82.8
	L3	13.09	94.56	0.321	37.2	0.768	0	0	0.178	0.208	(2)	0	-90
k1	L1	24.097	-19.72	0.368	-80.17	0.881	0.368	0.368	0.373	0.239	(0)	0.123	-80.17
	L2	75.956	-106.7	0	0	0	0	0	0	0	(1)	0.123	-80.17
	L3	80.272	105.78	0	0	0	0	0	0	0	(2)	0.123	-80.17
k2	L1	86.603	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	49.247	-168	0.278	187.2	0.665	0.278	0.278	0.282	0.18	(1)	0.161	-82.8
	L3	39.771	165.08	0.278	7.2	0.665	0.278	0.278	0.282	0.18	(2)	0.161	97.2
kE2E	L1	61.859	-3.86	0	102.34	0	0	0	0	0	(0)	0.143	103.36
	L2	24.215	-167.4	0.369	151.81	0.883	0.369	0.369	0.374	0.239	(1)	0.232	-80.9
	L3	20.585	132.44	0.333	47.2	0.796	0.333	0.333	0.337	0.216	(2)	0.09	92.28

Πίνακας 3.25: Αποτελέσματα μελέτης ελαχίστων βραχυκυκλωμάτων στο 110% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 120% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	14.175	-16.59	0.35	-84.26	0.864	0.345	0.247	0.317	0.267	(0)	0	-90
	L2	14.175	-136.59	0.35	155.74	0.864	0	0	0.317	0.267	(1)	0.35	-84.26
	L3	14.175	103.41	0.35	35.74	0.864	0	0	0.317	0.267	(2)	0	-90
k1	L1	26.354	-12.65	0.399	-82.67	0.984	0.399	0.399	0.406	0.304	(0)	0.133	-82.67
	L2	84.645	-106.68	0	-90	0	0	0	0	0	(1)	0.133	-82.67
	L3	87.359	106.14	0	-90	0	0	0	0	0	(2)	0.133	-82.67
k2	L1	95.263	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	52.472	-167.04	0.303	185.74	0.748	0.303	0.303	0.308	0.231	(1)	0.175	-84.26
	L3	45.668	165.07	0.303	5.74	0.748	0.303	0.303	0.308	0.231	(2)	0.175	95.74
kE2E	L1	68.304	-2.21	0	262.87	0	0	0	0	0	(0)	0.154	99.42
	L2	25.795	-161.33	0.393	149.76	0.97	0.393	0.393	0.4	0.3	(1)	0.252	-83.13
	L3	23.171	138.78	0.369	44.43	0.912	0.369	0.369	0.376	0.282	(2)	0.098	92.85

Πίνακας 3.26: Αποτελέσματα μελέτης μέγιστων βραχυκυκλωμάτων στο 120% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 120% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	14.105	-25.11	0.317	-82.46	0.753	0.315	0.067	0.176	0.198	(0)	0	-90
	L2	14.105	-145.11	0.317	157.54	0.753	0	0	0.176	0.198	(1)	0.317	-82.46
	L3	14.105	94.89	0.317	37.54	0.753	0	0	0.176	0.198	(2)	0	-90
k1	L1	25.676	-19.24	0.36	-79.69	0.854	0.36	0.36	0.364	0.225	(0)	0.12	-79.69
	L2	75.99	-107.1	0	0	0	0	0	0	0	(1)	0.12	-79.69
	L3	80.532	106.11	0	0	0	0	0	0	0	(2)	0.12	-79.69
k2	L1	86.603	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	49.73	-167.15	0.275	187.54	0.652	0.275	0.275	0.278	0.172	(1)	0.159	-82.46
	L3	39.69	163.82	0.275	7.54	0.652	0.275	0.275	0.278	0.172	(2)	0.159	97.54
kE2E	L1	62.847	-3.87	0	261.7	0	0	0	0	0	(0)	0.138	103.93
	L2	25.651	-166.34	0.362	152.89	0.859	0.362	0.362	0.367	0.226	(1)	0.227	-80.52
	L3	21.678	132.19	0.325	46.81	0.772	0.325	0.325	0.329	0.203	(2)	0.09	92.66

Πίνακας 3.27: Αποτελέσματα μελέτης ελαχίστων βραχυκυκλωμάτων στο 120% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 135% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	15.667	-16.29	0.344	-83.96	0.843	0.339	0.246	0.312	0.254	(0)	0	-90
	L2	15.667	-136.29	0.344	156.04	0.843	0	0	0.312	0.254	(1)	0.344	-83.96
	L3	15.667	103.71	0.344	36.04	0.843	0	0	0.312	0.254	(2)	0	-90
k1	L1	28.68	-12.23	0.386	-82.25	0.946	0.386	0.386	0.392	0.285	(0)	0.129	-82.25
	L2	84.756	-107.2	0	-90	0	0	0	0	0	(1)	0.129	-82.25
	L3	87.691	106.61	0	-90	0	0	0	0	0	(2)	0.129	-82.25
k2	L1	95.263	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	53.06	-165.79	0.298	186.04	0.73	0.298	0.298	0.303	0.22	(1)	0.172	-83.96
	L3	45.72	163.45	0.298	6.04	0.73	0.298	0.298	0.303	0.22	(2)	0.172	96.04
kE2E	L1	69.736	-2.23	0	-79.38	0	0	0	0	0	(0)	0.146	99.92
	L2	27.824	-160.08	0.382	151.05	0.936	0.382	0.382	0.388	0.282	(1)	0.245	-82.8
	L3	24.869	138.23	0.358	43.75	0.877	0.358	0.358	0.364	0.264	(2)	0.099	93.18

Πίνακας 3.28: Αποτελέσματα μελέτης μέγιστων βραχυκυκλωμάτων στο 135% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 135% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	15.58	-24.62	0.311	-81.97	0.732	0.309	0.067	0.173	0.184	(0)	0	-90
	L2	15.58	-144.62	0.311	158.03	0.732	0	0	0.173	0.184	(1)	0.311	-81.97
	L3	15.58	95.38	0.311	38.03	0.732	0	0	0.173	0.184	(2)	0	-90
k1	L1	27.907	-18.56	0.348	-79.01	0.817	0.348	0.348	0.352	0.206	(0)	0.116	-79.01
	L2	76.059	-107.67	0	0	0	0	0	0	0	(1)	0.116	-79.01
	L3	80.892	106.58	0	0	0	0	0	0	0	(2)	0.116	-79.01
k2	L1	86.603	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	50.437	-165.93	0.27	188.03	0.634	0.27	0.27	0.273	0.159	(1)	0.156	-81.97
	L3	39.626	161.97	0.27	8.03	0.634	0.27	0.27	0.273	0.159	(2)	0.156	98.03
kE2E	L1	64.197	-3.86	0	264.05	0	0	0	0	0	(0)	0.131	104.71
	L2	27.664	-164.85	0.351	154.4	0.826	0.351	0.351	0.355	0.208	(1)	0.221	-80
	L3	23.202	131.78	0.314	46.26	0.739	0.314	0.314	0.318	0.186	(2)	0.091	93.24

Πίνακας 3.29: Αποτελέσματα μελέτης ελαχίστων βραχυκυκλωμάτων στο 135% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®



ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 150% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	17.107	-16	0.338	-83.67	0.824	0.334	0.245	0.308	0.241	(0)	0	-90
	L2	17.107	-136	0.338	156.33	0.824	0	0	0.308	0.241	(1)	0.338	-83.67
	L3	17.107	104	0.338	36.33	0.824	0	0	0.308	0.241	(2)	0	-90
k1	L1	30.857	-11.83	0.374	-81.86	0.91	0.374	0.374	0.379	0.267	(0)	0.125	-81.86
	L2	84.877	-107.69	0	-90	0	0	0	0	0	(1)	0.125	-81.86
	L3	87.998	107.04	0	-90	0	0	0	0	0	(2)	0.125	-81.86
k2	L1	95.263	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	53.64	-164.6	0.293	186.33	0.713	0.293	0.293	0.297	0.209	(1)	0.169	-83.67
	L3	45.817	161.89	0.293	6.33	0.713	0.293	0.293	0.297	0.209	(2)	0.169	96.33
kE2E	L1	71.027	-2.24	0	-66.37	0	0	0	0	0	(0)	0.139	100.37
	L2	29.706	-158.92	0.371	152.25	0.904	0.371	0.371	0.377	0.265	(1)	0.238	-82.49
	L3	26.438	137.69	0.347	43.12	0.846	0.347	0.347	0.353	0.248	(2)	0.1	93.51

Πίνακας 3.30: Αποτελέσματα μελέτης μέγιστων βραχυκυκλωμάτων στο 150% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΣΤΟ 150% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ													
Σφάλμα	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (kV)	$WU_{L-E}^{311B}$ (°)	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)	$i_p$ (kA)	$I_b$ (kA)	$I_k$ (kA)	$I_{th}$ (kA)	$i_{dc}$ (kA)	Ακολουθία	$I_k''$ (kA)	$WI_k''$ (°)
k3	L1	17.002	-24.16	0.306	-81.51	0.712	0.304	0.067	0.171	0.172	(0)	0	-90
	L2	17.002	-144.16	0.306	158.49	0.712	0	0	0.171	0.172	(1)	0.306	-81.51
	L3	17.002	95.85	0.306	38.49	0.712	0	0	0.171	0.172	(2)	0	-90
k1	L1	29.988	-17.93	0.336	-78.38	0.782	0.336	0.336	0.34	0.189	(0)	0.112	-78.38
	L2	76.147	-108.2	0	-90	0	0	0	0	0	(1)	0.112	-78.38
	L3	81.219	107.02	0	-90	0	0	0	0	0	(2)	0.112	-78.38
k2	L1	86.603	0	0	-90	0	0	0	0	0	(0)	0	-90
	L2	51.123	-164.76	0.265	188.49	0.617	0.265	0.265	0.268	0.149	(1)	0.153	-81.51
	L3	39.623	160.18	0.265	8.49	0.617	0.265	0.265	0.268	0.149	(2)	0.153	98.49
kE2E	L1	65.408	-3.83	0	0	0	0	0	0	0	(0)	0.124	105.42
	L2	29.527	-163.47	0.341	155.79	0.795	0.341	0.341	0.345	0.192	(1)	0.215	-79.51
	L3	24.606	131.35	0.305	45.75	0.709	0.305	0.305	0.308	0.171	(2)	0.092	93.83

Πίνακας 3.31: Αποτελέσματα μελέτης ελαχίστων βραχυκυκλωμάτων στο 150% της γραμμής μεταφοράς του δικτύου από το λογισμικό NEPLAN®

### 3.4 Μελέτη σφαλμάτων ανοικτοκύκλωσης

Για τις ανάγκες της μελέτης προστασίας που θα ακολουθήσει, διενεργήθηκε και μελέτη σφαλμάτων ανοικτοκύκλωσης, με τη βοήθεια του λογισμικού Mathcad®, βάσει των μεθόδων που παρουσιάζονται στο [36] και με στόχο να ευρεθούν τα ελάχιστα ρεύματα που μπορούν να εμφανιστούν λόγω αυτών. Έγιναν λοιπόν οι εξής υποθέσεις:

- Το ελάχιστο ρεύμα ασυμμετρίας λόγω σφάλματος ανοικτοκύκλωσης προκύπτει όταν η σύνθετη αντίσταση του φορτίου είναι η μέγιστη. Εφόσον, λοιπόν, ισχύει ότι το  $Z_L = \frac{V^2}{S}$ , η ανάλυση έλαβε υπόψιν της το ελάχιστο φορτίο (15 MVA) και την μέγιστη τάση που μπορεί να εφαρμοστεί (1.1 pu) σε αυτό.
- Το δίκτυο που αναπαρίσταται συγκεντρωμένα μέσω του παθητικού φορτίου θεωρήθηκε ότι είχε τέτοια μορφή ώστε η σύνθετη αντίστασή του να είναι η ίδια για όλα τα κυκλώματα ακολουθίας ( $Z_{L(0)} = Z_{L(1)} = Z_{L(2)}$ ).
- Όσον αφορά τον συντελεστή ισχύος του παθητικού φορτίου, εκτελέστηκαν μελέτες για τις κυριότερες τιμές του για να διερευνηθεί η επίδρασή του στην τιμή των ρευμάτων σφάλματος ανοικτοκύκλωσης.

Τα αποτελέσματα των μελετών ανοικτοκυκλωμάτων συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες.

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΟΙΚΤΟΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΠΡΙΝ ΤΟΝ Μ/Σ ΑΝΥΨΩΣΗΣ			
Ανοικτοκύκλωμα	Συντελεστής ισχύος φορτίου	Φάση	$I_{asy}$ (A)
Μονοφασικό (ο1)	1	L1	0
		L2	332.933∠-98.17°
		L3	332.933∠81.83°
	0.9 επαγ.	L1	0
		L2	314.821∠-122.47°
		L3	314.821∠57.53°
	0.8 επαγ.	L1	0
		L2	308.944∠-132.5°
		L3	308.944∠47.5°
	0.95 χωρ.	L1	0
		L2	348.615∠-80.18°
		L3	348.615∠99.82°
Διφασικό (ο2)	1	L1	0
		L2	0
		L3	0
	0.9 επαγ.	L1	0
		L2	0
		L3	0
	0.8 επαγ.	L1	0
		L2	0
		L3	0
	0.95 χωρ.	L1	0
		L2	0
		L3	0

Πίνακας 3.32: Αποτελέσματα μελέτης ανοικτοκυκλωμάτων για σφάλμα πριν τον Μ/Σ ανύψωσης του δικτύου

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΟΙΚΤΟΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑ ΤΟΝ Μ/Σ ΑΝΥΨΩΣΗΣ			
Ανοικτοκύκλωμα	Συντελεστής ισχύος φορτίου	Φάση	$I_{asy}$ (A)
Μονοφασικό (ο1)	1	L1	0
		L2	52.192∠-127.64°
		L3	50.38∠112.48°
	0.9 επαγ.	L1	0
		L2	49.421∠-152.42°
		L3	47.964∠88.49°
	0.8 επαγ.	L1	0
		L2	48.479∠-162.65°
		L3	47.223∠78.54°
	0.95 χωρ.	L1	0
		L2	54.477∠-109.33°
		L3	52.576∠130.13°
Διφασικό (ο2)	1	L1	51.34∠-7°
		L2	0
		L3	0
	0.9 επαγ.	L1	48.926∠-31.5°
		L2	0
		L3	0
	0.8 επαγ.	L1	48.138∠-41.65°
		L2	0
		L3	0
	0.95 χωρ.	L1	53.406∠11.01°
		L2	0
		L3	0

Πίνακας 3.33 Αποτελέσματα μελέτης ανοικτοκυκλωμάτων για σφάλμα μετά τον Μ/Σ ανύψωσης του δικτύου

### 3.5 Μελέτη προστασίας γραμμής μεταφοράς

Ο εργαστηριακός Η/Ν SEL-311B είναι υπεύθυνος για την προστασία της γραμμής μεταφοράς του δικτύου που φαίνεται στην Εικόνα 3.1. Συνεπώς, ο Η/Ν αυτός θα χρησιμοποιηθεί για να δημιουργηθεί ένα σχήμα προστασίας της γραμμής, το οποίο να είναι αρκετά γρήγορο, ασφαλές και να συνεργάζεται επιλογικά με τα υπόλοιπα μέσα προστασίας του δικτύου που μπορεί να υπάρχουν προς τα κατόντη του.

#### 3.5.1 Επιλογή μετασχηματιστών τάσης και έντασης για την τροφοδοσία των Η/Ν

Από την 2.5.1 υποενότητα γνωρίζουμε ότι ο Η/Ν SEL-311B είναι σχεδιασμένος ώστε να αντέχει σε συνεχόμενη λειτουργία στις εισόδους του ρεύματα μέτρου έως και 5A και φασικές τάσεις μέτρου έως και 150V. Συνεπώς, αξιοποιώντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης ροής φορτίου που παρουσιάστηκαν στην 3.2 ενότητα, μπορούν να καθοριστούν οι λόγοι μετασχηματισμού των Μ/Σ τάσης και έντασης που θα χρησιμοποιηθούν για την τροφοδότησή του.

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης ροής φορτίου, έχουμε ότι η μέγιστη φασική τάση στον ζυγό «HV NODE 1» όπου θεωρείται ότι είναι εγκατεστημένος ο Η/Ν SEL-311B ήταν λίγο πάνω από τα 90kV. Συνεπώς, έστω ότι οι Μ/Σ τάσης του Η/Ν έχουν λόγους

$$PTR_{311B} = \frac{150000}{100} = 1500$$

Ομοίως, παρατηρείται ότι τα ρεύματα γραμμής που προέκυψαν από την ανάλυση ροής φορτίου δεν ξεπερνούσαν σε μέτρο τα 120A. Συνεπώς, έστω ότι οι Μ/Σ έντασης έχουν λόγους

$$CTR_{311B} = \frac{150}{5} = 30$$

Από την 2.6.1 υποενότητα γνωρίζουμε ότι ο Η/Ν SEL-587 είναι σχεδιασμένος ώστε να αντέχει σε συνεχόμενη λειτουργία στις εισόδους του ρεύματα μέτρου έως και 1A. Συνεπώς, λαμβάνοντας και πάλι υπόψιν τα αποτελέσματα της ανάλυσης ροής φορτίου στην 3.2 ενότητα, έστω ότι

$$CTR_{587,HV} = \frac{150}{1} = 150$$

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι η επιλογή των Μ/Σ που θα χρησιμοποιηθούν για έναν Η/Ν δεν συνίσταται απλώς στην επιλογή του λόγου μετασχηματισμού τους, αλλά και σε αρκετές άλλες παραμέτρους που αναφέρονται και αναλύονται στην 1.2.2 υποενότητα. Χάριν απλότητας, θεωρείται ότι οι Μ/Σ τάσης και έντασης έχουν επιλεγθεί κατάλληλα ώστε να δίνουν αρκετά ακριβείς ενδείξεις κατά την διάρκεια των σφαλμάτων που θα μελετηθούν.

#### 3.5.2 Παράμετροι γραμμής μεταφοράς

Το μήκος της γραμμής μεταφοράς του προστατευόμενου δικτύου είναι  $LL = 70 \text{ km}$ . Συνεπώς, οι σύνθετες αντιστάσεις θετικής και αρνητικής ακολουθίας σε  $\Omega$  δευτερεύοντος των Μ/Σ τάσης και έντασης που επιλέχθηκαν υπολογίζονται ως εξής:

$$Z_{1Lsec} = (70 \text{ km}) \cdot \left( 0.1831 \frac{\Omega}{\text{km}} + j0.4458 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) \cdot \frac{CTR_{311B}}{PTR_{311B}} \cong 0.675 \angle 67.67^\circ \Omega$$

$$Z_{0Lsec} = (70 \text{ km}) \cdot \left( 0.4397 \frac{\Omega}{\text{km}} + j1.326 \frac{\Omega}{\text{km}} \right) \cdot \frac{CTR_{311B}}{PTR_{311B}} \cong 1.956 \angle 71.66^\circ \Omega$$

Στο σημείο αυτό είναι ευκαιρία να υπολογιστεί και ο παράγοντας αντιστάθμισης γης της γραμμής ως εξής:

$$k_0 = \frac{Z_{0Lsec} - Z_{1Lsec}}{3Z_{1Lsec}} = 0.634 \angle 6.076^\circ$$

### 3.5.3 Προστασία αποστάσεως

Εφόσον δεν υπάρχει εγκατεστημένος κάποιος άλλος H/N στο δεξί άκρο της γραμμής μεταφοράς, διαφορική προστασία της γραμμής μέσω καναλιού επικοινωνίας δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί. Συνεπώς, η προστασία της γραμμής μεταφοράς θα πρέπει να επιτευχθεί αποκλειστικά μέσω των στοιχείων προστασίας που διαθέτει ο H/N SEL-311B του εργαστηριακού συστήματος.

Βάσει των αναφερόμενων στην 1.8 ενότητα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ως πρωτεύουσα προστασία της γραμμής τα στοιχεία αποστάσεως που διαθέτει ο H/N SEL-311B. Έστω, λοιπόν, ότι επιθυμείται να προστατευθεί η γραμμή μεταφοράς χρησιμοποιώντας τρεις ζώνες προστασίας αποστάσεως, εκ των οποίων η 1<sup>η</sup> θα πρέπει να τεθεί ώστε να λειτουργεί για σφάλματα που μπορούν να συμβούν μέχρι και το 85% της γραμμής μεταφοράς, η 2<sup>η</sup> για σφάλματα που μπορούν να συμβούν μέχρι και το 120% της γραμμής, ενώ η 3<sup>η</sup> για σφάλματα μέχρι και το 150% της γραμμής. Στο σημείο αυτό αξίζει να επισημανθεί ξανά ότι το παθητικό φορτίο του δικτύου δεν θεωρείται ότι είναι ένα συγκεντρωμένο φορτίο στο άκρο της γραμμής, αλλά όλο το υπόλοιπο παθητικό δίκτυο (υποσταθμοί υποβιβασμού, δίκτυα διανομής) μέχρι και τα φορτία. Ακόμη, έστω ότι ο χρόνος λειτουργίας της 1<sup>ης</sup> ζώνης προστασίας αποστάσεως θα πρέπει να είναι στιγμιαίος, της 2<sup>ης</sup> ζώνης λίγο μεγαλύτερος (έστω 200 ms) και της 3<sup>ης</sup> ζώνης ακόμη πιο μεγάλος (έστω 800 ms). Γίνεται, επίσης, η υπόθεση ότι αυτοί οι χρόνοι λειτουργίας είναι κατάλληλα επιλεγμένοι ώστε να εξασφαλίζεται η επιλογικότητα με τα μέσα προστασίας που βρίσκονται προς τα κατάντη του H/N.

#### 3.5.3.1 Στοιχεία φάσης

Τα στοιχεία αποστάσεως φάσης ρυθμίζονται ώστε να ανιχνεύουν σφάλματα φάσης, δηλαδή τριφασικά και διφασικά βραχυκυκλώματα με ή χωρίς γη. Από την 1.8.2.2.1 παράγραφο, γνωρίζουμε ότι, για τα σφάλματα αυτά, ο H/N μετράει τη σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας μέχρι το σφάλμα, αν του δοθούν ως είσοδοι οι πολικές τάσεις και η διαφορά των ρευμάτων γραμμής.

Αξιοποιώντας τα αποτελέσματα της μελέτης βραχυκυκλωμάτων που παρουσιάστηκαν στην 3.3 ενότητα, μπορούν να υπολογιστούν οι ρυθμίσεις για τα εν λόγω στοιχεία του H/N SEL-311B. Στους παρακάτω πίνακες συνοψίζονται οι φαινόμενες σύνθετες αντιστάσεις θετικής ακολουθίας στα σημεία του δικτύου που ενδιαφέρουν. Τονίζεται ότι οι τάσεις  $U_{L-L}^{311B}$ , τα ρεύματα  $I_{L-L}^{311B}$  καθώς και η φαινόμενη σύνθετη αντίσταση  $Z_{\phi\alpha\iota\nu}$  αναγράφονται σε τιμές δευτερεύοντος των Μ/Σ τάσης και έντασης του H/N.

<b>ΠΟΛΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ, ΡΕΥΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ &amp; ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΣΥΝΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΟΝ Η/Ν SEL-311B ΓΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΦΑΣΗΣ ΣΤΟ 85% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ</b>				
Σφάλμα	Φάσεις	$U_{L-L}^{311B}$ (V)	$I_{L-L}^{311B}$ (A)	$Z_{φαιν.}$ (Ω)
<b>k3</b>	L1-L2	12.096∠12.67°	21.091∠-55°	0.574∠67.67°
	L2-L3	12.096∠-107.33°	21.091∠-175°	0.574∠67.67°
	L3-L1	12.096∠132.67°	21.091∠65°	0.574∠67.67°
<b>k2</b>	L1-L2	97.236∠3.4°	10.545∠5°	9.221∠-1.6°
	L2-L3	12.096∠-107.33°	21.091∠-175°	0.574∠67.67°
	L3-L1	93.64∠176.47°	10.545∠5°	8.88∠171.47°
<b>kE2E</b>	L1-L2	55.943∠2.15°	14.117∠-33.74°	3.963∠35.89°
	L2-L3	12.096∠-107.33°	21.091∠-175°	0.574∠67.67°
	L3-L1	53.148∠169.76°	13.404∠-46.23°	3.965∠123.52°

Πίνακας 3.34: Τάσεις, ρεύματα και φαινόμενη σύνθετη αντίσταση στον Η/Ν SEL-311B για σφάλματα φάσης στο 85% της γραμμής μεταφοράς του προστατευόμενου δικτύου

<b>ΠΟΛΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ, ΡΕΥΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ &amp; ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΣΥΝΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΟΝ Η/Ν SEL-311B ΓΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΦΑΣΗΣ ΣΤΟ 120% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ</b>				
Σφάλμα	Φάσεις	$U_{L-L}^{311B}$ (V)	$I_{L-L}^{311B}$ (A)	$Z_{φαιν.}$ (Ω)
<b>k3</b>	L1-L2	16.367∠13.41°	20.215∠-54.26°	0.81∠67.67°
	L2-L3	16.367∠-106.59°	20.215∠-174.26°	0.81∠67.67°
	L3-L1	16.367∠133.41°	20.215∠65.74°	0.81∠67.67°
<b>k2</b>	L1-L2	97.914∠4.59°	10.108∠5.74°	9.687∠-1.15°
	L2-L3	16.367∠-106.59°	20.215∠-174.26°	0.81∠67.67°
	L3-L1	93.257∠175.18°	10.108∠5.74°	9.226∠169.44°
<b>kE2E</b>	L1-L2	61.907∠3.47°	13.104∠-30.24°	4.724∠33.72°
	L2-L3	16.367∠-106.59°	20.215∠-174.26°	0.81∠67.67°
	L3-L1	58.354∠168.2°	12.315∠44.44°	4.738∠123.76°

Πίνακας 3.35: Τάσεις, ρεύματα και φαινόμενη σύνθετη αντίσταση στον Η/Ν SEL-311B για σφάλματα φάσης στο 120% της γραμμής μεταφοράς του προστατευόμενου δικτύου

<b>ΠΟΛΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ, ΡΕΥΜΑΤΑ ΦΑΣΕΩΝ &amp; ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΣΥΝΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΟΝ Η/Ν SEL-311B ΓΙΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΦΑΣΗΣ ΣΤΟ 150% ΤΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ</b>				
Σφάλμα	Φάσεις	$U_{L-L}^{311B}$ (V)	$I_{L-L}^{311B}$ (A)	$Z_{φαιν.}$ (Ω)
<b>k3</b>	L1-L2	19.754∠14°	19.518∠-53.67°	1.012∠67.67°
	L2-L3	19.754∠-106°	19.518∠-173.67°	1.012∠67.67°
	L3-L1	19.754∠134°	19.518∠66.33°	1.012∠67.67°
<b>k2</b>	L1-L2	98.444∠5.53°	9.759∠6.33°	10.087∠-0.79°
	L2-L3	19.754∠-106°	19.518∠-173.67°	1.012∠67.67°
	L3-L1	93.026∠174.14°	9.759∠6.33°	9.532∠167.81°
<b>kE2E</b>	L1-L2	66.005∠4.58°	12.374∠-27.75°	5.334∠32.33°
	L2-L3	19.754∠-106°	19.518∠-173.67°	1.012∠67.67°
	L3-L1	61.887∠167.2°	11.575∠43.13°	5.347∠124.07°

Πίνακας 3.36: Τάσεις, ρεύματα και φαινόμενη σύνθετη αντίσταση στον Η/Ν SEL-311B για σφάλματα φάσης στο 150% της γραμμής μεταφοράς του προστατευόμενου δικτύου

Από τους παραπάνω πίνακες εύκολα διαπιστώνεται ότι τουλάχιστον ένα από τα στοιχεία αποστάσεως των φάσεων που εμπλέκονται στο εκάστοτε σφάλμα μετράει τη σωστή σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας μέχρι το σφάλμα, η οποία είναι και η μικρότερη από τις άλλες δύο. Συνεπώς, οι ρυθμίσεις εμβέλειας για τα στοιχεία αποστάσεως φάσης είναι οι εξής:

$$Z1P = 0.574 \angle 67.67^\circ$$

$$Z2P = 0.81 \angle 67.67^\circ$$

$$Z3P = 1.012 \angle 67.67^\circ$$

### 3.5.3.2 Στοιχεία γης

Τα στοιχεία αποστάσεως γης ρυθμίζονται ώστε να ανιχνεύουν μονοφασικά βραχυκυκλώματα προς γη. Από την 1.8.2.2.1 παράγραφο, γνωρίζουμε ότι, για τα σφάλματα αυτά, ο H/N μετράει σωστά τη σύνθετη αντίσταση μέχρι το σφάλμα, αν του δοθούν ως είσοδοι οι φασικές τάσεις και τα αντισταθμισμένα ρεύματα γραμμής, τα οποία υπολογίζονται βάσει του τύπου

$$I_{L,comp.} = I_L + k_0 \cdot 3I_0$$

Αξιοποιώντας λοιπόν και πάλι τα αποτελέσματα της μελέτης βραχυκυκλωμάτων που παρουσιάστηκαν στην 3.3 ενότητα, μπορούν να ευρεθούν οι ρυθμίσεις των εν λόγω στοιχείων του H/N SEL-311B. Ο Πίνακας 3.37 δείχνει ότι τουλάχιστον το στοιχείο αποστάσεως γης που περιλαμβάνει τη φάση που εμπλέκεται στο σφάλμα μετράει τη σωστή σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας μέχρι το σφάλμα, η οποία είναι και η μικρότερη από αυτές που μετρώνται από τα άλλα δύο στοιχεία. Τονίζεται ότι οι τάσεις  $U_{L-E}^{311B}$ , τα ρεύματα  $I_{L,comp.}^{311B}$  και η φαινόμενη σύνθετη αντίσταση  $Z_{φαιν.}$  αναγράφονται σε τιμές δευτερεύοντος των Μ/Σ τάσης και έντασης του H/N.

ΤΑΣΕΙΣ, ΡΕΥΜΑΤΑ & ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΣΥΝΘΕΤΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΤΟΝ H/N SEL-311B ΓΙΑ ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ				
Σημείο σφάλματος	Φάση	$U_{L-E}^{311B}$ (V)	$I_{L,comp.}^{311B}$ (A)	$Z_{φαιν.}$ (Ω)
85%	L1	13.506 $\angle$ -13.74 <sup>o</sup>	23.55 $\angle$ -81.41 <sup>o</sup>	0.574 $\angle$ 67.67 <sup>o</sup>
	L2	56.294 $\angle$ -105.29 <sup>o</sup>	9.151 $\angle$ -77.7 <sup>o</sup>	6.152 $\angle$ -27.6 <sup>o</sup>
	L3	57.645 $\angle$ 104.93 <sup>o</sup>	9.151 $\angle$ -77.7 <sup>o</sup>	6.299 $\angle$ -177.38 <sup>o</sup>
120%	L1	17.569 $\angle$ -12.65 <sup>o</sup>	21.7 $\angle$ -80.32 <sup>o</sup>	0.81 $\angle$ 67.67 <sup>o</sup>
	L2	56.43 $\angle$ -106.68 <sup>o</sup>	8.432 $\angle$ -76.6 <sup>o</sup>	6.692 $\angle$ -30.08 <sup>o</sup>
	L3	58.239 $\angle$ 106.14 <sup>o</sup>	8.432 $\angle$ -76.6 <sup>o</sup>	6.907 $\angle$ -177.26 <sup>o</sup>
150%	L1	20.571 $\angle$ -11.83 <sup>o</sup>	20.326 $\angle$ -79.5 <sup>o</sup>	1.012 $\angle$ 67.67 <sup>o</sup>
	L2	56.585 $\angle$ -107.69 <sup>o</sup>	7.898 $\angle$ -75.78 <sup>o</sup>	7.164 $\angle$ -31.9 <sup>o</sup>
	L3	58.666 $\angle$ 107.04 <sup>o</sup>	7.898 $\angle$ -75.78 <sup>o</sup>	7.428 $\angle$ -177.18 <sup>o</sup>

Πίνακας 3.37: Τάσεις, ρεύματα και φαινόμενη σύνθετη αντίσταση στον H/N SEL-311B για σφάλματα γης στη γραμμή μεταφοράς του προστατευόμενου δικτύου

Συνεπώς, οι ρυθμίσεις εμβέλειας για τα στοιχεία αποστάσεως γης είναι οι εξής:

$$Z1MG = 0.574 \angle 67.67^\circ$$

$$Z2MG = 0.81 \angle 67.67^\circ$$

$$Z3MG = 1.012 \angle 67.67^\circ$$

### 3.5.3.3 Υπολογισμός ρευμάτων λειτουργίας

Τα στοιχεία αποστάσεως του H/N SEL-311B επιτρέπεται να λειτουργήσουν μόνο αφού περάσουν από αρκετούς δευτερεύοντες ελέγχους ασφαλείας ώστε να εξασφαλιστεί ότι θα λειτουργήσουν ορθά και μόνο όταν πραγματικά χρειάζεται. Ένας από αυτούς τους ελέγχους είναι και ο έλεγχος της υπέρβασης των ρευμάτων λειτουργίας.

3.5.3.3.1 Στοιχεία φάσης

Έστω λοιπόν ότι πρέπει να υπολογιστεί η ελάχιστη τιμή της διαφοράς των ρευμάτων γραμμής η οποία θα πρέπει να ξεπεραστεί ώστε να επιτραπεί στα στοιχεία αποστάσεως φάσης 1<sup>ης</sup> ζώνης να λειτουργήσουν. Για να γίνει αυτό, υπολογίζονται οι διαφορές των ρευμάτων γραμμής των ελαχίστων σφαλμάτων φάσης που μπορούν να συμβούν στο 85% της γραμμής μεταφοράς.

Ελάχιστο σφάλμα	Φάσεις	$I_{L-L}$ (kA)
<b>k3</b>	L1-L2	0.573∠-53.67 <sup>ο</sup>
	L2-L3	0.573∠-173.67 <sup>ο</sup>
	L3-L1	0.573∠66.33 <sup>ο</sup>
<b>k2</b>	L1-L2	0.287∠6.33 <sup>ο</sup>
	L2-L3	0.574∠-173.67 <sup>ο</sup>
	L3-L1	0.287∠6.33
<b>kE2E</b>	L1-L2	0.39∠-31.19 <sup>ο</sup>
	L2-L3	0.574∠-173.64 <sup>ο</sup>
	L3-L1	0.356∠48.25 <sup>ο</sup>

Πίνακας 3.38: Εύρεση ελάχιστης διαφοράς ρευμάτων γραμμής για τη ρύθμιση του ρεύματος λειτουργίας των στοιχείων αποστάσεως φάσης 1<sup>ης</sup> ζώνης

Παρατηρούμε ότι οι διαφορές των ρευμάτων γραμμής που εμπεριέχουν τις φάσεις που εμπλέκονται στο εκάστοτε σφάλμα έχουν ίσα μέτρα. Έτσι, θεωρώντας ένα συντελεστή ασφαλείας  $N = 2$ , το ρεύμα λειτουργίας των στοιχείων αποστάσεως φάσης 1<sup>ης</sup> ζώνης βρίσκεται ως εξής:

$$I_{op,50PP1} = \frac{0.573 \text{ kA}}{N \cdot CTR_{311B}} = 9.555 \text{ A}$$

Το ρεύμα αυτό ελέγχεται ώστε να είναι μεγαλύτερο από τη μέγιστη διαφορά ρευμάτων γραμμής που εμφανίζεται κατά τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας και η οποία βρίσκεται μέσω των πινάκων της 3.2 ενότητας ότι είναι ίση με

$$I_{L-L,SS}^{311B} = \frac{\max(I_{L-L,SS})}{CTR_{311B}} = 6.582 \text{ A}$$

3.5.3.3.2 Στοιχεία γης

Έστω τώρα ότι πρέπει να υπολογιστούν τα δύο ρεύματα λειτουργίας των στοιχείων αποστάσεως γης 1<sup>ης</sup> ζώνης, τα οποία πρέπει να ξεπεραστούν ώστε να επιτραπεί η λειτουργία τους. Το πρώτο από αυτά είναι το ρεύμα λειτουργίας φάσης, το οποίο ρυθμίζεται βάσει του ελαχίστου ρεύματος μονοφασικού προς γη βραχυκυκλώματος στο 85% της γραμμής μεταφοράς. Θεωρώντας, λοιπόν, ένα συντελεστή ασφαλείας  $N = 2$  έχουμε:

$$I_{op,50L1} = \frac{0.392\angle-81.47^{\circ} \text{ kA}}{N \cdot CTR_{311B}} = 6.533 \text{ A}$$

Ελέγχεται αν αυτή η τιμή ρεύματος λειτουργίας είναι μεγαλύτερη από το μέγιστο ρεύμα γραμμής στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, το οποίο, βάσει της 3.2 ενότητας, είναι ίσο με



$$I_{L,SS}^{311B} = \frac{\max(I_{L,SS})}{CTR_{311B}} = 3.8 A$$

Το δεύτερο ρεύμα λειτουργίας που πρέπει να υπολογιστεί είναι το ρεύμα γης  $3I_0$ . Αυτό το ρεύμα μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να είναι αρκετά ευαίσθητο και να μπορεί να αναγνωρίσει ακόμη και σφάλματα ανοικτοκύκλωσης. Έτσι, μπορεί να τεθεί

$$I_{50GZ1} = 1.07 A$$

Ο τρόπος υπολογισμού αυτής της τιμής αναλύεται διεξοδικά στην 3.5.4.2 παράγραφο της επόμενης υποενότητας.

#### 3.5.3.4 Υπολογισμός χρόνων λειτουργίας

Έστω ότι θα χρησιμοποιηθούν κοινά χρονικά για τα στοιχεία φάσης και γης των ζωνών προστασίας αποστάσεως. Έχει ήδη θεωρηθεί ότι η 1<sup>η</sup> ζώνη προστασίας θα πρέπει να τεθεί ώστε να λειτουργεί στιγμιαία, η 2<sup>η</sup> με καθυστέρηση 200 msec και η 3<sup>η</sup> με καθυστέρηση 800 msec. Επειδή η ρύθμιση των χρόνων αυτών εντός του H/N SEL-311B γίνεται σε κύκλους και όχι σε κλάσματα δευτερολέπτου, έχουμε τις εξής ισοδυναμίες:

$$200 \text{ msec} \Leftrightarrow 50 \text{ Hz} \cdot 200 \text{ msec} = 10 \text{ κύκλους}$$

$$800 \text{ msec} \Leftrightarrow 50 \text{ Hz} \cdot 800 \text{ msec} = 40 \text{ κύκλους}$$

#### 3.5.4 Προστασία υπερεντάσεως

Έστω τώρα ότι επιθυμείται να υλοποιηθεί με τους διαθέσιμους εργαστηριακούς H/N ένα σχήμα προστασίας υπερεντάσεως που θα παρέχει στη γραμμή μεταφοράς δευτερεύουσα (ή και τριτεύουσα) προστασία. Μιας και δεν υπάρχει κάποιο φορτίο συνδεδεμένο επί του ζυγού «HV NODE 1», μπορεί να θεωρηθεί ότι τα στοιχεία υπερεντάσεως δευτερεύοντος του H/N SEL-587 πρέπει να ρυθμιστούν ώστε να λειτουργούν ως αντίγραφα των στοιχείων υπερεντάσεως του H/N SEL-311B.

Βάσει του [27], τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης ρυθμίζονται ώστε να προστατεύουν από τριφασικά σφάλματα, τα στοιχεία υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας από διφασικά σφάλματα με ή χωρίς γη και τα στοιχεία γης από μονοφασικά προς γη σφάλματα. Επισημαίνεται ότι η ρύθμιση των στοιχείων υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας και γης θα πρέπει να γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε να μην λειτουργούν για τις φυσιολογικές ασυμμετρίες του φορτίου, αλλά να μπορούν να αναγνωρίσουν και να παρέχουν προστασία έναντι μονοφασικών ή διφασικών ανοικτοκυκλωμάτων στο δίκτυο. Για το σκοπό αυτό θα αξιοποιηθούν τα αποτελέσματα της μελέτης ανοικτοκυκλωμάτων που παρουσιάστηκαν στην 3.4 ενότητα.

Ακόμη, πρέπει να αναφερθούν στο σημείο αυτό τα εξής:

- Οι καμπύλες αντιστρόφου χρόνου που υπάρχουν από κοινού στους H/N του εργαστηριακού συστήματος προστασίας είναι οι U1-U4 και C1-C4. (Ο H/N SEL-587 δεν διαθέτει τις καμπύλες U5 αι C5.)
- Ο H/N SEL-311B διαθέτει στοιχεία υπερεντάσεως φάσης, αρνητικής ακολουθίας και γης αντιστρόφου, σταθερού και στιγμιαίου χρόνου. Ο H/N SEL-587 διαθέτει στοιχεία

υπερεντάσεως φάσης και γης αντιστρόφου, σταθερού και στιγμιαίου χρόνου καθώς και στοιχεία αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου και σταθερού χρόνου.

### 3.5.4.1 Στοιχεία φάσης αντιστρόφου χρόνου

Για την ρύθμιση των στοιχείων υπερεντάσεως φάσης αντιστρόφου χρόνου θα χρησιμοποιηθούν τα μέγιστα αλλά και τα ελάχιστα ρεύματα βραχυκυκλωμάτων στους ζυγούς του δικτύου. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να αντληθούν από την 3.3 ενότητα. Δημιουργείται έτσι ο παρακάτω πίνακας.

Σημείο σφάλματος	Είδος σφάλματος	$ I''_{kmax} $ (kA)	$ I''_{kmin} $ (kA)
HV NODE 1	k3	0.408	0.371
	k1	0.545	0.495
	k2	0.353	0.321
	kE2E	0.545	0.487
HV NODE 2	k3	0.359	0.325
	k1	0.418	0.377
	k2	0.311	0.282
	kE2E	0.41	0.341

Πίνακας 3.39: Μέγιστα και ελάχιστα ρεύματα γραμμής λόγω σφαλμάτων στους ζυγούς του δικτύου όπως αυτά υπολογίζονται μέσω του λογισμικού NEPLAN®

Λαμβάνοντας υπόψιν το [37], έστω ότι επιλέγουμε χρόνο καθυστέρησης ίσο με  $t_c = 0.2 \text{ sec}$  και συντελεστή ασφαλείας  $N = 2$ . Η εκλογή του  $t_c$  έγινε σκεπτόμενοι ότι έχουμε να κάνουμε με ψηφιακούς Η/Ν, οι οποίοι κατά κανόνα έχουν γρηγορότερους χρόνους απόκρισης και μεγαλύτερη ακρίβεια. Ο συντελεστής ασφαλείας  $N$  ορίστηκε στην τιμή αυτή ελέγχοντας πρώτα ότι δεν υπάρχει περίπτωση να λειτουργήσει κάποιο στοιχείο υπερεντάσεως φάσης λόγω ρεύματος φορτίου, δηλαδή ότι

$$\frac{|I''_{k3min,HV \text{ NODE } 2}|}{N} > \max(|I_{SS,HV \text{ NODE } 2}|) \Rightarrow \frac{0,325 \text{ kA}}{2} > 0.114 \text{ kA} \Rightarrow 0.163 \text{ kA} > 0.114 \text{ kA}$$

#### 3.5.4.1.1 Υπολογισμός ρευμάτων λειτουργίας

Το στοιχείο υπερέντασης φάσης αντιστρόφου χρόνου του Η/Ν SEL-311B θέλουμε να λειτουργεί με σιγουριά για το ελάχιστο τριφασικό σφάλμα που μπορεί να συμβεί στο ζυγό «HV NODE 2». Συνεπώς το ρεύμα λειτουργίας του βρίσκεται ως εξής:

$$I_{op,51P,311B} = \frac{|I''_{k3min,HV \text{ NODE } 2}|}{N \cdot CTR_{311B}} = \frac{325}{2 \cdot 30} = 5.417 \text{ A}$$

Το στοιχείο υπερέντασης φάσης αντιστρόφου χρόνου δευτερεύοντος του Η/Ν SEL-587 θέλουμε να λειτουργεί ως αντίγραφο του αντίστοιχου στοιχείου του Η/Ν SEL-311B και έτσι το ρεύμα λειτουργίας του θα είναι:

$$I_{op,51P,587 \text{ HV}} = \frac{|I''_{k3min,HV \text{ NODE } 2}|}{N \cdot CTR_{587,HV}} = \frac{325}{2 \cdot 150} = 1.083 \text{ A}$$

## 3.5.4.1.2 Υπολογισμός ρυθμίσεων χρονικής καθυστέρησης

Έστω ότι τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος θα πρέπει, χάριν επίτευξης της επιλογικότητας με τα προς τα κατάντη μέσα προστασίας, να λειτουργήσουν για το μέγιστο σφάλμα στο ζυγό «HV NODE 2» σε χρόνο  $t_{op,51P,HV\ NODE\ 2} = 0.7\ sec$ . Η ρύθμιση TD της καμπύλης που θα χρησιμοποιηθεί για τα εν λόγω στοιχεία βρίσκεται τότε από τις εξισώσεις των κοινών καμπυλών αντιστρόφου χρόνου των H/N τις οποίες μπορείτε να βρείτε στην 2.5.4.4 παράγραφο, αν απαιτήσουμε να είναι  $T_p = 0.7\ sec$  και το M ο λόγος του μέγιστου μετρούμενου ρεύματος σφάλματος γραμμής προς το ρεύμα λειτουργίας του στοιχείου. Ο Πίνακας 3.40 συνοψίζει τα TD που προέκυψαν από αυτή τη διαδικασία, ενώ ο Πίνακας 3.41 περιέχει τους χρόνους λειτουργίας των στοιχείων αυτών για το μέγιστο σφάλμα αμέσως μετά το ζυγό «HV NODE 1».

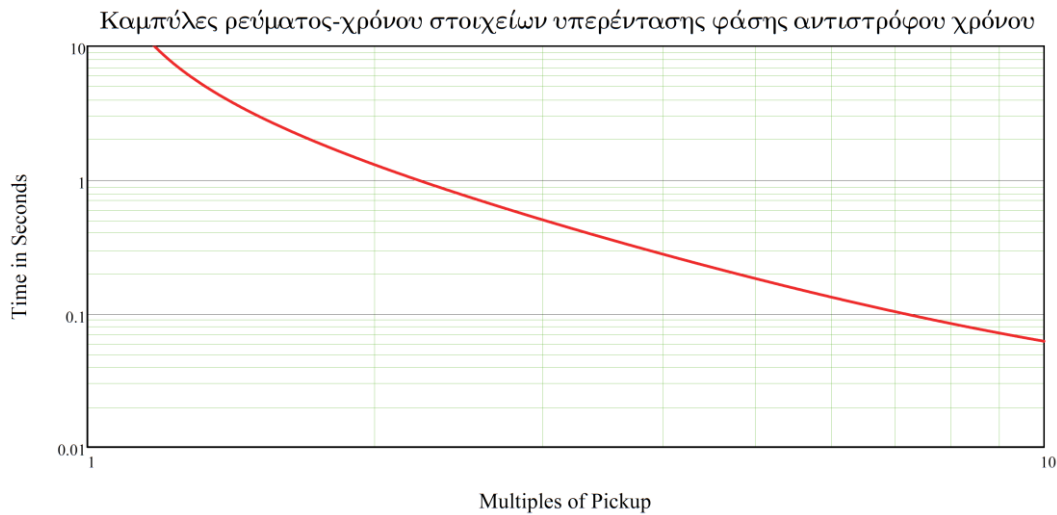
Καμπύλη αντιστρόφου χρόνου	TD στοιχείων φάσης αντιστρόφου χρόνου H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος
U1	1.233
U2	0.565
U3	0.889
U4	0.67
C1	0.095
C2	0.082
C3	0.049
C4	0.009

Πίνακας 3.40: Ρυθμίσεις TD που προέκυψαν για τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος αναλόγως της χρησιμοποιούμενης καμπύλης

Καμπύλη αντιστρόφου χρόνου	Χρόνος λειτουργίας στοιχείων υπερεντάσεως φάσης αντιστρόφου χρόνου H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος για το μέγιστο σφάλμα αμέσως μετά τον ζυγό «HV NODE 1» σε sec
U1	0.551
U2	0.43
U3	0.422
U4	0.394
C1	0.545
C2	0.468
C3	0.384
C4	0.468

Πίνακας 3.41: Χρόνοι λειτουργίας των στοιχείων υπερεντάσεως φάσης αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος σε περίπτωση εμφάνισης του μεγίστου σφάλματος αμέσως μετά το ζυγό «HV NODE 1» αναλόγως της χρησιμοποιούμενης καμπύλης

Παρατηρώντας τα υπολογισθέντα TD και τους χρόνους λειτουργίας των διαφόρων καμπυλών, εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι οι δύο καλύτερες καμπύλες είναι η U4 και η C3. Έστω, λοιπόν, ότι επιλέγεται η καμπύλη U4 για την οποία έχει προκύψει περισσότερο διακριτή τιμή TD.



Εικόνα 3.3: Καμπύλη ρεύματος-χρόνου λειτουργίας για τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης αντιστρόφου χρόνου των Η/Ν SEL-311B & SEL-587 δευτερεύοντος

### 3.5.4.2 Στοιχεία γης αντιστρόφου χρόνου

Για την ρύθμιση των στοιχείων υπερεντάσεως γης αντιστρόφου χρόνου πρέπει να ευρεθούν τα μέγιστα αλλά και τα ελάχιστα ρεύματα  $|3I_0| = |I_{L1} + I_{L2} + I_{L3}|$  των σφαλμάτων στους ζυγούς του προστατευόμενου δικτύου. Αξιοποιώντας τα δεδομένα από την 3.3 και 3.4 ενότητα, δημιουργείται ο παρακάτω πίνακας.

Σημείο σφάλματος	Είδος σφάλματος	$ 3I_{kmax(0)} $ (kA)	$ 3I_{kmin(0)} $ (kA)
HV NODE 1	k1	0.545	0.495
	kE2E	0.819	0.744
	o1	-	0.049
	o2	-	0.048
HV NODE 2	k1	0.418	0.377
	kE2E	0.5	0.448
	o1	-	0.049
	o2	-	0.048

Πίνακας 3.42: Μέγιστα και ελάχιστα ρεύματα μηδενικής ακολουθίας  $|3I_0|$  λόγω σφαλμάτων στους ζυγούς του προστατευόμενου δικτύου

Λαμβάνοντας υπόψιν το [37], έστω ότι επιλέγουμε χρόνο καθυστέρησης ίσο με  $t_c = 0.2 \text{ sec}$  και συντελεστή ασφαλείας  $N = 1.5$ . Η εκλογή του  $t_c$  έγινε σκεπτόμενοι ότι έχουμε να κάνουμε με ψηφιακούς Η/Ν, οι οποίοι κατά κανόνα έχουν γρηγορότερους χρόνους απόκρισης και μεγαλύτερη ακρίβεια. Η επιλογή της τιμής του  $N$  έγινε κάνοντας την παραδοχή ότι τα ρεύματα λειτουργίας που θα προκύψουν μέσω αυτού θα είναι μεγαλύτερα από αυτά που πιθανότατα θα οφείλονται σε τυχόν ασυμμετρίες του φορτίου, της γραμμής μεταφοράς λόγω μη αναστροφής των φάσεων κατά μήκος της και της αμοιβαίας σύζευξης μηδενικής ακολουθίας που μπορεί να υπάρχει [38], [39].

#### 3.5.4.2.1 Υπολογισμός ρευμάτων λειτουργίας

Το στοιχείο υπερέντασης γης αντιστρόφου χρόνου του Η/Ν SEL-311B θέλουμε να λειτουργεί με σιγουριά για το ελάχιστο μέτρο ρεύματος  $|3I_0|$  του μονοφασικού προς γη σφάλματος

βραχυκύκλωσης ή σφάλματος ανοικτοκύκλωσης που μπορεί να συμβεί στο ζυγό «HV NODE 2». Συνεπώς το ρεύμα λειτουργίας του βρίσκεται ως εξής:

$$I_{op,51G,311B} = \frac{\min(|3I''_{k1min(0),HVNODE2}|, |3I''_{o1min(0),HVNODE2}|, |3I''_{o2min(0),HVNODE2}|)}{N \cdot CTR_{311B}} \cong 1.07 \text{ A}$$

Το στοιχείο υπερέντασης γης αντιστρόφου χρόνου δευτερεύοντος του H/N SEL-587 θέλουμε να λειτουργεί ως αντίγραφο του αντίστοιχου στοιχείου του H/N SEL-311B και έτσι το ρεύμα λειτουργίας του θα είναι:

$$I_{op,51G,587,HV} = \frac{\min(|3I''_{k1min(0),HVNODE2}|, |3I''_{o1min(0),HVNODE2}|, |3I''_{o2min(0),HVNODE2}|)}{N \cdot CTR_{587,HV}}$$

$$\Rightarrow I_{op,51G,587,HV} = 0.214 \text{ A}$$

#### 3.5.4.2.2 Υπολογισμός ρυθμίσεων χρονικής καθυστέρησης

Εστω ότι τα στοιχεία υπερεντάσεως γης των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος θα πρέπει, χάριν επίτευξης της επιλογικότητας με τα προς τα κατάντη μέσα προστασίας, να λειτουργήσουν για το μέγιστο σφάλμα στο ζυγό «HV NODE 2» σε χρόνο  $t_{op,51G,HV \text{ NODE } 2} = 0.7 \text{ sec}$ . Η ρύθμιση TD της καμπύλης που θα χρησιμοποιηθεί για τα εν λόγω στοιχεία βρίσκεται τότε από τις εξισώσεις των κοινών καμπυλών αντιστρόφου χρόνου των H/N τις οποίες μπορείτε να βρείτε στην 2.5.4.4 παράγραφο, αν απαιτήσουμε να είναι  $T_p = 0.7 \text{ sec}$  και το M ο λόγος του μέγιστου μετρούμενου ρεύματος σφάλματος μηδενικής ακολουθίας  $|3I_0|$  προς το ρεύμα λειτουργίας του στοιχείου. Ο Πίνακας 3.43 παρουσιάζει τα TD που προέκυψαν από αυτή τη διαδικασία. Ο Πίνακας 3.44 περιλαμβάνει τους χρόνους λειτουργίας των στοιχείων αυτών για το μέγιστο σφάλμα αμέσως μετά το ζυγό «HV NODE 1».

Καμπύλη αντιστρόφου χρόνου	TD στοιχείων γης αντιστρόφου χρόνου H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος
U1	3.384
U2	3.42
U3	6.229
U4	11.926
C1	0.282
C2	0.755
C3	2.112
C4	0.085

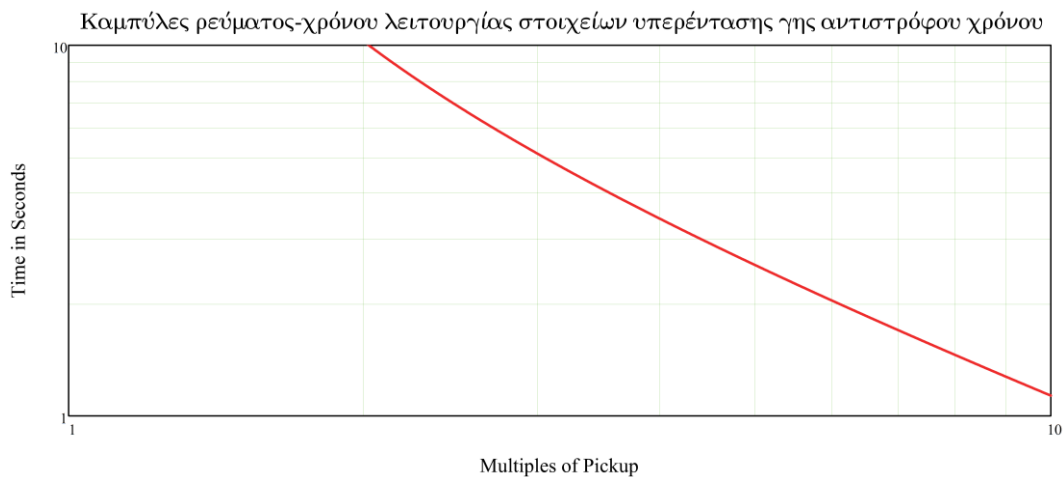
Πίνακας 3.43: Ρυθμίσεις TD που προέκυψαν για τα στοιχεία υπερεντάσεως γης αντιστρόφου χρόνου των H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος αναλόγως της χρησιμοποιούμενης καμπύλης

Καμπύλη αντιστρόφου χρόνου	Χρόνος λειτουργίας στοιχείων υπερεντάσεως γης αντιστρόφου χρόνου H/N SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος για μέγιστο σφάλμα αμέσως μετά τον ζυγό «HV NODE 1» σε sec
U1	0.602
U2	0.647
U3	0.637
U4	0.524
C1	0.59

C2	0.416
C3	0.26
C4	0.416

Πίνακας 3.44: Χρόνοι λειτουργίας των στοιχείων υπερεντάσεως γης αντιστρόφου χρόνου των Η/Ν SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος σε περίπτωση εμφάνισης του μεγίστου σφάλματος αμέσως μετά το ζυγό «HV NODE 1»

Παρατηρώντας τα υπολογισθέντα TD και τους χρόνους λειτουργίας των διαφόρων καμπυλών, εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι οι τρεις καλύτερες καμπύλες είναι οι C2, C3 και C4. Το πρόβλημα με την καμπύλη C3 είναι ότι οι εργαστηριακοί Η/Ν δεν μπορούν να ρυθμιστούν με  $TD > 1$ . Συνεπώς, αναγκαστικά πρέπει να επιλεγεί μία από τις άλλες δύο καμπύλες και έστω ότι αυτή είναι η C4.



Εικόνα 3.4: Καμπύλη ρεύματος-χρόνου λειτουργίας για τα στοιχεία υπερεντάσεως γης αντιστρόφου χρόνου των Η/Ν SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος

### 3.5.4.3 Στοιχεία αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου

Για την ρύθμιση των στοιχείων υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου πρέπει να υπολογιστούν τα μέγιστα αλλά και τα ελάχιστα ρεύματα  $|3I_2| = |I_{L1} + \alpha^2 I_{L2} + \alpha I_{L3}|$  των σφαλμάτων στους ζυγούς του δικτύου. Αξιοποιώντας τα δεδομένα στην 3.3 και 3.4 ενότητα, δημιουργείται ο Πίνακας 3.45.

Σημείο σφάλματος	Είδος σφάλματος	$ 3I_{kmax(2)}'' $ (kA)	$ 3I_{kmin(2)}'' $ (kA)
HV NODE 1	k1	0.545	0.495
	k2	0.611	0.556
	kE2E	0.202	0.184
	o1	-	0.047
	o2	-	0.048
HV NODE 2	k1	0.418	0.377
	k2	0.539	0.488
	kE2E	0.289	0.266
	o1	-	0.047
	o2	-	0.048

Πίνακας 3.45: Μέγιστα και ελάχιστα ρεύματα αρνητικής ακολουθίας  $|3I_2|$  λόγω σφαλμάτων στους ζυγούς του προστατευόμενου δικτύου

Λαμβάνοντας υπόψιν το [37], έστω ότι επιλέγουμε χρόνο καθυστέρησης ίσο με  $t_c = 0.2 \text{ sec}$  και συντελεστή ασφαλείας  $N = 1.5$ . Η εκλογή του  $t_c$  έγινε σκεπτόμενοι ότι έχουμε να κάνουμε με ψηφιακούς Η/Ν, οι οποίοι κατά κανόνα έχουν γρηγορότερους χρόνους απόκρισης και μεγαλύτερη ακρίβεια. Η επιλογή της τιμής του  $N$  έγινε κάνοντας την παραδοχή ότι τα ρεύματα λειτουργίας που θα προκύψουν μέσω αυτού θα είναι μεγαλύτερα από αυτά που πιθανότατα θα οφείλονται σε τυχόν ασυμμετρίες του φορτίου, της γραμμής μεταφοράς λόγω μη αναστροφής των φάσεων κατά μήκος της και της αμοιβαίας σύζευξης μηδενικής ακολουθίας που μπορεί να υπάρχει [38], [39].

#### 3.5.4.3.1 Υπολογισμός ρευμάτων λειτουργίας

Το στοιχείο υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου του Η/Ν SEL-311B θέλουμε να λειτουργεί με σιγουριά για το ελάχιστο μέτρο ρεύματος  $|3I_2|$  του διαφασικού σφάλματος βραχυκύκλωσης ή του σφάλματος ανοικτοκύκλωσης που μπορεί να συμβεί στο ζυγό «HV NODE 2». Συνεπώς το ρεύμα λειτουργίας του βρίσκεται ως εξής:

$$I_{op,51Q,311B} = \frac{\min(|3I_{k2min(2),HVNODE2}''|, |3I_{kE2Emin(2),HVNODE2}''|, |3I_{o1min(2),HVNODE2}''|, |3I_{o2min(2),HVNODE2}''|)}{N \cdot CTR_{311B}}$$

$$\Rightarrow I_{op,51Q,311B} \cong 1.044 \text{ A}$$

Το στοιχείο υπερέντασης αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου δευτερεύοντος του Η/Ν SEL-587 θέλουμε να λειτουργεί ως αντίγραφο του αντίστοιχου στοιχείου του Η/Ν SEL-311B και έτσι το ρεύμα λειτουργίας του θα είναι:

$$I_{op,51Q,587,HV} = \frac{\min(|3I_{k2min(2),HVNODE2}''|, |3I_{kE2Emin(2),HVNODE2}''|, |3I_{o1min(2),HVNODE2}''|, |3I_{o2min(2),HVNODE2}''|)}{N \cdot CTR_{587,HV}}$$

$$\Rightarrow I_{op,51Q,587,HV} \cong 0.209 \text{ A}$$

#### 3.5.4.3.2 Υπολογισμός ρυθμίσεων χρονικής καθυστέρησης

Έστω ότι τα στοιχεία υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου των Η/Ν SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος θα πρέπει, χάριν επίτευξης της επιλογικότητας με τα προς τα κατάντη μέσα προστασίας, να λειτουργήσουν για το μέγιστο σφάλμα στο ζυγό «HV NODE 2» σε χρόνο  $t_{op,51Q,HV \text{ NODE } 2} = 0.7 \text{ sec}$ . Η ρύθμιση TD της καμπύλης που θα χρησιμοποιηθεί για τα εν λόγω στοιχεία βρίσκεται τότε από τις εξισώσεις των κοινών καμπυλών αντιστρόφου χρόνου των Η/Ν τις οποίες μπορείτε να βρείτε στην 2.5.4.4 παράγραφο, αν απαιτήσουμε να είναι  $T_p = 0.7 \text{ sec}$  και το  $M$  ο λόγος του μέγιστου μετρούμενου ρεύματος σφάλματος  $|3I_2|$  προς το ρεύμα λειτουργίας του στοιχείου. Τα TD που προέκυψαν από αυτή τη διαδικασία καθώς και οι χρόνοι λειτουργίας των στοιχείων αυτών για το μέγιστο σφάλμα αμέσως μετά το ζυγό «HV NODE 1» δίνονται συνοπτικά στους παρακάτω πίνακες.

Καμπύλη αντιστρόφου χρόνου	TD στοιχείων αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου Η/Ν SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος
U1	3.495
U2	3.496
U3	6.394
U4	12.856
C1	0.293
C2	0.84
C3	2.577
C4	0.094

Πίνακας 3.46: Ρυθμίσεις TD που προέκυψαν για τα στοιχεία υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου των Η/Ν SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος αναλόγως της χρησιμοποιούμενης καμπύλης

Καμπύλη αντιστρόφου χρόνου	Χρόνος λειτουργίας στοιχείων υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου Η/Ν SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος για το μέγιστο σφάλμα αμέσως μετά τον ζυγό «HV NODE 1» σε sec
U1	0.673
U2	0.684
U3	0.681
U4	0.644
C1	0.669
C2	0.612
C3	0.543
C4	0.612

Πίνακας 3.47: Χρόνοι λειτουργίας των στοιχείων υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου των Η/Ν SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος σε περίπτωση εμφάνισης του μεγίστου σφάλματος αμέσως μετά το ζυγό «HV NODE 1»

Παρατηρώντας τα υπολογισθέντα TD και τους χρόνους λειτουργίας των διαφόρων καμπυλών, εύκολα συμπεραίνει κανείς ότι οι τρεις καλύτερες καμπύλες είναι οι C2, C3 και C4. Το πρόβλημα με την καμπύλη C3 είναι ότι οι εργαστηριακοί Η/Ν δεν μπορούν να ρυθμιστούν με  $TD > 1$ . Συνεπώς, έστω ότι επιλέγεται η καμπύλη C4.



Εικόνα 3.5: Καμπύλη ρεύματος-χρόνου λειτουργίας για τα στοιχεία υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου των Η/Ν SEL-311B και SEL-587 δευτερεύοντος



### 3.5.4.4 Στοιχεία φάσης σταθερού χρόνου

Ο Πίνακας 3.48 δημιουργήθηκε διερευνώντας τους χρόνους λειτουργίας των στοιχείων υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου στα οποία καταλήξαμε για τα ελάχιστα ρεύματα βραχυκύκλωσης που μπορούν να εμφανιστούν στο ζυγό «HV NODE 2».

Ελάχιστο σφάλμα	Στοιχείο	t <sub>op</sub> (sec)
k3	51P	1.29
k1	51P	0.891
	51G	0.949
	51Q	1.027
k2	51P	1.912
	51Q	0.777
kE2E	51P	1.14
	51G	0.788
	51Q	1.516

Πίνακας 3.48: Χρόνοι λειτουργίας στοιχείων υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου για τα ελάχιστα ρεύματα σφάλματος βραχυκύκλωσης στο ζυγό «HV NODE 2»

Από τα δεδομένα αυτά, διαπιστώνεται ότι οι χρόνοι λειτουργίας των στοιχείων υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου είναι ολίγον υψηλοί, ειδικά στην περίπτωση των τριφασικών βραχυκυκλωμάτων. Προσπαθώντας να επιταχυνθεί η εκκαθάριση αυτών των σφαλμάτων, επιθυμείται να χρησιμοποιηθούν στοιχεία υπερεντάσεως φάσης σταθερού χρόνου, τα ρεύματα λειτουργίας των οποίων θα πρέπει να τεθούν σε επαρκώς υψηλά επίπεδα ώστε να μην λειτουργούν για αρκετά απομακρυσμένα από το ζυγό «HV NODE 2» σφάλματα και συνεπώς να μην υπονομεύεται ιδιαίτερως η επιλογικότητα των μέσων προστασίας. Τα ρεύματα λειτουργίας αυτών των στοιχείων υπολογίζονται ως εξής:

$$I_{op,50P,311B} = \frac{\min(|I_{kmin,HV\ NODE\ 2}''|)}{CTR_{311B}} \cong 9.4\ A$$

$$I_{op,50P,587\ HV} = \frac{\min(|I_{kmin,HV\ NODE\ 2}''|)}{CTR_{587,HV}} \cong 1.88\ A$$

Οι χρόνοι λειτουργίας των στοιχείων υπερεντάσεως σταθερού χρόνου μπορούν να τεθούν στα 0.8 sec (40 κύκλοι).

### 3.5.4.5 Στοιχεία γης & αρνητικής ακολουθίας σταθερού χρόνου

Διερευνώντας τους χρόνους λειτουργίας των στοιχείων υπερεντάσεως για τα ρεύματα σφάλματος ανοικτοκύκλωσης δημιουργείται ο παρακάτω πίνακας.

Σφάλμα	Στοιχείο	t <sub>op</sub> (sec)
o1	51G	19.678
	51Q	22.668
o2	51G	20.393
	51Q	21.133

Πίνακας 3.49: Χρόνοι λειτουργίας στοιχείων υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου για τα ελάχιστα ρεύματα σφάλματος ανοικτοκύκλωσης στο ζυγό «HV NODE 2»

Από τα δεδομένα αυτά, διαπιστώνεται ότι οι χρόνοι λειτουργίας των στοιχείων είναι ιδιαίτερος υψηλοί και χρήζουν σημαντικής βελτίωσης. Για να επιτευχθεί αυτή η βελτίωση, επιθυμείται να χρησιμοποιηθούν στοιχεία υπερεντάσεως γης και αρνητικής ακολουθίας σταθερού χρόνου με ρεύματα λειτουργίας όμοια με αυτά που υπολογίστηκαν για τα αντίστοιχα στοιχεία υπερεντάσεως αντιστρόφου χρόνου και χρόνους λειτουργίας 5 sec (250 κύκλοι).

### 3.5.5 Προστασία υπερτάσεως & υποτάσεως

Πέραν της κύριας προστασίας αποστάσεως και της δευτερεύουσας προστασίας υπερεντάσεως της γραμμής, έστω ότι επιθυμείται να χρησιμοποιηθούν και τα στοιχεία τάσεως του Η/Ν με τα μεν στοιχεία υποτάσεως να ενεργοποιούνται όταν η τάσεις πέσουν κάτω από 90% της φυσιολογικής τους τιμής ως σήμανση συναγερμού και τα δε στοιχεία υπερτάσεως να ενεργοποιούνται και να ανοίγουν τον Δ/Ι αν οι τάσεις παραμείνουν πάνω από το 110% της φυσιολογικής τους τιμής για περισσότερο από 5 sec.

Συνεπώς, οι τάσεις λειτουργίας για τα στοιχεία υποτάσεως υπολογίζονται ως εξής:

$$V_{27P} = \frac{150kV \cdot 0.9}{\sqrt{3} \cdot PTR_{311B}} \cong 51.962 V$$

$$V_{27PP} = \frac{150kV \cdot 0.9}{PTR_{311B}} = 90 V$$

Τέλος, οι τάσεις λειτουργίας για τα στοιχεία υπερτάσεως υπολογίζονται ως εξής:

$$V_{59P} = \frac{150kV \cdot 1.1}{\sqrt{3} \cdot PTR_{311B}} \cong 63.509 V$$

$$V_{59PP} = \frac{150kV \cdot 1.1}{PTR_{311B}} = 110 V$$

Επισημαίνεται ότι για να υλοποιηθεί το άνοιγμα του Δ/Ι λόγω λειτουργίας της προστασίας υπερτάσεως μετά από 5 sec, αρκεί να χρησιμοποιηθεί ένα εκ των διαθέσιμων χρονικών του Η/Ν SEL-311B.

### 3.5.6 Λογική απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής

Για να ρυθμίσουμε τη λογική απευαισθητοποίησης της προστασίας αποστάσεως από τη φόρτιση της γραμμής πρέπει να υπολογιστεί η μετρούμενη από τον Η/Ν σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας κατά την μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Για το σκοπό αυτό

χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ροής φορτίου από την 3.2 ενότητα και σχηματίζεται ο Πίνακας 3.50.

Συντελεστής ισχύος φορτίου	Φορτίο (MVA)	$U_{L-E}^{311B}$ (V)	$I_L^{H/N}$ (A)	$Z_{(1)} = \frac{V_{(1)}}{I_{(1)}}$ ( $\Omega$ )
<b>1</b>	30	60.76 $\angle$ 25 $^\circ$	3.733 $\angle$ 22.8 $^\circ$	16.275 $\angle$ 2.2 $^\circ$
	15	61.096 $\angle$ 27.5 $^\circ$	1.833 $\angle$ 26.5 $^\circ$	33.325 $\angle$ 1 $^\circ$
<b>0.9 επαγ.</b>	30	60.585 $\angle$ 25.3 $^\circ$	3.8 $\angle$ -2.2 $^\circ$	15.943 $\angle$ 27.5 $^\circ$
	15	61.071 $\angle$ 27.7 $^\circ$	1.833 $\angle$ 1.1 $^\circ$	33.311 $\angle$ 26.6 $^\circ$
<b>0.8 επαγ.</b>	30	60.715 $\angle$ 25.7 $^\circ$	3.8 $\angle$ -12.4 $^\circ$	15.978 $\angle$ 38.1 $^\circ$
	15	60.622 $\angle$ 28 $^\circ$	1.867 $\angle$ -9.5 $^\circ$	32.476 $\angle$ 37.5 $^\circ$
<b>0.95 χωρ.</b>	30	60.052 $\angle$ 25.4 $^\circ$	3.7 $\angle$ 41.2 $^\circ$	16.23 $\angle$ -15.8 $^\circ$
	15	60.74 $\angle$ 27.7 $^\circ$	1.833 $\angle$ 44.7 $^\circ$	33.131 $\angle$ -17 $^\circ$

Πίνακας 3.50: Υπολογισμός μετρούμενων μέγιστων σύνθετων αντιστάσεων θετικής ακολουθίας στην μόνιμη κατάσταση λειτουργίας για τους διάφορους συντελεστές ισχύος του φορτίου

Ακολουθώντας την προτεινόμενη διαδικασία από το [17], έχουμε:

$$ZLF = 0.9 \cdot \min(Z_{(1)}) = 14.349 \Omega$$

$$PLAF = \max(\arg(Z_{(1)})) = 38.1^\circ$$

$$NLAF = \min(\arg(Z_{(1)})) = -17^\circ$$

Έτσι, οι ρυθμίσεις της λογικής απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής είναι

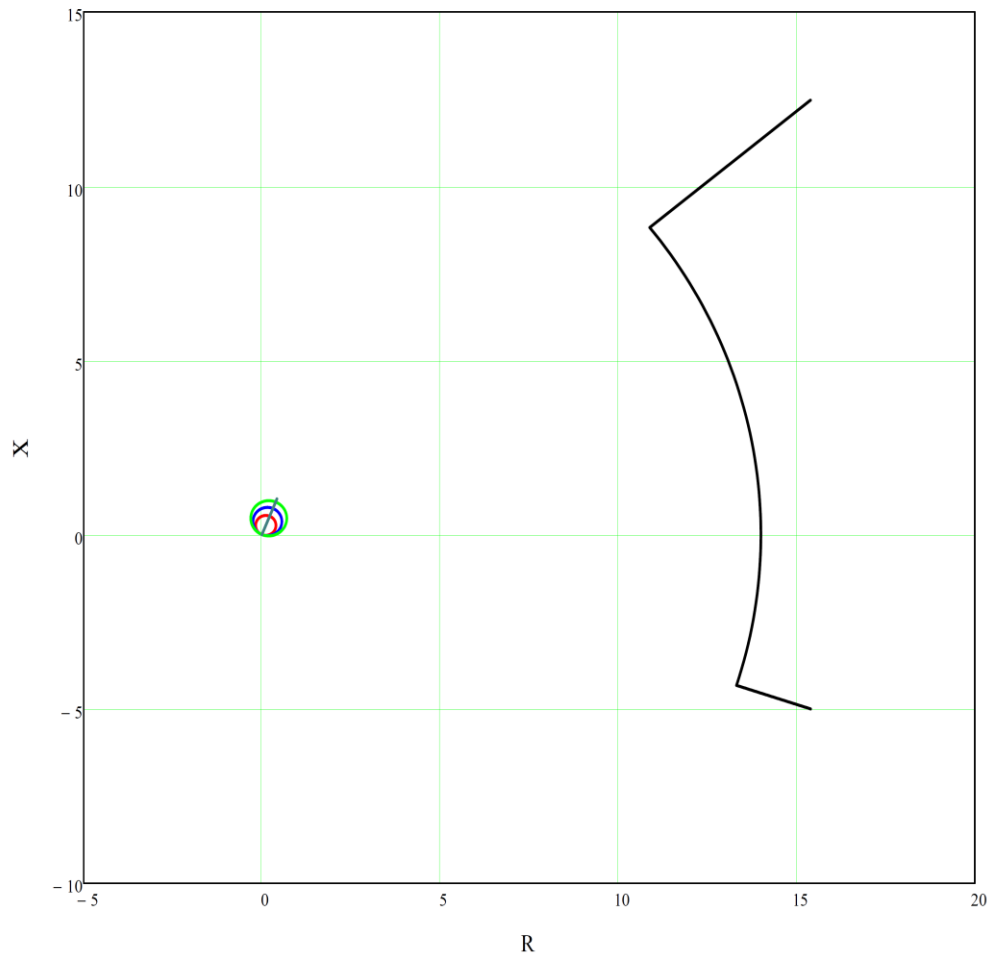
$$ZLF = 14 \Omega$$

$$PLAF = 39^\circ$$

$$NLAF = -18^\circ$$

Οι ρυθμίσεις που αφορούν τη ροή φορτίου προς την αντίθετη κατεύθυνση μπορούν να τεθούν σε κάτι που να μην επηρεάζει την λειτουργία της προστασίας καθ' οιονδήποτε τρόπο μιας και δεν υπάρχει περίπτωση αντιστροφής της ροής ισχύος στο συγκεκριμένο προστατευόμενο δίκτυο.

Στην Εικόνα 3.6 φαίνονται οι χαρακτηριστικές λειτουργίας των στοιχείων αποστάσεως και η χαρακτηριστική της λογικής απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής που μόλις υπολογίστηκε.



Εικόνα 3.6: Χαρακτηριστικές λειτουργίας στοιχείων αποστάσεως & λογικής απευαισθητοποίησης τους από τη φόρτιση της γραμμής μεταφοράς

### 3.5.7 Λογική αναγνώρισης κατάστασης διακόπτη ισχύος

Για τη ρύθμιση της λογικής αναγνώρισης της κατάστασης του Δ/Ι, η οποία παρουσιάζεται στην 2.5.11 υποενότητα, χρειάζεται να υπολογιστεί το ρεύμα λειτουργίας πάνω από το οποίο ο Η/Ν θα καταλαβαίνει ότι υπάρχει ροή φορτίου και άρα ο Δ/Ι είναι πολύ πιθανόν να είναι κλειστός. Για να γίνει αυτό, αξιοποιούνται τα αποτελέσματα στην 3.2 ενότητα και έτσι έχουμε:

$$I_{50LP} = \frac{\min(I_{SS,HV \text{ NODE } 1})}{1.5 \cdot CTR_{311B}} \cong 1.222 \text{ A}$$

### 3.5.8 Έλεγχος κατεύθυνσης

Για τον έλεγχο της κατεύθυνσης των σφαλμάτων, ο Η/Ν ρυθμίστηκε ώστε να κάνει αυτόματα τις ρυθμίσεις αυτές. Επίσης, όσον αφορά τη λογική σειρά με την οποία θα επιτρέπεται σε κάθε στοιχεία κατεύθυνσης γης να λειτουργήσει, επιλέχθηκε να έχει προτεραιότητα το στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας και να ακολουθεί το στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης μηδενικής ακολουθίας.

### 3.6 Ρύθμιση ψηφιακού H/N SEL-311B

Η ρύθμιση του εργαστηριακού H/N SEL-311B μπορεί να γίνει είτε με τη χρήση των κουμπιών που βρίσκονται στην πρόοπή του είτε μέσω του τερματικού του ειδικού προγράμματος [acSELerator QuickSet®](#) που παρέχει η εταιρεία [Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.](#) Στην παρούσα διπλωματική προτιμήθηκε ο δεύτερος τρόπος ρύθμισης λόγω της μεγαλύτερης ευελιξίας που παρουσίαζε.

#### 3.6.1 Σύντομη παρουσίαση του λογισμικού acSELerator QuickSet®

Στην υποενότητα αυτή θα παρουσιαστούν εν συντομία οι βασικότερες πτυχές του λογισμικού acSELerator QuickSet®. Ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει στο [40] αν θέλει να λάβει μια πλήρη εικόνα του εν λόγω λογισμικού.

Το λογισμικό acSELerator QuickSet® μπορεί:

- ✓ Να δημιουργήσει, να ελέγξει και να διαχειριστεί ρυθμίσεις οποιουδήποτε H/N της εταιρείας σε γραφικό περιβάλλον Windows®
- ✓ Να δώσει τη δυνατότητα στο χρήστη να ρυθμίσει τις εξισώσεις ελέγχου οποιουδήποτε H/N σχεδιάζοντάς τες γραφικά ως λογικό κύκλωμα
- ✓ Να επιβεβαιώσει τις εξισώσεις ελέγχου και τις αναφορές γεγονότων
- ✓ Να διαχειριστεί, να δημιουργήσει, να συνενώσει, να αντιγράψει και να διαβάσει τις ρυθμίσεις οποιουδήποτε H/N της εταιρείας χρησιμοποιώντας μια κατάλληλα σχεδιασμένη βάση δεδομένων
- ✓ Να προβάλλει μόνο τις ρυθμίσεις που θεωρούνται απαραίτητες αναλόγως της εφαρμογής
- ✓ Να σχεδιάσει ρυθμίσεις με χρήση τελεστών άλγεβρας Boole και μαθηματικών
- ✓ Να αποδώσει εύκολα αναγνωρίσιμα ψευδώνυμα σε οποιαδήποτε ρύθμιση ενός H/N
- ✓ Να σχεδιάσει ρυθμίσεις αναλόγως των απαιτήσεων του χρήστη και να τις κάνει ακόμη και να αναπροσαρμόζονται μέσω αυτόματων υπολογισμών

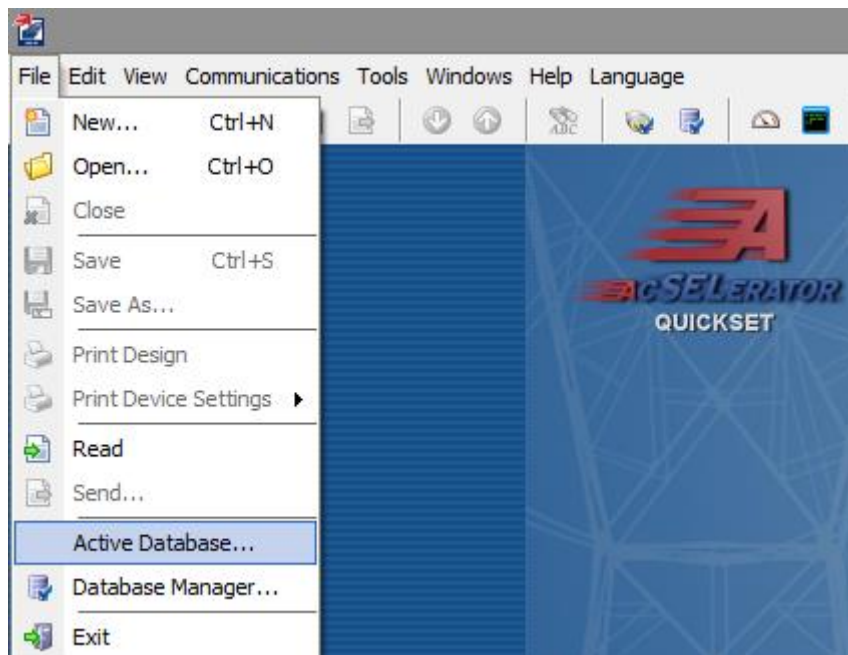
Το λογισμικό acSELerator QuickSet® έχει τρία κεντρικά παράθυρα:

- Το παράθυρο του επεξεργαστή ρυθμίσεων
- Το παράθυρο του επεξεργαστή προτύπου σχεδίασης
- Το παράθυρο προεπισκόπησης προτύπου σχεδίασης

##### 3.6.1.1 Διαχείριση της βάσης δεδομένων του λογισμικού

Το λογισμικό acSELerator QuickSet® χρησιμοποιεί μία βάση δεδομένων για να αποθηκεύσει τις ρυθμίσεις που δημιουργεί ο χρήστης. Για να δείτε ή και να αλλάξετε τη βάση δεδομένων που είναι ενεργή κάθε στιγμή, πηγαίνετε στο File→Active Database.

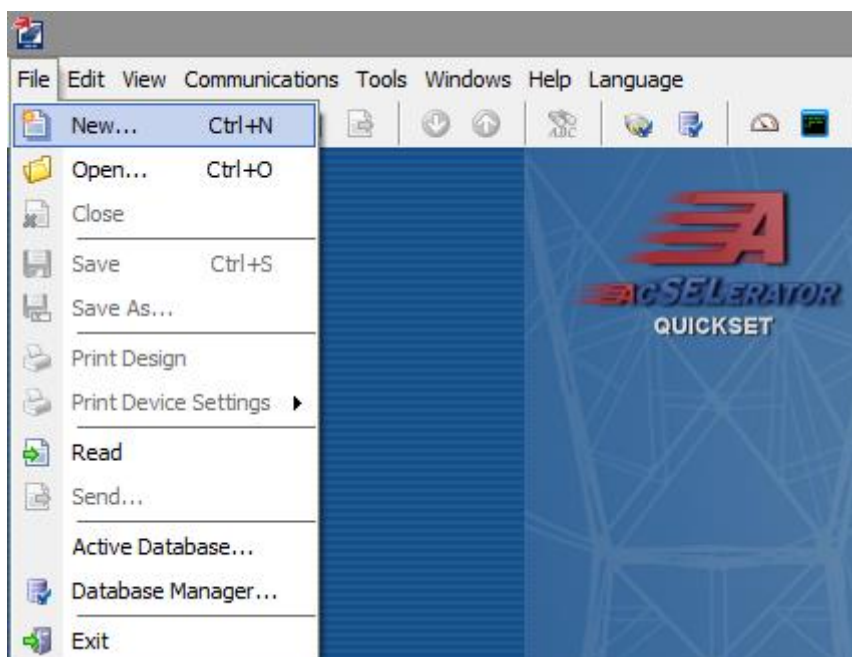
Το λογισμικό δίνει ακόμη τη δυνατότητα στο χρήστη να διαχειριστεί (μετονομασία, αντιγραφή, διαγραφή) τα περιεχόμενα της ενεργής βάσης δεδομένων αλλά και να μεταφέρει ή να αντιγράψει ρυθμίσεις από τη μία βάση δεδομένων σε μία άλλη από το File→Database Manager.



Εικόνα 3.7: Αλλαγή ενεργής βάσης δεδομένων & διαχειριστής βάσεων δεδομένων στο λογισμικό acSELERATOR QuickSet®

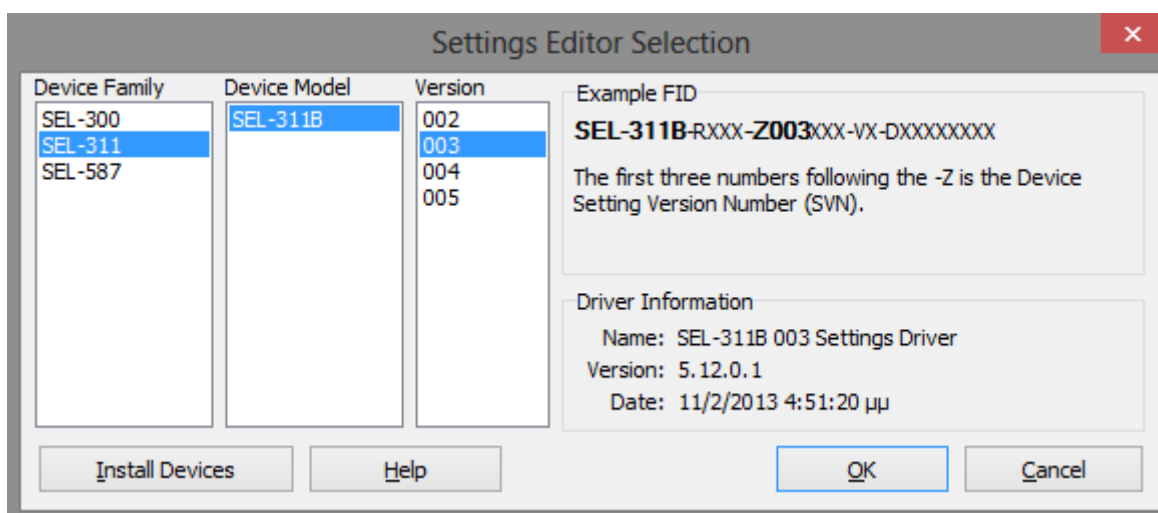
### 3.6.1.2 Δημιουργία νέου προτύπου σχεδίασης

Η δημιουργία ενός νέου προτύπου σχεδίασης ξεκινά επιλέγοντας File→New από τα μενού που υπάρχουν στο πάνω μέρος του παραθύρου του.



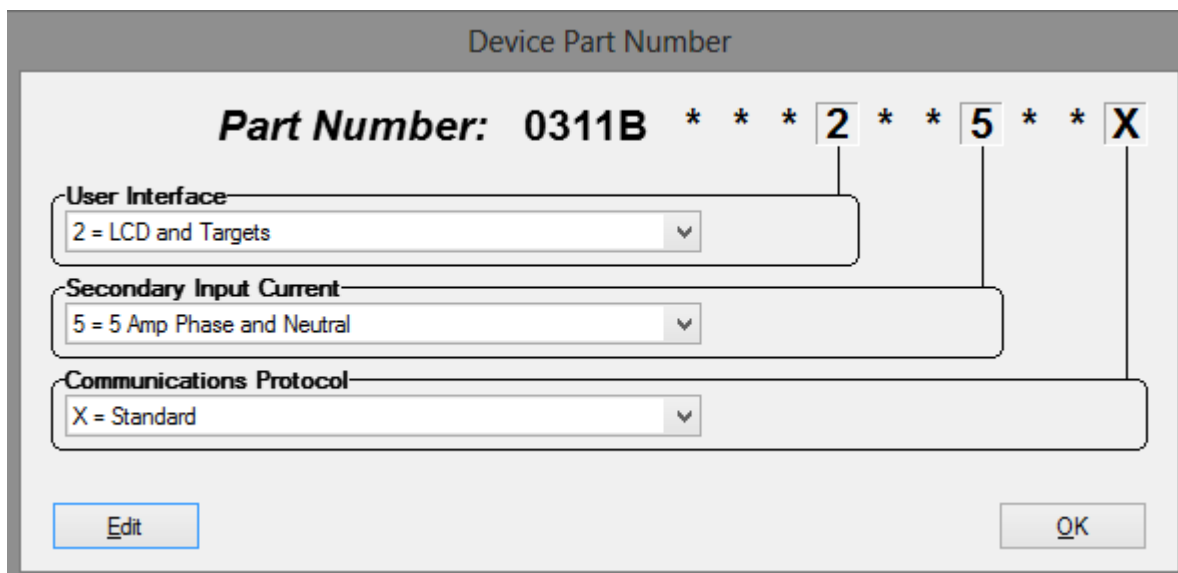
Εικόνα 3.8: Δημιουργία νέου προτύπου σχεδίαση στο λογισμικό acSELERATOR QuickSet®

Στη συνέχεια ο χρήστης καλείται να επιλέξει την οικογένεια του Η/Ν που τον ενδιαφέρει, το μοντέλο του και την έκδοσή του βάσει του χαρακτηριστικού Firmware Identifier (FID) που κάθε Η/Ν της εταιρείας διαθέτει.



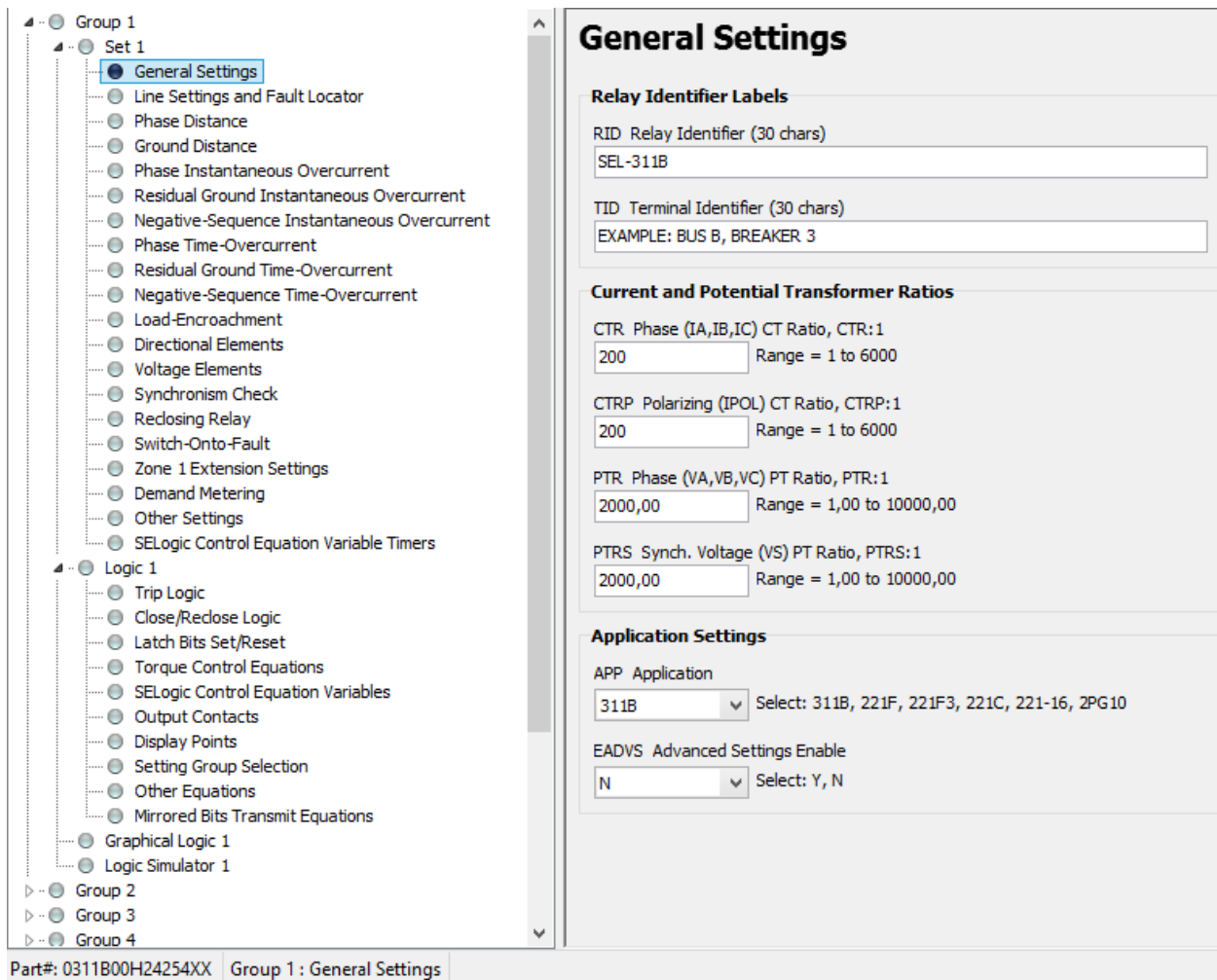
Εικόνα 3.9: Επιλογή οικογένειας, μοντέλου και έκδοσης του H/N για τον οποίο θα δημιουργηθεί το νέο πρότυπο σχεδίασης στο λογισμικό acSELerator QuickSet®

Εν συνεχεία είναι πιθανόν να ζητηθεί από το χρήστη να εισάγει το Part Number του H/N που μόλις επέλεξε.



Εικόνα 3.10: Εισαγωγή part number του H/N στο λογισμικό acSELerator QuickSet®

Μετά από αυτό το βήμα εμφανίζεται πλέον ο επεξεργαστής ρυθμίσεων μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να αποδώσει τιμές στις διάφορες ρυθμίσεις του H/N που επέλεξε.



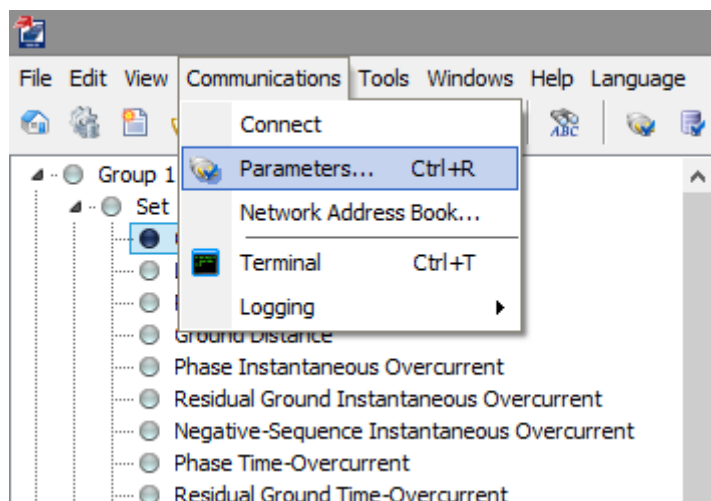
Εικόνα 3.11: Ο επεξεργαστής ρυθμίσεων του λογισμικού acSELerator QuickSet®

### 3.6.1.3 Ρυθμίσεις επικοινωνίας λογισμικού με τον Η/Ν

Για να επικοινωνήσει το λογισμικό acSELerator QuickSet® με τον επιθυμητό Η/Ν του εργαστηριακού συστήματος προστασίας ακολουθήστε τα εξής βήματα:

1. Συνδέστε τον υπολογιστή σας μέσω καλωδίου Ethernet με την οπίσθια θύρα ETH2 της συσκευής SEL-3354.
2. Απενεργοποιήστε την ασύρματη σύνδεσή σας και οποιοδήποτε firewall έχετε ενεργοποιημένο στον υπολογιστή σας.
3. Αναθέστε στην τοπική σύνδεση του υπολογιστή σας προς τη συσκευή SEL-3354 μία στατική IP διεύθυνση όπως π.χ. την 192.168.1.200.
4. Επιλέξτε από τα μενού στο άνω μέρος του παραθύρου του λογισμικού το Communications→Parameters.





Εικόνα 3.12: Μενού Communications στο λογισμικό acSELEerator QuickSet®

Εικόνα 3.13: Ρυθμίσεις επικοινωνίας του λογισμικού acSELEerator QuickSet® με κάποιον H/N του εργαστηριακού συστήματος προστασίας

5. Στο πεδίο «Host IP Address» συμπληρώστε την IP διεύθυνση που έχει ανατεθεί στη θύρα ΕΤΗ2. Κατά τη διάρκεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας η IP της θύρας ΕΤΗ2 ήταν η 192.168.1.180.
6. Στο πεδίο «Port Number» συμπληρώστε τον αριθμό θύρας που έχει ανατεθεί στον Η/Ν με τον οποίο επιθυμείτε να συνδεθείτε (Πίνακας 2.2).
7. Στο «File Transfer Option» επιλέξτε το «Raw TCP».
8. Στα πεδία «Level One/Two Password» συμπληρώστε τα προεπιλεγμένα συνθηματικά που έχουν δοθεί στους Η/Ν από την κατασκευάστρια εταιρεία και τα οποία συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

Συσκευή	Level One Password	Level Two Password	Level B Password	Level C Password
<b>SEL-311B</b>	OTTER	TAIL	EDITH	CLARKE
<b>SEL-587</b>	587	587	(δεν υπάρχει)	(δεν υπάρχει)
<b>SEL-300G</b>	OTTER	TAIL	EDITH	(δεν υπάρχει)

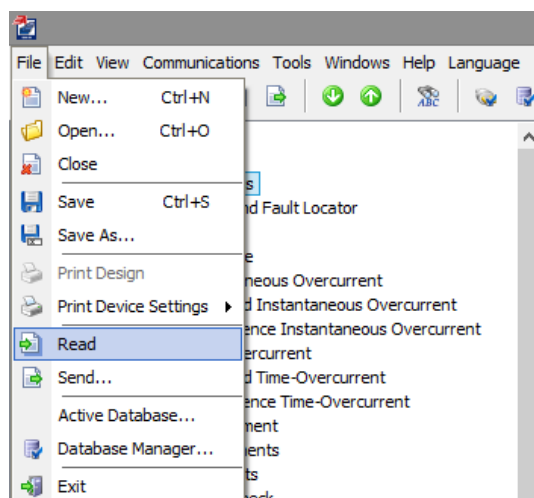
Πίνακας 3.51: Προρρυθμισμένα συνθηματικά επιπέδων ασφαλείας των Η/Ν του εργαστηριακού συστήματος προστασίας [17] [27] [29]

9. Πατήστε το «OK». Αν όλα είναι ρυθμιστήκαν σωστά, το λογισμικό θα καταφέρει να επικοινωνήσει με τον επιθυμητό Η/Ν.

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι το λογισμικό acSELerator QuickSet® έχει εγκατασταθεί και στη συσκευή PC και συνεπώς μπορείτε να συνδεθείτε και μέσω αυτής με όποιον Η/Ν θελήσετε αρκεί να αλλάξετε την «Host IP Address» από τις ρυθμίσεις του εν λόγω λογισμικού, αλλά και την ανάλογη ρύθμιση από το επίπεδο ρυθμίσεων «Port Server» του λογισμικού SubstationSERVER.NET™ που είναι εγκατεστημένο στη συσκευή SEL-3354 (βλ. 2.3.2.3 παράγραφο).

#### 3.6.1.4 Διάβασμα ρυθμίσεων από τον Η/Ν

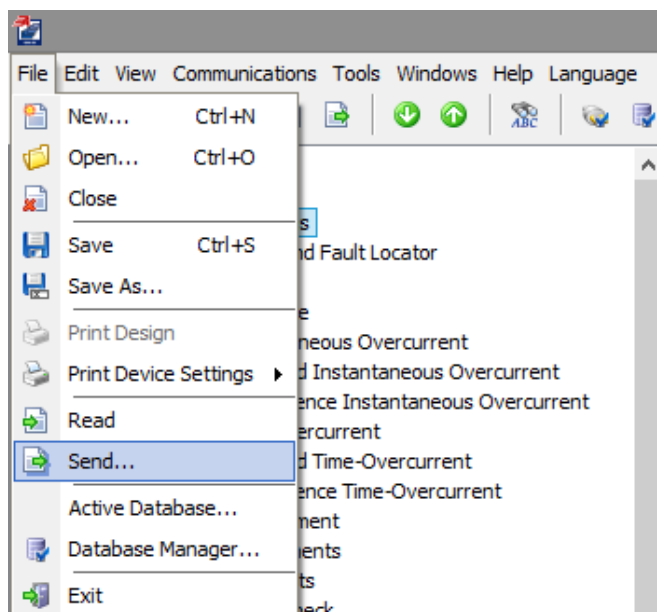
Έχοντας συνδεθεί με τον επιθυμητό Η/Ν μπορείτε να διαβάσετε τις υπάρχουσες ρυθμίσεις του επιλέγοντας File→Read. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας, δημιουργείται και ανοίγει αυτόματα ένας νέο επεξεργαστής ρυθμίσεων ώστε να μπορέσετε να δείτε τις εν λόγω ρυθμίσεις, να τις αλλάξετε, να τις αποθηκεύσετε, να τις συνενώσετε κ.ο.κ.



Εικόνα 3.14: Εντολή για διάβασμα των ρυθμίσεων από τον Η/Ν με τον οποίο έχετε συνδεθεί με το λογισμικό acSELerator QuickSet®

### 3.6.1.5 Αποστολή ρυθμίσεων προς τον H/N

Σε περίπτωση που θέλετε να στείλετε στον H/N κάποιες δικές σας ρυθμίσεις υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους μπορείτε να το καταφέρετε μέσω του λογισμικού acSELerator QuickSet®. Ο πρώτος τρόπος είναι απλά να ανοίξετε τον επεξεργαστή ρυθμίσεων που περιέχει τις ρυθμίσεις που θέλετε να αποστείλετε και να επιλέξετε File→Send. Με την εκτέλεση αυτής της εντολής, θα εμφανιστεί ένα παράθυρο που θα ζητάει από το χρήστη να δηλώσει ποια κομμάτια των ρυθμίσεων επιθυμεί να αποσταλούν στον H/N και εν συνεχεία θα εκκινήσει η διαδικασία αποστολής των επιλεγμένων ρυθμίσεων.



Εικόνα 3.15: Αποστολή ρυθμίσεων από το λογισμικό acSELerator QuickSet®

Ο δεύτερος τρόπος αποστολής των ρυθμίσεων χρησιμοποιεί απευθείας το τερματικό του λογισμικού, το οποίο ανοίγει πηγαίνοντας στο Communications→Terminal από τα μενού στο άνω μέρος του παραθύρου. Από το νέο παράθυρο που θα ανοίξει μπορείτε να δώσετε εντολές στον H/N και να στείλετε τις ρυθμίσεις σας μία προς μία μέσω αυτού. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται μερικές από τις εντολές τερματικού του H/N SEL-311B που θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε για να καταφέρετε να τον ρυθμίσετε με αυτό το τρόπο.

Εντολή	Επεξήγηση
<b>ACC</b>	Αίτηση για πρόσβαση στο επίπεδο 1
<b>2AC</b>	Αίτηση για πρόσβαση στο επίπεδο 2
<b>SET m</b>	Εκκίνηση διαδικασίας ρύθμισης για τα στοιχεία προστασίας και τις λογικές του H/N που περιλαμβάνονται στην ομάδα ρυθμίσεων m
<b>SET L m</b>	Εκκίνηση διαδικασίας ρύθμισης των εξισώσεων ελέγχου του H/N που περιλαμβάνονται στην ομάδα ρυθμίσεων m
<b>SET G</b>	Εκκίνηση διαδικασίας ρύθμισης των καθολικών ρυθμίσεων του H/N
<b>SET R</b>	Εκκίνηση διαδικασίας ρύθμισης των διαδοχικών αναφορών γεγονότων του H/N
<b>SET T</b>	Εκκίνηση διαδικασίας ρύθμισης των κειμένων που εμφανίζονται στην οθόνη του H/N
<b>SET P m</b>	Εκκίνηση διαδικασίας ρύθμισης της θύρας m του H/N

Πίνακας 3.52: Εντολές τερματικού για τη ρύθμιση του H/N SEL-311B μέσω του λογισμικού acSELerator QuickSet® [17]

### 3.6.1.6 Άλλες χρήσιμες δυνατότητες του λογισμικού (HMI, Event Reports)

Αξίζει να αναφερθεί ότι με το λογισμικό acSELeator QuickSet® ο χρήστης μπορεί επίσης:

- Να απεικονίσει την γραφικά κατάσταση του Η/Ν με τον οποίο έχει συνδεθεί από το Tools→HMI.
- Να αποθηκεύσει και να προβάλλει τις κλασσικές αναφορές γεγονότων που είναι αποθηκευμένες εντός του Η/Ν με τον οποίο έχει συνδεθεί από το Tools→Events.
- Να προβάλλει τις διαδοχικές αναφορές γεγονότων μέσω του τερματικού εκτελώντας την εντολή SER.
- Να προβάλλει οποιαδήποτε κλασσική αναφορά γεγονότων επιθυμεί απευθείας στο τερματικό μέσω της εντολής EVE n, όπου n είναι ο αριθμός της κλασσικής αναφοράς γεγονότων που τον ενδιαφέρει.

### 3.6.2 Συμπλήρωση φύλλων ρύθμισης Η/Ν SEL-311B

Βάσει των δεδομένων που προέκυψαν από τη μέχρι τώρα ανάλυση, ο Η/Ν SEL-311B ρυθμίστηκε συμπληρώνοντας τα φύλλα ρύθμισής του που περιλαμβάνονται εντός του [17] και εν συνεχεία αποστέλλοντας τις ρυθμίσεις αυτές από το τερματικό του λογισμικού acSELeator Quickset®. Τα συμπληρωμένα φύλλα ρύθμισης παρατίθενται στα επόμενα και αφορούν την πρώτη ομάδα ρυθμίσεων του Η/Ν μιας και αυτή είναι η μόνη ενεργή (βλ. εξισώσεις ελέγχου SS1-6).

## Relay Settings (Serial Port Command SET and Front Panel)

### Identifier Label

Relay Identifier (30 characters)	<b>RID</b>	=	<u>SEL-311B</u>
Terminal Identifier (30 characters)	<b>TID</b>	=	<u>LNR</u>

### Current and Potential Transformer Ratios

Phase (IA, IB, IC) Current Transformer Ratio (1–6000)	<b>CTR</b>	=	<u>30</u>
Polarizing (IPOL) Current Transformer Ratio (1–6000)	<b>CTRP</b>	=	<u>30</u>
Phase (VA, VB, VC) Potential Transformer Ratio (1.00–10000.00)	<b>PTR</b>	=	<u>1500</u>
Synchronism Voltage (VS) Potential Transformer Ratio (1.00–10000.00)	<b>PTRS</b>	=	<u>1500</u>

### Line Settings

Positive-sequence line impedance magnitude (0.05–255.00 Ω secondary { 5 A nom. }; 0.25–1275.00 Ω secondary { 1 A nom. })	<b>Z1MAG</b>	=	<u>0.68</u>
Positive-sequence line impedance angle (5.00–90.00 degrees)	<b>Z1ANG</b>	=	<u>67.67</u>
Zero-sequence line impedance magnitude (0.05–255.00 Ω secondary { 5 A nom. }; 0.25–1275.00 Ω secondary { 1 A nom. })	<b>Z0MAG</b>	=	<u>1.96</u>
Zero-sequence line impedance angle (5.00–90.00 degrees)	<b>Z0ANG</b>	=	<u>71.66</u>
Line length (0.10–999.00, unitless)	<b>LL</b>	=	<u>70</u>

### Application Settings

Application (311B, 221F, 221F3, 221C, 221-16, 2PG10)	<b>APP</b>	=	<u>311B</u>
------------------------------------------------------	------------	---	-------------

### Distance Settings

Mho phase distance element zones (N, 1–3, 1C–3C)	<b>E21P</b>	=	<u>3</u>
Mho ground distance element zones (N, 1–3)	<b>E21MG</b>	=	<u>3</u>

### Instantaneous/Definite-Time Overcurrent Enable Settings

Phase element levels (N, 1–3)	<b>E50P</b>	= <u>1</u>
Residual ground element levels (N, 1–3)	<b>E50G</b>	= <u>1</u>
Negative-sequence element levels (N, 1–3)	<b>E50Q</b>	= <u>1</u>

### Time-Overcurrent Enable Settings

Phase element (Y, N)	<b>E51P</b>	= <u>Y</u>
Residual ground element (Y, N)	<b>E51G</b>	= <u>Y</u>
Negative-sequence element (Y, N)	<b>E51Q</b>	= <u>Y</u>

### Other Enable Settings

Directional control (Y, AUTO)	<b>E32</b>	= <u>AYTO</u>
Load encroachment (Y, N)	<b>ELOAD</b>	= <u>Y</u>
Switch-onto-fault (Y, N)	<b>ESOTF</b>	= <u>Y</u>
Voltage elements (Y, N)	<b>EVOLT</b>	= <u>Y</u>
Synchronism check (Y, N)	<b>E25</b>	= <u>N</u>
Fault location (Y, N)	<b>EFLOC</b>	= <u>Y</u>
Loss-of-potential (Y, Y1, N)	<b>ELOP</b>	= <u>Y</u>
Busbar PT LOP logic (Y, N)	<b>EBBPT</b>	= <u>N</u>
Reclosures (N, 1–4)	<b>E79</b>	= <u>N</u>
Zone 1 extension (Y, N)	<b>EZ1EXT</b>	= <u>N</u>
CCVT transient detection (Y, N)	<b>ECCVT</b>	= <u>N</u>
SELOGIC <sup>®</sup> control equation Variable Timers (N, 1–16)	<b>ESV</b>	= <u>4</u>
SELOGIC latch bits (N, 1–16) (Set ELAT = N if no latches are required.)	<b>ELAT</b>	= <u>2</u>
SELOGIC display points (N, 1–16) (Set EDP = N if no latches are required.)	<b>EDP</b>	= <u>1</u>
Demand Metering (THM = Thermal; ROL = Rolling)	<b>EDEM</b>	= <u>THM</u>
Advanced settings (Y, N)	<b>EADVS</b>	= <u>N</u>

### Phase Distance Elements

(Number of mho phase distance element settings dependent on preceding enable setting)

E21P = 1-3, 1C-3C.)

Zone 1 (OFF, 0.05–64.00 Ω secondary {5 A nom.}; 0.25–320.00 Ω secondary {1 A nom.})	<b>Z1P</b>	= <u>0.57</u>
Zone 2 (OFF, 0.05–64.00 Ω secondary {5 A nom.}; 0.25–320.00 Ω secondary {1 A nom.})	<b>Z2P</b>	= <u>0.81</u>
Zone 3 (OFF, 0.05–64.00 Ω secondary {5 A nom.}; 0.25–320.00 Ω secondary {1 A nom.})	<b>Z3P</b>	= <u>1.01</u>

## Mho Phase Distance Fault Detector Settings

Zone 1 phase-to-phase current FD (0.5–170.00 A secondary {5 A nom.}; 0.1–34.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50PP1</b>	= <u>9.56</u>
Zone 2 phase-to-phase current FD <i>Setting is active when advanced user setting enable EADVS = Y. Otherwise, setting is made automatically.</i> (0.5–170.00 A secondary {5 A nom.}; 0.1–34.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50PP2</b>	= <u>(0.5)</u>
Zone 3 phase-to-phase current FD <i>Setting is active when advanced user setting enable EADVS = Y. Otherwise, setting is made automatically.</i> (0.5–170.00 A secondary {5 A nom.}; 0.1–34.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50PP3</b>	= <u>(0.5)</u>

## Mho Ground Distance Elements

(Number of mho ground distance element settings dependent on preceding enable setting  
E21MG = 1-3.)

Zone 1 (OFF, 0.05–64.00 Ω secondary {5 A nom.}; 0.25–320.00 Ω secondary {1 A nom.})	<b>Z1MG</b>	= <u>0.57</u>
Zone 2 (OFF, 0.05–64.00 Ω secondary {5 A nom.}; 0.25–320.00 Ω secondary {1 A nom.})	<b>Z2MG</b>	= <u>0.81</u>
Zone 3 (OFF, 0.05–64.00 Ω secondary {5 A nom.}; 0.25–320.00 Ω secondary {1 A nom.})	<b>Z3MG</b>	= <u>1.01</u>

## Mho Ground Distance Fault Detector Settings

(Number of mho ground distance element settings dependent on the preceding enable settings  
E21MG = 1-3.)

Zone 1 phase current FD (0.5–100.00 A secondary {5 A nom.}; 0.1–20.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50L1</b>	= <u>6.53</u>
Zone 2 phase current FD <i>Setting is active when advanced user setting enable EADVS = Y. Otherwise, setting is made automatically.</i> (0.5–100.00 A secondary {5 A nom.}; 0.1–20.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50L2</b>	= <u>(0.5)</u>

Zone 3 phase current FD <i>Setting is active when advanced user setting enable EADVS = Y. Otherwise, setting is made automatically.</i> (0.5–100.00 A secondary { 5 A nom. }; 0.1–20.00 A secondary { 1 A nom. })	<b>50L3</b>	= <u>(0.5)</u>
Zone 1 residual current FD (0.5–100.00 A secondary { 5 A nom. }; 0.1–20.00 A secondary { 1 A nom. })	<b>50GZ1</b>	= <u>1.07</u>
Zone 2 residual current FD <i>Setting is active when advanced user setting enable EADVS = Y. Otherwise, setting is made automatically.</i> (0.5–100.00 A secondary { 5 A nom. }; 0.1–20.00 A secondary { 1 A nom. })	<b>50GZ2</b>	= <u>(0.5)</u>
Zone 3 residual current FD <i>Setting is active when advanced user setting enable EADVS = Y. Otherwise, setting is made automatically.</i> (0.5–100.00 A secondary { 5 A nom. }; 0.1–20.00 A secondary { 1 A nom. })	<b>50GZ3</b>	= <u>(0.5)</u>

### Zero Sequence Compensation (ZSC) Settings

Zone 1 ZSC factor magnitude (0.000–6.000 unitless)	<b>k0M1</b>	= <u>0.634</u>
Zone 1 ZSC factor angle (–180.0° to +180.0°)	<b>k0A1</b>	= <u>6.08</u>
Zones 2 and 3 ZSC factor magnitude <i>Setting is active when advanced user setting enable EADVS = Y. Otherwise, setting is made automatically.</i> (0.000–6.000 unitless)	<b>k0M</b>	= <u>(0.634)</u>
Zone 2 and 3 ZSC factor angle <i>Setting is active when advanced user setting enable EADVS = Y. Otherwise, setting is made automatically.</i> (–180.0° to +180.0°)	<b>k0A</b>	= <u>(6.08)</u>

### Phase Distance Element Time Delays

(Number of mho phase distance element time delay settings dependent on preceding enable setting E21P = 1-3, 1C-3C.)

Zone 1 time delay (OFF, 0–16000 cycles)	<b>Z1PD</b>	= <u>OFF</u>
Zone 2 time delay (OFF, 0–16000 cycles)	<b>Z2PD</b>	= <u>OFF</u>
Zone 3 time delay (OFF, 0–16000 cycles)	<b>Z3PD</b>	= <u>OFF</u>



## Mho Ground Distance Element Time Delays

(Number of time delay element settings dependent on the preceding enable settings E21MG = 1-3.)

Zone 1 time delay (OFF, 0–16000 cycles)	<b>Z1GD</b>	= <u>OFF</u>
Zone 2 time delay (OFF, 0–16000 cycles)	<b>Z2GD</b>	= <u>OFF</u>
Zone 3 time delay (OFF, 0–16000 cycles)	<b>Z3GD</b>	= <u>OFF</u>

## Common Phase/Ground Distance Element Time Delay

(Number of time delay element settings dependent on the larger of preceding enable settings E21P = 1-3, 1C-3C or E21MG = 1-3.)

Zone 1 time delay (OFF, 0–16000 cycles)	<b>Z1D</b>	= <u>OFF</u>
Zone 2 time delay (OFF, 0–16000 cycles)	<b>Z2D</b>	= <u>10</u>
Zone 3 time delay (OFF, 0–16000 cycles)	<b>Z3D</b>	= <u>40</u>

## Phase Inst./Def.-Time Overcurrent Elements

(Number of phase element pickup settings dependent on preceding enable setting E50P = 1-3.)

Level 1 (OFF, 0.25–100.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–20.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50P1P</b>	= <u>9.4</u>
Level 2 (OFF, 0.25–100.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–20.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50P2P</b>	= <u>---</u>
Level 3 (OFF, 0.25–100.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–20.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50P3P</b>	= <u>---</u>

## Phase Definite-Time Overcurrent Element Time Delays

(Number of phase element time delay settings dependent on preceding enable setting E50P = 1-3.)

Level 1 (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>67P1D</b>	= <u>40</u>
Level 2 (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>67P2D</b>	= <u>---</u>
Level 3 (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>67P3D</b>	= <u>---</u>

## Residual Ground Inst./Def.-Time Overcurrent Elements

(Number of residual ground element pickup settings dependent on preceding enable setting E50G = 1-3.)

Level 1 (OFF, 0.25–100.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–20.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50G1P</b>	= <u>1.07</u>
Level 2 (OFF, 0.25–100.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–20.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50G2P</b>	= <u>---</u>
Level 3 (OFF, 0.25–100.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–20.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50G3P</b>	= <u>---</u>

## Residual Ground Definite-Time Overcurrent Element Time Delay

(Number of residual ground element time delay settings dependent on preceding enable setting E50G = 1-3.)

Level 1 (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>67G1D</b>	= <u>250</u>
Level 2 (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>67G2D</b>	= <u>---</u>
Level 3 (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>67G3D</b>	= <u>---</u>

## Negative-Sequence Inst./Def.-Time Overcurrent Elements

(Number of negative-sequence element time delay settings dependent on preceding enable setting E50Q = 1-3.)

Level 1 (OFF, 0.25–100.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–20.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50Q1P</b>	= <u>1.04</u>
Level 2 (OFF, 0.25–100.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–20.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50Q2P</b>	= <u>---</u>
Level 3 (OFF, 0.25–100.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–20.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50Q3P</b>	= <u>---</u>

## Negative-Sequence Definite-Time Overcurrent Element Time Delay

(Number of negative-sequence element time delay settings dependent on preceding enable setting E50Q = 1-3.)

Level 1 (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>67Q1D</b>	= <u>250</u>
Level 2 (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>67Q2D</b>	= <u>---</u>
Level 3 (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>67Q3D</b>	= <u>---</u>

## Phase Time-Overcurrent Element

(Make the following settings if preceding enable setting E51P = Y.)

Pickup (OFF, 0.25–16.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–3.20 A secondary {1 A nom.})	<b>51PP</b>	= <u>5.42</u>
Curve (U1–U5, C1–C5)	<b>51PC</b>	= <u>U4</u>
Time Dial (0.50–15.00 for curves U1–U5; 0.05–1.00 for curves C1–C5)	<b>51PTD</b>	= <u>0.67</u>
Electromechanical Reset (Y, N)	<b>51PRS</b>	= <u>N</u>

## Residual Ground Time-Overcurrent Element

(Make the following settings if preceding enable setting E51G = Y.)

Pickup (OFF, 0.25–16.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–3.20 A secondary {1 A nom.})	<b>51GP</b>	= <u>1.07</u>
Curve (U1–U5, C1–C5)	<b>51GC</b>	= <u>C4</u>
Time Dial (0.50–15.00 for curves U1–U5; 0.05–1.00 for curves C1–C5)	<b>51GTD</b>	= <u>0.09</u>
Electromechanical Reset (Y, N)	<b>51GRS</b>	= <u>N</u>

## Negative-Sequence Time-Overcurrent Element

(Make the following settings if preceding enable setting E51Q = Y.)

Pickup (OFF, 0.25–16.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–3.20 A secondary {1 A nom.})	<b>51QP</b>	= <u>1.04</u>
Curve (U1–U5, C1–C5)	<b>51QC</b>	= <u>C4</u>
Time Dial (0.50–15.00 for curves U1–U5; 0.05–1.00 for curves C1–C5)	<b>51QTD</b>	= <u>0.09</u>
Electromechanical Reset (Y, N)	<b>51QRS</b>	= <u>N</u>

## Load-Encroachment Elements

(Make the following settings if preceding enable setting ELOAD = Y.)

Forward load impedance (0.05–64.00 $\Omega$ secondary {5 A nom.}; 0.25–320.00 $\Omega$ secondary {1 A nom.})	<b>ZLF</b>	= <u>14</u>
Reverse load impedance (0.05–64.00 $\Omega$ secondary {5 A nom.}; 0.25–320.00 $\Omega$ secondary {1 A nom.})	<b>ZLR</b>	= <u>64</u>
Positive forward load angle ( $-90.00^\circ$ to $+90.00^\circ$ )	<b>PLAF</b>	= <u>39</u>
Negative forward load angle ( $-90.00^\circ$ to $+90.00^\circ$ )	<b>NLAF</b>	= <u>-18</u>
Positive reverse load angle ( $+90.00^\circ$ to $+270.00^\circ$ )	<b>PLAR</b>	= <u>90</u>
Negative reverse load angle ( $+90.00^\circ$ to $+270.00^\circ$ )	<b>NLAR</b>	= <u>270</u>

## Zone/Level 3 Directional Control

Zone/Level 3 direction: Forward, Reverse (F, R)	<b>DIR3</b>	= <u>F</u>
-------------------------------------------------	-------------	------------

## Directional Elements

(Make setting ORDER if preceding enable setting E32 = Y or AUTO.)

Ground directional element priority: combination of Q, V, or I	<b>ORDER</b>	= <u>QV</u>
----------------------------------------------------------------	--------------	-------------

(Make settings Z2F, Z2R, 50QFP, 50QRP, a2, and k2 if preceding enable setting E32 = Y. If E32 = AUTO, these settings are made automatically.)

Forward directional Z2 threshold (-64.00–64.00 Ω secondary {5 A nom.}; -320.00–320.00 Ω secondary {1 A nom.})	<b>Z2F</b>	= <u>(0.34)</u>
Reverse directional Z2 threshold (-64.00–64.00 Ω secondary {5 A nom.}; -320.00–320.00 Ω secondary {1 A nom.})	<b>Z2R</b>	= <u>(0.44)</u>
Forward directional 3I2 pickup (0.25–5.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–1.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50QFP</b>	= <u>(0.5)</u>
Reverse directional 3I2 pickup (0.25–5.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–1.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50QRP</b>	= <u>(0.25)</u>
Positive-sequence current restraint factor, I2/I1 (0.02–0.50, unitless)	<b>a2</b>	= <u>(0.1)</u>
Zero-sequence current restraint factor, I2/I0 (0.10–1.20, unitless)	<b>k2</b>	= <u>(0.2)</u>

(Make settings 50GFP, 50GRP, and a0 if preceding enable setting E32 = Y and preceding setting ORDER contains V or I. If E32 = AUTO and ORDER contains V or I, these settings are made automatically.)

Forward directional 3I0 pickup (0.25–5.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–1.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50GFP</b>	= <u>(0.5)</u>
Reverse directional 3I0 pickup (0.25–5.00 A secondary {5 A nom.}; 0.05–1.00 A secondary {1 A nom.})	<b>50GRP</b>	= <u>(0.25)</u>
Positive-sequence current restraint factor, I0/I1 (0.02–0.50, unitless)	<b>a0</b>	= <u>(0.1)</u>

(Make settings Z0F and Z0R if preceding enable setting E32 = Y and preceding setting ORDER contains V. If E32 = AUTO and ORDER contains V, these settings are made automatically.)

Forward directional Z0 threshold (-64.00–64.00 Ω secondary {5 A nom.}; -320.00–320.00 Ω secondary {1 A nom.})	<b>Z0F</b>	= <u>(0.98)</u>
Reverse directional Z0 threshold (-64.00–64.00 Ω secondary {5 A nom.}; -320.00–320.00 Ω secondary {1 A nom.})	<b>Z0R</b>	= <u>(1.08)</u>

## Voltage Elements

(Make the following settings if preceding enable setting EVOLT = Y.)

Phase undervoltage pickup (OFF, 0.0–150.0 V secondary)	<b>27P</b>	= <u>51.96</u>
Phase overvoltage pickup (OFF, 0.0–150.0 V secondary)	<b>59P</b>	= <u>63.51</u>
Channel VS undervoltage pickup (OFF, 0.0–150.0 V secondary)	<b>27SP</b>	= <u>OFF</u>
Channel VS overvoltage pickup (OFF, 0.0–150.0 V secondary)	<b>59SP</b>	= <u>OFF</u>

Phase-to-phase undervoltage pickup (OFF, 0.0–260.0 V secondary)	<b>27PP</b>	= <u>90</u>
Phase-to-phase overvoltage pickup (OFF, 0.0–260.0 V secondary)	<b>59PP</b>	= <u>110</u>

## Synchronism Check Elements

(Make the following settings if preceding enable setting E25 = Y.)

Voltage window—low threshold (0.00–150.00 V secondary)	<b>25VLO</b>	= <u>---</u>
Voltage window—high threshold (0.00–150.00 V secondary)	<b>25VHI</b>	= <u>---</u>
Maximum slip frequency (0.005–0.500 Hz)	<b>25SF</b>	= <u>---</u>
Maximum angle 1 (0.00°–80.00°)	<b>25ANG1</b>	= <u>---</u>
Maximum angle 2 (0.00°–80.00°)	<b>25ANG2</b>	= <u>---</u>
Synchronizing phase (VA, VB, VC, VAB, VBC, VAC)	<b>SYNCP</b>	= <u>---</u>
Breaker close time for angle compensation (OFF, 1.00–60.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>TCLOSD</b>	= <u>---</u>

## Reclosing Relay

(Make the following settings if preceding enable setting E79 = 1-4.)

Open interval 1 time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>79OI1</b>	= <u>---</u>
Open interval 2 time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>79OI2</b>	= <u>---</u>
Open interval 3 time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>79OI3</b>	= <u>---</u>
Open interval 4 time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>79OI4</b>	= <u>---</u>
Reset time from reclose cycle (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>79RSD</b>	= <u>---</u>
Reset time from lockout (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>79RSLD</b>	= <u>---</u>
Reclose supervision time limit (OFF, 0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps) (set 79CLSD = 0.00 for most applications)	<b>79CLSD</b>	= <u>---</u>

## Switch-Onto-Fault

(Make the following settings if preceding enable setting ESOTF = Y.)

Close enable time delay (OFF, 0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>CLOEND</b>	= <u>OFF</u>
52A enable time delay (OFF, 0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>52AEND</b>	= <u>10</u>
SOTF duration (0.50–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SOTFD</b>	= <u>30</u>

### Channel A MIRRORED BITS Settings

(These settings are only available when a Serial Port Protocol Setting has been set to MBGA.)

Channel A MIRRORED BITS Enable (Y, N)	<b>EMBA</b>	= <u>---</u>
Channel A MIRRORED BITS Receive ID (1–4)	<b>RXIDA</b>	= <u>---</u>
Channel A MIRRORED BITS Transmit ID (1–4)	<b>TXIDA</b>	= <u>---</u>

### Channel B MIRRORED BITS Settings

(These settings are only available when a Serial Port Protocol Setting has been set to MBGB.)

Channel B MIRRORED BITS Enable (Y, N)	<b>EMBB</b>	= <u>---</u>
Channel B MIRRORED BITS Receive ID (1–4)	<b>RXIDB</b>	= <u>---</u>
Channel B MIRRORED BITS Transmit ID (1–4)	<b>TXIDB</b>	= <u>---</u>

### Zone 1 Extension Scheme Settings

(Make the following settings if preceding enable setting EZ1EXT = Y.)

Zone 1 extension delay time (0.00–16000.00 cycles)	<b>Z1EXTD</b>	= <u>---</u>
Zone 1 distance multiplier (1.00–4.00)	<b>Z1EXTM</b>	= <u>---</u>

### Demand Metering Settings

(Make the following settings, whether preceding enable setting EDEM = THM or ROL.)

Time constant (5, 10, 15, 30, 60 minutes)	<b>DMTC</b>	= <u>60</u>
Phase pickup (OFF, 0.50–16.00 A secondary {5 A nom.}; 0.10–3.20 A secondary {1 A nom.})	<b>PDEMP</b>	= <u>OFF</u>
Residual ground pickup (OFF, 0.50–16.00 A secondary {5 A nom.}; 0.10–3.20 A secondary {1 A nom.})	<b>GDEMP</b>	= <u>OFF</u>
Negative-sequence pickup (OFF, 0.50–16.00 A secondary {5 A nom.}; 0.10–3.20 A secondary {1 A nom.})	<b>QDEMP</b>	= <u>OFF</u>

### Other Settings

Minimum trip duration time (2.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>TDURD</b>	= <u>9</u>
Close failure time delay (OFF, 0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>CFD</b>	= <u>60</u>
Three-pole open time delay (0.00–60.00 cycles in 0.25-cycle steps) (usually set for no more than a cycle)	<b>3POD</b>	= <u>0.5</u>
Open pole option (52, 27)	<b>OPO</b>	= <u>52</u>

Three-pole open undervoltage (0.0–150.0 V secondary)	<b>27PO</b>	= <u>---</u>
Load detection phase pickup (OFF, 0.25–100.00A {5 A nom.}; 0.05–20.00 A {1 A nom.})	<b>50LP</b>	= <u>1.22</u>

## SELogic Control Equation Variable Timers

(Number of timer pickup/dropout settings dependent on preceding enable setting ESV = 1-16.)

SV1 Pickup Time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV1PU</b>	= <u>0</u>
SV1 Dropout Time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV1DO</b>	= <u>1</u>
SV2 Pickup Time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV2PU</b>	= <u>0</u>
SV2 Dropout Time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV2DO</b>	= <u>1</u>
SV3 Pickup Time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV3PU</b>	= <u>0</u>
SV3 Dropout Time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV3DO</b>	= <u>1</u>
SV4 Pickup Time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV4PU</b>	= <u>250</u>
SV4 Dropout Time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV4DO</b>	= <u>1</u>
SV5 Pickup Time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV5PU</b>	= <u>---</u>
SV5 Dropout Time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV5DO</b>	= <u>---</u>
SV6 Pickup Time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV6PU</b>	= <u>---</u>
SV6 Dropout Time (0.00–999999.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV6DO</b>	= <u>---</u>
SV7 Pickup Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV7PU</b>	= <u>---</u>
SV7 Dropout Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV7DO</b>	= <u>---</u>
SV8 Pickup Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV8PU</b>	= <u>---</u>
SV8 Dropout Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV8DO</b>	= <u>---</u>
SV9 Pickup Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV9PU</b>	= <u>---</u>
SV9 Dropout Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV9DO</b>	= <u>---</u>
SV10 Pickup Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV10PU</b>	= <u>---</u>
SV10 Dropout Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV10DO</b>	= <u>---</u>
SV11 Pickup Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV11PU</b>	= <u>---</u>
SV11 Dropout Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV11DO</b>	= <u>---</u>
SV12 Pickup Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV12PU</b>	= <u>---</u>
SV12 Dropout Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV12DO</b>	= <u>---</u>
SV13 Pickup Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV13PU</b>	= <u>---</u>
SV13 Dropout Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV13DO</b>	= <u>---</u>
SV14 Pickup Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV14PU</b>	= <u>---</u>

SV14 Dropout Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV14DO</b>	=	<u>---</u>
SV15 Pickup Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV15PU</b>	=	<u>---</u>
SV15 Dropout Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV15DO</b>	=	<u>---</u>
SV16 Pickup Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV16PU</b>	=	<u>---</u>
SV16 Dropout Time (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>SV16DO</b>	=	<u>---</u>

## SELogic Control Equation Settings (Serial Port Command SET L)

SELOGIC control equation settings consist of Relay Word bits and SELOGIC control equation operators \* (AND), + (OR), ! (NOT), / (rising edge), \ (falling edge), and ( ) (parentheses). SELOGIC control equation settings can also be **set directly** to 1 (logical 1) or 0 (logical 0).

### Trip Logic Equations

Direct trip conditions	<b>TR</b>	=	$\frac{M1P+Z1G+Z2T+Z3T+51PT+51GT}{+51QT+67P1T+67G1T+67Q1T}$
Switch-onto-fault trip conditions	<b>TRSOTF</b>	=	$\frac{M3P+Z3G+50P1}{}$
Direct transfer trip conditions	<b>DTT</b>	=	<u>0</u>
Unlatch trip conditions	<b>ULTR</b>	=	<u>0</u>

### Close Logic Equations

Circuit breaker status	<b>52A</b>	=	<u>IN101</u>
Close conditions (other than automatic reclosing or <b>CLOSE</b> command)	<b>CL</b>	=	<u>CC</u>
Unlatch close conditions	<b>ULCL</b>	=	<u>TRIP</u>

### Reclosing Relay Equations

Reclose initiate	<b>79RI</b>	=	<u>---</u>
Reclose initiate supervision	<b>79RIS</b>	=	<u>---</u>
Drive-to-lockout	<b>79DTL</b>	=	<u>---</u>
Drive-to-last shot	<b>79DLS</b>	=	<u>---</u>
Skip shot	<b>79SKP</b>	=	<u>---</u>
Stall open interval timing	<b>79STL</b>	=	<u>---</u>
Block reset timing	<b>79BRS</b>	=	<u>---</u>
Sequence coordination	<b>79SEQ</b>	=	<u>---</u>
Reclose supervision	<b>79CLS</b>	=	<u>---</u>

### Latch Bits Set/Reset Equations

Set Latch Bit LT1	<b>SET1</b>	=	<u>\IN104</u>
Reset Latch Bit LT1	<b>RST1</b>	=	<u>\RB4</u>
Set Latch Bit LT2	<b>SET2</b>	=	<u>\IN105</u>
Reset Latch Bit LT2	<b>RST2</b>	=	<u>\RB5</u>



Set Latch Bit LT3	<b>SET3</b>	=	---
Reset Latch Bit LT3	<b>RST3</b>	=	---
Set Latch Bit LT4	<b>SET4</b>	=	---
Reset Latch Bit LT4	<b>RST4</b>	=	---
Set Latch Bit LT5	<b>SET5</b>	=	---
Reset Latch Bit LT5	<b>RST5</b>	=	---
Set Latch Bit LT6	<b>SET6</b>	=	---
Reset latch Bit LT6	<b>RST6</b>	=	---
Set Latch Bit LT7	<b>SET7</b>	=	---
Reset Latch Bit LT7	<b>RST7</b>	=	---
Set Latch Bit LT8	<b>SET8</b>	=	---
Reset Latch Bit LT8	<b>RST8</b>	=	---
Set Latch Bit LT9	<b>SET9</b>	=	---
Reset Latch Bit LT9	<b>RST9</b>	=	---
Set Latch Bit LT10	<b>SET10</b>	=	---
Reset Latch Bit LT10	<b>RST10</b>	=	---
Set Latch Bit LT11	<b>SET11</b>	=	---
Reset Latch Bit LT11	<b>RST11</b>	=	---
Set Latch Bit LT12	<b>SET12</b>	=	---
Reset Latch Bit LT12	<b>RST12</b>	=	---
Set Latch Bit LT13	<b>SET13</b>	=	---
Reset Latch Bit LT13	<b>RST13</b>	=	---
Set Latch Bit LT14	<b>SET14</b>	=	---
Reset latch Bit LT14	<b>RST14</b>	=	---
Set Latch Bit LT15	<b>SET15</b>	=	---
Reset Latch Bit LT15	<b>RST15</b>	=	---
Set Latch Bit LT16	<b>SET16</b>	=	---
Reset Latch Bit LT16	<b>RST16</b>	=	---

### Torque Control Equations for Inst./Def.-Time Overcurrent Elements

[Note: torque control equation settings cannot be set directly to logical 0]

Level 1 phase	<b>67P1TC</b>	=	1
Level 2 phase	<b>67P2TC</b>	=	---

Level 3 phase	<b>67P3TC</b>	=	<u>---</u>
Level 1 residual ground	<b>67G1TC</b>	=	<u>1</u>
Level 2 residual ground	<b>67G2TC</b>	=	<u>---</u>
Level 3 residual ground	<b>67G3TC</b>	=	<u>---</u>
Level 1 negative-sequence	<b>67Q1TC</b>	=	<u>1</u>
Level 2 negative-sequence	<b>67Q2TC</b>	=	<u>---</u>
Level 3 negative-sequence	<b>67Q3TC</b>	=	<u>---</u>

### Torque Control Equations for Time-Overcurrent Elements

[Note: torque control equation settings cannot be set directly to logical 0]

Phase	<b>51PTC</b>	=	<u>1</u>
Residual Ground	<b>51GTC</b>	=	<u>1</u>
Negative-Sequence	<b>51QTC</b>	=	<u>1</u>

### SELogic Control Equation Variable Timer Input Equations

SELOGIC control equation Variable SV1	<b>SV1</b>	=	<u>TRIP+SV4T+(!IN103*/RB2*IN101)</u>
SELOGIC control equation Variable SV2	<b>SV2</b>	=	<u>/IN104+/IN105</u>
SELOGIC control equation Variable SV3	<b>SV3</b>	=	<u>CLOSE+(!IN103*/RB1*!IN101)</u>
SELOGIC control equation Variable SV4	<b>SV4</b>	=	<u>59A+59B+59C+3P59+59AB+59BC+59CA</u>
SELOGIC control equation Variable SV5	<b>SV5</b>	=	<u>---</u>
SELOGIC control equation Variable SV6	<b>SV6</b>	=	<u>---</u>
SELOGIC control equation Variable SV7	<b>SV7</b>	=	<u>---</u>
SELOGIC control equation Variable SV8	<b>SV8</b>	=	<u>---</u>
SELOGIC control equation Variable SV9	<b>SV9</b>	=	<u>---</u>
SELOGIC control equation Variable SV10	<b>SV10</b>	=	<u>---</u>
SELOGIC control equation Variable SV11	<b>SV11</b>	=	<u>---</u>
SELOGIC control equation Variable SV12	<b>SV12</b>	=	<u>---</u>
SELOGIC control equation Variable SV13	<b>SV13</b>	=	<u>---</u>
SELOGIC control equation Variable SV14	<b>SV14</b>	=	<u>---</u>
SELOGIC control equation Variable SV15	<b>SV15</b>	=	<u>---</u>
SELOGIC control equation Variable SV16	<b>SV16</b>	=	<u>---</u>

## Output Contact Equations

Output Contact <b>OUT101</b>	<b>OUT101</b>	=	$\frac{SV1T}{\text{---}}$
Output Contact <b>OUT102</b>	<b>OUT102</b>	=	$\frac{TRIP+SV4T+(\!IN103*/RB2*IN101)}{\text{---}}$
Output Contact <b>OUT103</b>	<b>OUT103</b>	=	$\frac{SV2T}{\text{---}}$
Output Contact <b>OUT104</b>	<b>OUT104</b>	=	$\frac{SV3T}{\text{---}}$
Output Contact <b>OUT105</b>	<b>OUT105</b>	=	$\frac{CLOSE+(\!IN103*/RB1*\!IN101)}{\text{---}}$
Output Contact <b>OUT106</b>	<b>OUT106</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Output Contact <b>OUT107</b>	<b>OUT107</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$

## Display Point Equations

Display Point <b>DP1</b>	<b>DP1</b>	=	$\frac{52A}{\text{---}}$
Display Point <b>DP2</b>	<b>DP2</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP3</b>	<b>DP3</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP4</b>	<b>DP4</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP5</b>	<b>DP5</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP6</b>	<b>DP6</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP7</b>	<b>DP7</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP8</b>	<b>DP8</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP9</b>	<b>DP9</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP10</b>	<b>DP10</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP11</b>	<b>DP11</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP12</b>	<b>DP12</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP13</b>	<b>DP13</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP14</b>	<b>DP14</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP15</b>	<b>DP15</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$
Display Point <b>DP16</b>	<b>DP16</b>	=	$\frac{\text{---}}{\text{---}}$

## Setting Group Selection Equations

Select Setting Group 1	<b>SS1</b>	=	$\frac{1}{\text{---}}$
Select Setting Group 2	<b>SS2</b>	=	$\frac{0}{\text{---}}$
Select Setting Group 3	<b>SS3</b>	=	$\frac{0}{\text{---}}$
Select Setting Group 4	<b>SS4</b>	=	$\frac{0}{\text{---}}$

Select Setting Group 5	<b>SS5</b>	=	<u>0</u>
Select Setting Group 6	<b>SS6</b>	=	<u>0</u>

### Other Equations

Event report trigger conditions	<b>ER</b>	=	$\frac{/M3P+/Z3G+/51P+/51G+/51Q+/50P1+/50G1+/50Q1+/LOP}{}$
Fault indication (used in time target logic)	<b>FAULT</b>	=	$M3P+Z3G+51P+51Q+51G+50P1+50Q1+50G1$
Block synchronism check elements	<b>BSYNCH</b>	=	<u>0</u>
Close bus monitor	<b>CLMON</b>	=	<u>0</u>
Breaker monitor initiation	<b>BKMON</b>	=	<u>---</u>
Enable for zero-sequence voltage-polarized and channel IP current-polarized directional elements	<b>E32IV</b>	=	<u>1</u>

### MIRRORED BITS<sup>®</sup> Transmit Equations

Channel A, transmit bit 1	<b>TMB1A</b>	=	<u>---</u>
Channel A, transmit bit 2	<b>TMB2A</b>	=	<u>---</u>
Channel A, transmit bit 3	<b>TMB3A</b>	=	<u>---</u>
Channel A, transmit bit 4	<b>TMB4A</b>	=	<u>---</u>
Channel A, transmit bit 5	<b>TMB5A</b>	=	<u>---</u>
Channel A, transmit bit 6	<b>TMB6A</b>	=	<u>---</u>
Channel A, transmit bit 7	<b>TMB7A</b>	=	<u>---</u>
Channel A, transmit bit 8	<b>TMB8A</b>	=	<u>---</u>
Channel B, transmit bit 1	<b>TMB1B</b>	=	<u>---</u>
Channel B, transmit bit 2	<b>TMB2B</b>	=	<u>---</u>
Channel B, transmit bit 3	<b>TMB3B</b>	=	<u>---</u>
Channel B, transmit bit 4	<b>TMB4B</b>	=	<u>---</u>
Channel B, transmit bit 5	<b>TMB5B</b>	=	<u>---</u>
Channel B, transmit bit 6	<b>TMB6B</b>	=	<u>---</u>
Channel B, transmit bit 7	<b>TMB7B</b>	=	<u>---</u>
Channel B, transmit bit 8	<b>TMB8B</b>	=	<u>---</u>

# Global Settings (Serial Port Command SET G and Front Panel)

## Settings Group Change Delay

Group change delay (0.00–16000.00 cycles in 0.25-cycle steps) **TGR** = 1800

## Power System Configuration and Date Format

Nominal frequency (50 Hz, 60 Hz) **NFREQ** = 50

Phase rotation (ABC, ACB) **PHROT** = ABC

Date format (MDY, YMD) **DATE\_F** = YMD

## Front-Panel Display Operation

Front-panel display time-out (0.00–30.00 minutes in 0.01-minute steps) **FP\_TO** = 15

*(If FP\_TO = 0, no time-out occurs and display remains on last display screen, e.g., continually display metering.)*

Front-panel display update rate (1–60 seconds) **SCROLLD** = 5

## Event Report Parameters

Length of event report (15, 30, 60, 180 cycles) **LER** = 60

Length of pre-fault in event report **PRE** = 10  
 (1–14 cycles in 1-cycle steps for LER = 15)  
 (1–29 cycles in 1-cycle steps for LER = 30)  
 (1–59 cycles in 1-cycle steps for LER = 60)  
 (1–179 cycles in 1-cycle steps for LER = 180)

## Station DC Battery Monitor

DC battery instantaneous undervoltage pickup **DCLOP** = OFF  
 (OFF, 20–300 Vdc)

DC battery instantaneous overvoltage pickup **DCHIP** = OFF  
 (OFF, 20–300 Vdc)

## Optoisolated Input Timers

Input IN101 debounce time **IN101D** = 0.25  
 (0.00–2.00 cycles in 0.25-cycle steps)

Input IN102 debounce time **IN102D** = 0  
 (0.00–2.00 cycles in 0.25-cycle steps)

Input IN103 debounce time **IN103D** = 0.25  
 (0.00–2.00 cycles in 0.25-cycle steps)

Input <b>IN104</b> debounce time (0.00–2.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>IN104D</b>	= <u>0</u>
Input <b>IN105</b> debounce time (0.00–2.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>IN105D</b>	= <u>0</u>
Input <b>IN106</b> debounce time (0.00–2.00 cycles in 0.25-cycle steps)	<b>IN106D</b>	= <u>0</u>

### Breaker Monitor Settings

Breaker monitor enable (Y, N)	<b>EBMON</b>	= <u>N</u>
(Make the following settings if preceding enable setting EBMON = Y.)		
Close/Open set point 1—max. (0–65000 operations)	<b>COSP1</b>	= <u>---</u>
Close/Open set point 2—mid. (0–65000 operations)	<b>COSP2</b>	= <u>---</u>
Close/Open set point 3—min. (0–65000 operations)	<b>COSP3</b>	= <u>---</u>
kA Interrupted set point 1—min. (0.00–999.00 kA primary in 0.01 kA steps)	<b>KASP1</b>	= <u>---</u>
kA Interrupted set point 2—mid. (0.00–999.00 kA primary in 0.01 kA steps)	<b>KASP2</b>	= <u>---</u>
kA Interrupted set point 3—max. (0.00–999.00 kA primary in 0.01 kA steps)	<b>KASP3</b>	= <u>---</u>

### Synchronized Phasor Settings

Synchronized Phasor Measurement (Y, N)	<b>EPMU</b>	= <u>N</u>
Make the following settings if preceding enable setting EPMU = Y.		
PMU Hardware ID	<b>PMID</b>	= <u>---</u>
Phasor Data Set, Voltages (V1, ALL)	<b>PHDATAV</b>	= <u>---</u>
Voltage Angle Compensation Factor (–179.99 to +180 degrees)	<b>VCOMP</b>	= <u>---</u>
Phasor Data Set, Currents (ALL, NA)	<b>PHDATAI</b>	= <u>---</u>
Current Angle Compensation Factor (–179.99 to +180 degrees)	<b>ICOMP</b>	= <u>---</u>
Time Source Type (IRIG, IEEE)	<b>TS_TYPE</b>	= <u>---</u>

### Sequential Events Recorder Settings (Serial Port Command SET R)

Sequential Events Recorder settings are comprised of three trigger lists. Each trigger list can include up to 24 Relay Word bits delimited by commas. Enter NA to remove a list of these Relay Word bit settings.

SER Trigger List 1	<b>SER1</b>	= <u>M1P,M2P,M3P,Z1G,Z2G,Z3G,51P, 51G,51Q,50P1,50G1,50Q1,ZLOAD</u>
SER Trigger List 2	<b>SER2</b>	= <u>IN101,IN102,IN103,IN104,IN105, OUT101,OUT102,OUT103,LOP</u>
SER Trigger List 3	<b>SER3</b>	= <u>59A,59B,59C,59AB,59BC,59CA</u>

## Text Label Settings (Serial Port Command SET T)

Enter the following characters: 0–9, A–Z, #, &, @, -, /, ., space for each text label setting, subject to the specified character limit. Enter NA to null a label.

### Local Bit Labels

Local Bit LB1 Name (14 characters)	<b>NLB1</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB1 Label (7 characters)	<b>CLB1</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB1 Label (7 characters)	<b>SLB1</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB1 Label (7 characters)	<b>PLB1</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB2 Name (14 characters)	<b>NLB2</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB2 Label (7 characters)	<b>CLB2</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB2 Label (7 characters)	<b>SLB2</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB2 Label (7 characters)	<b>PLB2</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB3 Name (14 characters)	<b>NLB3</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB3 Label (7 characters)	<b>CLB3</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB3 Label (7 characters)	<b>SLB3</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB3 Label (7 characters)	<b>PLB3</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB4 Name (14 characters)	<b>NLB4</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB4 Label (7 characters)	<b>CLB4</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB4 Label (7 characters)	<b>SLB4</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB4 Label (7 characters)	<b>PLB4</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB5 Name (14 characters)	<b>NLB5</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB5 Label (7 characters)	<b>CLB5</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB5 Label (7 characters)	<b>SLB5</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB5 Label (7 characters)	<b>PLB5</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB6 Name (14 characters)	<b>NLB6</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB6 Label (7 characters)	<b>CLB6</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB6 Label (7 characters)	<b>SLB6</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB6 Label (7 characters)	<b>PLB6</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB7 Name (14 characters)	<b>NLB7</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB7 Label (7 characters)	<b>CLB7</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB7 Label (7 characters)	<b>SLB7</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB7 Label (7 characters)	<b>PLB7</b>	=	<u>NA</u>

Local Bit LB8 Name (14 characters)	<b>NLB8</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB8 Label (7 characters)	<b>CLB8</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB8 Label (7 characters)	<b>SLB8</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB8 Label (7 characters)	<b>PLB8</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB9 Name (14 characters)	<b>NLB9</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB9 Label (7 characters)	<b>CLB9</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB9 Label (7 characters)	<b>SLB9</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB9 Label (7 characters)	<b>PLB9</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB10 Name (14 characters)	<b>NLB10</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB10 Label (7 characters)	<b>CLB10</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB10 Label (7 characters)	<b>SLB10</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB10 Label (7 characters)	<b>PLB10</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB11 Name (14 characters)	<b>NLB11</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB11 Label (7 characters)	<b>CLB11</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB11 Label (7 characters)	<b>SLB11</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB11 Label (7 characters)	<b>PLB11</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB12 Name (14 characters)	<b>NLB12</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB12 Label (7 characters)	<b>CLB12</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB12 Label (7 characters)	<b>SLB12</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB12 Label (7 characters)	<b>PLB12</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB13 Name (14 characters)	<b>NLB13</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB13 Label (7 characters)	<b>CLB13</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB13 Label (7 characters)	<b>SLB13</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB13 Label (7 characters)	<b>PLB13</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB14 Name (14 characters)	<b>NLB14</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB14 Label (7 characters)	<b>CLB14</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB14 Label (7 characters)	<b>SLB14</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB14 Label (7 characters)	<b>PLB14</b>	=	<u>NA</u>
Local Bit LB15 Name (14 characters)	<b>NLB15</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB15 Label (7 characters)	<b>CLB15</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB15 Label (7 characters)	<b>SLB15</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB15 Label (7 characters)	<b>PLB15</b>	=	<u>NA</u>



Local Bit LB16 Name (14 characters)	<b>NLB16</b>	=	<u>NA</u>
Clear Local Bit LB16 Label (7 characters)	<b>CLB16</b>	=	<u>NA</u>
Set Local Bit LB16 Label (7 characters)	<b>SLB16</b>	=	<u>NA</u>
Pulse Local Bit LB16 Label (7 characters)	<b>PLB16</b>	=	<u>NA</u>

## Display Point Labels

Display if DP1 = logical 1 (16 characters)	<b>DP1_1</b>	=	<u>CB3 CLOSED</u>
Display if DP1 = logical 0 (16 characters)	<b>DP1_0</b>	=	<u>CB3 OPEN</u>
Display if DP2 = logical 1 (16 characters)	<b>DP2_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP2 = logical 0 (16 characters)	<b>DP2_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP3 = logical 1 (16 characters)	<b>DP3_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP3 = logical 0 (16 characters)	<b>DP3_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP4 = logical 1 (16 characters)	<b>DP4_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP4 = logical 0 (16 characters)	<b>DP4_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP5 = logical 1 (16 characters)	<b>DP5_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP5 = logical 0 (16 characters)	<b>DP5_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP6 = logical 1 (16 characters)	<b>DP6_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP6 = logical 0 (16 characters)	<b>DP6_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP7 = logical 1 (16 characters)	<b>DP7_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP7 = logical 0 (16 characters)	<b>DP7_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP8 = logical 1 (16 characters)	<b>DP8_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP8 = logical 0 (16 characters)	<b>DP8_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP9 = logical 1 (16 characters)	<b>DP9_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP9 = logical 0 (16 characters)	<b>DP9_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP10 = logical 1 (16 characters)	<b>DP10_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP10 = logical 0 (16 characters)	<b>DP10_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP11 = logical 1 (16 characters)	<b>DP11_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP11 = logical 0 (16 characters)	<b>DP11_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP12 = logical 1 (16 characters)	<b>DP12_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP12 = logical 0 (16 characters)	<b>DP12_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP13 = logical 1 (16 characters)	<b>DP13_1</b>	=	<u>NA</u>

Display if DP13 = logical 0 (16 characters)	<b>DP13_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP14 = logical 1 (16 characters)	<b>DP14_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP14 = logical 0 (16 characters)	<b>DP14_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP15 = logical 1 (16 characters)	<b>DP15_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP15 = logical 0 (16 characters)	<b>DP15_0</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP16 = logical 1 (16 characters)	<b>DP16_1</b>	=	<u>NA</u>
Display if DP16 = logical 0 (16 characters)	<b>DP16_0</b>	=	<u>NA</u>

## Reclosing Relay Labels

Reclosing Relay Last Shot Label (14 character)	<b>79LL</b>	=	<u>NA</u>
Reclosing Relay Shot Counter Label (14 character)	<b>79SL</b>	=	<u>NA</u>

## Port Settings (Serial Port Command SET P and Front Panel)

### Protocol Settings (See Below)

Protocol (SEL, LMD, DNP, MBA, MBB, MB8A, MB8B, MBGA, MBGB)      **PROTO** = SEL

Protocol Settings Set PROTO = SEL for standard SEL ASCII protocol. For SEL Distributed Port Switch Protocol (LMD), set PROTO = LMD. For Distributed Network Protocol (DNP), set PROTO = DNP. For MIRRORING BITS, set PROTO = MBA, MBB, MB8A, MB8B, MBGA, or MBGB.

### Communications Settings

Baud Rate (300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400) (38400 is not available on Port 1)      **SPEED** = 19200

Data Bits (6, 7, 8) This setting is available when PROTO = SEL or LMD.      **BITS** = 8

Parity (O, E, N) {Odd, Even, None} This setting is available when PROTO = SEL or LMD.      **PARITY** = N

Stop Bits (1, 2) This setting is available when PROTO = SEL or LMD.      **STOP** = 1

Time-out (0–30 minutes) This setting is available when PROTO = SEL or LMD. Set T\_OUT to the number of minutes of serial port inactivity for an automatic log out. Set T\_OUT = 0 for no port time-out.      **T\_OUT** = 15

DTA Meter Format (Y, N) Set DTA = Y to allow an SEL-DTA or SEL-DTA2 to communicate with the relay. This setting is available when PROTO = SEL or LMD. Note that when DTA = Y, the date format must be set to MDY in the global setting DATE\_F.      **DTA** = N

Send Auto Messages to Port (Y, N) This setting is available when PROTO = SEL or LMD. Set AUTO = Y to allow automatic messages at the serial port.      **AUTO** = Y

Enable Hardware Handshaking (Y, N, MBT) MBT is available when PROTO = MBA or MBB. Set RTSCTS = Y to enable hardware handshaking. With RTSCTS = Y, the relay will not send characters until the CTS input is asserted. Also, if the relay is unable to receive characters, it deasserts the RTS line. Setting RTSCTS is not applicable to serial Port 1 (EIA-485) or a port configured for SEL Distributed Port Switch Protocol.      **RTSCTS** = N

Fast Operate Enable (Y, N) This setting is available when PROTO = SEL or LMD. Set FASTOP = Y to enable binary Fast Operate messages at the serial port. Set FASTOP = N to block binary Fast Operate messages.      **FASTOP** = Y

## LMD Settings

LMD Prefix (@, #, \$, %, &)	<b>PREFIX</b>	=	---
LMD Address (1-99)	<b>ADDR</b>	=	---
LMD Settling Time (0-30 seconds)	<b>SETTLE</b>	=	---

## DNP Settings

DNP Address (0-65534)	<b>DNPADR</b>	=	---
Class for event data (0 for no event, 1-3)	<b>ECLASS</b>	=	---
Time-set request interval, minutes (0 for never, 1-32767)	<b>TIMERQ</b>	=	---
Currents scaling (0-3 decimal places)	<b>DECPLA</b>	=	---
Voltages scaling (0-3 decimal places)	<b>DECPLV</b>	=	---
Miscellaneous data scaling (0-3 decimal places)	<b>DECPLM</b>	=	---
Select/Operate time-out interval, seconds (0.0-30.0)	<b>STIMEO</b>	=	---
Number of data-link retries (0 for no confirm, 1-15)	<b>DRETRY</b>	=	---
Data Link Time-out interval, seconds (0-5)	<b>DTIMEO</b>	=	---
Minimum Delay from DCD to transmission, seconds (0.00-1.00)	<b>MINDLY</b>	=	---
Maximum Delay from DCD to transmission, seconds (0.00-1.00)	<b>MAXDLY</b>	=	---
Transmission delay from RTS assertion, seconds (OFF, 0.00-30.00)	<b>PREDLY</b>	=	---
Post-transmit RTS deassertion delay, seconds (0.00-30.00)	<b>PSTDLY</b>	=	---
Analog reporting dead band, counts (0-32767)	<b>ANADB</b>	=	---
Allow Unsolicited Reporting (Y/N)	<b>UNSOL</b>	=	---
Enable unsolicited messages on power up (Y/N)	<b>PUNSOL</b>	=	---
Address of master to Report to (0-65534)	<b>REPADR</b>	=	---
Number of events to transmit on (1-200)	<b>NUMEVE</b>	=	---
Age of oldest event to force transmit on, seconds (0.0-60.0)	<b>AGEEVE</b>	=	---
Time-out for confirmation of unsolicited message, seconds (0-50)	<b>UTIMEO</b>	=	---

## MB Settings

Seconds to MIRRORED BITS Rx Bad Pickup (1–10000)	<b>RBADPU</b> = _____
PPM MIRRORED BITS Channel Bad Pickup (1–10000)	<b>CBADPU</b> = _____
MIRRORED BITS Receive Identifier (1–4) <i>This setting is unavailable if PROTO is set to MBGA or MBGB.</i>	<b>RXID</b> = _____
MIRRORED BITS Transmit Identifier (1–4) <i>This setting is unavailable if PROTO is set to MBGA or MBGB.</i>	<b>TXID</b> = _____
MIRRORED BITS Receive Default State (string of 1s, 0s or Xs) 87654321	<b>RXDFLT</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Pickup Debounce msgs (1–8)	<b>RMB1PU</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Dropout Debounce msgs (1–8)	<b>RMB1DO</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Pickup Debounce msgs (1–8)	<b>RMB2PU</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Dropout Debounce msgs (1–8)	<b>RMB2DO</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Pickup Debounce msgs (1–8)	<b>RMB3PU</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Dropout Debounce msgs (1–8)	<b>RMB3DO</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Pickup Debounce msgs (1–8)	<b>RMB4PU</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Dropout Debounce msgs (1–8)	<b>RMB4DO</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Pickup Debounce msgs (1–8)	<b>RMB5PU</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Dropout Debounce msgs (1–8)	<b>RMB5DO</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Pickup Debounce msgs (1–8)	<b>RMB6PU</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Dropout Debounce msgs (1–8)	<b>RMB6DO</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Pickup Debounce msgs (1–8)	<b>RMB7PU</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Dropout Debounce msgs (1–8)	<b>RMB7DO</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Pickup Debounce msgs (1–8)	<b>RMB8PU</b> = _____
MIRRORED BITS RMB_ Dropout Debounce msgs (1–8)	<b>RMB8DO</b> = _____

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο: ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Η/Ν SEL-311B ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

### 4.1 Σύντομη περιγραφή της συσκευής OMICRON CMC 356

Η συσκευή [CMC 356](#) της εταιρείας [OMICRON electronics GmbH](#) χρησιμοποιείται για τον δευτερογενή έλεγχο των Η/Ν προστασίας παγκοσμίως. Η συσκευή αυτή μπορεί να παράγει στους ακροδέκτες εξόδου της ρεύματα και τάσεις που προσομοιάζουν αυτών που δέχεται ένας Η/Ν προστασίας από τα δευτερεύοντα τυλίγματα των Μ/Σ του και γενικώς των επαφών εισόδων του. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η πρόψη και η οπίσθια όψη της εν λόγω συσκευής μαζί με τις βασικότερες δυνατότητες/προδιαγραφές της.



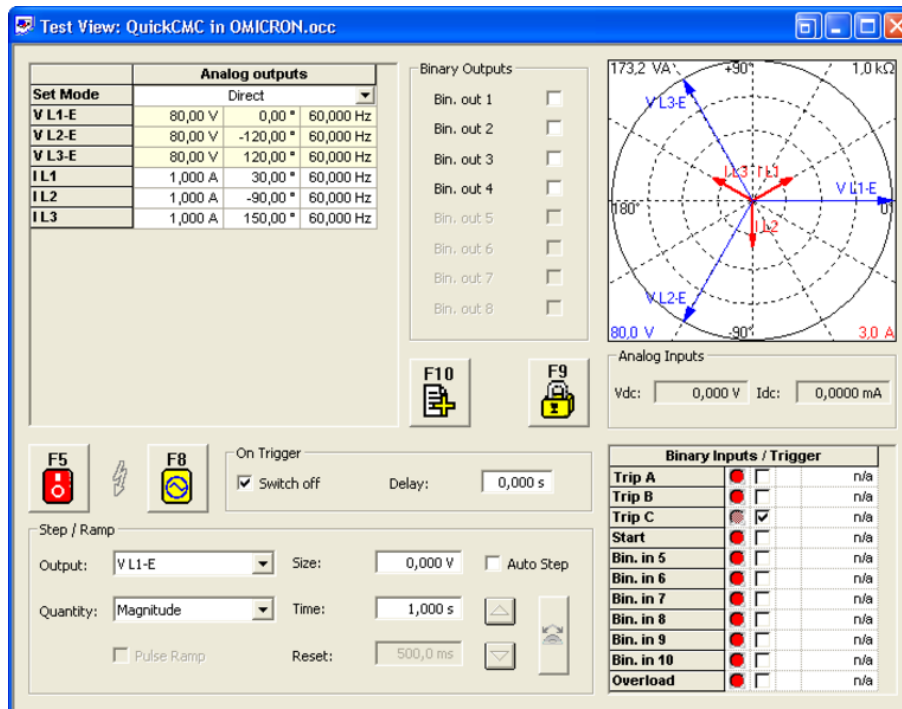
Εικόνα 4.1: Πρόψη της συσκευής δευτερογενούς ελέγχου Η/Ν προστασίας CMC 356 μαζί με τις βασικότερες δυνατότητες/προδιαγραφές της [41]

- 2 counter inputs
- 4 binary outputs (transistor)
- Interface for CMGPS or CMIRIG-B
- USB port
- 6 Low level outputs ( $\pm 10 V_{PK}$ )  
Option LLO-2: 6 additional outputs
- 2 Ethernet interfaces  
For PC control or CMControl and  
IEC 61850 GOOSE and Sampled Values



Εικόνα 4.2: Οπίσθια όψη της συσκευής δευτερογενούς ελέγχου Η/Ν προστασίας CMC 356 μαζί με τις βασικότερες δυνατότητες/προδιαγραφές της [41]

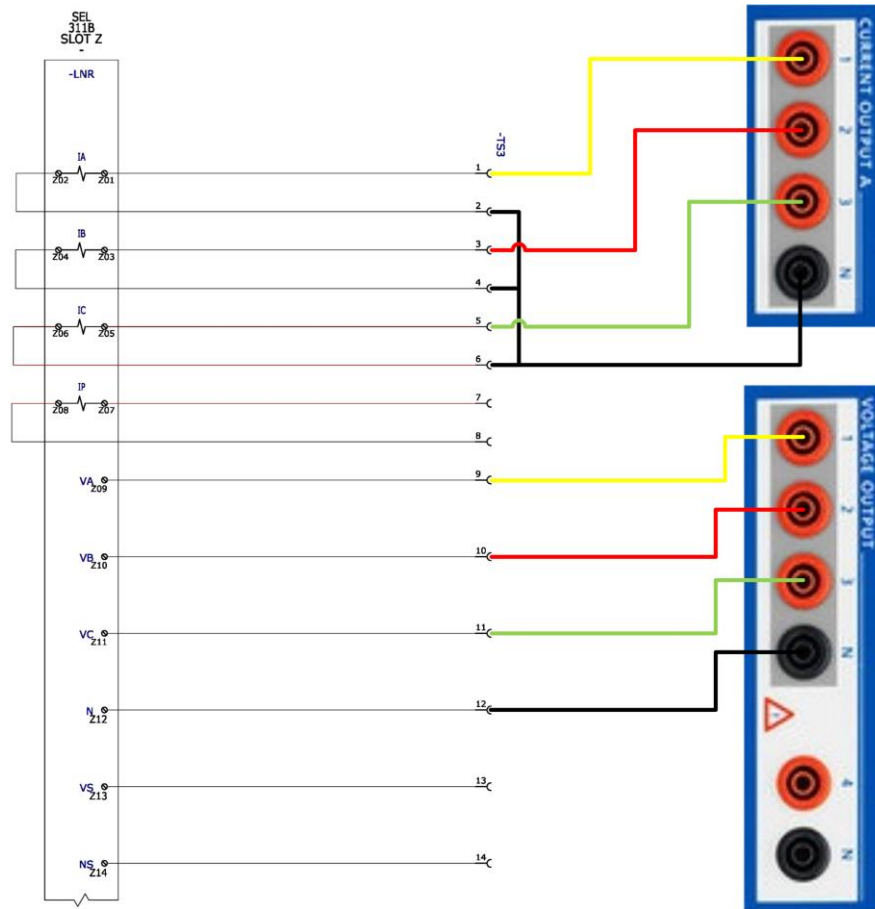
Ο καθορισμός των ρευμάτων και τάσεων που επιθυμούμε να αναπαράγει στους ακροδέκτες της η συσκευή CMC 356 γίνεται μέσω του ειδικού λογισμικού [OMICRON Test Universe](#) και ακόμη πιο συγκεκριμένα μέσω της πλατφόρμας [QuickCMC](#) που αυτό διαθέτει.



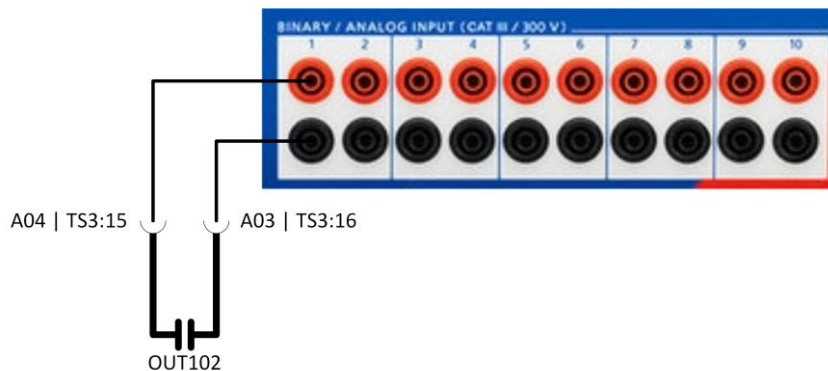
Εικόνα 4.3: Γραφικό περιβάλλον πλατφόρμας QuickCMC του λογισμικού OMICRON Test Universe [42]

## 4.2 Συνδεσμολογία συσκευής OMICRON CMC 356 με τον H/N SEL-311B

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο έγινε η σύνδεση των ακροδεκτών της συσκευής OMICRON CMC 356 με αυτούς του εργαστηριακού H/N SEL-311B.



Εικόνα 4.4: Σύνδεση ακροδεκτών συσκευής CMC 356 με τους ακροδέκτες του H/N SEL-311B



Εικόνα 4.5: Αξιοποίηση σήματος TRIP του H/N SEL-311B από τη συσκευή CMC 356

### 4.3 Παρουσίαση σφαλμάτων δοκιμής

Τα σφάλματα δοκιμής που προσομοιώθηκαν στο εργαστήριο με τη βοήθεια της συσκευής CMC 356 είχαν ως στόχο να εξετάσουν την λειτουργία των βασικότερων στοιχείων προστασίας του Η/Ν SEL-311B. Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι όλα τα σφάλματα δοκιμής που προσομοιώθηκαν και αφορούσαν τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας των στοιχείων αποστάσεως, έγιναν αφού ο Η/Ν είχε προηγουμένως πολωθεί με συμμετρικές τάσεις μέτρου ίσου με το ονομαστικό ούτως ώστε να μπορεί να παρατηρηθεί και το φαινόμενο της διεύρυνσης της χαρακτηριστικής λειτουργίας των στοιχείων αποστάσεως λόγω της πόλωσης τάσης θετικής ακολουθίας με μνήμη. Με άλλα λόγια, πριν την εφαρμογή των τάσεων και των ρευμάτων του σφάλματος δοκιμής, εφαρμόζονταν οι εξής τάσεις στον Η/Ν:

$$V_A = \frac{100}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \quad \left| \quad V_B = \frac{100}{\sqrt{3}} \angle -120^\circ \quad \left| \quad V_C = \frac{100}{\sqrt{3}} \angle 120^\circ\right.\right.$$

Τα δεδομένα των σφαλμάτων δοκιμής θα παρουσιαστούν στη συνέχεια υπό μορφή πινάκων για τους οποίους ισχύουν τα εξής:

- Οι φασικές τάσεις  $V_L^{311B}$  και τα ρεύματα γραμμής  $I_L^{311B}$  δίνονται σε τιμές δευτερεύοντος.
- Οι φαινόμενες σύνθετες αντιστάσεις  $Z_{\phi_{αιν}}^{311B}$  δίνονται σε τιμές δευτερεύοντος και είναι ίσες με τις σύνθετες αντιστάσεις θετικής ακολουθίας μέχρι το σφάλμα που μετρούν τα στοιχεία αποστάσεως του Η/Ν όταν πολωθούν με την ίδια την μετρούμενη τάση που χρησιμοποιούν (self-polarized) ή όταν η τάση πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη φτάσει να ισούται με αυτή της μετρούμενης τάσης που χρησιμοποιούν.
- Οι χρόνοι  $t_{op,φαιν.}$  είναι οι χρόνοι λειτουργίας των στοιχείων αποστάσεως και υπερεντάσεως του Η/Ν όταν τα στοιχεία αποστάσεως θεωρηθεί ότι πολώνονται με την ίδια την μετρούμενη τάση που χρησιμοποιούν (self-polarized) ή όταν η τάση πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη φτάσει να ισούται με αυτή της μετρούμενης τάσης που χρησιμοποιούν.
- Το μέτρο  $|Z_{μετρ, πολ.}^{311B}|$  είναι η εμβέλεια του κύκλου mho σε τιμές δευτερεύοντος, η οποία αντιστοιχεί στις εκάστοτε χρησιμοποιούμενες από το στοιχείο αποστάσεως τάσεις και ρεύματα σφάλματος και στη τάση πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη κατά τους αρχικούς κύκλους μετά την επιβολή του σφάλματος (βλ. τύπους στις 2.5.2.4.1 & 2.5.2.5 παραγράφους).
- Οι χρόνοι  $t_{op, πολ.}$  είναι οι χρόνοι λειτουργίας των στοιχείων αποστάσεως και υπερεντάσεως του Η/Ν κατά τους αρχικούς κύκλους μετά την επιβολή του σφάλματος.
- Σε μερικά σφάλματα δοκιμής των πινάκων λαμβάνεται υπόψιν και η ύπαρξη αντίστασης τόξου με τιμή περί τα 20Ω. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε εφαρμόζοντας τον εμπειρικό τύπο του [2] που παρουσιάστηκε και στην 1.8.2.2.2 παράγραφο, για την ελάχιστη αρχική ισχύ βραχυκύκλωσης που παρουσιάζεται στο ζυγό «HV NODE 2». Έτσι είναι:

$$S_k'' = \sqrt{3} \cdot 150kV \cdot I_{k3, HV NODE 2}'' \cong 93.271 MVA$$

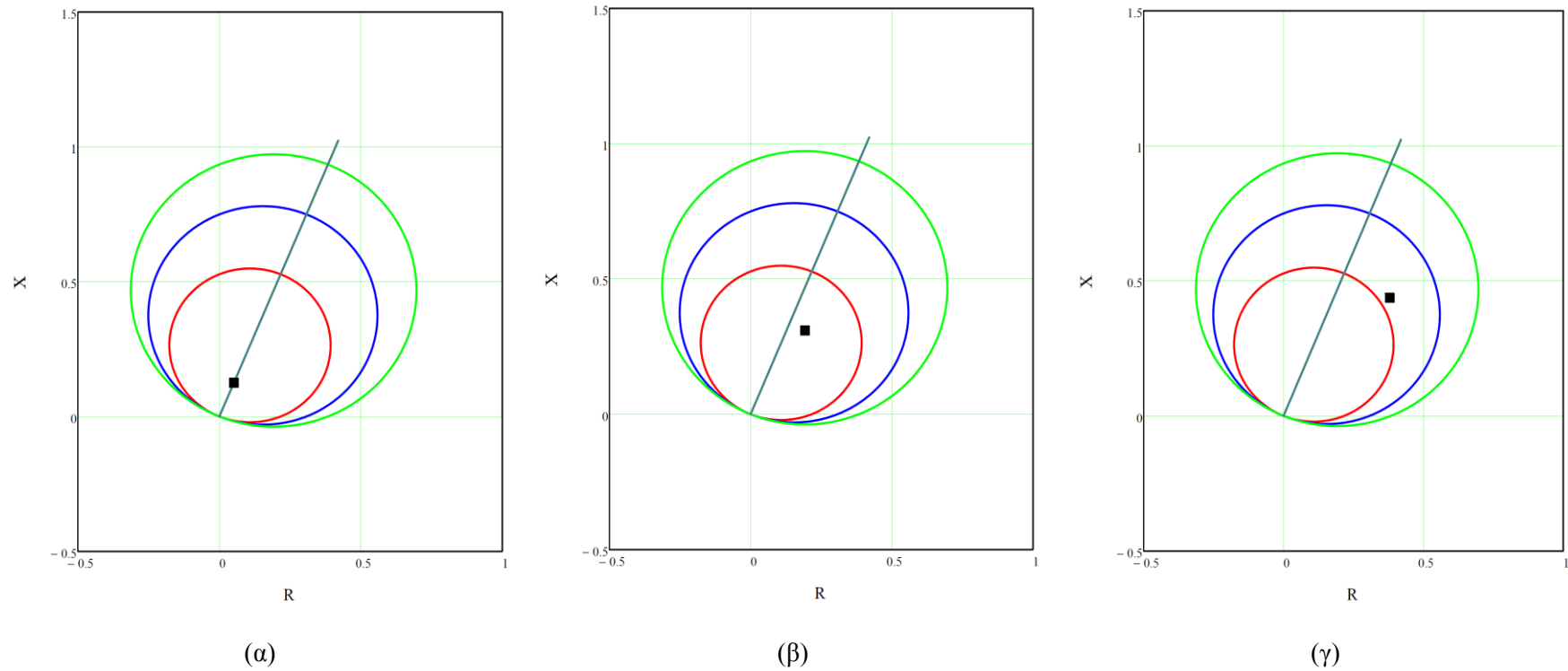
$$R_{arc} = \frac{76 \cdot 150^2}{93271} \cong 18.334 \Omega$$



4.3.1 Σφάλματα δοκιμής εντός της 1ης ζώνης προστασίας αποστάσεως

Σφάλμα	Φάση	$V_L^{311B}$ (V)	$I_L^{311B}$ (A)	Στοιχείο	$Z_{φαιν.}^{311B}$ ( $\Omega$ )	$t_{op,φαιν.}$ (sec)	$Z_{μετρ,πολ.}^{311B}$ ( $\Omega$ )	$t_{op,πολ.}$ (sec)
k3	L1	1.786∠ - 18.89°	13.235∠ - 86.56°	mAB	0.135∠67.67°	0	0.135	0
	L2	1.786∠ - 138.89°	13.235∠153.44°	mBC	0.135∠67.67°	0	0.135	0
	L3	1.786∠101.1°	13.235∠33.44	mCA	0.135∠67.67°	0	0.135	0
<u>Λεπτομέρειες σφάλματος:</u> 20% LL + Max + Χωρίς ZF				mAG	0.135∠67.67°	0	0.135	0
				mBG	0.135∠67.67°	0	0.135	0
				mCG	0.135∠67.67°	0	0.135	0
				51P	-	0.789	-	0.789
				50P	-	0.8	-	0.8
k1	L1	8.504∠ - 23.14°	14.298∠ - 83.59°	mAB	3.501∠150.11°	∞	4.033	∞
	L2	50.722∠ - 103.83°	0	mBC	∞	∞	∞	∞
	L3	52.175∠103.43°	0	mCA	4.032∠13.82°	∞	3.2	∞
<u>Λεπτομέρειες σφάλματος:</u> 50% LL + Min + Χωρίς ZF				mAG	0.364∠58.09°	0	0.345	0
				mBG	5.594∠ - 26.32°	∞	-15.522	∞
				mCG	5.755∠ - 179.06°	∞	-8.631	∞
				51P	-	0.661	-	0.661
				51G	-	0.874	-	0.874
				51Q	-	0.847	-	0.847
				50P	-	0.8	-	0.8
				50Q	-	5	-	5
k2	L1	63.509∠0°	0	mAB	9.238∠ - 3.91°	∞	11.588	∞
	L2	35.597∠ - 171.72°	10.702∠ - 173.11°	mBC	0.579∠49.03°	0.2	0.498	0
	L3	28.745∠169.72°	10.702∠6.89°	mCA	8.59∠169.92°	∞	30.208	∞
<u>Λεπτομέρειες σφάλματος:</u> 70% LL + Max + Με $Z_{arc}=20\Omega$				mAG	∞	∞	∞	∞
				mBG	3.326∠1.4°	∞	2.136	∞
				mCG	2.686∠162.84°	∞	2.463	∞
				51P	-	1.334	-	1.334
				51Q	-	0.642	-	0.642
				50P	-	0.8	-	0.8
				50Q	-	5	-	5

Πίνακας 4.1: Ρεύματα και τάσεις σφαλμάτων δοκιμής 1ης ζώνης προστασίας & αναμενόμενη συμπεριφορά στοιχείων προστασίας H/N SEL-311B

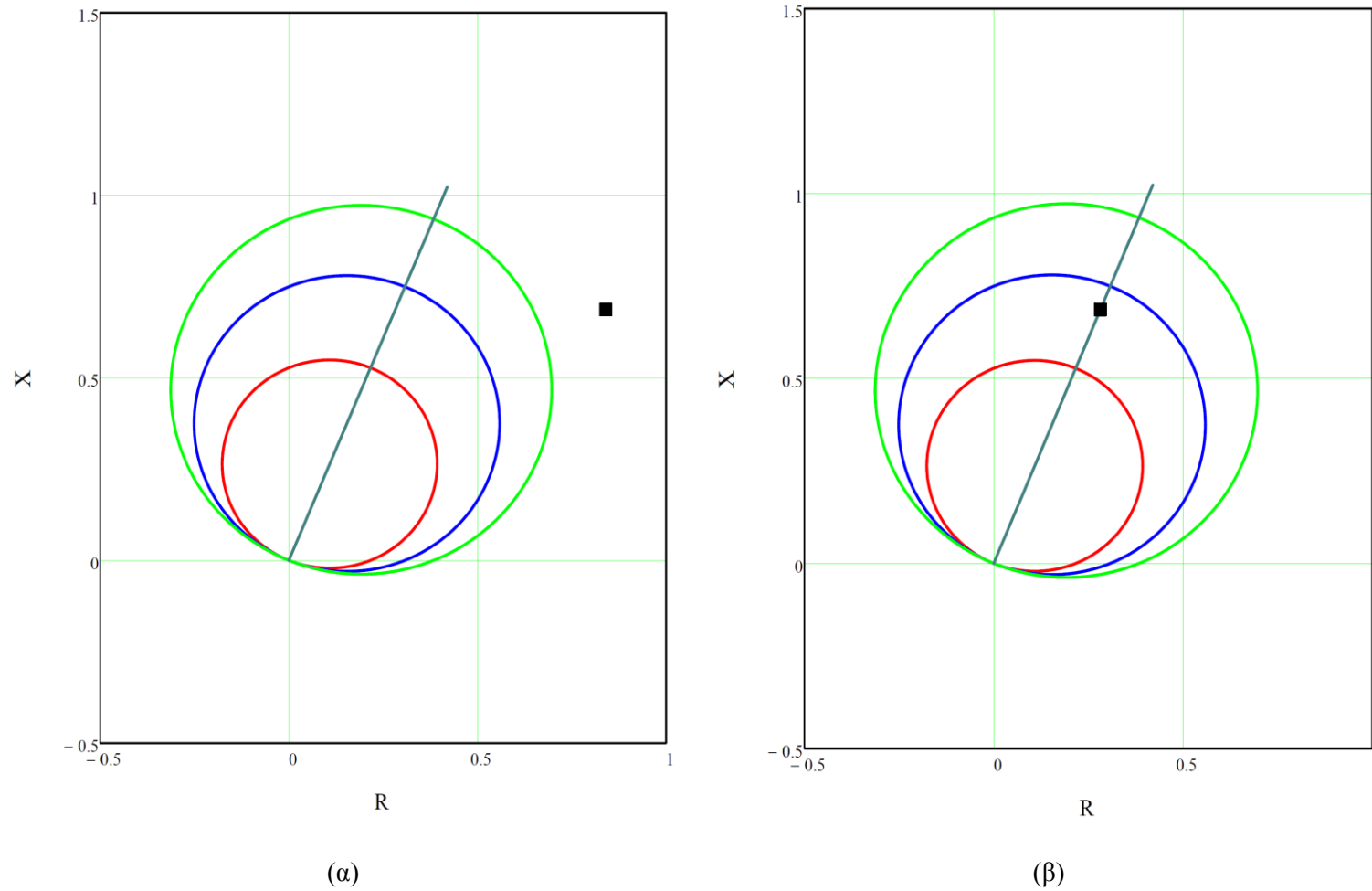


Εικόνα 4.6: Φαινόμενη σύνθετη αντίσταση σφαλμάτων δοκιμής 1<sup>ης</sup> ζώνης & ρυθμισμένοι κύκλοι mho | (α) k3 σφάλμα | (β) k1 σφάλμα | (γ) k2 σφάλμα

4.3.2 Σφάλματα δοκιμής εντός της 2<sup>ης</sup> ζώνης προστασίας αποστάσεως

Σφάλμα	Φάση	$V_L^{311B}$ (V)	$I_L^{311B}$ (A)	Στοιχείο	$Z_{φαιν.}^{311B}$ ( $\Omega$ )	$t_{op,φαιν.}$ (sec)	$ Z_{μετρ,πολ.}^{311B} $ ( $\Omega$ )	$t_{op,πολ.}$ (sec)	
k3	L1	11.473∠ - 39.36°	10.576∠ - 78.63°	mAB	1.085∠39.26°	∞	0.859	0.8	
	L2	11.473∠ - 159.36°	10.576∠161.37°	mBC	1.085∠39.26°	∞	0.859	0.8	
	L3	11.473∠80.64°	10.576∠41.37°	mCA	1.085∠39.26°	∞	0.859	0.8	
	<u>Λεπτομέρειες σφάλματος:</u> 110% LL + Min + Με $Z_{arc}=20\Omega$				mAG	1.085∠39.26°	∞	0.859	0.8
					mBG	1.085∠39.26°	∞	0.859	0.8
					mCG	1.085∠39.26°	∞	0.859	0.8
51P					-	1.377	-	1.377	
				50P	-	0.8	-	0.8	
k1	L1	16.476∠ - 12.94°	13.603∠ - 82.97°	mAB	4.386∠140.66°	∞	5.507	∞	
	L2	56.385∠ - 106.31°	0	mBC	∞	∞	∞	∞	
	L3	58.081∠105.82°	0	mCA	4.967∠21.13°	∞	4.369	∞	
<u>Λεπτομέρειες σφάλματος:</u> 110% LL + Max + Χωρίς ZF				mAG	0.742∠67.67°	0.2	0.742	0.2	
				mBG	6.537∠ - 29.41°	∞	-17.818	∞	
				mCG	6.733∠ - 177.29°	∞	-10.352	∞	
				51P	-	0.74	-	0.74	
				51G	-	0.922	-	0.922	
				51Q	-	0.894	-	0.894	
				50P	-	0.8	-	0.8	
				50G	-	5	-	5	
50Q	-	5	-	5					

Πίνακας 4.2: Ρεύματα και τάσεις σφαλμάτων δοκιμής 2ης ζώνης προστασίας & αναμενόμενη συμπεριφορά στοιχείων προστασίας H/N SEL-311B

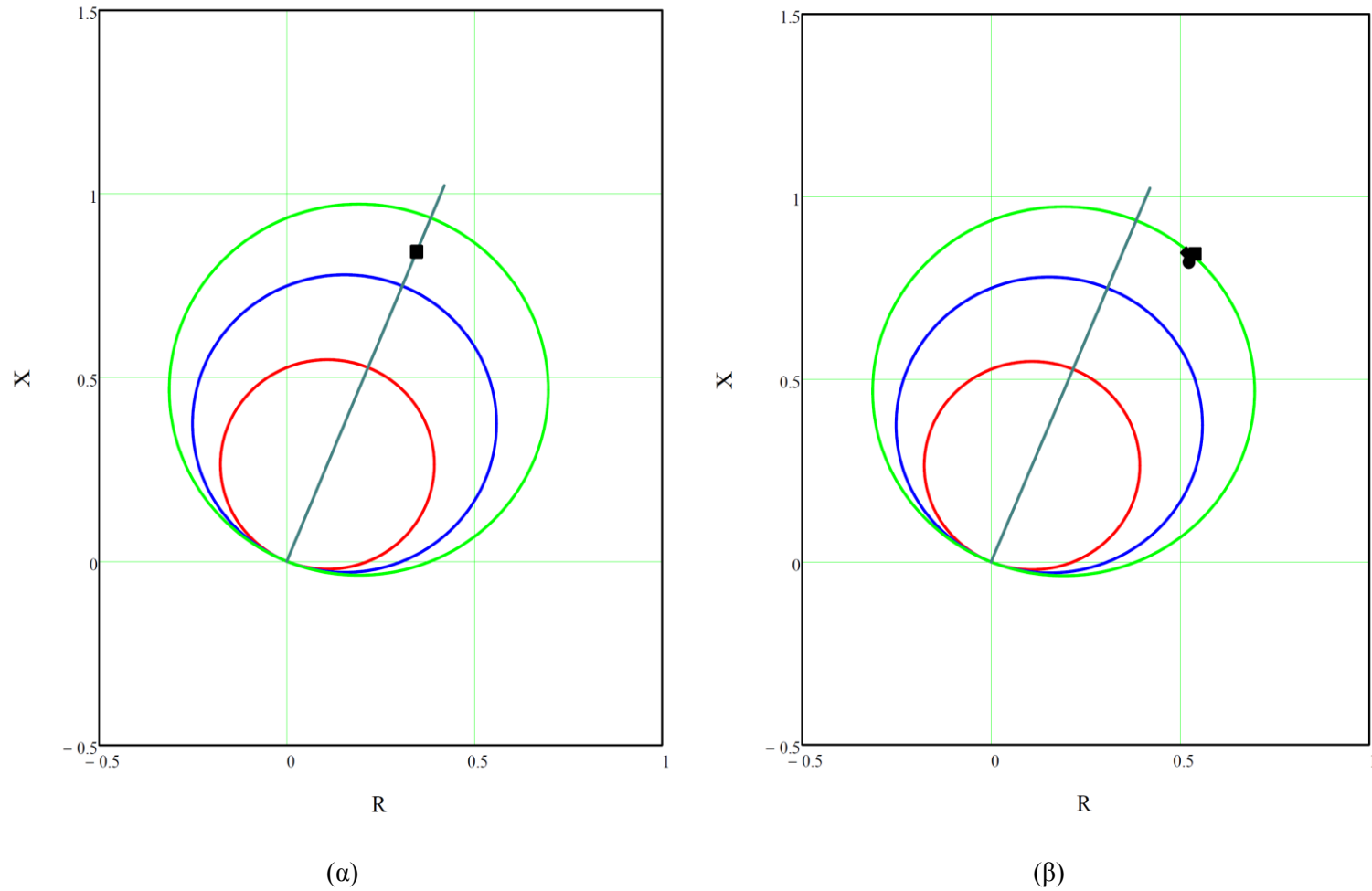


Εικόνα 4.7: Φαινόμενη σύνθετη αντίσταση σφαλμάτων δοκιμής 2ης ζώνης & ρυθμισμένοι κύκλοι  $mho$  | (α)  $k3$  σφάλμα | (β)  $k1$  σφάλμα

4.3.3 Σφάλματα δοκιμής εντός της 3<sup>ης</sup> ζώνης προστασίας αποστάσεως

Σφάλμα	Φάση	$V_L^{311B}$ (V)	$I_L^{311B}$ (A)	Στοιχείο	$Z_{\text{φαιν.}}^{311B}$ ( $\Omega$ )	$t_{\text{op,φαιν.}}$ (sec)	$ Z_{\text{μετρ,πολ.}}^{311B} $ ( $\Omega$ )	$t_{\text{op,πολ.}}$ (sec)
k2	L1	63.509 $\angle$ 0 <sup>ο</sup>	0	mAB	9.887 $\angle$ -0.97 <sup>ο</sup>	$\infty$	12.433	$\infty$
	L2	35.373 $\angle$ -165.79 <sup>ο</sup>	9.93 $\angle$ -173.96 <sup>ο</sup>	mBC	0.911 $\angle$ 67.67 <sup>ο</sup>	0.8	0.911	0.8
	L3	30.48 $\angle$ 163.45 <sup>ο</sup>	9.93 $\angle$ 6.04 <sup>ο</sup>	mCA	9.378 $\angle$ 168.61 <sup>ο</sup>	$\infty$	35.701	$\infty$
<p><u>Λεπτομέρειες σφάλματος:</u> 135% LL + Max + Χωρίς ZF</p>				mAG	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
				mBG	3.562 $\angle$ 8.17 <sup>ο</sup>	$\infty$	2.562	$\infty$
				mCG	3.069 $\angle$ 157.41 <sup>ο</sup>	$\infty$	3.214	$\infty$
				51P	-	1.636	-	1.636
				51Q	-	0.695	-	0.695
				50P	-	0.8	-	0.8
				50Q	-	5	-	5
kE2E	L1	42.798 $\angle$ -3.86 <sup>ο</sup>	0	mAB	5.17 $\angle$ 24.43 <sup>ο</sup>	$\infty$	4.678	$\infty$
	L2	18.442 $\angle$ -164.85 <sup>ο</sup>	11.708 $\angle$ 154.4 <sup>ο</sup>	mBC	1.001 $\angle$ 57.35 <sup>ο</sup>	$\infty$	0.94	0.8
	L3	15.468 $\angle$ 131.78 <sup>ο</sup>	10.476 $\angle$ 46.26 <sup>ο</sup>	mCA	5.244 $\angle$ 118.53 <sup>ο</sup>	$\infty$	6.243	$\infty$
<p><u>Λεπτομέρειες σφάλματος:</u> 135% LL + Min + Χωρίς ZF</p>				mAG	5.169 $\angle$ -114.65 <sup>ο</sup>	$\infty$	-5.162	$\infty$
				mBG	0.991 $\angle$ 58.63 <sup>ο</sup>	0.8	0.868	0.8
				mCG	0.973 $\angle$ 57.48 <sup>ο</sup>	0.8	1.028	$\infty$
				51P	-	1.412	-	1.412
				51G	-	0.964	-	0.964
				51Q	-	1.391	-	1.391
				50P	-	0.8	-	0.8
				50G	-	5	-	5
50Q	-	5	-	5				

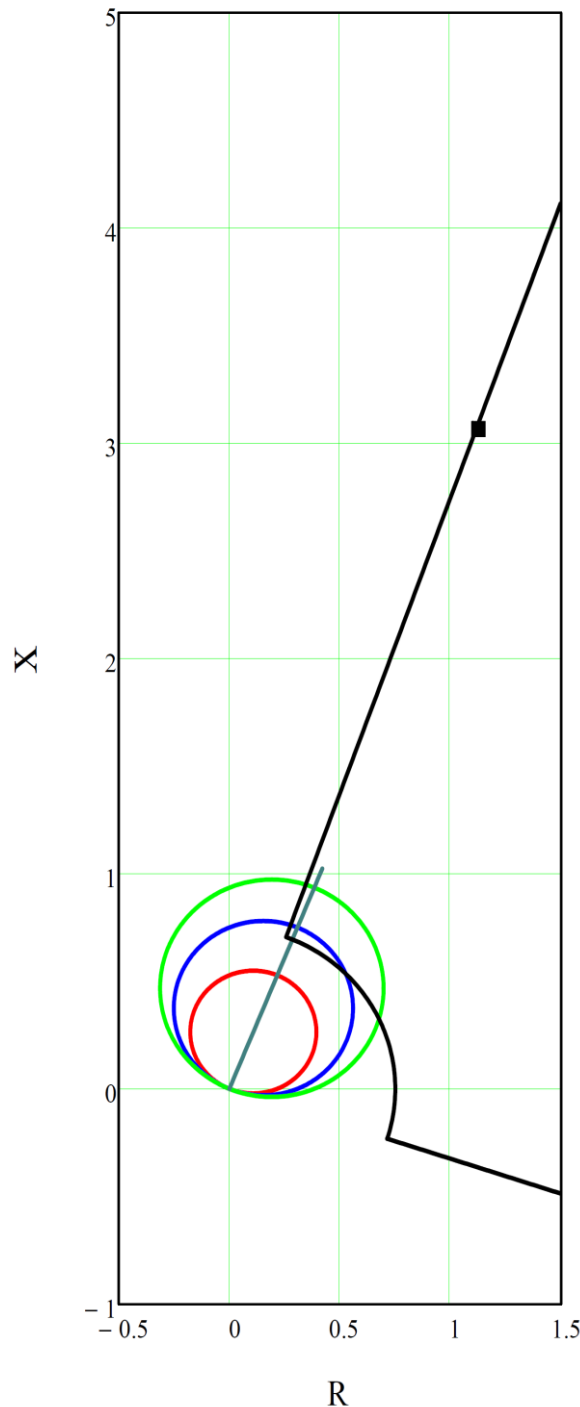
Πίνακας 4.3: Ρεύματα και τάσεις σφαλμάτων δοκιμής 3ης ζώνης προστασίας & αναμενόμενη συμπεριφορά στοιχείων προστασίας H/N SEL-311B



Εικόνα 4.8: Φαινόμενη σύνθετη αντίσταση σφαλμάτων δοκιμής 3ης ζώνης προστασίας & ρυθμισμένοι κύκλοι  $mho$  | (α)  $k2$  σφάλμα | (β)  $kE2E$  σφάλμα

#### 4.3.4 Δοκιμή λογικής απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής

Για την δοκιμή ορθής λειτουργίας της λογικής απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής, η συσκευή CMC 356 ρυθμίστηκε ώστε να δώσει ξανά ένα σφάλμα kE2E στην 3<sup>η</sup> ζώνη προστασίας αποστάσεως (Πίνακας 4.3) και οι ρυθμίσεις της εν λόγω λογικής άλλαξαν σε  $ZLF = 0.75 \Omega$  και  $PLAF = 70^\circ$ . Με αυτό τον τρόπο η μετρούμενη σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας  $Z_{(1)} = \frac{V_{(1)}}{I_{(1)}}$  που θα μέτραγε ο H/N για το σφάλμα που επιλέξαμε, επρόκειτο να πέσει οριακά εντός της χαρακτηριστικής της υπό δοκιμή λογικής όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.9.



Εικόνα 4.9: Μετρούμενη σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας kE2E σφάλματος στη 3<sup>η</sup> ζώνη προστασίας αποστάσεως & τροποποιημένη χαρακτηριστική λογικής απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής

#### 4.3.5 Δοκιμή σφάλματος ανοικτοκύκλωσης

Για τη δοκιμή της προστασίας έναντι σφάλματος ανοικτοκύκλωσης, η συσκευή CMC 356 ρυθμίστηκε ώστε να δώσει στον Η/Ν συμμετρικές ονομαστικές φασικές τάσεις και τα ρεύματα που δίνονται στον παρακάτω πίνακα. Σημειώνεται πως τα ρεύματα αυτά δεν είναι τίποτε άλλο παρά τα ρεύματα από την μελέτη σφαλμάτων ανοικτοκύκλωσης μετά τον Μ/Σ ανύψωσης του δικτύου υποβιβασμένα από τους Μ/Σ έντασης του Η/Ν.

Φάση	$I_L^{311B}$ (A)	Στοιχείο	$t_{op}$ (sec)
L1	0	51P	$\infty$
L2	$1.616\angle -162.65^\circ$	51G	20.859
L3	$1.574\angle 78.54^\circ$	51Q	21.327
		50P	$\infty$
		50G	5
		50Q	5

Πίνακας 4.4: Ρεύματα δοκιμής σφάλματος ανοικτοκύκλωσης & αναμενόμενοι χρόνοι λειτουργίας στοιχείων προστασίας

#### 4.3.6 Δοκιμή λειτουργίας προστασίας υπερτάσεως

Για τη δοκιμή της προστασίας υπερτάσεως, η συσκευή CMC 356 ρυθμίστηκε ώστε να δώσει συμμετρικές τάσεις μέτρου λίγο μεγαλύτερου από το όριο του 110% στο οποίο είχαν ρυθμιστεί.



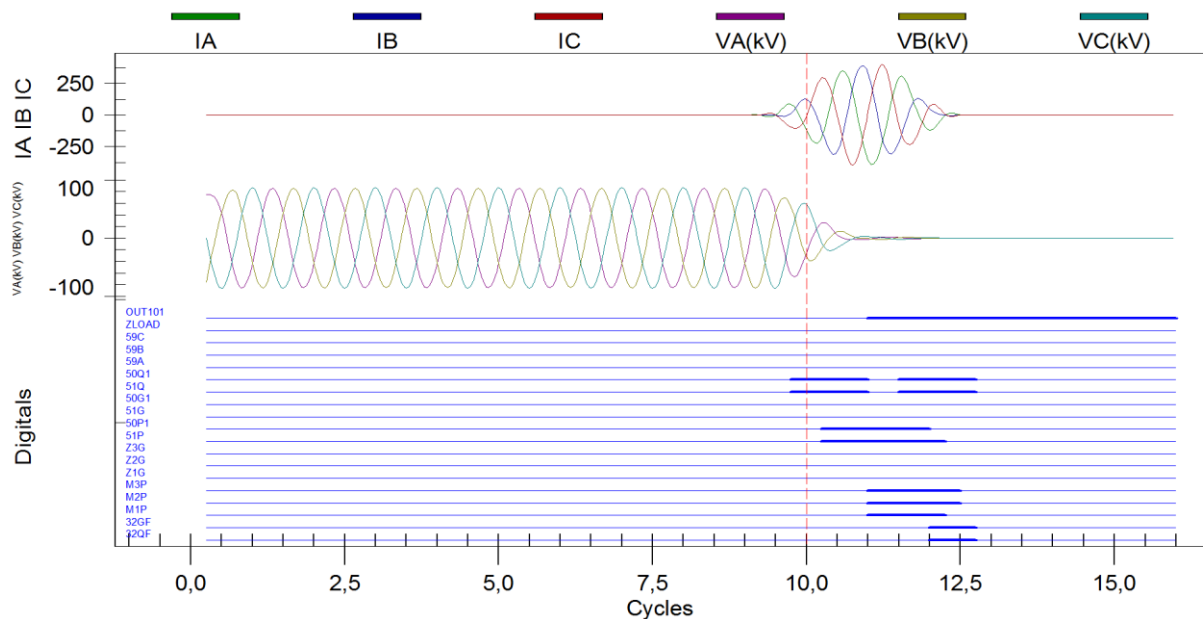
#### 4.4 Παρουσίαση & ανάλυση αποτελεσμάτων δοκιμών

Σε αυτή την ενότητα πρόκειται να παρατεθούν και να αναλυθούν τα αποτελέσματα των σφαλμάτων δοκιμής που διενεργήθηκαν στο εργαστήριο με τη βοήθεια της συσκευής CMC 356.

##### 4.4.1 Μέγιστο k3 σφάλμα στο 20% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος

Για το μέγιστο k3 σφάλμα δοκιμής στο 20% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος, αναμενόταν ότι θα λειτουργήσουν σίγουρα όλα τα στοιχεία προστασίας αποστάσεως καθώς και τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης σταθερού και αντιστρόφου χρόνου.

Στην Εικόνα 4.10 φαίνεται η εξέλιξη των ρευμάτων και των τάσεων του σφάλματος καθώς και η εξέλιξη των καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και των λοιπών σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B κατά τη διάρκεια της εν λόγω δοκιμής.



Εικόνα 4.10: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για το μέγιστο k3 σφάλμα δοκιμής στο 20% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος

Η κλασσική αναφορά γεγονότων που δημιουργήθηκε κατά την εκδήλωση αυτού του σφάλματος δοκιμής είναι η παρακάτω:

SEL-311B  
LNR

Date: 13/05/24 Time: 13:11:06.865

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703

CID=3C2F

[1]	Currents (Amps Pri)					Voltages (kV Pri)				V1	
	IA	IB	IC	IP	IG	VA	VB	VC	VS	Mem	Vdc
0	-0	0	-0	-0	-0	74.8	-75.2	0.3	-0.0	74.7	0
0	0	0	0	0	0	43.7	43.0	-86.6	0.0	43.8	0
-0	0	-0	0	-0	-0	-74.8	75.2	-0.3	0.0	-74.7	0
0	0	-0	0	-0	-0	-43.6	-43.0	86.6	-0.0	-43.7	-0







15	13/05/24	13:11:06.885	M3P	Asserted
14	13/05/24	13:11:06.885	OUT101	Asserted
13	13/05/24	13:11:06.885	OUT102	Asserted
12	13/05/24	13:11:06.885	51Q	Deasserted
11	13/05/24	13:11:06.885	50Q1	Deasserted
10	13/05/24	13:11:06.895	51Q	Asserted
9	13/05/24	13:11:06.895	50Q1	Asserted
8	13/05/24	13:11:06.905	50P1	Deasserted
7	13/05/24	13:11:06.905	IN101	Deasserted
6	13/05/24	13:11:06.910	M1P	Deasserted
5	13/05/24	13:11:06.910	51P	Deasserted
4	13/05/24	13:11:06.915	M2P	Deasserted
3	13/05/24	13:11:06.915	M3P	Deasserted
2	13/05/24	13:11:06.920	51Q	Deasserted
1	13/05/24	13:11:06.920	50Q1	Deasserted

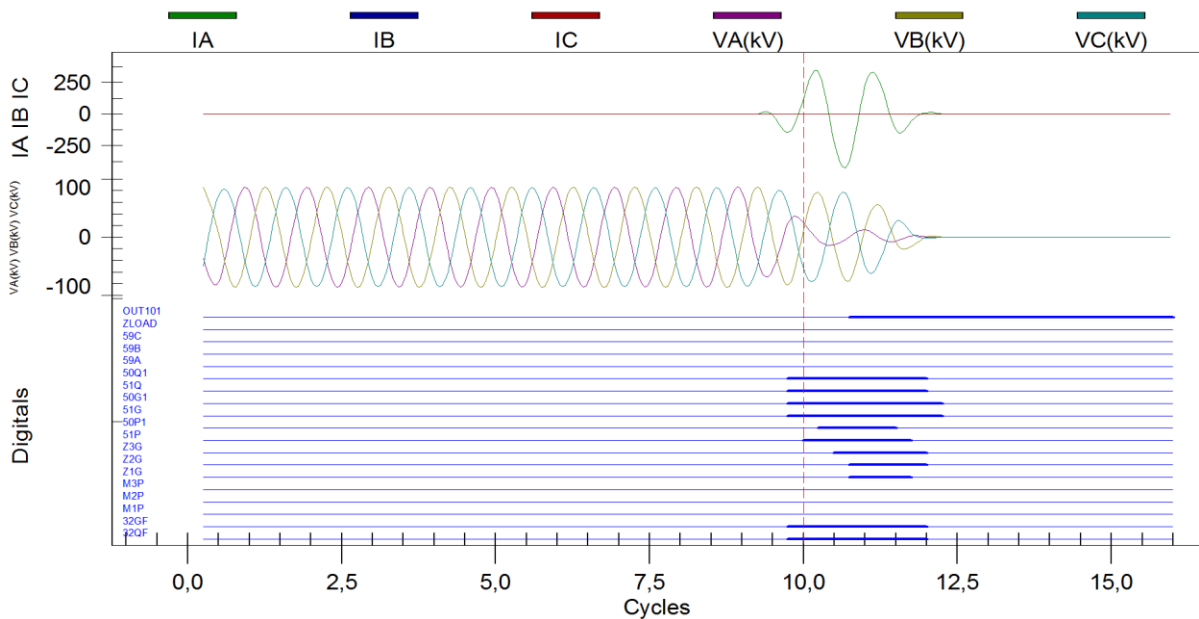
Από τα δεδομένα που παρατέθηκαν διαπιστώνεται ότι:

- Λειτουργήσαν μόνο τα στοιχεία αποστάσεως φάσης του H/N αποκόπτοντας το σφάλμα σε χρόνο περί τα 45 ms. Τα στοιχεία αποστάσεως γης δεν λειτουργήσαν επειδή πιθανότητα κάποιοι εκ των ελέγχων ασφαλείας τα παρεμπόδισαν (π.χ. δεν πρέπει να υπήρξε υπέρβαση του ρεύματος λειτουργίας γης).
- Τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης αναγνώρισαν το σφάλμα ως όφειλαν χωρίς, όμως, να προλάβουν να λειτουργήσουν λόγω της στιγμιαίας λειτουργίας των στοιχείων αποστάσεως φάσης 1<sup>ης</sup> ζώνης.
- Τα στοιχεία υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας σταθερού και αντιστρόφου χρόνου παρουσίασαν μια ασταθή συμπεριφορά κατά τη διάρκεια του σφάλματος δοκιμής, ενώ αναμέναμε ότι δεν θα λειτουργούσαν καθόλου. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η αλλαγή των ρευμάτων εξόδου της συσκευής CMC 356 από την μία τιμή στην άλλη. Στην πραγματικότητα τέτοια μεταβατικά ρεύματα αρνητικής ακολουθίας παρατηρούνται και σε περιπτώσεις απότομης εμφάνισης ενός συμμετρικού ρεύματος φορτίου ενώ ο Δ/I είναι κλειστός. Αυτός είναι και λόγος για τον οποίο δεν συνίσταται να χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές προστασίας στοιχεία υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας στιγμιαίου χρόνου. (βλ. Appendix F του [17])
- Τα στοιχεία τάσεως ενεργοποιήθηκαν ως όφειλαν αναγνωρίζοντας υπόταση.
- Το σφάλμα αναγνωρίστηκε ορθά ως τριφασικό.
- Η εκτίμηση της απόστασης του σφάλματος στα 286.01km ήταν απογοητευτική σε σχέση με την πραγματική ( $20\% \cdot 70 \text{ km} = 14 \text{ km}$ ). Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο εξαιρετικά μικρό χρονικό διάστημα που διήρκησε το εν λόγω σφάλμα. Γενικά ισχύει ότι όσο περισσότερο διαρκεί ένα σφάλμα, τόσο καλύτερη είναι η εκτίμηση του σημείου του σφάλματος. [26]

#### 4.4.2 Ελάχιστο k1 σφάλμα στο 50% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος

Για το ελάχιστο k1 σφάλμα δοκιμής στο 50% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος αναμενόταν ότι θα λειτουργήσουν όλα τα ρυθμισμένα στοιχεία υπερεντάσεως καθώς και το στοιχείο αποστάσεως γης που έχει να κάνει με την εσφαλμένη φάση.

Στην Εικόνα 4.11 φαίνεται η εξέλιξη των ρευμάτων και των τάσεων του σφάλματος καθώς και η εξέλιξη των καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και των λοιπών σημάτων ελέγχου του Η/Ν SEL-311B κατά τη διάρκεια της εν λόγω δοκιμής.



Εικόνα 4.11: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του Η/Ν SEL-311B για το ελάχιστο κ1 σφάλμα δοκιμής στο 50% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος

Παρατίθεται η κλασική αναφορά γεγονότων που δημιουργήθηκε κατά την εκδήλωση του εν λόγω σφάλματος δοκιμής.

SEL-311B  
LNR

Date: 13/05/24 Time: 13:26:50.885

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703

CID=3C2F

[1]	Currents (Amps Pri)					Voltages (kV Pri)			V1	
	IA	IB	IC	IP	IG	VA	VB	VC	VS	Mem Vdc
-0	0	0	0	-0	-0	-37.0	86.3	-49.2	0.0	-36.9 0
0	0	-0	0	-0	-0	-78.3	7.0	71.3	-0.0	-78.3 -0
0	-0	0	0	-0	-0	37.1	-86.3	49.1	-0.0	36.9 0
-0	-0	0	-0	-0	-0	78.2	-7.0	-71.3	0.0	78.3 0

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[10]	-0	0	-0	-0	-0	-38.0	86.4	-48.3	0.0	-37.9 0
	-6	-0	-0	0	-6	-56.7	-1.2	64.8	-0.0	-75.5 -0
	-145	0	0	0	-145	24.9	-82.2	52.4	-0.0	36.5 0
	121	0	0	-0	121	24.2	12.3	-53.9	0.0	70.1 0>
[11]	326	-0	-0	0	326	-6.2	76.1	-58.5	0.0	-33.4 0

-230	-0	-0	0	-230	-12.7	-16.3	49.9	-0.0	-64.8	-0*
-362	0	0	0	-362	0.7	-74.3	60.2	-0.0	30.5	0
230	0	0	-0	230	12.7	16.3	-50.0	0.0	60.7	0
[12]										
237	-0	-0	-0	236	-2.6	53.2	-37.2	0.0	-28.5	0
-127	0	0	0	-127	-6.7	-8.8	26.2	-0.0	-53.3	-0
-56	0	0	0	-56	2.2	-16.0	7.0	-0.0	24.5	0
11	0	-0	-0	11	0.3	0.6	-1.2	-0.0	51.9	0
[13]										
-0	0	-0	0	-0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-23.7	0
0	0	0	-0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	-50.3	-0
0	-0	0	-0	-0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	23.0	0
0	-0	0	0	-0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	48.7	0
[14]										
-0	-0	-0	0	-0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-22.3	0
-0	0	-0	0	-0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-47.2	0
0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.6	0
0	0	0	-0	0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	45.7	0

(οι υπόλοιποι κύκλοι παραλείπονται)

Protection and Contact I/O Elements

```

21      V 51  50      32 67      Dm 27  59  25   TS
ZZZZZZ P      P G Q    Q P G Q          5   ih ZLV Out1 In1
ABCABC O      1 1 1    V 1 1 1  P   P   P   9S  7mo lOd 1357 135
BCAGGG L PGQ  232323  QI 232323  QG PPS PPS VFA 9et dPc 246A 246
    
```

[1]

```

..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
    
```

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[10]

```

..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. AC. .... .. ..... .. ..... 13.
..... V .pp ..1.1. QQ ..1.1. .. Aa. .... .. ..... .. ..... 13.
..... V ppp ..1.1. QQ ..1.1. .. ca. .... .. ..... .. ..... 13. >
    
```

[11]

```

..... V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. aa. .... .. ..... .. ..... 13.
...3.. V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 3a. .... .. ..... .. ..... 13.
...1.. V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. aa. .... .. ..... .. b... 13.
...1.. V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. aa. .... .. ..... .. b... 13.
    
```

[12]

```

...1.. V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 33. .... .. ..... .. b... 13.
...1.. V ppp ..1.1. QQ ..1.1. .. 33. .... .. ..... .. b... 13.
...2.. V rpp ..1.1. QQ ..1.1. .. 33. .... .. ..... .. b... .3.
..... V rpr ..1.... .. ..... .. 33. .... .. ..... .. b... .3.
    
```





\*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 \*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....

(οι υπόλοιποι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

Event: AG T Location: 41.06 Shot: Frequency: 50.00  
 Targets: ZONE1  
 Currents (A Pri), ABCPGQ: 399 0 0 0 399 428

Ακόμη, παρατίθεται και η αναφορά διαδοχής γεγονότων της εν λόγω δοκιμής.

SEL-311B Date: 13/05/24 Time: 13:27:45.781  
 LNR

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703 CID=3C2F

#	DATE	TIME	ELEMENT	STATE
21	13/05/24	13:26:50.880	50G1	Asserted
20	13/05/24	13:26:50.880	51G	Asserted
19	13/05/24	13:26:50.880	51Q	Asserted
18	13/05/24	13:26:50.880	50Q1	Asserted
17	13/05/24	13:26:50.885	51P	Asserted
16	13/05/24	13:26:50.890	50P1	Asserted
15	13/05/24	13:26:50.895	Z3G	Asserted
14	13/05/24	13:26:50.900	Z2G	Asserted
13	13/05/24	13:26:50.900	Z1G	Asserted
12	13/05/24	13:26:50.900	OUT101	Asserted
11	13/05/24	13:26:50.900	OUT102	Asserted
10	13/05/24	13:26:50.915	50P1	Deasserted
9	13/05/24	13:26:50.920	Z1G	Deasserted
8	13/05/24	13:26:50.920	IN101	Deasserted
7	13/05/24	13:26:50.920	51P	Deasserted
6	13/05/24	13:26:50.925	Z2G	Deasserted
5	13/05/24	13:26:50.925	Z3G	Deasserted
4	13/05/24	13:26:50.925	51Q	Deasserted
3	13/05/24	13:26:50.925	50Q1	Deasserted
2	13/05/24	13:26:50.930	50G1	Deasserted
1	13/05/24	13:26:50.930	51G	Deasserted

Από τα δεδομένα αυτά διαπιστώνεται ότι:

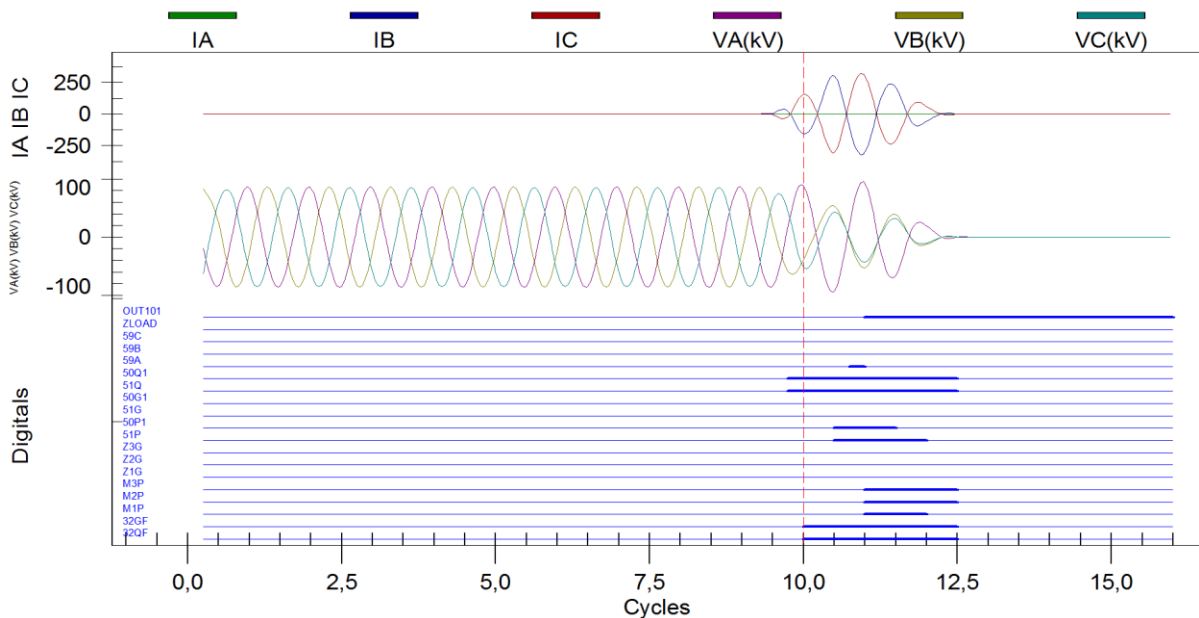
- Το στοιχείο αποστάσεως γης της εσφαλμένης φάσης λειτούργησε σωστά αποκόπτοντας το σφάλμα σε χρόνο περί τα 40 ms.
- Τα στοιχεία υπερεντάσεως σταθερού και αντιστρόφου χρόνου ενεργοποιήθηκαν όπως έπρεπε, παρέχοντας δευτερεύουσα προστασία στη γραμμή μεταφοράς.
- Τα στοιχεία τάσεως λειτούργησαν ορθά αναγνωρίζοντας υπόταση.
- Το είδος του σφάλματος αναγνωρίστηκε επιτυχώς ως μονοφασικό προς γη.

- Η εκτίμηση της θέσης του σφάλματος στα 41.06km ήταν αρκετά κοντά στην πραγματική ( $50\% \cdot 70km = 35km$ ) και η διαφορά που υπάρχει πιθανότατα οφείλεται στο ότι επιβάλλαμε ρεύματα και τάσεις σφάλματος έπειτα από μελέτη ελαχίστων σφαλμάτων βραχυκύκλωσης στις οποίες, κατά το [32], η αντίσταση της γραμμής μεταφοράς θεωρείται μεγαλύτερη λόγω θερμοκρασίας.

#### 4.4.3 Μέγιστο k2 σφάλμα στο 70% της γραμμής μεταφοράς με αντίσταση τόξου 20Ω

Για το μέγιστο k2 σφάλμα δοκιμής στο 70% της γραμμής μεταφοράς με αντίσταση τόξου 20Ω αναμενόταν ότι θα λειτουργήσουν τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης και αρνητικής ακολουθίας σταθερού και αντιστρόφου χρόνου καθώς και το στοιχείο αποστάσεως φάσης που εμπλέκει τις εσφαλμένες φάσεις.

Στην Εικόνα 4.12 φαίνεται η εξέλιξη των ρευμάτων και των τάσεων του σφάλματος καθώς και η εξέλιξη των καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και των λοιπών σημάτων ελέγχου του Η/Ν SEL-311B κατά τη διάρκεια της εν λόγω δοκιμής.



Εικόνα 4.12: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του Η/Ν SEL-311B για το μέγιστο k2 σφάλμα δοκιμής στο 70% της γραμμής μεταφοράς με αντίσταση τόξου 20Ω

Στο σημείο αυτό παρατίθεται η κλασική αναφορά γεγονότων που παράχθηκε από τον Η/Ν κατά την εμφάνιση του σφάλματος.

SEL-311B  
LNR

Date: 13/05/24 Time: 13:41:14.354

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703

CID=3C2F

Currents (Amps Pri)					Voltage (kV Pri)			V1	
IA	IB	IC	IP	IG	VA	VB	VC	VS	Mem Vdc
[1]									
0	0	0	0	0	-20.0	83.0	-62.9	0.0	-19.9 0
-0	0	-0	0	-0	-84.3	24.7	59.6	-0.0	-84.3 0

0	-0	0	-0	-0	20.1	-83.0	62.8	-0.0	19.9	0
0	-0	0	-0	-0	84.2	-24.6	-59.6	0.0	84.3	-0

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[10]

0	0	0	0	0	-21.1	83.3	-62.1	0.0	-21.0	0
0	5	-4	0	1	-84.1	23.7	60.3	-0.0	-84.0	0
0	20	-20	-0	-1	20.3	-59.0	42.9	-0.0	20.7	0
0	-157	155	-0	-1	88.3	-38.5	-51.6	0.0	81.5	0>

[11]

0	38	-38	0	0	-21.5	20.2	-10.4	0.0	-18.7	0
-0	301	-301	0	-0	-92.4	53.1	43.0	0.0	-75.0	0*
0	-116	115	-0	-0	23.4	-5.6	-3.1	-0.0	15.6	0
0	-300	299	-0	-0	92.3	-53.1	-43.0	-0.0	68.1	-0

[12]

0	116	-116	0	-0	-23.5	5.6	3.1	0.0	-13.3	0
-0	207	-206	0	0	-65.5	38.9	31.8	0.0	-59.7	0
-0	-60	60	0	-0	12.1	-2.9	-1.6	-0.0	10.7	0
0	-57	57	0	-0	19.3	-12.4	-10.3	-0.0	47.4	0

[13]

-0	2	-2	0	0	-0.3	0.1	0.1	0.0	-7.9	0
0	-0	0	-0	-0	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	-45.9	0
0	-0	0	0	-0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	7.6	0
-0	-0	-0	0	-0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.5	0

[14]

-0	0	-0	-0	-0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-7.4	0
0	0	0	0	0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-43.1	0
-0	0	0	-0	-0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0
-0	-0	-0	0	-0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	41.8	0

[15]

0	0	-0	0	-0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-6.9	0
0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	-40.5	0
0	-0	0	0	-0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	0
-0	-0	-0	-0	-0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	39.2	0

(οι υπόλοιποι κύκλοι παραλείπονται)

Protection and Contact I/O Elements

```

21      V 51  50      32 67      Dm 27  59  25   TS
ZZZZZZ P      P G Q    Q P G Q      5   ih ZLV Out1 In1
ABCABC O      1 1 1    V 1 1 1    P   P   P   9S  7mo lOd 1357 135
BCAGGG L PGQ  232323  QI 232323  QG PPS PPS VFA 9et dPc 246A 246
    
```

[1]

```

..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
    
```

(οι ενδιαμέσσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[10]

```

..... V ... .. 13.
..... V ... .. 13.
..... V ..p ....1. .. bb. ... .. 13.
..... V ..p ....1. QQ ....1. .. bB. ... .. 13. >

```

[11]

```

..... V ..p ....1. QQ ....1. .. bb. ... .. 13.
..... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. bB. ... .. 13.
..... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. bB. A.. ... .. 13.
.1.... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. bB. ... .. b... 13.

```

[12]

```

.1.... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. bB. ... .. b... 13.
.1.... V p.p ....1. QQ ....1. .. 33. ... .. b... 13.
.1.... V p.p ....1. QQ ....1. .. 33. ... .. b... 13.
.2.... V r.p ....1. QQ ....1. .. 33. ... .. b... .3.

```

[13]

```

.2.... V r.p ....1. QQ ....1. .. 33. ... .. b... .3.
..... V r.r ... .. 33. ... .. b... .3.
..... V r.r ... .. 33. ... .. b... .3.
..... V ..r ... .. 33. ... .. b... .3.

```

[14]

```

..... V ..r ... .. 33. ... .. b... .3.
..... V ... .. 33. ... .. b... .3.
..... V ... .. 33. ... .. b... .3.
..... V ... .. 33. ... .. b... .3.

```

[15]

```

..... V ... .. 33. ... .. b... .3.
..... V ... .. 33. ... .. b... .3.
..... V ... .. 33. ... .. b... .3.
..... V ... .. 33. ... .. b... .3.

```

(οι υπόλοιποι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

Communication Elements

Control Elements

S	TMB	RMB	TMB	RMB	RRCL	Lcl	Rem	Ltch	SELogic																		
30	A	A	B	B	OBBB																						
PT	1357	1357	1357	1357	KAAO	O	RW	RW	RW	RW	RW	RW							1111111								
OF	2468	2468	2468	2468	DDK	C	5	6	7	8	9	10	12	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6

[1]

```

.. .. . 00 00 00 00 00 00 ..
.. .. . 00 00 00 00 00 00 ..
.. .. . 00 00 00 00 00 00 ..
.. .. . 00 00 00 00 00 00 ..

```

(οι ενδιαμέσσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[10]

```

.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....>
[11]
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 ...p.....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
[12]
.. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
[13]
.. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
[14]
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
[15]
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....

```

(οι υπόλοιποι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

```

Event: BC T Location: 55.59 Shot: Frequency: 50.00
Targets: ZONE1
Currents (A Pri), ABCPGQ: 0 303 303 0 0 374

```

Επίσης, παρατίθεται και η αναφορά διαδοχής γεγονότων όπως αυτή δημιουργήθηκε κατά την διάρκεια της δοκιμής.

```

SEL-311B Date: 13/05/24 Time: 13:51:03.908
LNR

```

```

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703 CID=3C2F

```

#	DATE	TIME	ELEMENT	STATE
21	13/05/24	13:41:14.349	51Q	Asserted
20	13/05/24	13:41:14.349	50Q1	Asserted
19	13/05/24	13:41:14.364	50P1	Asserted
18	13/05/24	13:41:14.364	51P	Asserted

17	13/05/24	13:41:14.369	59A	Asserted
16	13/05/24	13:41:14.374	M2P	Asserted
15	13/05/24	13:41:14.374	M1P	Asserted
14	13/05/24	13:41:14.374	M3P	Asserted
13	13/05/24	13:41:14.374	OUT101	Asserted
12	13/05/24	13:41:14.374	OUT102	Asserted
11	13/05/24	13:41:14.374	59A	Deasserted
10	13/05/24	13:41:14.384	50P1	Deasserted
9	13/05/24	13:41:14.394	M1P	Deasserted
8	13/05/24	13:41:14.394	IN101	Deasserted
7	13/05/24	13:41:14.394	51P	Deasserted
6	13/05/24	13:41:14.404	M2P	Deasserted
5	13/05/24	13:41:14.404	M3P	Deasserted
4	13/05/24	13:41:14.404	51Q	Deasserted
3	13/05/24	13:41:14.404	50Q1	Deasserted

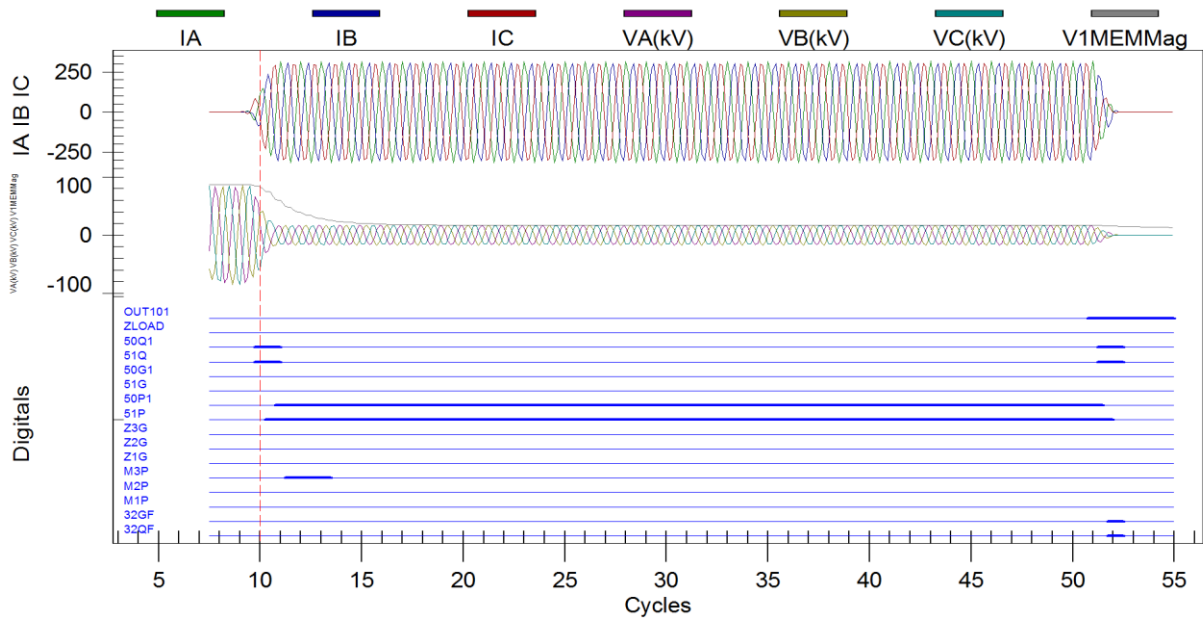
Από τα παραπάνω δεδομένα παρατηρείται ότι:

- Το στοιχείο αποστάσεως φάσης λειτούργησε ως όφειλε αποκόπτοντας το σφάλμα σε χρόνο περί τα 45 ms. Ο χρόνος αυτός υποδηλώνει ότι εμφανίστηκε το φαινόμενο διεύρυνσης της χαρακτηριστικής λειτουργίας του εν λόγω στοιχείου αποστάσεως εξαιτίας της χρήσης τάσεως πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη, αφού σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται απλή πόλωση τάσης, το στοιχείο θα έπρεπε να λειτουργήσει σε 200 ms (βλ. Εικόνα 4.6).
- Τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης και αρνητικής ακολουθίας σταθερού και αντιστρόφου χρόνου ενεργοποιήθηκαν όπως έπρεπε.
- Τα στοιχεία τάσεως ανίχνευσαν ορθά και υπόταση αλλά και υπέρταση.
- Το είδος του σφάλματος αναγνωρίστηκε ορθώς ως διφασικό χωρίς γη.
- Η απόσταση από το σφάλμα εκτιμήθηκε αρκετά σωστά στα 55.59km σε σχέση με την πραγματική ( $70\% \cdot 70km = 49km$ ), ενώ η διαφορά που παρατηρείται πιθανότατα οφείλεται στο σφάλμα που υπεισέρχεται στους υπολογισμούς των μεθόδων εκτίμησης από την παρουσία της αντιστάσεως τόξου.

#### 4.4.4 Ελάχιστο k3 σφάλμα στο 110% της γραμμής μεταφοράς με αντίσταση τόξου 20Ω

Για το ελάχιστο k3 σφάλμα δοκιμής στο 110% της γραμμής μεταφοράς με αντίσταση τόξου 20Ω αναμενόταν ότι θα λειτουργήσουν σίγουρα τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης σταθερού και αντιστρόφου χρόνου. Όσον αφορά τα στοιχεία αποστάσεως, αναμενόταν ότι τουλάχιστον κατά τους πρώτους κύκλους μετά την εμφάνιση του σφάλματος δοκιμής θα ενεργοποιούνταν η 3<sup>η</sup> ζώνη προστασίας λόγω της χρήσης τάσης πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη. Στο σημείο αυτό επισημαίνεται πως τα στοιχεία τάσεως του Η/Ν είχαν τεθεί εκτός λειτουργίας σε αυτή τη δοκιμή.

Στην Εικόνα 4.13 φαίνεται η εξέλιξη των ρευμάτων και των τάσεων του σφάλματος καθώς και η εξέλιξη των καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και των λοιπών σημάτων ελέγχου του Η/Ν SEL-311B κατά τη διάρκεια της εν λόγω δοκιμής.



Εικόνα 4.13: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για ελάχιστο k3 σφάλμα δοκιμής στο 110% της γραμμής μεταφοράς με αντίσταση τόξου 20Ω

Παρακάτω δίνεται η κλασσική αναφορά γεγονότων όπως αυτή δημιουργήθηκε κατά την εκδήλωση του σφάλματος δοκιμής.

SEL-311B Date: 13/05/24 Time: 15:20:40.186  
LNR

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703 CID=3C2F

	Currents (Amps Pri)					Voltage (kV Pri)				V1	
	IA	IB	IC	IP	IG	VA	VB	VC	VS	Mem	Vdc
[1]	-0	0	-0	0	-0	-82.0	65.0	17.0	-0.0	-82.0	-0
	-0	0	-0	0	-0	-27.8	-57.2	84.9	-0.0	-27.9	-0
	0	-0	0	0	-0	82.0	-65.0	-17.1	-0.0	82.0	-0
	-0	-0	0	-0	-0	27.7	57.2	-84.9	0.0	27.9	-0

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[10]	-0	0	-0	0	-0	-82.4	64.3	18.1	0.0	-82.3	-0
	0	0	-0	0	-0	-26.7	-58.0	84.7	-0.0	-26.9	-0
	-50	-37	86	0	-1	66.5	-45.9	-20.6	0.0	80.4	-0
	116	-77	-37	-0	1	19.6	39.2	-58.8	0.0	24.4	-0>
[11]	68	164	-231	0	0	-30.0	22.4	7.6	0.0	-71.1	-0
	-273	172	100	0	-2	-13.5	-10.6	24.1	0.0	-21.1	-0
	-36	-255	291	0	-0	9.3	-17.2	7.8	-0.0	57.0	-0
	315	-189	-126	-0	-0	14.4	0.9	-15.3	0.0	19.4	-0
[12]											

ΚΕΦ. 4<sup>ο</sup>: ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ Η/Ν SEL-311B ΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

36	255	-291	-0	-0	-9.4	17.2	-7.8	0.0	-45.1	-0
-315	189	126	0	-0	-14.4	-0.9	15.3	0.0	-18.2	-0*
-36	-255	291	-0	-0	9.4	-17.2	7.8	-0.0	36.1	-0
315	-189	-127	-0	-0	14.4	0.9	-15.3	0.0	17.2	-0
[13]										
36	255	-291	0	0	-9.4	17.2	-7.8	0.0	-29.5	-0
-315	188	127	0	-0	-14.4	-0.9	15.3	-0.0	-16.5	-0
-36	-255	290	-0	-1	9.4	-17.2	7.8	-0.0	24.4	-0
315	-188	-127	-0	-0	14.4	0.9	-15.4	0.0	16.0	-0
[14]										
35	255	-291	0	0	-9.4	17.2	-7.8	0.0	-20.7	-0
-315	188	127	0	-0	-14.4	-0.9	15.3	0.0	-15.6	-0
-35	-256	290	-0	-0	9.4	-17.2	7.8	-0.0	17.9	-0
315	-188	-128	-0	-0	14.4	0.9	-15.4	0.0	15.3	0
[15]										
35	256	-290	0	-0	-9.4	17.2	-7.8	0.0	-15.8	-0
-315	188	128	0	-0	-14.4	-1.0	15.4	-0.0	-15.1	-0
-35	-256	290	-0	-0	9.4	-17.2	7.7	-0.0	14.2	0
315	-188	-128	-0	-0	14.4	1.0	-15.4	0.0	14.9	0

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[51]										
18	265	-283	0	-0	-10.1	17.1	-7.0	0.0	-10.1	0
-317	174	143	0	-0	-13.9	-1.9	15.7	-0.0	-13.9	0
-18	-266	283	-0	-0	10.1	-17.1	6.9	-0.0	10.1	0
317	-174	-143	-0	-0	13.9	1.9	-15.8	0.0	13.9	0
[52]										
-38	228	-189	0	0	-9.9	12.5	-2.6	0.0	-10.1	0
-162	88	73	0	-1	-7.0	-1.0	7.9	0.0	-12.4	-0
47	-95	48	-0	-0	4.8	-4.0	-0.9	-0.0	9.9	0
4	-1	-2	0	1	0.0	0.0	-0.0	0.0	12.0	0
[53]										
-0	-0	-0	0	-0	-0.0	0.0	0.0	0.0	-9.6	0
-0	0	-0	0	-0	-0.0	0.0	0.0	0.0	-11.7	-0
-0	0	0	-0	-0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3	0
0	0	0	0	0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	11.3	0
[54]										
0	-0	-0	-0	-0	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	-9.0	-0
0	0	-0	0	-0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-10.9	0
0	0	0	0	0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	8.7	0
0	0	0	-0	0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	10.6	0
[55]										
0	-0	0	-0	-0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-8.5	0
0	-0	0	0	-0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-10.3	0
0	-0	-0	0	-0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	8.2	0
-0	0	-0	-0	-0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	9.9	0

(οι υπόλοιποι κύκλοι παραλείπονται)



Protection and Contact I/O Elements

21 V 51 50 32 67 Dm 27 59 25 TS  
 ZZZZZZ P P G Q Q P G Q 5 ih ZLV Out1 In1  
 ABCABC O 1 1 1 V 1 1 1 P P P 9S 7mo 1Od 1357 135  
 BCAGGG L PGQ 232323 QI 232323 QG PPS PPS VFA 9et dPc 246A 246

[1]

..... V ... ..... 13.  
 ..... V ... ..... 13.  
 ..... V ... ..... 13.  
 ..... V ... ..... 13.

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[10]

..... V ... ..... 13.  
 ..... V ... ..... 13.  
 ..... V ..p ....1. .. ..... 13.  
 ..... V ..p ....1. .. ..... 13. >

[11]

..... V p.p ....1. .. ..... 13.  
 ..... V p.p ....1. .. ..... 13.  
 ..... V p.p 1...1. .. 1..... 13.  
 ..... V p.r 1..... .. 1..... 13.

[12]

333... V p.r 1..... .. 1..... 13.  
 333... V p.r 1..... .. 1..... 13.  
 333... V p.r 1..... .. 1..... 13.  
 333... V p.. 1..... .. 1..... 13.

[13]

333... V p.. 1..... .. 1..... 13.  
 333... V p.. 1..... .. 1..... 13.  
 33... V p.. 1..... .. 1..... 13.  
 33... V p.. 1..... .. 1..... 13.

[14]

33... V p.. 1..... .. 1..... 13.  
 ..... V p.. 1..... .. 1..... 13.  
 ..... V p.. 1..... .. 1..... 13.  
 ..... V p.. 1..... .. 1..... 13.

[15]

..... V p.. 1..... .. 1..... 13.  
 ..... V p.. 1..... .. 1..... 13.  
 ..... V p.. 1..... .. 1..... 13.  
 ..... V p.. 1..... .. 1..... 13.

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[51]

..... V p.. 1..... .. 1..... 13.  
 ..... V p.. 1..... .. 1..... 13.





Event: ABC T Location: 76.64 Shot: Frequency: 50.00  
 Targets: TIME ZONE1  
 Currents (A Pri), ABCPGQ: 317 317 317 0 0 0

Παρατίθεται και η αναφορά διαδοχής γεγονότων για το εν λόγω σφάλμα δοκιμής.

SEL-311B Date: 13/05/24 Time: 15:20:51.527  
 LNR

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703 CID=3C2F

#	DATE	TIME	ELEMENT	STATE
17	13/05/24	15:20:40.181	51Q	Asserted
16	13/05/24	15:20:40.181	50Q1	Asserted
15	13/05/24	15:20:40.191	51P	Asserted
14	13/05/24	15:20:40.201	50P1	Asserted
13	13/05/24	15:20:40.206	51Q	Deasserted
12	13/05/24	15:20:40.206	50Q1	Deasserted
11	13/05/24	15:20:40.211	M3P	Asserted
10	13/05/24	15:20:40.256	M3P	Deasserted
9	13/05/24	15:20:41.001	OUT101	Asserted
8	13/05/24	15:20:41.001	OUT102	Asserted
7	13/05/24	15:20:41.011	51Q	Asserted
6	13/05/24	15:20:41.011	50Q1	Asserted
5	13/05/24	15:20:41.016	50P1	Deasserted
4	13/05/24	15:20:41.021	IN101	Deasserted
3	13/05/24	15:20:41.026	51P	Deasserted
2	13/05/24	15:20:41.036	51Q	Deasserted
1	13/05/24	15:20:41.036	50Q1	Deasserted

Από τα παραπάνω δεδομένα παρατηρείται ότι:

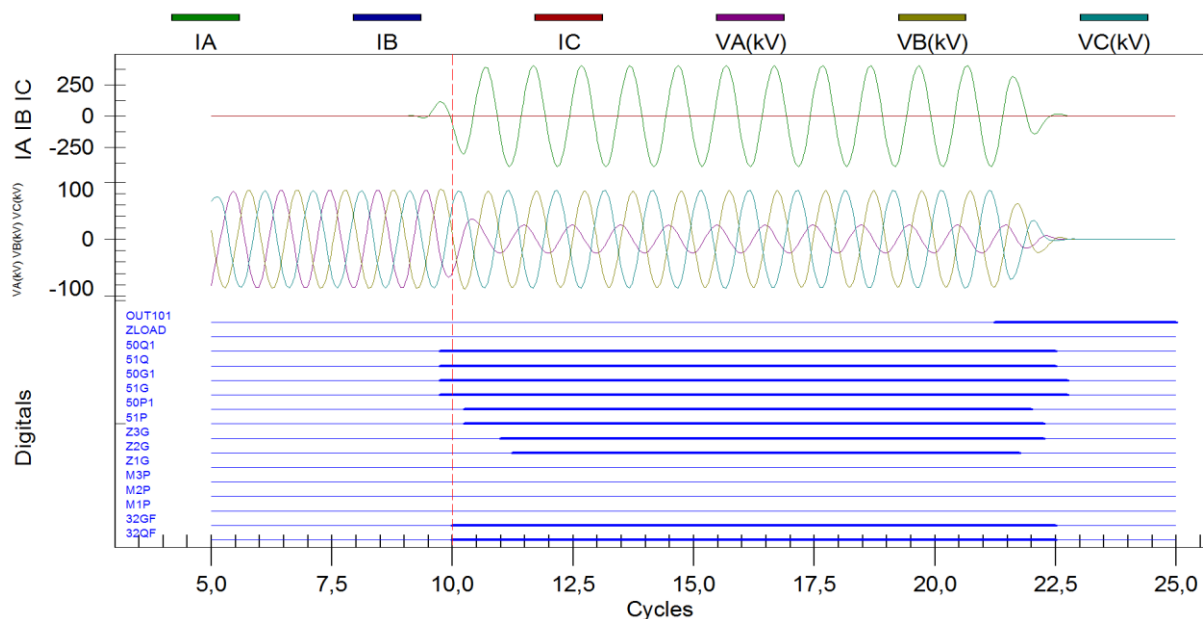
- Τα στοιχεία αποστάσεως φάσης του Η/Ν ενεργοποιήθηκαν κατά τους δύο πρώτους κύκλους μετά την εμφάνιση του σφάλματος δοκιμής πράγμα το οποίο επιβεβαιώνει τη διεύρυνση της χαρακτηριστικής λειτουργίας τους λόγω της χρήσης τάσεως πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη. Μετά από τους αρχικούς κύκλους, η τάση πόλωσης θετικής ακολουθίας με μνήμη πέφτει σε αρκετά χαμηλά επίπεδα (για το συγκεκριμένο σφάλμα γίνεται ίση με τις φασικές τάσεις του σφάλματος) με αποτέλεσμα τα στοιχεία αποστάσεως να βλέπουν πια τη φαινόμενη σύνθετη αντίσταση και να μην λειτουργούν.
- Τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης σταθερού και αντιστρόφου χρόνου λειτούργησαν ως δευτερεύουσα προστασία στην περίπτωση αυτή αποκόποντας τελικά το σφάλμα σε χρόνο περί τα 840 ms.
- Τα στοιχεία υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας σταθερού και αντιστρόφου χρόνου εμφανίζουν μια ασταθή συμπεριφορά κατά τους χρόνους εμφάνισης και αποκοπής του σφάλματος δοκιμής. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο τρόπο με τον οποίο αλλάζει τα ρεύματα εξόδου της η συσκευή CMC 356.

- Τα στοιχεία τάσεως δεν λειτούργησαν εφόσον ήταν απενεργοποιημένα κατά τη διάρκεια αυτής της δοκιμής.
- Το είδος του σφάλματος δοκιμής αναγνωρίστηκε ορθά από τον H/N ως τριφασικό.
- Η απόσταση του σφάλματος στα 76.64km είναι εξαιρετικά ακριβής σε σχέση με την πραγματική ( $110\% \cdot 70km = 77km$ ) ειδικά αν αναλογιστεί κανείς ότι για την εξαγωγή των ρευμάτων και τάσεων του εν λόγω σφάλματος θεωρήθηκε και μεγαλύτερη αντίσταση στη γραμμή μεταφοράς λόγω υψηλότερης θερμοκρασίας αλλά και ύπαρξη αντίστασης τόξου.

#### 4.4.5 Μέγιστο k1 σφάλμα στο 110% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος

Για το μέγιστο k1 σφάλμα δοκιμής στο 110% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος αναμενόταν ότι θα λειτουργήσουν σίγουρα όλα τα ρυθμισμένα στοιχεία υπερεντάσεως καθώς και το στοιχείο αποστάσεως γης της φάσης που εμπλέκεται στο σφάλμα. Επισημαίνεται ότι τα στοιχεία τάσεως του H/N είχαν τεθεί εκτός λειτουργίας σε αυτή τη δοκιμή.

Στην Εικόνα 4.14 φαίνεται η εξέλιξη των ρευμάτων και των τάσεων του σφάλματος καθώς και η εξέλιξη των καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και των λοιπών σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B κατά τη διάρκεια της εν λόγω δοκιμής.



Εικόνα 4.14: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για το μέγιστο k1 σφάλμα δοκιμής στο 110% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος

Παρατίθεται η κλασική αναφορά γεγονότων που παράχθηκε κατά την εκδήλωση του εν λόγω σφάλματος δοκιμής.

SEL-311B  
LNR

Date: 13/05/24 Time: 15:34:22.652

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703

CID=3C2F

	Currents (Amps Pri)					Voltages (kV Pri)				V1	
	IA	IB	IC	IP	IG	VA	VB	VC	VS	Mem	Vdc
[1]	-0	0	0	0	-0	29.4	-85.3	55.7	-0.0	29.3	-0
	0	-0	0	-0	-0	81.4	-15.2	-66.3	0.0	81.5	-0
	-0	0	0	0	-0	-29.5	85.3	-55.7	0.0	-29.4	-0
	0	0	-0	0	-0	-81.4	15.1	66.3	-0.0	-81.5	-0

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[10]	-0	-0	-0	-0	-0	30.5	-85.4	54.8	-0.0	30.4	-0
	0	-0	0	-0	-0	81.0	-14.0	-67.0	0.0	81.1	-0
	114	-0	0	0	114	-31.8	88.0	-56.4	0.0	-30.6	-0
	-67	0	-0	0	-67	-58.3	5.9	60.7	-0.0	-78.9	-0>

[11]	-295	0	0	0	-295	18.2	-87.5	63.9	-0.0	29.4	-0
	162	-0	0	-0	162	30.0	4.4	-53.2	0.0	74.6	-0
	361	-0	-0	0	361	-3.4	84.3	-69.9	0.0	-27.1	-0
	-190	0	-0	0	-190	-24.5	-6.6	52.0	-0.0	-71.0	-0

[12]	-361	0	0	-0	-361	3.4	-84.3	69.9	-0.0	25.4	-0
	190	0	0	-0	190	24.5	6.7	-52.1	0.0	68.3	-0
	361	-0	-0	0	361	-3.4	84.3	-69.8	0.0	-24.2	-0
	-190	0	-0	0	-190	-24.5	-6.8	52.1	-0.0	-66.3	-0

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[22]	-341	0	0	-0	-341	5.8	-83.3	64.4	-0.0	25.3	-1
	225	0	0	-0	226	24.0	15.2	-58.9	0.0	58.4	-0
	222	-0	-0	0	221	-8.2	60.1	-38.8	0.0	-25.9	0
	-127	0	-0	0	-127	-12.8	-8.5	31.4	-0.0	-53.0	-0

[23]	-52	0	0	0	-52	5.3	-18.5	6.7	0.0	23.2	-1
	14	0	-0	-0	14	0.8	0.8	-1.9	-0.0	41.7	-0
	-0	-0	0	0	-0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-22.5	0
	-0	-0	0	-0	-0	0.0	0.0	0.0	0.0	-40.3	-0

[24]	0	0	0	-0	0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	21.8	-1
	0	0	-0	0	-0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	39.1	-0
	0	-0	0	0	-0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-21.1	0
	-0	-0	-0	-0	-0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-37.9	-0

[25]	-0	0	-0	0	-0	-0.0	0.0	0.0	0.0	20.5	-1
	0	0	0	0	0	-0.0	-0.0	-0.0	0.0	36.7	0
	0	0	-0	-0	-0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-19.8	0
	-0	-0	-0	-0	-0	0.0	0.0	0.0	0.0	-35.5	-0

(οι υπόλοιποι κύκλοι παραλείπονται)

Protection and Contact I/O Elements

```

21      V 51  50      32 67      Dm 27  59  25  TS
ZZZZZZ P      P G Q    Q P G Q      5   ih ZLV Out1 In1
ABCABC O      1 1 1    V 1 1 1    P   P   P   9S  7mo 1Od 1357 135
BCAGGG L PGQ 232323 QI 232323 QG PPS PPS VFA 9et dPc 246A 246
[1]
..... V ... .. 13.
..... V ... .. 13.
..... V ... .. 13.
..... V ... .. 13.

```

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

```

[10]
..... V ... .. 13.
..... V ... .. 13.
..... V .pp ..1.1. .. 13.
..... V .pp ..1.1. QQ ..1.1. .. 13. >

```

```

[11]
..... V rpp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 13.
..... V rpp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 13.
..... V rpp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 13.
...3.. V rpp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 13.

```

```

[12]
...2.. V rpp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 13.
...2.. V rpp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 13.
...2.. V rpp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 13.
...2.. V rpp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 13.

```

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

```

[22]
...2.. V rpp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 13.
...2.. V rpp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 13.
...3.. V rpp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. 13.
...3.. V rpp ..1.1. QQ ..1.1. .. 13.

```

```

[23]
..... V rpp ..1.1. QQ ..1.1. .. 13.
..... V rpr ..1... .. 13.
..... V rrr ..... .. 13.
..... V rrr ..... .. 13.

```

```

[24]
..... V .rr ..... .. 13.
..... V .r. .... .. 13.
..... V ... .. 13.
..... V ... .. 13.

```

```

[25]
..... V ... .. 13.

```





```
*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....
*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....
*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....
[25]
*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....
*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....
*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....
*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....
```

(οι υπόλοιποι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

```
Event: AG T Location: 76.68 Shot: Frequency: 50.00
Targets: TIME ZONE2
Currents (A Pri), ABCPGQ: 408 0 0 0 408 409
```

Παρατίθεται και η αναφορά διαδοχής γεγονότων για το εν λόγω σφάλμα δοκιμής.

```
SEL-311B Date: 13/05/24 Time: 15:34:29.462
LNR
```

```
FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703 CID=3C2F
```

#	DATE	TIME	ELEMENT	STATE
19	13/05/24	15:34:22.647	50G1	Asserted
18	13/05/24	15:34:22.647	51G	Asserted
17	13/05/24	15:34:22.647	51Q	Asserted
16	13/05/24	15:34:22.647	50Q1	Asserted
15	13/05/24	15:34:22.657	50P1	Asserted
14	13/05/24	15:34:22.657	51P	Asserted
13	13/05/24	15:34:22.672	Z3G	Asserted
12	13/05/24	15:34:22.677	Z2G	Asserted
11	13/05/24	15:34:22.878	OUT101	Asserted
10	13/05/24	15:34:22.878	OUT102	Asserted
9	13/05/24	15:34:22.888	Z2G	Deasserted
8	13/05/24	15:34:22.893	50P1	Deasserted
7	13/05/24	15:34:22.898	IN101	Deasserted
6	13/05/24	15:34:22.898	Z3G	Deasserted
5	13/05/24	15:34:22.898	51P	Deasserted
4	13/05/24	15:34:22.903	51Q	Deasserted
3	13/05/24	15:34:22.903	50Q1	Deasserted
2	13/05/24	15:34:22.908	50G1	Deasserted
1	13/05/24	15:34:22.908	51G	Deasserted

Από τα παραπάνω δεδομένα παρατηρείται ότι:

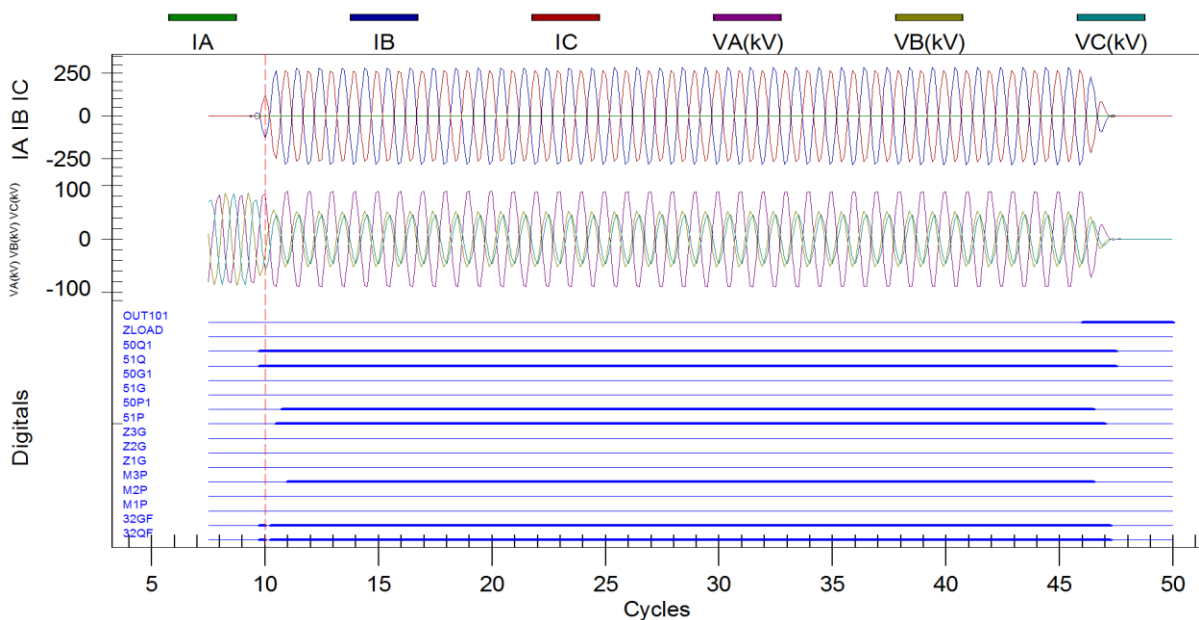
- Το στοιχείο αποστάσεως γης της φάσης που εμπλέκεται στο σφάλμα λειτούργησε όπως έπρεπε καθ' όλη τη διάρκεια του σφάλματος δοκιμής και τελικά απέκοψε το σφάλμα σε χρόνο περί τα 250 ms.
- Τα στοιχεία υπερεντάσεως ενεργοποιήθηκαν όλα ως όφειλαν.

- Τα στοιχεία τάσεως δεν λειτούργησαν εφόσον ήταν απενεργοποιημένα κατά τη διάρκεια αυτής της δοκιμής.
- Το είδος του σφάλματος αναγνωρίστηκε ορθά ως μονοφασικό προς γη.
- Η εκτίμηση της απόστασης από το σφάλμα στα 76.68km ήταν εξαιρετικά ακριβής σε σχέση με την πραγματική ( $110\% \cdot 70km = 77km$ ).

#### 4.4.6 Μέγιστο k2 σφάλμα στο 135% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος

Για το μέγιστο k2 σφάλμα δοκιμής στο 135% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος αναμενόταν ότι θα λειτουργήσουν σίγουρα τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης και αρνητικής ακολουθίας σταθερού και αντιστρόφου χρόνου καθώς και το στοιχείο αποστάσεως φάσης που εμπεριέχει τις φάσεις που εμπλέκονται στο σφάλμα. Επισημαίνεται πως τα στοιχεία επιτήρησης της τάσεως του Η/Ν είχαν τεθεί εκτός λειτουργίας σε αυτή τη δοκιμή.

Στην Εικόνα 4.15 φαίνεται η εξέλιξη των ρευμάτων και των τάσεων του σφάλματος καθώς και η εξέλιξη των καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και των λοιπών σημάτων ελέγχου του Η/Ν SEL-311B κατά τη διάρκεια της εν λόγω δοκιμής.



Εικόνα 4.15: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και των καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του Η/Ν SEL-311B για μέγιστο k2 σφάλμα στο 135% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος

Η κλασική αναφορά γεγονότων που δημιουργήθηκε κατά την εκδήλωση του σφάλματος δοκιμής φαίνεται παρακάτω.

SEL-311B  
LNR

Date: 13/05/24 Time: 15:41:20.497

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703

CID=3C2F

	Currents (Amps Pri)				IG	Voltages (kV Pri)				V1	
	IA	IB	IC	IP		VA	VB	VC	VS	Mem	Vdc
[1]	0	0	-0	-0	-0	-33.5	85.9	-52.3	0.0	-33.4	-0
	0	0	-0	0	-0	-79.9	10.8	69.0	-0.0	-79.9	-0
	0	0	0	-0	0	33.5	-85.9	52.3	-0.0	33.4	-0
	-0	0	0	-0	-0	79.8	-10.8	-69.1	0.0	79.9	-0

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[10]	0	0	0	0	0	-34.5	86.0	-51.4	0.0	-34.4	-0
	0	0	-0	0	-0	-79.4	9.7	69.7	-0.0	-79.5	-0
	0	6	-6	0	0	34.1	-67.4	33.1	-0.0	34.4	-0
	0	-130	122	-0	-8	83.4	-25.8	-57.5	0.0	77.3	-0>

[11]	0	68	-63	-0	4	-35.9	40.6	-4.5	0.0	-32.6	-0
	-0	259	-243	0	15	-87.3	41.9	45.3	-0.0	-72.1	-0
	-0	-147	138	-0	-9	38.2	-32.6	-5.7	-0.0	29.5	-0
	0	-259	243	-0	-16	87.3	-41.8	-45.3	0.0	66.9	-0

[12]	-0	147	-139	0	9	-38.2	32.6	5.8	0.0	-27.1	-0
	-0	259	-243	0	15	-87.2	41.8	45.3	-0.0	-63.0	-0
	0	-148	139	0	-9	38.3	-32.6	-5.8	-0.0	25.4	-0
	0	-259	243	-0	-16	87.2	-41.8	-45.3	-0.0	60.1	-0

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[46]	-0	160	-150	0	9	-42.5	34.6	8.0	0.0	-22.5	-0
	-0	251	-236	0	15	-85.2	40.2	45.0	0.0	-50.4	-0
	-0	-160	150	-0	-10	42.6	-34.7	-8.0	-0.0	22.6	-0
	0	-251	236	-0	-15	85.2	-40.1	-45.0	0.0	50.3	-0

[47]	0	160	-151	-0	9	-42.6	34.7	8.0	0.0	-22.6	-0
	-0	163	-153	0	10	-57.0	24.5	32.5	-0.0	-46.8	-0
	0	-84	78	0	-6	21.9	-17.7	-4.1	-0.0	20.3	-0
	0	-38	35	-0	-3	14.4	-4.4	-10.0	0.0	37.9	-0

[48]	0	3	-3	-0	1	-0.6	0.3	0.1	0.0	-19.7	-0
	0	-0	-0	0	-0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-36.7	-0
	-0	-0	0	0	-0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	19.1	-0
	-0	0	-0	-0	-0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.6	-0

[49]	0	0	-0	0	-0	0.0	0.0	0.0	0.0	-18.5	-0
	0	-0	0	0	-0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-34.4	-0
	0	0	0	-0	0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	17.9	-0
	-0	-0	0	0	-0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	33.4	-0

[50]	-0	0	-0	-0	-0	-0.0	0.0	0.0	0.0	-17.4	-0
------	----	---	----	----	----	------	-----	-----	-----	-------	----

0	0	-0	0	-0	-0.0	0.0	0.0	0.0	-32.3	-0
0	-0	0	-0	-0	0.0	0.0	0.0	-0.0	16.8	-0
-0	0	-0	0	-0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	31.3	-0

(οι υπόλοιποι κύκλοι παραλείπονται)

Protection and Contact I/O Elements

```

21      V 51  50      32 67      Dm 27  59  25  TS
ZZZZZZ P      P G Q   Q P G Q           5  ih ZLV Out1 In1
ABCABC O      1 1 1   V 1 1 1 P   P   P  9S  7mo 1Od 1357 135
BCAGGG L PGQ 232323 QI 232323 QG PPS PPS VFA 9et dPc 246A 246
[1]
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.

```

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[10]

```

..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ..p .....1. .. .....1. .. ..... .. ..... ..*..... 13.
..... V ..p .....1. .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13. >

```

[11]

```

..... V ..p .....1. QQ .....1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V p.p .....1. QQ .....1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
.3.... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.

```

[12]

```

.3.... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
.3.... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
.3.... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
.3.... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.

```

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[46]

```

.3.... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
.3.... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
.3.... V p.p 1...1. QQ 1...1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
.3.... V p.T 1...1. QQ 1...1. .. ..... .. ..... .. ..... b... 13.

```

[47]

```

.3.... V p.T 1...1. QQ 1...1. .. ..... .. ..... .. ..... b... 13.
..... V p.T .....1. QQ .....1. .. ..... .. ..... .. ..... b... 13.
..... V p.T .....1. QQ .....1. .. ..... .. ..... .. ..... b... 13.
..... V r.T .....1. QQ .....1. .. ..... .. ..... .. ..... b... .3.

```

[48]

```

..... V r.T .....1. .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... b... .3.

```





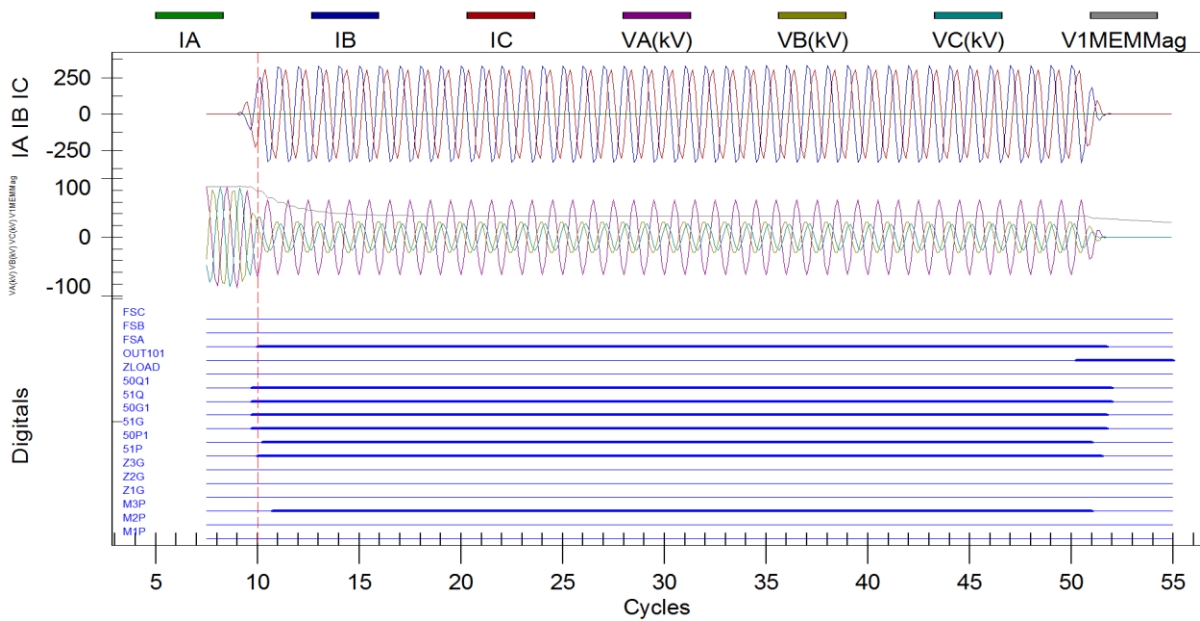
Από τα παραπάνω δεδομένα παρατηρείται ότι:

- Το στοιχείο απόστασης φάσης ενεργοποιήθηκε ως όφειλε με σκοπό να λειτουργήσει στο ρυθμισμένο χρόνο για τη 3<sup>η</sup> ζώνη προστασίας.
- Τα στοιχεία υπερεντάσεως φάσης και αρνητικής ακολουθίας σταθερού και αντιστρόφου χρόνου ενεργοποιήθηκαν και το σφάλμα τελικά αποκόπηκε από το στοιχείο υπερεντάσεως αρνητικής ακολουθίας αντιστρόφου χρόνου σε χρόνο περί τα 745 ms. Ο χρόνος αυτός είναι πολύ κοντά στον θεωρητικά αναμενόμενο (695 ms) της καμπύλης αντιστρόφου χρόνου που χρησιμοποιείται αν συνυπολογίσει κανείς τις καθυστερήσεις που υπεισέρχονται τόσο από τον ίδιο τον H/N όσο και από τη ταχύτητα του ανοίγματος του Δ/I.
- Στη δοκιμή αυτή παρατηρήθηκε φευγαλέα και μία ενεργοποίηση της λογικής προστασίας έναντι απώλειας του σήματος τάσης από τον Μ/Σ του H/N, η οποία πιθανότατα οφείλεται στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η αλλαγή των τάσεων και των ρευμάτων από τη συσκευή CMC 356.
- Τα στοιχεία τάσεως δεν λειτούργησαν εφόσον ήταν απενεργοποιημένα κατά τη διάρκεια αυτής της δοκιμής.
- Το είδος του σφάλματος αναγνωρίστηκε ορθά ως διφασικό χωρίς γη.
- Η εκτίμηση της απόστασης από το σφάλμα στα 96.55km ήταν πολύ ακριβής σε σχέση με την πραγματική ( $135\% \cdot 70km = 94.5km$ ).

#### **4.4.7 Ελάχιστο kE2E σφάλμα στο 135% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος**

Για το ελάχιστο kE2E σφάλμα στο 135% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος αναμενόταν ότι θα λειτουργήσουν σίγουρα όλα τα ρυθμισμένα στοιχεία υπερεντάσεως. Το στοιχείο αποστάσεως φάσης που εμπεριέχει τις φάσεις BC που εμπλέκονται στο σφάλμα αναμενόταν ότι θα λειτουργήσει σίγουρα κατά τους πρώτους κύκλους μετά την εμφάνιση του σφάλματος δοκιμής όπως και το στοιχείο αποστάσεως γης της φάσης B που εμπλέκεται στο σφάλμα. Επισημαίνεται πως τα στοιχεία επιτήρησης της τάσεως του H/N είχαν τεθεί εκτός λειτουργίας σε αυτή τη δοκιμή.

Στην Εικόνα 4.16 φαίνεται η εξέλιξη των ρευμάτων και των τάσεων του σφάλματος καθώς και η εξέλιξη των καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και των λοιπών σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B κατά τη διάρκεια της εν λόγω δοκιμής.



Εικόνα 4.16: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του Η/Ν SEL-311B για το ελάχιστο kE2E σφάλμα δοκιμής στο 135% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος

Παρατίθεται η κλασσική αναφορά γεγονότων που δημιουργήθηκε κατά την εμφάνιση του σφάλματος δοκιμής.

SEL-311B  
LNR

Date: 13/05/24 Time: 15:44:06.481

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703

CID=3C2F

Currents (Amps Pri)					Voltage (kV Pri)				V1	
IA	IB	IC	IP	IG	VA	VB	VC	VS	Mem	Vdc
[1]										
0	-0	0	-0	-0	5.2	-77.5	72.2	-0.0	5.1	-0
0	-0	0	-0	-0	86.4	-38.6	-47.9	0.0	86.4	-0
-0	0	-0	0	-0	-5.3	77.5	-72.1	0.0	-5.2	-0
-0	-0	-0	0	-0	-86.4	38.5	47.9	-0.0	-86.4	-0

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[10]										
-0	8	9	0	17	6.3	-75.8	69.8	-0.0	6.2	-0
0	-62	87	-0	25	79.9	-23.8	-49.6	0.0	85.0	-0
0	-73	-132	0	-205	-3.3	41.2	-41.9	0.0	-6.8	-0
-0	225	-187	0	38	-68.8	18.1	33.6	0.0	-77.6	-0>
[11]										
0	129	243	0	372	0.5	-9.0	15.9	-0.0	6.0	-0
0	-327	200	-0	-128	64.2	-26.1	-16.8	-0.0	67.2	-0
-0	-128	-243	-0	-371	-0.6	9.3	-16.1	0.0	-3.6	-0
-0	327	-200	0	128	-64.2	26.0	16.8	0.0	-59.3	-0
[12]										



0	128	243	0	370	0.6	-9.3	16.0	-0.0	1.8	-0
0	-327	199	-0	-128	64.2	-26.0	-16.8	-0.0	53.5	-0
-0	-127	-243	-0	-371	-0.7	9.3	-16.0	0.0	-0.4	-0
-0	327	-199	0	128	-64.2	26.0	16.8	0.0	-49.1	-0

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[51]

0	109	254	-0	362	4.2	-10.7	15.0	-0.0	-1.7	-0
0	-334	185	-0	-149	64.0	-25.5	-17.7	-0.0	36.0	-0
0	-31	-220	-0	-251	-13.3	12.1	-8.5	0.0	0.5	-0
-0	184	-99	0	84	-34.2	13.5	9.3	0.0	-32.3	-0

[52]

0	-24	93	0	69	11.2	-6.8	1.0	-0.0	0.5	-0
0	-17	7	0	-10	2.1	-0.7	-0.5	-0.0	31.4	-0
0	0	0	-0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5	-0
0	0	-0	-0	-0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-30.4	-0

[53]

-0	0	-0	0	-0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	0.4	-0
-0	0	-0	0	-0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	29.4	-0
0	-0	0	-0	-0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.4	-0
0	0	0	-0	0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-28.5	-0

[54]

0	0	-0	0	-0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	0.4	-0
-0	-0	-0	0	-0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	27.6	-0
-0	-0	0	-0	-0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.4	-0
0	0	-0	-0	-0	-0.0	0.0	-0.0	0.0	-26.8	-0

(οι υπόλοιποι κύκλοι παραλείπονται)

Protection and Contact I/O Elements

```

21      V 51  50      32 67      Dm 27  59  25  TS
ZZZZZZ P      P G Q    Q P G Q          5  ih ZLV Out1 In1
ABCABC O      1 1 1    V 1 1 1  P  P  P  9S  7mo lOd 1357 135
BCAGGG L PGQ 232323  QI 232323  QG PPS PPS VFA 9et dPc 246A 246

```

[1]

```

..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.

```

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[10]

```

..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V .pp ..1.1. .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ppp ..1.1. QQ ..1.1. .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13. >

```

[11]



```

.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....>

```

[11]

```

.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....

```

[12]

```

.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 .....

```

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[51]

```

.. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....

```

[52]

```

.. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
.. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....

```

[53]

```

* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....

```

[54]

```

* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....
* .. .. . 00 00 00 00 00 00 T.....

```

(οι υπόλοιποι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

```

Event: BCG T Location: 95.58 Shot: Frequency: 50.00
Targets: TIME ZONE1
Currents (A Pri), ABCPGQ: 0 351 314 0 392 273

```

Επίσης, δίνεται και η αναφορά διαδοχής γεγονότων όπως αυτή παράχθηκε κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

SEL-311B  
LNR

Date: 13/05/24 Time: 15:44:13.902

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703

CID=3C2F

#	DATE	TIME	ELEMENT	STATE
17	13/05/24	15:44:06.476	50G1	Asserted
16	13/05/24	15:44:06.476	51G	Asserted
15	13/05/24	15:44:06.476	51Q	Asserted
14	13/05/24	15:44:06.476	50Q1	Asserted
13	13/05/24	15:44:06.486	50P1	Asserted
12	13/05/24	15:44:06.486	51P	Asserted
11	13/05/24	15:44:06.496	M3P	Asserted
10	13/05/24	15:44:07.286	OUT101	Asserted
9	13/05/24	15:44:07.286	OUT102	Asserted
8	13/05/24	15:44:07.301	50P1	Deasserted
7	13/05/24	15:44:07.301	51P	Deasserted
6	13/05/24	15:44:07.301	M3P	Deasserted
5	13/05/24	15:44:07.306	IN101	Deasserted
4	13/05/24	15:44:07.316	50G1	Deasserted
3	13/05/24	15:44:07.316	51G	Deasserted
2	13/05/24	15:44:07.321	50Q1	Deasserted
1	13/05/24	15:44:07.321	51Q	Deasserted

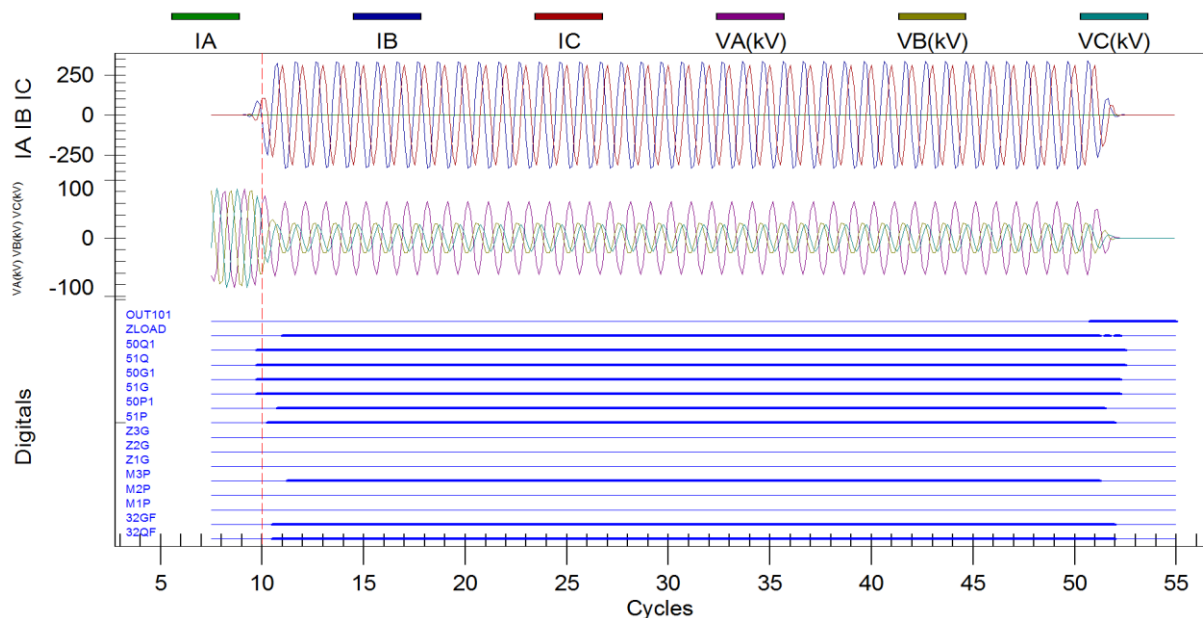
Από τα παραπάνω δεδομένα παρατηρείται ότι:

- Το στοιχείο αποστάσεως φάσης που εμπεριέχει τις φάσεις που εμπλέκονται στο σφάλμα ενεργοποιήθηκε και παρέμεινε στην κατάσταση αυτή καθ' όλη τη διάρκεια του σφάλματος δοκιμής και όχι απλά για τους πρώτους κύκλους μετά την εμφάνιση του σφάλματος. Αυτό οφείλεται στο ότι το σφάλμα που προσομοιώθηκε ήταν ασύμμετρο με αποτέλεσμα ο Η/Ν να μετράει ασύμμετρες φασικές τάσεις των οποίων η τάση θετικής ακολουθίας παρέμενε σε αρκετά υψηλά επίπεδα ώστε να επιτρέπει την λειτουργία του εν λόγω στοιχείου προστασίας.
- Τα στοιχεία αποστάσεως γης των φάσεων που εμπλέκονται στο σφάλμα δεν λειτούργησαν. Αυτό συνέβη λόγω της λογικής αναγνώρισης του είδους του σφάλματος, η οποία έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να παρεμποδίζει τη λειτουργία των στοιχείων απόστασης γης σε περιπτώσεις διφασικών προς γη σφαλμάτων. Η παρεμπόδιση αυτή είναι σκόπιμη ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα άσκοπων λειτουργιών των προστασιών. [43]
- Τα ρυθμισμένα στοιχεία υπερεντάσεως ενεργοποιήθηκαν ως όφειλαν.
- Το σφάλμα αποκόπηκε στην περίπτωση αυτή είτε από το στοιχείο αποστάσεως φάσης είτε από το στοιχείο υπερεντάσεως φάσης σταθερού χρόνου σε χρόνο περί τα 830 ms.
- Τα στοιχεία τάσεως δεν λειτούργησαν εφόσον ήταν απενεργοποιημένα κατά τη διάρκεια αυτής της δοκιμής.
- Το είδος του σφάλματος αναγνωρίστηκε ορθά ως διφασικό με γη.
- Η εκτίμηση της απόστασης από το σφάλμα στα 95.58km ήταν πολύ ακριβής σε σχέση με την πραγματική ( $135\% \cdot 70 \text{ km} = 94.5 \text{ km}$ ) ειδικά αν αναλογιστεί κανείς ότι σε αυτή τη δοκιμή είχαμε θεωρήσει μεγαλύτερη τιμή αντίστασης για τη γραμμή μεταφοράς λόγω υψηλότερης θερμοκρασίας.

#### 4.4.8 Δοκιμή λογικής απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής

Οι αλλαγές που έγιναν στις ρυθμίσεις της λογικής απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής αναμενόταν ότι θα οδηγούσαν τον H/N να αναγνωρίσει ροή ρευμάτων φορτίου εμποδίζοντας έτσι τη λειτουργία του στοιχείου κατευθύνσεως με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας. Αυτό θα μπορούσε να παρεμποδίσει τα στοιχεία αποστάσεως φάσης από το να λειτουργήσουν με αποτέλεσμα το σφάλμα να έπρεπε τελικά να εκκαθαριστεί από τα στοιχεία υπερεντάσεως (τα οποία δεν έχουν ρυθμιστεί ώστε να παρεμποδίζονται από τη λογική αυτή). Παρόλα αυτά, το στοιχείο αποστάσεως αναμενόταν ότι τελικώς θα λειτουργούσε και σε αυτή την περίπτωση αφού το σφάλμα που προσομοιώνόταν ήταν ασύμμετρο και υπήρχε πολύ μεγάλη πιθανότητα να επιτραπεί η λειτουργία των στοιχείων αποστάσεως φάσης λόγω λειτουργίας του στοιχείου κατευθύνσεως με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας. Επισημαίνεται πως τα στοιχεία επιτήρησης της τάσεως του H/N είχαν τεθεί εκτός λειτουργίας σε αυτή τη δοκιμή.

Στην Εικόνα 4.17 φαίνεται η εξέλιξη των ρευμάτων και των τάσεων του σφάλματος καθώς και η εξέλιξη των καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και των λοιπών σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B κατά τη διάρκεια της εν λόγω δοκιμής.



*Εικόνα 4.17: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για το ελάχιστο kE2E σφάλμα δοκιμής στο 135% της γραμμής μεταφοράς χωρίς αντίσταση σφάλματος και λειτουργία της λογικής απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής*

Παρατίθεται η κλασσική αναφορά γεγονότων που παράχθηκε κατά την εμφάνιση του σφάλματος δοκιμής.

SEL-311B  
LNR

Date: 13/05/24 Time: 15:55:29.272

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703

CID=3C2F

	Currents (Amps Pri)					Voltages (kV Pri)				V1	
	IA	IB	IC	IP	IG	VA	VB	VC	VS	Mem	Vdc
[1]	-0	-0	0	-0	-0	57.8	27.0	-84.8	0.0	57.9	-0
	-0	0	-0	0	-0	-64.5	82.3	-17.7	0.0	-64.4	-0
	0	0	-0	0	-0	-57.8	-27.1	84.8	-0.0	-57.8	-0
	-0	-0	0	0	-0	64.6	-82.2	17.6	-0.0	64.5	-0

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[10]	0	0	0	-0	0	56.9	28.1	-85.0	0.0	57.1	-0
	0	-0	-0	0	-0	-65.3	81.9	-16.5	0.0	-65.2	-0
	-0	90	-29	0	61	-52.1	-25.1	72.9	-0.0	-56.2	-0
	-0	-29	105	-0	75	59.6	-61.1	7.1	-0.0	63.2	-0>

[11]	0	-251	14	-0	-237	46.3	5.1	-42.0	0.0	52.5	-0
	-0	99	-261	-0	-162	-49.7	32.6	1.4	0.0	-56.3	-0
	-0	323	29	0	351	-45.3	12.0	23.2	-0.0	-46.9	-0
	0	-140	313	0	173	45.5	-24.9	-0.4	-0.0	47.9	-0

[12]	0	-323	-29	-0	-352	45.2	-12.0	-23.2	0.0	42.2	-0
	-0	140	-313	0	-174	-45.6	24.9	0.4	0.0	-41.6	-0
	-0	322	29	0	351	-45.2	12.0	23.2	-0.0	-38.6	-0
	0	-140	313	-0	173	45.6	-24.9	-0.4	-0.0	36.9	-0

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[50]	0	-314	-46	-0	-361	42.6	-10.6	-23.1	0.0	26.8	-0
	-0	157	-311	0	-154	-48.0	25.5	1.7	0.0	-24.1	-0
	0	314	46	0	360	-42.6	10.6	23.1	-0.0	-26.8	-0
	0	-157	311	0	153	48.0	-25.6	-1.7	-0.0	24.1	-0

[51]	0	-314	-47	-0	-361	42.6	-10.6	-23.1	-0.0	26.8	-0
	-0	158	-311	0	-153	-48.1	25.6	1.7	0.0	-24.1	-0
	-0	314	47	0	361	-42.5	10.6	23.1	0.0	-26.7	-0
	0	-158	311	-0	153	48.1	-25.6	-1.7	-0.0	24.2	-0

[52]	0	-212	-84	-0	-296	24.3	-3.8	-17.1	0.0	24.7	-0
	-0	87	-167	0	-80	-25.6	13.5	1.0	0.0	-21.8	-0
	-0	55	60	0	115	-3.1	-1.4	5.5	0.0	-19.8	-0
	0	-8	11	0	3	1.6	-0.7	-0.1	-0.0	21.2	-0

[53]	0	0	-0	0	-0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	19.2	-0
	-0	0	0	-0	-0	-0.0	0.0	0.0	0.0	-20.6	-0
	-0	-0	0	0	-0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-18.6	-0
	0	0	0	0	0	0.0	-0.0	0.0	0.0	19.9	-0

[54]	0	0	-0	0	-0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	18.0	-0
------	---	---	----	---	----	------	-----	-----	------	------	----

-0	0	-0	-0	-0	-0.0	0.0	-0.0	0.0	-19.3	-0
0	-0	-0	-0	-0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-17.5	-0
0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.7	-0
[55]										
-0	-0	0	0	-0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	16.9	-0
0	-0	0	-0	-0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-18.1	-0
-0	0	-0	0	-0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-16.4	-0
0	-0	0	0	-0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	-0

(οι υπόλοιποι κύκλοι παραλείπονται)

Protection and Contact I/O Elements

```

21      V 51  50      32 67      Dm 27  59  25  TS
ZZZZZZ P      P G Q    Q P G Q          5  ih ZLV Out1 In1
ABCABC O      1 1 1    V 1 1 1  P  P  P  9S  7mo lOd 1357 135
BCAGGG L PGQ 232323 QI 232323 QG PPS PPS VFA 9et dPc 246A 246

```

[1]

```

..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.

```

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[10]

```

..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ... ..... .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V .pp ..1.1. .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V .pp ..1.1. .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13. >

```

[11]

```

..... V ppp ..1.1. .. ..... .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ppp ..1.1. QQ ..1.1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
..... V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. ..... .. ..... .. o.. ..... 13.

```

[12]

```

.3.... V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
.3.... V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
.3.... V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
.3.... V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.

```

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[51]

```

.3.... V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
.3.... V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. ..... .. ..... .. ..... 13.
.3.... V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. ..... .. ..... .. o.. b... 13.
.3.... V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. ..... .. ..... .. o.. b... 13.

```

[52]

```

..... V ppp 1.1.1. QQ 1.1.1. .. ..... .. ..... .. ..... b... 13.

```





.. ..... . 00 00 00 00 00 00 .....

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[51]

.. ..... . 00 00 00 00 00 00 .....  
 .. ..... . 00 00 00 00 00 00 .....  
 .. ..... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 .. ..... . 00 00 00 00 00 00 T.....

[52]

.. ..... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 .. ..... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 .. ..... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 .. ..... . 00 00 00 00 00 00 T.....

[53]

\*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 \*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 \*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 \*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....

[54]

\*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 \*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 \*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 \*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....

[55]

\*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 \*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 \*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....  
 \*. .... . 00 00 00 00 00 00 T.....

(οι υπόλοιποι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

Event: BCG T Location: 95.52 Shot: Frequency: 50.00  
 Targets: TIME ZONE1  
 Currents (A Pri), ABCPGQ: 0 0 0 0 0 0

Παρατίθεται και η αναφορά διαδοχής γεγονότων όπως αυτή διαμορφώθηκε κατά την εν λόγω δοκιμή.

SEL-311B Date: 13/05/24 Time: 15:57:47.277  
 LNR

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703 CID=3C2F

#	DATE	TIME	ELEMENT	STATE
23	13/05/24	15:55:29.267	50G1	Asserted
22	13/05/24	15:55:29.267	51G	Asserted
21	13/05/24	15:55:29.267	51Q	Asserted
20	13/05/24	15:55:29.267	50Q1	Asserted

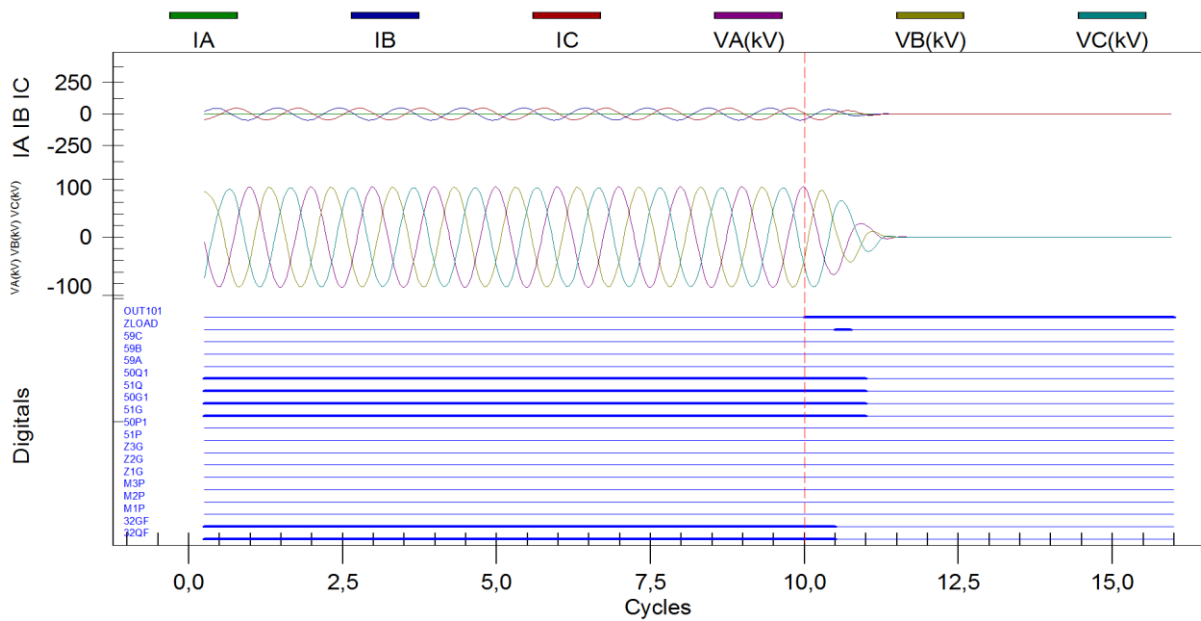
19	13/05/24	15:55:29.287	50P1	Asserted
18	13/05/24	15:55:29.287	51P	Asserted
17	13/05/24	15:55:29.292	ZLOAD	Asserted
16	13/05/24	15:55:29.297	M3P	Asserted
15	13/05/24	15:55:30.087	OUT101	Asserted
14	13/05/24	15:55:30.087	OUT102	Asserted
13	13/05/24	15:55:30.097	ZLOAD	Deasserted
12	13/05/24	15:55:30.097	M3P	Deasserted
11	13/05/24	15:55:30.102	50P1	Deasserted
10	13/05/24	15:55:30.102	51P	Deasserted
9	13/05/24	15:55:30.102	ZLOAD	Asserted
8	13/05/24	15:55:30.107	ZLOAD	Deasserted
7	13/05/24	15:55:30.107	IN101	Deasserted
6	13/05/24	15:55:30.112	ZLOAD	Asserted
5	13/05/24	15:55:30.117	50G1	Deasserted
4	13/05/24	15:55:30.117	51G	Deasserted
3	13/05/24	15:55:30.117	ZLOAD	Deasserted
2	13/05/24	15:55:30.122	50Q1	Deasserted
1	13/05/24	15:55:30.122	51Q	Deasserted

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι ο Η/Ν συμπεριφέρθηκε με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που περιγράφηκε στην 4.4.7 υποενότητα, ενώ η λογική απευαισθητοποίησης από τη φόρτιση της γραμμής ενεργοποιήθηκε και παρεμπόδισε το στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης θετικής ακολουθίας. Όσον αφορά δε το στοιχείο αποστάσεως φάσης, η λειτουργία του επιτράπηκε από το στοιχείο κατεύθυνσης με πόλωση τάσης αρνητικής ακολουθίας. Ο χρόνος αποκοπής του σφάλματος ήταν σε αυτή την περίπτωση περί τα 840 ms.

#### 4.4.9 Δοκιμή λειτουργίας προστασίας έναντι σφάλματος ανοικτοκύκλωσης

Ο Πίνακας 4.4 υποδηλώνει ότι για τη δοκιμή σφάλματος ανοικτοκύκλωσης αναμενόταν να λειτουργήσουν μόνο τα στοιχεία υπερεντάσεως σταθερού και αντιστρόφου χρόνου αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας του Η/Ν SEL-311B, ενώ το σφάλμα επρόκειτο να εκκαθαριστεί λόγω λειτουργίας κάποιου εκ των στοιχείων σταθερού χρόνου που αναφέρθηκαν σε χρόνο περί τα 5 sec.

Στην Εικόνα 4.18 φαίνεται η εξέλιξη των ρευμάτων και των τάσεων του σφάλματος καθώς και η εξέλιξη των καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και των λοιπών σημάτων ελέγχου του Η/Ν SEL-311B κατά τη διάρκεια της εν λόγω δοκιμής. Επισημαίνεται πως στην εικόνα αυτή δεν εμπεριέχεται η συνολική διάρκεια της δοκιμής, αλλά τα τελευταία της στάδια μιας και οι κλασσικές αναφορές γεγονότων του Η/Ν SEL-311B δεν μπορούν να παρουσιάσουν δεδομένα για χρόνο 5 sec.



Εικόνα 4.18: Εξέλιξη ηλεκτρικών μεγεθών και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για το μονοφασικό ανοικτοκύκλωμα δοκιμής με τάσεις σφάλματος συμμετρικές και ίσες με τις ονομαστικές

Η κλασσική αναφορά γεγονότων που παράχθηκε από τον H/N κατά την αποκοπή του σφάλματος δίνεται συνοπτικά παρακάτω.

SEL-311B  
LNR

Date: 13/05/24 Time: 16:16:05.536

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703

CID=3C2F

	Currents (Amps Pri)					Voltage (kV Pri)			V1	
	IA	IB	IC	IP	IG	VA	VB	VC	VS	Mem Vdc
[1]										
	0	19	-47	-0	-28	-8.3	78.8	-70.4	0.0	-8.1 -0
	-0	44	-5	0	39	-86.2	35.8	50.4	-0.0	-86.2 -0
	0	-19	47	0	28	8.3	-78.8	70.4	-0.0	8.2 -0
	0	-45	5	-0	-40	86.2	-35.8	-50.4	0.0	86.2 -0

(οι ενδιαμέσοι κύκλοι είναι περίπου ίδιοι και παραλείπονται)

[10]										
	-0	20	-47	-0	-28	-9.4	79.3	-69.8	0.0	-9.3 -0
	-0	44	-4	0	40	-86.1	34.8	51.3	-0.0	-86.1 -0
	-0	-20	47	0	27	9.5	-79.3	69.7	-0.0	9.3 -0
	0	-44	4	-0	-40	86.1	-34.8	-51.4	0.0	86.1 -0>
[11]										
	0	20	-47	0	-28	-9.5	79.3	-69.7	0.0	-9.4 -0
	-0	30	4	0	34	-63.2	13.7	49.6	-0.0	-83.2 -0
	0	-11	26	-0	15	5.7	-42.9	37.0	-0.0	10.4 -0
	0	-8	-6	0	-15	20.2	3.7	-23.9	0.0	70.7 -0
[12]										

0	1	-3	-0	-1	-0.9	3.2	-2.1	-0.0	-9.9	-0
-0	0	0	0	-0	-0.0	0.0	0.0	0.0	-68.5	-0
0	0	0	0	0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	9.6	-0
0	0	0	-0	0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	66.4	-0
[13]										
-0	0	-0	-0	-0	0.0	0.0	0.0	0.0	-9.3	-0
0	0	-0	0	-0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-64.3	-0
0	0	0	0	0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	9.0	-0
-0	0	-0	0	-0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.3	-0

(οι υπόλοιποι κύκλοι παραλείπονται)

Protection and Contact I/O Elements

```

21      V 51  50      32 67      Dm 27  59  25  TS
ZZZZZZ P      P G Q    Q P G Q      5  ih ZLV Out1 In1
ABCABC O      1 1 1    V 1 1 1  P  P  P  9S  7mo lOd 1357 135
BCAGGG L PGQ 232323 QI 232323 QG PPS PPS VFA 9et dPc 246A 246

```

[1]

```

..... V .pp ..1.1. QQ ..1.1. .. ... .. ... .. ... .. 13.
..... V .pp ..1.1. QQ ..1.1. .. ... .. ... .. ... .. 13.
..... V .pp ..1.1. QQ ..1.1. .. ... .. ... .. ... .. 13.
..... V .pp ..1.1. QQ ..1.1. .. ... .. ... .. ... .. 13.

```

(οι ενδιάμεσοι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

[10]

```

..... V .pp ..1.1. QQ ..1.1. .. ... .. ... .. ... .. 13.
..... V .pp ..1.1. QQ ..1.1. .. ... .. ... .. ... .. 13.
..... V .pp ..1.1. QQ ..1.1. .. ... .. ... .. ... .. 13.
..... V .pp ..1.1. QQ ..1.1. .. ... .. ... .. ... .. b... 13. >

```

[11]

```

..... V .pp ..1.1. QQ ..1.1. .. ... .. ... .. ... .. b... 13.
..... V .pp ..1.1. .. .. ... .. .. Aa. ... .. ... .. o.. b... 13.
..... V .pp ..1.1. qq .. ... .. .. 33. ... .. ... .. b... 13.
..... V .rr .. ... .. qq .. ... .. .. 33. ... .. ... .. b... .3.

```

[12]

```

..... V .rr .. ... .. qq .. ... .. .. 33. ... .. ... .. b... .3.
..... V .rr .. ... .. qq .. ... .. .. 33. ... .. ... .. b... .3.
..... V .rr .. ... .. .. .. ... .. .. 33. ... .. ... .. b... .3.
..... V ... .. ... .. .. .. ... .. .. 33. ... .. ... .. b... .3.

```

[13]

```

..... V ... .. ... .. .. .. ... .. .. 33. ... .. ... .. b... .3.
..... V ... .. ... .. .. .. ... .. .. 33. ... .. ... .. b... .3.
..... V ... .. ... .. .. .. ... .. .. 33. ... .. ... .. b... .3.
..... V ... .. ... .. .. .. ... .. .. 33. ... .. ... .. b... .3.

```

(οι υπόλοιποι κύκλοι είναι ίδιοι και παραλείπονται)

Communication Elements

Control Elements



13	13/05/24	16:16:00.530	51G	Asserted
12	13/05/24	16:16:00.530	50G1	Asserted
11	13/05/24	16:16:00.540	51Q	Asserted
10	13/05/24	16:16:00.530	50Q1	Asserted
9	13/05/24	16:16:05.536	OUT101	Asserted
8	13/05/24	16:16:05.536	OUT102	Asserted
7	13/05/24	16:16:05.546	ZLOAD	Asserted
6	13/05/24	16:16:05.551	ZLOAD	Deasserted
5	13/05/24	16:16:05.556	51G	Deasserted
4	13/05/24	16:16:05.556	50G1	Deasserted
3	13/05/24	16:16:05.556	IN101	Deasserted
2	13/05/24	16:16:05.556	51Q	Deasserted
1	13/05/24	16:16:05.556	50Q1	Deasserted

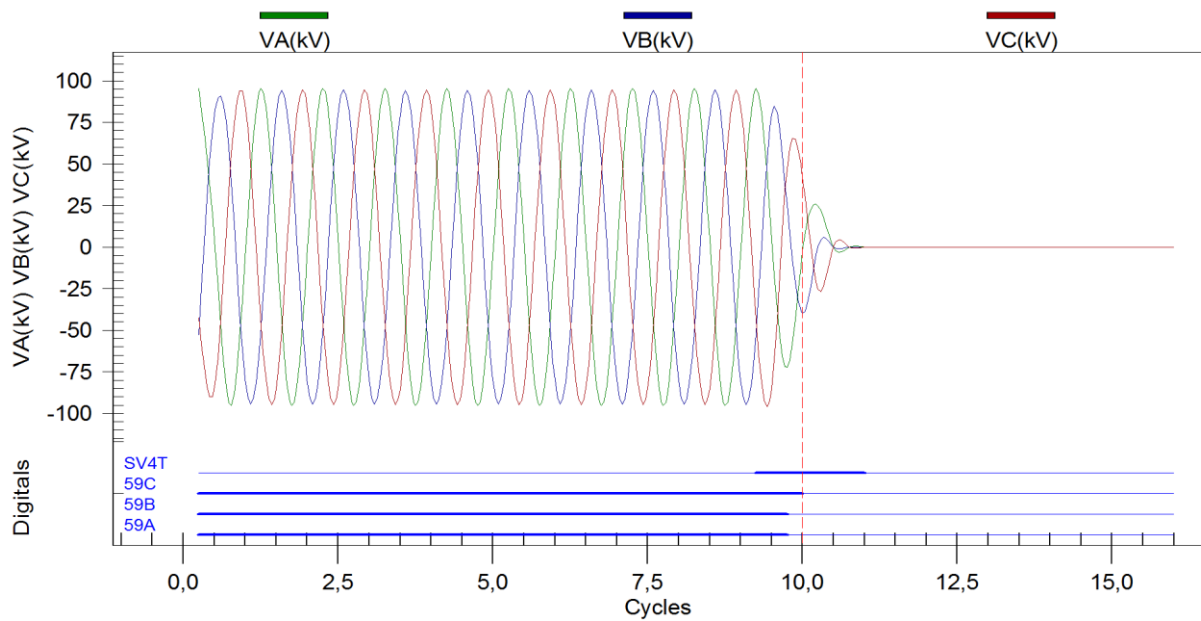
Από τα παραπάνω δεδομένα διαπιστώνεται ότι:

- Τα στοιχεία υπερεντάσεως αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας λειτούργησαν ως όφειλαν αποκόπτοντας το σφάλμα σε χρόνο περί τα 5 sec.
- Τα στοιχεία τάσεως λειτούργησαν σωστά αναγνωρίζοντας υπόταση.
- Το είδος του σφάλματος αναγνωρίζεται σωστά μιας και η σύνδεση των κυκλωμάτων ακολουθίας για την ανάλυση ενός μονοφασικού ανοικτοκυκλώματος προσομοιάζει αυτής που χρησιμοποιείται για την ανάλυση ενός διφασικού προς γη βραχυκυκλώματος.
- Ο Η/Ν ορθώς δεν έδωσε αποτέλεσμα για την απόσταση από το σφάλμα σε αυτή τη δοκιμή.

#### 4.4.10 Δοκιμή λειτουργίας προστασίας υπερτάσεως

Για τη δοκιμή λειτουργίας της προστασίας υπερτάσεως αναμενόταν ότι ο Η/Ν θα λειτουργήσει αποκόπτοντας το σφάλμα σε περίπου σε 5 sec μετά την εφαρμογή των τάσεων στις εισόδους του από τη συσκευή CMC 356.

Στην Εικόνα 4.19 η εξέλιξη των ρευμάτων και των τάσεων του σφάλματος καθώς και η εξέλιξη των καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και των λοιπών σημάτων ελέγχου του Η/Ν SEL-311B κατά τη διάρκεια της εν λόγω δοκιμής. Επισημαίνεται πως στην εικόνα αυτή δεν εμπεριέχεται η συνολική διάρκεια της δοκιμής, αλλά τα τελευταία της στάδια μιας και οι κλασσικές αναφορές γεγονότων του Η/Ν SEL-311B δεν μπορούν να παρουσιάσουν δεδομένα για χρόνο 5 sec.



Εικόνα 4.19: Εξέλιξη μετρούμενων τάσεων και καταστάσεων των βασικότερων στοιχείων προστασίας και σημάτων ελέγχου του H/N SEL-311B για εμφάνιση οριακής υπέρτασης μεγάλης διάρκειας

Στο σημείο αυτό παρατίθεται και η αναφορά διαδοχικών γεγονότων όπως αυτή παράχθηκε εσωτερικά του H/N SEL-311B κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

SEL-311B  
LNR

Date: 13/05/24 Time: 16:02:01.402

FID=SEL-311B-R105-V0-Z003002-D20020703

CID=3C2F

#	DATE	TIME	ELEMENT	STATE
20	13/05/24	16:01:47.176	59AB	Asserted
19	13/05/24	16:01:47.176	59A	Asserted
18	13/05/24	16:01:47.181	59CA	Asserted
17	13/05/24	16:01:47.181	59BC	Asserted
16	13/05/24	16:01:47.181	3P59	Asserted
15	13/05/24	16:01:47.181	59C	Asserted
14	13/05/24	16:01:47.181	59B	Asserted
13	13/05/24	16:01:52.178	OUT101	Asserted
12	13/05/24	16:01:52.178	OUT102	Asserted
11	13/05/24	16:01:52.188	LOP	Asserted
10	13/05/24	16:01:52.188	59CA	Deasserted
9	13/05/24	16:01:52.188	59AB	Deasserted
8	13/05/24	16:01:52.188	3P59	Deasserted
7	13/05/24	16:01:52.188	59B	Deasserted
6	13/05/24	16:01:52.188	59A	Deasserted
5	13/05/24	16:01:52.193	59BC	Deasserted
4	13/05/24	16:01:52.193	59C	Deasserted
3	13/05/24	16:01:52.193	IN101	Deasserted
2	13/05/24	16:01:52.213	OUT101	Deasserted
1	13/05/24	16:01:52.213	OUT102	Deasserted

Από τα παραπάνω δεδομένα, είναι πολύ εύκολο να διαπιστώσει κανείς ότι η προστασία υπερτάσεως δούλεψε σωστά σε χρόνο 5 sec. Η ενεργοποίηση της λογικής προστασίας έναντι απώλειας του σήματος από τον Μ/Σ τάσης του Η/Ν πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι σε αυτή τη δοκιμή εφαρμόστηκαν στον Η/Ν τάσεις χωρίς να εφαρμοστούν ρεύματα.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

---

- [1] «ECEN 459 Power System Fault Analysis and Design « SEEC – System Engineering & Energy Conversion Lab,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://seeclab.com/teaching/ecen-459-power-systems/>.
- [2] S. H. Horowitz και A. G. Phadke, POWER SYSTEM RELAYING, 3rd επιμ., John Wiley & Sons Ltd, 2008.
- [3] J. L. Blackburn και T. J. Domin, Protective Relaying | Principles and Applications, 3rd επιμ., H. L. Willis και M. H. Rashid, Επιμ., CRC Press, 2007.
- [4] «SF6 Circuit Breakers and Current Transformers for High Voltage Lines | Jcmiras.Net Gallery,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.jcmiras.net/jcm2/p22.htm>.
- [5] «Protective and Measuring Transformers - Siemens,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.energy.siemens.com/mx/en/power-distribution/medium-voltage-indoor-devices/Protective-and-Measuring-Transformers.htm>.
- [6] «Coupling Capacitor Voltage Transformer: Tucson Transformer,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.tucsontransformer.com/coupling-capacitor-voltage-transformer.htm>.
- [7] «power-technology.com | Coupling capacitors for dead-tank breakers,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.power-technology.com/contractors/tandd/maxwell/maxwell3.html>.
- [8] «Electric Power eTool: Substation Equipment - SF6 Circuit Breakers,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.osha.gov/SLTC/etools/electric\\_power/illustrated\\_glossary/substation\\_equipment/sf6\\_circuitbreakers.html](http://www.osha.gov/SLTC/etools/electric_power/illustrated_glossary/substation_equipment/sf6_circuitbreakers.html).
- [9] «Electric Power eTool: Substation Equipment - Batteries,» [Ηλεκτρονικό]. Available: [http://www.osha.gov/SLTC/etools/electric\\_power/illustrated\\_glossary/substation\\_equipment/batteries.html](http://www.osha.gov/SLTC/etools/electric_power/illustrated_glossary/substation_equipment/batteries.html).
- [10] Μ. Π. Παπαδόπουλος, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, Αθήνα: Ε.Μ.Π. | ΤΜΗΜΑ ΗΛ/ΓΩΝ ΜΗΧ. & ΜΗΧ. ΗΛ. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ | ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ, 1997.
- [11] PROT.A.S.I.S SA με τροποποιήσεις του συγγραφέα, «Κατασκευαστικά & λειτουργικά διαγράμματα εργαστηριακού συστήματος προστασίας,» 2013.
- [12] «SEL-3354 Embedded Automation Computing Platform,» Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.selinc.com/SEL-3354/>. [Πρόσβαση 26 February 2013].
- [13] J. Harrell, *The Importance of ECC Memory in Your Substation Computer*, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2010.
- [14] PROT.A.S.I.S SA, «Κατασκευαστικά & λειτουργικά διαγράμματα εργαστηριακού συστήματος προστασίας,» 2011.

- [15] Β. Α. Παπασπηλιωτόπουλος, Εργαστηριακό σύστημα προστασίας & εποπτείας μονάδας παραγωγής & μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας – Μελέτη και έλεγχος προστασίας του μετασχηματιστή ανύψωσης, Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2012.
- [16] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., SEL-3354: Embedded Automation Computing Platform | Instruction Manual, 2011.
- [17] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., SEL-311B Relay: Protection and Automation System | Instruction Manual, 2011.
- [18] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., «Legacy SEL-311A, B, C Connectorized®,» 2012.
- [19] O. E. SCHWEITZER, «NEW DEVELOPMENTS IN DISTANCE RELAY POLARIZATION AND FAULT TYPE SELECTION,» Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., PULLMAN, WASHINGTON, 1989.
- [20] E. O. Schweitzer και J. B. Roberts, «Distance Relay Element Design,» *Journal of Reliable Power*, τόμ. 1, αρ. 1, p. 90, July 2010.
- [21] W. K. Sonnemann και H. W. Lensner, «Compensator Distance Relaying 1. General Principles of Operation,» *Power Apparatus and Systems, Part III. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, τόμ. 77, αρ. 3, pp. 372-382, April 1958.
- [22] Q. Verzosa, «Ground Distance Relays – Understanding the Various Methods of Residual Compensation, Setting the Resistive Reach of Polygon Characteristics, and Ways of Modeling and Testing the Relay,» Doble Engineering Company.
- [23] D. Hou και J. Roberts, «CAPACITIVE VOLTAGE TRANSFORMERS: TRANSIENT OVERREACH CONCERNS AND SOLUTIONS FOR DISTANCE RELAYING,» Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., Pullman, WA USA, 2000.
- [24] J. Roberts και A. Guzmán, «DIRECTIONAL ELEMENT DESIGN AND EVALUATION,» Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., Pullman, WA USA, 2006.
- [25] K. Zimmerman και D. Costello, «Fundamentals and Improvements for Directional Relays,» Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2010.
- [26] K. Zimmerman και D. Costello, «Impedance-Based Fault Location Experience,» *Journal of Reliable Power*, τόμ. 1, αρ. 1, p. 90, 2010.
- [27] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., SEL-587-0, -1: Current Differential & Overcurrent Relay | Instruction Manual, 2010.
- [28] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., «SEL-587-0, -1 Connectorized®,» 2009.
- [29] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., SEL-300G: Multifunction Generator Relay | Instruction Manual, 2010.
- [30] Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., «SEL-300G-0, -1, -2, -3 Connectorized®,» 2009.

- [31] «IEC 909-2 | Electrical Equipment - Data for short-circuit current calculations in accordance with IEC 909 (1988),» International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 1992.
- [32] «IEC 60909-0 | Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Calculation of current,» International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2001.
- [33] «IEC 60909-4 | Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Examples for the calculation of short-circuit-currents,» International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland, 2000.
- [34] Ε. Λεκατσάς, Θέματα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας: Υπερτάσεις - Διαβάθμιση Μονώσεως - Σχεδιασμός Γραμμών Μεταφοράς και Υποσταθμών, Αθήνα: Δ.Ε.Η., 1985.
- [35] Ε. Δ. Γαϊτάνου, Μοντελοποίηση και ανάλυση λειτουργίας αυτόνομου ηλεκτρικού συστήματος νήσου Ρόδου, Αθήνα: Ε.Μ.Π., 2007.
- [36] Κ. Β. Παπαδιάς, ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | ΤΟΜΟΣ ΙΙ: ΑΣΥΜΜΕΤΡΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ, Αθήνα: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, 1993.
- [37] Γ. Κορρές, ΘΕΩΡΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ, Αθήνα: Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών | Τομέας Ηλεκτρικής Ισχύος, 2005.
- [38] J. Mooney και J. Peer, «APPLICATION GUIDELINES FOR GROUND FAULT PROTECTION,» Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 1997.
- [39] J. Roberts, E. O. Schweitzer, R. Arora και E. Poggi, «LIMITS TO THE SENSITIVITY OF GROUND DIRECTIONAL AND DISTANCE PROTECTION,» σε *SPRING MEETING OF THE PENNSYLVANIA ELECTRIC ASSOCIATION RELAY COMMITTEE*, ALLENTOWN, PENNSYLVANIA, 1997.
- [40] I. Schweitzer Engineering Laboratories, ACSELERATOR® QuickSet Designer SEL-5031 Instruction Manual, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2006.
- [41] «CMC 356 Brochure,» OMICRON electronics GmbH.
- [42] «QuickCMC - OMICRON,» OMICRON electronics GmbH, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.omicron.at/en/products/pro/secondary-testing-calibration/sw/protection/pickup-drop-off/quickcmc/>. [Πρόσβαση 1 6 2013].
- [43] D. Costello και K. Zimmerman, «Determining the Faulted Phase,» σε *Texas A&M Conference for Protective Relay Engineers*, 2010.
- [44] Γ. Κορρές, ΕΠΟΠΤΕΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ, Αθήνα: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ | ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧ. & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ | ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ, 2008.
- [45] J. P. Nelson, «System grounding and ground-fault protection in the petrochemical industry: a need for a better understanding,» *Industry Applications, IEEE Transactions on*, τόμ. 38, αρ. 6, pp. 1633-1640, 2002.

- [46] «CMC 356 Technical Data,» OMICRON electronics GmbH.
- [47] «OMICRON Test Universe - Software Overview,» OMICRON electronics GmbH.
- [48] J. Roberts, A. Guzman και E. O. Schweitzer, « $Z=V/I$  DOES NOT MAKE A DISTANCE RELAY,» σε *20th ANNUAL WESTERN PROTECTIVE RELAY CONFERENCE*, SPOKANE, WASHINGTON, 1993.
- [49] F. Calero, «Distance Elements: Linking Theory With Testing,» Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2009.
- [50] A. Polikoff, «Testing Ground Distance Elements in SEL Distance Relays,» Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., 2006.
- [51] E. O. Schweitzer και J. J. Kumm, «NEGATIVE-SEQUENCE OVERCURRENT ELEMENT APPLICATION AND COORDINATION IN DISTRIBUTION PROTECTION,» σε *ELECTRIC COUNCIL OF NEW ENGLAND PROTECTIVE RELAYING COMMITTEE MEETING No. 72*, BURLINGTON, VERMONT, 1997.