



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

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΙΕC-61850
ΣΕ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Χ. ΜΑΝΤΑΣΑΣ

Επιβλέπων : ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΧΑΤΖΗΑΡΓΥΡΙΟΥ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2011



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

ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ IEC-61850 ΣΕ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Χ. ΜΑΝΤΑΣΑΣ

Επιβλέπων : ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΧΑΤΖΗΑΡΓΥΡΙΟΥ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον Ιούλιο 2011

.....
Ν. ΧΑΤΖΗΑΡΓΥΡΙΟΥ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

.....
Σ. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ
ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

.....
Π. ΓΕΩΡΓΙΛΑΚΗΣ
ΛΕΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ ΙΟΥΛΙΟΣ 2011

Αφιερώνεται στην Ελένη μου

.....
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Χ. ΜΑΝΤΑΣΑΣ
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Χ. ΜΑΝΤΑΣΑΣ 2011

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 διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη εφαρμογής του πρωτοκόλλου επικοινωνίας IEC61850 σε υποσταθμούς μέσης τάσης τροφοδοσίας σηράγγων, η ανάλυση του εν λόγω προτύπου και ο τρόπος μοντελοποίησης του πρωτεύοντος εξοπλισμού.

Συγκεκριμένα, στο 1ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τεχνικές προδιαγραφές ενός συστήματος Υποσταθμών Διανομής Μέσης Τάσης σε σήραγγες.

Στο 2ο κεφάλαιο, μελετώνται οι τεχνικές προδιαγραφές και παρουσιάζεται διεξοδικά η υλοποίηση του έργου με συμβατικό τρόπο. Αναλύονται οι αλληλασφαλίσεις, γίνεται μελέτη βραχυκυκλωμάτων και παρουσιάζονται διάφορα σχήματα προστασίας. Παράλληλα, γίνεται αναφορά στα προβλήματα και τις δυσκολίες που προκύπτουν από τη δεδομένη υλοποίηση.

Στο 3ο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το πρωτόκολλο IEC61850 και αναλύεται η δομή του, ο τρόπος μοντελοποίησης του πρωτεύοντος εξοπλισμού ενός Υ/Σ, καθώς και οι υπηρεσίες που διαθέτει το εν λόγω πρότυπο.

Στο 4ο κεφάλαιο, περιγράφεται η υλοποίηση του εν λόγω έργου σύμφωνα με το πρωτόκολλο IEC61850 και παρουσιάζονται η δομή του δικτύου, η μοντελοποίηση των υποσταθμών, η λογική υλοποίηση των αλληλασφαλίσεων και των προστασιών και τέλος γίνεται εκτίμηση της συμπεριφοράς του δικτύου σε περιπτώσεις δυσλειτουργίας και τα μέτρα που μπορούν να ληφθούν.

Τέλος, στο 5ο κεφάλαιο, γίνεται η ανάλυση των συμπερασμάτων μεταξύ της συμβατικής και της δικτυακής υλοποίησης του έργου.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

IEC61850, GOOSE, IED, ETHERNET, ΣΗΡΑΓΓΑ, ΨΗΦΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ, ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ, ΑΛΛΗΛΑΣΦΑΛΙΣΗ, ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ, ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ, ΛΟΓΙΚΟΣ ΚΟΜΒΟΣ, ΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΚΕΥΗ.

ABSTRACT

The scope of this thesis was the application study of communication protocol IEC61850 in Medium Voltage Switchgear of Tunnels, including the analysis of this protocol as well as the explanation of the modelling of the Switchgear.

In particular, in the 1st chapter they are presented and explained the technical specifications of a Medium Voltage Switchgear System for Tunnels.

In the 2nd chapter, they are studied the above technical specifications and the conventional implementation is presented in detail. They are also analysed the Interlockings and a load flow and short circuit study is also carried out, in order to find the most suitable protection scheme for the given Power System. Finally, they are presented the drawbacks and difficulties that are posed by the conventional implementation.

In the 3rd chapter the protocol IEC61850 is presented in detail in the fields of network configuration, switchgear modelling and services.

The 4th chapter describes the implementation of the project in accordance to IEC61850. They are also presented the network structure, the modelling of the switchgear the logical implementation of Interlockings and the Protection Scheme. Finally, it is presented the ruggedness of the whole system in case of failures and the precautions that should be taken into consideration are described.

Finally, in the 5th chapter they are presented the conclusions between conventional and IEC61850 – based implementation.

KEY WORDS

IEC61850, GOOSE, IED, ETHERNET, TUNNEL, DIGITAL SYSTEM, CONTROL, PROTECTION, INTERLOCKING, MEDIUM VOLTAGE, SWITCHGEAR, LOGICAL NODE, LOGICAL DEVICE.

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή κ. ΝΙΚΟΛΑΟ ΧΑΤΖΗΑΡΓΥΡΙΟΥ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υπ. διδάκτορα ΕΡΙΕΤΤΑ ΖΟΥΝΤΟΥΡΙΔΟΥ της οποίας η συμβολή στην ολοκλήρωση της εργασίας ήταν καθοριστική.

Τέλος οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου., καθώς και στην περάτωση της παρούσας εργασίας.

ΑΘΗΝΑ , ΙΟΥΛΙΟΣ 2011
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Χ. ΜΑΝΤΑΣΑΣ

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ & ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΩΝ	9
1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΕ ΣΗΡΑΓΓΑ.....	9
1.2 ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΓΙΑ ΕΦΕΔΡΙΚΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ.....	11
1.3 ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΜΕΤΑΓΩΓΗ.....	12
1.4 ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΣ ΔΙΠΛΗΣ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗΣ.....	12
1.5 ΑΛΛΗΛΑΣΦΑΛΙΣΕΙΣ.....	12
1.6 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ - ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	12
1.7 ΨΗΦΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΟΠΤΕΙΑΣ ΚΑΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ (SCADA).....	12
2. ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ - ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ	14
2.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΛΛΗΛΑΣΦΑΛΙΣΕΩΝ.....	14
2.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΛΛΗΛΑΣΦΑΛΙΣΕΩΝ:.....	16
2.2.1 Αποφυγή γείωσης ηλεκτρισμένου διασυνδεδετήριου καλωδίου.....	16
2.2.2 Αποφυγή ηλεκτρίσης γειωμένου διασυνδεδετήριου καλωδίου.....	16
2.2.3 Αποφυγή παραλληλισμού των δύο πηγών τροφοδότησης της σήραγγας.....	18
2.3 ΜΕΛΕΤΗ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ (ΜΕ ΝΕΡPLAN) ΣΕ ΕΝΑ ΤΥΠΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ.....	23
2.3.1 Υπολογισμοί ροών φορτίου.....	26
2.3.2 Βραχυκυκλώματα στους ζυγούς και στα διασυνδεδετήρια καλώδια.....	29
2.4 ΣΧΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ – ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	52
2.4.1 Επιλεκτικότητα μέσω εντάσεων.....	53
2.4.2 Επιλεκτικότητα μέσω χρόνου.....	53
2.4.3 Επιλεκτικότητα μέσω στοιχείων κατεύθυνσης.....	55
2.4.4 Επιλεκτικότητα μέσω αλληλοδεσμεύσεων.....	59
2.4.5 Παρατηρήσεις.....	62
3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ IEC61850	64
3.1 ΔΟΜΗ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	64
3.2 ΦΥΣΙΚΑ ΜΕΣΑ.....	67
3.3 ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	67
3.4 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ Υ/Σ ΣΤΟ IEC61850.....	68
3.6 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΟ IEC61850.....	76
4. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΒΑΣΕΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ IEC61850	79
4.1 ΔΟΜΗ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	79
4.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	82
4.3 ΛΟΓΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΛΛΗΛΑΣΦΑΛΙΣΕΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΩΝ Η/Ν.....	88
4.4 ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗ ΜΗΝΥΜΑΤΩΝ GOOSE..	89
4.5 ΣΧΗΜΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΒΑΣΙΣΜΕΝΟ ΣΕ ΑΛΛΗΛΟΔΕΣΜΕΥΣΕΙΣ – ΛΟΓΙΚΗ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΕΝΤΟΣ ΤΩΝ Η/Ν.....	91
4.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΥΣΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	92
4.6.1 Δίκτυο Τοπολογίας Δακτυλίου.....	92
4.6.2 Αξιοπιστία μηνυμάτων GOOSE.....	93
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	95
5.1 ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΟ ΕΝ ΛΟΓΩ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	95
5.2 ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝ ΤΟΥ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ IEC61850.....	95
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97

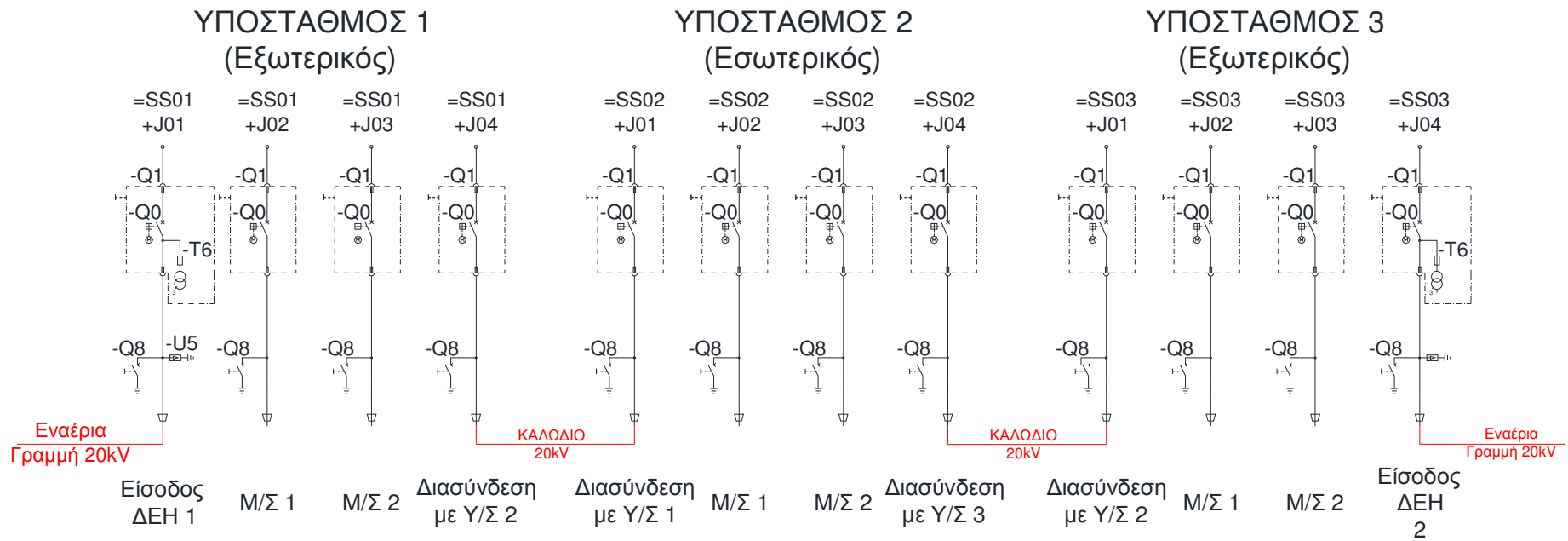
Εισαγωγή

Στην Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει και συνεχίζουν να γίνονται μεγάλα έργα σε οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο. Λόγω του εξαιρετικά δύσκολου ανάγλυφου της χώρας μας, υπάρχει ιδιαίτερη ανάγκη για κατασκευή σήραγγων. Πολλών δε εξ' αυτών μεγάλου μήκους. Για παράδειγμα, μόνο στην Εγνατία Οδό υπάρχουν 73 δίδυμες σήραγγες συνολικού μήκους 50χλμ ανά κατεύθυνση. Επίσης, νέες θα προκύψουν με την ολοκλήρωση άλλων μεγάλων οδικών αξόνων της χώρας μας, όπως η Ιωνία Οδός, ή ο Αυτοκινητόδρομος Αιγαίου με τις μεγάλες σήραγγες των Τεμπών.

1 Τεχνικές προδιαγραφές Δικτύου Υποσταθμών Μέσης Τάσης & Ψηφιακού Συστήματος Χειρισμού & Προστασίας σε σήραγγες Αυτοκινητοδρόμων

1.1 Γενική περιγραφή ενός Δικτύου Μέσης Τάσης σε σήραγγα.

Μια τυπική σήραγγα με μήκος μεγαλύτερο από 2km διαθέτει τοπολογία (ανοικτού βρόχου) σχετικά με τη διανομή μέσης τάσης, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.

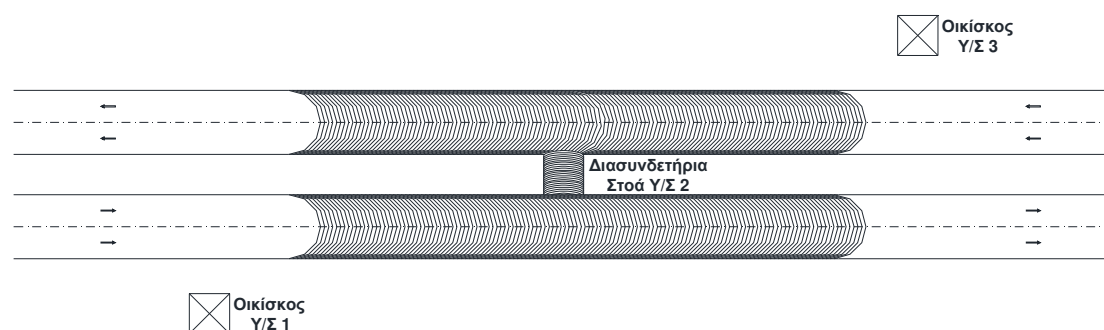


- ΥΠΟΜΝΗΜΑ:**
- Q0 : Αυτόματος Διακόπτης
 - Q1 : Φορείο Α/Δ
 - Q8 : Γειωτής Καλωδίου
 - T6 : Μετασχηματιστής Τάσης
 - U5 : Απαγωγός Υπερτάσεων

Σχήμα 1.1. Τοπολογία Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης

Στους δύο εξωτερικούς υποσταθμούς, έχουμε τροφοδότηση από δύο παροχές 20kV της ΔΕΗ. Ο εσωτερικός υποσταθμός διασυνδέεται με τους δύο εξωτερικούς μέσω καλωδίου. Προκειμένου να έχουμε τοπολογία ανοικτού βρόχου, ένας εκ των διακοπών εισόδου από ΔΕΗ, ή κάποιος εκ των τεσσάρων διασυνδετήριων είναι ανοικτός. Σε κάθε υποσταθμό, έχουμε δύο αναχωρήσεις προς μετασχηματιστές 20/0,4kV όπου ο καθένας απ' αυτούς είναι ικανός να αναλάβει το πλήρες φορτίο του υποσταθμού και λειτουργούν εκ' περιτροπής.

Παρακάτω φαίνεται ένα τυπικό σχέδιο δίδυμης σήραγγας με δύο εξωτερικούς οικίσκους για υποσταθμό στα άκρα και έναν εσωτερικό υποσταθμό στη διασυνδετήρια στοά.



Σχήμα 1.2. Τυπικό σχέδιο δίδυμης σήραγγας με τις θέσεις των υποσταθμών.

Ανάλογα με το μήκος της σήραγγας, διαθέτει δύο εξωτερικούς υποσταθμούς σε οικίσκους στα άκρα της σήραγγας και κάποιο πλήθος υποσταθμών στις διασυνδετήριες στοές εντός της σήραγγας, έτσι ώστε να υπάρχει ένας υποσταθμός κάθε 1-1,5km. Η βασική ανάγκη για την ύπαρξη υποσταθμών σε τόσο μικρές αποστάσεις έχει να κάνει με την τροφοδότηση των ανεμιστήρων και του φωτισμού, χωρίς μεγάλη πτώση τάσης και απώλειες καλωδίων.

Παρατηρούμε, ότι υπάρχουν τουλάχιστον δύο ανεξάρτητες πηγές τροφοδοσίας της σήραγγας και ανάλογα με την περίπτωση και τη γεωγραφική θέση της σήραγγας (σε σχέση με το δίκτυο Μ.Τ. της ΔΕΗ) άλλοτε οι δύο εξωτερικοί υποσταθμοί συνδέονται σε δύο ανεξάρτητες γραμμές διανομής (20kV) και άλλοτε στην ίδια, αλλά υπάρχει εφεδρική παροχή από ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

1.2 Απαίτηση για εφεδρική τροφοδότηση.

Προκειμένου να διασφαλίζεται εφεδρεία στην τροφοδοσία των φορτίων της σήραγγας, απαιτείται είτε το δίκτυο Μ.Τ. να συνδέεται σε δύο διαφορετικές γραμμές διανομής, είτε σε μία αλλά να υπάρχει ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, που να μπορεί να αναλάβει το σύνολο των φορτίων.

Με τον όρο ανεξάρτητες γραμμές διανομής Μ.Τ. εννοούμε ότι προέρχονται από διαφορετικά Κέντρα Διανομής της ΔΕΗ, που τροφοδοτούνται και από διαφορετικές γραμμές υψηλής τάσης.

1.3 Αυτόματη Μεταγωγή

Σε περίπτωση απώλειας μίας εκ των δύο παροχών της Μ.Τ, προβλέπεται η αυτόματη μεταγωγή του συνόλου των φορτίων της σήραγγας στην εναπομένουσα παροχή. Η μεταγωγή αυτή θα πρέπει να γίνεται στον ελάχιστο δυνατό χρόνο (της τάξης του 1sec), ώστε να μην επηρεάζεται η ομαλή λειτουργία των μηχανημάτων της σήραγγας. (δεν συνιστάται η χρήση υπερταχείας ζεύξης (<50ms) (τύπου make before break) λόγω του μη συγχρονισμού των δικτύων της ΔΕΗ. Επίσης δεν είναι απαραίτητη λόγω ύπαρξης UPS σε κάθε υποσταθμό, που τροφοδοτεί τα κρίσιμα φορτία.

1.4 Αποκλεισμός διπλής τροφοδότησης

Από την παραπάνω απαίτηση, προκύπτει η τοπολογία του ανοικτού βρόχου στο δίκτυο Μ.Τ. της σήραγγας, ώστε να απαγορεύεται η ταυτόχρονη τροφοδότηση οπουδήποτε υποσταθμού και από τις δύο παροχές., καθώς είναι ασυγχρόνιστες και ανεβάζουν την ισχύ βραχυκύκλωσης στον υποσταθμό.

1.5 Αλληλασφαλίσεις

Πέραν της παραπάνω αλληλασφάλισης, θα πρέπει το σύστημα να διασφαλίζει την απαγόρευση όλων των εσφαλμένων χειρισμών. εντός του κάθε υποσταθμού, αλλά και μεταξύ των υποσταθμών.

1.6 Προστασία - Επιλεκτικότητα

Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στο σύστημα προστασίας του δικτύου των Υ/Σ της σήραγγας, ώστε σε περίπτωση βραχυκυκλώματος στα διασυνδεδετήρια καλώδια, ή εντός των Υ/Σ, να πραγματοποιείται γρήγορη εκκαθάριση του σφάλματος και απομόνωση του εσφαλμένου τμήματος του δικτύου, ασχέτως ποια είναι κάθε φορά η κατεύθυνση της τροφοδότησης και δίνοντας στο ψηφιακό σύστημα τη δυνατότητα να επανατροφοδοτήσει το υπόλοιπο του δικτύου με ασφάλεια..

Δεδομένου ότι η φορά της ροής ισχύος μπορεί να αντιστρέφεται, δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί επιλεκτική συνεργασία των Η/Ν μέσω ρύθμισης της χαρακτηριστικής ρεύματος – χρόνου. Μπορεί όμως να επιτευχθεί με χρήση Η/Ν με δυνατότητα αντίληψης κατεύθυνσης.

1.7 Ψηφιακό Σύστημα Εποπτείας και Χειρισμού Δικτύου Διανομής Μέσης Τάσης (SCADA)

Όλες οι καταστάσεις, τα γεγονότα, οι σημάνσεις και οι μετρήσεις από το Δίκτυο Διανομής Μέσης Τάσης της Σήραγγας, θα πρέπει να συλλέγονται και να μεταφέρονται μέσω δικτύου οπτικών ινών στο Ψηφιακό Σύστημα Εποπτείας και Ελέγχου, σε Η/Υ στο Κέντρο Ελέγχου Σήραγγας (Κ.Ε.Σ.). Εκεί θα οπτικοποιούνται ώστε ο χειριστής του Συστήματος να γνωρίζει κάθε στιγμή την κατάσταση του

Δικτύου Διανομής. Από τον ίδιο Η/Υ θα δίνονται εντολές χειρισμού προς τους αυτόματους διακόπτες (Α/Δ) του Δικτύου Διανομής, είτε χειροκίνητα από τον χειριστή (π.χ. αλλαγή τροφοδότησης για συντήρηση), είτε αυτόματα (π.χ. αυτόματη μεταγωγή).

Έτσι, ορίζονται τα ακόλουθα επίπεδα χειρισμών των Αυτόματων Διακοπών Μέσης Τάσης:

- 1) Τοπικά από τον κάθε Α/Δ
- 2) Απομακρυσμένα – Χειροκίνητα. Από τη διαδραστική οθόνη του Ψηφιακού Συστήματος, με εντολή που δίνει ο χειριστής.
- 3) Απομακρυσμένα – Αυτόματα. Από το Ψηφιακό Σύστημα με εντολή που δίνει το ίδιο.

Η επιλογή κάποιου επιπέδου χειρισμού, θα αποκλείει όλα τα άλλα επίπεδα, ώστε να μην μπορούν να δοθούν δύο εντολές ταυτόχρονα.

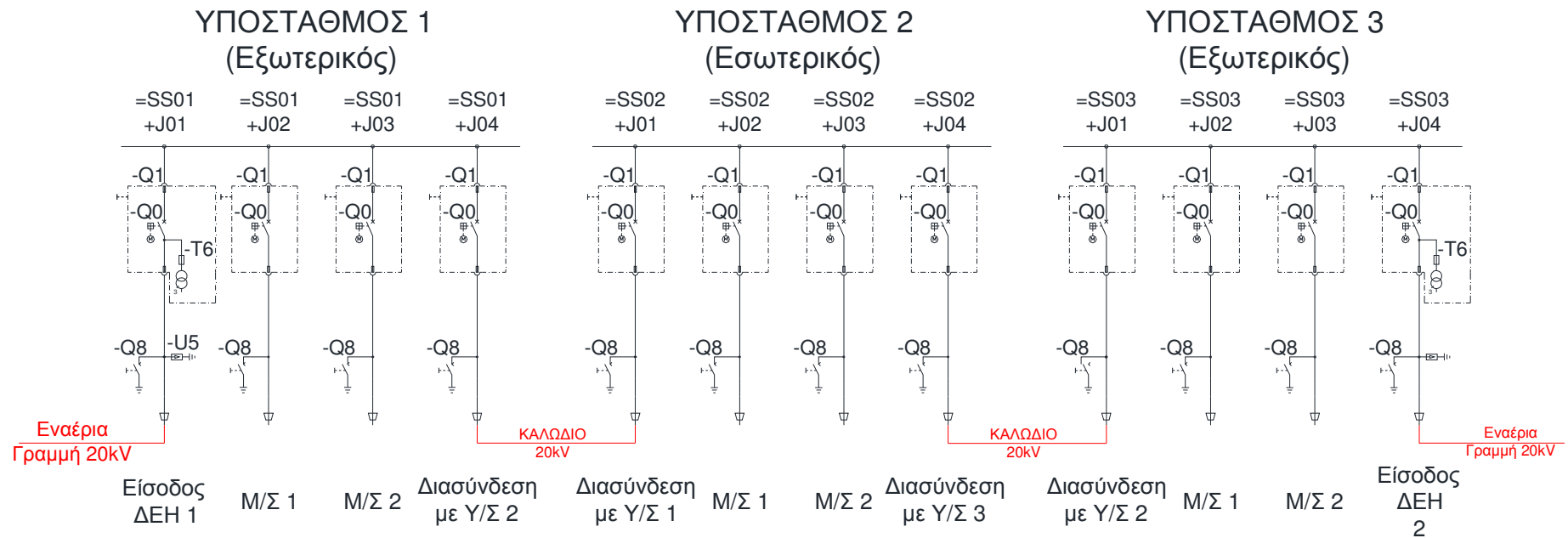
Σε κάθε περίπτωση, οι παραπάνω αλληλασφαλίσεις θα πρέπει να ισχύουν και να προστατεύουν το δίκτυο, από λανθασμένους χειρισμούς, εξασφαλίζοντας την εύρυθμη λειτουργία του. Αντίστοιχα και οι προστασίες, θα πρέπει να έχουν την ίδια συμπεριφορά και επιλεκτικότητα, διασφαλίζοντας την ταχεία απομόνωση εσφαλμένων τμημάτων του δικτύου.

2. Μελέτη του Συστήματος - Συμβατικός τρόπος υλοποίησης και προβλήματα που προκύπτουν

2.1 Περιγραφή Αλληλασφαλίσεων.

Με βάσει τις παραπάνω προδιαγραφές, θα πρέπει να διασυνδεθούν μέσω καλωδίου ελέγχου, οι υποσταθμοί μεταξύ τους.

Προκειμένου να γίνει κατανοητό το σχήμα αλληλασφαλίσεων, παρατίθεται πρώτα το μονογραμμικό σχέδιο με τυπικές ονομασίες των κυψελών μέσης τάσης, καθώς και των επί μέρους συσκευών τους.



- ΥΠΟΜΝΗΜΑ:**
- Q0 : Αυτόματος Διακόπτης
 - Q1 : Φορείο Α/Δ
 - Q8 : Γειωτής Καλωδίου
 - T6 : Μετασχηματιστής Τάσης
 - U5 : Απαγωγός Υπερτάσεων

Σχήμα 2.1. Μονογραμμικό Σχέδιο Υ/Σ Μ/Τ.

Έτσι, οι τοποθετικές ονομασίες των υποσταθμών είναι =SS01, =SS02, =SS03 για τους Υ/Σ 1,2,3 αντίστοιχα και οι λειτουργικές ονομασίες της κάθε κυψέλης εντός του Υ/Σ είναι (+J01, +J02, +J03, +J04) για τις κυψέλες 1,2,3,4 αντίστοιχα.

Τέλος οι επί μέρους συσκευές μιας κυψέλης έχουν τις ονομασίες:
-Q0 : ο αυτόματος διακόπτης
-Q1: το φορείο τους αυτόματου διακόπτη
-Q8: ο γειωτής καλωδίου της κυψέλης
-T6: ο μετασχηματιστής τάσης στην πλευρά του καλωδίου της κυψέλης.

Έτσι, για παράδειγμα, ο γειωτής της κυψέλης 4 του Υ/Σ 2, θα έχει τον χαρακτηρισμό:
=SS02 +J04 –Q8.

2.2. Ανάλυση των αλληλασφαλίσεων:

2.2.1 Αποφυγή γείωσης ηλεκτρισμένου διασυνδετήριου καλωδίου.

Επιτρέπεται ο χειρισμός του γειωτή της κυψέλης 1 του Υ/Σ 2 (=SS02+J01-Q8), όταν το φορείο της κυψέλης 4 του Υ/Σ 1 είναι εκτός (=SS01+J04-Q1-OFF)

Αντίστοιχα για τον γειωτή της κυψέλης 4 του Υ/Σ 1 ((=SS01+J04-Q8), επιτρέπεται ο χειρισμός του, όταν το φορείο της κυψέλης 1 του Υ/Σ 2 είναι εκτός (=SS02+J01-Q1-OFF).

Αντίστοιχα, ορίζονται και για κάθε άλλο ζεύγος κυψελών που αποτελούν διασύνδεση του βρόχου.

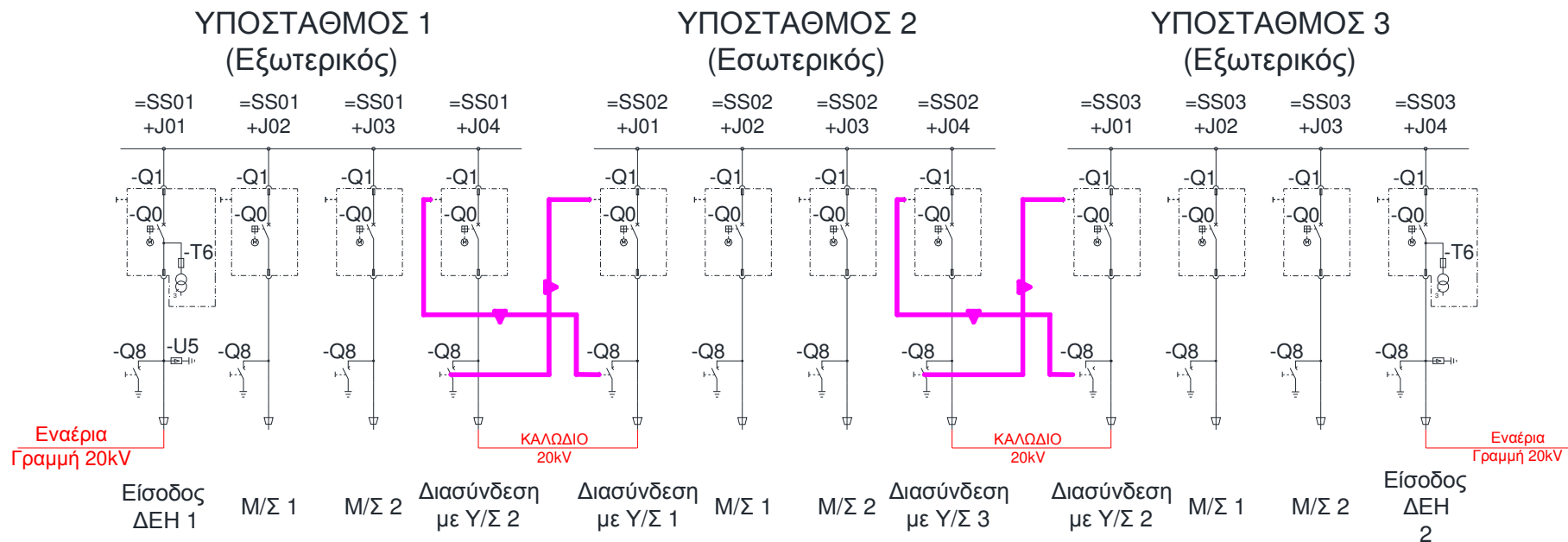
2.2.2 Αποφυγή ηλεκτρίσης γειωμένου διασυνδετήριου καλωδίου.

Επιτρέπεται ο χειρισμός του φορείου της κυψέλης 1 του Υ/Σ 2 (=SS02+J01-Q1), όταν ο γειωτής της κυψέλης 4 του Υ/Σ 1 είναι εκτός (=SS01+J04-Q8-OFF)

Αντίστοιχα για το φορείο της κυψέλης 4 του Υ/Σ 1 ((=SS01+J04-Q1), επιτρέπεται ο χειρισμός του, όταν ο γειωτής της κυψέλης 1 του Υ/Σ 2 είναι εκτός (=SS02+J01-Q8-OFF).

Αντίστοιχα, ορίζονται και για κάθε άλλο ζεύγος κυψελών που αποτελούν διασύνδεση του βρόχου.

Οι παραπάνω δύο αλληλασφαλίσεις παρουσιάζονται στο επόμενο σχήμα.



- ΥΠΟΜΝΗΜΑ:**
- Q0 : Αυτόματος Διακόπτης
 - Q1 : Φορείο Α/Δ
 - Q8 : Γειωτής Καλωδίου
 - T6 : Μετασχηματιστής Τάσης
 - U5 : Απαγωγός Υπερτάσεων
 - ↔ : Αλληλασφάλιση

Σχήμα 2.2. Αλληλασφάλιση μεταξύ φορείων – γειωτών στις διασυνδέσεις των Υ/Σ

Παρατηρούμε, ότι για την υλοποίηση της αλληλασφάλισης μεταξύ φορείων – γειωτών μιας διασύνδεσης υποσταθμών, απαιτείται η καλωδιακή σύνδεση των βοηθητικών επαφών του φορείου και του γειωτή της τέταρτης κυψέλης του πρώτου υποσταθμού στην πρώτη κυψέλη του δεύτερου υποσταθμού και αντίστροφα. Άρα σε κάθε διασύνδεση υποσταθμών απαιτούνται δύο καλώδια ελέγχου τεσσάρων αγωγών και επειδή ζητείται πάντα εφεδρεία αγωγών 20% σε κάθε χρησιμοποιούμενο καλώδιο, θα πρέπει να εγκατασταθούν 2 καλώδια πέντε αγωγών, για παράδειγμα NYCY 5x2.5mm².

Εναλλακτικά εφαρμόζεται η χρήση κλειδαριών τοποθετημένων επί των κυψελών στα σημεία εισαγωγής των χειριστηρίων του φορείου και του γειωτή. Η λειτουργία τους είναι η ακόλουθη:

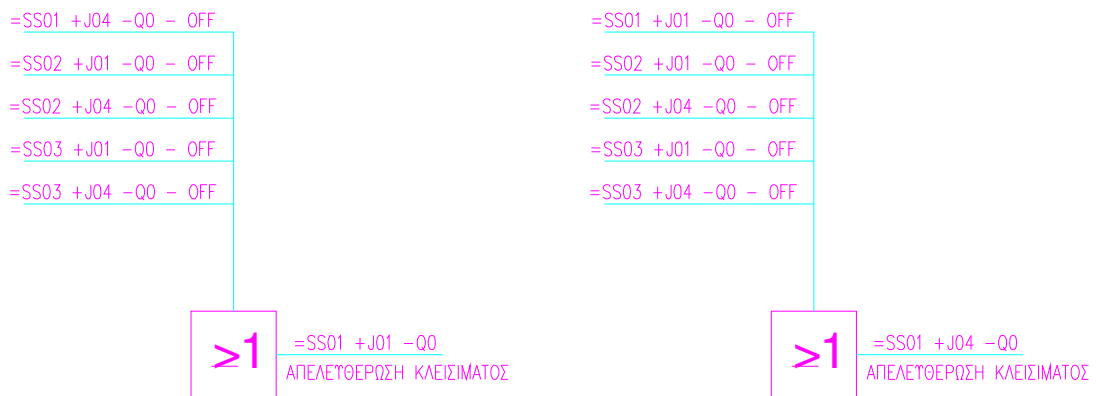
Σε έναν κρίκο, είναι περασμένο το κλειδί του φορείου της μιας κυψέλης και του γειωτή της απέναντι. Για να τεθεί το φορείο στη θέση «εντός» θα πρέπει να εισαχθεί το κλειδί στην κλειδαριά του φορείου, και αφού τεθεί το φορείο εντός, το κλειδί δεσμεύεται και δεν μπορεί να αφαιρεθεί. Έτσι, μένει δεσμευμένο και το κλειδί του γειωτή της απέναντι κυψέλης (αφού βρίσκεται στον ίδιο κρίκο). Αντίστοιχα για να γειωθεί το καλώδιο, θα πρέπει να τεθεί το φορείο της κυψέλης στη θέση «εκτός», να αποδεσμευθεί το κλειδί. Το άλλο κλειδί, που βρίσκεται στον ίδιο κρίκο, θα εισαχθεί στην κλειδαριά του γειωτή της απέναντι κυψέλης και αφού ο γειωτής τεθεί στη θέση «εντός» θα δεσμευθεί εκεί, ώστε να είναι αδύνατος ο χειρισμός του απέναντι φορείου καθιστώντας αδύνατη την ηλέκτριση γειωμένου καλωδίου.

Η λύση αυτή είναι αξιόπιστη (εφόσον δεν υπάρχουν εφεδρικά κλειδιά) και δεν απαιτεί δαπανηρές καλωδιώσεις. Αν και παλαιωμένη, χρησιμοποιείται ακόμη σε νέους υποσταθμούς (βλ. Αττικό Μετρό). Απαιτεί όμως άσκοπες και χρονοβόρες μετακινήσεις του προσωπικού συντήρησης από υποσταθμό σε υποσταθμό. Έτσι, για τη γείωση ενός διασυνδετήριου καλωδίου θα πρέπει ο συντηρητής λ.χ. να θέσει το φορείο «εκτός» στον Υ/Σ 1, να μεταβεί στον Υ/Σ 2 και να θέσει το φορείο «εκτός», να θέσει το γειωτή «εντός», και να επιστρέψει στον Υ/Σ 1, για να θέσει και εκεί το γειωτή «εντός».

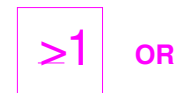
2.2.3 Αποφυγή παραλληλισμού των δύο πηγών τροφοδότησης της σήραγγας.

Επιτρέπεται ο χειρισμός ενός Α/Δ του βρόχου του Δικτύου, εφόσον υπάρχει τουλάχιστον ένας άλλος Α/Δ του βρόχου ανοικτός. Η απεικόνιση σε λογικά διαγράμματα φαίνεται ακολούθως:

ΑΛΛΗΛΑΣΦΑΛΙΣΗ ΜΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΧΩΝ
ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ 1

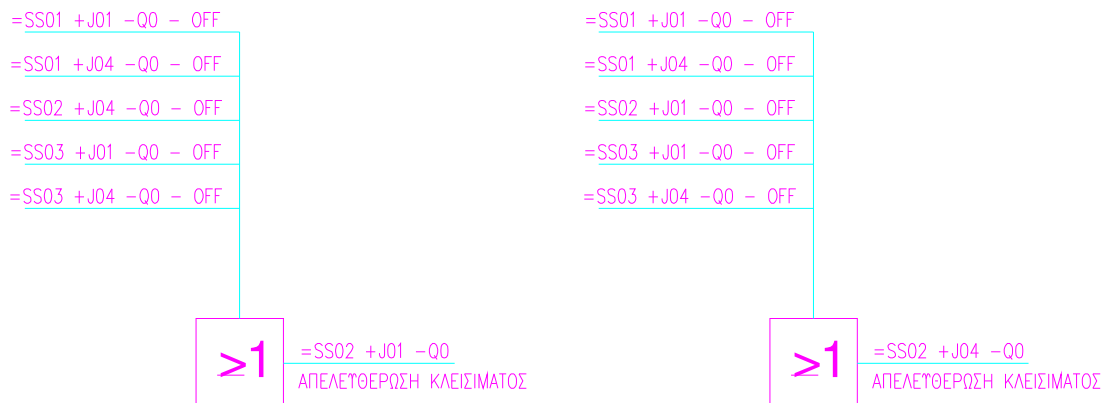


ΥΠΟΜΝΗΜΑ

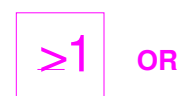


Σχήμα 2.3. Λογικό διάγραμμα για την απελευθέρωση κλεισίματος A/D Y/S1

ΑΛΛΗΛΑΣΦΑΛΙΣΗ ΜΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΧΩΝ
ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ 2

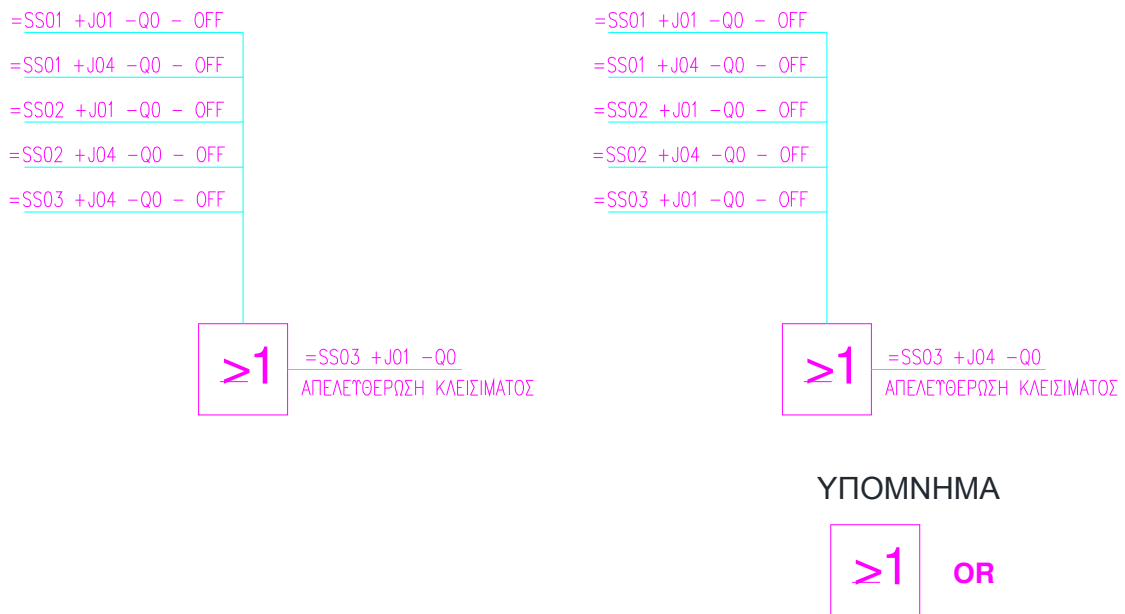


ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Σχήμα 2.4. Λογικό διάγραμμα για την απελευθέρωση κλεισίματος A/D Y/S2

ΑΛΛΗΛΑΣΦΑΛΙΣΗ ΜΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΧΩΝ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ 3



Σχήμα 2.5. Λογικό διάγραμμα για την απελευθέρωση κλεισίματος A/Δ Y/Σ3

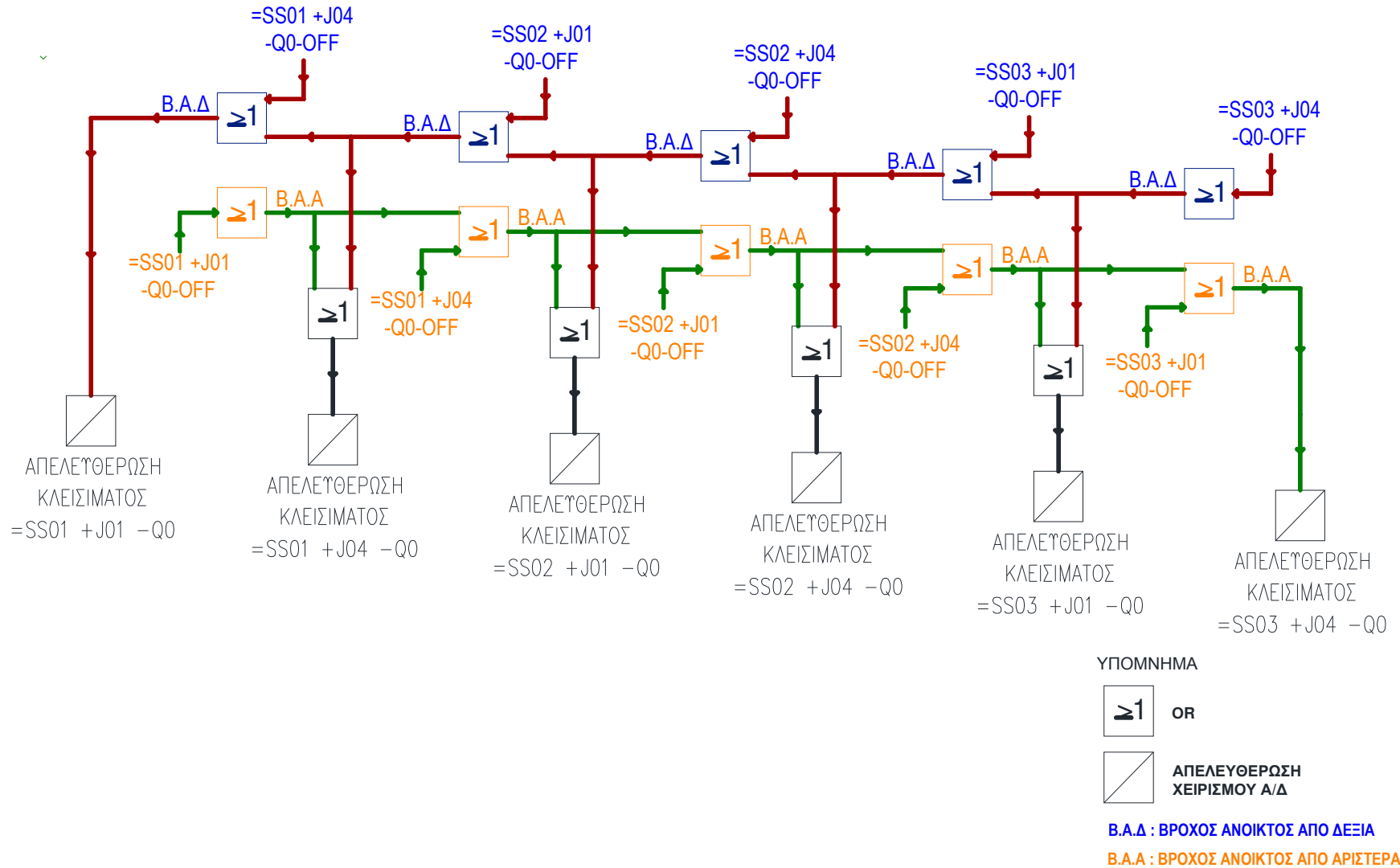
Παρατηρούμε, ότι για την υλοποίηση της αλληλασφάλισης μη παραλληλισμού των πηγών, απαιτείται η καλωδιακή σύνδεση της βοηθητικής επαφής του κάθε αυτόματου διακόπτη του βρόχου, με όλους τους άλλους αυτόματους διακόπτες του βρόχου. Έτσι, στον πρώτο διακόπτη έρχονται οι επαφές από τους πέντε άλλους διακόπτες κλπ., που σημαίνει ότι καταλήγουμε σε πολύ μεγάλου μήκους και πολυπληθείς καλωδιώσεις. Πόσο μάλλον σε ένα μεγαλύτερο έργο, όπου μπορεί να υπάρχουν έξι ή και παραπάνω υποσταθμοί σε σειρά.

Ένας άλλος τρόπος είναι να απελευθερώνεται ο χειρισμός «εντός» ενός A/Δ του βρόχου, όταν ο βρόχος είναι ανοικτός από αριστερά ή από δεξιά του.

Έτσι, ο ακραίος αριστερά διακόπτης (=SS01 +J01 -Q0) απελευθερώνεται όταν ο βρόχος είναι ανοικτός στα δεξιά του. Παράλληλα, η επαφή εκτός του διακόπτη μεταφέρεται στον επόμενο διακόπτη (=SS01 +J04 -Q0). Ο οποίος απελευθερώνεται όταν ο βρόχος είναι ανοικτός από αριστερά ή από δεξιά. Παράλληλα δημιουργείται ξανά το σήμα «ανοικτός βρόχος από αριστερά» με την κατάσταση του προηγούμενου διακόπτη (=SS01 +J01 -Q0) και του τρέχοντος (=SS01 +J04 -Q0) και μεταφέρεται σαν σκυτάλη καλωδιακά στον δεξιότερο (=SS02 +J01 -Q0). Έτσι, το σήμα «ανοικτός βρόχος από αριστερά» ξεκινά από το αριστερό άκρο του βρόχου, ενημερώνεται σε κάθε ενδιάμεσο διακόπτη και προχωρά προς τα δεξιά. Ομοίως δημιουργείται το σήμα «ανοικτός βρόχος από δεξιά» το οποίο ξεκινά από το δεξιό άκρο του βρόχου, ενημερώνεται σε κάθε ενδιάμεσο διακόπτη και προχωρά προς τα δεξιά. Έτσι, αρκεί ένας ενδιάμεσος διακόπτης να γνωρίζει ότι ο βρόχος είναι ανοικτός από αριστερά ή από δεξιά για να κλείσει, ενώ για τους ακραίους αρκεί στην αντίθετη κατεύθυνση να είναι κάπου ανοικτός ο βρόχος. Για την υλοποίηση της παραπάνω λογικής

απαιτούνται δύο καλώδια (σε κάθε διασύνδεση) τριών αγωγών (μαζί με την εφεδρεία), για παράδειγμα NYCY 3x2.5mm².

ΑΛΛΗΛΑΣΦΑΛΙΣΗ ΜΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΙΣΜΟΥ ΠΑΡΟΧΩΝ



Σχήμα 2.6. Λογικό διάγραμμα αλληλασφάλισης με τη μέθοδο της σκντάλης

Η υλοποίηση αυτή έχει το μειονέκτημα, ότι σε κάθε διακόπτη απαιτείται και ένας βοηθητικός ηλεκτρονόμος για το κάθε σήμα, ο οποίος εισάγει καθυστέρηση, που λόγω της διαδοχικής μετάδοσης του σήματος, γίνεται σημαντική. Έτσι, αν υποθέσουμε ότι όλος ο βρόχος τροφοδοτείται από αριστερά και ανοικτός είναι ο δεξιός διακόπτης ($=SS03 +J04 -Q0$), και επίσης αν υποθέσουμε ένα τυπικό χρόνο διέγερσης ενός βοηθητικού ηλεκτρονόμου γύρω στα 100ms. Από τη στιγμή που θα ανοίξει ο αριστερός διακόπτης ($=SS01 +J01 -Q0$), η πληροφορία «βρόχος ανοικτός από αριστερά» θα φθάσει στο δεξιό διακόπτη μετά από $5 \times 100\text{ms} = 500\text{ms}$.

Δεδομένου, ότι υπάρχει απαίτηση για αυτόματη μεταγωγή σε χρόνο 1sec, ήδη έχει χαθεί ο μισός!

Η χρήση κλειδιών δεν μπορεί εδώ να εφαρμοσθεί λόγω της απαίτησης για αυτόματη μεταγωγή.

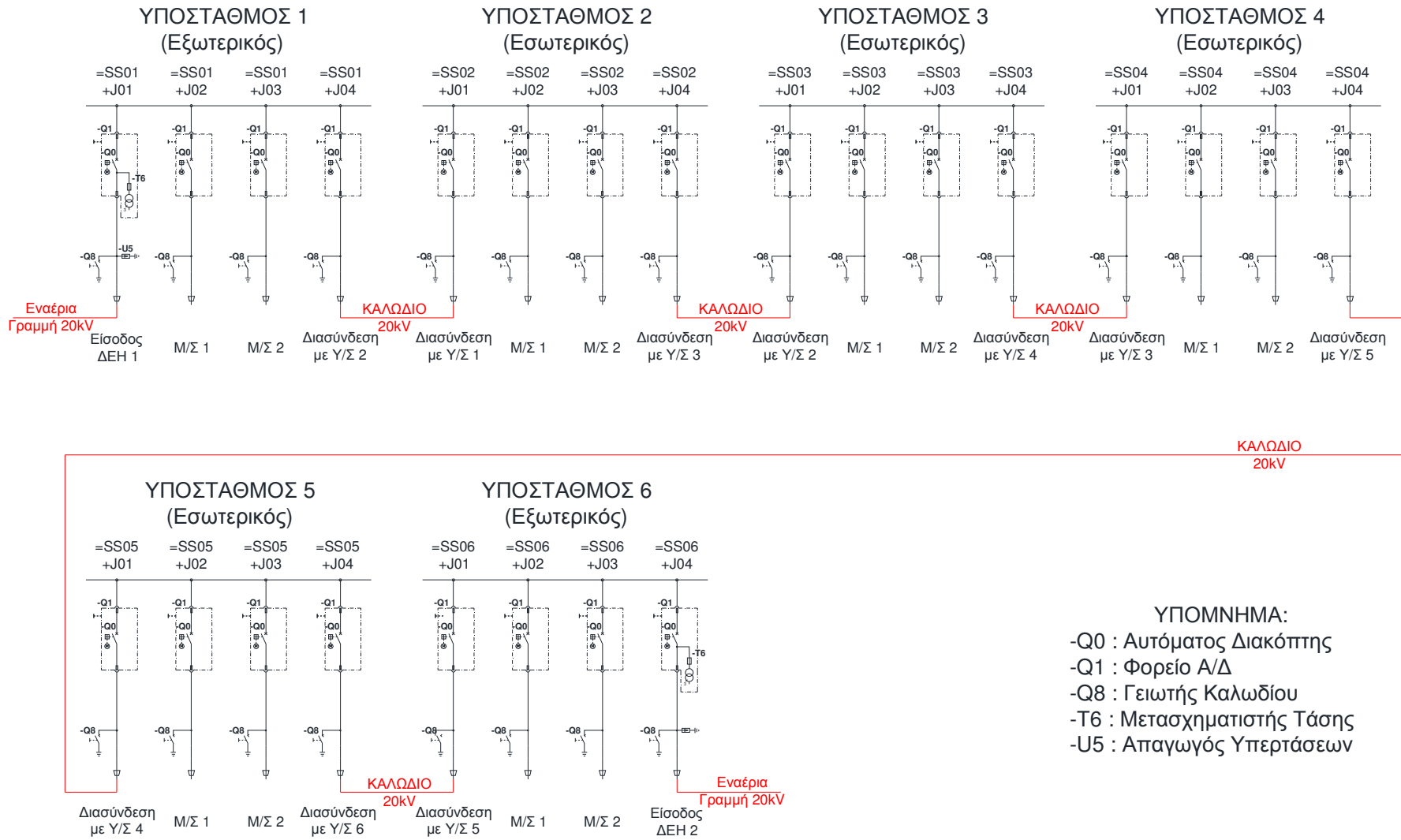
2.3 Μελέτη βραχυκυκλωμάτων (με Nerlan) σε ένα τυπικό παράδειγμα

Προκειμένου να μελετηθεί σε επίπεδο προστασίας ένα Δίκτυο Υ/Σ Μ/Τ, θα πρέπει να βασιστούμε σε πραγματικά στοιχεία. Έτσι, θα γίνει ανάλυση του δικτύου μέσης τάσης των υποσταθμών της δίδυμης σήραγγας Μετσόβου (μιας από τις μεγαλύτερες στην Εγνατία Οδό), με μήκος 3,6km ανά κατεύθυνση. Η σήραγγα αυτή διαθέτει δύο εξωτερικούς υποσταθμούς στα άκρα της και τέσσερις εσωτερικούς.



Εικόνα 2.1. Δυτική είσοδος Σήραγγας Μετσόβου

Το μονογραμμικό της σχέδιο φαίνεται παρακάτω και σύμφωνα με το οποίο, ο αριστερός εξωτερικός Υ/Σ 1 (Δυτικός), συνδέεται μέσω εναέριας γραμμής 20kV με το Κ.Δ. Ιωαννίνων, ενώ ο δεξιός εξωτερικός Υ/Σ 6 (Ανατολικός) συνδέεται μέσω εναέριας γραμμής 20kV με το Κ.Δ. Καλαμπάκας. Οι στάθμες βραχυκυκλωμάτων στα σημεία διασύνδεσης με τη ΔΕΗ είναι της τάξης των 1350Α και τα φορτία κάθε Υ/Σ φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.



Σχήμα 2.7. Γενικό Μονογραμμικό Διάγραμμα Υ/Σ Μ/Τ σήραγγας Μετσόβου.

Πίνακας 1. Μέγιστα Φορτία (εγκατεστημένα) Υποσταθμών Μέσης Τάσης Σήραγγας Μετσόβου.

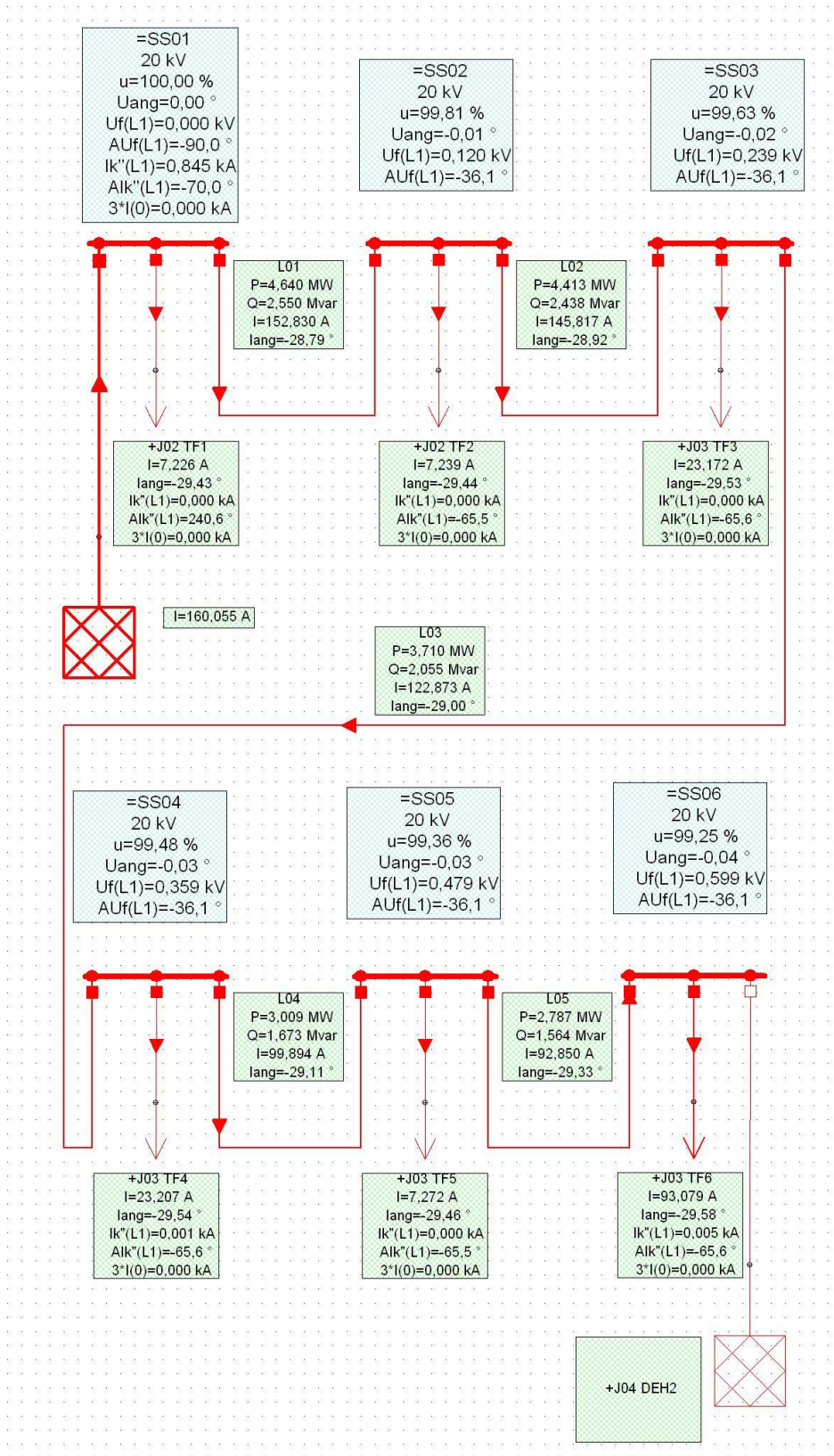
Υποσταθμοί	Υ/Σ 1	Υ/Σ 2	Υ/Σ 3	Υ/Σ 4	Υ/Σ 5	Υ/Σ 6
Μεγ. Φορτίο (kVA)	250	250	800	800	250	3200
Μεγ. Φορτίο (A)	7,22	7,22	23,1	23,1	7,22	92,38

Οι υποσταθμοί 1, 2, 5, αναλαμβάνουν μόνο τον φωτισμό και τα ασθενή φορτία (σηματοδότηση, κάμερες, επικοινωνίες κλπ.), της περιοχής του ο καθ' ένας, ενώ οι κεντρικοί υποσταθμοί 3 και 4 αναλαμβάνουν εκτός από τα παραπάνω και τους ανεμιστήρες τύπου στροβίλου (jet fans) της οροφής της σήραγγας. Τέλος ο υποσταθμός 6, εκτός από το φωτισμό και τα ασθενή της περιοχής του, αναλαμβάνει τους εξαεριστήρες του κεντρικού εκκαπνισμού της σήραγγας, που γίνεται μέσω διασυνδετήριας στοάς μεταξύ του ανατολικού άκρου και του κέντρου της σήραγγας σε περίπτωση σεναρίου πυρκαγιάς.

Το αυτόματο σύστημα διαχείρισης της σήραγγας, ενεργοποιεί τους ανεμιστήρες στροβίλου (jet fans) διαδοχικά έτσι, ώστε να μην εμφανίζονται σημαντικές υπερεντάσεις κατά την εκκίνηση τους. Οι δε μεγάλοι εξαεριστήρες του κεντρικού εκκαπνισμού εκκινούν μέσω διαμορφωτών συχνότητας (drives) ώστε να μην υπερβαίνουν το ονομαστικό τους ρεύμα κατά την εκκίνηση. Τέλος και ο φωτισμός ανάβει με στάθμες, ώστε να μη δημιουργεί απότομες μεταβολές ενοχλητικές για την όραση των οδηγών.

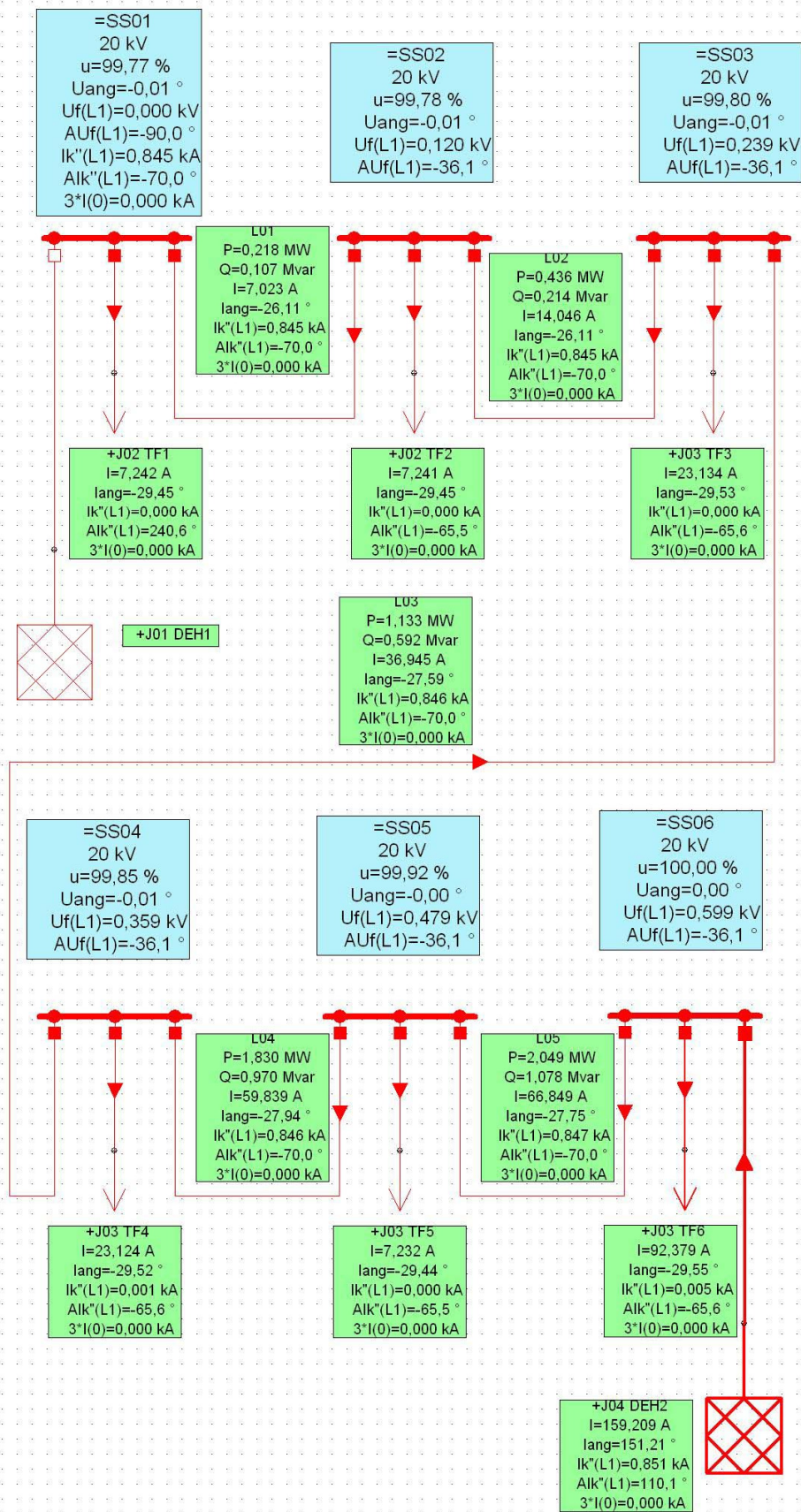
2.3.1 Υπολογισμοί ροών φορτίου

Οι δυσμενέστερες περιπτώσεις ροών φορτίου εμφανίζονται όταν όλα τα φορτία της σήραγγας αναλαμβάνει ένας εκ των δύο ακραίων υποσταθμών. Έτσι, για την περίπτωση όπου η σήραγγα τροφοδοτείται εξ' ολοκλήρου από τον Δυτικό υποσταθμό, έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα από το Neplan.



Σχήμα 2.8. Ροή φορτίου στην περίπτωση τροφοδοσίας από το Δυτικό Υ/Σ.

Αντίστοιχα, αν η τροφοδοσία ολόκληρης της σήραγγας γίνεται από τον Ανατολικό υποσταθμό, έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:



Σχήμα 2.9. Ροή φορτίου στην περίπτωση τροφοδοσίας από τον Ανατολικό Υ/Σ

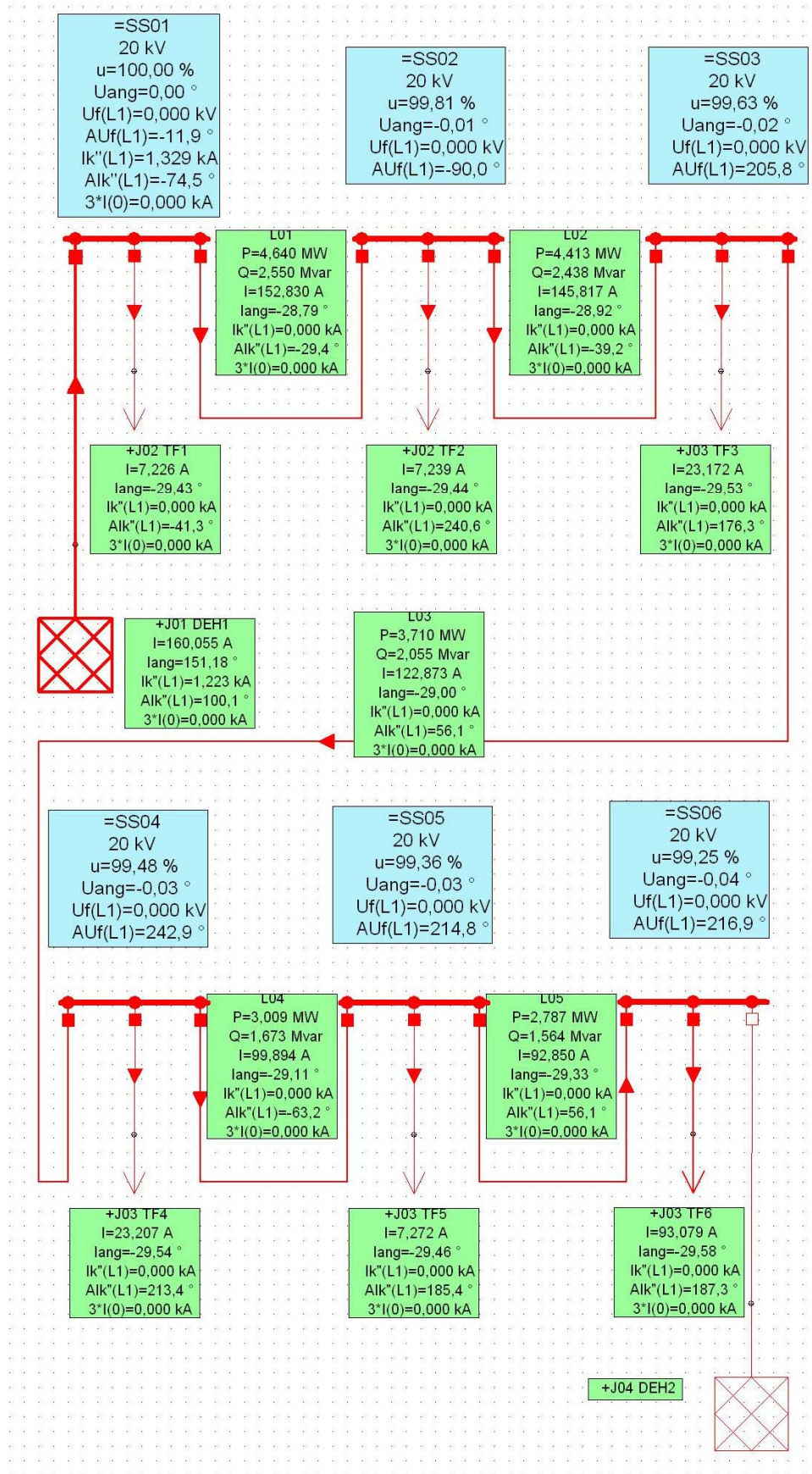
Από τα αποτελέσματα αυτά, σχηματίζουμε τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 2. Αποτελέσματα ροών φορτίου σε κάθε διασύνδεση.

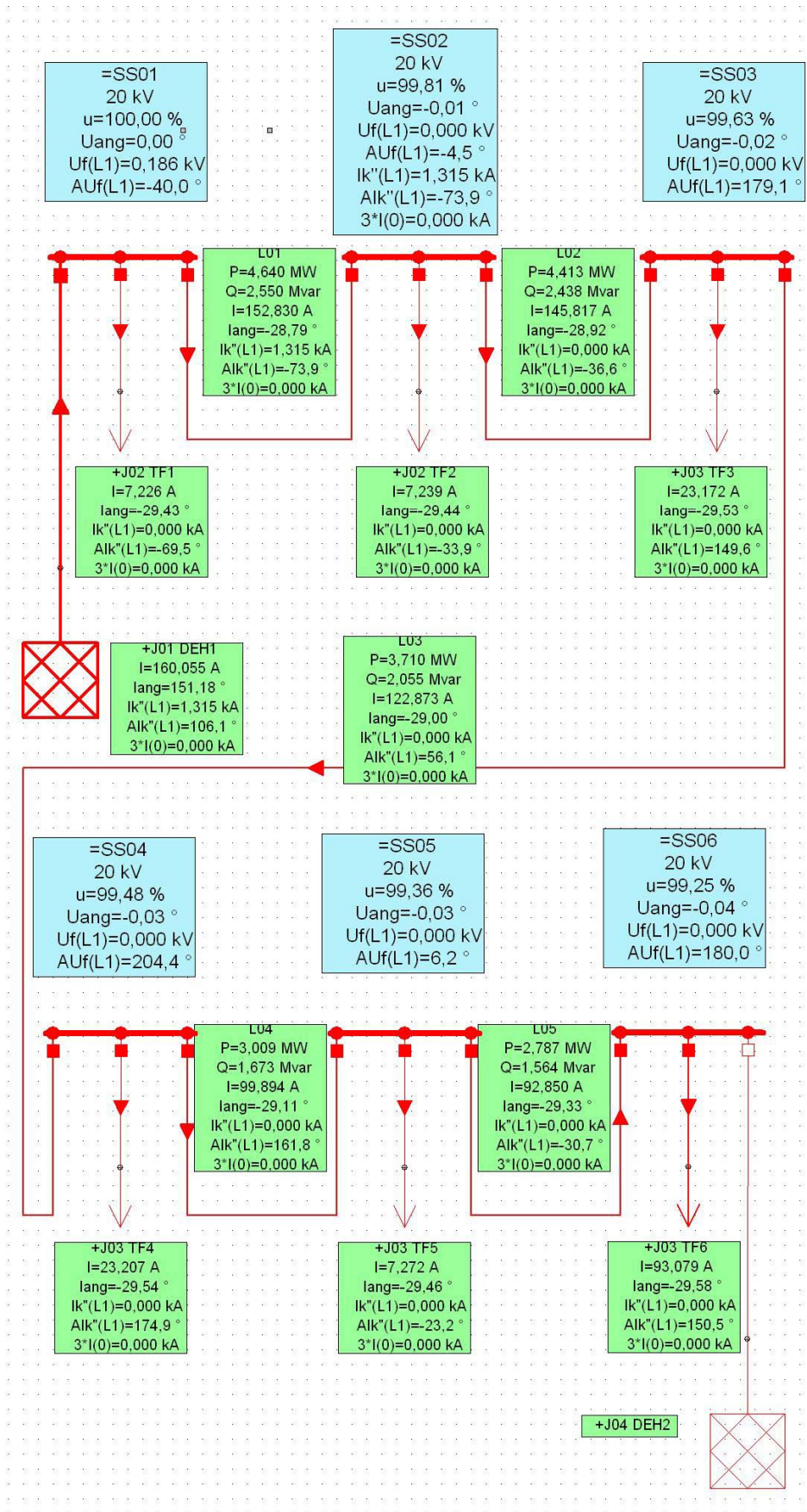
Υποσταθμός	Αυτόματος Διακόπτης	Τροφοδότηση από Δυτικό (A)	Τροφοδότηση από Ανατολικό (A)	Μέγιστη τιμή (A)
Υ/Σ 1	+J01	160,055	0	160,055
	+J04	152,83	7,242	152,83
Υ/Σ 2	+J01	152,83	7,242	152,83
	+J04	145,817	14,259	145,817
Υ/Σ 3	+J01	145,817	14,259	145,817
	+J04	122,873	37,165	122,873
Υ/Σ 4	+J01	122,873	37,165	122,873
	+J04	99,894	60,061	99,894
Υ/Σ 5	+J01	99,894	60,061	99,894
	+J04	92,85	67,069	92,85
Υ/Σ 6	+J01	92,85	67,069	92,85
	+J04	0	159,209	159,209

2.3.2. Βραχυκυκλώματα στους ζυγούς και στα διασυνδετήρια καλώδια

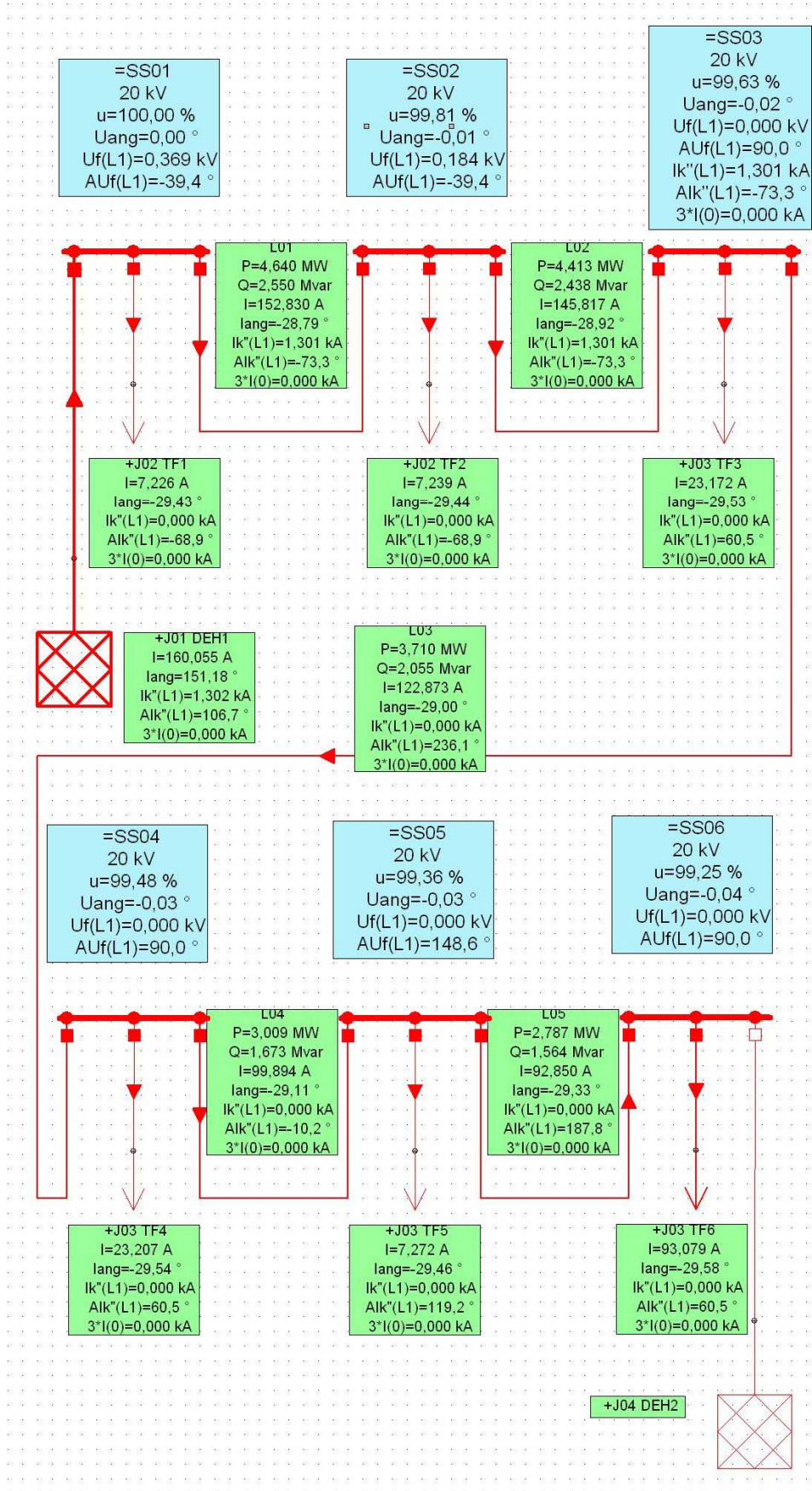
Θεωρώντας τριφασικά συμμετρικά σφάλματα σε όλους τους ζυγούς και τα καλώδια, έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα από το Neplan.



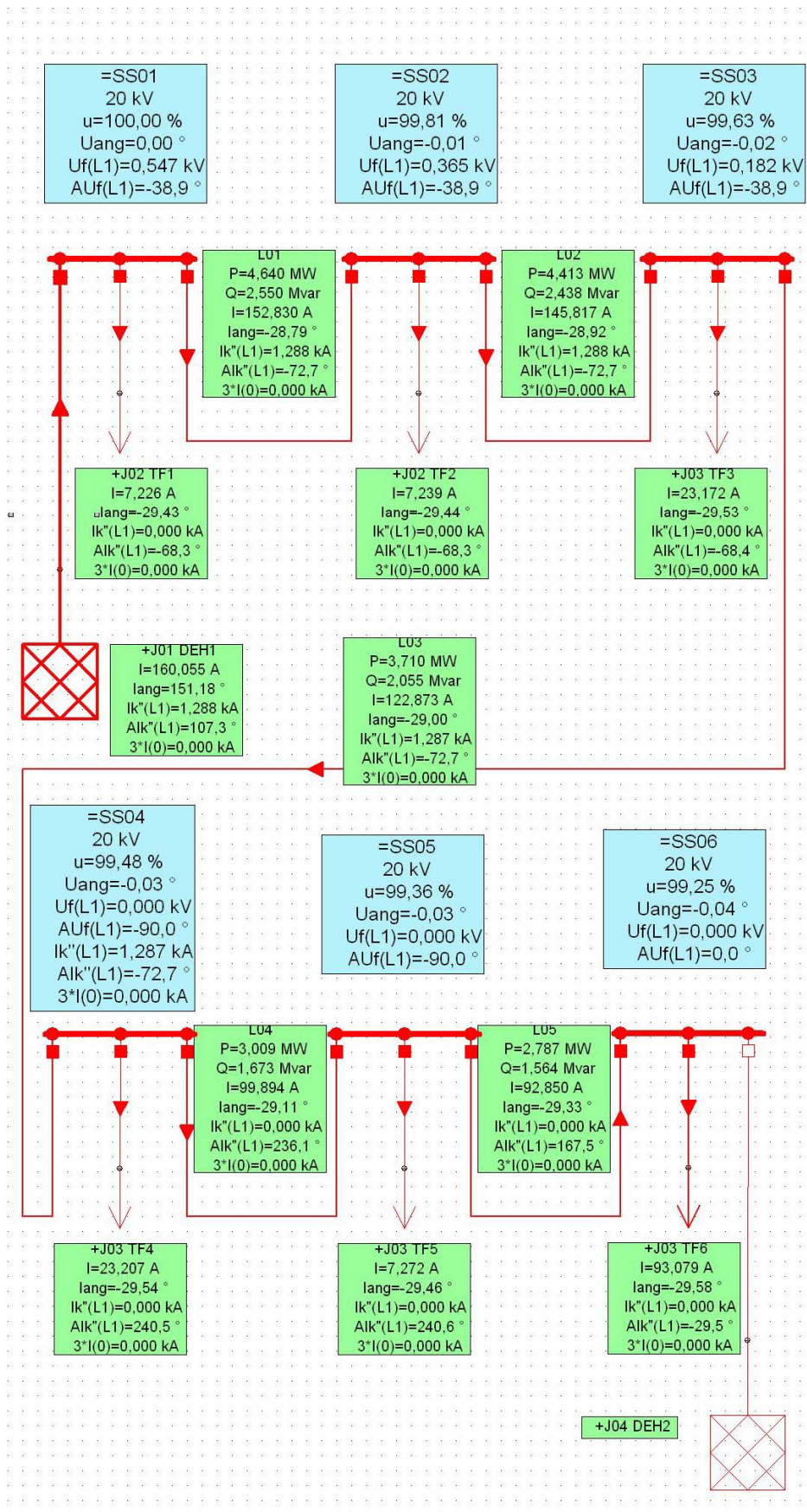
Σχήμα 2.10. Τροφοδότηση από Δυτικό Υ/Σ, σφάλμα στον Δυτικό Υ/Σ 1



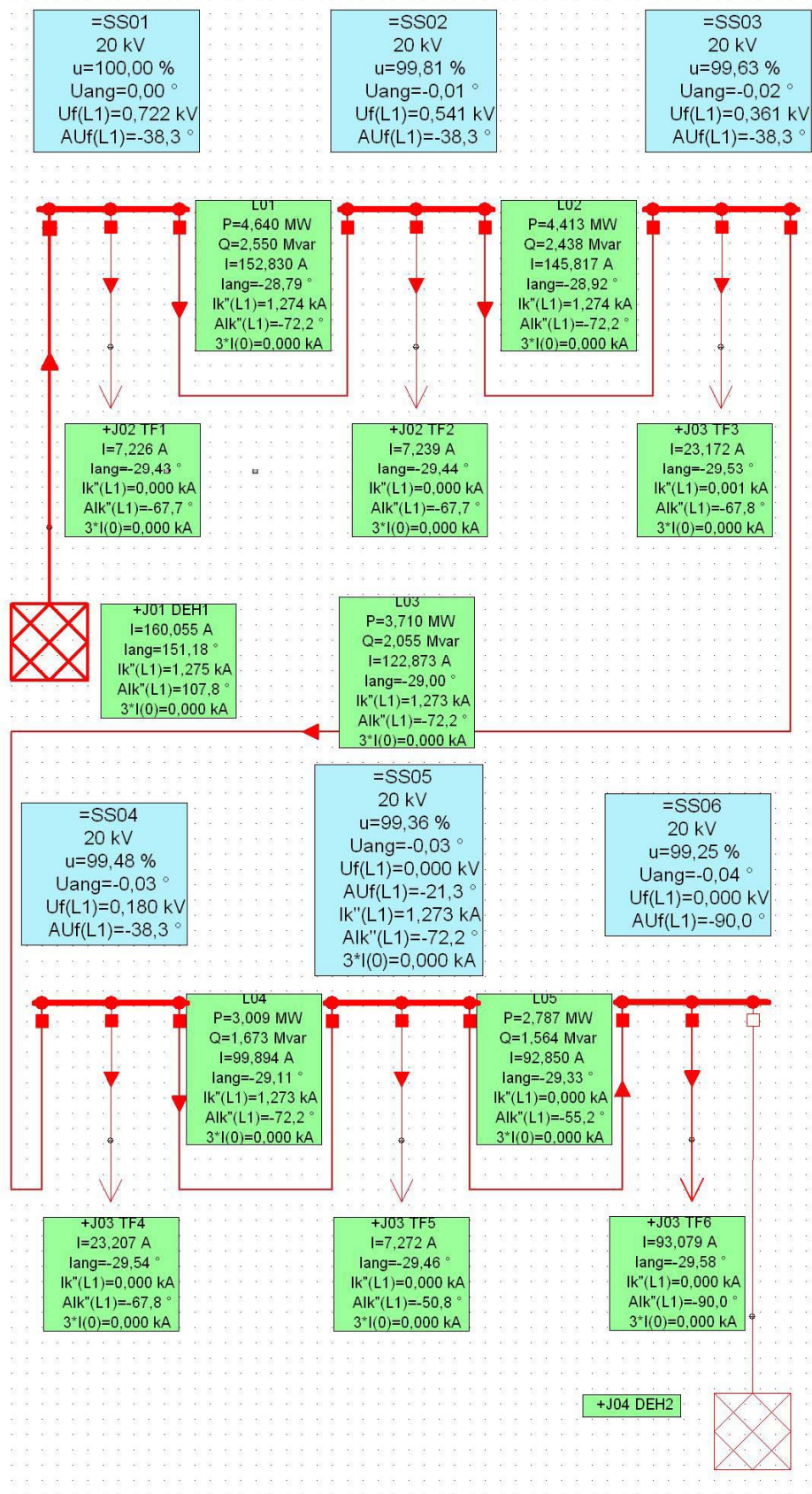
Σχήμα 2.11. Τροφοδότηση από Δυτικό Υ/Σ, σφάλμα στον Υ/Σ. 2



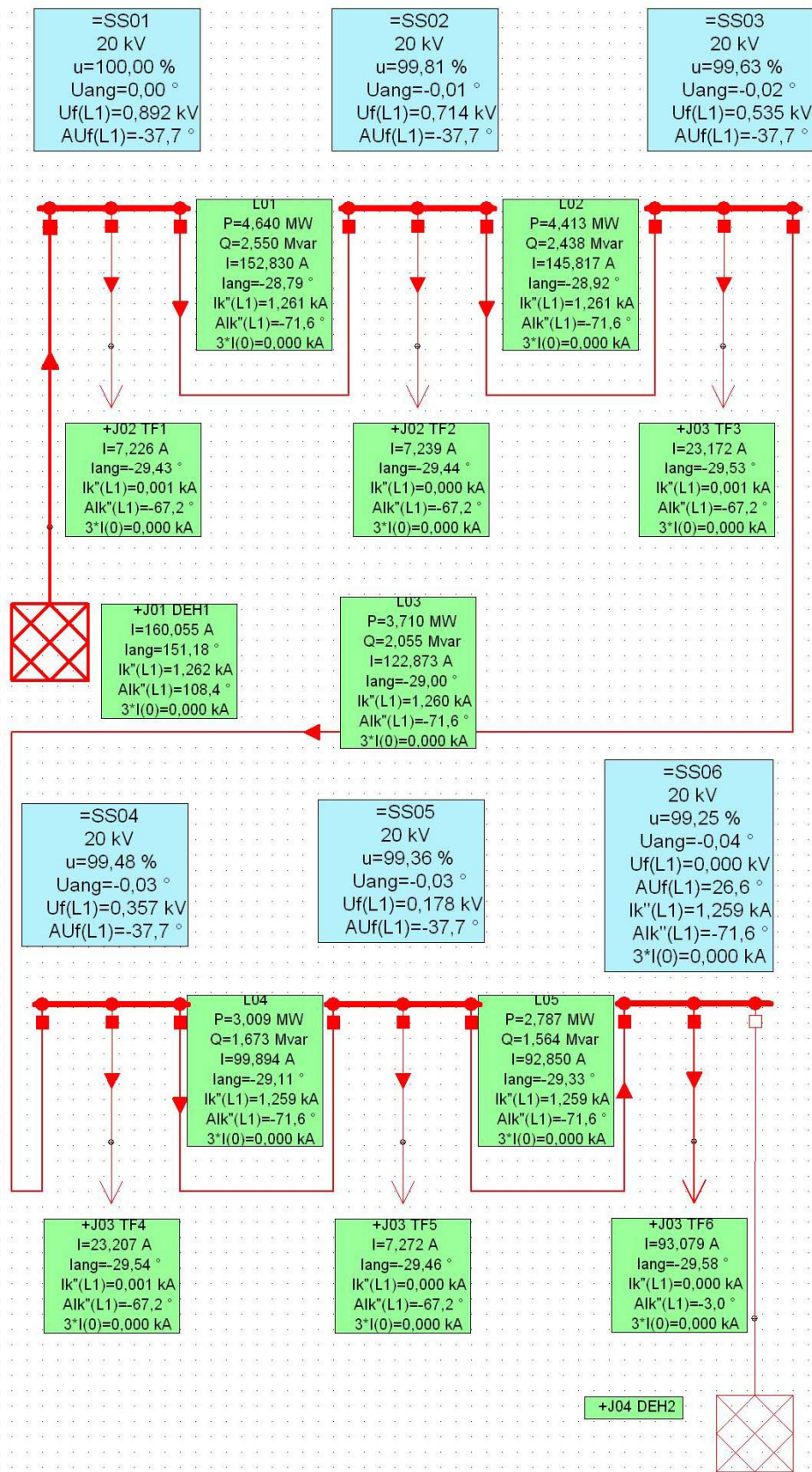
Σχήμα 2.12. Τροφοδότηση από Δυτικό Υ/Σ, σφάλμα στον Υ/Σ. 3



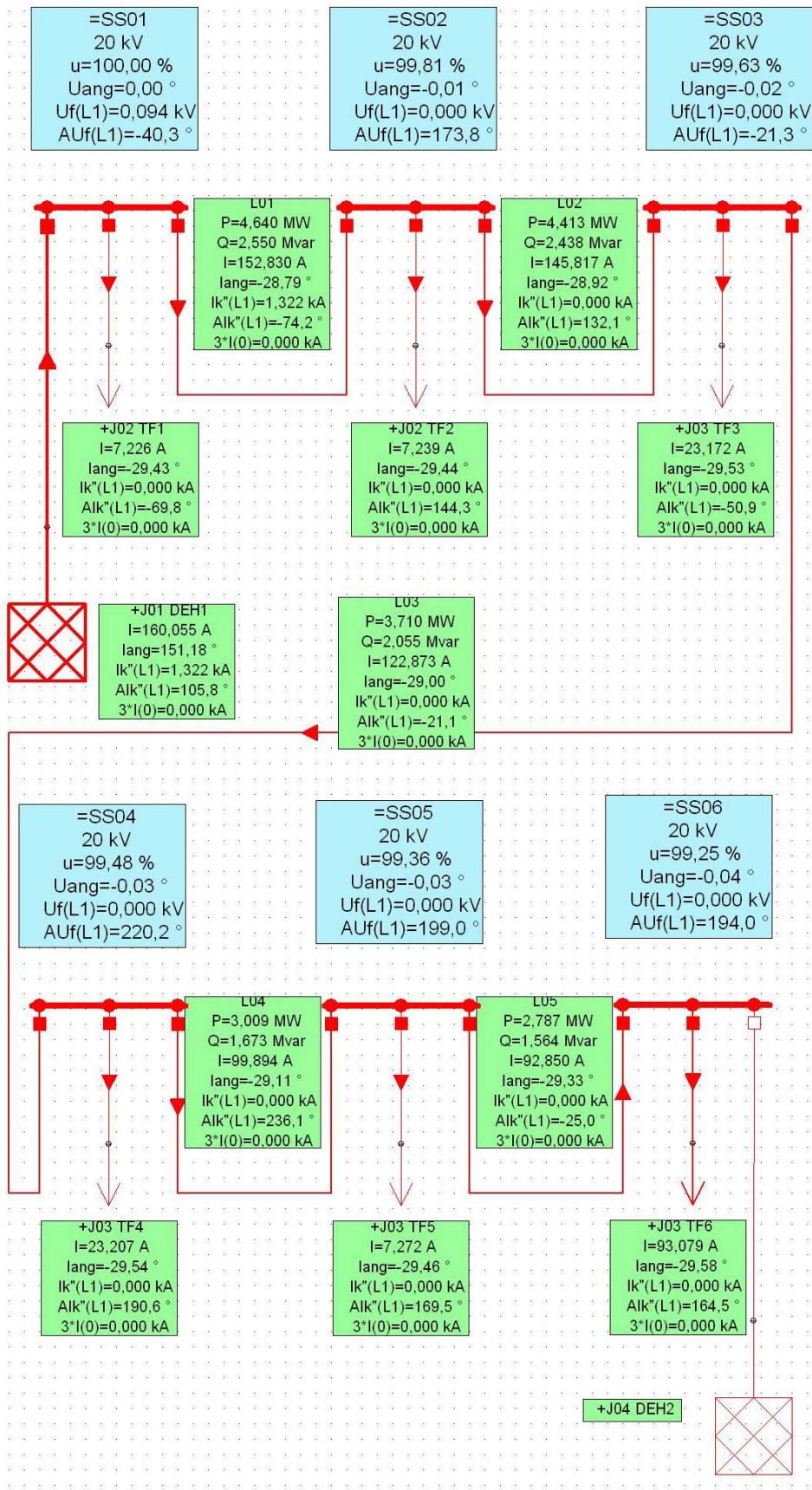
Σχήμα 2.13. Τροφοδότηση από Δυτικό Υ/Σ, σφάλμα στον Υ/Σ. 4



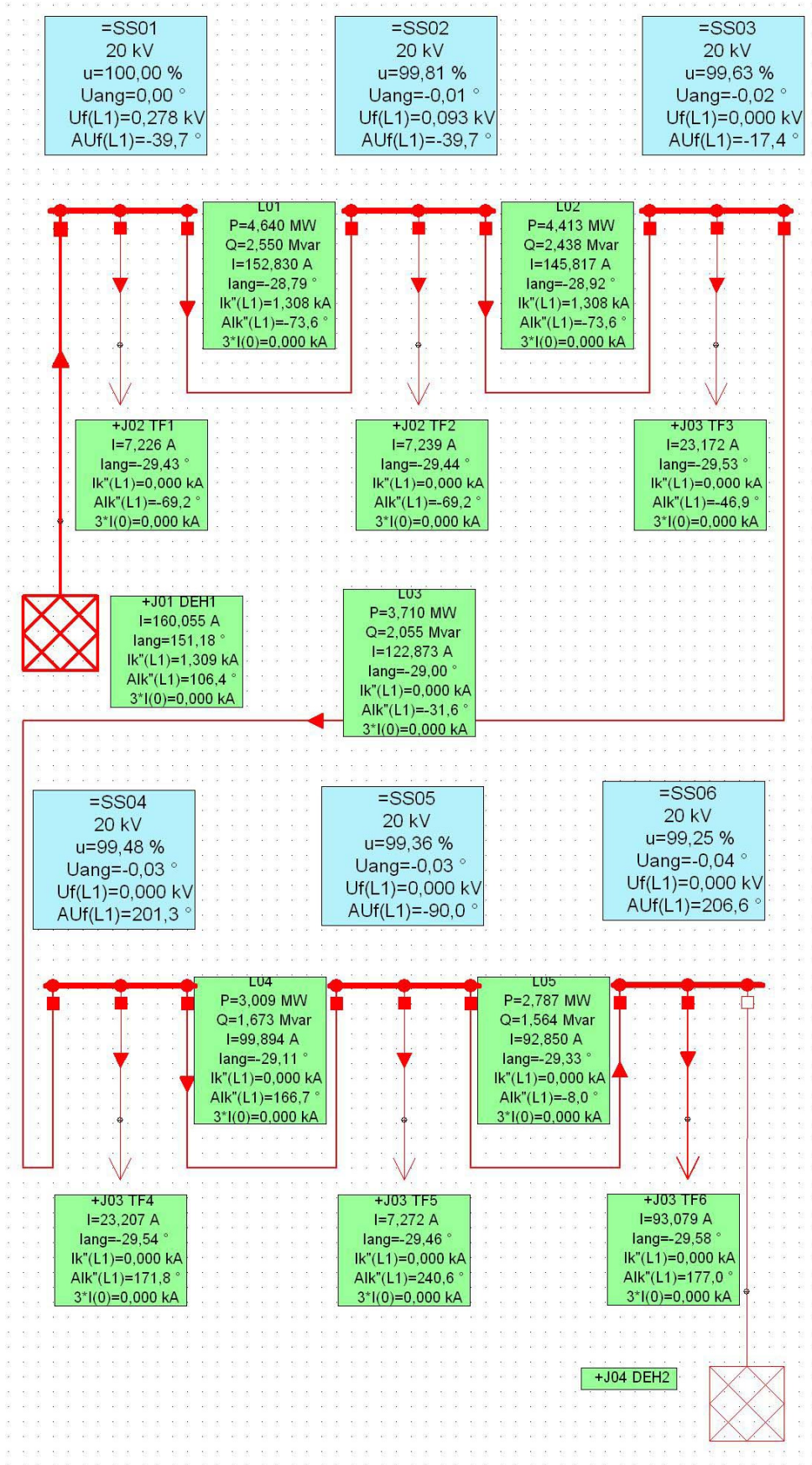
Σχήμα 2.14. Τροφοδότηση από Δυτικό Υ/Σ, σφάλμα στον Υ/Σ. 5



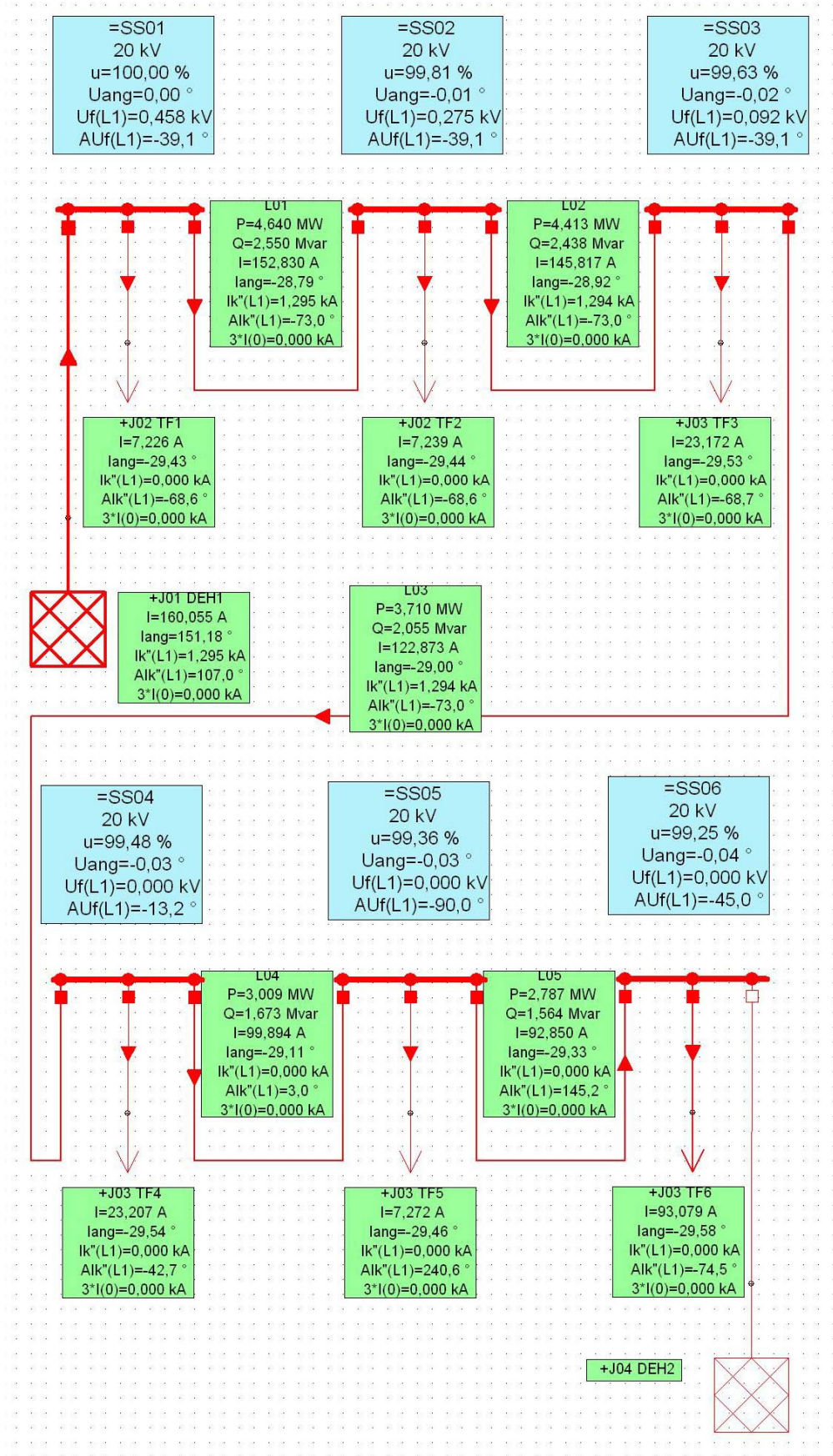
Σχήμα 2.15. Τροφοδότηση από Δυτικό Υ/Σ, σφάλμα στον Ανατολικό Υ/Σ. 6



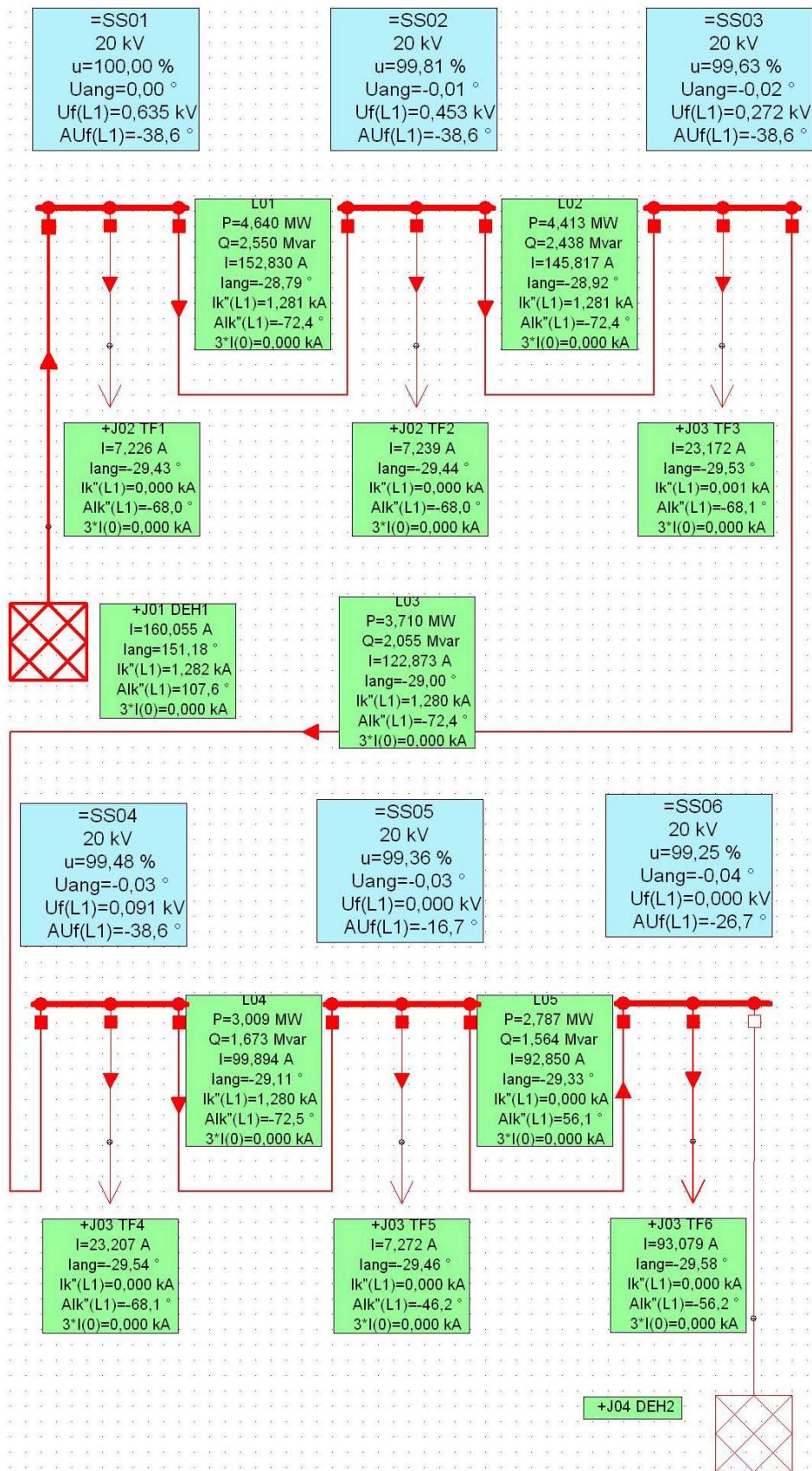
Σχήμα 2.16. Τροφοδότηση από Διτικό Υ/Σ, σφάλμα στην καλωδιακή γραμμή (L01) μεταξύ Υ/Σ. 1 & Υ/Σ 2



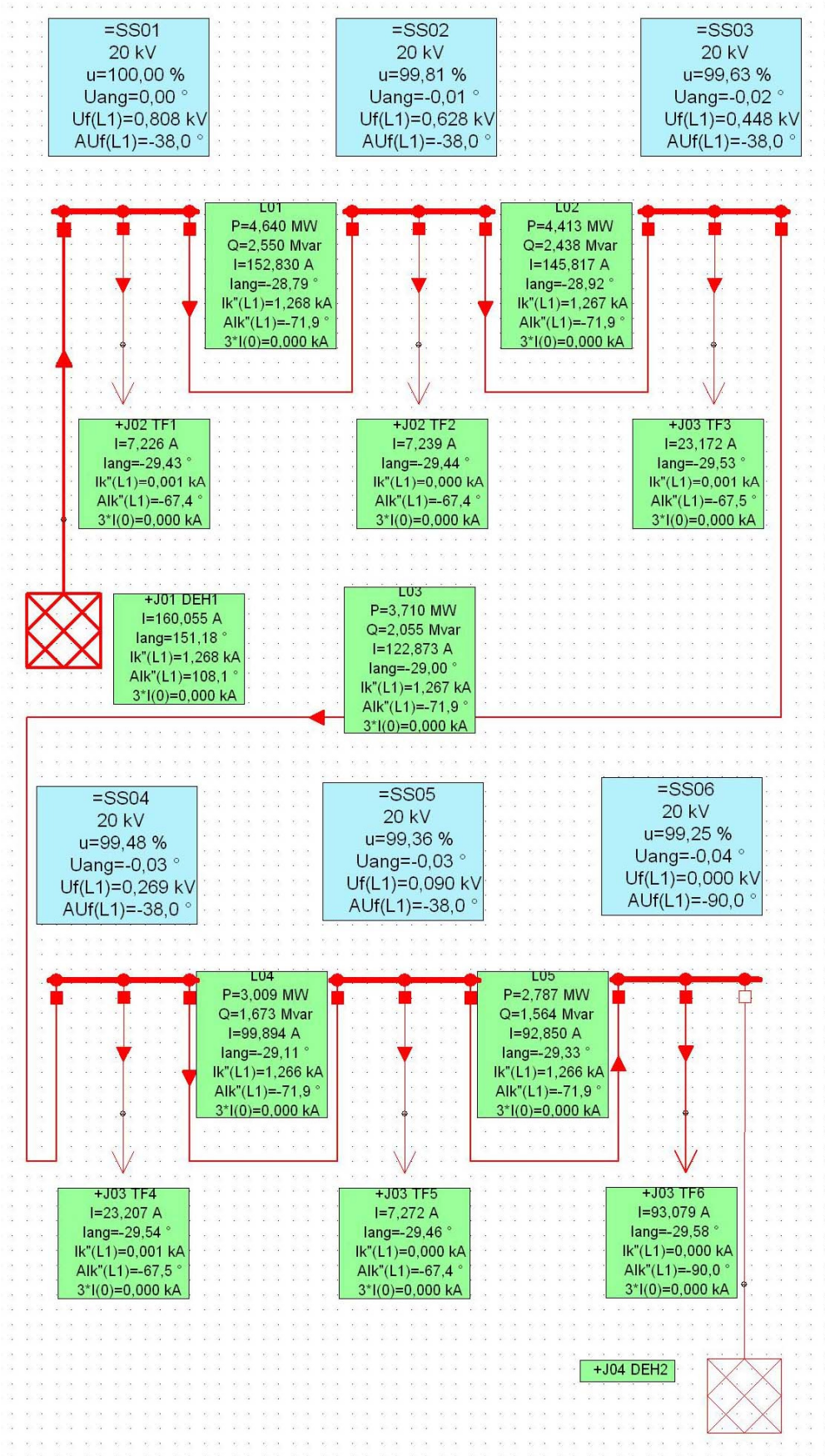
Σχήμα 2.17. Τροφοδότηση από Διτικό Υ/Σ, σφάλμα στην καλωδιακή γραμμή (L02) μεταξύ Υ/Σ. 2 & Υ/Σ 3



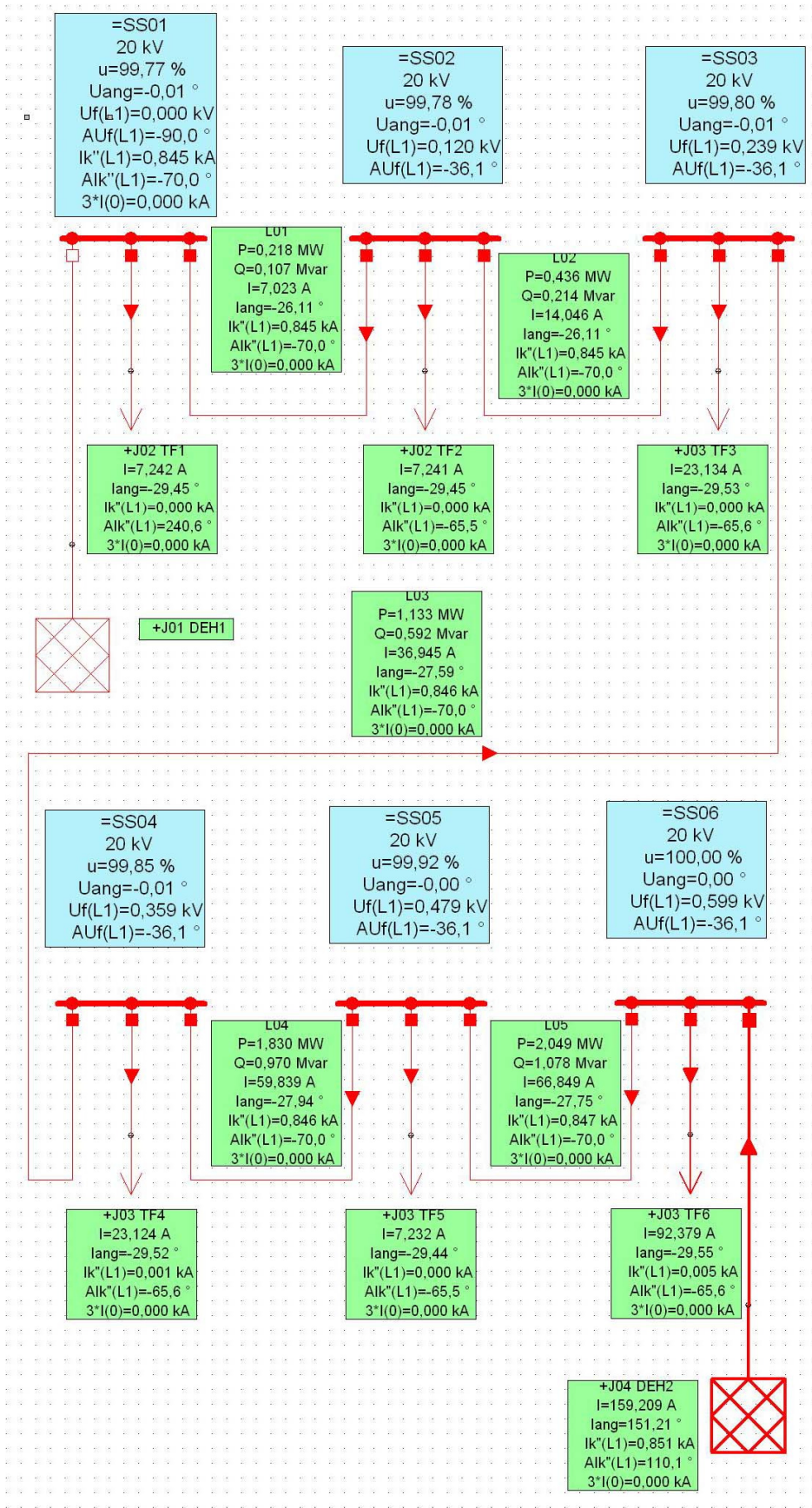
Σχήμα 2.18. Τροφοδότηση από Διτικό Υ/Σ, σφάλμα στην καλωδιακή γραμμή (L03) μεταξύ Υ/Σ. 3 & Υ/Σ 4



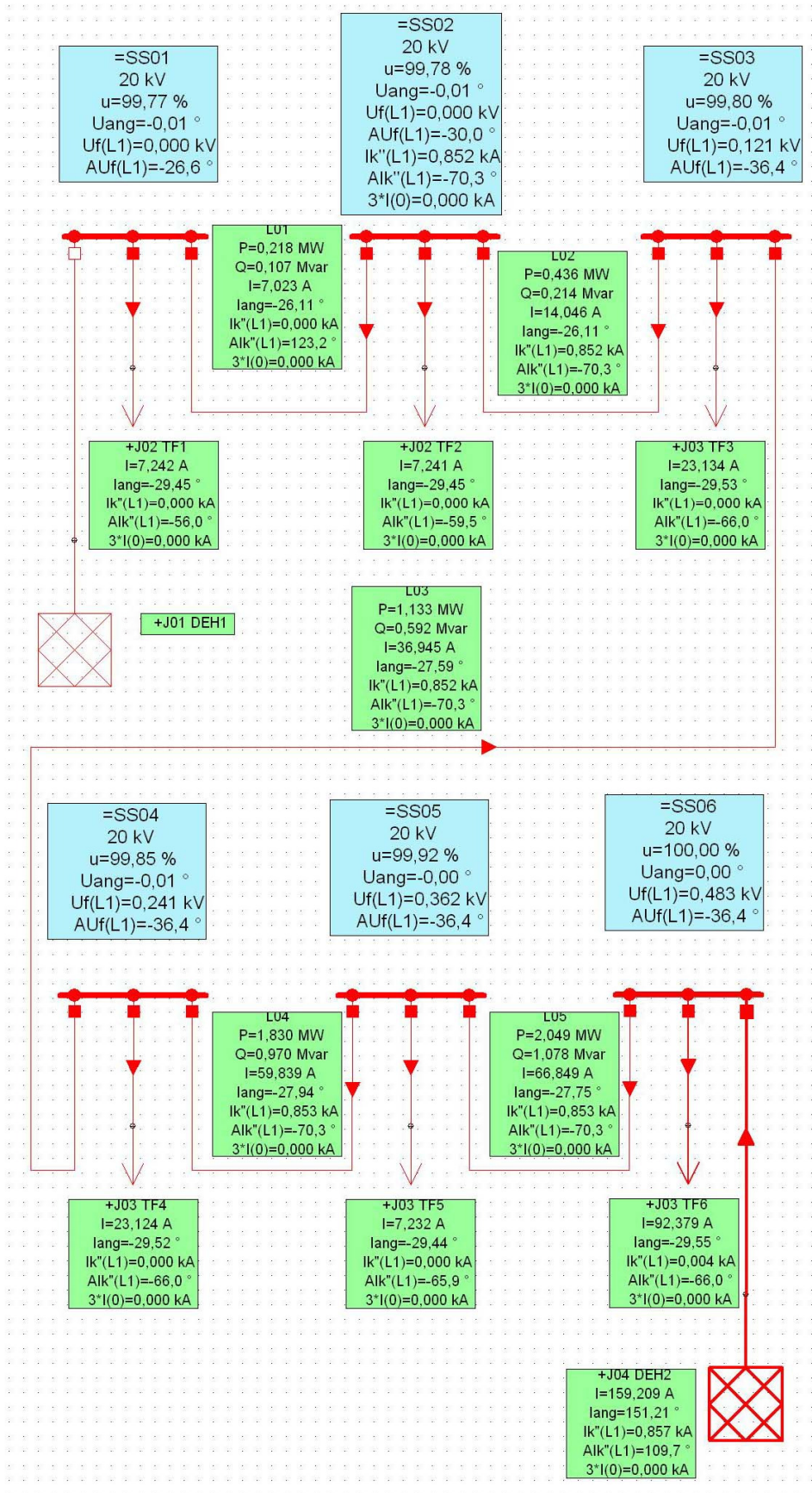
Σχήμα 2.19. Τροφοδότηση από Διττικό Υ/Σ, σφάλμα στην καλωδιακή γραμμή (L04) μεταξύ Υ/Σ. 4 & Υ/Σ 5



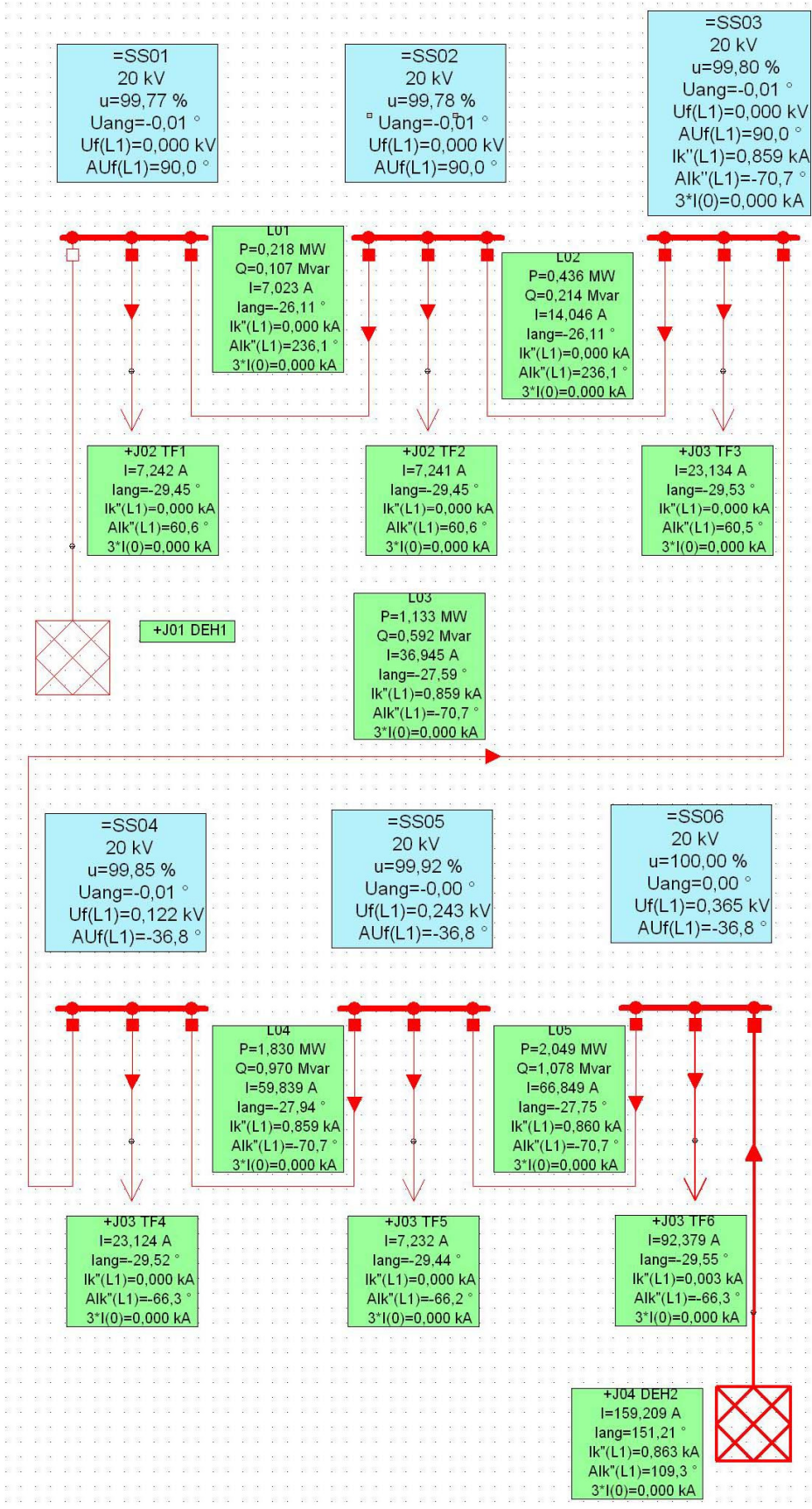
Σχήμα 2.20. Τροφοδότηση από Διτικό Υ/Σ, σφάλμα στην καλωδιακή γραμμή (L05) μεταξύ Υ/Σ. 5 & Υ/Σ 6



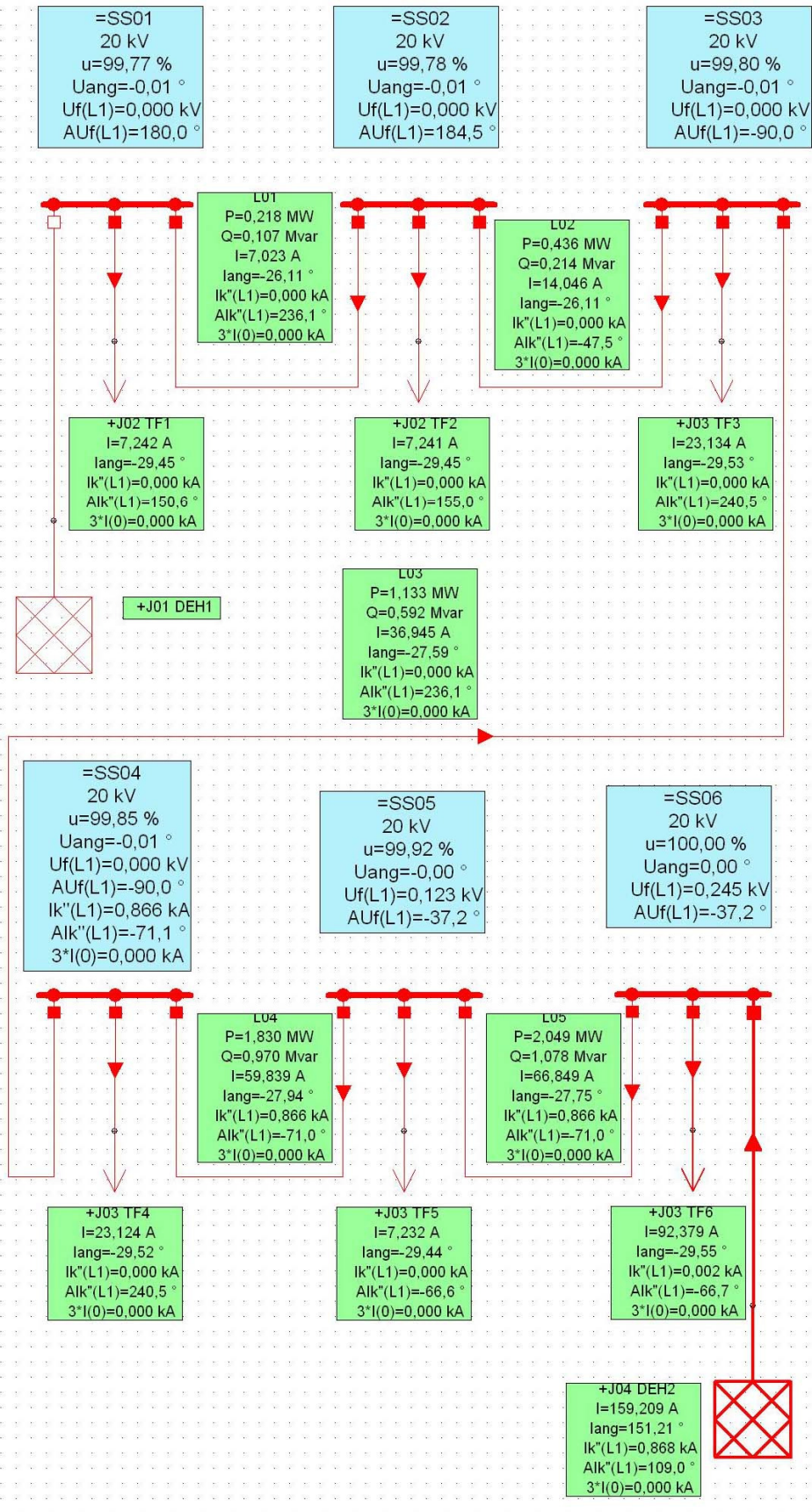
Σχήμα 2.21. Τροφοδότηση από Ανατολικό Υ/Σ, σφάλμα στον Δυτικό Υ/Σ 1



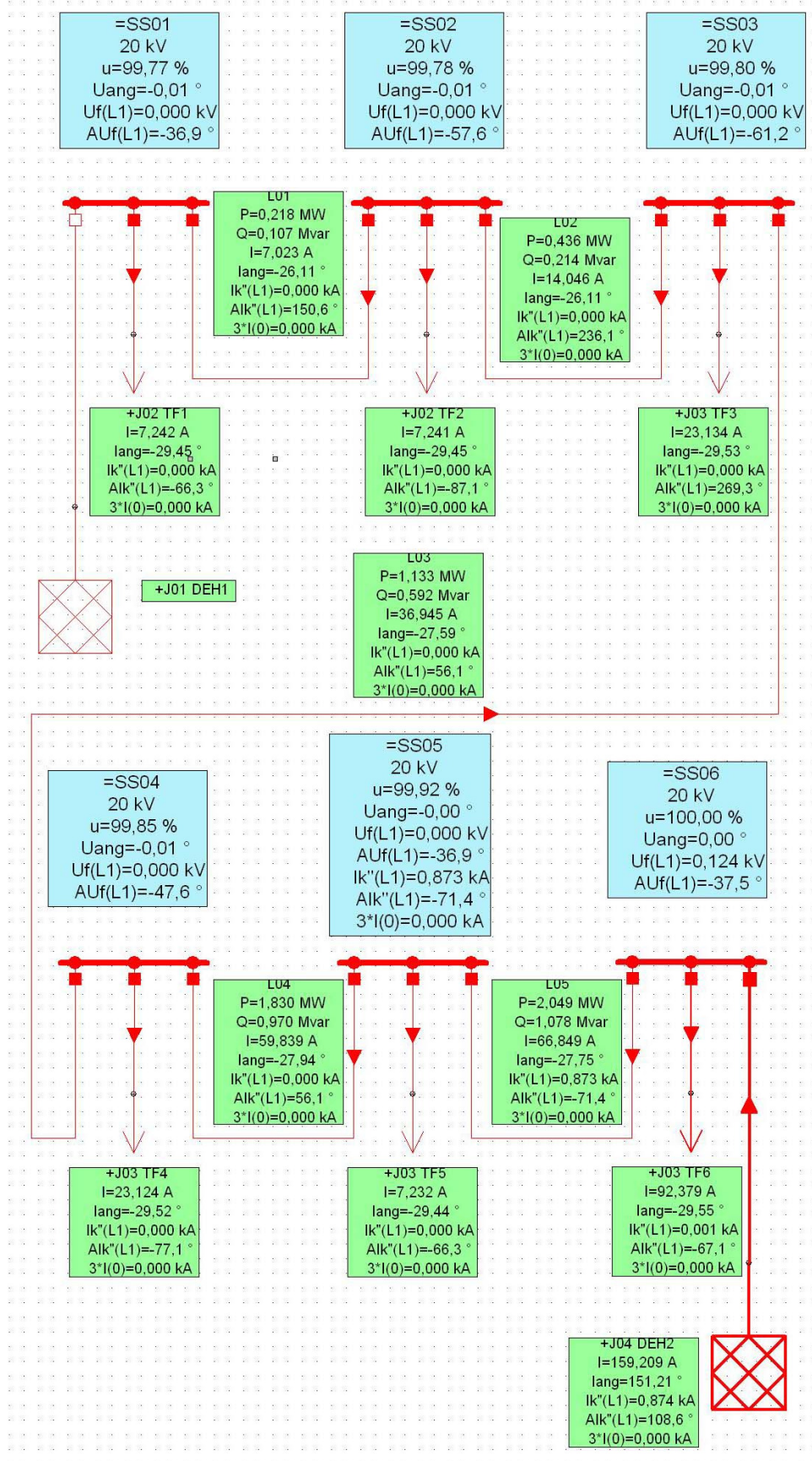
Σχήμα 2.22. Τροφοδότηση από Ανατολικό Υ/Σ, σφάλμα στον Υ/Σ. 2



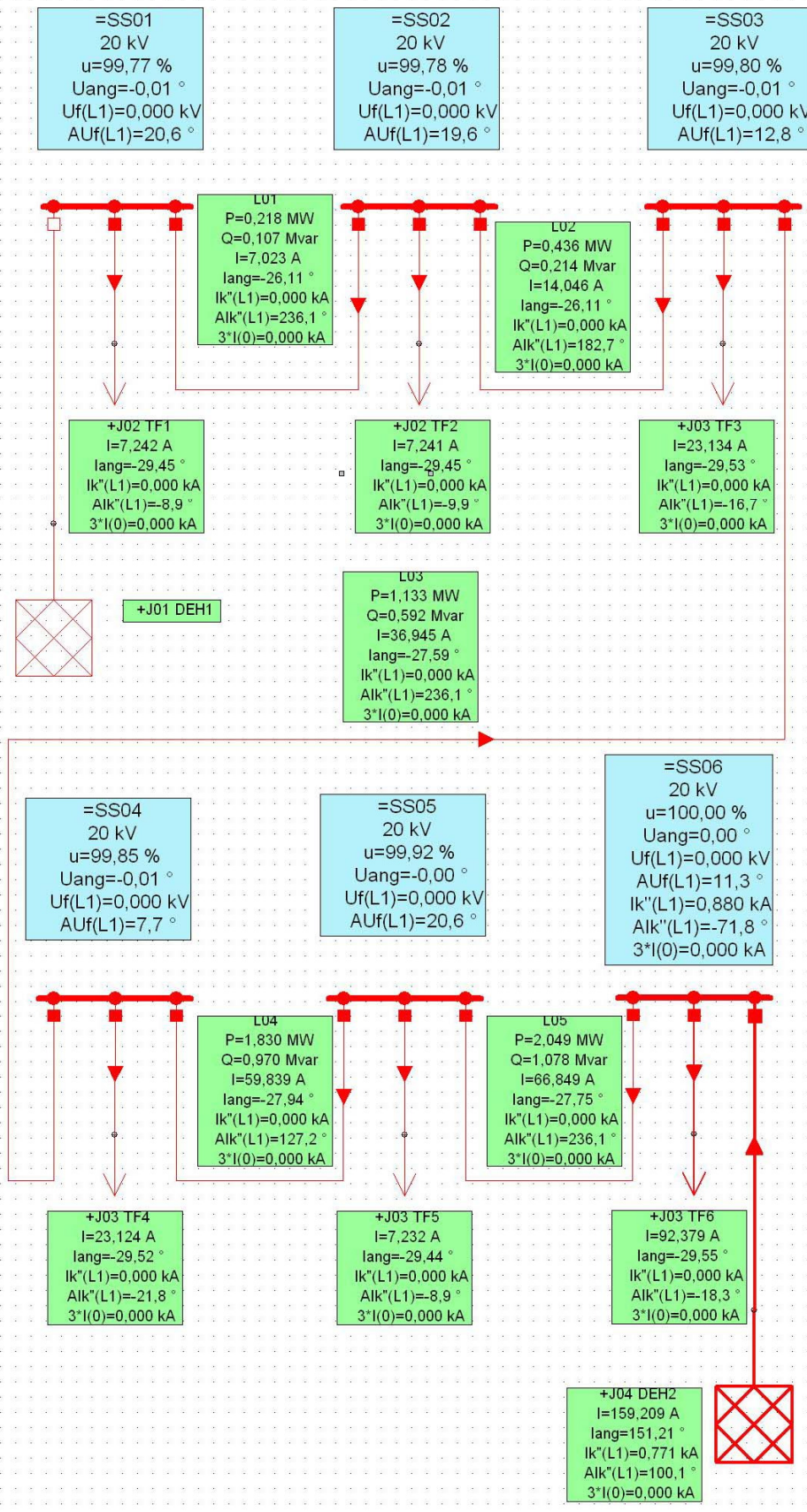
Σχήμα 2.23. Τροφοδότηση από Ανατολικό Υ/Σ, σφάλμα στον Υ/Σ. 3



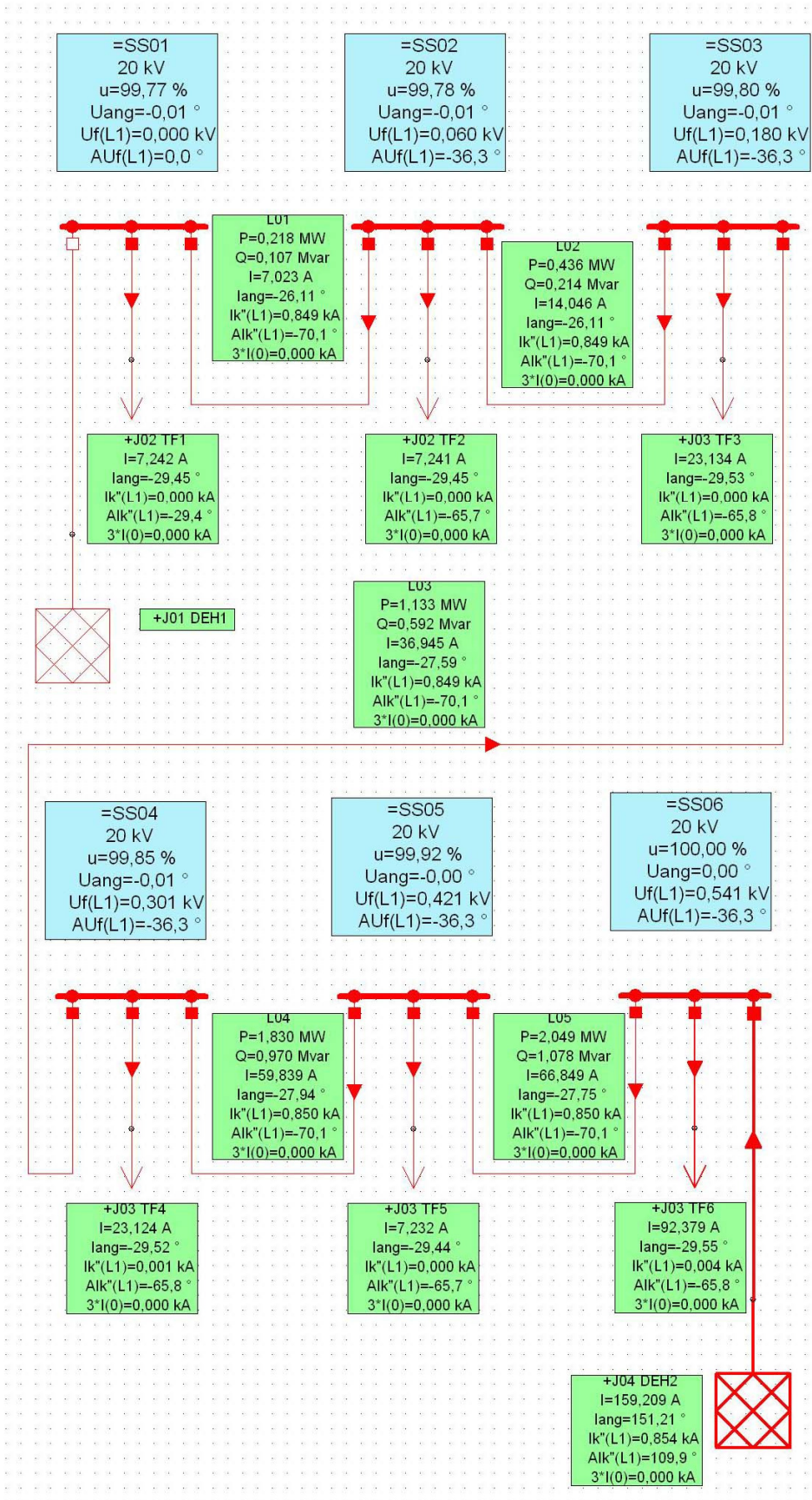
Σχήμα 2.24. Τροφοδότηση από Ανατολικό Υ/Σ, σφάλμα στον Υ/Σ. 4



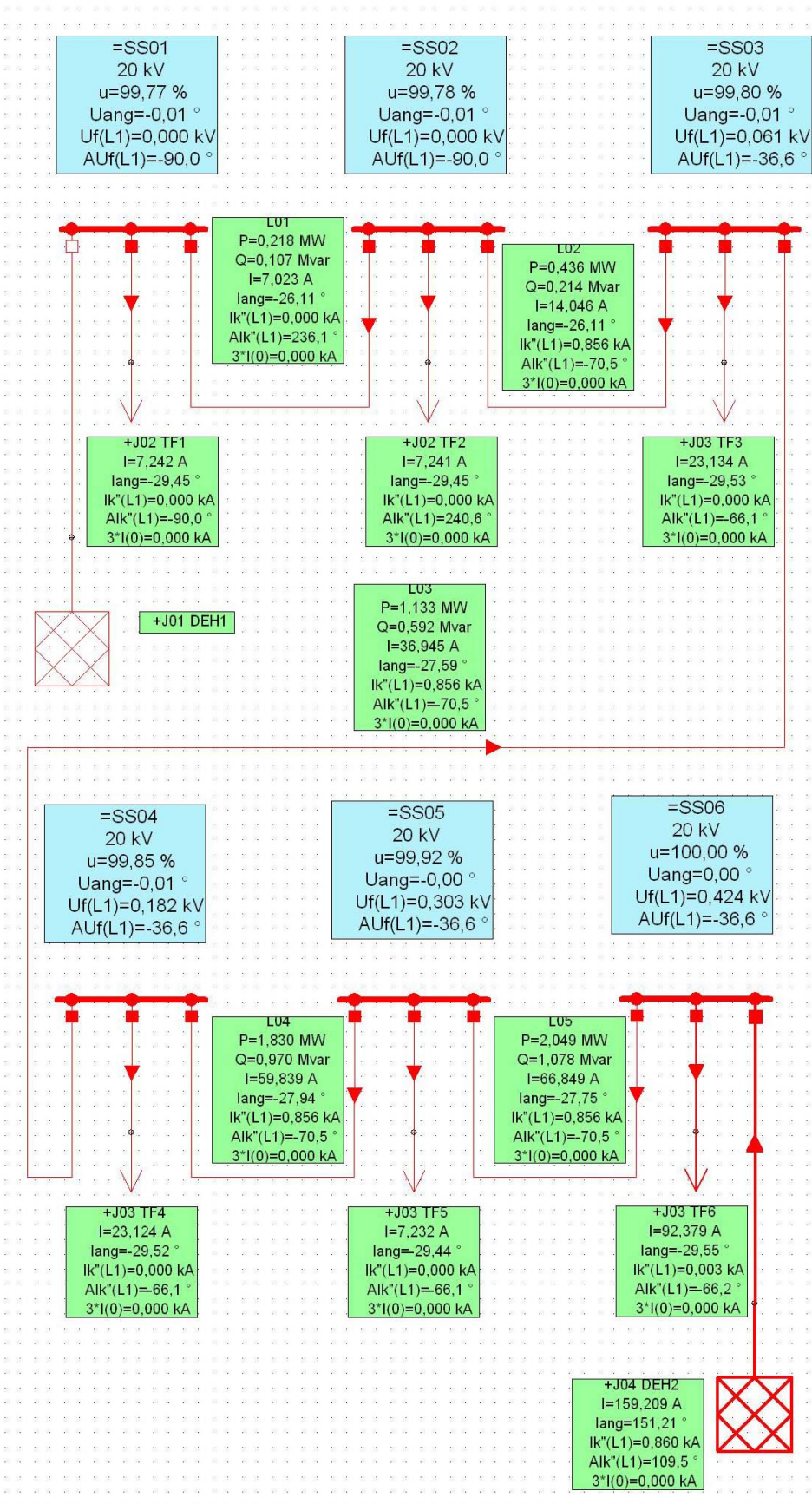
Σχήμα 2.25. Τροφοδότηση από Ανατολικό Υ/Σ, σφάλμα στον Υ/Σ. 5



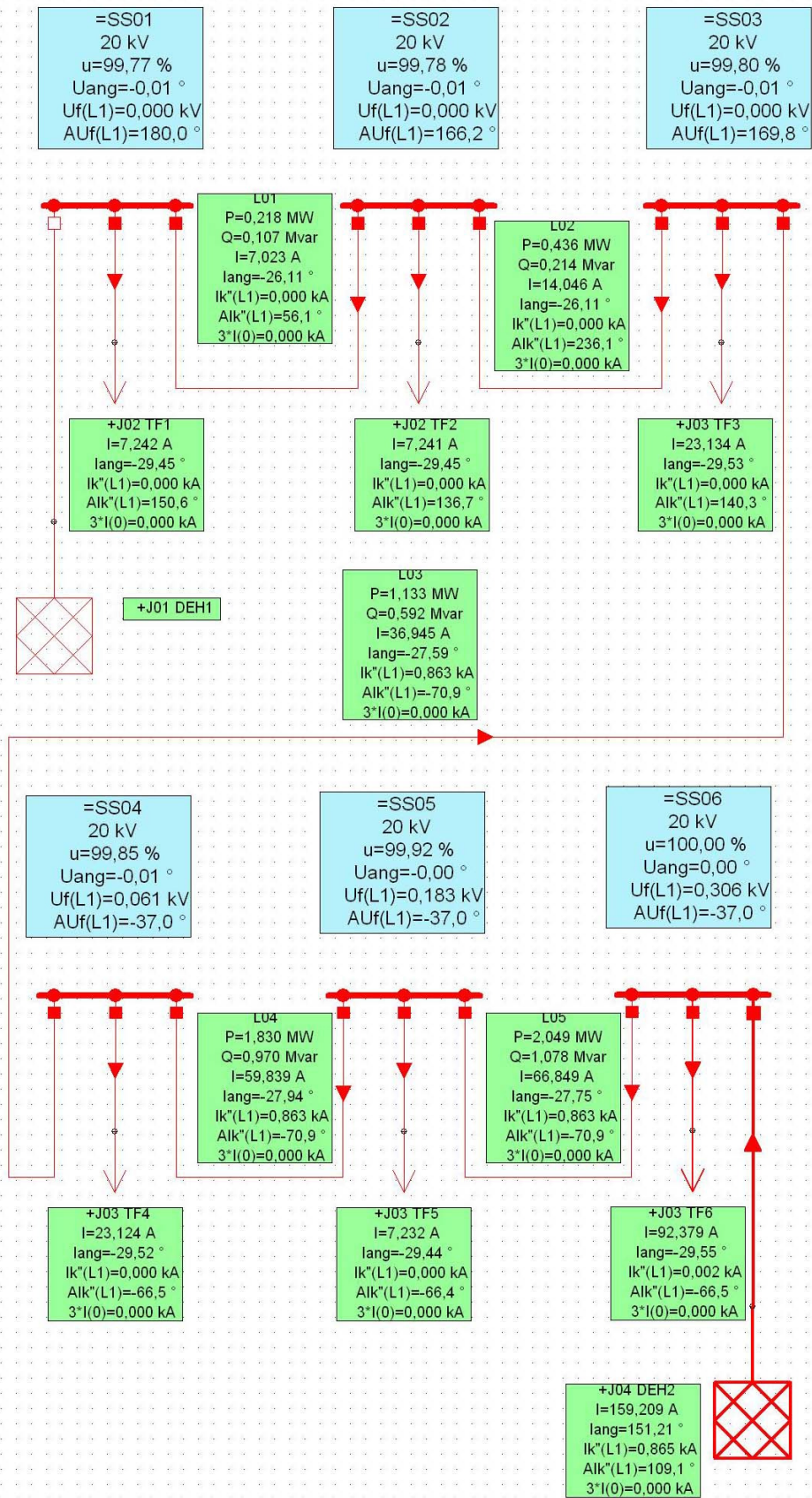
Σχήμα 2.26. Τροφοδότηση από Ανατολικό Υ/Σ, σφάλμα στον Υ/Σ. 6



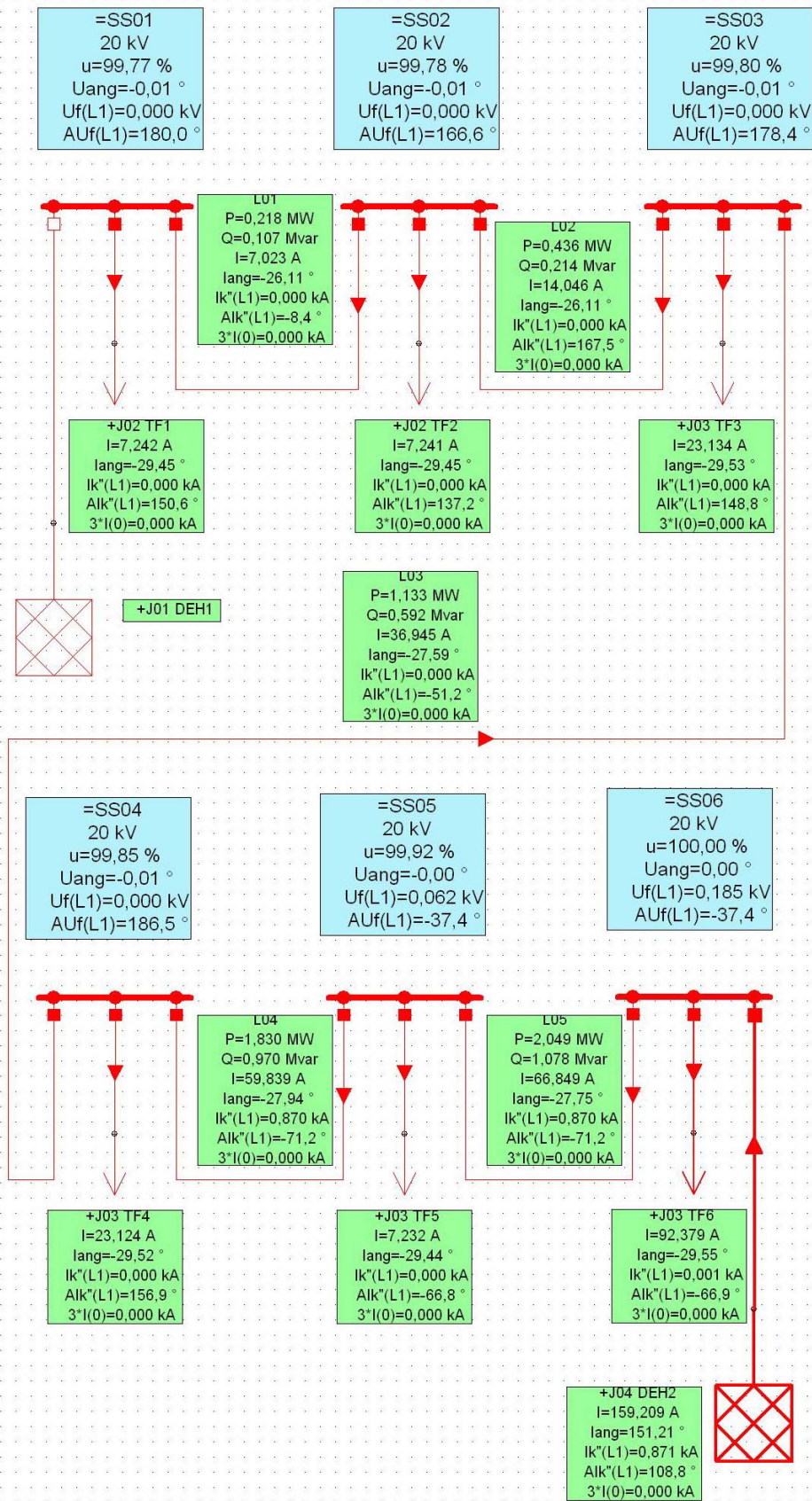
Σχήμα 2.27. Τροφοδότηση από Ανατολικό Υ/Σ, σφάλμα στην καλωδιακή γραμμή (L01) μεταξύ Υ/Σ. 1 & Υ/Σ 2



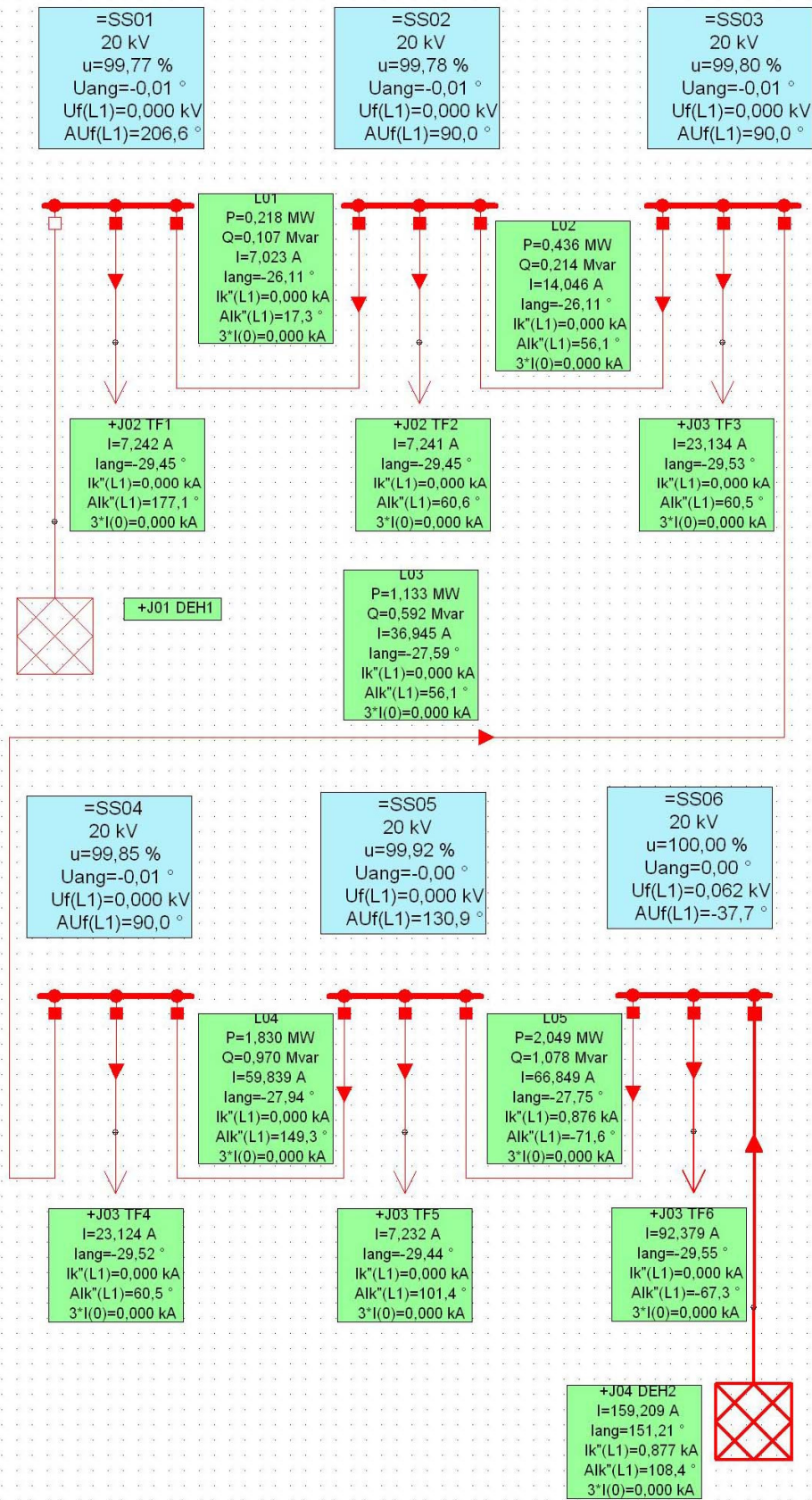
Σχήμα 2.28. Τροφοδότηση από Ανατολικό Υ/Σ, σφάλμα στην καλωδιακή γραμμή (L02) μεταξύ Υ/Σ. 2 & Υ/Σ 3



Σχήμα 2.29. Τροφοδότηση από Ανατολικό Υ/Σ, σφάλμα στην καλωδιακή γραμμή (L03) μεταξύ Υ/Σ. 3 & Υ/Σ 4



Σχήμα 2.30. Τροφοδότηση από Διττικό Υ/Σ, σφάλμα στην καλωδιακή γραμμή (L04) μεταξύ Υ/Σ. 4 & Υ/Σ 5



Σχήμα 2.31. Τροφοδότηση από Διτικό Υ/Σ, σφάλμα στην καλωδιακή γραμμή (L05) μεταξύ Υ/Σ. 5 & Υ/Σ 6

2.4 Σχήματα προστασίας – Ανάλυση επιλεκτικότητας

Από την παραπάνω ανάλυση των βραχυκυκλωμάτων και ροών φορτίου στο δίκτυο καταρτίζουμε τον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 3. Συγκεντρωτικός πίνακας εντάσεων για σφάλματα σε όλα τα σημεία του δικτύου.

	Σημείο Μίτρησης	=SS01		=SS02		=SS03		=SS04		=SS05		=SS06	
		+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04
	Περίπτωση												
Δυτικός Υ/Σ	Ροή φορτίου	160,1	152,8	152,8	145,8	145,8	122,9	122,9	99,9	99,9	92,9	92,9	0
	Σφάλμα =SS01	1329	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Σφάλμα L01	1322	1322	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Σφάλμα =SS02	1315	1315	1315	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Σφάλμα L02	1309	1308	1308	1308	0	0	0	0	0	0	0	0
	Σφάλμα =SS03	1302	1301	1301	1301	1301	0	0	0	0	0	0	0
	Σφάλμα L03	1295	1295	1295	1294	1294	1294	0	0	0	0	0	0
	Σφάλμα =SS04	1288	1288	1288	1288	1288	1287	1287	0	0	0	0	0
	Σφάλμα L04	1282	1281	1281	1281	1281	1280	1280	1280	0	0	0	0
	Σφάλμα =SS05	1275	1274	1274	1274	1274	1273	1273	1273	1273	0	0	0
	Σφάλμα L05	1268	1268	1268	1267	1267	1267	1267	1266	1266	1266	0	0
	Σφάλμα =SS06	1262	1261	1261	1261	1261	1260	1260	1259	1259	1259	1259	0
	Ανατολικός Υ/Σ	Ροή φορτίου	0	7,02	7,02	14	14	36,9	36,9	59,8	59,8	66,8	66,8
Σφάλμα =SS01		0	845	845	845	845	846	846	846	846	847	847	851
Σφάλμα L01		0	0	849	849	849	849	849	850	850	850	850	854
Σφάλμα =SS02		0	0	0	852	852	852	852	853	853	853	853	857
Σφάλμα L02		0	0	0	0	856	856	856	856	856	856	856	860
Σφάλμα =SS03		0	0	0	0	0	859	859	859	859	860	860	863
Σφάλμα L03		0	0	0	0	0	0	863	863	863	863	863	865
Σφάλμα =SS04		0	0	0	0	0	0	0	866	866	866	866	868
Σφάλμα L04		0	0	0	0	0	0	0	0	870	870	870	871
Σφάλμα =SS05		0	0	0	0	0	0	0	0	0	873	873	874
Σφάλμα L05		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	876	877
Σφάλμα =SS06		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	880

Με πορτοκαλί χρώμα φαίνονται οι στάθμες εντάσεων για κάθε ηλεκτρονόμο, στις οποίες θα πρέπει να διεγερθεί το στοιχείο υπερέντασης του και να δώσει εντολή πτώσης του διακόπτη, ενώ με πράσινο οι στάθμες εντάσεων για τις οποίες ο κάθε ηλεκτρονόμος θα πρέπει να μη διεγείρεται, καθώς δεν είναι ο εγγύτερος στο σφάλμα. Έτσι, για όλους τους ηλεκτρονόμους έχουμε τις ακόλουθες στάθμες διέγερσης του στοιχείου υπερέντασης:

=SS01 +J01: 1329A

=SS01 +J04: 1322A αν τροφοδοτείται από δυτικά, ή 845A αν τροφοδοτείται από ανατολικά.

=SS02 +J01: 1315A αν τροφοδοτείται από δυτικά, ή 849A αν τροφοδοτείται από ανατολικά.

=SS02 +J04: 1308A αν τροφοδοτείται από δυτικά, ή 852A αν τροφοδοτείται από ανατολικά.

=SS03 +J01: 1301A αν τροφοδοτείται από δυτικά, ή 856A αν τροφοδοτείται από ανατολικά.
=SS03 +J04: 1294A αν τροφοδοτείται από δυτικά, ή 859A αν τροφοδοτείται από ανατολικά.
=SS04 +J01: 1287A αν τροφοδοτείται από δυτικά, ή 863A αν τροφοδοτείται από ανατολικά.
=SS04 +J04: 1280A αν τροφοδοτείται από δυτικά, ή 866A αν τροφοδοτείται από ανατολικά.
=SS05 +J01: 1273A αν τροφοδοτείται από δυτικά, ή 870A αν τροφοδοτείται από ανατολικά.
=SS05 +J04: 1266A αν τροφοδοτείται από δυτικά, ή 873A αν τροφοδοτείται από ανατολικά.
=SS06 +J01: 1259A αν τροφοδοτείται από δυτικά, ή 876A αν τροφοδοτείται από ανατολικά.
=SS06 +J04: 880A

Με τον όρο επιλεκτικότητα εννοούμε την ικανότητα του συστήματος προστασίας να ανιχνεύσει ένα σφάλμα και να απομονώσει το μικρότερο δυνατό τμήμα του δικτύου στο οποίο εντοπίζεται το σφάλμα, αφήνοντας το υπόλοιπο δίκτυο ανεπηρέαστο.

Έτσι, για παράδειγμα, σε σφάλμα στο ζυγό του υποσταθμού =SS03, θα πρέπει ανοίξουν μόνο οι διακόπτες =SS03 +J01 & +J04.

2.4.1 Επιλεκτικότητα μέσω εντάσεων

Είναι άμεσα φανερό, ότι επιλεκτικότητα μέσω εντάσεων είναι δύσκολη έως αδύνατη, καθώς οι ηλεκτρονόμοι θα πρέπει να διαθέτουν δύο ομάδες ρυθμίσεων (αυτή η δυνατότητα υπάρχει σε όλους τους σύγχρονους ηλεκτρονόμους), και ανάλογα με την φορά της τροφοδοσίας να αλλάζουν ομάδα ρυθμίσεων. Αυτό προϋποθέτει κάποια καλωδιακά σήματα μεταξύ των υποσταθμών που να ενημερώνουν τους ηλεκτρονόμους για την κατεύθυνση της τροφοδοσίας.

Αλλά ακόμη και αν υλοποιούταν η παραπάνω πρόταση, υπάρχει το πρόβλημα της διακριτικής ικανότητας των ηλεκτρονόμων, καθώς οι εντάσεις των σφαλμάτων έχουν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ τους. Για παράδειγμα, ο ηλεκτρονόμος =SS03+J04, θα πρέπει στην περίπτωση της ανατολικής τροφοδότησης να διεγείρεται για ένταση 859A, ενώ για ένταση 856A θα πρέπει να μη διεγείρεται. Αυτό μεταφράζεται σε διαφορά 0,35%, τη στιγμή που η διακριτική ικανότητα ενός σύγχρονου ηλεκτρονόμου είναι της τάξης του 2% (χωρίς να υπολογιστεί και το σφάλμα του μετασχηματιστή έντασης). Τέλος κανείς δεν μπορεί να υπολογίσει το αναμενόμενο σφάλμα με τόση ακρίβεια και ούτε σε περίπτωση πραγματικού σφάλματος είναι βέβαιο ότι θα προκύψει ακριβώς η αναμενόμενη τιμή.

2.4.2 Επιλεκτικότητα μέσω χρόνου

Στην περίπτωση αυτή, όλοι οι ηλεκτρονόμοι διεγείρονται στην ίδια στάθμη έντασης αλλά δίνουν εντολή πτώσης σε διαφορετικό χρόνο ο καθ' ένας. Προκειμένου να απομονώνεται πάντα το εσφαλμένο τμήμα του δικτύου, θα πρέπει οι ηλεκτρονόμοι

που βρίσκονται πιο κοντά στο σφάλμα να δίνουν εντολή πτώσης σε πιο σύντομο χρόνο, απ' ότι οι απομακρυσμένοι.

Διαβαθμίσεις χρόνου.

Γενικά ένας σύγχρονος ηλεκτρονόμος υπερέντασης απαιτεί γύρω στα 10 ms προκειμένου να διεγερθεί, ο χρόνος ενεργοποίησης της επαφής του γύρω στα 10 ms και ο χρόνος ανοίγματος ενός αυτόματου διακόπτη μέσης τάσης είναι γύρω στα 50-60 ms. Έτσι, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε διαβαθμίσεις χρόνου τουλάχιστον 100 ms, καθώς και μια ελάχιστη ρύθμιση της τάξης των 50 ms, ώστε να έχουμε και ένα περιθώριο ασφαλείας.

Πίνακας 4. Διαβαθμίσεις χρόνου του στοιχείου υπερέντασης των ηλεκτρονόμων ανάλογα με την πλευρά τροφοδότησης του δικτύου.

	Σημείο Μέτρησης	=SS01		=SS02		=SS03		=SS04		=SS05		=SS06	
		+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04
	Περίπτωση												
Δυτικός ΥΣ	Χρόνοι Πτώσης	1050	950	850	750	650	550	450	350	250	150	50	---
	Σφάλμα =SS01	1050											
	Σφάλμα L01		950										
	Σφάλμα =SS02			850									
	Σφάλμα L02				750								
	Σφάλμα =SS03					650							
	Σφάλμα L03						550						
	Σφάλμα =SS04							450					
	Σφάλμα L04								350				
	Σφάλμα =SS05									250			
	Σφάλμα L05										150		
	Σφάλμα =SS06												50
	Ανατολικός ΥΣ	Χρόνοι Πτώσης	---	50	150	250	350	450	550	650	750	850	950
Σφάλμα =SS01			50										
Σφάλμα L01				150									
Σφάλμα =SS02					250								
Σφάλμα L02						350							
Σφάλμα =SS03							450						
Σφάλμα L03								550					
Σφάλμα =SS04									650				
Σφάλμα L04										750			
Σφάλμα =SS05											850		
Σφάλμα L05												950	
Σφάλμα =SS06													1050

Είναι φανερό και πάλι, ότι και σε αυτή την περίπτωση, απαιτούνται δύο ομάδες ρυθμίσεων, και τα αντίστοιχα καλωδιακά σήματα, ώστε να γνωρίζει ο κάθε ηλεκτρονόμος τη φορά της τροφοδοσίας, καθώς ένας συγκεκριμένος ηλεκτρονόμος είναι πλησίον του σφάλματος στη μία φορά τροφοδότησης ενώ απομακρυσμένος στην άλλη. Για παράδειγμα, για σφάλμα στο καλώδιο L01, στην περίπτωση τροφοδότησης από δυτικά, θα πρέπει να ανοίξει πρώτος ο διακόπτης =SS01 +J04 σε χρόνο 950ms, ενώ σε περίπτωση τροφοδότησης από ανατολικά, θα πρέπει να ανοίξει πρώτος ο διακόπτης =SS02 +J01 στα 150ms.

Επίσης, σε περιπτώσεις όπως εδώ, όπου έχουμε αρκετούς υποσταθμούς που διασυνδέονται, προκύπτουν τελικά πολύ μεγάλοι (απαγορευτικοί) χρόνοι στους ακραίους υποσταθμούς που θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπους και εξοπλισμό.

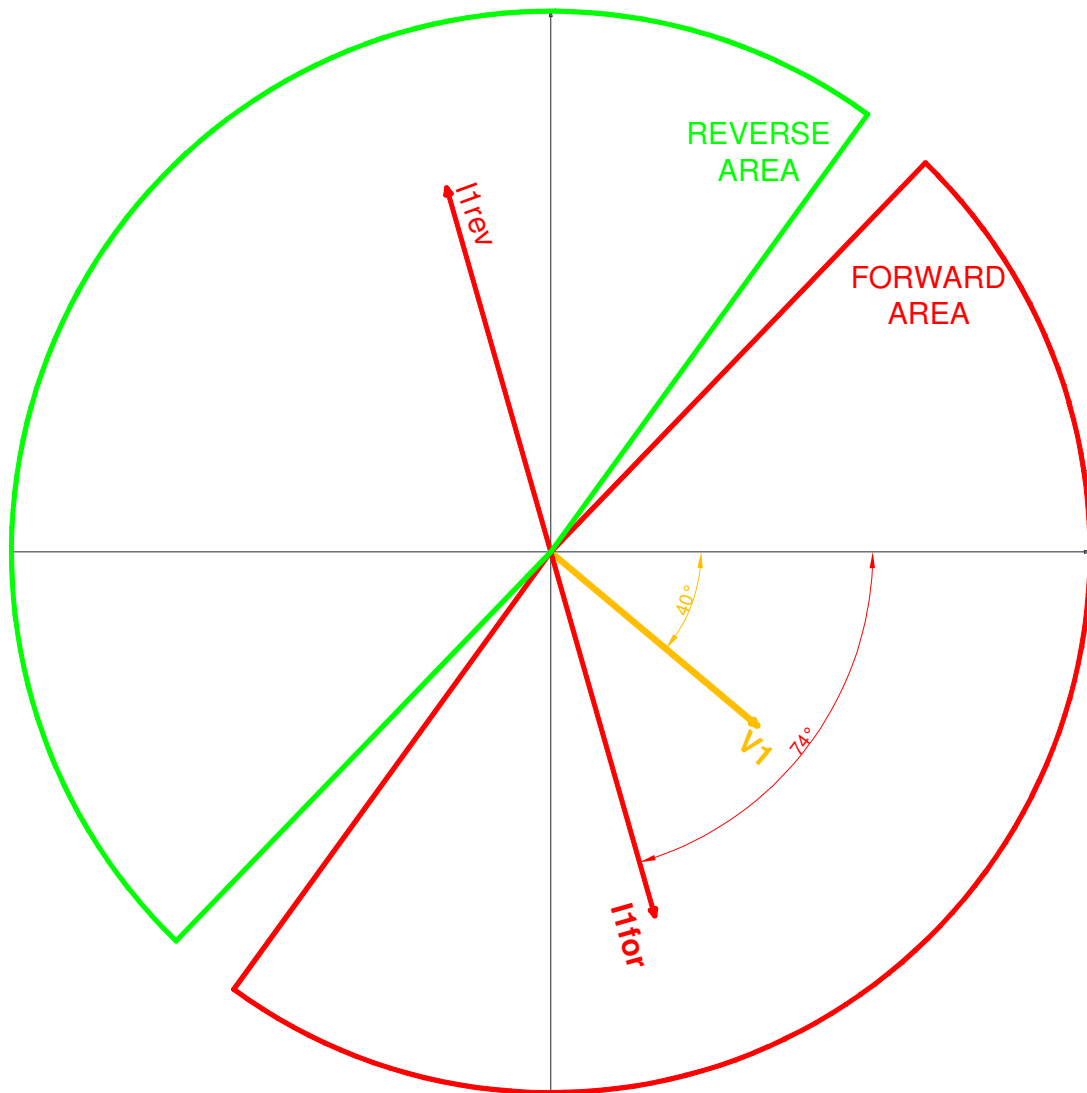
Οι χρόνοι αυτοί έρχονται επίσης σε αντίφαση με την απαίτηση της ΔΕΗ, όπου στα σημεία διασύνδεσης ζητά χρόνους ανοίγματος της τάξης των 300-400ms.

2.4.3 Επιλεκτικότητα μέσω στοιχείων κατεύθυνσης

Οι ηλεκτρονόμοι που διαθέτουν στοιχείο υπερέντασης με κατεύθυνση, δίνουν εντολή πτώσης ενός αυτόματου διακόπτη που εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος σφάλματος (όπως το απλό στοιχείο υπερέντασης), αλλά και από την κατεύθυνση της ροής ενέργειας προς το σφάλμα. Προκειμένου να μπορεί ένας ηλεκτρονόμος να χρησιμοποιήσει τον αλγόριθμο αναγνώρισης κατεύθυνσης, θα πρέπει εκτός από τις εντάσεις του κλάδου που προστατεύει, να γνωρίζει και τις τάσεις του ζυγού του υποσταθμού, έτσι σε κάθε υποσταθμό θα πρέπει να υπάρχει επαγωγικός μετασχηματιστής τάσης στους ζυγούς και να δίνει τις μετρήσεις στους ηλεκτρονόμους εισόδου και εξόδου του υποσταθμού.

Η αναγνώριση της κατεύθυνσης πραγματοποιείται μέσω της γωνίας μεταξύ του ρεύματος σφάλματος και της τάσης. Σαν ορθή κατεύθυνση (Forward) ο ηλεκτρονόμος θεωρεί την ροή ισχύος προς τη γραμμή, ενώ σαν ανάστροφη κατεύθυνση (Reverse) τη ροή ισχύος προς τους ζυγούς.

Επειδή σε πολλές περιπτώσεις σφαλμάτων (σφάλματα κοντά στο σημείο μέτρησης της τάσης), η τάση καταρρέει και γίνεται αδύνατη η μέτρηση της γωνίας της τάσης άρα και η σχετική γωνία μεταξύ τάσης και έντασης, στα μονοφασικά σφάλματα ο αλγόριθμος λειτουργεί με το ρεύμα της εσφαλμένης φάσης και την πολική τάση μεταξύ των υγιών φάσεων, στα διφασικά σφάλματα η σύγκριση γίνεται μεταξύ των ρευμάτων των εσφαλμένων φάσεων και τη φασική τάση της υγιούς φάσης και τέλος στα τριφασικά σφάλματα η σύγκριση γίνεται μεταξύ των εντάσεων των τριών φάσεων και την τριφασική τάση των προηγούμενων δύο περιόδων προ του σφάλματος (που διατηρείται σε προσωρινή μνήμη στη μονάδα του ηλεκτρονόμου).



Σχήμα 2.32. Διανυσματική απεικόνιση τριφασικού σφάλματος και οι περιοχές ορθής και αντίστροφης κατεύθυνσης.

Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζονται τα διανύσματα της έντασης και τις τάσης (λόγω συμμετρίας μόνο η φάση L1) και οι περιοχές ορθής και ανάστροφης κατεύθυνσης όπως ορίζεται από την τάση ζυγών. Κάθε περιοχή έχει εύρος ± 86 μοίρες, ενώ μεταξύ των περιοχών αυτών, μεσολαβεί μια περιοχή απροσδιόριστης κατεύθυνσης με εύρος 8 μοίρες.

Τα αποτελέσματα όσον αφορά στις γωνίες των μεγεθών έντασης και τάσης για όλα τα προηγούμενα σφάλματα σε ζυγούς και διασυνδέσεις απεικονίζονται παρακάτω, στους ακόλουθους πίνακες.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα κριτηρίου κατεύθυνσης για σφάλματα τροφοδοτούμενα από το Δυτικό Υ/Σ.

Σημείο Μέτρησης		=SS01		=SS02		=SS03		=SS04		=SS05		=SS06		
		+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	
Δυτικός Υ/Σ	Περίπτωση													
	Ροή φορτίου	Φ(V)	0	0	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04
		Φ(I)	151,18	-28,79	151,21	-28,92	151,08	-29	151	-29,11	150,89	-29,33	150,67	----
		Direction	R	F	R	F	R	F	R	F	R	F	R	----
	Σφάλμα =SS01	Φ(V)	-40,7	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
		Φ(I)	105,5	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
		Direction	R	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Σφάλμα L01	Φ(V)	-40,3	-40,3	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
		Φ(I)	105,8	-74,2	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
		Direction	R	F	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Σφάλμα =SS02	Φ(V)	-40	-40	-40	----	----	----	----	----	----	----	----	----
		Φ(I)	106,1	-73,9	106,1	----	----	----	----	----	----	----	----	----
		Direction	R	F	R	----	----	----	----	----	----	----	----	----
	Σφάλμα L02	Φ(V)	-39,7	-39,7	-39,7	-39,7	----	----	----	----	----	----	----	----
Φ(I)		106,4	-73,6	106,4	-73,6	----	----	----	----	----	----	----	----	
Direction		R	F	R	F	----	----	----	----	----	----	----	----	
Σφάλμα =SS03	Φ(V)	-39,4	-39,4	-39,4	-39,4	-39,4	----	----	----	----	----	----	----	
	Φ(I)	106,7	-73,3	106,7	-73,3	106,7	----	----	----	----	----	----	----	
	Direction	R	F	R	F	R	----	----	----	----	----	----	----	
Σφάλμα L03	Φ(V)	-39,1	-39,1	-39,1	-39,1	-39,1	-39,1	----	----	----	----	----	----	
	Φ(I)	107	-73	107	-73	107	-73	----	----	----	----	----	----	
	Direction	R	F	R	F	R	F	----	----	----	----	----	----	
Σφάλμα =SS04	Φ(V)	-38,9	-38,9	-38,9	-38,9	-38,9	-38,9	-38,9	----	----	----	----	----	
	Φ(I)	107,3	-72,7	107,3	-72,7	107,3	-72,7	107,3	----	----	----	----	----	
	Direction	R	F	R	F	R	F	R	----	----	----	----	----	
Σφάλμα L04	Φ(V)	-38,6	-38,6	-38,6	-38,6	-38,6	-38,6	-38,6	-38,6	----	----	----	----	
	Φ(I)	107,6	-72,4	107,6	-72,4	107,6	-72,4	107,6	-72,5	----	----	----	----	
	Direction	R	F	R	F	R	F	R	F	----	----	----	----	
Σφάλμα =SS05	Φ(V)	-38,3	-38,3	-38,3	-38,3	-38,3	-38,3	-38,3	-38,3	-38,3	----	----	----	
	Φ(I)	107,8	-72,2	107,8	-72,2	107,8	-72,2	107,8	-72,2	107,8	----	----	----	
	Direction	R	F	R	F	R	F	R	F	R	----	----	----	
Σφάλμα L05	Φ(V)	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	-38	----	----	
	Φ(I)	108,1	-71,9	108,1	-71,9	108,1	-71,9	108,1	-71,9	108,1	-71,9	----	----	
	Direction	R	F	R	F	R	F	R	F	R	F	----	----	
Σφάλμα =SS06	Φ(V)	-37,7	-37,7	-37,7	-37,7	-37,7	-37,7	-37,7	-37,7	-37,7	-37,7	-37,7	----	
	Φ(I)	108,4	-71,6	108,4	-71,6	108,4	-71,6	108,4	-71,6	108,4	-71,6	108,4	----	
	Direction	R	F	R	F	R	F	R	F	R	F	R	----	

Πίνακας 6. Αποτελέσματα κριτηρίου κατεύθυνσης για σφάλματα τροφοδοτούμενα από τον Ανατολικό Υ/Σ.

Σημείο Μέτρησης		=SS01		=SS02		=SS03		=SS04		=SS05		=SS06		
		+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	
Ανατολικός Υ/Σ	Περίπτωση													
	Ροή φορτίου	Φ(V)	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0	0	0	0
		Φ(I)	----	153,89	-26,11	153,89	-26,11	152,41	-27,59	152,06	-27,94	152,25	-27,75	151,21
		Direction	----	R	F	R	F	R	F	R	F	R	F	R
	Σφάλμα =SS01	Φ(V)	----	-36,1	-36,1	-36,1	-36,1	-36,1	-36,1	-36,1	-36,1	-36,1	-36,1	-36,1
		Φ(I)	----	110	-70	110	-70	110	-70	110	-70	110	-70	110,1
		Direction	----	R	F	R	F	R	F	R	F	R	F	R
	Σφάλμα L01	Φ(V)	----	----	-36,3	-36,3	-36,3	-36,3	-36,3	-36,3	-36,3	-36,3	-36,3	-36,3
		Φ(I)	----	----	-70,1	109,9	-70,1	109,9	-70,1	109,9	-70,1	109,9	-70,1	109,9
		Direction	----	----	F	R	F	R	F	R	F	R	F	R
	Σφάλμα =SS02	Φ(V)	----	----	----	-36,4	-36,4	-36,4	-36,4	-36,4	-36,4	-36,4	-36,4	-36,4
		Φ(I)	----	----	----	109,7	-70,3	109,7	-70,3	109,7	-70,3	109,7	-70,3	109,7
		Direction	----	----	----	R	F	R	F	R	F	R	F	R
	Σφάλμα L02	Φ(V)	----	----	----	----	-36,6	-36,6	-36,6	-36,6	-36,6	-36,6	-36,6	-36,6
		Φ(I)	----	----	----	----	-70,5	109,5	-70,5	109,5	-70,5	109,5	-70,5	109,5
		Direction	----	----	----	----	F	R	F	R	F	R	F	R
	Σφάλμα =SS03	Φ(V)	----	----	----	----	----	-36,8	-36,8	-36,8	-36,8	-36,8	-36,8	-36,8
		Φ(I)	----	----	----	----	----	109,7	-70,3	109,7	-70,3	109,7	-70,3	109,7
		Direction	----	----	----	----	----	R	F	R	F	R	F	R
	Σφάλμα L03	Φ(V)	----	----	----	----	----	----	-37	-37	-37	-37	-37	-37
Φ(I)		----	----	----	----	----	----	-70,9	109,1	-70,9	109,1	-70,9	109,1	
Direction		----	----	----	----	----	----	F	R	F	R	F	R	
Σφάλμα =SS04	Φ(V)	----	----	----	----	----	----	----	-37,2	-37,2	-37,2	-37,2	-37,2	
	Φ(I)	----	----	----	----	----	----	----	109	-71	109	-71	109	
	Direction	----	----	----	----	----	----	----	R	F	R	F	R	
Σφάλμα L04	Φ(V)	----	----	----	----	----	----	----	----	-37,4	-37,4	-37,4	-37,4	
	Φ(I)	----	----	----	----	----	----	----	----	-71,2	108,8	-71,2	108,8	
	Direction	----	----	----	----	----	----	----	----	F	R	F	R	
Σφάλμα =SS05	Φ(V)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-37,5	-37,5	-37,5	
	Φ(I)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	108,6	-71,4	108,6	
	Direction	----	----	----	----	----	----	----	----	----	R	F	R	
Σφάλμα L05	Φ(V)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-37,7	-37,7	
	Φ(I)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-71,6	108,4	
	Direction	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	F	R	
Σφάλμα =SS06	Φ(V)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-37,9	
	Φ(I)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	108,2	
	Direction	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	R	

Παρατηρούμε ότι σε περίπτωση που το σφάλμα είναι σε κάποια καλωδιακή διασύνδεση, ο εγγύτερος στο σφάλμα ηλεκτρονόμος ανιχνεύει το σφάλμα σε ορθή κατεύθυνση και δίνει εντολή πτώσης, ενώ όταν το σφάλμα είναι στους ζυγούς ενός υποσταθμού, ο εγγύτερος στο σφάλμα ηλεκτρονόμος ανιχνεύει το σφάλμα σε ανάστροφη κατεύθυνση και δεν δίνει εντολή πτώσης, την οποία δίνει ο αμέσως προηγούμενος ηλεκτρονόμος. Φανερό είναι επίσης, ότι οι ηλεκτρονόμοι των δύο εισόδων ανιχνεύουν τα σφάλματα πάντα σε ανάστροφη φορά, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να καθαρίσουν σφάλματα στους ζυγούς των ακραίων υποσταθμών. Εκεί απαιτείται η απενεργοποίηση των στοιχείων κατεύθυνσης τους και η χρήση απλού στοιχείου υπερέντασης.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την όχι πλήρη επιλεκτικότητα του συστήματος προστασίας. Επίσης, στις περισσότερες περιπτώσεις υπάρχουν αρκετοί ηλεκτρονόμοι που ανιχνεύουν το ίδιο σφάλμα στην ορθή κατεύθυνση, γεγονός που καθιστά και τη χρήση διαβαθμίσεων χρόνου αναγκαία προκειμένου να επιτευχθεί επιλεκτικότητα. Με τη διαφορά ότι αντί για έντεκα διαβαθμίσεις χρόνου που απαιτούνταν στην περίπτωση β) τώρα απαιτούνται έξι, όπως φαίνεται και στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 7. Διαβαθμίσεις χρόνου με χρήση στοιχείων υπερέντασης με κατεύθυνση.

	Σημείο Μέτρησης	=SS01		=SS02		=SS03		=SS04		=SS05		=SS06	
		+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04	+J01	+J04
	Περίπτωση												
Δυσικός Υ/Σ	Χρόνοι Πτώσης	1050	950	850	750	650	550	450	350	250	150	50	---
	Σφάλμα =SS01	550											
	Σφάλμα L01		450										
	Σφάλμα =SS02		450										
	Σφάλμα L02				350								
	Σφάλμα =SS03				350								
	Σφάλμα L03						250						
	Σφάλμα =SS04						250						
	Σφάλμα L04								150				
	Σφάλμα =SS05								150				
	Σφάλμα L05										50		
	Σφάλμα =SS06										50		
Ανατολικός Υ/Σ	Χρόνοι Πτώσης	---	50	150	250	350	450	550	650	750	850	950	1050
	Σφάλμα =SS01			50									
	Σφάλμα L01			50									
	Σφάλμα =SS02					150							
	Σφάλμα L02					150							
	Σφάλμα =SS03							250					
	Σφάλμα L03							250					
	Σφάλμα =SS04									350			
	Σφάλμα L04									350			
	Σφάλμα =SS05											450	
	Σφάλμα L05											450	
	Σφάλμα =SS06												550

Στην περίπτωση αυτή, όχι μόνο έχει χαθεί εν μέρει η επιλεκτικότητα, αφού για σφάλματα σε δύο διαδοχικά σημεία (στο καλώδιο και στους ζυγούς του επόμενου υποσταθμού), ανοίγει ο ίδιος διακόπτης (του προηγούμενου υποσταθμού), αλλά εξακολουθούν οι χρόνοι λειτουργίας των κοντινών στην τροφοδοσία διακοπών να είναι μεγάλοι (π.χ. διακόπτης εισόδου 550ms)

2.4.4 Επιλεκτικότητα μέσω αλληλοδεσμεύσεων

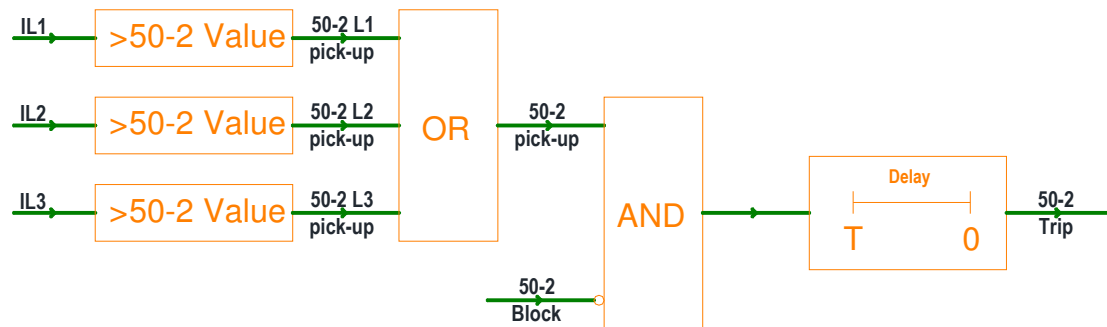
Αλληλοδέσμευση είναι η διαδικασία κατά την οποία ενώ δύο ηλεκτρονόμοι διεγείρονται σε ένα σφάλμα, ο εγγύτερος στο σφάλμα ηλεκτρονόμος δεσμεύει την εντολή πτώσης του πιο απομακρυσμένου, προκειμένου να καθαρίσει ο ίδιος το σφάλμα..

Προφανές είναι ότι οι δύο ηλεκτρονόμοι, θα πρέπει να διασυνδέονται μεταξύ τους.

Στην περίπτωση αυτή, δεν απαιτείται χρήση στοιχείου κατεύθυνσης, παρά απλής υπερέντασης, έτσι αντισταθμίζεται το κόστος της καλωδίωσης μεταξύ των υποσταθμών (για επικοινωνία των ηλεκτρονόμων) με την απουσία των επαγωγικών μετασχηματιστών τάσης για την λειτουργία του στοιχείου κατεύθυνσης.

Το λογικό διάγραμμα ενός στοιχείου υπερέντασης σε έναν ηλεκτρονόμο έχει ως εξής:

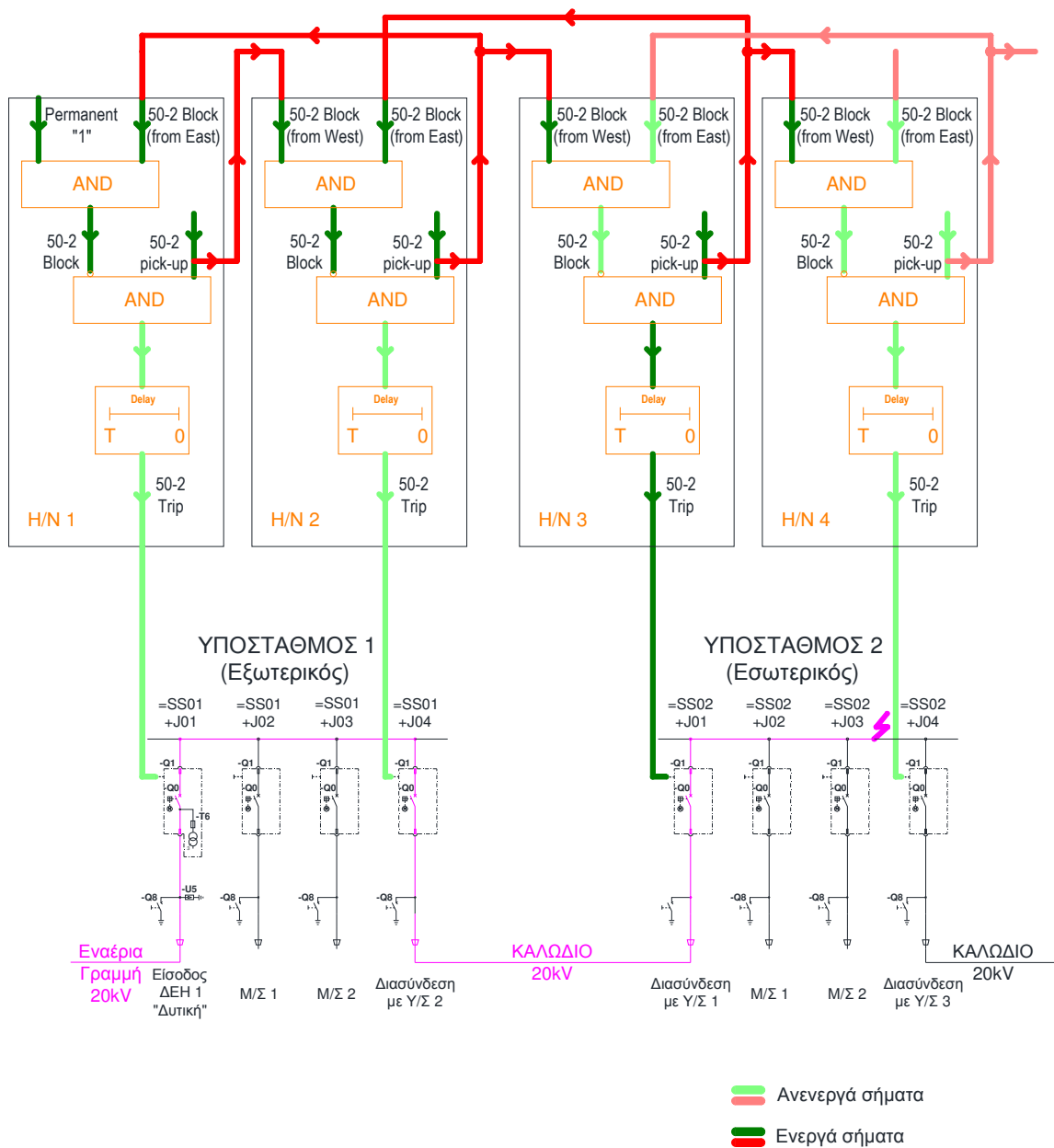
ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΥΠΕΡΕΝΤΑΣΗΣ 2ο ΣΤΑΔΙΟ (50-2)



Σχήμα 2.33. Λογικό διάγραμμα ενός στοιχείου υπερέντασης (50-2)

Στο σύστημα προστασίας με αλληλοδεσμεύσεις εκμεταλλευόμαστε αφενός μεν το γεγονός, ότι όπως φαίνεται και στον πίνακα 3, ο εγγύτερος ηλεκτρονόμος στο σφάλμα και όλοι οι προηγούμενοι του διαρρέονται από το ρεύμα του σφάλματος, ενώ όλοι οι επόμενοι από μηδενικό (άρα είναι εύκολος ο διαχωρισμός μεταξύ σφάλματος και υγείας), και αφετέρου, την ύπαρξη του σήματος αναστολής του συγκεκριμένου σταδίου (εδώ 50-2 Block). Έτσι, ενώ σε όλους τους ηλεκτρονόμους γίνεται διέγερση του συγκεκριμένου σταδίου, κάθε ένας στέλνει στους εκατέρωθεν του το σήμα της διέγερσής του (50-2 pickup), το οποίο οδηγείται στην είσοδο δέσμευσης (50-2 Block). Με τον τρόπο αυτό, κάθε ηλεκτρονόμος (εκτός των ακραίων) δέχεται δύο εντολές δέσμευσης από τους δύο εκατέρωθεν ηλεκτρονόμους του. Οι δύο αυτές εντολές συνδυάζονται με λογική AND και οδηγούνται στη θύρα δέσμευσης. Αυτό απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.

ΛΟΓΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΛΛΗΛΟΔΕΣΜΕΥΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΩΝ



Σχήμα 2.34. Λογικό διάγραμμα αλληλοδεσμεύσεων μεταξύ τεσσάρων ηλεκτρονόμων.

Στο παραπάνω παράδειγμα, για λόγους απεικόνισης έχουν παρουσιαστεί μόνο οι πρώτοι τέσσερις ηλεκτρονόμοι και έχει υποτεθεί σφάλμα στους ζυγούς του δεύτερου υποσταθμού. Με μωβ χρώμα απεικονίζεται η ροή του ρεύματος βραχυκύκλωσης και όπως είναι φυσικό, διεγείρονται οι πρώτοι τρεις ηλεκτρονόμοι, οι οποίοι εκδίδουν το σήμα “50-2 Pickup”. Το σήμα αυτό από κάθε ηλεκτρονόμο δρομολογείται στους εκατέρωθέν του σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 8. Δρομολόγηση σημάτων μεταξύ των ηλεκτρονόμων.

		Source				AND result	Action
		=SS01 +J01	=SS01 +J04	=SS02 +J01	=SS02 +J04		
		50-2 Pickup	50-2 Pickup	50-2 Pickup	No Pickup		
Destination	=SS01 +J01		Block 50-2		---	1 (*)	50-2 Blocked
	=SS01 +J04	Block 50-2		Block 50-2	---	1	50-2 Blocked
	=SS02 +J01		Block 50-2		---	0	50-2 Released
	=SS02 +J04			Block 50-2	---	0	No pickup

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα, το “pickup” του =SS01 +J01 δρομολογείται στον =SS01 +J04 ως εντολή “Block”, ομοίως και το “pickup” του =SS02 +J01 δρομολογείται στον =SS01 +J04 ως εντολή “Block”, με αποτέλεσμα να δέχεται δύο εντολές “Block” και η πύλη AND να δίνει αποτέλεσμα “1” το οποίο και δεσμεύει το στοιχείο 50-2 του ηλεκτρονόμου αυτού.

Αντίστοιχα, το “pickup” του =SS01 +J04 δρομολογείται στον =SS01 +J01 ως εντολή “Block”, παράλληλα, η άλλη είσοδος της πύλης AND (επειδή είναι ο ακραίος ηλεκτρονόμος) δέχεται μόνιμα λογικό “1” και η πύλη AND δίνει αποτέλεσμα “1” το οποίο και δεσμεύει το στοιχείο 50-2 του ηλεκτρονόμου αυτού.

Αντίθετα, παρ’ όλο που το “pickup” του =SS01 +J04 δρομολογείται στον =SS02 +J01 ως εντολή “Block”, ο εκατέρωθεν ηλεκτρονόμος =SS02 +J04 δεν έχει διεγερθεί, δεν στέλνει σήμα δέσμευσης και η πύλη AND δίνει αποτέλεσμα “0”, οπότε το στοιχείο 50-2 του ηλεκτρονόμου αυτού είναι απελευθερωμένο. Έτσι, αφού παρέλθει ο ρυθμισμένος χρόνος καθυστέρησης του στοιχείου 50-2, θα δοθεί εντολή πτώσης του αντίστοιχου διακόπτη.

Όπως είναι φανερό, επιτυγχάνουμε άριστη επιλεκτικότητα αφού πάντα μόνο ένας ηλεκτρονόμος είναι απελευθερωμένος και μπορούν όλοι οι ηλεκτρονόμοι να ρυθμιστούν στην ίδια στάθμη έντασης και στον ίδιο χρόνο. Έτσι, αν θέσουμε χρόνο 50ms για το στοιχείο 50-2, έχουμε επιτύχει χρόνο εκκαθάρισης του οποιουδήποτε σφάλματος στους ζυγούς ή στα καλώδια από τον εγγύτερο ηλεκτρονόμο σε χρόνο 50ms + τον χρόνο ανοίγματος του Α/Δ, δηλαδή συνολικά 90-100ms..

2.4.5 Παρατηρήσεις

Όπως έχει φανεί από την παραπάνω ανάλυση, η επιλεκτικότητα μέσω εντάσεων απαιτεί διασύνδεση μεταξύ των υποσταθμών με καλώδιο ελέγχου, είναι δύσκολη στη ρύθμισή της και ασαφής στην συμπεριφορά της.

Η επιλεκτικότητα μέσω διαβαθμίσεων χρόνου απαιτεί και αυτή διασύνδεση μεταξύ των υποσταθμών με καλώδιο ελέγχου, αλλά επιτυγχάνει απαγορευτικούς χρόνους εκκαθάρισης των σφαλμάτων.

Η επιλεκτικότητα μέσω στοιχείων κατεύθυνσης απαιτεί την ύπαρξη μετασχηματιστή τάσης σε κάθε υποσταθμό, καθώς και διαβάθμιση χρόνου, με αποτέλεσμα και πάλι να επιτυγχάνονται μεγάλοι χρόνοι λειτουργίας.

Τέλος η επιλεκτικότητα μέσω αλληλοδεσμεύσεων απαιτεί καλωδιακή διασύνδεση των υποσταθμών με καλώδιο ελέγχου, αλλά επιτυγχάνει μέγιστη επιλεκτικότητα στους ελάχιστους δυνατούς χρόνους.

Γενικά η διασύνδεση μεταξύ υποσταθμών (σε μεγάλα μήκη), πέραν του κόστους του καλωδίου και της εγκατάστασής του, ενέχει προβλήματα σχετικά με EMI (Electro - Magnetic Interference) που θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη κατά τη μελέτη, σχεδίαση και υλοποίηση του έργου.

Τα βασικότερα προβλήματα είναι:

- i) Η εξ' επαγωγής τάση βιομηχανικής συχνότητας που αναπτύσσεται στους αγωγούς ελέγχου, καθώς οδεύουν παράλληλα με τους αγωγούς μέσης τάσης
- ii) Οι κρουστικές υπερτάσεις λόγω χειρισμών που δημιουργούν οδεύοντα κύματα που δεν περιορίζονται στον συγκεκριμένο υποσταθμό (που έγινε ο χειρισμός).
- iii) Προβλήματα στη γείωση μεταξύ δύο υποσταθμών, με αποτέλεσμα την ύπαρξη διαφοράς δυναμικού γειώσεως μεταξύ των δύο υποσταθμών.

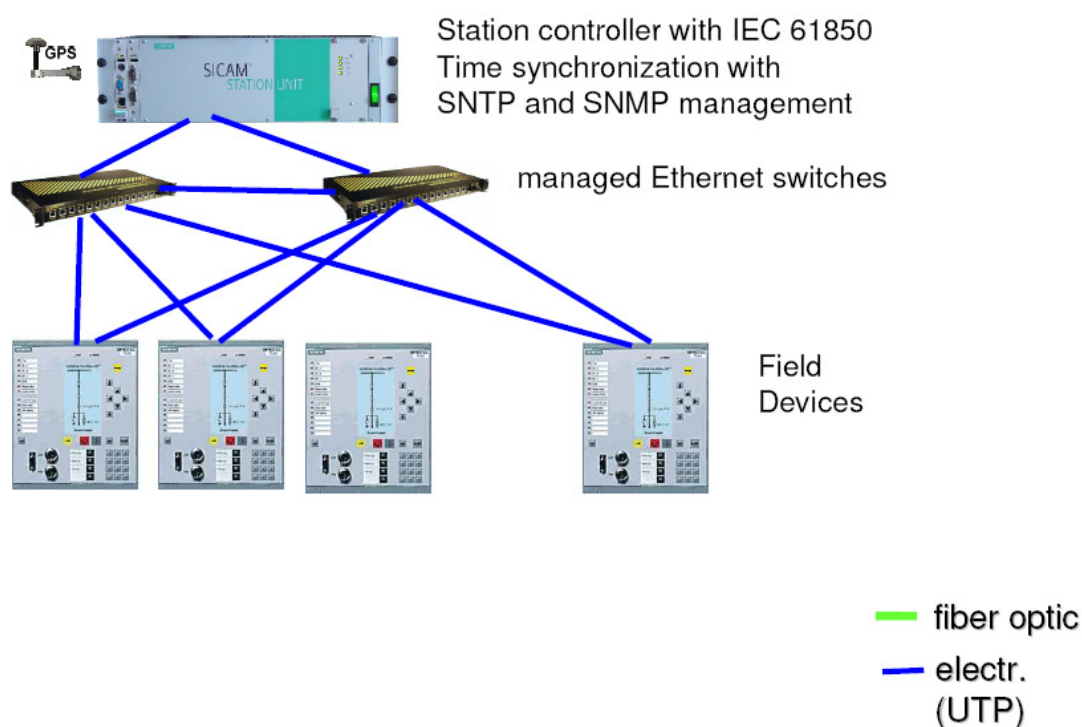
Τα ανωτέρω προβλήματα αποφεύγονται με τη δικτυακή διασύνδεση των ηλεκτρονόμων μέσω δικτύου Ethernet βασισμένου στο πρότυπο IEC-61850, στοιχεία του οποίου αναλύονται στη συνέχεια ώστε ακολούθως να γίνει κατανοητή η μετάβαση από την ηλεκτρική διασύνδεση στην δικτυακή επικοινωνία.

3. Παρουσίαση του πρωτοκόλλου IEC61850

3.1 Δομή δικτύου

Προκειμένου οι ηλεκτρονόμοι προστασίας να λειτουργήσουν ως σύστημα προστασίας και όχι αυτόνομα, θα πρέπει να διασυνδεθούν μεταξύ τους, ώστε να συγκροτήσουν ένα δίκτυο τύπου Ethernet. Τα υλικά διασύνδεσης μπορεί να είναι χάλκινο καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών (TP), ή οπτική ίνα (FO). Οι συσκευές που συγκροτούν το δίκτυο είναι τα Ethernet Switches, οι ηλεκτρονόμοι (IED's (Intelligent Electronic Device) που διαθέτουν Ethernet Switch ή απλώς κάρτα δικτύου Ethernet) και ο Station Controller (ο Η/Υ που διαχειρίζεται τον Υποσταθμό). Πιθανές τοπολογίες δικτύου που μπορεί να προκύψουν είναι οι ακόλουθες:

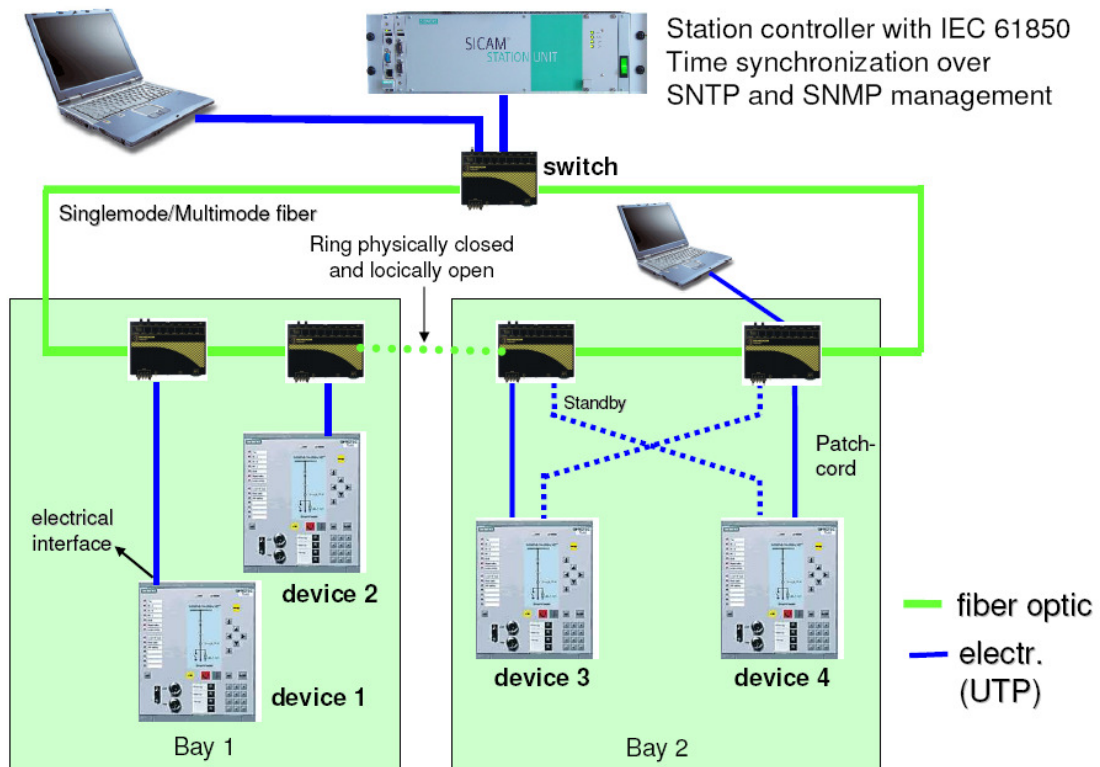
α) Η πιο απλή περίπτωση (τοπολογία διπλού αστέρα), όπου σε δύο Ethernet Switches συνδέεται ο Station Controller και όλα τα IED's μέσω ηλεκτρικής διασύνδεσης καλωδίου UTP. Παρέχει εφεδρεία στις διασυνδέσεις και στα switches, αλλά λόγω των ηλεκτρικών διασυνδέσεων συνίσταται μόνο για μικρού μήκους τοπολογίες.



Σχήμα 3.1: Τοπολογία διπλού αστέρα.

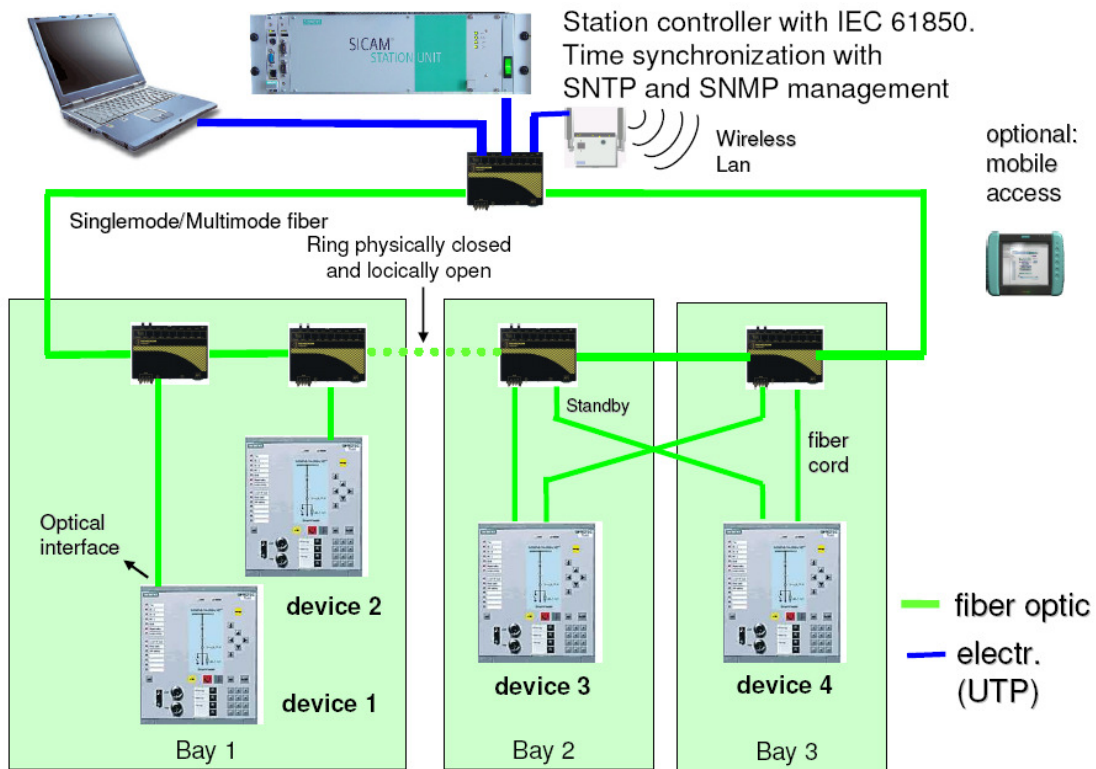
β) Στην περίπτωση αυτή το δακτύλιο σχηματίζουν τα Ethernet Switches, (όπου σε ένα εξ' αυτών συνδέεται και ο Station Controller) και σε κάθε πύλη υπάρχουν από δύο Ethernet Switches του βρόχου, στα οποία συνδέονται τα IED's μέσω ηλεκτρικής διασύνδεσης καλωδίου UTP. Παρέχει εφεδρεία στις διασυνδέσεις και στα switches, (όχι στον Station Controller, αφού συνδέεται μόνο σε ένα Switch), παράλληλα στα IED's της πύλης 1 δεν υπάρχει εφεδρεία, ενώ σε αυτά της πύλης 2 υπάρχει.

Λόγω των οπτικών διασυνδέσεων μεταξύ των πυλών συνίσταται και για μεγάλου μήκους τοπολογίες. Σημαντικό πλεονέκτημα επίσης είναι η ύπαρξη σημείου πρόσβασης στο δίκτυο (access point) σε κάθε πύλη.



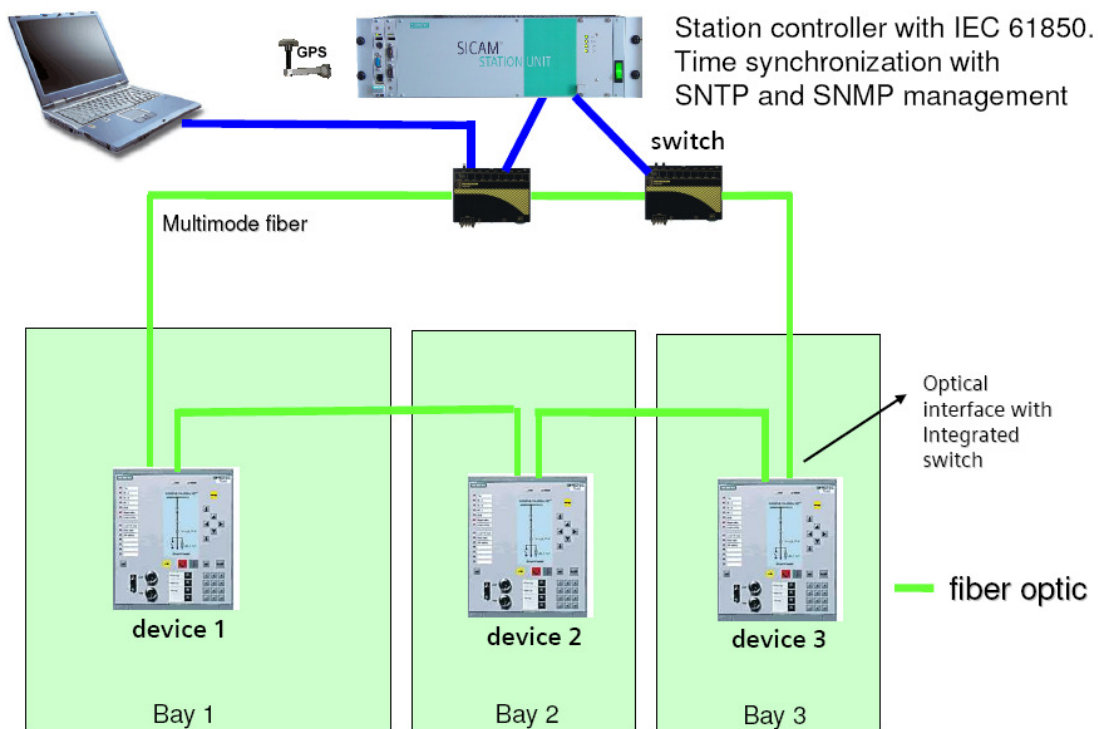
Σχήμα 3.2: Τοπολογία οπτικού δακτυλίου με τα IED's σε αστέρα.

γ) Στην παρακάτω τοπολογία σε σχέση με την προηγούμενη, έχουν αντικατασταθεί οι ηλεκτρικές διασυνδέσεις με οπτικές.



Σχήμα 3.3: Τοπολογία οπτικού δακτυλίου με τα IED's σε αστέρα

δ) Τέλος, σε αυτήν την τοπολογία τον οπτικό δακτύλιο απαρτίζουν τα Ethernet Switches καθώς και τα IED's (που διαθέτουν optical interface με ενσωματωμένο switch). Παρέχει εφεδρεία ως προς τις διασυνδέσεις και τα switches, προτείνεται και για μεγάλους μήκους τοπολογίες (IED – IED <2km), αλλά υπάρχει περιορισμός στο πλήθος των IED's που απαρτίζουν το βρόχο. Μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι δεν υπάρχει σημείο προσβασης στο δίκτυο στις πύλες, παρά μόνο εκεί που βρίσκονται τα switches.



Σχήμα 3.4: Τοπολογία οπτικού δακτυλίου απαρτιζόμενο από τα IED's

3.2 Φυσικά μέσα

Τα φυσικά μέσα δικτύωσης είναι δύο, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το καλώδιο συνεστραμμένων ζευγών (TP) και η οπτική ίνα (FO).

Το καλώδιο (TP) θα πρέπει να είναι κατηγορίας 5 και άνω, έχει το πλεονέκτημα της μεγάλης μηχανικής αντοχής σε σχέση με την οπτική ίνα αλλά λόγω ηλεκτρομαγνητικής παρενόχλησης σε περιβάλλοντα υποσταθμών δεν συνιστάται για καλωδιώσεις μήκους άνω των 20m.

Η οπτική ίνα μπορεί να είναι πολύτροπη 50/62,5μm, έχει το πλεονέκτημα της αναισθησίας σε ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο αλλά είναι πιο ευαίσθητη σε μηχανικές καταπονήσεις ειδικά στα άκρα σύνδεσής της, καθώς και στη σκόνη κατά τη διαδικασία σύνδεσής της, καθώς επίσης απαιτεί την ύπαρξη ειδικευμένου προσωπικού και εργαλείων για την εγκατάστασή της.

3.3 Συσσκευές δικτύου

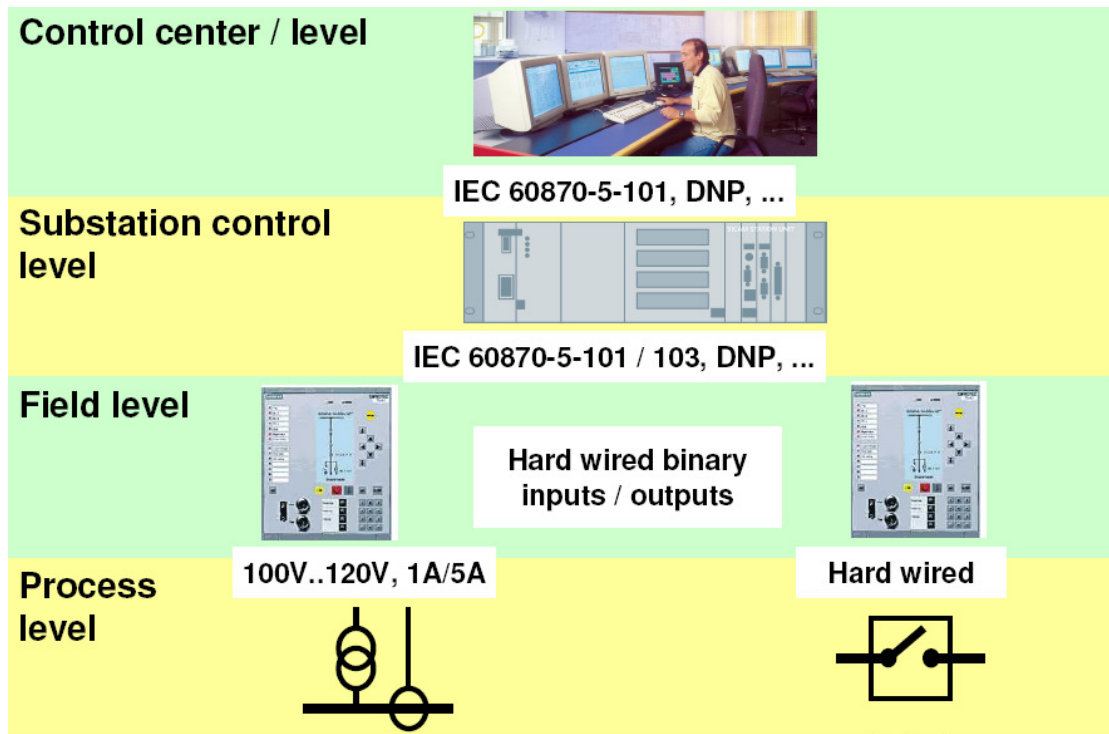
Όπως φάνηκε από τις παραπάνω τοπολογίες, οι συσκευές δικτύου που χρησιμοποιούνται είναι τα Ethernet Switches καθώς και τα Ethernet interfaces των IED's.

Τα βασικά χαρακτηριστικά που θα πρέπει να πληρούν τα switches σε περιβάλλον υποσταθμού είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Ethertype: Να υποστηρίζουν τις προτεραιότητες των GOOSE Multicast τηλεγραφημάτων.
- ✓ Θα πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις EMC σε περιβάλλον Υποσταθμού IEC61850-3
- ✓ Μεγάλο εύρος της τάσης τροφοδοσίας AC/DC.
- ✓ Εφεδρική παροχή τροφοδοσίας (με εσωτερική αυτόματη μεταγωγή)
- ✓ Ανυπαρξία περιστρεφόμενων τμημάτων (πχ. Ανεμιστήρες)
- ✓ Επαφή Υγείας για τη σήμανση δυσλειτουργίας της συσκευής
- ✓ Διαχειρίσιμο από το Δίκτυο βάσει του πρωτοκόλλου Simple Network Management (SNMP).
- ✓ Υποστήριξη πρωτοκόλλου Rapid Spanning Tree (RSTP)
- ✓ Σύντομους χρόνους μεταγωγής του Δικτύου <5ms.

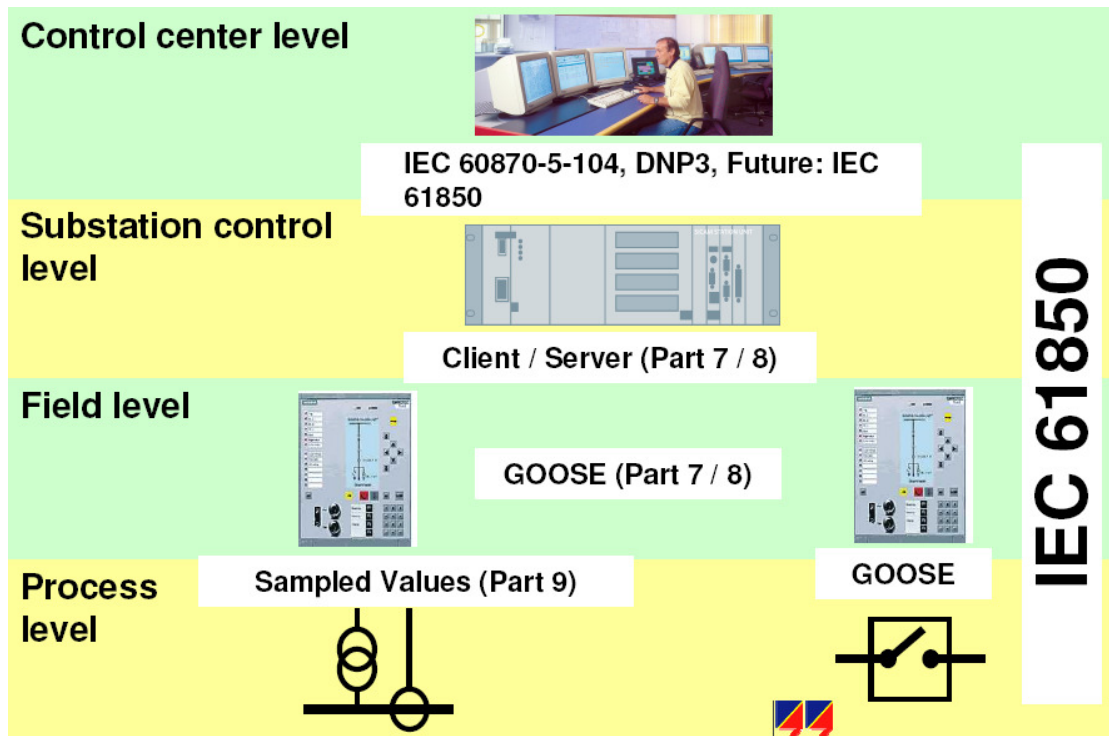
3.4 Μοντελοποίηση Υ/Σ στο IEC61850

Η επίδραση του δικτύου IEC61850 σε μια εγκατάσταση Υ/Σ φαίνεται στις παρακάτω δύο εικόνες. Στην πρώτη φαίνεται ότι η διασύνδεση των επιπέδων της διεργασίας (process level) και του πεδίου (field level) γίνεται καλωδιακά, δηλ. οι μετρήσεις, οι εντολές και οι καταστάσεις μεταξύ του εξοπλισμού και του ηλεκτρονόμου συνδέονται με χάλκινα καλώδια. Ομοίως στο επίπεδο πεδίου (field level) οι ανταλλαγές πληροφοριών μεταξύ των η/ν γίνονται καλωδιακά μέσω ψηφιακών εισόδων – εξόδων. Εν συνεχεία, η διασύνδεση μεταξύ του επιπέδου πεδίου και του επιπέδου ελέγχου του Υ/Σ (Substation Control Level) γίνεται με κάποιο από τα μέχρι τώρα γνωστά δίκτυα, πχ IEC60870-5-101 / 103, DNP κλπ., ενώ παραπάνω η διασύνδεση με το απομακρυσμένο κέντρο ελέγχου (Control Center Level) γίνεται με τη χρήση πρωτοκόλλων IEC 60870-5-101 / DNP κλπ.



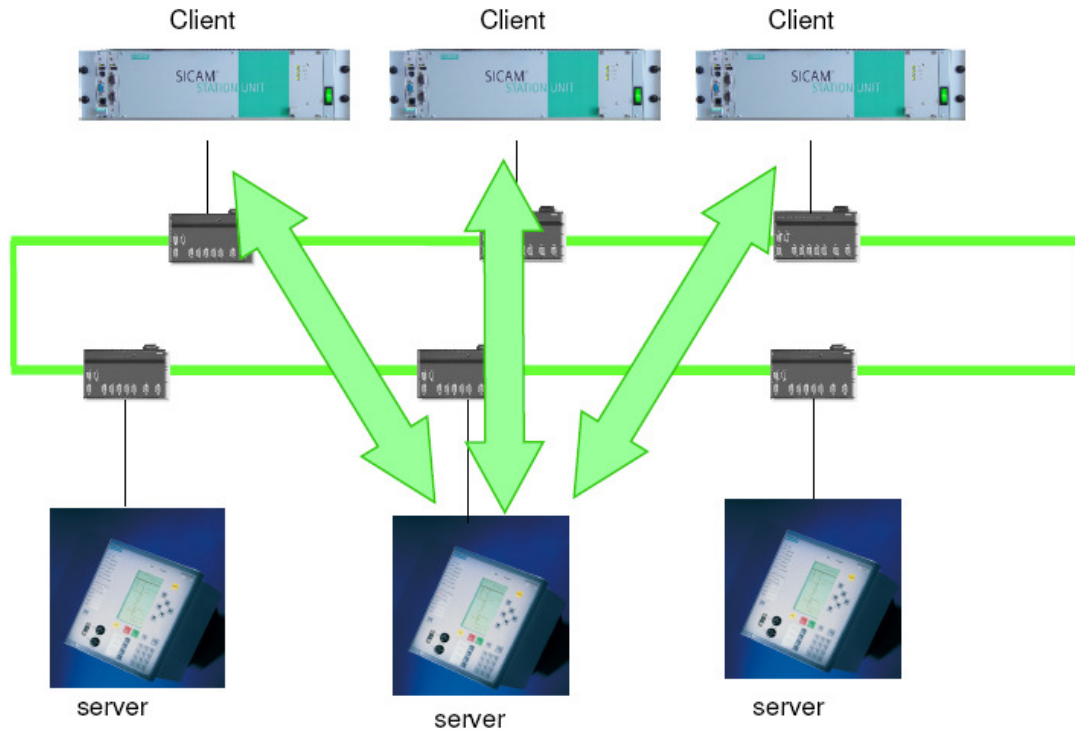
Σχήμα 3.5: Διαστρωμάτωση εξοπλισμού Υ/Σ, χωρίς τη χρήση IEC-61850

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται πως τη διασύνδεση όλων αυτών των επιπέδων αναλαμβάνει ένα γενικό πρωτόκολλο το IEC61850.



Σχήμα 3.6: Διαστρωμάτωση εξοπλισμού Υ/Σ, με τη χρήση IEC-61850

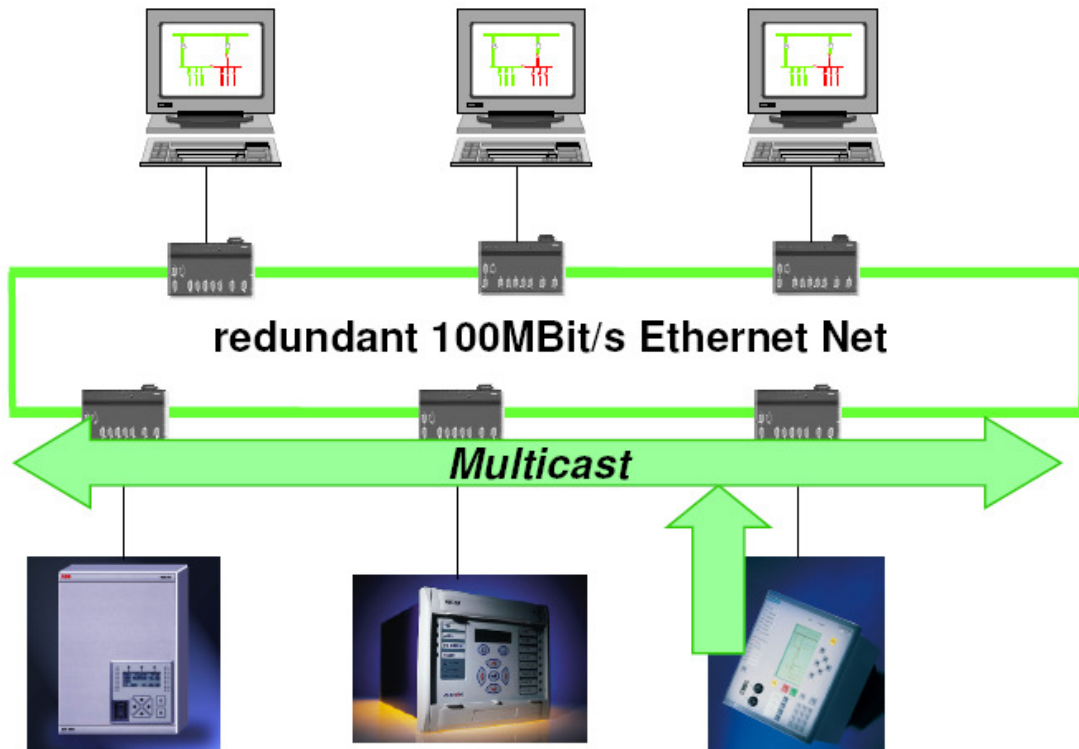
Η αρχιτεκτονική του IEC61850 βασίζεται στο μοντέλο πελάτη / εξυπηρετητή (client / server) όπως εικονίζεται παρακάτω, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται κατανομή της «ευφυΐας» και να αποφεύγονται τα σημεία μπουτυλιάρια (bottlenecks) που υπήρχαν στην Master / Slave αρχιτεκτονική.



Σχήμα 3.7: Μοντέλο Client - Server

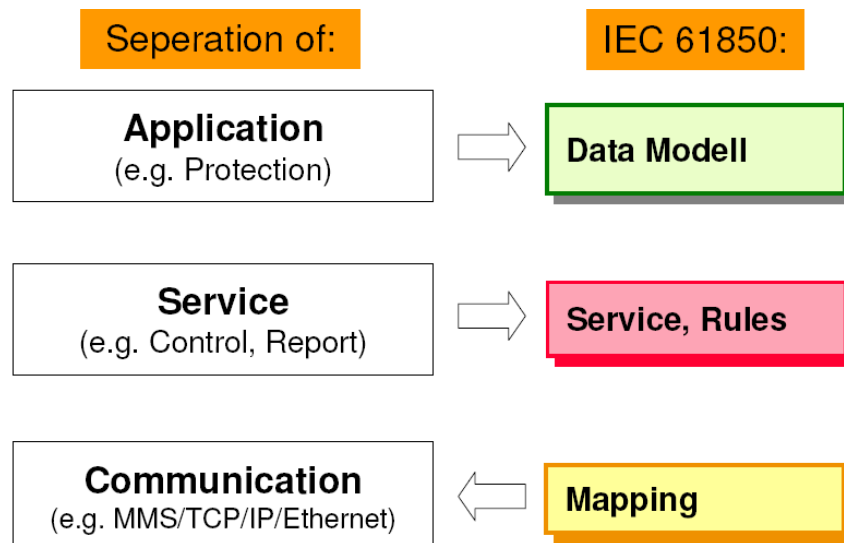
Παράλληλα επιτυγχάνεται η ανεξάρτητη επικοινωνία μεταξύ ομότιμων συσκευών μέσω Multicast μηνυμάτων.

Fast Inter-Device Communication (GOOSE)



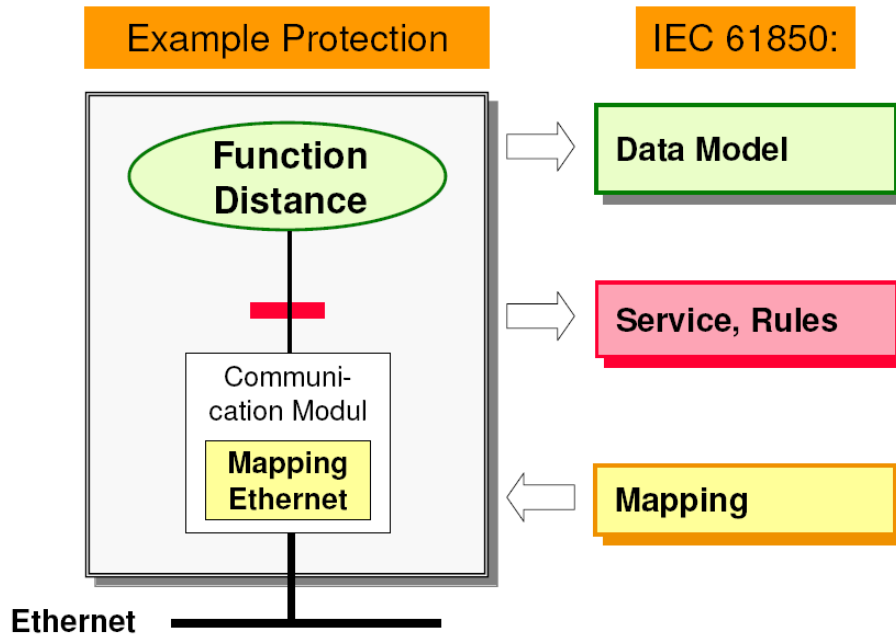
Σχήμα 3.8: Μοντέλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών μέσω Multicast μηνυμάτων

Η βασική ιδέα πίσω από το πρωτόκολλο IEC61850 είναι ο διαχωρισμός της λειτουργικότητας ενός υποσταθμού σε τρεις κατηγορίες Εφαρμογές (πχ. Προστασίες) / Υπηρεσίες (πχ. Χειρισμοί, Αναφορές) / Επικοινωνία. Αυτό γίνεται γιατί με την πάροδο των ετών και την εξέλιξη της τεχνολογίας οι πληροφορίες και οι διεργασίες δεν αλλάζουν (πάντα υπήρχαν και θα υπάρχουν διακόπτες, όργανα μέτρησης κλπ) και πάντα θα δίνουν καταστάσεις, μετρήσεις και θα δέχονται εντολές. Αυτό που αλλάζει είναι ο τρόπος μεταφοράς των καταστάσεων, μετρήσεων, εντολών.



Σχήμα 3.9: Η ιδέα της μοντελοποίησης στο IEC-61850

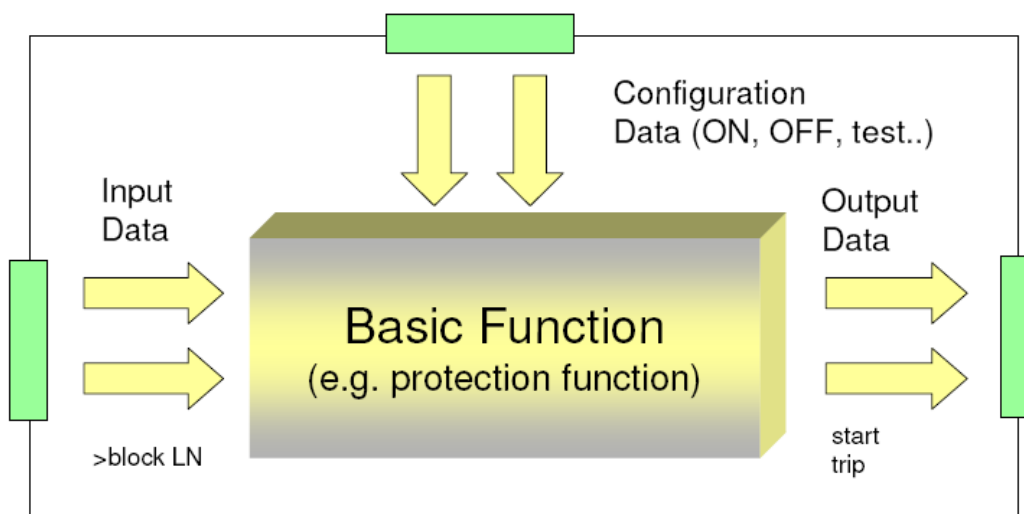
Το ακόλουθο παράδειγμα δείχνει την παραπάνω αντιστοίχιση.



Σχήμα 3.10: Παράδειγμα μοντελοποίησης προστασίας στο IEC-61850

Έτσι, σε έναν η/ν προστασίας υπάρχει η λειτουργία αποστάσεως, ή οποία αναπαρίσταται στο IEC61850 από ένα Data Model. Η λειτουργία αυτή μέσω κάποιων κανόνων και υπηρεσιών αναφέρει την κατάσταση της και τα στοιχεία της στο στοιχείο επικοινωνίας και μέσω της διαδικασίας Mapping (πρωτόκολλο MMS) γίνεται η μετατροπή σε bits & bytes που μεταδίδονται μέσω Ethernet.

Με αυτόν τον τρόπο γίνεται μια 1-1 αντιστοίχιση κάθε λειτουργίας καθώς και κάθε διακοπτικού στοιχείου του εξοπλισμού στο IEC-61850, δημιουργώντας Λογικούς Κόμβους (Logical Nodes ή LN). Γενικευμένο παράδειγμα LN απεικονίζεται στο επόμενο σχήμα, όπου μια βασική λειτουργία π.χ. προστασία, δέχεται δεδομένα εισόδου, δέχεται δεδομένα παραμετροποίησης και παράγει δεδομένα εξόδου.



Σχήμα 3.11: Γενικευμένο μοντέλο λειτουργίας

Παραδείγματα τέτοιων Λογικών Κόμβων φαίνονται παρακάτω:

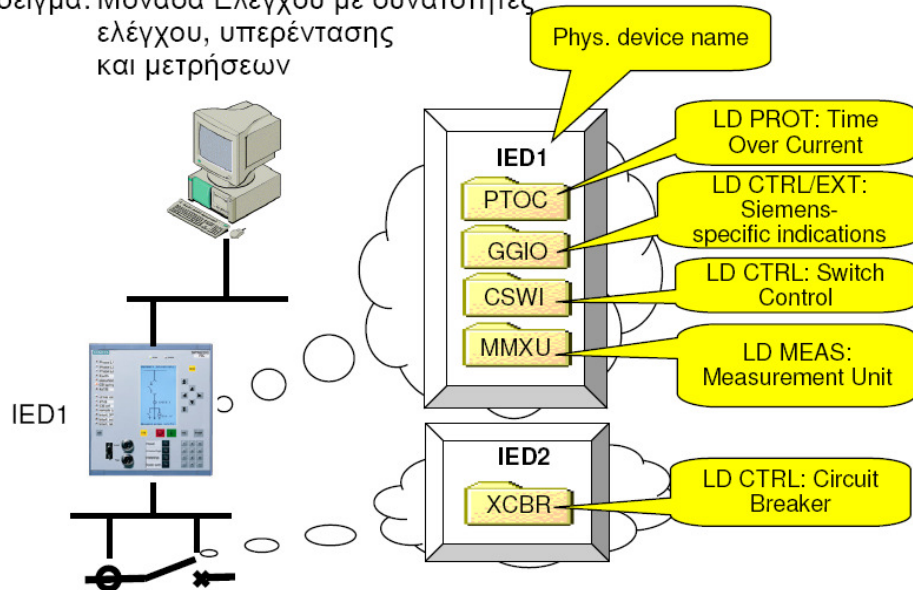
Group Indicator	Logical node groups	
A	Automatic Control	MMXU MMTR MSQI
C	Supervisory control	MHAI MDIF
G	Generic Function References	
I	Interfacing and Archiving	
L	System Logical Node	
M	Metering and Measurement	
P	Protection functions	
R	Protection related functions	
S	Sensors	
T	Instrument Transformer	
X	Switchgear	
Y	Power Transformer	
Z	Further (power system) equipment	

Measuring (Measurand unit) Metering Sequence and Imbalance Harmonics and Inter-harmonics Differential Measurements
PSCH Protection Scheme PTEF Transient Earth Fault PZSU Zero speed or underspeed PDIS Distance protection ...more
SIMG Insulation medium meas unit SARC Monitoring and diagnostics for arcs SPDC Monitoring and diagnostics for partial discharge
XCBR Circuit Breaker XSWI Circuit Switch

Σχήμα 3.12: Ομαδοποίηση των Λογικών Κόμβων στο IEC-61850

Αυτή τη στιγμή υπάρχουν 92 Λογικοί Κόμβοι διαθέσιμοι και κάθε η/ν, ανάλογα με τη λειτουργικότητά του ενσωματώνει κάποιους απ' αυτούς. Για παράδειγμα ένας η/ν απόστασης διαθέτει το λογικό κόμβο PDIS (που αναφέρεται στην προστασία απόστασης) και μάλιστα πολλές φορές μία για κάθε στάδιο PDIS1, PDIS2..., ενώ ένας ηλεκτρονόμος υπερέντασης διαθέτει το Λογικό Κόμβο PTOC επίσης μία φορά για κάθε στάδιο.

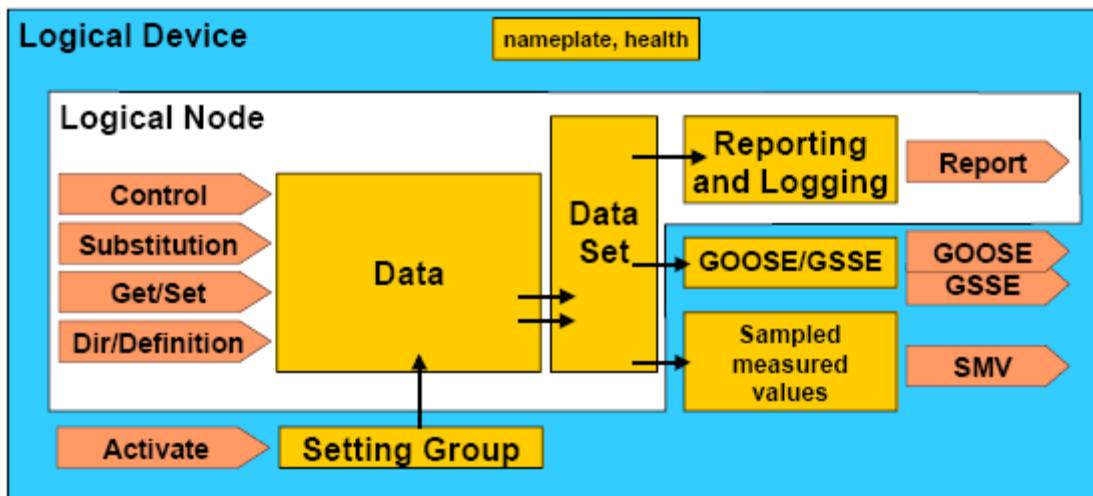
Παράδειγμα: Μονάδα Ελέγχου με δυνατότητες ελέγχου, υπερέντασης και μετρήσεων



IED - Intelligent Electronic Device (each device with a communication interface)

Σχήμα 3.13: Παράδειγμα IED με Λογικούς Κόμβους

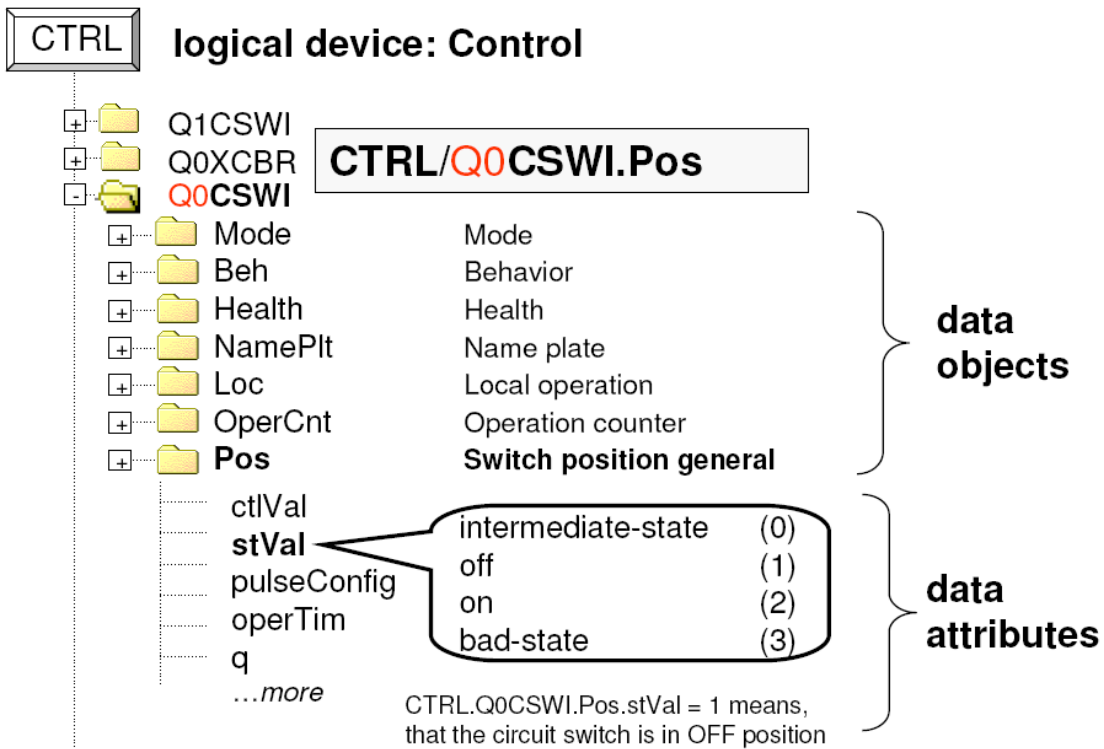
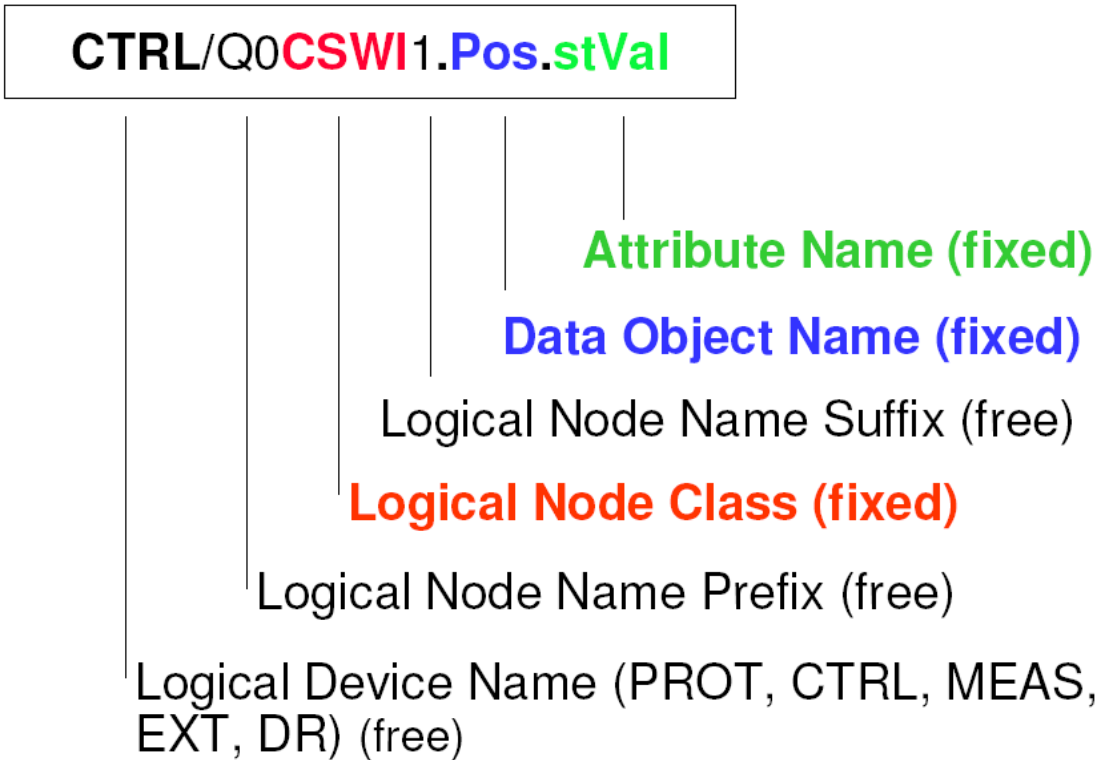
Πολλοί Λογικοί Κόμβοι συνδυαζόμενοι μαζί με κάποιες υπηρεσίες (π.χ. GOOSE, Setting Groups, ανταλλαγή μετρήσεων), δημιουργούν Λογικές Συσκευές (Logical Devices ή LD).



Σχήμα 3.14: Διάγραμμα δομής Λογικής Συσκευής στο IEC-61850

Μερικές απ' αυτές τις Λογικές Συσκευές είναι : CTRL – Control , DR – Disturbance Record, EXT – Extended, MEAS – Measurement, PROT – Protection.

Σε κάθε Λογικό Κόμβο υπάρχουν αντικείμενα δεδομένων (Data Objects ή DO), τα οποία περιέχουν τις μεταβλητές του συγκεκριμένου κόμβου. Με αυτόν τον τρόπο οργανώνονται οι πληροφορίες και μοντελοποιείται ο πραγματικός εξοπλισμός σε εικονική (λογική) μορφή. Έτσι η ιεραρχική δομή που προκύπτει για την πληροφορία της κατάστασης του διακόπτη Q0, φαίνεται στα παρακάτω δύο σχήματα:



Σχήμα 3.15: Αναπαράσταση δομής μοντελοποίησης στο IEC-61850

3.6 Υπηρεσίες στο IEC61850

Οι βασικές υπηρεσίες που προσφέρει το πρωτόκολλο IEC61850 είναι οι ακόλουθες:

- Control
- Report
- Logging
- Substitution
- Setting Group
- Sampled Value
- Time synchronization
- File transfer
- GOOSE

Η υπηρεσία **Control** δίνει τη δυνατότητα στους Clients (π.χ. Station Controller) να δώσουν εντολή για το χειρισμό ενός διακοπτικού στοιχείου του πρωτεύοντος εξοπλισμού με τέσσερις επιλογές::

- α) Select Before Operate control with normal security – Επιλογή Πριν το Χειρισμό με απλή ασφάλεια.
- β) Select Before Operate control with enhanced security - Επιλογή Πριν το Χειρισμό με αυξημένη ασφάλεια.
- γ) Direct control with normal security – Απ' ευθείας χειρισμός με απλή ασφάλεια.
- δ) Direct control with enhanced security – Απ' ευθείας χειρισμός με αυξημένη ασφάλεια.

Με την υπηρεσία **Report** οι Clients λαμβάνουν πληροφόρηση από τα IED's (Servers) για κάθε νέο γεγονός, ή αλλαγή κατάστασης που λαμβάνει χώρα εντός του υποσταθμού. Ανάλογα με την περίπτωση υπάρχουν δύο διαφορετικά μοντέλα αναφορών. Buffered & Unbuffered Reports. Τα Buffered Reports (έναντι των Unbuffered), έχουν τη δυνατότητα, σε περίπτωση διακοπής της σύνδεσης να διατηρηθούν στη μνήμη του Server και με την ανάκτηση της σύνδεσης να μεταδοθούν, χωρίς να χαθούν.

Η υπηρεσία **Logging**, ουσιαστικά συλλέγει και ταξινομεί τα γεγονότα του συστήματος σε χρονολογική σειρά, δημιουργώντας έτσι ιστορικά αρχεία.

Η υπηρεσία **Substitution** (Υποκατάσταση) παρέχει τη δυνατότητα στο χειριστή να υποκαταστήσει την τιμή μιας μεταβλητής έναντι της πραγματικής τιμής. Έτσι, για παράδειγμα, στη μεταβλητή CTRL/Q0CSWI.Pos.stVal αν κάποιος μέσω της υποκατάστασης δώσει τιμή «1», ο αντίστοιχος διακόπτης θα φαίνεται από το σύστημα ως «ανοικτός» ασχέτως της πραγματικής του κατάστασης. Αυτή η δυνατότητα χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις προγραμματισμένων συντηρήσεων.

Με την υπηρεσία **Setting Group**, μπορεί ο χειριστής από το κέντρο ελέγχου του υποσταθμού, ή από το απομακρυσμένο κέντρο ελέγχου να αλλάξει την ομάδα ρυθμίσεων που υπάρχει στους η/ν προστασίας.

Η υπηρεσία **Sampled Value** παρέχει τη δυνατότητα μετάδοσης αναλογικών δειγματοληπτούμενων μεγεθών μεταξύ IED's μέσω μιας σχέσης Εκδότη / Συνδρομητή. Έτσι, ο Εκδότης γράφει σε έναν τοπικό buffer την τιμή και ο Συνδρομητής διαβάζει από τον δικό του τοπικό buffer την τιμή. Ρόλος του δικτύου επικοινωνίας είναι να ανανεώνει τον τοπικό buffer του συνδρομητή. Η μετάδοση των πληροφοριών γίνεται μέσω multicast ή unicast μηνυμάτων.

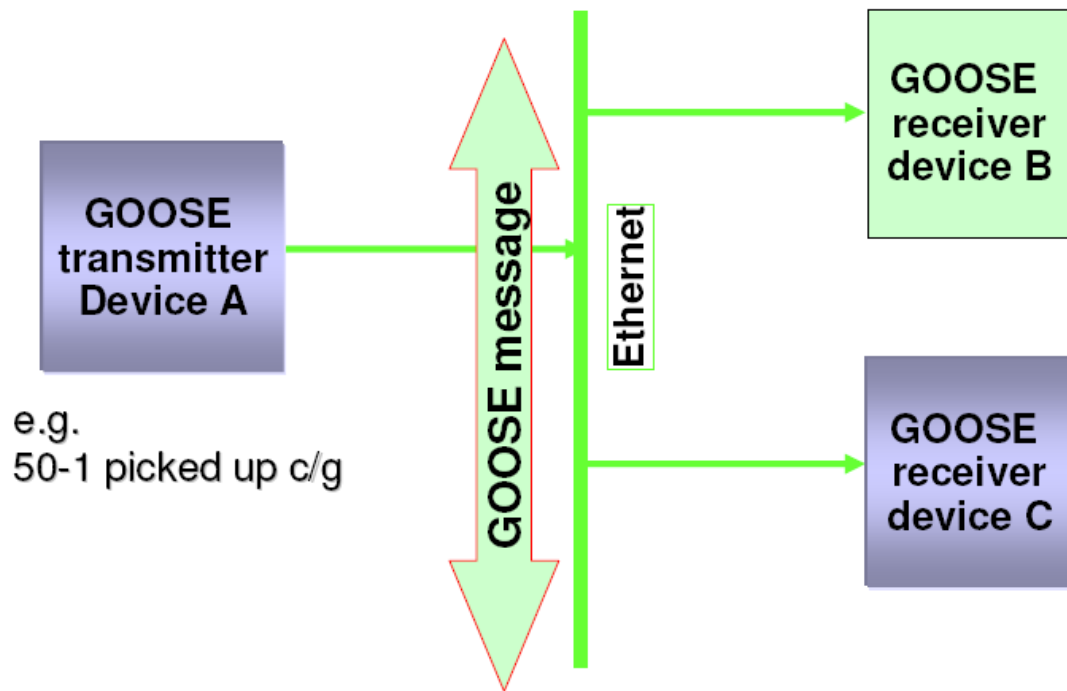
Time Synchronization είναι η υπηρεσία που προσφέρει διεθνή ώρα UTC στις συσκευές που αποτελούν το δίκτυο IEC61850 καθώς και στα μηνύματα που ανταλλάσσονται (time stamped messages).

Αναγκαία είναι η ύπαρξη μιας συσκευής δέκτη ώρας GPS που παίζει ρόλο time master, μιας συσκευής που κατέχει ρόλο time server, καθώς και του γνωστού πρωτοκόλλου SNTP (Simple Network Time Protocol). Βάσει αυτού όλες οι συσκευές του δικτύου συγχρονίζονται και σε κάθε μήνυμα που δημιουργούν, ενθυλακώνουν και το στιγμιότυπο του χρόνου (timestamp).

Η υπηρεσία **File Transfer** παρέχει τη δυνατότητα μεταφοράς αρχείων, όπως για παράδειγμα, παραμετροποίησης η/ν, μεταφορά αρχείων καταγραφής σφαλμάτων (fault records) από τους η/ν προστασίας στον κεντρικό Η/Υ κλπ.

Τέλος, η υπηρεσία **GOOSE** – Generic Object Oriented Substation Event, παρέχει τη δυνατότητα για αξιόπιστη και ταχεία αποκεντρωμένη διανομή πληροφοριών μεταξύ η/ν (IED's), προσφέροντας την ταυτόχρονη παράδοση μιας πληροφορίας σε μία ή περισσότερες φυσικές συσκευές μέσω multicast & broadcast.

Η ανταλλαγή πληροφοριών βασίζεται σε έναν μηχανισμό εκδότη / συνδρομητών, όπου η φυσική συσκευή «εκδότης» εκδίδει μία πληροφορία και όσες φυσικές συσκευές είναι δηλωμένες ως «συνδρομητές» της, τη λαμβάνουν ταυτόχρονα. Η λειτουργία αυτή επιτυγχάνεται μέσω εικονικών διευθύνσεων MAC, όπου για κάθε πληροφορία GOOSE, δημιουργείται μία εικονική διεύθυνση MAC την οποία κατέχουν όλοι οι «συνδρομητές». Έτσι, ενώ μεταδίδει ο «εκδότης» το μήνυμα, το λαμβάνουν μόνο οι «συνδρομητές», παρ' όλο που το μήνυμα εκπέμπεται σε όλο το δίκτυο, όπως δείχνει και το ακόλουθο σχήμα.



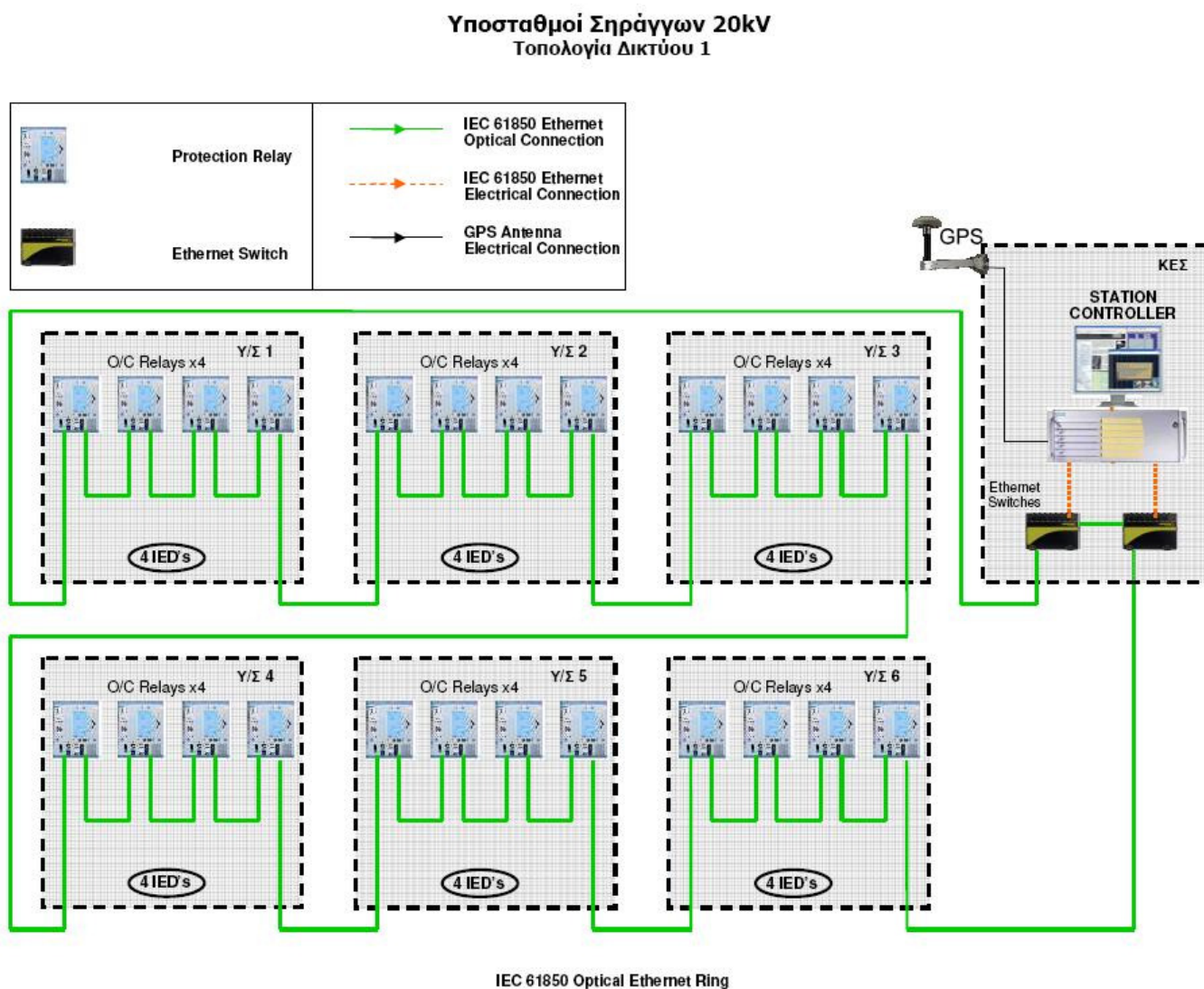
Σχήμα 3.16: Επιλεκτική μετάδοση μηνύματος GOOSE

4. Διαμόρφωση του Συστήματος βάσει πρωτοκόλλου IEC61850

4.1 Δομή δικτύου

Το εν λόγω σύστημα των έξι υποσταθμών είναι κατανεμημένο, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η χρησιμοποίηση ηλεκτρικού καλωδίου (TP) για τη διασύνδεση μεταξύ των υποσταθμών. Έτσι, απαιτείται χρήση πολύτροπης οπτικής ίνας διαμέτρου πυρήνα 50/62.5μm. Εντός των υποσταθμών τα μήκη καλωδιώσεων δεν ξεπερνούν τα 5m, οπότε μπορεί να γίνει χρήση οπτικής ίνας ή ηλεκτρικού καλωδίου.

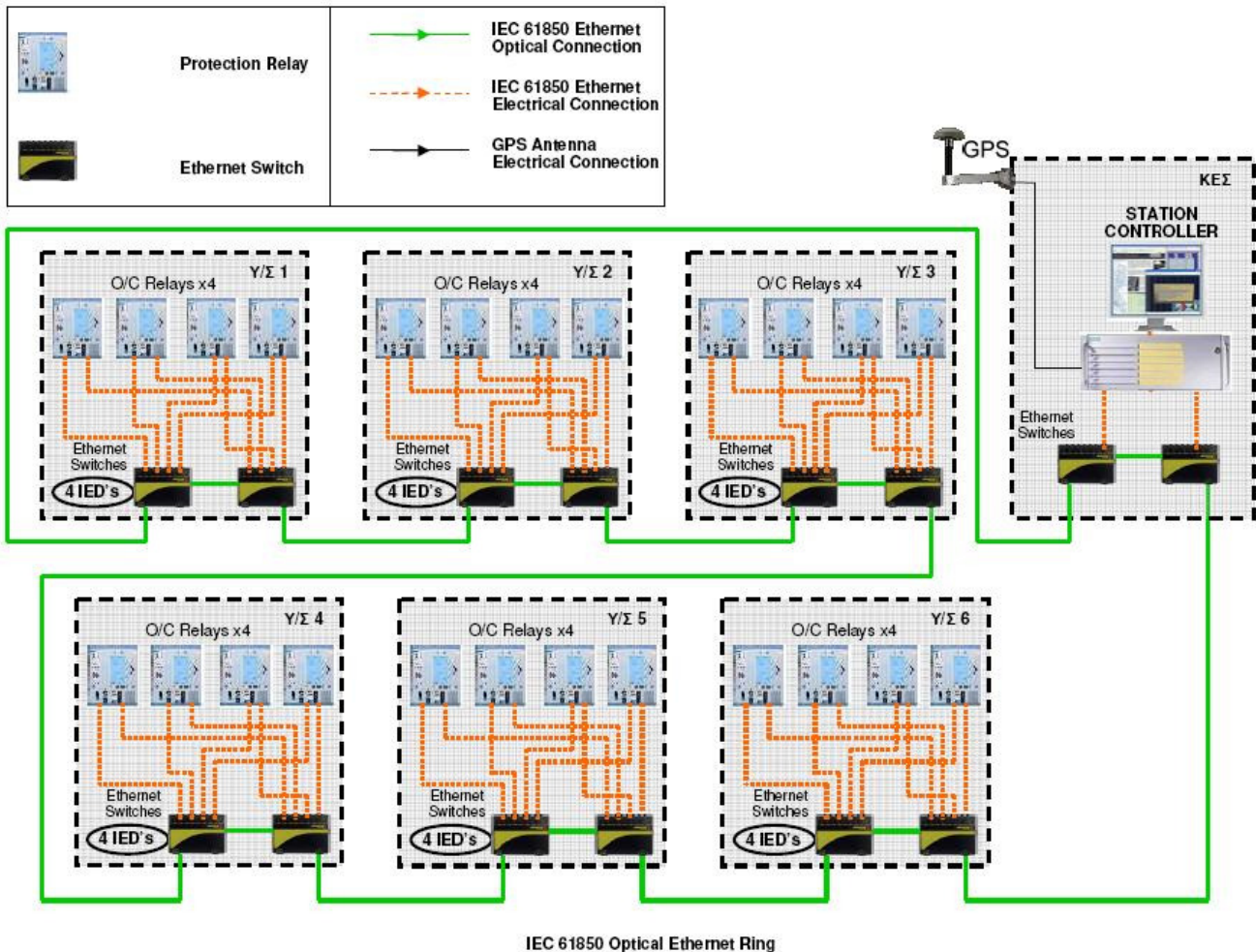
Έτσι, για τη δεδομένη περίπτωση του συστήματος προστασίας των έξι υποσταθμών το δίκτυο μπορεί να έχει μεταξύ άλλων, μια από τις ακόλουθες μορφές:



Σχήμα 4.1: Τοπολογία δικτύου οπτικού δακτυλίου, απαρτιζόμενου από ηλεκτρονόμους προστασίας με οπτική θύρα.

Σε αυτήν την τοπολογία, οι ηλεκτρονόμοι προστασίας (που διαθέτουν οπτική θύρα Ethernet) και τα δύο Ethernet Switches συνδέονται διαδοχικά μεταξύ τους σχηματίζοντας έναν οπτικό δακτύλιο. Ο δακτύλιος προσφέρει εφεδρεία (redundancy) στην δρομολόγηση των πληροφοριών μέσω του πρωτοκόλλου RSTP. Ο ελεγκτής του σταθμού (station controller) συνδέεται με UTP καλώδιο με τα δύο switches ώστε και πάλι να υπάρχει εφεδρεία.

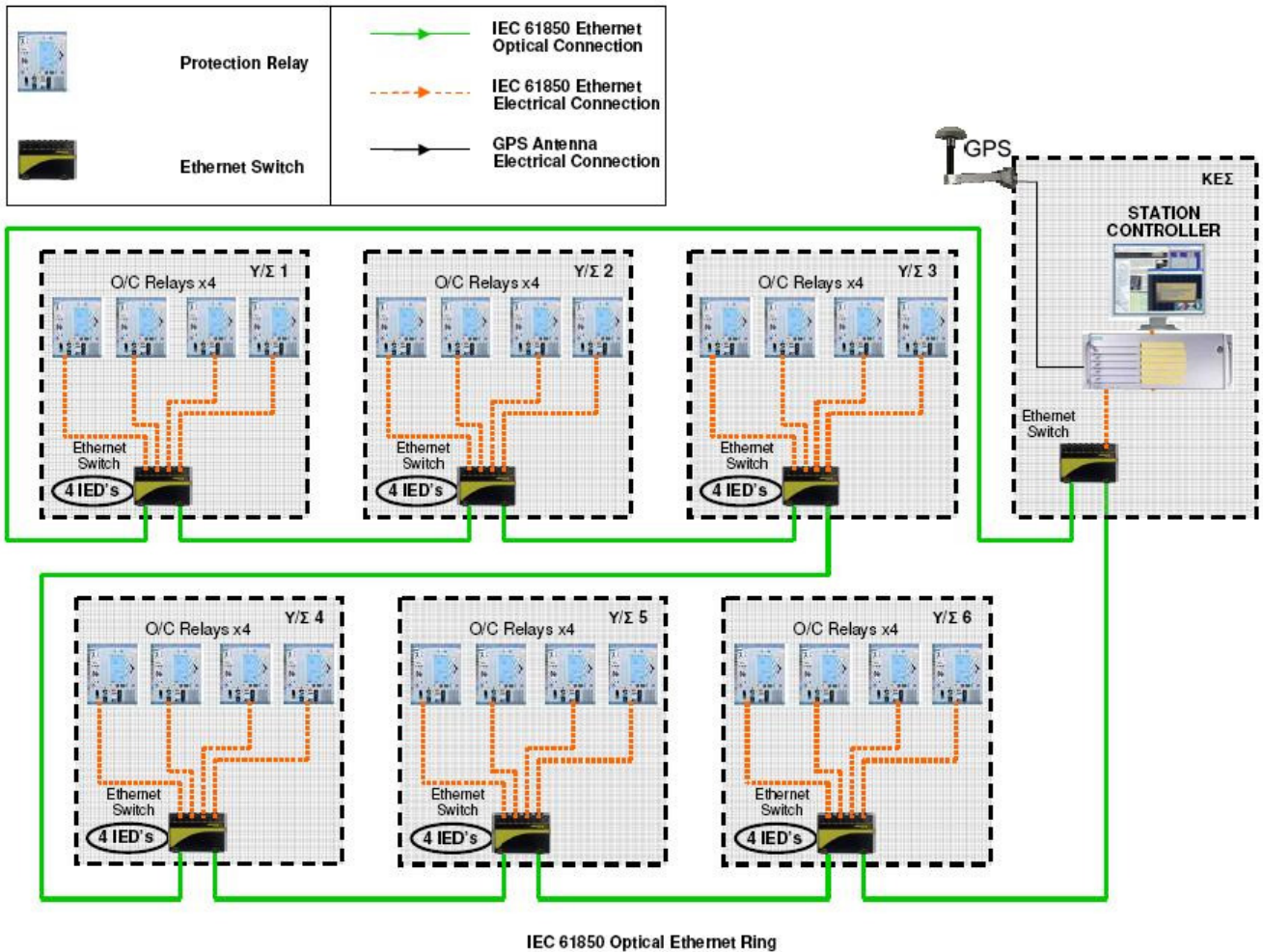
Υποσταθμοί Σηράγγων 20kV Τοπολογία Δικτύου 2



Σχήμα 4.2: Τοπολογία δικτύου οπτικού δακτυλίου, απαρτιζόμενου από Ethernet Switches.

Σε αυτήν την τοπολογία, οι ηλεκτρονόμοι προστασίας (που διαθέτουν ηλεκτρική θύρα Ethernet) συνδέονται σε δύο Ethernet Switches σε κάθε υποσταθμό. Έτσι, επιτυγχάνεται εφεδρεία όσον αφορά την απώλεια ενός switch. Τα δε Ethernet switches συνδέονται διαδοχικά μεταξύ τους σχηματίζοντας έναν οπτικό δακτύλιο. Ο δακτύλιος προσφέρει εφεδρεία (redundancy) στην δρομολόγηση των πληροφοριών μέσω του πρωτοκόλλου RSTP. Ο ελεγκτής του σταθμού (station controller) συνδέεται με UTP καλώδιο με τα δύο switches ώστε και πάλι να υπάρχει εφεδρεία. Το πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι ότι υπάρχει σημείο πρόσβασης στο δίκτυο σε κάθε Y/Σ, (π.χ. με ένα φορητό H/Y).

Υποσταθμοί Σηράγγων 20kV Τοπολογία Δικτύου 3



Σχήμα 4.3: Τοπολογία δικτύου οπτικού δακτυλίου, απαρτιζόμενο από Ethernet Switches.

Σε αυτήν την τοπολογία, οι ηλεκτρονόμοι προστασίας (που διαθέτουν ηλεκτρική θύρα Ethernet) συνδέονται σε ένα Ethernet Switch σε κάθε υποσταθμό. Αυτή είναι μια οικονομική λύση, όπου δεν επιτυγχάνεται εφεδρεία όσον αφορά την απώλεια ενός switch. Τα δε Ethernet switches συνδέονται διαδοχικά μεταξύ τους σχηματίζοντας έναν οπτικό δακτύλιο. Ο δακτύλιος προσφέρει εφεδρεία (redundancy) στην δρομολόγηση των πληροφοριών μέσω του πρωτοκόλλου RSTP. Ο ελεγκτής του σταθμού (station controller) συνδέεται με UTP καλώδιο με το switch, οπότε εδώ δεν υπάρχει εφεδρεία όσον αφορά τον station controller.

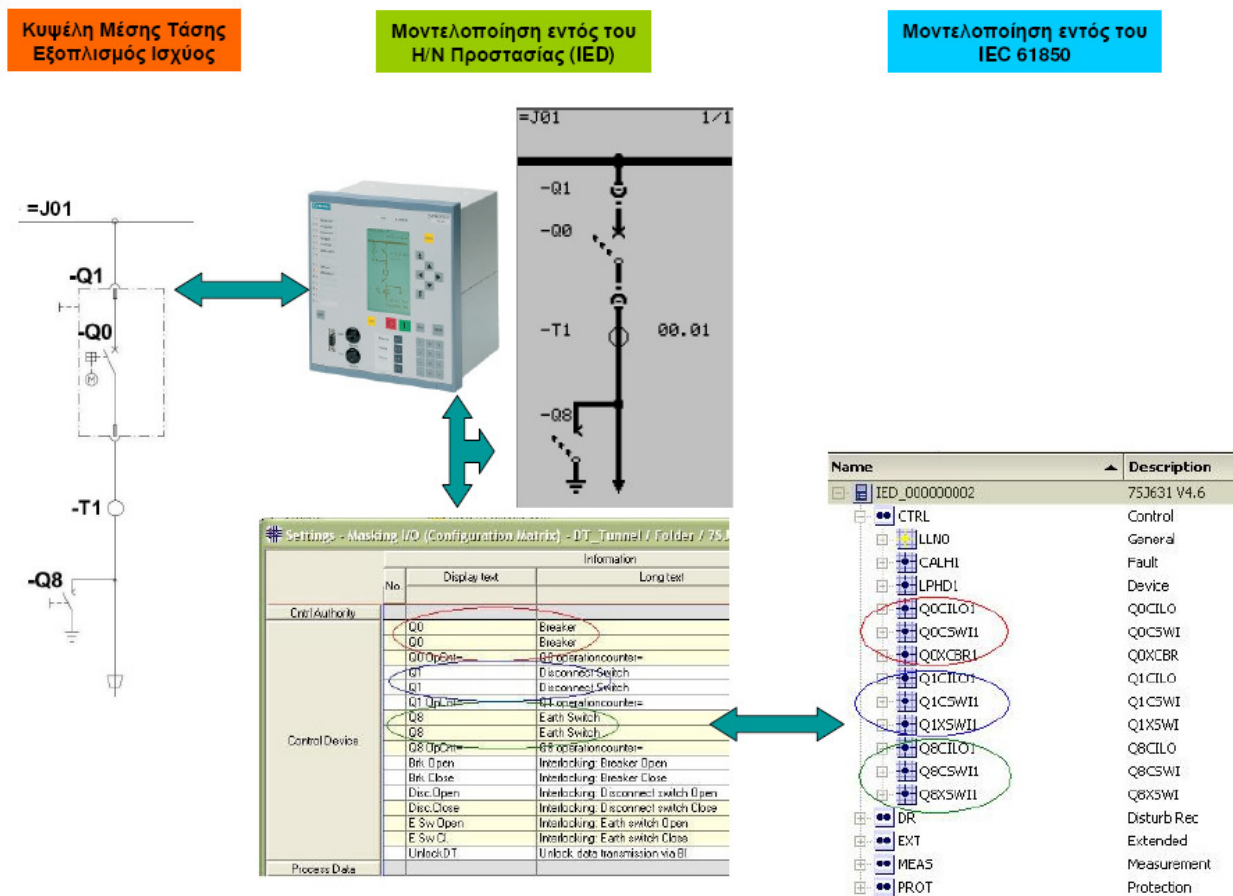
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η απώλεια του station controller δεν επιφέρει κανένα πρόβλημα στη λειτουργία του συστήματος αλληλασφαλίσεων και προστασίας μέσω μηνυμάτων GOOSE, παρά μόνο στη διεπαφή ανθρώπου μηχανής (απεικόνιση – χειρισμοί) που γίνονται από το Κέντρο Ελέγχου Σήραγγας.

Τέλος σε κάθε περίπτωση στον station controller εγκαθίσταται ένας δέκτης GPS, όπου συνδέεται με κεραία στον οροφή του κτιρίου προκειμένου να συγχρονίζει

την ώρα του με την Παγκόσμια Ώρα. Η ώρα αυτή μεταδίδεται μέσω του πρωτοκόλλου SNTP σε όλο το δίκτυο.

4.2 Μοντελοποίηση του συστήματος

Σε κάθε κυψέλη μέσης τάσης εγκαθίσταται ένας ηλεκτρονόμος προστασίας, ο οποίος αφού είναι διασυνδεδεμένος στο δίκτυο IEC61850, θα αποκαλείται σύμφωνα με το πρότυπο στο εξής και IED (Intelligent Electronic Device). Σε κάθε τέτοιο IED γίνεται μια ένα – προς – ένα αντιστοίχιση του πρωτεύοντος εξοπλισμού της κυψέλης, όπως δείχνει και το ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 4.4: Αναπαράσταση μοντελοποίησης συστήματος στο IEC-61850.

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, αρχικά δημιουργούμε στο IED τον αντίστοιχο εξοπλισμό ισχύος της κυψέλης.

Settings - Masking I/O (Configuration Matrix) - DT_Tunnel / Folder / 7SJ631 V4.6/7SJ631																	
	Information			Source				Destination									
	No.	Display text	Long text	Type	BI	F	S	C	BO	LED	B	S	X	C	D	CM	
Control Device	Q8 OpCnt=	Q8 operationcounter=	VI														
	Brk Open	Interlocking: Breaker Open	IntSP				X										
	Brk Close	Interlocking: Breaker Close	IntSP				X										
	Disc.Open	Interlocking: Disconnect switch Open	IntSP				X										
	Disc.Close	Interlocking: Disconnect switch Close	IntSP				X										
	E Sw Open	Interlocking: Earth switch Open	IntSP				X										
	E Sw Cl.	Interlocking: Earth switch Close	IntSP				X										
	UnlockDT	Unlock data transmission via BI	IntSP				X										
	Q0	Breaker	CF_D2						Tr2								
	Q0	Breaker	DP		X4												
	Q1	Disconnect Switch	CF_D2														
	Q1	Disconnect Switch	DP_I		X6												
	Q8	Earthing Switch	CF_D2														
	Q8	Earthing Switch	DP_I		X21												

Σχήμα 4.5: Εισαγωγή πληροφοριών στο IED

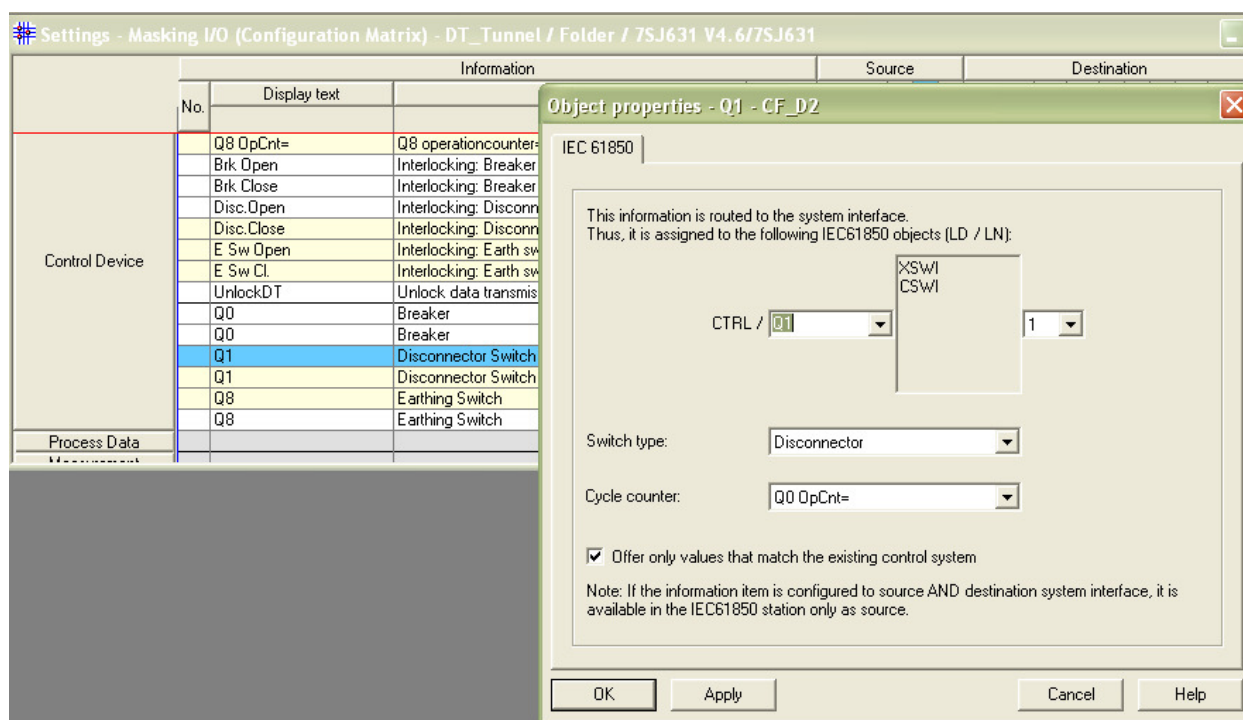
Έτσι, εισάγουμε τις πληροφορίες Q0 – Breaker, Q1 – Disconnect Switch και Q8 – Earthing Switch, οι οποίες είναι διπλές, αφ' ενός μεν η πρώτη είναι η εντολή, με προορισμό τα Binary Outputs του ηλεκτρονόμου, απ' όπου εκτελεί τις εντολές χειρισμού, αφ' ετέρου δε η δεύτερη είναι η κατάσταση του διακόπτη (feedback), που έχει προέλευση τα Binary Inputs του ηλεκτρονόμου.

Στη συνέχεια δηλώνουμε στη πληροφορία Q0 – Breaker – CF_D2 (εντολή) ως προέλευση το System Interface (απ' όπου παίρνει την εντολή χειρισμού) και εμφανίζεται η ακόλουθη μάσκα στην οποία δηλώνουμε την απεικόνιση της πληροφορίας στο IEC 61850, όπως φαίνεται παρακάτω:

Σχήμα 4.6: Παραμετροποίηση του A/A Q0 και δημιουργία LD/LN

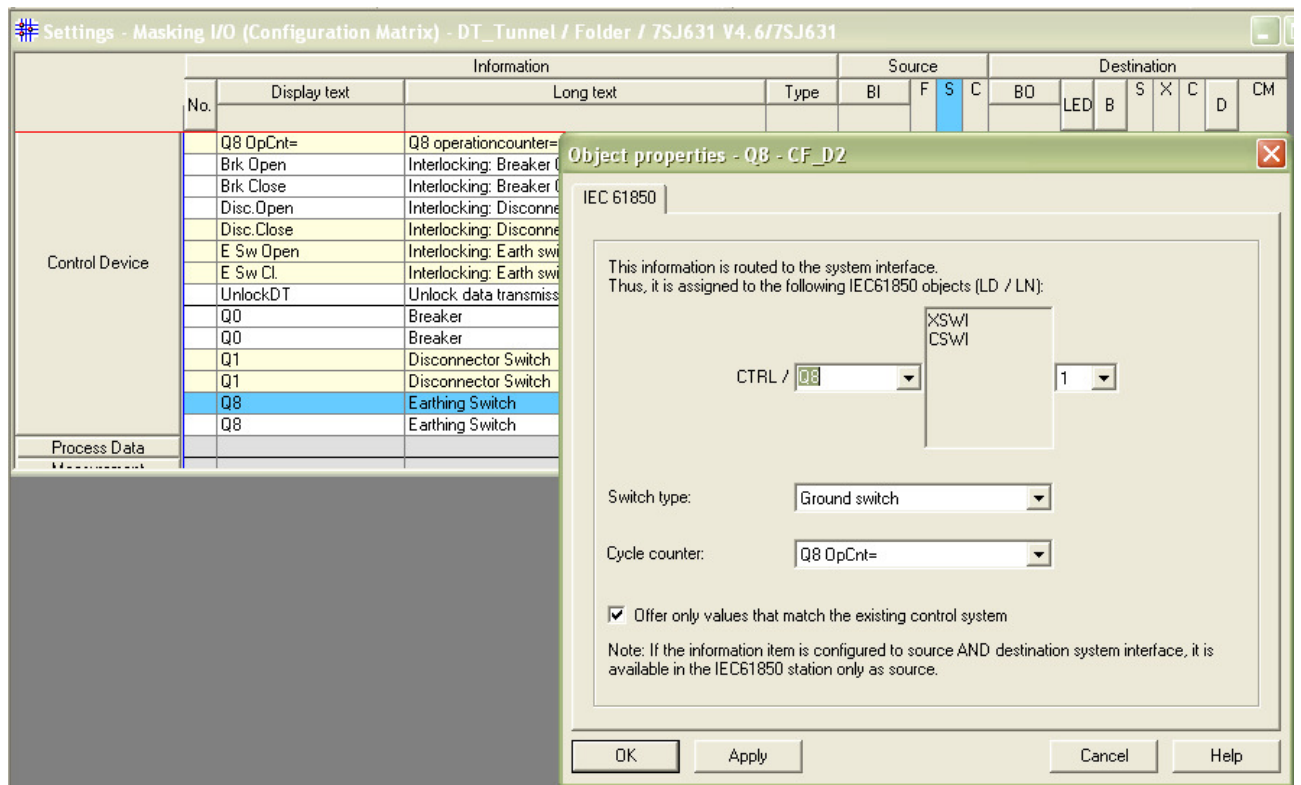
Εδώ δηλώνουμε ότι η πληροφορία Q0 – Breaker αντιστοιχεί στο IEC61850 στη Λογική Συσκευή (Logical Device ή LD) CTRL, στο Λογικό Κόμβο (Logical Node ή LN) Q0XCBR & Q0CSWI και τέλος έχει αύξοντα αριθμό 1. Επίσης δηλώνουμε ότι ο τύπος του διακοπτικού υλικού στο οποίο αναφερόμαστε είναι Circuit Breaker, ώστε να λάβει στο πρότυπο τις σωστές ιδιότητες ενός Αυτόματου Διακόπτη. Τέλος δηλώνουμε έναν μετρητή χειρισμών για τον διακόπτη. Αυτομάτως γίνεται και η δήλωση του προορισμού της κατάστασης του διακόπτη στο System Interface.

Αντίστοιχα για τον αποζεύκτη δηλώνουμε LD/LN τα ακόλουθα CTRL/Q1XSWI1 και CTRL/Q1CSWI1 και φυσικά ότι πρόκειται για αποζεύκτη και τον αντίστοιχο μετρητή χειρισμών.



Σχήμα 4.7: Παραμετροποίηση του Φορείου Q1 και δημιουργία LD/LN

Τέλος για τον γειωτή δηλώνουμε LD/LN τα ακόλουθα CTRL/Q8XSWI1 και CTRL/Q8CSWI1 και φυσικά ότι πρόκειται για γειωτή και τον αντίστοιχο μετρητή χειρισμών.



Σχήμα 4.8: Παραμετροποίηση του Γειωτή Q8 και δημιουργία LD/LN

Με βάσει τα παραπάνω, έχουμε ήδη δημιουργήσει μια 1-1 απεικόνιση του εξοπλισμού ισχύος στο πρότυπο IEC 61850 όπως φαίνεται ακολούθως:

Name	Description
IED_00000002	7SJ631 V4.6
CTRL	Control
LLNO	General
CALH1	Fault
LPHD1	Device
Q0CILO1	Q0CILO
Q0CSWI1	Q0CSWI
Q0XCBR1	Q0XCBR
Q1CILO1	Q1CILO
Q1CSWI1	Q1CSWI
Q1XSWI1	Q1XSWI
Q8CILO1	Q8CILO
Q8CSWI1	Q8CSWI
Q8XSWI1	Q8XSWI
DR	Disturb Rec
EXT	Extended
MEAS	Measurement
PROT	Protection

Σχήμα 4.9: Αναπαράσταση των Q0, Q1, Q8 στο IEC61850, ως Λογικοί Κόμβοι εντός της Λογικής Συσκευής Control.

Παρατηρούμε ότι για κάθε διακοπτικό στοιχείο έχουν δημιουργηθεί εντός του LD CTRL τρεις Λογικοί κόμβοι LN. Οι QxCILO1, οι QxCSWI1 και για τον μεν A/Δ η Q0XCBR1, ενώ για τον αποζεύκτη και τον γειωτή οι QxXSWI1.

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61850 ο λογικός κόμβος LN CILO (Interlocking controller) αφορά στις αλληλασφαλίσεις (interlockings). Όλοι οι κανόνες που αφορούν απελευθερώσεις ή δεσμεύσεις χειρισμών του συγκεκριμένου διακοπτικού στοιχείου εμπεριέχονται σε αυτόν τον λογικό κόμβο. Έτσι, όπως φαίνεται παρακάτω, υπάρχουν τα Data Objects που περιέχουν τις πληροφορίες Enable Close, Enable Open για τις αντίστοιχες απελευθερώσεις χειρισμών, το Mode που αφορά στο Interlocking Mode (ON/OFF) παράκαμψη των αλληλασφαλίσεων ή όχι και τέλος το Health που αφορά στην υγεία της πληροφορίας αυτής.

Name	Description
IED_000000002	75J631 V4.6
CTRL	Control
LLN0	General
CALH1	Fault
LPHD1	Device
Q0CILO1	Q0CILO
Beh	Behaviour
EnaCls	Enable Close
EnaOpn	Enable Open
Health	State
Mod	Mode

Σχήμα 4.10: Λογικός Κόμβος Q0CILO

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61850 ο λογικός κόμβος LN CSWI (Switch Controller) διαχειρίζεται όλες τις διακοπτικές λειτουργίες. Ελέγχει το δικαίωμα χειρισμού μιας εντολής (control authority), ζητά απελευθερώσεις χειρισμών από αλληλασφαλίσεις, έλεγχο συγχρονισμού, αυτόματη επαναφορά κλπ, και τέλος επιτηρεί την εκτέλεση της εντολής και δίνει σήμανση (alarm) σε περίπτωση άκυρης έκβασης της.

Name	Description
IED_000000002	75J631 V4.6
CTRL	Control
LLN0	General
CALH1	Fault
LPHD1	Device
Q0CILO1	Q0CILO
Q0CSWI1	Q0CSWI
Beh	Behaviour
Health	State
Loc	Control Auth
Mod	Mode
Pos	Position

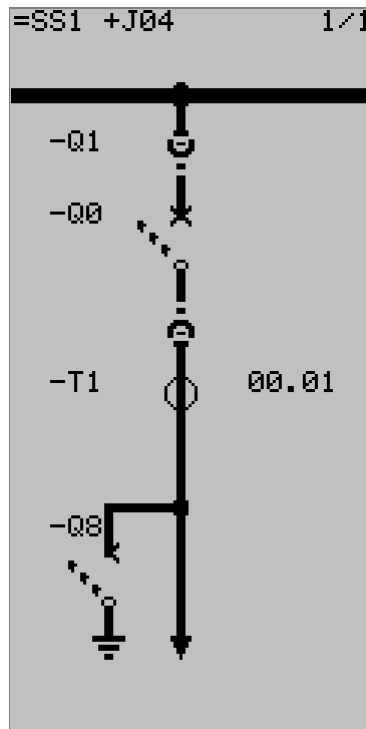
Σχήμα 4.11: Λογικός Κόμβος Q0CSWI

Τέλος, οι λογικοί κόμβοι XCBR (απευθύνεται σε Α/Δ) και XSWI (απευθύνεται σε διακοπτικά στοιχεία που δεν διακόπτουν βραχυκύκλωμα), αφορούν στην απεικόνιση των πραγματικών διακοπτικών στοιχείων. Έτσι, η κατάσταση του Α/Δ που μέσω των βοηθητικών επαφών του Α/Δ που συνδέονται στις ψηφιακές εισόδους του Η/Ν οδηγείται και απεικονίζεται στο στοιχείο XCBR στο Data Object Pos – Position. Εδώ απεικονίζονται μεταξύ άλλων και το δικαίωμα χρήσης του Α/Δ (Loc – Control Authority), η δυνατότητα χειρισμού του Α/Δ CBOpCap – Switch Capability, ο μετρητής χειρισμών OpCnt – TripCommandCounter, οι δεσμεύσεις χειρισμών BlkCls – Close Block και BlkOpn – Open Block κλπ.

Name	Description
IED_000000002	75J631 V4.6
CTRL	Control
LLND	General
CALH1	Fault
LPHD1	Device
Q0CILO1	Q0CILO
Q0CSWI1	Q0CSWI
Q0XCBR1	Q0XCBR
Beh	Behaviour
BlkCls	Close block
BlkOpn	Open block
CBOpCap	Switch capablty
Health	State
Loc	Control Auth
Mod	Mode
OpCnt	TripComdCounter
Pos	Position

Σχήμα 4.12: Λογικός Κόμβος Q0XCBR

Τέλος, υλοποιούμε το αντίστοιχο διαδραστικό μιμικό διάγραμμα του πρωτεύοντος εξοπλισμού στην οθόνη του ηλεκτρονόμου προστασίας δημιουργώντας έτσι, το πρώτο επίπεδο χειρισμού, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 4.13: Διαδραστική αναπαράσταση του πρωτεύοντος εξοπλισμού στην οθόνη του IED

4.3 Λογική υλοποίηση των αλληλασφαλίσεων εντός των Η/Ν

Έχοντας πλέον μοντελοποιήσει σε κάθε η/ν τον αντίστοιχο πρωτεύοντα εξοπλισμό υλοποιούμε τις αλληλασφαλίσεις των διακοπτικών στοιχείων, ώστε να μπορούν να χειριστούν με ασφάλεια.

Έτσι, για την «Αποφυγή γείωσης ηλεκτρισμένου διασυνδεδημένου καλωδίου», απαιτείται η μετάδοση του σήματος «Φορείο ΕΚΤΟΣ» από τον η/ν της μιας πλευράς του διασυνδεδημένου καλωδίου, στην άλλη μέσω μηνύματος GOOSE.

Η λογική που υλοποιείται σε κάθε η/ν διασύνδεσης είναι: Επιτρέπεται ο χειρισμός του τοπικού γειωτή, όταν από το απέναντι άκρο ισχύει το σήμα «Φορείο ΕΚΤΟΣ» ΚΑΙ το τοπικό φορείο είναι εκτός.

Αντίστοιχα, για την «Αποφυγή ηλεκτρίσης γειωμένου διασυνδεδημένου καλωδίου», απαιτείται η μετάδοση του σήματος «Γειωτής ΕΚΤΟΣ» από τον η/ν της μιας πλευράς του διασυνδεδημένου καλωδίου στην άλλη, μέσω μηνύματος GOOSE.

Παρόμοια, η λογική που υλοποιείται σε κάθε η/ν διασύνδεσης είναι: Επιτρέπεται ο χειρισμός του τοπικού φορείου, όταν από το απέναντι άκρο ισχύει το σήμα «Γειωτής ΕΚΤΟΣ» ΚΑΙ ο τοπικός γειωτής είναι εκτός.

Τέλος για την «Αποφυγή παραλληλισμού των δύο παροχών» απαιτείται η μετάδοση του σήματος «Α/Δ ΕΚΤΟΣ» από κάθε η/ν Αυτομάτου Διακόπτη, που απαρτίζει το βρόχο, προς κάθε άλλο αντίστοιχο η/ν, μέσω μηνύματος GOOSE.

Έτσι, επιτρέπεται ο χειρισμός ενός Α/Δ του βρόχου, όταν υπάρχει έστω ένας άλλος Α/Δ του βρόχου ανοικτός. Δηλαδή, η λογική Η διασύνδεση των σημάτων «Α/Δ ΕΚΤΟΣ» των υπόλοιπων Α/Δ που απαρτίζουν το βρόχο.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω λογικών πράξεων που υλοποιούνται σε κάθε η/ν είναι αυτά που ενεργοποιούν ή απενεργοποιούν τις παραμέτρους των Data Objects που περιέχουν τις πληροφορίες Enable Close, και Enable Open, των Λογικών Κόμβων CILO όλων των διακοπτικών στοιχείων.

Οπότε, όταν για παράδειγμα υπάρχει έστω και ένας άλλος διακόπτης του βρόχου ανοικτός η λογική πράξη Η, των σημάτων «Α/Δ ΕΚΤΟΣ», δίνει αποτέλεσμα «1», που οδηγείται στο Enable Close του Λογικού Κόμβου Q0CILO, του μοντέλου του Α/Δ εντός του η/ν. Έτσι, επιτρέπεται ο χειρισμός του συγκεκριμένου Α/Δ.

Αντίστοιχα, οδηγούνται τα αποτελέσματα των υπόλοιπων αλληλασφαλίσεων στα Data Objects Enable Close στους Λογικούς Κόμβους Q1CILO για το φορείο και Q8CILO για τον γειωτή.

4.4 Επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρονόμων προστασίας και ανταλλαγή μηνυμάτων GOOSE

Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, θα πρέπει οι η/ν εκατέρωθεν μιας καλωδιακής διασύνδεσης να ανταλλάζουν μηνύματα GOOSE μεταξύ τους, ώστε ο ένας η/ν να μάθει καταστάσεις διακοπτικών στοιχείων του άλλου.

Δημιουργούμε τις προς αποστολή πληροφορίες στον ηλεκτρονόμο «Εκδότη»

No.	Information		Source				Destination								
	Display text	Long text	T	BI	F	S	C	BO	LED	B	S	X	C	D	CM
Device						*	*				*	*			
EN100-Modul 1															
P.System Data 1											*	*			
Osc. Fault Rec.											*	*			
P.System Data 2											*	*			
Overcurrent											*				
Measurem.Superv											*				
Cntrl.Authority											*				
Control Device						*	*				*				
Process Data													*		
Measurement															
Demand meter															
Min/Max meter															
Set Points[MV]								*							
Energy															
Statistics											*				
SetPoint[Stat]															
Thresh.-Switch															*
Goose In															
Goose Out	S1J4-Q0OFF	=SS1 +J04 -Q0 OFF										X			
	S1J4-Q1OFF	=SS1 +J04 -Q1 OFF										X			
	S1J4-Q8OFF	=SS1 +J04 -Q8 OFF										X			

Σχήμα 4.14: Εισαγωγή πληροφοριών προς εκπομπή στο IED

Και αντίστοιχα, δημιουργούμε τις πληροφορίες προς λήψη στους η/ν «συνδρομητές».

	Information			Source				Destination								
	No.	Display text	Long text	T	BI	F	S	C	BO	LED	B	S	X	C	D	CM
Device						x	x					x	x			
EN100-Modul 1																
P.System Data 1																
Osc. Fault Rec.												x	x			
P.System Data 2												x	x			
Overcurrent												x				
Measurem.Superv												x				
Ctrl Authority												x				
Control Device						x	x					x				
Process Data														x		
Measurement																
Demand meter																
Min/Max meter																
Set Points(MV)								x								
Energy																
Statistics													x			
SetPoint(Stat)																
Thresh.-Switch																x
Goose In	S1J4-Q0OFF	=SS1 +J04 -Q0 OFF						X								
	S1J4-Q1OFF	=SS1 +J04 -Q1 OFF						X								
	S1J4-Q8OFF	=SS1 +J04 -Q8 OFF						X								
Goose Out													x			

Σχήμα 4.15: Εισαγωγή πληροφοριών προς λήψη στο IED

Και τέλος γίνεται η διασύνδεση αυτών:

The screenshot displays the configuration interface for IEDs. At the top, the 'Interconnections' table shows a connection between SS1_J04/CTRL/TxGGIO1 and SS2_J01/CTRL/RxGGIO1. Below this, the 'Sources' and 'Destinations' panels show the internal structure of the IEDs. The 'Sources' panel for SS1_J04 lists various components like LLN0, CALH1, LPHD1, and SPCS01-SPCS03. The 'Destinations' panel for SS2_J01 lists similar components. The SPCS01, SPCS02, and SPCS03 entries in the source tree are highlighted, indicating they are the targets of the interconnection.

Σχήμα 4.16: Διασύνδεση πληροφοριών μεταξύ των IED's

4.5 Σχήμα προστασίας βασισμένο σε αλληλοδεσμεύσεις – Λογική υλοποίηση εντός των Η/Ν

Με βάση το γεγονός ότι η χρήση του πρωτοκόλλου επικοινωνίας IEC 61850 και η υπηρεσία GOOSE έχουν εξασφαλίσει έναν αξιόπιστο, γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο διασύνδεσης των η/ν μεταξύ τους μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το σχήμα προστασίας της παραγράφου 2.3.δ., δηλαδή το σχήμα προστασίας με βάση τις αλληλοδεσμεύσεις μεταξύ η/ν.

Προκειμένου να υλοποιηθεί το εν λόγω σχήμα, θα πρέπει το σήμα διέγερσης ενός σταδίου υπερέντασης πχ. 50-2 Pickup, από κάθε η/ν να μεταδίδεται στους δύο εκατέρωθεν του (εκτός από τις εισόδους, όπου το στέλνουν μόνο σε έναν).

Γι' αυτό δημιουργούμε δύο πληροφορίες σε κάθε η/ν «δέσμευση από Ανατολικά» και «δέσμευση από Δυτικά», “BlockEast”, “BlockWest”, που θα δεχθούν τα μηνύματα 50-2 Pickup από τον ανατολικό και τον δυτικό η/ν αντίστοιχα.

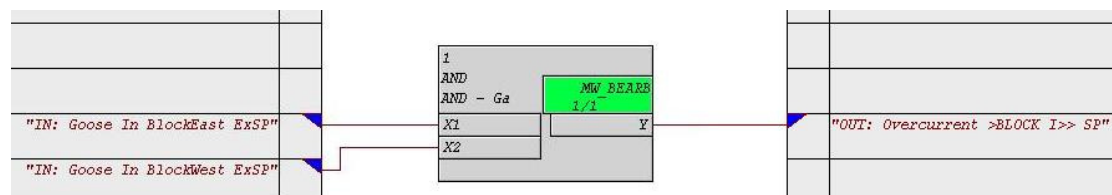
The screenshot displays the configuration interface for IEDs. At the top, the 'Interconnections' table shows connections between protection functions of different IEDs:

Source	Description	Destination	Description
SS2_004/PROT/...	=SS2 +J04/Protection/DMT I>>/Pickup/3-pole	SS2_001/CTRL/RxGGIO1...	=SS2 +J01/Control/RxGGIO1/Block from East
SS1_004/PROT/...	=SS1 +J04/Protection/DMT I>>/Pickup/3-pole	SS2_001/CTRL/RxGGIO1...	=SS2 +J01/Control/RxGGIO1/Block from Wset

Below, the 'Sources' and 'Destinations' panels show the hierarchical structure of protection and control functions. In the Destinations panel, 'SPCS04' (Block from East) and 'SPCS05' (Block from Wset) are highlighted, indicating the target logic for the interconnections.

Σχήμα 4.17: Διασύνδεση πληροφοριών μεταξύ των IED's

Έτσι, κάθε η/ν θα δέχεται δύο σήματα, που συνδυαζόμενα με λογική «ΚΑΙ», θα δεσμεύουν το αντίστοιχο στάδιο του.



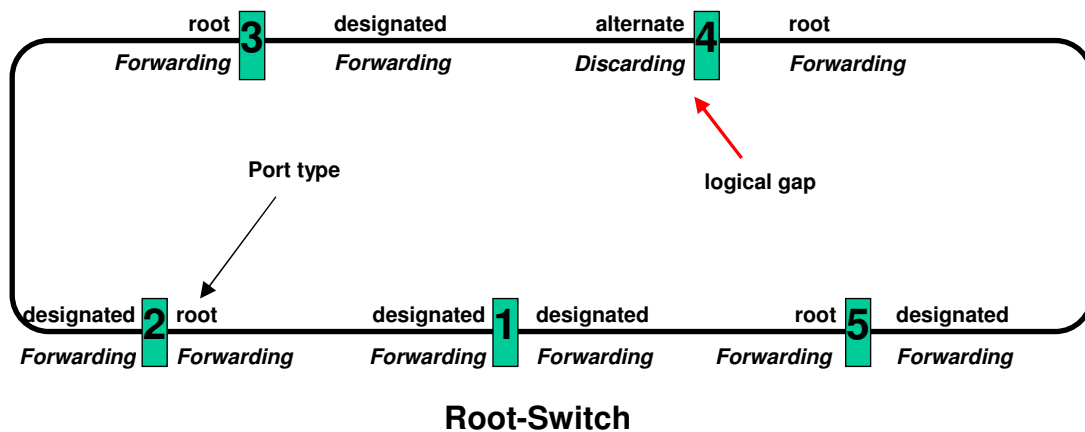
Σχήμα 4.18: Λογική διασύνδεση «ΚΑΙ» των πληροφοριών, για δέσμευση του σταδίου 50-2.

Παράλληλα με την ύπαρξη του δεσμευμένου σταδίου 50-2, προτείνεται και η λειτουργία ενός σταδίου 50-1 με την ίδια ρύθμιση έντασης και μεγαλύτερο χρόνο π.χ. 150ms, που θα λειτουργεί χωρίς δεσμεύσεις ως εφεδρικό του 50-2.. Έτσι, σε περίπτωση που δεν ανοίξει σε μικρό χρόνο ο εγγύτερος στο σφάλμα Α/Δ για οποιοδήποτε λόγο, να ανοίξουν όλοι οι υπόλοιποι λίγο αργότερα.

4.6 Ανάλυση συμπεριφοράς συστήματος σε περιπτώσεις δυσλειτουργίας του δικτύου

4.6.1 Δίκτυο Τοπολογίας Δακτυλίου

Ένα δίκτυο δομημένο σε τοπολογία Δακτυλίου, έχει την ακόλουθη δομή.



Σχήμα 4.19: Δίκτυο σε τοπολογία Δακτυλίου

Λόγω της κυκλικής του μορφής, αν δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα, θα υπάρχουν ατέρμονα κυκλοφορούντα μηνύματα εντός του δακτυλίου, με αποτέλεσμα την αύξηση της κυκλοφορίας με γεωμετρική πρόοδο και με συνέπεια την πλήρη κατάρρευση του.

Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol), το οποίο δημιουργεί ένα λογικό άνοιγμα στον δακτύλιο ώστε να εμποδίζεται η κυκλοφορία των μηνυμάτων, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα η αριστερή θύρα του Switch 4 είναι σε κατάσταση Discarding, δηλαδή απορρίπτει όσα μηνύματα έρχονται απ' την πλευρά του switch 3 και παράλληλα δεν μεταδίδει προς την πλευρά του switch 3. Σε περίπτωση όμως που διακοπεί ο βρόχος σε κάποιο άλλο σημείο, λόγω είτε προβλήματος στο οπτικό καλώδιο, ή προβλήματος σε κάποιο switch, τότε το ανωτέρω λογικό κενό κλείνει άμεσα και αποκαθίσταται η διασύνδεση μεταξύ όλων των συσκευών.

Προκειμένου ο παραπάνω αλγόριθμος να λειτουργεί σωστά, τίθενται προτεραιότητες στα switches και μάλιστα το switch με την μεγαλύτερη

προτεραιότητα αποκαλείται root switch και είναι αυτό στο οποίο συνδέεται και ο ελεγκτής του Υποσταθμού (Station Controller)

4.6.2 Αξιοπιστία μηνυμάτων GOOSE

Τα μηνύματα GOOSE περιλαμβάνουν πληροφορίες που επιτρέπουν στη λαμβάνουσα συσκευή να γνωρίζει την αλλαγή μιας κατάστασης και ποια χρονική στιγμή άλλαξε τελευταία φορά. Έτσι η λαμβάνουσα συσκευή μπορεί να θέσει τοπικά χρονικά σχετικά με τη δεδομένη κατάσταση.

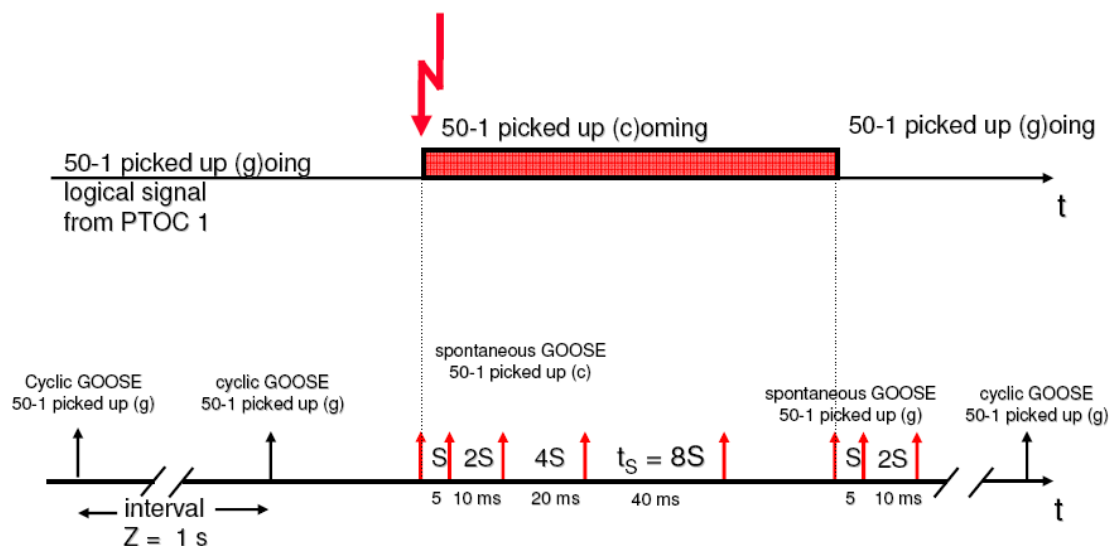
Ενώ σε περίπτωση όπου μια κατάσταση είναι σταθερή, η εκπέμπουσα συσκευή στέλνει η δεδομένη κατάσταση σε σταθερά χρονικά διαστήματα.

Έτσι, ορίζονται επίπεδα προτεραιοτήτων στα μηνύματα GOOSE, (υψηλή, μέτρια, χαμηλή), η υψηλή για μηνύματα που σχετίζονται με προστασίες, η μέτρια για μηνύματα που αφορούν αλληλασφαλίσεις και η χαμηλή για οτιδήποτε άλλο. Σε κάθε περίπτωση, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα, όσο μια κατάσταση είναι σταθερή, επανεκπέμπεται σε κυκλικά χρονικά διαστήματα, πχ $Z=1s$. Στην περίπτωση αλλαγής της κατάστασης το μήνυμα εκπέμπεται σε χρονικά διαστήματα που ακολουθούν τον κανόνα $t=2v$, όπου $v=1,2,3,\dots$ για όσο $t < Z$. Στη συνέχεια το μήνυμα εκπέμπεται ξανά κυκλικά σε χρονικά διαστήματα Z .

Είναι φανερό, ότι :

α) αν χαθεί κάποιο τηλεγράφημα η λαμβάνουσα πλευρά είναι σε θέση να το αντιληφθεί και

β) κατά την αλλαγή κατάστασης υπάρχει ένας καταιγισμός τηλεγραφημάτων ώστε ακόμη και αν υπάρξουν κάποιες απώλειες τηλεγραφημάτων, να ελαχιστοποιηθεί η καθυστέρηση με την οποία ο λαμβάνων η/ν θα λάβει το μήνυμα.



Σχήμα 4.20: Χρονική αναπαράσταση μετάδοσης GOOSE μηνυμάτων

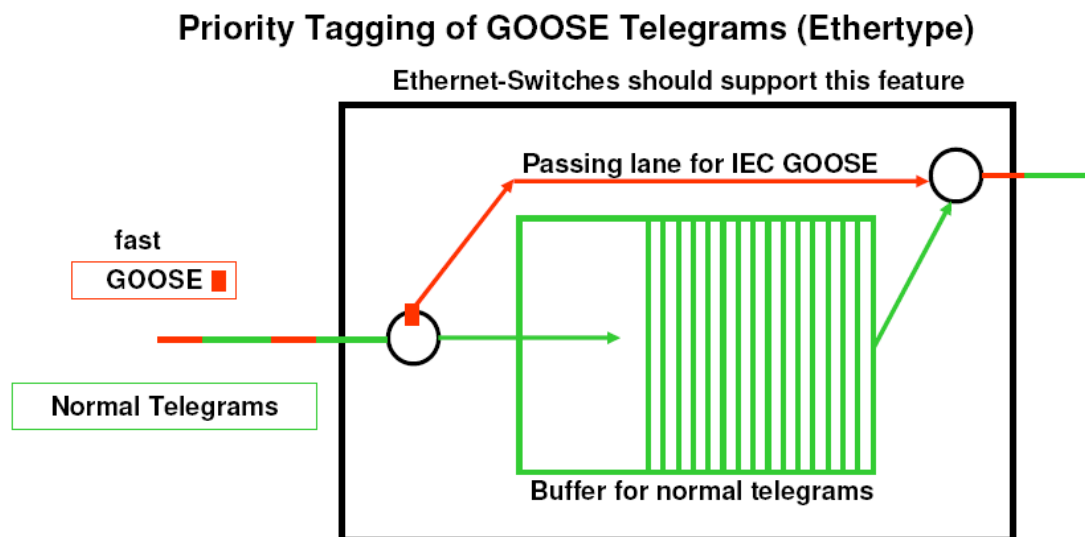
Φυσικά απ' τη στιγμή, που ο παραλήπτης του μηνύματος είναι σε θέση να γνωρίζει την «υγεία» ενός μηνύματος που λαμβάνει, δίνεται η δυνατότητα κατά την παραμετροποίηση του συστήματος να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα ώστε σε

περιπτώσεις μη αξιόπιστης επικοινωνίας, το σύστημα να έχει την επιθυμητή συμπεριφορά.

Έτσι, για παράδειγμα στα μηνύματα που αφορούν σε αλληλασφαλίσεις μπορεί στη λογική που υλοποιείται στον η/ν, εκτός από το να ισχύει η αλληλασφάλιση, θα πρέπει να είναι έγκυρη και η πληροφορία που λαμβάνεται, προκειμένου να απελευθερωθεί ο χειρισμός ενός διακοπτικού στοιχείου.

Αντίστοιχα, στην περίπτωση της προστασίας με αλληλοδέσμευση, θα πρέπει όταν δεν είναι έγκυρη η πληροφορία που λαμβάνεται, να απελευθερώνεται το συγκεκριμένο στάδιο, οδηγώντας έτσι σε υπερλειτουργικότητα του συστήματος προστασίας (θα ανοίξουν περισσότεροι του ενός Α/Δ σε περίπτωση σφάλματος).

Τέλος, η χρήση τηλεγραφημάτων GOOSE στο IEC61850 αξιοποιεί τη δυνατότητα προτεραιοτήτων στη μετάδοση, έτσι όταν φθάσει ένα τηλεγράφημα GOOSE σε ένα switch, στο οποίο υπάρχουν συσσωρευμένα μηνύματα προς μετάδοση (λόγω φόρτου), το μήνυμα GOOSE έχει προτεραιότητα και μεταδίδεται πρώτο όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4.21: Σχηματική αναπαράσταση προτεραιότητας GOOSE μηνυμάτων.

5. Συμπεράσματα

Το IEC61850 είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας φτιαγμένο για υποσταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας και συστήματα προστασίας αυτών, (και όχι ένα γενικό βιομηχανικό πρωτόκολλο), που προσφέρει γρήγορη, και αξιόπιστη μετάδοση πληροφοριών, και δίνει τη δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ συσκευών ακόμη και διαφορετικών κατασκευαστών (interoperability).

5.1 Αναφορά στο εν λόγω σύστημα

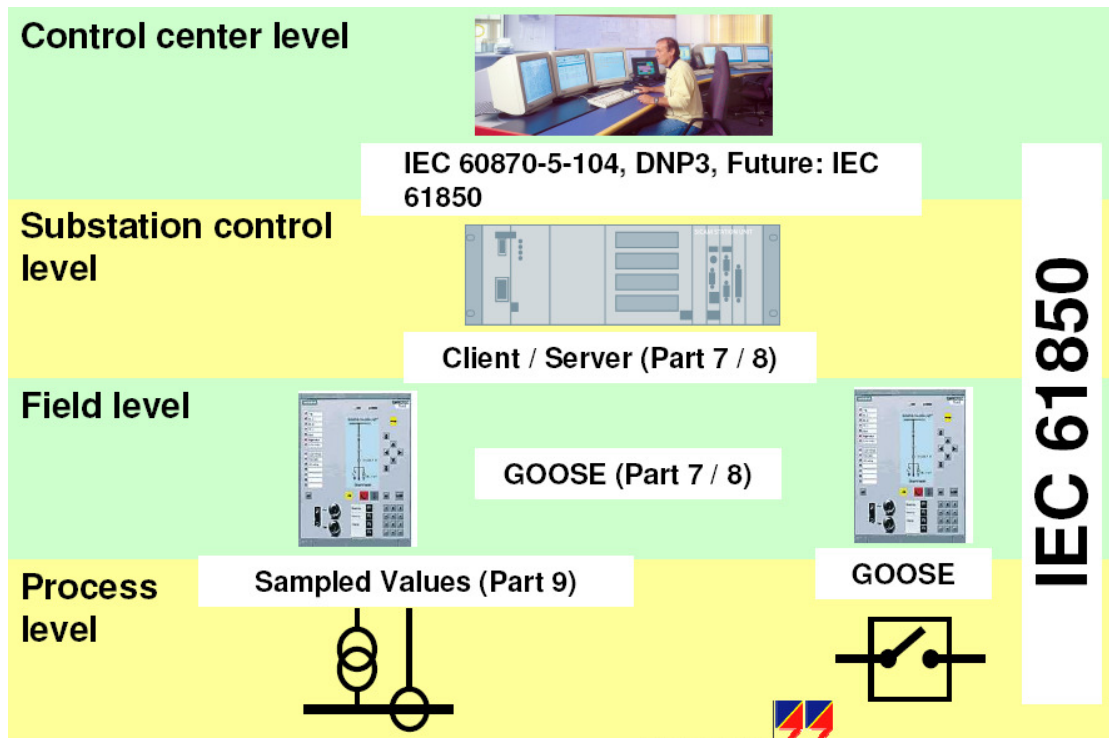
Το συγκεκριμένο σύστημα που χρησιμοποιήθηκε ως παράδειγμα δείχνει ξεκάθαρα τα πλεονεκτήματα χρήσης του IEC61850, αφού αποφεύγονται οι μεγάλοι μήκους καλωδιώσεις (και τα προβλήματα EMI που ενέχουν), παρέχει τη δυνατότητα κατανεμημένης ευφυΐας μεταξύ των η/ν προστασίας, δίνει τη δυνατότητα σε έναν χρήστη που θα συνδεθεί σε κάποιον υποσταθμό να μάθει την τρέχουσα κατάσταση όλων των άλλων υποσταθμών.

Τέλος, επιτυγχάνονται ασφαλείς χειρισμοί σε όλα τα επίπεδα (τοπικά – απομακρυσμένα κλπ), καθώς και η υλοποίηση ενός απλού, γρήγορου και ασφαλούς συστήματος προστασίας με απόλυτη επιλεκτικότητα.

5.2 Παρόν και μέλλον του πρωτοκόλλου IEC61850

Το IEC61850 έχει ήδη εφαρμοστεί με επιτυχία σε πολλές χώρες παγκοσμίως, μεταξύ άλλων και στην Ελλάδα. Η ΔΕΗ τα τελευταία χρόνια το έχει εντάξει στις προδιαγραφές της και όσοι νέοι υποσταθμοί γίνονται (ακόμη και ιδιωτών), υλοποιούνται βάσει αυτού.

Στο μέλλον είναι βέβαιο ότι θα συναντήσουμε το εν λόγω πρότυπο και στη διασύνδεση μεταξύ υποσταθμού και απομακρυσμένου κέντρου ελέγχου, όπως και υποσταθμών μεταξύ τους. Δίνοντας έτσι τη δυνατότητα ακόμη και κατανεμημένων σχημάτων προστασίας (π.χ. διαφορική γραμμής μέσω IEC61850)



Σχήμα 4.22: Παρόν και Μέλλον πρωτοκόλλου IEC61850

Τέλος, ένα πεδίο εξέλιξης ακόμη (που βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο αυτή τη στιγμή), είναι η μετατροπή των στοιχείων του πρωτεύοντος εξοπλισμού (Α/Δ, Μετασχηματιστές Έντασης – Τάσης) σε IED's, δηλαδή έξυπνες συσκευές με δυνατότητα δικτύωσης. Έτσι, π.χ. οι μετρούμενες εντάσεις από ένα Μ/Ε θα δειγματοληπτούνται απ' ευθείας από το Μ/Ε και θα αποστέλλονται ψηφιακά μέσω δικτύου στον ηλεκτρονόμο υπερέντασης, ο οποίος θα εκδίδει εντολή πτώσης (trip), που θα οδηγείται και αυτή δικτυακά στον Α/Δ, ο οποίος με τη σειρά του θα ανοίγει.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 61850 pt 5, “Communication requirements for functions and device models”, IEC, 2003
2. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 61850 pt 7.1, “Basic communication structure for substation and feeder equipment – Principles and models”, IEC, 2003
3. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 61850 pt 7.2, “Basic communication structure for substation and feeder equipment – Abstract communication service interface”, IEC, 2003
4. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 61850 pt 7.4, “Communication Networks and Systems in Substations – Basic communication structure for substation and feeder equipment - Compatible logical node classes and data classes”, IEC, 2003
5. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC 61850 pt 9.1, “Communication Networks and Systems in Substations – Specific Communication Service Mapping (SCSM)”, IEC, 2003
6. SIEMENS, Internet Site, http://siemens.siprotec.de/download_neu/index_d.htm