



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΝΑΕΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

ΑΦΡΟΔΙΤΗ ΚΑΝΤΑ
Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ

Επιβλέπων Καθηγητής: ΧΡΥΣΟΣΤΟΜΟΣ ΔΟΥΚΑΣ
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάιος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ Μ/Υ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ»



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΝΑΕΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Αφροδίτη Καντά
Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 20η Ιουνίου 2023.

.....
Ιωάννης Ψαρράς
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Χρυσόστομος Δούκας
Καθηγητής ΕΜΠ

.....
Ευάγγελος Μαρινάκης
Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάιος 2023

Αφροδίτη Καντά

Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ

Copyright © Αφροδίτη Καντά, 2023.

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.

Τώρα που έπειτα από τριάντα χρόνια επαγγελματικής δραστηριότητας κατάφερα παράλληλα με την εργασία μου να ολοκληρώσω με την παρούσα, τις σπουδές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «*ΤΕΧΝΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ*» νιώθω, εκτός από χαρά και ικανοποίηση, την υποχρέωση να ευχαριστήσω όλο το διδακτικό προσωπικό του μεταπτυχιακού προγράμματος και ιδιαίτερα των επιβλέποντα καθηγητή κ. Χ. Δούκα που μου έδωσαν την ευκαιρία να ολοκληρώσω αυτό το ταξίδι γνώσης.

*Κρείττον οψιμαθή είναι ή αμαθή
(Σωκράτης)*

Περίληψη

Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, η ανάγκη ενεργειακής ανεξαρτησίας της Ευρώπης από τα ορυκτά καύσιμα, οι πολιτικές προώθησης της παραγωγής «καθαρής ενέργειας» που εφαρμόζονται σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο έχουν δημιουργήσει ένα νέο τοπίο στην παραγωγή ενέργειας με την ανάπτυξη διεσπαρμένων ενεργειακών πόρων κυρίως από ΑΠΕ, δημιουργώντας ταυτόχρονα μεγάλες πιέσεις για την ενσωμάτωση της διεσπαρμένης παραγωγής από τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η εξέταση της επίδρασης της διείσδυσης των ΑΠΕ στο ελληνικό εναέριο ηλεκτρικό δίκτυο διανομής.

Παρουσιάζονται τα τεχνικά θέματα που προκύπτουν λόγω της ολοένα και μεγαλύτερης διείσδυσης των ΑΠΕ στο δίκτυο και εξετάζεται η επάρκεια των υφιστάμενων εγκαταστάσεων Μέσης Τάσης σε σχέση με την αύξηση της ισχύος βραχυκύκλωσης (250 MVA) και της αντίστοιχης μέγιστης έντασης βραχυκύκλωσης (7,2 kA) πάνω από το υφιστάμενο όριο σχεδιασμού. Επιπλέον αναφέρονται προτάσεις αναβάθμισης κυρίως του εναέριου εξοπλισμού διανομής, οι οποίες προκύπτουν συνδυαστικά από τις απαιτήσεις της αύξησης των περιθωρίων απορρόφησης ισχύος από Α.Π.Ε λόγω του ισχύοντος νομοθετικού πλαισίου, των διεθνών (IEC) και ευρωπαϊκών (EN) προτύπων για τα υπόψη υλικά, τις υπάρχουσες εγκαταστάσεις του δικτύου καθώς και από τις διαθέσιμες εμπορικές λύσεις.

Τέλος παρουσιάζονται στατιστικά και οικονομικά στοιχεία σχετικά με το περιθώριο απορρόφησης ισχύος από το δίκτυο διανομής και των προτεινόμενων έργων και λύσεων αναβάθμισης του δικτύου.

Λέξεις κλειδιά: ΑΠΕ, ΔΕΔΔΗΕ, δίκτυο διανομής, υποσταθμός, Μέση Τάση, ρεύμα βραχυκυκλώματος.

Abstract

The increase in energy demand, the need for Europe's energy independence from fossil fuels, the policies promoting "clean energy" production implemented at global and European level, have created a new scenario in energy production with the development of distributed generation mainly from renewable energy sources (RES), creating at the same time great pressures for the integration of distributed generation from electricity networks.

The scope of this thesis is to examine the impact of RES penetration in the Greek overhead electrical distribution network.

The technical issues arising due to the increasing penetration of RES in the network are presented and the adequacy of the existing medium voltage installations is examined in relation to the increase of the short-circuit power (250 MVA) and the corresponding maximum short-circuit current above the existing design limit (7.2 kA). In addition, proposals are mentioned for upgrading mainly the overhead distribution equipment, which arise in combination from the requirements of increasing the power absorption from RES due to the current legislative framework, the international (IEC) and European (EN) standards for these materials, the existing network installations as well as from the available commercial solutions.

Finally, statistical and economic data are presented regarding RES power absorption capacity in the network and the proposed projects and solutions to upgrade the network

Keywords: RES, HEDNO, distribution network, substation, Medium Voltage short-circuit current.

Πίνακας περιεχομένων

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
1.1. ΑΠΕ σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο.....	8
1.2. Ιστορική αναδρομή - Θεσμικό πλαίσιο ΑΠΕ της Ελλάδας.....	10
1.3. ΑΔΜΗΕ και ΔΕΔΔΗΕ	13
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	14
2.1. Γενικά.....	14
2.2. Όρια Συστήματος – Δικτύου	15
2.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου διανομής.....	15
2.4. Προστασία του Δικτύου.....	16
2.5. Γείωση του Δικτύου.....	17
3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΛΟΓΩ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΕ	18
3.1. Προβλήματα προστασίας.....	20
3.1.1. Λανθασμένη ενεργοποίηση μέσω προστασίας False Tripping (Sympathetic Tripping)	21
3.1.2. Αποσυντονισμός μέσω προστασίας και νησιδοποίηση (Islanding).....	21
3.1.3. Τύφλωση προστασίας (Protection Blinding)	24
3.2. Αύξηση της ισχύος βραχυκύκλωσης.....	25
3.3. Ανύψωση τάσης.....	28
4. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΤ. 28	
4.1. Στόχος της Προστασίας του Συστήματος Διανομής.....	28
4.2. Αποζεύκτες ΜΤ.....	31
4.3. Ασφαλειοαποζεύκτες ΜΤ και ασφάλειες εκτόνωσης (τηκτά) ΜΤ	33
4.3.1. Μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των ασφαλειών εκτόνωσης.	38
4.3.2. Οι ασφαλειοαποζεύκτες που χρησιμοποιούνται στο Ελληνικό εναέριο δίκτυο .	40
4.3.3. Προτάσεις - λύσεις.....	40
4.4. Ασφάλειες περιοριστικές της έντασης (current- limiting fuses)	45
4.5. Υποσταθμοί διανομής ΜΤ/ΧΤ	46
4.5.1. Μετασηματιστές εναέριων Υ/Σ διανομής	47
4.5.2. Υπαίθριοι συνεπτυγμένοι και Υποσταθμοί εσωτερικού χώρου	49

4.5.2.1. Ανάγκη αντικατάστασης και αναβάθμισης πινάκων ΜΤ των υποσταθμών ΜΤ/ΧΤ λόγω αύξησης της στάθμης βραχυκύκλωσης και κατάργησης της χρήσης του SF6.....	50
4.6. Ηλεκτρονόμοι υπερεντάσεως.....	53
4.7. Διακόπτες απομόνωσης	53
4.8. Διακόπτες αυτόματης επαναφοράς (ΔΑΕ).....	54
4.9. Τηλεχειριζόμενοι διακόπτες φορτίου.....	55
5. ΡΕΥΜΑ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.....	56
5.1. Γενικά.....	56
5.2. Τύποι βραχυκυκλωμάτων και μέθοδοι υπολογισμού	57
6. ΕΝΑΕΡΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ.....	60
6.1. Μηχανική αντοχή των αγωγών του εναέριου δικτύου ΜΤ κατά τη διάρκεια βραχυκυκλώματος.	60
6.2. Μηχανική αντοχή μονωτήρων ανάρτησης και στήριξης.....	70
6.3. Θερμική καταπόνηση των αγωγών του εναέριου δικτύου ΜΤ κατά τη διάρκεια βραχυκυκλώματος.	71
7. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	76
7.1. Γενικά στοιχεία του δικτύου	76
7.2. Στατιστικά στοιχεία περιθωρίου απορρόφησης ισχύος των υπαρχόντων Μ/Σ ...	77
7.3. Οικονομικά μεγέθη.....	81
Συμπεράσματα	90
Ακρωνύμια/Συντομογραφίες	93
Βιβλιογραφία.....	94

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμία και η βιομάζα, κερδίζουν δημοτικότητα ως βιώσιμη εναλλακτική λύση στα ορυκτά καύσιμα τα τελευταία χρόνια. Ο αντίκτυπος των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι σημαντικός, οδηγώντας σε αλλαγές στον τρόπο παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Μία από τις σημαντικότερες επιπτώσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι η αποκέντρωση της παραγωγής ενέργειας.

Τα παραδοσιακά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας βασίζονταν σε μεγάλους, κεντρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία στη συνέχεια διανεμόταν στους καταναλωτές μέσω ενός δικτύου γραμμών μεταφοράς και διανομής. Ωστόσο, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες, μπορούν να εγκατασταθούν σε πολύ μικρότερη κλίμακα, επιτρέποντας ένα έτσι ένα πιο αποκεντρωμένο ενεργειακό σύστημα. Αυτή η στροφή προς την αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας έχει τη δυνατότητα να κάνει τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας πιο ανθεκτικά και αξιόπιστα, καθώς δυνητικά οι διακοπές ρεύματος μπορεί να είναι τοπικές και λιγότερο σοβαρές.

Το μεγάλο μειονέκτημα όμως των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μεταβλητότητά τους. Σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, οι οποίοι μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με σταθερό ρυθμό, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εξαρτώνται από πηγές όπως ο ήλιος και ο άνεμος, των οποίων οι πόροι δεν είναι πάντα το ίδιο διαθέσιμοι ποσοτικά και χρονικά. Αυτή η μεταβλητότητα μπορεί να καταστήσει δύσκολη τη διατήρηση ενός σταθερού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Ωστόσο, οι εξελίξεις στην τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες, μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση αυτής της πρόκλησης επιτρέποντας την αποθήκευση και χρήση

της περίσσειας ενέργειας όταν χρειάζεται, και να δημιουργήσουν ένα πιο αξιόπιστο και βιώσιμο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας στο μέλλον.

Επιπλέον καθώς ο κόσμος αντιμετωπίζει τις προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας δίνει τη δυνατότητα για μείωση των εκπομπών άνθρακα, μπορεί να επιβραδύνει τον ρυθμό υπερθέρμανσης του πλανήτη και να βοηθήσει στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

1.1. ΑΠΕ σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποκτούν ολοένα και μεγαλύτερη σημασία, καθώς φαίνεται να μεταμορφώνουν το παγκόσμιο μίγμα ενέργειας τα αμέσως επόμενα χρόνια, καθιστώντας τις τη μεγαλύτερη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ξεπερνώντας τον άνθρακα.

Το μερίδιό τους δε στο ενεργειακό μίγμα σύμφωνα με τον IEA προβλέπεται να αυξηθεί κατά 10 ποσοστιαίες μονάδες, φτάνοντας το 38% το 2027.

Σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης το σχέδιο REPowerEU της Ευρωπαϊκής Επιτροπής που δημοσιεύθηκε το Μάιο του 2022, στοχεύει, μεταξύ άλλων, στην αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην τελική κατανάλωση ενέργειας στο 45% έως το 2030.

Μέτρα του REPowerEU εντάσσονται στα εθνικά σχέδια ώστε να ενισχυθεί η ανεξαρτησία από τα ρωσικά ορυκτά καύσιμα, να επιταχυνθεί η πράσινη μετάβαση και να αντιμετωπιστεί η ενεργειακή φτώχεια.

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία μέσω της δέσμης μέτρων Fit for 55 για το κλίμα καθιστά υποχρεωτική την επίτευξη του κλιματικού στόχου της ΕΕ για μείωση των καθαρών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά τουλάχιστον 55% έως το 2030, μέσω σειράς προτάσεων για την αναθεώρηση και την επικαιροποίηση της ενωσιακής νομοθεσίας.

Η παραπάνω δέσμη προτάσεων μεταξύ άλλων (Κοινωνικό Ταμείο για το κλίμα, Υποδομές εναλλακτικών καυσίμων, Φορολόγηση ενέργειας, Πρότυπα εκπομπών CO₂ για τα αυτοκίνητα κα) περιλαμβάνει την αύξηση του στόχου σε επίπεδο ΕΕ για το μερίδιο ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στο συνολικό

ενεργειακό μείγμα από τουλάχιστον 32 % που ισχύει σήμερα σε τουλάχιστον 40 % έως το 2030.

Η δε προσωρινή συμφωνία μεταξύ Συμβουλίου και Κοινοβουλίου την 30/04/2023 περιλαμβάνει την αύξηση του μεριδίου της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στη συνολική κατανάλωση ενέργειας της ΕΕ σε 42,5 % έως το 2030, με πρόσθετο ενδεικτικό συμπληρωματικό ποσοστό 2,5 % ώστε το τελικό μερίδιο να φτάσει στο 45 %. [1]

Το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα (ΕΣΕΚ) που αποτελεί ένα Στρατηγικό Σχέδιο για θέματα σχετικά με το Κλίμα και την Ενέργεια, έχει θέσει φιλόδοξους στόχους για υπερδιπλασιασμό των ΑΠΕ έως το 2030 και πλήρη απένταξη του λιγνίτη από το εγχώριο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, δηλαδή την πλήρη απολιγνιτοποίηση έως το 2028. Ο παραπάνω στόχος συμβαδίζει με την φιλοδοξία της Ευρωπαϊκής Ένωσης να αναδείξει την Ευρώπη ως την πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο έως το 2050.

Η απόφαση αυτή δημιουργεί χώρο για επιπλέον εγκατάσταση μονάδων ΑΠΕ, με ενίσχυση του ρόλου των μονάδων του φυσικού αερίου που θα παρέχουν και την απαιτούμενη ευελιξία στο σύστημα.

Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου απαιτούνται αλλαγές και μετασχηματισμοί στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο όμως σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε για να εξυπηρετήσει ένα διαφορετικό μοντέλο παραγωγής που στηρίζονταν σε μεγάλες θερμικές μονάδες.

Το μεγαλύτερο δε μέρος των υφιστάμενων υποδομών έχουν σχεδιαστεί και εγκατασταθεί τις προηγούμενες δεκαετίες, με αποτέλεσμα μεγαλύτερα ποσοστά αστοχίας και πιο ευάλωτο σύστημα σε απροσδόκητες διαταραχές.

Η συντήρηση και ανακαίνιση των υφιστάμενων γραμμών μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, πολλώ δε μάλλον η κατασκευή νέων γραμμών απαιτεί μεγάλους χρόνους υλοποίησης και μεγάλο οικονομικό κόστος.

Η συντήρηση του υπάρχοντος εξοπλισμού του δικτύου λόγω παλαιότητας ή βλαβών επιβάλλεται τακτικά ώστε να επιτυγχάνεται η αξιόπιστη λειτουργία του και η ασφάλεια των χρηστών, ενώ ταυτόχρονα η απαίτηση για τη διατήρηση της λειτουργικότητας του συστήματος συνεχώς, περιορίζει σημαντικά το περιθώριο για εκτός λειτουργίας τμημάτων του.

Ταυτόχρονα, αυξάνεται η ανάγκη για επέκταση των υποδομών σε ολοένα και περισσότερο απομακρυσμένες περιοχές (αιολικά πάρκα, υπεράκτια αιολικά κλπ.).

Οι ενεργειακές υποδομές διαδραματίζουν κομβικό ρόλο στην υψηλή διείσδυση μονάδων ΑΠΕ για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και για το λόγο αυτό ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη των νέων έργων θα πρέπει να ενσωματώνει τις προβλέψεις διείσδυσης των ΑΠΕ καθώς και τις αναγκαίες προσαρμογές ώστε αυτή να υλοποιείται όσο το δυνατόν πιο απρόσκοπτα και εύρυθμα γίνεται για τη λειτουργία του ενεργειακού συστήματος.

Προκειμένου να καταστεί εφικτή η αυξημένη διείσδυση των ΑΠΕ στο ενεργειακό μίγμα, θα απαιτηθεί μεγάλη αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος και τα δίκτυα διανομής θα πρέπει πλέον να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται λαμβάνοντας υπόψη τα νέα δεδομένα παραγωγής και κατανάλωσης.

Απαιτούνται σύγχρονοι κώδικες δικτύου και καινοτόμες τεχνολογίες.

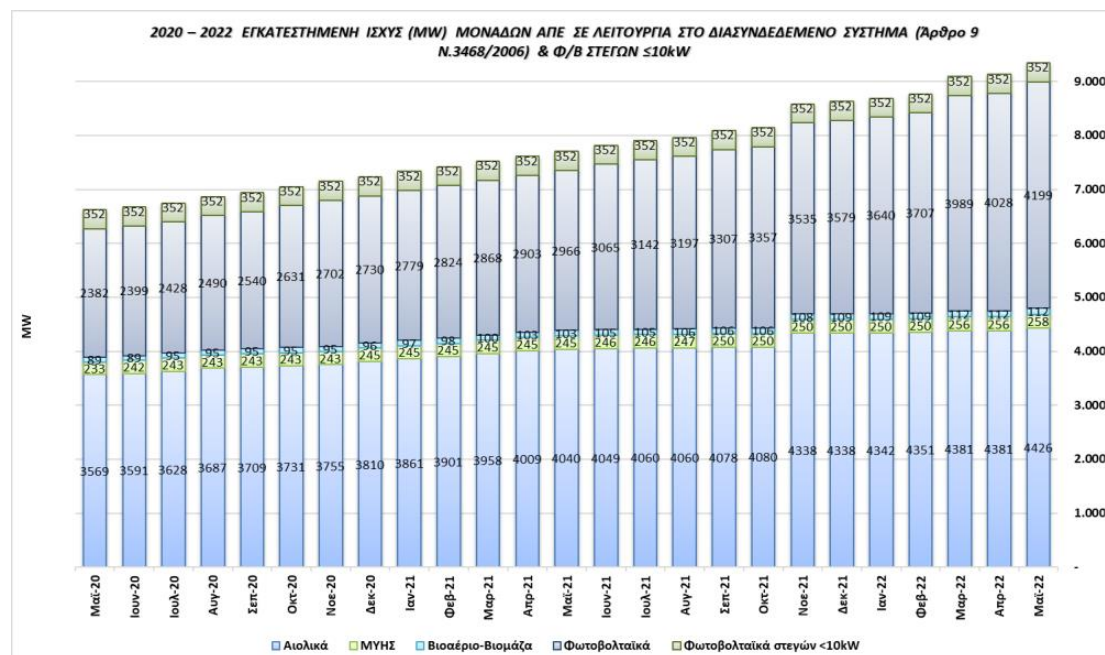
1.2. Ιστορική αναδρομή - Θεσμικό πλαίσιο ΑΠΕ της Ελλάδας

Η διείσδυση σταθμών παραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας στο Ελληνικό Διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε πριν περίπου μια εικοσαετία, με την σύνδεση κυρίως αιολικών πάρκων (Α/Π) στο σύστημα μεταφοράς.

Τη δεκαετία του 2010 παρατηρείται μια ραγδαία αύξηση της διείσδυσης ΑΠΕ με τη μαζική σύνδεση φωτοβολταϊκών (Φ/Β) σταθμών, κυρίως στο δίκτυο διανομής.

Στο τέλος του 2022 και επί συνόλου εγκατεστημένης ικανότητας παραγωγής περίπου 21 GW, τα 9,7 GW αφορούν σταθμούς ΑΠΕ. Η τεράστια πλειοψηφία των σταθμών αυτών είναι Α/Π και Φ/Β, δηλ. σταθμοί των οποίων η παραγωγή τους εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες.

Στον παρακάτω πίνακα 1 φαίνεται η εγκατεστημένη ισχύς μονάδων ΑΠΕ στο διασυνδεδεμένο σύστημα και Φ/Β στεγών μικρότερων των 10 kW.



ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΑΠΕ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΤΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ & Φ/Β ΣΤΕΓΩΝ ≤ 10KW [2]

Νομικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ:

-Ο Νόμος 1559/85 (ΦΕΚ 135/Α/85), έθεσε για πρώτη φορά το ζήτημα της ηλεκτροπαραγωγής από εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Με τον νόμο αυτό επιτρέπεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ανήκουν σε φυσικά η νομικά πρόσωπα τα οποία καλούνται «αυτοπαραγωγοί».

-Ο Νόμος 2244/94 (ΦΕΚ Α' 168/07-10-94), αποτέλεσε τη βάση του σημερινού θεσμικού πλαισίου. Απελευθερώνεται η ηλεκτροπαραγωγή από τους «αυτοπαραγωγούς», ενώ παράλληλα ορίζεται το ΚΑΠΕ ως εθνικό συντονιστικό κέντρο για όλες τις δραστηριότητες που σχετίζονται με τις ΑΠΕ.

-Ο αναπτυξιακός Νόμος 2601/98 (ΦΕΚ Α' 81/15-04-98), αφορούσε τις επενδύσεις των μη κρατικών φορέων και επιχορηγούσε ως ποσοστό 40% τις νέες επιχειρήσεις ενέργειας που θα επένδυαν σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

-Ο Νόμος 2773/99 (ΦΕΚ Α' 286/22-12-99), απελευθερώνει την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Με αυτό το νόμο, η ελληνική νομοθεσία εναρμονίστηκε με τις διατάξεις της οδηγίας 96/92/ΕΚ του Ευρωπαϊκού

Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου που σχετίζονται με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

-Νόμος 3851/10 (ΦΕΚ 85 Α 04.06.2010): Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

-Νόμος 4062/2012 (ΦΕΚ Α' 70/30.3.2012): Αξιοποίηση του πρώην Αεροδρομίου Ελληνικού – Πρόγραμμα ΗΛΙΟΣ – Προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (Ενσωμάτωση Οδηγίας 2009/28/ΕΚ) – Κριτήρια Αειφορίας Βιοκαυσίμων και Βιορευστών (Ενσωμάτωση Οδηγίας 2009/30/ΕΚ)

-Νόμος 4203/2013 (ΦΕΚ Α' 235/01.11.2013): Ρυθμίσεις θεμάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και άλλες διατάξεις

-Ο Νόμος 4414/2016, (ΦΕΚ 149 Α') αποτελεί το νέο πλαίσιο για τη στήριξη των ΑΠΕ με σκοπό την εναρμόνιση με τις «Κατευθυντήριες Γραμμές για τις κρατικές ενισχύσεις στους τομείς του περιβάλλοντος και της ενέργειας (2014-2020)» και τη σταδιακή ενσωμάτωση και συμμετοχή των Α.Π.Ε και Σ.Η.Θ.Υ.Α.

- Ο Νόμος 4513/2018 (ΦΕΚ Α' 9 – 23.01.2018): ο οποίος αφορά τις ενεργειακές Κοινότητες.

-Ο Νόμος 4685/2020 αφορά τον εκσυγχρονισμό της περιβαλλοντικής νομοθεσίας, την ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις.

Σε αυτόν περιέχονται κεφάλαια για την απλοποίηση της περιβαλλοντικής αδειοδότησης (με τροποποιήσεις του ν. 4014/2011), τη διαδικασία αδειοδότησης ΑΠΕ, τη διαχείριση προστατευόμενων περιοχών, τις ζώνες εντός προστατευόμενων περιοχών, ρυθμίσεις για δασικούς χάρτες και οικιστικές πυκνώσεις καθώς και για την τροποποίηση του ν.4122/2013 (Α'42) για την προσαρμογή της ελληνικής νομοθεσίας στις διατάξεις της Οδηγίας 2018/844/ΕΕ ΤΗΣ 30ης Μαΐου 2018 (L156/19.06.2018) «Για την τροποποίηση της Οδηγίας 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και της Οδηγίας 2012/27/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση».

- Ο Νόμος 4936/27.05.22 «Ε «Εθνικός Κλιματικός Νόμος - Μετάβαση στην κλιματική ουδετερότητα και προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, επείγουσες διατάξεις για την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης και την προστασία του περιβάλλοντος»). Ο νόμος περιλαμβάνει διατάξεις σχετικά με την ηλεκτροπαραγωγή, τις μετακινήσεις, τα κτήρια και τη νέα στρατηγική για τα νησιά.

-Ο Νόμος 4951/2022 (ΦΕΚ Α129/04.07.2022): Εκσυγχρονισμός της αδειοδοτικής διαδικασίας Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας - Β' φάση. Αδειοδότηση παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, πλαίσιο ανάπτυξης Πιλοτικών Θαλάσσιων Πλωτών Φωτοβολταϊκών Σταθμών και ειδικότερες διατάξεις για την ενέργεια και την προστασία του περιβάλλοντος.

- Νόμος 4964/2022 (ΦΕΚ 150/Α/30.07.2022): Διατάξεις για την απλοποίηση της περιβαλλοντικής αδειοδότησης, θέσπιση πλαισίου για την ανάπτυξη των Υπεράκτιων Αιολικών Πάρκων, την αντιμετώπιση της ενεργειακής κρίσης, την προστασία του περιβάλλοντος και λοιπές διατάξεις.

- Νόμος 5037/2023 (ΦΕΚ 78/Α/28.03.2023) Μετονομασία της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας σε Ρυθμιστική Αρχή Αποβλήτων, Ενέργειας και Υδάτων και διεύρυνση του αντικειμένου της με αρμοδιότητες επί των υπηρεσιών ύδατος και της διαχείρισης αστικών αποβλήτων, ενίσχυση της υδατικής πολιτικής – Εκσυγχρονισμός της νομοθεσίας για τη χρήση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές μέσω της ενσωμάτωσης των Οδηγιών ΕΕ 2018/2001 και 2019/944 – Ειδικότερες διατάξεις για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος.

1.3. ΑΔΜΗΕ και ΔΕΔΔΗΕ

Με το Νόμο 4001/2011 ο οποίος ενσωμάτωσε στην Ελληνική νομοθεσία τις διατάξεις της Οδηγίας 2009/72/ΕΚ της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η οποία επιβάλλει το νομικό και λειτουργικό διαχωρισμό των δραστηριοτήτων της Μεταφοράς και Διανομής από τις καθετοποιημένες ηλεκτρικές επιχειρήσεις, συστάθηκαν οι παρακάτω εταιρείες:

α. Ο ΑΔΜΗΕ (Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) ο οποίος ασκεί τις αρμοδιότητες και εκτελεί τα καθήκοντα του Κυρίου και Διαχειριστή του Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΣΜΗΕ), σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν.4001/2011, τα προβλεπόμενα

στον Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος και την άδεια διαχείρισης του ΕΣΜΗΕ. Σκοπός της Εταιρείας είναι η λειτουργία, ο έλεγχος, η συντήρηση και η ανάπτυξη του ΕΣΜΗΕ, ώστε να διασφαλίζεται ο εφοδιασμός της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια, με τρόπο επαρκή, ασφαλή, αποδοτικό και αξιόπιστο καθώς και η λειτουργία της Αγοράς Εξισορρόπησης και του διασυνοριακού εμπορίου.

β. Ο ΔΕΔΔΗΕ (Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας), ο οποίος έχει δύο διακριτές αρμοδιότητες. Η μία αφορά τη Διαχείριση του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΕΔΔΗΕ) και η άλλη αφορά τη Διαχείριση των αγορών των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

(Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ) χαρακτηρίζονται τα νησιά των οποίων το Δίκτυο Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας δεν συνδέεται με το Σύστημα Μεταφοράς ή Δίκτυο Διανομής της ηπειρωτικής χώρας).

Στα πλαίσια των παραπάνω αρμοδιοτήτων Ο ΔΕΔΔΗΕ μεριμνά για την λειτουργία, τη συντήρηση και ανάπτυξη του Δικτύου Διανομής, την αξιόπιστη και ασφαλή λειτουργία του καθώς και την πρόσβαση των Χρηστών δηλαδή των Καταναλωτών και των Παραγωγών καθώς και των Προμηθευτών στο ΕΔΔΗΕ.

Κύριο ρυθμιστικό κείμενο που ρυθμίζει τα παραπάνω αποτελεί ο Κώδικας Διαχείρισης του ΕΔΔΗΕ, ο οποίος εγκρίθηκε με την 395/2016 Απόφαση της ΡΑΕ.

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1. Γενικά

Το Δίκτυο Διανομής αποτελείται από γραμμές μέσης (ΜΤ) και χαμηλής τάσης (ΧΤ) και εγκαταστάσεις διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και από γραμμές και εγκαταστάσεις υψηλής τάσης (ΥΤ) που έχουν ενταχθεί στο Δίκτυο αυτό.

Οι γραμμές ΥΤ, που ανήκουν στο Δίκτυο, είναι οι υπόγειες καλωδιακές γραμμές 150 kV της Αττικής, καθώς και οι γραμμές μεταφοράς (ΓΜ) και τα

υπόγεια καλώδια στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά (ΜΔΝ) ανεξαρτήτως επιπέδου τάσης.

2.2. Όρια Συστήματος – Δικτύου

1. Στις περιοχές της Αττικής όπου υπάρχουν υπόγειες γραμμές ΥΤ οι οποίες έχουν ενταχθεί στο Δίκτυο, ως όριο μεταξύ Δικτύου και Συστήματος ορίζεται το σημείο που βρίσκεται στα ανάντη των ακροκιβωτίων των καλωδιακών γραμμών ΥΤ του Δικτύου, στο σημείο σύνδεσής τους στα ΚΥΤ ή στα σημεία ζεύξης εναερίων-υπογείων γραμμών ΥΤ. Το όριο αυτό αποτελεί και το όριο διαχωρισμού αρμοδιοτήτων μεταξύ του Διαχειριστή του Συστήματος και του Διαχειριστή του Δικτύου.

2. Ως όριο μεταξύ Συστήματος και Δικτύου στους υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ του Δικτύου οι οποίοι συνδέονται απ' ευθείας στο Σύστημα ορίζεται το σημείο μεταξύ του διακόπτη ΥΤ του μετασχηματιστή ΥΤ/ΜΤ και του αντίστοιχου αποζεύκτη ΥΤ ή των ζυγών ΥΤ αν δεν υπάρχει αποζεύκτης. Το όριο αυτό αποτελεί και το όριο διαχωρισμού αρμοδιοτήτων μεταξύ του Διαχειριστή του Συστήματος και του Διαχειριστή του Δικτύου.

2.3. Τεχνικά χαρακτηριστικά του δικτύου διανομής

Ονομαστική Τάση του Δικτύου:

α) Για το επίπεδο Χαμηλής Τάσης (εφεξής ΧΤ), δηλαδή ονομαστικής ενεργού τιμής μικρότερης του 1 kV (δίκτυο τεσσάρων αγωγών), 400 V (230 V μεταξύ φάσεως και ουδετέρου - φασική τάση).

(β) Για το επίπεδο Μέσης Τάσης (εφεξής ΜΤ), δηλαδή ονομαστικής ενεργού τιμής μεταξύ 1 kV και 36 kV (δίκτυο τριών αγωγών), 15 kV ή 20 kV.

(γ) Για το επίπεδο Υψηλής Τάσης (εφεξής ΥΤ), δηλαδή ονομαστικής ενεργού τιμής μεγαλύτερης των 36 kV (δίκτυο τριών αγωγών), 66 kV ή 150 kV.

Συχνότητα Δικτύου: 50 Hz

Ισχύς βραχυκυκλώσεως του Δικτύου:

Η σχεδίαση και η λειτουργία του Δικτύου κατά τρόπο ώστε η μέγιστη αναμενόμενη τιμή της έντασης βραχυκυκλώσεως στα διάφορα επίπεδα αυτού (αρχική συμμετρική τιμή), να μην υπερβαίνει τις ακόλουθες τιμές σχεδιασμού:

(α) Στο Δίκτυο ΧΤ:

- Για υπόγειο δίκτυο τυπικά τα 25 kA, και κατά περίπτωση τα 30 kA.
- Για εναέριο δίκτυο τυπικά τα 15 kA, και κατά περίπτωση τα 25 kA.

(β) Στο Δίκτυο ΜΤ:

- Για το δίκτυο 20 kV, τα 7,2 kA.
- Για το δίκτυο 15 kV, τα 9,6 kA.
- Για τα παλαιά δίκτυα 6,6 kV και 22 kV, 14,0 kA και 13,0 kA, αντίστοιχα.
- Στο Δίκτυο ΥΤ (150 kV) τα 31,0 kA.

Σε απομακρυσμένα σημεία του Δικτύου η ένταση βραχυκυκλώσεως μπορεί να είναι σημαντικά μικρότερη από τα παραπάνω αναφερόμενα μεγέθη, ενώ σε θέσεις του Δικτύου πλησίον σταθμών παραγωγής μεγάλης εγκατεστημένης ισχύος μπορεί να είναι και μεγαλύτερη.

2.4. Προστασία του Δικτύου

1. Ο Διαχειριστής του Δικτύου επιλέγει τα σχήματα προστασίας του Δικτύου, εγκαθιστά, ρυθμίζει και συντηρεί τον απαραίτητο εξοπλισμό, ώστε να διασφαλίζεται η αρτιότητα του εξοπλισμού και των εγκαταστάσεων, καθώς και μεριμνά για τον περιορισμό, στο μέτρο του δυνατού, των επιπτώσεων στην ποιότητα της ενέργειας.

2. Η προστασία έναντι σφαλμάτων επιτυγχάνεται με εγκατάσταση κατάλληλων διατάξεων στις γραμμές, στους υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ και ΜΤ/ΧΤ και στα όρια Δικτύου - Χρηστών, εν γένει ως ακολούθως:

(α) Στις γραμμές ΥΤ και στους υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ εγκαθίστανται ειδικές διατάξεις προστασίας επιμέρους συνιστωσών (ζυγοί, μετασχηματιστές κλπ.).

(β) Στην αναχώρηση κάθε γραμμής ΜΤ από τους υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ ή τους σταθμούς παραγωγής Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, εγκαθίσταται τριφασικός διακόπτης ισχύος, ελεγχόμενος από ηλεκτρονόμους υπερεντάσεως. Στην περίπτωση των εναέριων γραμμών ΜΤ, ο διακόπτης πραγματοποιεί συνήθως κύκλο διακοπών-αυτομάτων επαναφορών, παραμένοντας τελικά σε ανοικτή θέση για τα μόνιμα σφάλματα και σε κλειστή θέση για τα παροδικά και για τα μόνιμα που απομονώθηκαν μέσω της επιλογικής συνεργασίας με άλλα μέσα προστασίας επί της γραμμής ΜΤ.

(γ) Επί των εναέριων γραμμών ΜΤ εγκαθίστανται διακοπτικά στοιχεία προστασίας (διακόπτες ισχύος αυτομάτου επαναφοράς, διακόπτες απομόνωσης και ασφάλειες), η λειτουργία των οποίων προκαλεί τριπολική ή μονοπολική απόζευξη.

(δ) Οι υποσταθμοί ΜΤ/ΧΤ προστατεύονται με ασφάλειες στην πλευρά ΜΤ.

(ε) Οι γραμμές ΧΤ προστατεύονται με ασφάλειες που τοποθετούνται στις αναχωρήσεις από τους ζυγούς ΧΤ των υποσταθμών ΜΤ/ΧΤ.

(στ) Στο όριο Δικτύου/Χρήστη εγκαθίσταται κατάλληλο μέσο προστασίας υπερεντάσεως, με στόχο να απομονώνεται η εγκατάσταση του Χρήστη σε περίπτωση σφάλματος σε αυτή.

(ζ) Σε εγκαταστάσεις Παραγωγών προβλέπονται ειδικές λειτουργίες προστασίας απόζευξης οι οποίες περιγράφονται στο άρθρο 73 του Κώδικα Διαχείρισης ΔΕΔΔΗΕ (ΦΕΚ 395/2016), οι οποίες υλοποιούνται από εξοπλισμό κυριότητας του Παραγωγού.

3. Η προστασία εξοπλισμού του Δικτύου έναντι ατμοσφαιρικών υπερτάσεων πραγματοποιείται με την εγκατάσταση κατάλληλων απαγωγών υπερτάσεων (π.χ. αλεξικέραυνων) σε επιλεγμένα σημεία του Δικτύου.

2.5. Γείωση του Δικτύου

Η γείωση του Δικτύου υλοποιείται ως ακολούθως:

(α) Το Δίκτυο ΧΤ είναι τεσσάρων αγωγών (3 φάσεις και ουδέτερος) και έχει γειωμένο ουδέτερο. Στο Δίκτυο εφαρμόζεται η Ουδετέρωση (μέθοδος TN), δηλαδή όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη των εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων των Χρηστών συνδέονται στον γειωμένο ουδέτερο αγωγό του Δικτύου. Ο ουδέτερος αγωγός του Δικτύου γειώνεται κατ' ελάχιστο στον υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ, στα όρια Δικτύου/Χρήστη (στο σημείο εγκατάστασης του Μετρητή) καθώς και σε κατάλληλα σημεία κατά μήκος των γραμμών ΧΤ.

Σε τμήμα της Απτικής και κατ' εξαίρεση σε περιοχές του Δικτύου στις οποίες δεν ικανοποιούνται οι τεχνικές προϋποθέσεις Ουδετέρωσης, όπως αυτές

ορίζονται στο Εγχειρίδιο Πρόσβασης στο Δίκτυο και εξειδικεύονται στις σχετικές Οδηγίες του Διαχειριστή, εφαρμόζεται η Άμεση Γείωση (μέθοδος TT), όπου όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη των εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων των Χρηστών συνδέονται στο σύστημα γείωσης της εγκατάστασης, το οποίο δεν συνδέεται με τον γειωμένο ουδέτερο αγωγό του Δικτύου. Ο ουδέτερος αγωγός γειώνεται στον υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ και σε κατάλληλα σημεία κατά μήκος των γραμμών ΧΤ.

(β) Στο Δίκτυο ΜΤ γειώνεται ο ουδέτερος κόμβος των μετασχηματιστών στους υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ μέσω ωμικής αντιστάσεως, ώστε να περιορίζεται η ένταση του σφάλματος προς γη σε 1000 Α κατά μέγιστο. Εξαίρεση αποτελούν:

i) Τα παλαιά δίκτυα 6,6 kV και 22 kV στα οποία ο ουδέτερος κόμβος είναι άμεσα γειωμένος, δηλαδή χωρίς την παρεμβολή αντιστάσεως.

ii) Ο ουδέτερος κόμβος των μετασχηματιστών ανύψωσης των τοπικών σταθμών παραγωγής των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

iii) Το Δίκτυο ΜΤ ορισμένων Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, όπου ο ουδέτερος κόμβος ΜΤ παραμένει αγείωτος.

(iv) Στο Δίκτυο ΥΤ ο ουδέτερος κόμβος, όπου υπάρχει, είναι πάντοτε απευθείας γειωμένος.

3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΛΟΓΩ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΕ

Ο πρόσφατος Νόμος 4951/2022 με το άρθρο 97 θεσμοθετεί θέματα σχετικά με την Αύξηση ηλεκτρικού χώρου στο δίκτυο - Προώθηση ενεργειακού συμψηφισμού και σταθμών αυτοπαραγωγής.

Σύμφωνα με τον Νόμο ο Διαχειριστής του Δικτύου οφείλει να επικαιροποιεί περιοδικά τα περιθώρια υποδοχής ισχύος σταθμών Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. ανά υποσταθμό (Υ/Σ) και ανά μετασχηματιστή υψηλής τάσης (ΥΤ), τα οποία και δημοσιοποιεί στον δικτυακό του τόπο.

Συγκεκριμένα προβλέπεται ότι ο Διαχειριστής του Δικτύου πρέπει να διαθέτει περιθώριο απορρόφησης ισχύος δέκα μεγαβάτ (10 MW) ανά υποσταθμό

πλέον του υφιστάμενου περιθωρίου, αποκλειστικά για την εγκατάσταση σταθμών Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. αυτοπαραγωγών, αυτοπαραγωγών με εφαρμογή ενεργειακού συμψηφισμού, αυτοπαραγωγών με εφαρμογή εικονικού ενεργειακού συμψηφισμού και παραγωγών του ειδικού προγράμματος ανάπτυξης φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Το ως άνω περιθώριο καθίσταται διαθέσιμο στο σύνολο των Υ/Σ του ΕΔΔΗΕ, περιλαμβανομένων των περιοχών με κορεσμένα δίκτυα και εξαιρουμένου μόνο του δικτύου των Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών, χωρίς να καταλαμβάνεται από περιορισμούς που σχετίζονται με τα περιθώρια απορρόφησης του Συστήματος.

Τα δε διαθέσιμα περιθώρια υποδοχής ισχύος σταθμών Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. που σύμφωνα με την παραπάνω παράγραφο προκύπτουν ανά υποσταθμό (Υ/Σ) ή ανά μετασχηματιστή υψηλής τάσης/μέσης τάσης (ΥΤ/ΜΤ), χωρίς να συνυπολογίζεται σε αυτά η ισχύς των δέκα μεγαβάτ (10 MW) της προηγούμενης παραγράφου, διατίθενται για τη σύνδεση σταθμών Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. [3].

Εξαιτίας λοιπόν της αυξημένης απαίτησης για ένταξη στο δίκτυο όλο και περισσότερων ΑΠΕ και συνεπώς ενσωμάτωση μεγάλων ποσοτήτων αιολικής και ηλιακής ενέργειας, δημιουργούνται προκλήσεις και διάφορα κρίσιμα τεχνικά θέματα για το διαχειριστή του δικτύου, με απαίτηση άμεσης επίλυσης και αντιμετώπισης, προκειμένου την αξιόπιστη ενσωμάτωση τους στο δίκτυο.

Ενδεικτικά αναφέρουμε τα παρακάτω:

- Ρυθμίσεις προστασιών και πιθανούς κινδύνους για την ασφάλεια
- Συνεισφορά στη στάθμη βραχυκύκλωσης
- Επίδραση στη δυναμική συμπεριφορά Συστήματος
- Θέματα ποιότητας ισχύος
- Τήρηση των προδιαγραφών σχεδιασμού

3.1. Προβλήματα προστασίας

Η προστασία του συστήματος, με την παρουσία κατανεμημένης παραγωγής, είναι ένα εμφανές ζήτημα τα τελευταία χρόνια και χρειάζεται άμεση εξέταση.

Τα συστήματα διανομής προστατεύονται κυρίως με τη βοήθεια συσκευών, όπως οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης, οι διακόπτες και οι ασφάλειες.

Οι συσκευές αυτές είναι σχεδιασμένες για να διακόπτουν το κύκλωμα εάν η ροή ρεύματος σφάλματος είναι μεγαλύτερη από μια καθορισμένη τιμή.

Η φιλοσοφία προστασίας των συστημάτων διανομής έως τώρα ακολουθούσε την παραδοχή ότι αυτά είναι ακτινωτά στη φύση τους και η ροή ισχύος είναι πάντοτε μονόδρομη από την πηγή στους καταναλωτές.

Τα συστήματα διανομής με μεγάλα επίπεδα διείσδυσης κατανεμημένης παραγωγής αντιπροσωπεύουν αμφίδρομες ροές ισχύος και ρεύματα σφάλματος που εξαρτώνται από την τοπολογία και μπορούν να επηρεάσουν τις συσκευές προστασίας, να προκαλέσουν κίνδυνο για τη συντήρηση του δικτύου και του προσωπικού, και να οδηγήσουν σε ανεξέλεγκτες υπο/υπερτάσεις και συχνότητες.

Αρχικά το πρότυπο IEEE 1547 που εκδόθηκε το 2003 (Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces) προσδιόρισε αυτό το πρόβλημα και πρότεινε οι μονάδες κατανεμημένης παραγωγής να σταματούν να τροφοδοτούν το σύστημα διανομής όταν υπάρχει σφάλμα στο δίκτυο.

Ωστόσο, καθώς αυξάνεται η χωρητικότητα τους, η αποσύνδεση ενός μεγάλου αριθμού μονάδων δεν αποτελεί πλέον επιλογή.

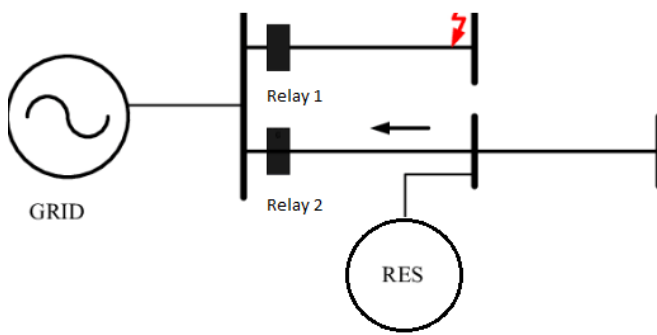
Με την παρουσία υψηλού επιπέδου διείσδυσης οι κατανεμημένες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να διαθέτουν ικανότητες διαχείρισης του σφάλματος (fault ride-through) και να παραμένουν συνδεδεμένες στο δίκτυο κατά τη διάρκεια σφαλμάτων.

Αυτό όμως μπορεί να θέσει όρια στην ικανότητα φιλοξενίας από τα δίκτυα διανομής, καθώς ενδέχεται να παρεμβαίνουν στην ομαλή λειτουργία των συσκευών προστασίας.

3.1.1. Λανθασμένη ενεργοποίηση μέσω προστασίας False Tripping (Sympathetic Tripping)

Όταν μία διανεμημένη πηγή συνεισφέρει σε ένα βραχυκύκλωμα ενός άλλου κλάδου του δικτύου, υπάρχει περίπτωση να ενεργοποιηθούν και τα μέσα προστασίας του υγιούς κλάδου που βρίσκεται αυτή η πηγή.

Αν η σύνθετη αντίσταση από τη διανεμημένη πηγή μέχρι το βραχυκύκλωμα είναι αρκετά μικρή τότε το ρεύμα της πηγής μπορεί να γίνει αρκετά μεγάλο, ώστε να ενεργοποιήσει τα μέσα προστασίας και των δυο κλάδων. Αυτό συμβαίνει όταν η διανεμημένη πηγή είναι βασισμένη σε στρεφόμενη μηχανή, ικανή να αναπτύξει μεγάλο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Σε περίπτωση που η διανεμημένη πηγή είναι βασισμένη σε ηλεκτρονικά ισχύος, μπορεί να διοχετεύσει ρεύμα πλάτους που δεν ξεπερνάει κατά πολύ το ονομαστικό και δεν είναι ικανό να ενεργοποιήσει κάποιον ηλεκτρονόμο προστασίας.



Σχήμα 1 Λανθασμένη ενεργοποίηση προστασίας (False Tripping)

3.1.2. Αποσυντονισμός μέσω προστασίας και νησιδοποίηση (Islanding)

Η λανθασμένη ενεργοποίηση των μέσων προστασίας ενός υγιούς κλάδου μπορεί να οδηγήσει σε νησιδοποίησή του. Ένα σφάλμα που συμβαίνει σε κάποιο άλλο σημείο του δικτύου έχει ως συνέπεια τη ροή μεγάλου ρεύματος και στο υγιές κομμάτι του δικτύου λόγω της διανεμημένης πηγής. Έτσι, λανθασμένα ενεργοποιούνται τα μέσα προστασίας και της υγιούς γραμμής.

Αν οι πηγές έχουν αρκετά μεγάλη ισχύ ώστε να μπορούν να καλύψουν το φορτίο της υγιούς αποκομμένης γραμμής, τότε παραμένουν σε λειτουργία και συνεχίζουν να τροφοδοτούν τα φορτία. Όμως σε δίκτυα τα οποία δεν έχουν

σχεδιαστεί για τέτοια λειτουργία, προκύπτουν προβλήματα με την ποιότητα της ισχύος, την επανασύνδεση με το δίκτυο και την ευστάθειά του.

Επιπλέον, η επανασύνδεση της περιοχής με το δίκτυο γίνεται εξαιρετικά δύσκολη καθώς οι πηγές τείνουν να αποσυγχρονίζονται σε αυτόνομη λειτουργία.

Σε περίπτωση εναέριου δικτύου, οι ΔΑΕ (διακόπτες αυτόματης επαναφοράς) στην προσπάθειά τους να διαχειριστούν το σφάλμα εκτελούν κύκλους επαναφοράς, η επανασύνδεση του αποσυγχρονισμένου κλάδου προκαλεί έντονα μεταβατικά φαινόμενα και μεγάλα μεταβατικά ρεύματα, ικανά να προκαλέσουν βλάβη στον εξοπλισμό προστασίας του δικτύου και στις ίδιες τις πηγές.

Όταν μπει σε λειτουργία ένας ΔΑΕ με στόχο την διόρθωση ενός σφάλματος μέσω μηδενισμού του ρεύματος κατά το χρονικό διάστημα μιας επαναφοράς, μία μονάδα διανεμημένης παραγωγής μπορεί να λειτουργήσει με μη επιθυμητό τρόπο ως εξής:

Ο διακόπτης αυτόματης επαναφοράς αποσυνδέει το συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου με στόχο τον μηδενισμό του ρεύματος σφάλματος πριν το συνδέσει ξανά για έλεγχο παρουσίας σφάλματος.

Το τμήμα του δικτύου που αποσυνδέθηκε διαθέτει μία πηγή που μπορεί να συνεχίσει να το τροφοδοτεί. (Islanding Mode). Όμως, αυτό σημαίνει ότι τροφοδοτείται και το σφάλμα.

Ο διακόπτης αυτόματης επαναφοράς θα αντιληφθεί την παρουσία μεγάλου ρεύματος κατά την επανασύνδεση του τμήματος αυτού του δικτύου και θα εκτελέσει την επόμενη επαναφορά του.

Αυτό είναι πιθανό να καταλήξει σε κατάσταση μόνιμου σφάλματος αν αποτύχουν όλες οι επαναφορές του στο να μηδενίσει το ρεύμα σφάλματος και άρα θα βγει εκτός το τμήμα αυτό του δικτύου μόνο και μόνο χάρη στην παρουσία της μονάδας διανεμημένης παραγωγής.

Το σφάλμα θα είχε εξαλειφθεί (εάν δεν ήταν όντως μόνιμου χαρακτήρα) με τις επαναφορές του διακόπτη αν δεν υπήρχε η διανεμημένη μονάδα και το τμήμα του δικτύου θα είχε επανασυνδεθεί επιτυχώς στο υπόλοιπο δίκτυο.

Μία άλλη συνέπεια της κατάστασης Islanding είναι οι πιθανές διακυμάνσεις στο επίπεδο της τάσης και της συχνότητας που εξαρτώνται άμεσα από την ικανότητα της διανεμημένης μονάδας να χειριστεί το φορτίο που προσπαθεί να ικανοποιήσει όσο βρίσκεται σε κατάσταση Islanding ενώ ο διακόπτης αυτόματης επαναφοράς προσπαθεί να διορθώσει το σφάλμα.

Αυτό μπορεί να έχει αρνητικές (ίσως καταστροφικές) συνέπειες στο φορτίο, το οποίο έχει σχεδιαστεί για τάση συγκεκριμένου πλάτους και συχνότητας.

Ένας τρόπος να διατηρηθεί η επιθυμητή τάση και συχνότητα ενώ το κομμάτι αυτό του δικτύου λειτουργεί στην κατάσταση αυτή, θα ήταν η μονάδα διανεμημένης παραγωγής να απορρίπτει φορτία (shedding) μέχρι να υπάρξει ισοζύγιο παραγόμενης ισχύος και απορροφούμενης ισχύος από το υπόλοιπο φορτίο. Αυτό προϋποθέτει όμως ανάλυση και προετοιμασία με κατάλληλα συστήματα αυτομάτου ελέγχου προσαρμοσμένα στην κάθε διαφορετική τοπολογία του δικτύου.

Αυτό που εφαρμόζεται στο δίκτυο σαν προστασία έναντι νησιδοποίησης αποσκοπεί στην αυτόματη αποσύνδεση του σταθμού παραγωγής, εφόσον διαπιστωθεί ότι τμήμα του τοπικού δικτύου στο οποίο αυτός συνδέεται έχει απομονωθεί από το ανάντη Δίκτυο.

Οι αποδεκτές μέθοδοι για την υλοποίηση της προστασίας έναντι νησιδοποίησης καθορίζονται από τον Διαχειριστή του Δικτύου, αποτυπώνονται στο Εγχειρίδιο Πρόσβασης στο Δίκτυο και εξειδικεύονται σε σχετική Οδηγία εφαρμογής.

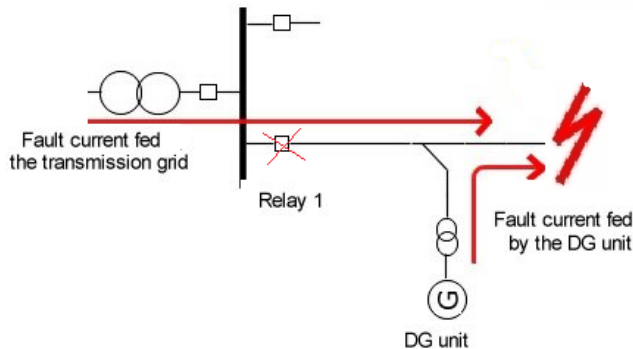
Η προστασία απόζευξης κατά κανόνα υλοποιείται κεντρικά, σε επίπεδο σταθμού παραγωγής, και επενεργεί σε μέσο διακοπής, το οποίο εγκαθίσταται από τον Παραγωγό στο όριο Δικτύου/Χρήστη και καλείται Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης.

Επίσης μπορεί να απαιτείται η εφαρμογή πρόσθετων ή διαφοροποιημένων μεθόδων και λειτουργιών προστασίας, όταν αυτό επιβάλλεται για λόγους ασφάλειας, όπως η αλληλένδεση της προστασίας απόζευξης του σταθμού με άλλα συστήματα προστασίας του Δικτύου (π.χ. μέσω επικοινωνιακής σύνδεσης με προταγμένο μέσο προστασίας του Δικτύου).

3.1.3. Τύφλωση προστασίας (Protection Blinding)

Ένα άλλο φαινόμενο προβληματικής προστασίας μπορεί να δημιουργηθεί όταν η διανεμημένη πηγή βρεθεί ανάμεσα στο σφάλμα και το εξωτερικό δίκτυο.

Κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος η ΔΠ συνεισφέρει στο συνολικό ρεύμα βραχυκύκλωσης. Το επιπλέον ρεύμα περνά από τη σύνθετη αντίσταση της γραμμής, προκαλώντας αύξηση της τάσης στο σημείο που διοχετεύεται από την ΔΠ. Εφόσον αυξάνεται η τάση στο ζυγό της ΔΠ, μειώνεται το ρεύμα που συνεισφέρει το εξωτερικό δίκτυο. Η μείωση του ρεύματος του εξωτερικού δικτύου είναι σε μερικές περιπτώσεις αρκετά μεγάλη, ώστε να μην ανιχνεύεται το σφάλμα από τους ηλεκτρονόμους προστασίας που βρίσκονται στην αρχή της γραμμής. Αν η σύνθετη αντίσταση σφάλματος είναι αρκετά μεγάλη, το πρόβλημα γίνεται ακόμα εντονότερο. Το ρεύμα βραχυκύκλωσης του εξωτερικού δικτύου το οποίο είναι ήδη μειωμένο, μειώνεται ακόμα περισσότερο από τη συνεισφορά της διανεμημένης πηγής. Έτσι είναι πιθανό να υπάρξει πρόβλημα στη λειτουργία προστασίας καθώς προκύπτει ένα, μη ανιχνεύσιμο, μόνιμο σφάλμα.



Σχήμα 2 Τύφλωση προστασίας

3.2. Αύξηση της ισχύος βραχυκύκλωσης

Ένα σημαντικό τεχνικό θέμα εξαιτίας της αυξημένης απαίτησης για ένταξη στο δίκτυο όλο και περισσότερων ΑΠΕ, είναι αν το υπάρχον δίκτυο προστατεύεται επαρκώς εάν δημιουργηθεί σφάλμα, όπως το βραχυκύκλωμα.

Σε αυτήν την κατεύθυνση θα πρέπει η προστασία των συστημάτων ισχύος να διατηρείται με υψηλότερα επίπεδα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο.

Ο ακριβής υπολογισμός των ρευμάτων βραχυκύκλωσης καθίσταται ζωτικής σημασίας για την κατανόηση του αντίκτυπου της κατανεμημένης παραγωγής στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας.

Το βραχυκύκλωμα είναι από τους πιο τυπικούς τύπους σφάλματος που μπορεί να προκύψει στο δίκτυο και μπορεί να προκύψει αρκετά συχνά και από διάφορες αιτίες (για παράδειγμα όταν ένα δέντρο αγγίξει αγωγό, όταν ακουμπήσουν δύο αγωγοί μεταξύ τους, κεραυνοί κ.α). Τα παραπάνω σφάλματα μπορεί να προκαλέσουν από φωτιά έως και καταστροφή εξοπλισμού γι' αυτό έχουν και μεγάλη σημασία.

Η στάθμη βραχυκύκλωσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τη στάθμη σχεδιασμού, το οποίο αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό του δικτύου, εξαρτάται από τον εγκατεστημένο εξοπλισμό του δικτύου και υπολογίζεται για κάθε επίπεδο τάσης.

Το βραχυκύκλωμα δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τη στάθμη σχεδιασμού ώστε να εξασφαλίζεται:

- Η μηχανική και θερμική αντοχή του εξοπλισμού.
- Η επάρκεια των μέσων προστασίας, και η επιτυχή λειτουργία τους ακόμα στη δυσμενέστερη περίπτωση σφάλματος.
- Η προστασία του εξοπλισμού. Τα ρεύματα βραχυκυκλώματος μπορούν να υποβάλουν τον εξοπλισμό του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλά επίπεδα καταπόνησης. Οι συσκευές προστασίας από υπερένταση, όπως οι ασφάλειες, οι διακόπτες και οι ηλεκτρονόμοι, έχουν σχεδιαστεί για να προστατεύουν τον εξοπλισμό από τις καταστροφικές συνέπειες του υπερβολικού ρεύματος. Ωστόσο, η αύξηση της ισχύος βραχυκυκλώματος

μπορεί να υπερβεί την ικανότητα διακοπής των συσκευών προστασίας, οδηγώντας σε αστοχία ή ανεπαρκή απόδοσή τους.

- Να αποτρέπονται κίνδυνοι για την ασφάλεια. Τα βραχυκυκλώματα ενέχουν κινδύνους για την ασφάλεια του προσωπικού που εργάζεται σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Τα υψηλότερα ρεύματα βραχυκυκλώματος αυξάνουν την πιθανότητα περιστατικών ηλεκτρικού τόξου, τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρούς τραυματισμούς ή ακόμα και θανάτους.

Η ισχύς βραχυκύκλωσης (Sk) προσδιορίζεται από το μέγιστο συμμετρικό ρεύμα βραχυκυκλώματος που μπορεί να εμφανιστεί σε ένα σημείο του δικτύου (I_k'') και εν γένει προκύπτει από την υπέρθεση της συμβολής του ανάντη δικτύου και των διατάξεων που συνδέονται στο δίκτυο διανομής και συμβάλλουν με ρεύμα βραχυκύκλωσης, όπως ιδίως των μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής, αλλά και των στρεφόμενων ηλεκτρικών μηχανών που είναι συνδεδεμένες στο τοπικό δίκτυο.

Έτσι αν η διεσπαρμένη παραγωγή βρίσκεται στα ανάντη του διακόπτη ισχύος και το σφάλμα συμβαίνει στη γραμμή που προστατεύει ο συγκεκριμένος διακόπτης, τότε η συνεισφορά της διεσπαρμένη παραγωγής αυξάνει το συνολικό ρεύμα σφάλματος το οποίο μπορεί να υπερβαίνει τη μέγιστη ικανότητα διακοπής του διακόπτη. Έτσι, μπορεί να προκληθούν μόνιμες βλάβες εξοπλισμού μέχρι και πλήρης αστοχία προστασίας αφήνοντας τη γραμμή του διακόπτη χωρίς τροφοδοσία.

Στα δίκτυα MT, το «περιθώριο βραχυκύκλωσης» είναι ένας από τους πιο σημαντικούς περιορισμούς που δεν επιτρέπουν την αύξηση της ικανότητας υποδοχής διεσπαρμένων πόρων.

Η έννοια «περιθώριο βραχυκύκλωσης» αναφέρεται στη διαφορά, μεταξύ του ορίου σχεδιασμού και της στάθμης βραχυκύκλωσης του υπό εξέταση δικτύου, η οποία όπως προαναφέρθηκε δεν πρέπει να ξεπερνά τη στάθμη σχεδιασμού.

Για την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων προβλημάτων έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι υπολογισμού των ρευμάτων βραχυκύκλωσης σε συστήματα με υψηλή διείσδυση διασπαρμένης παραγωγής:

- Αναλυτικές μέθοδοι: Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν την εκτέλεση μαθηματικών υπολογισμών με βάση τις ηλεκτρικές παραμέτρους του συστήματος, όπως η σύνθετη αντίσταση των γεννητριών, των μετασχηματιστών και των γραμμών μεταφοράς. Αναλυτικές τεχνικές, συμπεριλαμβανομένης της μεθόδου συμμετρικών συνιστωσών και της μεθόδου του πίνακα σύνθετης αντίστασης, χρησιμοποιούνται συνήθως για τον ακριβή προσδιορισμό των ρευμάτων βραχυκύκλωσης.
- Εργαλεία λογισμικού: Διατίθενται διάφορα πακέτα λογισμικού που χρησιμοποιούν προηγμένους αλγόριθμους για τον υπολογισμό των ρευμάτων βραχυκύκλωσης. Αυτά τα εργαλεία λαμβάνουν υπόψη την τοπολογία του δικτύου, τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας και τις παραμέτρους του συστήματος για να παρέχουν ακριβή αποτελέσματα. Παραδείγματα τέτοιου λογισμικού είναι τα ETAP, DigSILENT PowerFactory και PSS®E.
- Μετρήσεις και δοκιμές: Σε ορισμένες περιπτώσεις, η διενέργεια επιτόπιων μετρήσεων (χρησιμοποιώντας διάφορα όργανα όπως πχ αναλυτές ποιότητας ισχύος κ.α.) ή ακόμα και δοκιμών, μπορεί να βοηθήσει στην επαλήθευση της ακρίβειας των υπολογισμένων ρευμάτων βραχυκύκλωσης.

Καθώς αυξάνεται η διείσδυση των κατανεμημένων πηγών παραγωγής και το σύστημα υφίσταται αλλαγές, είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται περιοδικές μελέτες βραχυκυκλώματος. Με τον ακριβή υπολογισμό των ρευμάτων βραχυκυκλώματος, οι διαχειριστές του συστήματος μπορούν να αξιολογούν τον αντίκτυπο στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, να εφαρμόζουν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας και να διασφαλίζουν την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία του.

3.3. Ανύψωση τάσης

Όταν η διείσδυση των μονάδων διασπαρμένης παραγωγής είναι μεγάλη τότε μπορεί να συμβεί υπερφόρτωση των γραμμών και των μετασχηματιστών διανομής εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων παραγωγής τις περιόδους χαμηλής ζήτησης, αυξάνοντας τον κίνδυνο υπερτάσεων εξαιτίας των μονάδων που βρίσκονται σε απομακρυσμένους κόμβους του συστήματος διανομής.

Τα δίκτυα διανομής και ιδιαίτερα τα δίκτυα χαμηλής τάσης παρουσιάζουν έντονη ωμική συμπεριφορά. Σε μία γραμμή με ωμική συμπεριφορά, η μεταφερόμενη ισχύς από ένα σημείο (S) σε ένα άλλο σημείο (R) εξαρτάται από τη διαφορά στο μέτρο της τάσης αυτών των δυο σημείων.

Έτσι, σε ένα δίκτυο διανομής αν η παραγόμενη ισχύς από τις διασπαρμένες πηγές ξεπερνάει την ισχύ των φορτίων τότε υπάρχει αντίστροφη ροή ισχύος, άρα και ανύψωση της τάσης σε μεγαλύτερα επίπεδα από την τάση τροφοδοσίας που επιβάλλεται από το εξωτερικό δίκτυο.

Έχουν προταθεί διάφορες λύσεις για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος. Οι περισσότερες βασίζονται στην εισαγωγή και εξαγωγή άεργου ισχύος από τις διασπαρμένες μονάδες παραγωγής ή τη λειτουργία on-load tap changer (OLTC) στον μετασχηματιστή.

4. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΤ.

4.1. Στόχος της Προστασίας του Συστήματος Διανομής

Οι κύριοι στόχοι της προστασίας του συστήματος διανομής είναι:

- i. Ελαχιστοποίηση της διάρκειας ενός σφάλματος
- ii. Ελαχιστοποίηση του αριθμού των καταναλωτών που επηρεάζονται από το σφάλμα.

Οι δευτερεύοντες στόχοι της προστασίας του συστήματος διανομής είναι:

- i. Η εξάλειψη των κινδύνων ασφαλείας το συντομότερο δυνατό
- ii. Περιορισμός των διακοπών εξυπηρέτησης στο μικρότερο δυνατό τμήμα του συστήματος.
- iii. Προστασία των συσκευών των καταναλωτών

- iv. Προστασία του συστήματος από περιπτώσεις διακοπές και διαταραχές.
- v. Αποσύνδεση γραμμών, μετασχηματιστών ή άλλων συσκευών που έχουν υποστεί βλάβη.

Στα εναέρια συστήματα διανομής τα ηλεκτρικά σφάλματα, μπορεί να είναι παροδικά (ή προσωρινά) σφάλματα ή μόνιμα σφάλματα.

Τα παροδικά σφάλματα διαρκούν ελάχιστο χρόνο και αρκεί να διακοπεί η τάση τροφοδοσίας για ελάχιστο χρόνο (π.χ. 0,2 s). Στις εναέριες γραμμές, τα παροδικά σφάλματα συνήθως εμφανίζονται όταν οι αγωγοί φάσης έρχονται σε ηλεκτρική επαφή με άλλους αγωγούς φάσης ή με τη γη λόγω δέντρων, πουλιών ή άλλων ζώων, ισχυρούς ανέμους, κεραυνούς, κ.λπ.

Τα παροδικά σφάλματα μπορούν να εξαλειφθούν πολλές φορές και μόνα τους χωρίς να διακοπεί καθόλου η τάση. Τα σφάλματα αυτά ονομάζονται τότε «αυτοαποσβενύμενα»

Τα μόνιμα σφάλματα υφίστανται συνεχώς μέχρι να διακοπεί η τροφοδοσία στο κύκλωμα, που υπάρχει το σφάλμα, είτε αυτόματα από τα υπάρχοντα μέσα προστασίας είτε από τον άνθρωπο.

Οι μόνιμες βλάβες απαιτούν επισκευές από το συνεργείο επισκευής όσον αφορά:

- i. Αντικατάσταση καμένων αγωγών, καμένων ασφαλειών ή άλλων κατεστραμμένων συσκευών.
- ii. Απομάκρυνση κλαδιών δέντρων από τη γραμμή.
- iii. Χειροκίνητο κλείσιμο διακόπτη

Στα μέσα προστασίας χρησιμοποιούνται επίσης οι όροι «υπερφόρτιση» και «υπερένταση».

Υπερφόρτιση συμβαίνει όταν το ρεύμα σε μια διάταξη είναι λίγο μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας (I_N) και μπορεί να πάρει τιμή μέχρι και το διπλάσιο του ονομαστικού.

Για ρεύματα μεγαλύτερα από το διπλάσιο ονομαστικό ρεύμα (πχ 5 φορές το I_N) χρησιμοποιείται ο όρος «υπερένταση».

Υπερένταση έχουμε όταν υπάρχει κάποιο βραχυκύκλωμα.

Στο υπόγειο σύστημα διανομής τα σφάλματα αν και είναι πολύ λιγότερα σε σύγκριση με αυτά που συμβαίνουν στο εναέριο δίκτυο διανομής, είναι συνήθως μόνιμα και μπορούν να επηρεάσουν μεγαλύτερο αριθμό πελατών.

Για την προστασία των δικτύων διανομής χρησιμοποιείται μεγάλη ποικιλία εξοπλισμού. Ο τύπος προστασίας που επιλέγεται εξαρτάται από το στοιχείο του συστήματος που προστατεύεται και το επίπεδο τάσης του συστήματος και παρόλο που δεν υπάρχουν συγκεκριμένα πρότυπα για τη συνολική προστασία των δικτύων διανομής, μπορούν να δοθούν ορισμένες γενικές ενδείξεις. Ο Διαχειριστής εφαρμόζει σχετικές οδηγίες για την προστασία των συστημάτων του.

Τα μέσα προστασίας στην Μέση Τάση χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες:

1. Διακόπτες ΜΤ
2. Ασφάλειες ΜΤ

Διακόπτες ΜΤ

Οι διακόπτες ΜΤ ανάλογα με τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Αποζεύκτες: Χειρισμοί μόνο με μηδενικό ή ελάχιστο ρεύμα
- Διακόπτες φορτίου (ΔΦ): Χειρισμοί και σε κανονική λειτουργία με ονομαστικά ρεύματα
- Διακόπτες Ισχύος (ΔΙ): Χειρισμοί σε οποιαδήποτε κατάσταση λειτουργίας
- Διακόπτες Απομόνωσης (ΔΑ): Συνεργάζονται με έναν Διακόπτη Ισχύος και έχουν προδιαγραφές παρόμοιες με ένα Διακόπτη φορτίου.

Οι διακόπτες είναι πολύ πιο ακριβοί από τις ασφάλειες αλλά έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζονται αλλαγή όπως μια ασφάλεια. Βέβαια και αυτοί έχουν μια διάρκεια ζωής που μετρείται σε κύκλους μηχανικής λειτουργίας και εξαρτάται από το είδος του διακόπτη

4.2. Αποζεύκτες ΜΤ

Ο αποζεύκτης (διακόπτης αποσύνδεσης) είναι μια διάταξη που χρησιμοποιείται για την παροχή ασφαλούς απομόνωσης με την απενεργοποίηση τμημάτων ενός ηλεκτρικού δικτύου, π.χ. μιας εναέριας γραμμής, ενός μετασχηματιστή, ενός ζυγού κ.λπ.

Ένας αποζεύκτης έχει την ικανότητα να ανοίγει και να κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, είτε όταν διακόπτεται ή αποκαθίσταται ρεύμα αμελητέας έντασης είτε όταν δεν εμφανίζεται μεταξύ των ακροδεκτών κάθε πόλου του αποζεύκτη σημαντική μεταβολή της τάσης.

Επίσης έχει την ικανότητα να φέρει ρεύματα κάτω από κανονικές συνθήκες και για ορισμένο χρόνο ρεύματα κάτω από μη κανονικές συνθήκες, όπως είναι οι συνθήκες βραχυκυκλώματος.

Οι διατάξεις αυτές έχουν ορατές επαφές, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε μια εγκατάσταση για να μπορεί κάποιος να «βλέπει από απόσταση και να είναι σίγουρος» αν η εγκατάσταση είναι υπό τάση ή εκτός τάσης κάθε στιγμή.

Συγκεκριμένα, οι αποζεύκτες απομονώνουν ορατά ένα μέρος της εγκατάστασης από την υπόλοιπη. Η υπόλοιπη εγκατάσταση μπορεί να τεθεί πάλι υπό τάση. Επειδή όμως μπορεί να υπάρχει τάση 20 kV στην πλευρά που έγινε η διακοπή, υπάρχει περίπτωση να επαχθεί τάση στο απομονωμένο τμήμα. Η τάση που επάγεται ενδέχεται να πάρει μεγάλη τιμή, επικίνδυνη για κάποιον που εργάζεται στο απομονωμένο τμήμα.

Γι' αυτό τον λόγο, αφού ανοίξουν οι αποζεύκτες και απομονώσουν ένα τμήμα κλείνουν οι γειωτές, οι οποίοι γείωναν το τμήμα αυτό με την γη ώστε να εκτελούνται οι απαιτούμενες εργασίες με ασφάλεια.

Για λόγους ασφαλείας οι αποζεύκτες και οι γειωτές πρέπει να μανδαλώνονται μηχανικά με τους διακόπτες φορτίου ή ισχύος δηλαδή να ανοίγουν πρώτα οι διακόπτες και στην συνέχεια οι αποζεύκτες και οι γειωτές. Σε αντίθετη περίπτωση θα δημιουργηθεί ένα μεγάλο ηλεκτρικό τόξο επικίνδυνο για την εγκατάσταση.

Οι αποζεύκτες πρέπει να αντέχουν στα ρεύματα σφαλμάτων όταν είναι κλειστοί καθώς επίσης και στις υπερτάσεις που ενδεχομένως να εμφανιστούν όταν αυτοί είναι ανοιχτοί.

Οι αποζεύκτες που εγκαθίστανται στο δίκτυο ΜΤ είναι οι παρακάτω τύποι:

- Μονοπολικοί αποζεύκτες με μονωτήρες πορσελάνης (σύμφωνα με την Τ.Π. ΔΔ -309/30-08.06)
- Τριπολικοί αποζεύκτες με μονωτήρες πορσελάνης (σύμφωνα με την Τ.Π. ΔΔ -310/30-08.06)
- Μονοπολικοί αποζεύκτες με συνθετικούς μονωτήρες (σύμφωνα με την Τ.Π. ΔΔ -311/05.09.06)
- Τριπολικοί αποζεύκτες με συνθετικούς μονωτήρες (σύμφωνα με την Τ.Π. ΔΔ -312/05.09.06)

Με χαρακτηριστική αντοχή σε ρεύμα βραχυκύκλωσης: 10 kA, 1 s

(χαρακτηριστική ένταση βραχείας διάρκειας : 10 kA, 1 s, και ρεύμα κορυφής: 25 kA)

Συνεπώς οι υπάρχοντες στο δίκτυο αποζεύκτες επαρκούν για στάθμη βραχυκύκλωσης μεγαλύτερη από τη στάθμη σχεδιασμού (7,2 kA, 1 s)

Οι συνθετικοί μονωτήρες που αυτοί φέρουν δοκιμάζονται ηλεκτρικά και μηχανικά σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61952 [4] και IEC 61952-1 [5]

Η μηχανική αντοχή των μονωτήρων χαρακτηρίζεται από τα μεγέθη MCDL (maximum design cantilever load) και SCL (specified cantilever load) σε kN. Το συνιστώμενο φορτίο λειτουργίας των κατασκευαστών είναι το MCDL και μπορεί να φτάσει έως και το 50% του SCL.

Οι προσφερόμενοι μονωτήρες με τους αποζεύκτες έχουν ένα μέσο όρο αντοχής σε κάμψη 4-5 kN και σε εφελκυσμό περίπου 20 kN. (διαφορετικά χαρακτηριστικά σε κάθε προμηθευτή).

Οι μονωτήρες πορσελάνης των αποζευκτών δοκιμάζονται ηλεκτρικά και μηχανικά σύμφωνα με τα πρότυπα ANSI C 29.8 [6] ή ANSI C 29.9 [7].

Οι προσφερόμενοι μονωτήρες πορσελάνης με τους αποζεύκτες έχουν ένα μέσο όρο αντοχής σε κάμψη περίπου 6 kN (διαφορετικά χαρακτηριστικά σε κάθε προμηθευτή).

Το στοιχείο της μηχανικής αντοχής των συνθετικών και πορσελάνινων μονωτήρων δεν έχει δημιουργήσει μέχρι τώρα αστοχίες καθώς οι αποζεύκτες αναρτώνται τόσο κάθετα όσο και οριζόντια σε κατάλληλη βάση στήριξης. Ίσως όμως θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω σε περίπτωση πολύ μεγαλύτερων σφαλμάτων στο δίκτυο, τόσο από άποψη αντοχής όσο και από αποδεκτό μήκος ερπυσμού (creepage distance).

Πρόσφατα ο Διεύθυνση Δικτύου έχει εκδώσει αναθεωρημένες τις ως άνω Τεχνικές Περιγραφές ώστε οι νέες προμήθειες να περιλαμβάνουν αποζεύκτες με χαρακτηριστική ένταση βραχυκύκλωσης 16 kA επί 1s ώστε το υλικό να καλύπτει τις απαιτήσεις για περαιτέρω αύξηση της στάθμης βραχυκύκλωσης.

Η παραπάνω αναβάθμιση δεν αναμένεται να επιφέρει αύξηση στην τιμή προμήθειας των παραπάνω υλικών πάνω από το 20% της τιμής προμήθειας των ήδη υπαρχόντων.

4.3. Ασφαλειοαποζεύκτες MT και ασφάλειες εκτόνωσης (τηκτά) MT

Οι ασφαλειοαποζεύκτες χρησιμοποιούνται ευρέως για την προστασία του εναέριου συστήματος διανομής, κυρίως στις διακλαδώσεις και για την προστασία των εναέριων Μ/Σ, λόγω της απλότητας και του χαμηλού τους κόστους, σε σχέση με άλλες συσκευές προστασίας.

Οι ασφαλειοαποζεύκτες που χρησιμοποιούνται στο εναέριο δίκτυο MT είναι μονής εκτόνωσης (drop-out fuse cutouts) με εκτόνωση των αερίων προς τα κάτω και χρησιμοποιούν ασφάλειες εκτόνωσης (expulsion fuses) (Σχήμα 3).

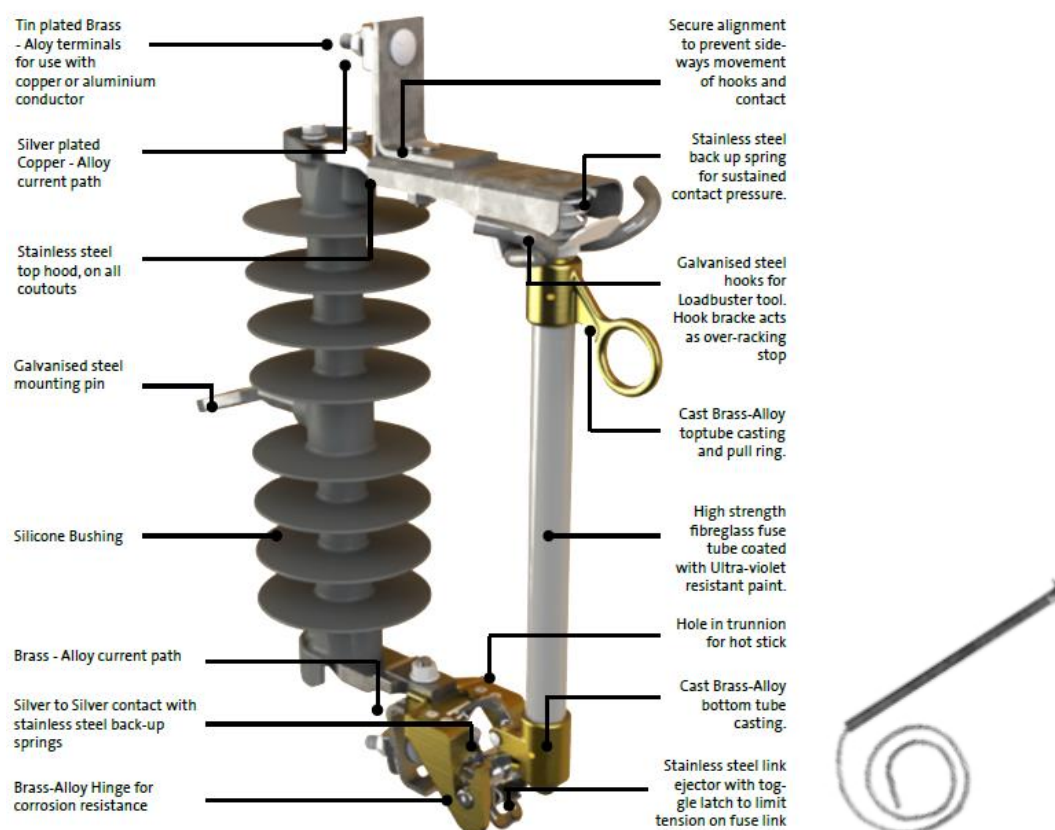
Οι ασφαλειοαποζεύκτες αποτελούνται από τα παρακάτω:

Τη βάση (ή “κυρίως σώμα”) η οποία αποτελείται από τα μέσα μόνωσης (μονωτήρας συνθετικός ή πορσελάνης) και τα αναγκαία μεταλλικά μέρη ώστε

να εξασφαλίζεται από τη μία η επαφή και άρθρωση προς την ασφαλειοθήκη και από την άλλη η σύνδεση προς το δίκτυο.

Την ασφαλειοθήκη η οποία αποτελείται από τον μονωτικό σωλήνα, το κάλυμμα (πώμα ή τάπα) αυτού, καθώς και τα αναγκαία μεταλλικά μέρη έτσι ώστε να περικλείεται το τηκτό (ασφάλεια εκτόνωσης) και να εξασφαλίζεται από τη μία η δημιουργία επαφών τόσο με το τηκτό όσο και με τα αγωγίμα τμήματα της βάσης, και από την άλλη να εξασφαλίζεται η άρθρωση της ασφαλειοθήκης προς τη βάση.

Και την ασφάλεια εκτόνωσης (fuse link - fuse element) που τοποθετείται εντός της ασφαλειοθήκης.



Σχήμα 3. Ασφαλειοαποζεύκτης με συνθετικό μονωτήρα και ασφάλεια εκτόνωσης.

Η αρχή λειτουργίας τους είναι σχετικά απλή: όταν ένα ρεύμα βραχυκυκλώματος διαρρέυσει τη συσκευή, το τηκτό (fuse link) που βρίσκεται εντός της ασφαλειοθήκης (fuse holder) τήκεται. Η τήξη του τηκτού προκαλεί

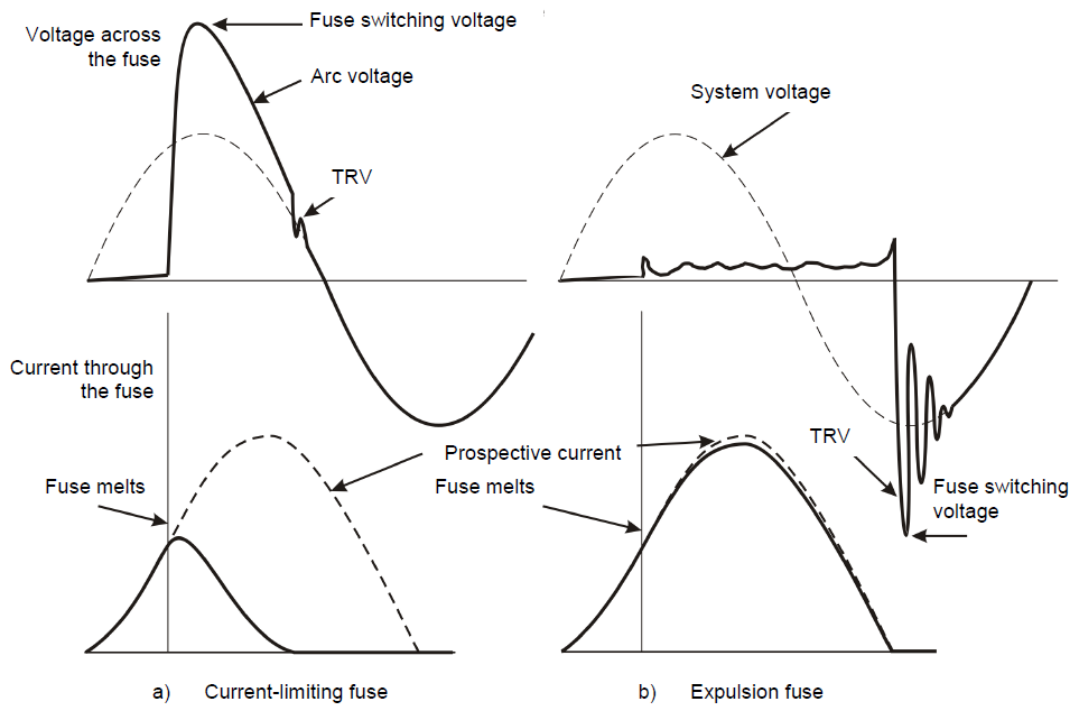
την απότομη διαστολή του αέρα στο εσωτερικό του σωλήνα (fuse tube) της ασφαλειοθήκης, εκτινάσσοντας τα παραγόμενα αέρια και κατάλοιπα της τήξης του μεταλλικού στοιχείου προς τα έξω, συμβάλλοντας στην εξαφάνιση του τόξου. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας δίνει και το αντίστοιχο όνομα σε αυτό το είδος της ασφάλειας (expulsion fuse).

Οι ασφάλειες εκτόνωσης διακρίνονται με βάση το χρόνο ενεργοποίησης της προστασίας (καμπύλες χρόνου-έντασης ρεύματος) σε ασφάλειες ταχείας τήξης (τηκτά τύπου “K”) και ασφάλειες βραδείας τήξης (τηκτά τύπου “T”).

Ασφαλειοαποζεύκτες με ασφάλειες ταχείας τήξης (τηκτά τύπου “K”) προτάσσονται των υπαίθριων Μ/Σ και οι Ασφαλειοαποζεύκτες με ασφάλειες βραδείας τήξης (τηκτά τύπου “T”) χρησιμοποιούνται κυρίως στις διακλαδώσεις.

Το μειονέκτημα των παραπάνω ασφαλειών είναι ότι ενώ περιορίζουν τη διάρκεια ενός σφάλματος, δεν περιορίζουν το μέγεθός του καθώς δεν έχουν τη δυνατότητα περιορισμού του ρεύματος βραχυκύκλωσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.

Συνέπεια των παραπάνω είναι ο εξοπλισμός και τα διακοπτικά στοιχεία που βρίσκονται κατάντη του σημείου τοποθέτησής τους θα πρέπει να έχει αντοχή σε ρεύμα βραχυκύκλωσης τουλάχιστον ίσο με το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης που μπορεί να εμφανιστεί στο σημείο της εγκατάστασης.



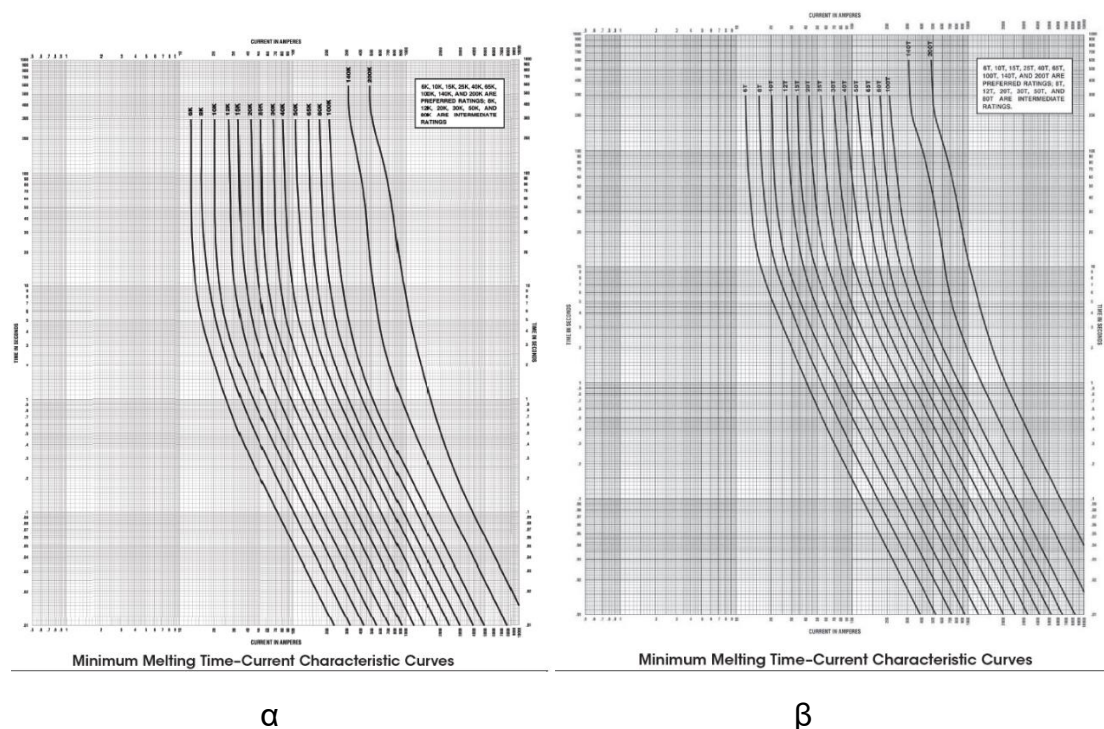
Σχήμα 4 High current interruption by current-limiting fuse and expulsion fuse

(IEC TR 62255 Tutorial and application guide for high-voltage fuses)

Οι ασφάλειες εκτόνωσης ορίζονται από δύο καμπύλες: Την καμπύλη ελάχιστης τήξης (Minimum Melting) και την καμπύλη εκκαθάρισης του σφάλματος (Total Clearing). Οι παραπάνω καμπύλες ρεύματος – χρόνου προκύπτουν από τυποποιημένες ηλεκτρικές δοκιμές που εκτελούνται από τους κατασκευαστές και διατίθενται μέσω γραφικών παραστάσεων σε λογαριθμολογική κλίμακα, όπου το ρεύμα είναι ο οριζόντιος άξονας και ο χρόνος είναι ο κάθετος άξονας.

Η χαρακτηριστική MM αντιπροσωπεύει τον ελάχιστο χρόνο κατά τον οποίο το στοιχείο της ασφάλειας λιώνει σε μια δεδομένη τιμή του ρεύματος σφάλματος. Η χαρακτηριστική TC δίνει το μέγιστο χρόνο τήξης συν το χρόνο του τόξου σε δεδομένο ρεύμα σφάλματος, που αντιπροσωπεύει το χρόνο για την πλήρη απομόνωση του σφάλματος.

Όπως φαίνεται στις χαρακτηριστικές καμπύλες (Σχήμα 5) μια ασφάλεια ταχείας τήξης “K” θα λιώσει γρηγορότερα από μια ασφάλεια βραδείας τήξης “T” ίδιου μεγέθους όταν αυτές διαρρέοντα από το ίδιο ρεύμα.



Σχήμα 5 Χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος χρόνου Ασφαλειών Ταχείας και Βραδείας τήξης

α) Χαρακτηριστικές καμπύλες ελάχιστης τήξης (Minimum Melting) Ασφάλειας Εκτόνωσης Ταχείας τήξης (τύπου “K”)

β) Χαρακτηριστικές καμπύλες ελάχιστης τήξης (Minimum Melting) Ασφάλειας Εκτόνωσης Βραδείας τήξης (τύπου “T”)

(πηγή: <https://www.sandc.com/en/products--services/products/positrol-fuse-links/> εταιρείας S&C electric company, positrol fuse links “K” speed and positrol fuse links “T” speed)

Πλεονεκτήματα της χρήσης των παραπάνω ασφαλειοαποζευκτών είναι :

- Η επίτευξη επιλογικής συνεργασίας των μέσων προστασίας του δικτύου γίνεται σχετικά εύκολα με σύγκριση των χαρακτηριστικών καμπυλών έντασης ρεύματος- χρόνου.
- Παρέχουν αξιόπιστη προστασία τόσο σε χαμηλού επιπέδου υπερφορτίσεις, σε ενδιάμεσα σφάλματα και στα υψηλά σφάλματα μέσω της ονομαστικής τιμής διακοπής.
- Είναι σχετικά οικονομική λύση καθώς σε περίπτωση σφάλματος, τοποθετείται νέα ασφάλεια (τηκτό), η οποία είναι χαμηλού κόστους, στην ασφαλειοθήκη του ασφαλειοαποζεύκτη, με τα ακόντια χειρισμών στην αντίστοιχη βάση της, ή νέα ασφαλειοθήκη χωρίς να χρειάζεται αντικατάσταση ολόκληρος ο ασφαλειοαποζεύκτης. Η αλλαγή της

ασφαλειοθήκης απαιτείται είτε μετά από ορατή φθορά της σε ένα σφάλμα, είτε μετά από τρία σφάλματα.

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την ηθελημένη διακοπή του κυκλώματος με το ειδικό εργαλείο χειρισμού τους (loadbuster) και να λειτουργήσουν σχεδόν όπως ένας διακόπτης απομόνωσης.

Αντιθέτως η επίτευξη επιλογικής συνεργασίας των μέσων προστασίας με αντίστοιχη χρήση ασφαλειών κόνεως είναι πολυπλοκότερη (αντοχή σε ονομαστικό ρεύμα, ρεύμα υπερφόρτισης, ρεύμα ζεύξεως). Οι ασφάλειες κόνεως χρησιμοποιούνται για την προστασία του Μ/Σ στην περίπτωση Υ/Σ εσωτερικού χώρου και των υπαίθριων συνεπτυγμένων υποσταθμών. Η χρήση των ασφαλειών εκτόνωσης σε αυτήν την περίπτωση δεν επιτρέπεται λόγω της έκλυσης τοξικών αερίων κατά την εκτόνωση.

4.3.1. Μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των ασφαλειών εκτόνωσης.

Επειδή η σωστή επιλογή μεγέθους της ασφάλειας είναι το κλειδί για τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας και του συντονισμού με άλλες συσκευές προστασίας, πολλοί συγγραφείς έχουν προτείνει διαφορετικούς τρόπους μοντελοποίησης της συμπεριφοράς των συγκεκριμένων ασφαλειών.

Η δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι είναι δύσκολο να βρεθεί μια μοναδική συνάρτηση ικανή να αναπαραστήσει με μεγάλη ακρίβεια την ποικιλομορφία των ονομαστικών τιμών ρεύματος και ταχύτητας αυτών των ασφαλειών.

Παρόλα αυτά η χρήση μαθηματικών εξισώσεων διευκολύνει την αναπαράσταση των καμπυλών ρεύματος - χρόνου στις προσομοιώσεις, ευνοώντας την ανάπτυξη ερευνών που χρησιμοποιούν ευρεστικές τεχνικές και μεθόδους βελτιστοποίησης για την προστασία και τον συντονισμό των συσκευών στα συστήματα διανομής καθώς και την άκαιρη ενεργοποίηση των ασφαλειών.

Παρακάτω δίνεται μια σύντομη επισκόπηση διαφόρων προσεγγίσεων για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των ασφαλειών εκτόνωσης:

Μια μέθοδος για τη μοντελοποίηση των ασφαλειών, χρησιμοποιεί ένα σύνολο σημείων από τα διαγράμματα MM και TC των κατασκευαστών. Όταν είναι απαραίτητο, οι ενδιάμεσες τιμές λαμβάνονται με γραμμική παρεμβολή μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων. [8,9]

Μια άλλη προσέγγιση που προτείνεται είναι με βάση τη γραμμική συμπεριφορά κατά την εξέταση μικρών διαστημάτων. [10,11,12]

Ως αποτέλεσμα, είναι να χρησιμοποιείται μια μέθοδος προσαρμογής καμπύλης για την προσέγγιση των τμημάτων ενδιαφέροντος με τη γραμμική εξίσωση (1).

$$\log(t) = a \cdot \log(I) + b \quad (1)$$

Η διαδικασία αυτή μειώνει σημαντικά το έργο των υπολογισμών.

Στην παραπάνω εξίσωση τα t και I δηλώνουν το χρόνο και το ρεύμα λειτουργίας αντίστοιχα και a , b είναι συντελεστές που μπορούν να υπολογιστούν από τη μέθοδο της προσαρμογής της καμπύλης.

Μια άλλη μέθοδος προσέγγισης που προτείνεται [13], γίνεται με βάση την παρουσίαση των καμπυλών ρεύματος- χρόνου οι οποίες αποτυπώνονται σε διπλό λογαριθμικό χαρτί και προσέγγιση με χρήση μιας δεύτερης τάξης πολυωνυμική συνάρτηση (2).

$$\log(t) = p_0 + p_1 \log(I) + p_2 \log^2(I) + \dots \quad (2)$$

Στην παραπάνω μέθοδο για τον προσδιορισμό των συντελεστών p_0 , p_1 και p_2 και για κάθε τηκτό χρησιμοποιείται η μέθοδος προσαρμογής καμπύλης.

Άλλοι τρόποι προσέγγισης που προτείνονται [14,15] είναι η προσέγγιση με τις εκθετικής μορφής εξισώσεις (3) και (4) αντίστοιχα καθώς παρέχουν καλύτερα αποτελέσματα προσαρμογής για τις δύο καμπύλες (καμπύλη ελάχιστης τήξης- Minimum Melting και την καμπύλη εκκαθάρισης του σφάλματος -Total Clearing).

Και πάλι, μια μέθοδος προσαρμογής καμπύλης χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των συντελεστών α , β , c , d στην εξίσωση (3) και τον συντελεστή a_n στην εξίσωση (4), όπου n είναι ακέραιος μεταξύ 0 και 4.

$$\log(t) = a \cdot \exp(b \cdot \log(I)) + c \cdot \exp(d \cdot \log(I)) \quad (3)$$

$$t = \exp\left(\sum_{n=0}^4 a_n (\ln(I))^n\right) \quad (4)$$

4.3.2. Οι ασφαλειοαποξεύκτες που χρησιμοποιούνται στο Ελληνικό εναέριο δίκτυο

Οι ασφαλειοαποξεύκτες με τα αντίστοιχα τηκτά που είναι σήμερα τοποθετημένα στο δίκτυο είναι σύμφωνα με τις παρακάτω προδιαγραφές της Διεύθυνσης Δικτύου:

ΔΔ-313/23.09.09 (Ασφαλειοαποξεύκτες 20 kV με μονωτήρες πορσελάνης)

ΔΔ-314/14.03.06 (Ασφαλειοαποξεύκτες 20 kV με συνθετικούς μονωτήρες)

ΔΔ-423/30.06.22 (Στελέχη Ασφαλειών - Τηκτά 20 KV)

Τα παραπάνω υλικά δοκιμάζονται σύμφωνα με τα πρότυπα ANSI C37.40, C37.41 & C37.42 και IEC 60282-2 και έχουν χαρακτηριστική συμμετρική συνιστώσα του ρεύματος διακοπής (rated symmetrical interrupting current), για όλα τα τηκτά από 1 έως 100 A και για X/R του δικτύου τουλάχιστον 12, ίση με 7,2 kA (RMS, ενεργός τιμή) όταν η τάση επαναφοράς είναι 24 kV.

Θεωρητικά ο ασφαλειοαποξεύκτης δύναται να αντέξει μεγαλύτερο ρεύμα από 7,2 kA, για περιοχές με χαμηλότερο λόγο X/R αλλά αυτό δεν μπορεί να γενικευτεί.

Συνεπώς θεωρητικά οι εγκατεστημένοι στο δίκτυο ασφαλειοαποξεύκτες δεν είναι κατάλληλοι για μεγαλύτερα ρεύματα βραχυκύκλωσης, όπως τα 10 kA και πολύ περισσότερο για τα 12,5 kA ή 16 kA.

4.3.3. Προτάσεις - λύσεις

Αντικατάσταση με ίδιο υλικό μεγαλύτερης αντοχής.

Με δεδομένο πλέον τις απαιτήσεις στο δίκτυο ρεύματος βραχυκύκλωσης μεγαλύτερου των 7,2 kA, το υλικό αυτό θα πρέπει να αντικατασταθεί με ίδιο υλικό μεγαλύτερης αντοχής ή κάποια άλλη λύση.

Η αντικατάσταση θα πρέπει να αφορά τουλάχιστον τα πρώτα χιλιόμετρα από τις αναχωρήσεις των Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ όπου μπορεί να εμφανιστούν σφάλματα με μεγάλο ρεύμα βραχυκύκλωσης, στις διακλαδώσεις, στους πελάτες και παραγωγούς ΜΤ, Υ/Σ διανομής.

Προς αυτόν τον προσανατολισμό ο Διαχειριστής έχει αναθεωρήσει τις παραπάνω προδιαγραφές για να διερευνήσει αν υπάρχει δυνατότητα προμήθειας ασφαλειοαποζευκτών με μεγαλύτερη ικανότητα ρεύματος διακοπής στα 16 kA (ισχύς βραχυκυκλώματος στα 550 MVA).

Επειδή το παραπάνω υλικό εμπορικά συνήθως κατασκευάζεται έως και για συμμετρικό σφάλμα βραχυκύκλωσης 10 kA πιθανή αύξηση της στάθμης βραχυκύκλωσης στο δίκτυο σε επίπεδο πάνω από τα 10 kA μπορεί να οδηγήσει σε αδυναμία εύρεσης του συγκεκριμένου υλικού για μεγαλύτερα ρεύματα βραχυκύκλωσης.

Σε ενδεχόμενο μιας τέτοιας περίπτωσης προτείνονται οι παρακάτω εναλλακτικές:

Εναλλακτικές προτεινόμενες λύσεις για στάθμη βραχυκύκλωσης σε επίπεδο πάνω από τα 10 kA:

Αντικατάσταση των ασφαλειών εκτόνωσης με ασφάλειες εκτόνωσης βορικού οξέος (boric acid power fuses), οι οποίες έχουν μέγιστη ονομαστική τιμή ρεύματος διακοπής (συμμετρικό) 12,5 kA για ονομαστική τάση 24 kV και μέγιστα ρεύματα λειτουργίας έως 200 A.

Αντικατάσταση των εναλλάξιμων ασφαλειοθηκών του δικτύου με ασφάλειες περιοριστικές της έντασης (current-limiting fuses) στους υπάρχοντες ασφαλειοαποζεύκτες. Η συγκεκριμένη λύση μπορεί να προσφέρει αντοχή σε ρεύμα βραχυκύκλωσης έως 50 kA.

Τοποθέτηση σε σειρά με τον ασφαλειοαποζεύκτη ασφαλειών (companion current limited fuses) οι οποίες είναι κατάλληλες για προστασία σε συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης έως 50 kA.

Ασφάλειες εκτόνωσης βορικού οξέος (boric acid power fuses) στους υπάρχοντες ασφαλειοαποζεύκτες

Οι παραπάνω ασφάλειες ανήκουν στις ασφάλειες εκτόνωσης, αλλά διαφέρουν από τις κοινές ασφάλειες εκτόνωσης καθώς κάνουν σβέση του τόξου στο εσωτερικό της ασφάλειας. Δημιουργούν χαμηλή τάση τόξου και ήπια εκτόνωση αερίων κατά τη διάρκεια της διακοπής. Η ονομαστική τιμή διακοπής των υπόψη ασφαλειών υπερβαίνει εκείνη των συμβατικών ασφαλειών εκτόνωσης και μειώνει σημαντικά τους κινδύνους και το θόρυβο της βίαιης εξάτμισης αερίων που συνηθίζεται στους ασφαλειοαποζεύκτες κάτω από συνθήκες διακοπής σφάλματος.

Χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση αν οι καμπύλες χρόνου – έντασης λειτουργίας τους είναι κατάλληλες για τις απαιτήσεις του δικτύου.

Επίσης είναι αρκετά ακριβότερη λύση καθώς δεν χρησιμοποιούν την κλασική ασφαλειοθήκη αλλά έχουν ανεξάρτητα στηρίγματα προσάρτησης στο σώμα του ασφαλειοαποζεύκτη και κάθε τήξη τους θέλει επιθεώρηση των εξαρτημάτων προσάρτησης ή και αλλαγή τους.

Χρήση ασφαλειοαποζεύκτη με ασφάλεια περιοριστική της έντασης (current-limiting fuses)

Οι ασφάλειες περιοριστικές της έντασης διακρίνονται σε δύο τύπους:

- ασφάλειες περιοριστικές της έντασης μερικού εύρους (Partial range current limiting fuses).
- ασφάλειες περιοριστικές της έντασης πλήρους εύρους (Full range current limiting fuses) με την έννοια ότι λειτουργούν τόσο σε περίπτωση υψηλής στάθμης σφάλματα αλλά και χαμηλής (π.χ. για σφάλματα ή υπερφόρτιση στη χαμηλή του M/Σ)

Ασφάλειες περιοριστικές της έντασης πλήρους εύρους:

Οι παραπάνω ασφάλειες έχουν ικανότητα να διακόπτουν σφάλματα έως και 50 kA και έχουν το πλεονέκτημα ότι η διακοπή συμβαίνει μέσα στο σώμα της ασφάλειας αθόρυβα και χωρίς εκτόνωση που αυτό σημαίνει επιπλέον ασφάλεια έναντι περίπτωσης πυρκαγιών.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα των παραπάνω ασφαλειών είναι:

- Κάνουν την εκκαθάριση του σφάλματος τόσο από υψηλά όσο και από χαμηλά ρεύματα σε πολύ μικρούς χρόνους.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν στους υπάρχοντες ασφαλειοαποζεύκτες που έχουν εναλλαξιμότητα στην ασφαλειοθήκη.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν εξοπλισμός δοκιμής σφάλματος (όταν ο ασφαλειοαποζεύκτης έχει ανοίξει) για να διασφαλιστεί η ασφάλεια του προσωπικού πριν την αντικατάσταση της ασφάλειας.
- Είναι λύση out-of-the-box που σημαίνει ότι δεν χρειάζονται συναρμολόγηση.
- Εύκολη τοποθέτηση και εκ τοποθέτηση λόγω της τήξης με απλό εργαλείο (ακόντια χειρισμού).

Τοποθέτηση ασφαλειών περιοριστικών της έντασης σε σειρά με τον ασφαλειοαποζεύκτη (companion current limiting fuses)

Οι ασφάλειες αυτές στην ουσία είναι περιοριστικές της έντασης (Partial range current limiting fuses) και εφαρμόζονται εύκολα ως πρόσθετες, εφεδρικές ασφάλειες. Η εφεδρική ασφάλεια διακόπτει το υψηλό ρεύμα σφάλματος και την ίδια στιγμή, περιορίζει την ποσότητα ενέργειας που διαχέεται στον προστατευόμενο εξοπλισμό. Με αυτό τον τρόπο (η χρήση τους σαν εφεδρικές) μπορεί να περιορίζεται το ρεύμα διέλευσης και ελαχιστοποιείται η πιθανότητα της βλάβης της δεξαμενής του Μ/Σ ή των μονωτήρων διέλευσης του Μ/Σ εξαιτίας σπινθηρισμών. Αυτού του τύπου οι ασφάλειες είναι σχεδιασμένες για να εφαρμόζονται σε σειρά με ασφαλειοαποζεύκτη με ασφάλεια εκτόνωσης (drop out fuse cutout).

Έτσι έχουν την ικανότητα να διακόπτουν τόσο τα υπερβολικά ρεύματα υπερφόρτωσης όσο και τα χαμηλά έως ενδιάμεσα ρεύματα σφάλματος μέχρι την ελάχιστη ονομαστική τιμή διακοπής τους.

Σημειώνεται ότι η πλειονότητα των βλαβών στα συστήματα διανομής είναι χαμηλού μεγέθους (όπως υπερφορτώσεις μετασχηματιστών ή αρχόμενα σφάλματα) και συνήθως μόνο οι χαμηλότερου κόστους ασφάλειες εκτόνωσης λειτουργούν και καθαρίζουν το σφάλμα.

Οι συγκεκριμένες ασφάλειες μπορούν να συνδυαστούν σε σειρά με τους ασφαλειοαποζεύκτες που χρησιμοποιούν κυρίως ασφάλειες ταχείας τήξης

(τηκτά τύπου “Κ”) αλλά και ασφάλειες βραδείας τήξης (τηκτά τύπου “Τ”) και σε διάφορες διατάξεις σε σχέση με τα αλεξικέραυνα, τον Μ/Σ και τον ασφαλειοαποζεύκτη (πχ στον άνω ή στον κάτω ακροδέκτη του ασφαλειοαποζεύκτη, πάνω στον Μ/Σ κλπ.) ανάλογα με την επιθυμητή κάθε φορά επίτευξη προστασίας (Σχήμα 6).

Επίσης σε περιοχές με υψηλές ισοκεραυνικές η χρήση τους σε σειρά με Α/Ζ βελτιώνει την προστασία του Μ/Σ από τα υψηλά ρεύματα των αλεξικέραυνων κάτι που δεν μπορεί να επιτευχθεί με τα συμβατικά τηκτά τύπου εκτόνωσης εξαιτίας της μεγάλης πιθανότητας αστοχίας τους.

Σίγουρα χρειάζεται περαιτέρω εξέταση της επιλεκτικής λειτουργίας των ως άνω εναλλακτικών προτάσεων με τα υπάρχοντα τηκτά καθώς και σε σχέση με τις ρυθμίσεις επιλεκτικής προστασίας των ηλεκτρονόμων των διακοπών ισχύος στο δίκτυο.

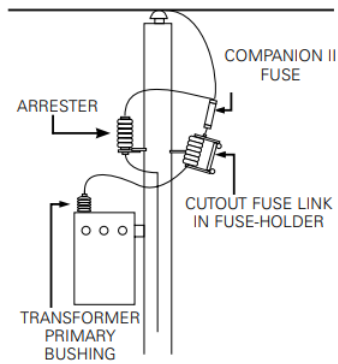


Figure 1. Source-side cutout installation

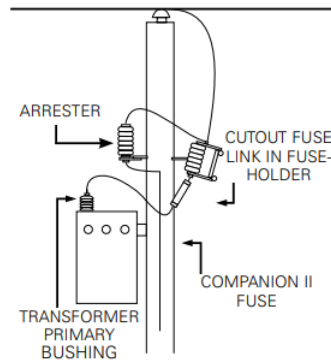


Figure 2. Load-side cutout installation

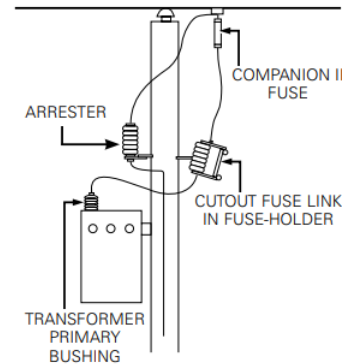


Figure 3. Hot-line/bail installation

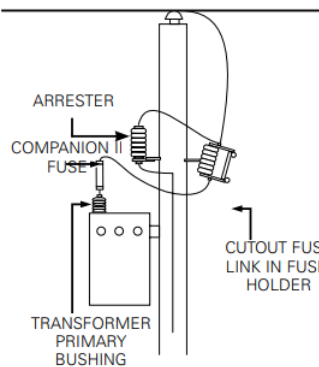


Figure 4. Bushing mount installation

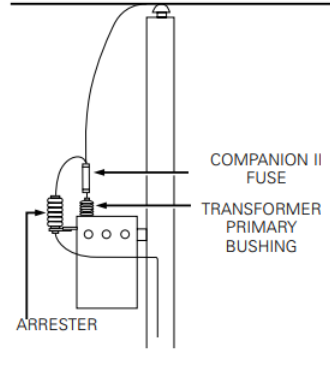


Figure 5. Completely self-protected (CSP) transformer installation

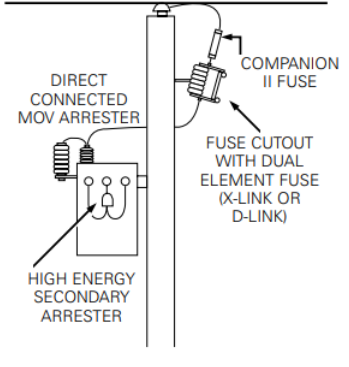


Figure 6. Lightning-protected transformer (LPT) installation

Σχήμα 6 Διάφοροι συνδυασμοί ασφαλειών περιοριστικών της έντασης (companion current limited fuses) σε συνδυασμό με ασφαλειοαποζεύκτη

(πηγή: www.eaton.com/content/dam/eaton/products/medium-voltage-power-distribution-control-systems/line-installation-and-protective-equipment/companion-ii-back-up-current-limiting-fuse)

4.4. Ασφάλειες περιοριστικές της έντασης (current-limiting fuses)

Παρόλα τα πλεονεκτήματα της χρήσης των ασφαλειών εκτόνωσης που αναφέρθηκαν παραπάνω, η έκλυση τοξικών αερίων κατά τη λειτουργία τους τις καθιστά απαγορευτικές για χρήση σε εσωτερικούς χώρους.

Σε εσωτερικούς χώρους γενικώς για την προστασία των Μ/Σ στους Υ/Σ, ΜΤ/ΧΤ χρησιμοποιούνται ασφάλειες περιοριστικές της έντασης (κόνεως), αλλά και σε εξωτερικούς χώρους ενδείκνυται η χρήση τους σε σημεία όπου η ισχύς βραχυκύκλωσης μπορεί να είναι υψηλή.

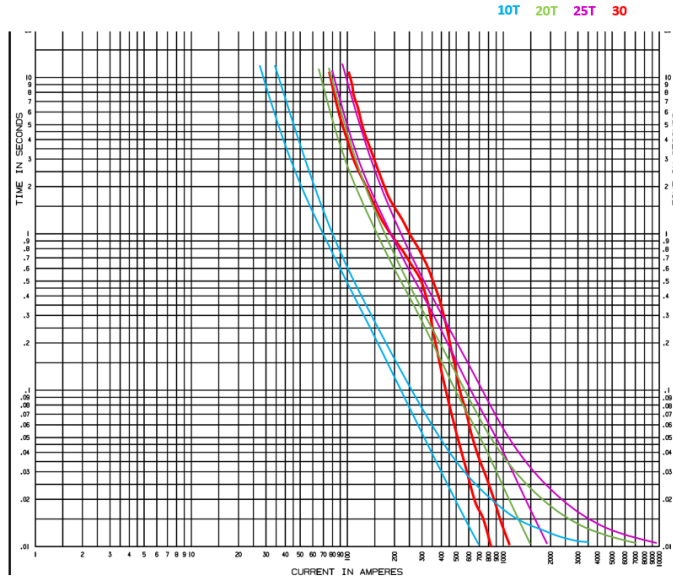
Η επίτευξη επιλογικής συνεργασίας των μέσων προστασίας του δικτύου σε συνδυασμό με τη χρήση των υπόψη ασφαλειών είναι δυσκολότερη καθώς λαμβάνονται υπόψη περισσότεροι παράγοντες όπως πχ η αντοχή σε ονομαστικό ρεύμα, ρεύμα υπερφόρτισης, ρεύμα ζεύξεως κλπ.

Στην Οδηγία Διανομής Νο 22 του ΔΕΔΔΗΕ δίνονται στοιχεία για την επιλογή των ασφαλειών κόνεως και εκτονώσεως για τους διάφορους Μ/Σ Διανομής που συναντώνται στο δίκτυο.

Επιπλέον οι διάφοροι κατασκευαστές δίνουν πίνακες ή καμπύλες για την ορθή επιλογή των παραπάνω ασφαλειών σε σχέση με τα ονομαστικά χαρακτηριστικά του Μ/Σ.

Ένα άλλο μειονέκτημα της χρήσης των συγκεκριμένων ασφαλειών είναι ότι πρέπει να εξετάζεται ξεχωριστά η συνεργασία τους με τις ασφάλειες που είναι τοποθετημένες στη ΧΤ του Μ/Σ.

Η επιλογή της χρήσης τους όμως σε σημεία όπου θα πρέπει να συνεργαστούν με τα ήδη τοποθετημένα τηκτά (ασφάλειες εκτόνωσης) του δικτύου είναι αρκετά δύσκολη και αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στο παρακάτω κοινό διάγραμμα (Σχήμα 7) μιας ασφάλειας 30 A (current limiting) και των τηκτών 10T, 20T και 25T (expulsion fuses) που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο.



Σχήμα 7: Κοινό διάγραμμα έντασης-χρόνου ασφαλειών 10T, 20T, 25T και 30 current limiting

Βασικό πλεονέκτημα όμως αυτών των ασφαλειών είναι ότι ο κατάντη εξοπλισμός εκτίθεται σε σημαντικά μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης, το οποίο εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της ασφάλειας (χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος – χρόνου).

Ίσως η χρήση ασφαλειών κόνεως να αποτελεί ενδεχομένως και βέλτιστη λύση στους Υ/Σ πελατών/παραγωγών συνδεδεμένων στο επίπεδο της ΜΤ όπου υπάρχουν εγκατεστημένες ασφάλειες (παροχή Α1 & Β1), ακόμη και με πιθανή θυσία της επιλογικότητας των μέσων προστασίας, προκειμένου να προκύπτουν κατά το δυνατόν λιγότερες παρεμβάσεις στην ιδιωτική εγκατάσταση των χρηστών. Στις παροχές χρηστών όπου δεν εγκαθίσταται ασφάλεια στην πλευρά της ΜΤ (παροχή Α2 & Β2) θα πρέπει να εξετάζεται η αντοχή του εξοπλισμού ΜΤ (πίνακες ΜΤ και Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ) σε ρεύμα βραχυκυκλώματος και εφόσον προκύπτουν ζητήματα, ο εξοπλισμός να αναβαθμίζεται προκειμένου να πληροί τις νέες απαιτήσεις.

4.5. Υποσταθμοί διανομής ΜΤ/ΧΤ

Οι Υ/Σ διανομής ΜΤ/ΧΤ υποβιβάζουν την τάση από τα 20/15/6,6 kV (του δικτύου διανομής) στα 400 V (230 V φασική).

Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία έτους 2020 του Διαχειριστή ανέρχονται περίπου σε 165.300 και είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος Υ/Σ, με εγκατεστημένη ισχύ κάθε Υ/Σ από 50 -2000 kVA.

Διακρίνονται σε:

- Υ/Σ εσωτερικού χώρου
- Εναέριους Υ/Σ .

Οι υποσταθμοί εσωτερικού χώρου εγκαθίστανται είτε εντός κτιρίου υπόγεια ή υπέργεια (Υ/Σ πόλεως), είτε εντός μεταλλικού οικίσκου στο ύπαιθρο (συνεπτυγμένοι υπαίθριοι Υ/Σ).

Οι εναέριοι Υ/Σ είναι υπαίθριου τύπου και ο εξοπλισμός τόσο της ΜΤ όσο και της ΧΤ εγκαθίσταται είτε σε έναν στύλο, είτε σε δύο στύλους οι οποίοι είναι ξύλινοι ή τσιμεντένιοι.

Τύπος Υ/Σ		Ισχύς Μ/Σ (kVA)							
Εναέριοι		50	75	100	160	250	400	630	
Εσωτερικού χώρου	Compact					250	400	630	
	Πόλεως						400	630	1000

Πίνακας 2 : Ισχύς Μ/Σ ανά τύπο Υ/Σ

4.5.1. Μετασχηματιστές εναέριων Υ/Σ διανομής

Οι εναέριοι Υ/Σ αποτελούν το 95% των εγκατεστημένων Υ/Σ διανομής στην Ελλάδα. Ο εξοπλισμός της μέσης και χαμηλής τάσης εγκαθίσταται σε έναν στύλο (εγκατάσταση σε μονόστυλο), ή δύο στύλους (εγκατάσταση σε δίστυλο). Οι στύλοι είναι είτε ξύλινοι είτε τσιμεντένιοι.

Οι παραπάνω υποσταθμοί υποβιβάζουν την τάση από 20 kV (15/6,6 kV) στην τάση των 400 V (230 V φασική) για χρήση σε οικιακούς ή εμπορικούς καταναλωτές.

Στην πλειοψηφία των εναέριων Υ/Σ είναι εγκατεστημένος ένας Μ/Σ.

Η ισχύς του Μ/Σ είναι από 50 kVA έως 630 kVA (και σπανιότερα 1260 kVA 2 Μ/Σ σε τρίσυλο).

Η τροφοδότησή του Μ/Σ γίνεται είτε από υπόγειο καλώδιο είτε μέσω του εναέριου καλωδίου της ΜΤ.

Οι εναέριοι ζυγοί ΜΤ (κληματαριά) κατασκευάζονται στην κορυφή των στύλων και είναι από αγωγούς Cu διατομής 35 mm² ή 95 mm² (έως και 150 mm²) (μερικές φορές χρησιμοποιούνται και αγωγοί ACSR). Από τους ζυγούς τροφοδοτείται ο Μ/Σ, με αγωγούς 25 ή 35 mm² αναλόγως της ισχύος του.

Σε περίπτωση υπόγειας τροφοδότησης τότε χρησιμοποιούνται αποζεύκτες (disconnectors) στους οποίους καταλήγει το υπόγειο καλώδιο της μέσης τάσης.

Ο Μ/Σ προστατεύεται από κεραυνικό πλήγμα από τα προτεταγμένα αλεξικέραυνα. Τα αλεξικέραυνα στις παλαιότερες κατασκευές τοποθετούνταν στο εναέριο τμήμα και στην πίσω πλευρά του ασφαλειοαποζεύκτη, στις νεότερες κατασκευές τοποθετούνται στο κέλυφος του Μ/Σ.

Ο Υ/Σ και ο Μ/Σ προστατεύεται από βραχυκύκλωμα με χρήση ασφαλειοαποζευκτών μονής εκτόνωσης (drop-out fuse cutouts) που χρησιμοποιούν ασφάλειες τύπου εκτονώσεως. Αυτοί τοποθετούνται :

- Είτε στην αρχή της διακλάδωσης που τροφοδοτείται ο Υ/Σ (σε ακτινικό δίκτυο)
- Είτε σε βραχίονα κάτω από τους ζυγούς επί του Υ/Σ

Σύμφωνα με τις τελευταίες προμήθειες οι υπάρχοντες Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ είναι κατάλληλοι για χρήση σε δίκτυο με ισχύ βραχυκύκλωσης 350 MVA και 500 MVA, όμως θα πρέπει να ελεγχθούν τα χαρακτηριστικά των παλαιότερων εγκατεστημένων αναφορικά με την επάρκειά τους στα επίπεδα των προαναφερόμενων ισχύων βραχυκύκλωσης.

Επιπλέον ένας μεγάλος αριθμός Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ που είναι εγκατεστημένοι στο δίκτυο είναι διπλής τάσης πρωτεύοντος 15 ή 21 kV, ώστε να είναι δυνατή η χρήση τους και σε δίκτυα ονομαστικής τάσεως 15 kV, των οποίων η στάθμη σχεδιασμού σε ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι τα 10 kA. Συνεπώς αυτοί

αντέχουν ρεύμα βραχυκυκλώματος 10 kA και δεν προκύπτει πρόβλημα σε περίπτωση επιλογής της αύξησης της στάθμης βραχυκύκλωσης σε αυτό το επίπεδο. Για μεγαλύτερες τιμές όμως, θα πρέπει να εξεταστούν τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά κάθε Μ/Σ ξεχωριστά.

Επίσης θα πρέπει να διερευνηθεί αν οι ήδη εγκατεστημένοι Μ/Σ απλού λόγου καλύπτουν απαίτηση μεγαλύτερη της στάθμης σχεδιασμού των 7,2 kA.

Σημειώνεται ότι η διάρκεια ζωής των μετασχηματιστών είναι συνήθως περίπου 40 χρόνια, αλλά σε πολλές περιπτώσεις, εξακολουθούν να είναι λειτουργικοί και μετά από αυτό το χρονικό διάστημα, με σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα απόδοσης.

Οι παλαιότεροι μετασχηματιστές διανομής είναι υπεύθυνοι για ένα σημαντικό ποσοστό συνολικών απωλειών ετησίως.

Συνεπώς η αντικατάστασή τους με μεγαλύτερους και ενεργειακά αποδοτικούς μετασχηματιστές μπορεί να συμβάλει εκτός της εξυπηρέτησης της επάρκειας σε υψηλότερα επίπεδα ισχύος βραχυκύκλωσης και στη μείωση των απωλειών ισχύος.

Η στρατηγική αντικατάστασης εξαρτάται από τον αριθμό, την ηλικία, το μέγεθος και τον τύπο των μετασχηματισμών.

Για μια βέλτιστη επενδυτική απόφαση το κόστος των απωλειών θα πρέπει να ληφθεί υπόψη σε μια πλήρη ανάλυση κόστους οφέλους. Η μελέτη μεταξύ άλλων θα πρέπει να περιλαμβάνει την ωφέλεια της υπερδιαστασιολόγησης των Μ/Σ (εναέριων ή εσωτερικού χώρου), σε συνδυασμό με την αντικατάσταση νωρίτερα από το προγραμματισμένο των μετασχηματιστών διανομής μιας δεδομένης ηλικίας.

4.5.2. Υπαίθριοι συνεπτυγμένοι και Υποσταθμοί εσωτερικού χώρου

Για τους συνεπτυγμένους υπαίθριους Υ/Σ Διανομής, εφαρμόζεται η Τεχνική Περιγραφή ΔΔ – 148/26.11.08 σύμφωνα με την οποία ισχύουν τα παρακάτω:

Για τον Μ/Σ ισχύει ότι και για τους εναέριους Μ/Σ που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Για τους Πίνακες ΜΤ:

- Οι ζυγοί, οι διακόπτες φορτίου και οι αποζεύκτες των Υ/Σ αυτών θα πρέπει κατ' ελάχιστον να αντέχουν ρεύμα σφάλματος 10 kA για διάρκεια 1 s. Σε περίπτωση αύξηση της στάθμης βραχυκύκλωσης του δικτύου πέραν των 10 kA, απαιτείται σχετική αλλαγή της τεχνικής περιγραφής και των υπόψη υλικών.

- Οι ασφάλειες ΜΤ θα πρέπει να έχουν ικανότητα διακοπής τουλάχιστον στα 7,2 kA για τάση 24 kV. Συνεπώς οι ασφάλειες δεν καλύπτουν απαίτηση για υψηλότερα ρεύματα βραχυκύκλωσης και θα πρέπει να αλλαχθούν με αντίστοιχες που θα έχουν ελάχιστη ικανότητα διακοπής ίση με τη νέα στάθμη σχεδιασμού.

Αντίστοιχα ισχύουν και για τους πίνακες ΜΤ που εγκαθίστανται σε υποσταθμούς εσωτερικού χώρου.

4.5.2.1. Ανάγκη αντικατάστασης και αναβάθμισης πινάκων ΜΤ των υποσταθμών ΜΤ/ΧΤ λόγω αύξησης της στάθμης βραχυκύκλωσης και κατάργησης της χρήσης του SF6

Στους πίνακες ΜΤ των υποσταθμών ΜΤ/ΧΤ υπάρχουν ταυτόχρονα δύο τεχνικά θέματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν:

- Το πρώτο είναι η αναβάθμιση του εξοπλισμού των πινάκων ώστε να αντέχει σε υψηλότερα ρεύματα βραχυκύκλωσης.
- το δεύτερο ότι ο νέος εξοπλισμός των πινάκων ΜΤ πρέπει να φέρει διακόπτες φορτίου SF6 free.

Μέχρι σήμερα η τεχνολογία των χρησιμοποιούμενων διακοπών φορτίου στις συγκεκριμένες εφαρμογές ΜΤ (αλλά και υψηλής τάσης) βασιζόταν στη χρήση του αερίου SF6 (εξαφθοριούχο θείο) ως διακοπτικού μέσου εξαιτίας των πολύ καλών διηλεκτρικών χαρακτηριστικών του.

Τα φθοριούχα αέρια όμως (στα οποία ανήκει και το SF6) αν και χρησιμοποιούνται συχνά ως υποκατάστατα ουσιών που καταστρέφουν το όζον, καθώς δεν βλάπτουν το ατμοσφαιρικό στρώμα του όζοντος, εντούτοις είναι ισχυρά αέρια του θερμοκηπίου, με επίδραση στην υπερθέρμανση του

πλανήτη έως και 25.000 φορές μεγαλύτερη από το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Αξίζει να σημειωθεί ότι το GWP του αερίου SF₆ είναι 25.200.

Το GWP (δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη) είναι ένα μέτρο του πόση υπέρυθη θερμική ακτινοβολία θα απορροφούσε ένα αέριο του θερμοκηπίου που προστίθεται στην ατμόσφαιρα σε ένα δεδομένο χρονικό πλαίσιο, ως πολλαπλάσιο της ακτινοβολίας που θα απορροφηθεί από την ίδια μάζα προστιθέμενου διοξειδίου του άνθρακα. Το GWP του CO₂ είναι ίσο με 1.

Τον Απρίλιο του 2022, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε [16] αλλαγή του κανονισμού για τα φθοριούχα αέρια (F-gases), ως μέρος της πολιτικής της για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Μεταξύ των προτεινόμενων είναι και η απαγόρευση χρήσης *“εξοπλισμού μεταγωγής μέσης τάσης για πρωτογενή και δευτερογενή διανομή έως 24 kV, με μονωτικό μέσο ή μέσο διακοπής, ο οποίος χρησιμοποιεί ή του οποίου η λειτουργία βασίζεται σε αέρια με GWP 10 ή περισσότερο, ή GWP 2 000 ή περισσότερο την 1 Ιανουαρίου 2026”*. [17]

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ -27) αναπτύσσουν τις αντίστοιχες θέσεις τους, σχετικά με την πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ενόψει της διαπραγμάτευσης μιας τελικής συμφωνίας.

Η ΕΕ πρέπει να διασφαλίσει ότι η ευρωπαϊκή αλυσίδα εφοδιασμού μπορεί να κλιμακώσει την παραγωγή λύσεων χωρίς το εν λόγω αέριο και ότι οι φορείς εκμετάλλευσης των δικτύων μπορούν να συνεχίσουν την ασφαλή λειτουργία της υπάρχουσας υποδομής του δικτύου μέχρι το τέλος της διάρκειας ζωής της. Η Ευρωπαϊκή Ένωση πρέπει να διατηρήσει μια τεχνολογικά ουδέτερη προσέγγιση, επιτρέποντας όλες τις εναλλακτικές λύσεις έναντι του SF₆. Ο εξοπλισμός που είναι ήδη εγκατεστημένος σήμερα θα πρέπει να μπορεί να επισκευασθεί και να συντηρηθεί μέχρι το τέλος της σχεδιασμένης διάρκειας ζωής του που μπορεί να είναι έως και 50 χρόνια. Αυτό απαιτεί ότι τα ανταλλακτικά που περιέχουν SF₆ πρέπει κατ' εξαίρεση να επιτρέπονται για αυτά τα στοιχεία. Ο περιορισμός της διαθεσιμότητας ανταλλακτικών θα προκαλέσει τεράστιους χρόνους διακοπής λειτουργίας και θα οδηγήσει σε πρόωρη αποσυναρμολόγηση εξοπλισμού δικτύου που λειτουργεί σωστά.

Αυτό θα δημιουργήσει σημαντικούς όγκους αποβλήτων και θα οδηγήσει σε υψηλό πρόσθετο κόστος για τους φορείς εκμετάλλευσης των δικτύων.

Στον παρακάτω πίνακα 3 δίνονται μερικά στατιστικά στοιχεία για τους Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ που στον εξοπλισμό τους περιέχεται SF6 και η αντίστοιχη ποσότητα σε SF6 (με στατιστικά στοιχεία των πινάκων έτους 2020).

Είδος Πινάκων ΜΤ	Αριθμός πινάκων	Αριθμός διακοπών φορτίου ανά συγκρότημα πινάκων	Συνολικός αριθμός διακοπών	Ποσότητα SF6 ανά διακόπτη	Συνολική ποσότητα SF6
Συγκροτήματα πινάκων διανομής (βρογχοειδούς τροφοδότησης)	7.257	3	21771	150 gr	
Συγκροτήματα πινάκων διανομής (ακτινικής τροφοδότησης)	155	1	155	150 gr	
Συγκροτήματα πινάκων ζεύξης	982	4	3928	150 gr	
Συγκροτήματα πινάκων ΒΚ Ι βρογχοειδούς τροφοδότησης	1642	4	6568	150 gr	
Συγκροτήματα πινάκων ΒΚ Ι ακτινικής τροφοδότησης	176	2	352	150 gr	
Συγκροτήματα πινάκων ΒΚ ΙΙ βρογχοειδούς τροφοδότησης	1229	4	4916	150 gr	
Συγκροτήματα πινάκων ΒΚ ΙΙ ακτινικής τροφοδότησης	445	2	890	150 gr	
Σύνολα:			35580	150 gr	5,787 t
Συνεπτυγμένοι υπαίθριοι υποσταθμοί διανομής	350	1	350	3,10 Kg	1,085 t
Σύνολο SF6:					6,872 t

Πίνακας 3: Ενδεικτική ποσότητα αερίου SF6 σε πίνακες διανομής ΜΤ

Σήμερα οι σχετικοί διακόπτες φορτίου και οι RMU μονάδες νέας τεχνολογίας με φιλικά προς το περιβάλλον αέρια ή και μίγματα φυσικών αερίων κατασκευάζονται προς το παρόν από ελάχιστους κατασκευαστές (πχ SIEMENS, Schneider Electric Global, Noventura Gmdh) και δεν έχουν ακόμα

τοποθετηθεί ευρέως σε δίκτυα μέσης τάσης, παρά μόνο σε δοκιμαστικό επίπεδο.

Το παραπάνω γεγονός σε συνδυασμό με την αύξηση των απαιτήσεων του διακόπτη αναφορικά με την αύξηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης θα αυξήσει το κόστος των πινάκων ΜΤ περίπου κατά 80%.

Ανάλογα ισχύουν και για τους εναέριους τηλεχειριζόμενους διακόπτες φορτίου (ΤΧΔΦ) και διακόπτες απομόνωσης (ΔΑ), οι οποίοι περιέχουν επίσης SF6.

4.6. Ηλεκτρονόμοι υπερεντάσεως

Οι Ηλεκτρονόμοι Υπερεντάσεως χρησιμοποιούνται για την προστασία των εναέριων γραμμών αναχώρησης μέσης τάσης (20 kV), έναντι σφαλμάτων φάσεων και γης σε συνδυασμό με τριπολική αυτόματη επαναφορά πολλαπλών επανοπλισμών, αλλά και για την προστασία από ασθενή ρεύματα γης. Για τους εν λόγω Η/Ν ισχύει η ΤΠ ΔΔ-ΔΕΕΔ-390/12./2018 και έχουν προδιαγραφεί για σύστημα με στάθμη βραχυκύκλωσης 10 kA. Συνεπώς σε περίπτωση αύξησης της στάθμης βραχυκύκλωσης υπεράνω των 10 kA θα χρειαστεί επανεκτίμηση των δυνατοτήτων τους.

4.7. Διακόπτες απομόνωσης

Οι διακόπτες απομόνωσης (ΔΑ) που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο είναι χαρακτηριστικής έντασης συνεχούς λειτουργίας 400A, κατάλληλοι για απομόνωση μόνιμων σφαλμάτων στις διακλαδώσεις γραμμών διανομής ΜΤ. Ο κορμός των υπόψη γραμμών προστατεύεται από διακόπτη ισχύος (ΔΙ) με αυτόματες επαναφορές.

Οι υπόψη διακόπτες τοποθετούνται επάνω στους ξύλινους ή τσιμεντένιους στύλους του δικτύου. Μπορούν να απομονώνουν αυτόματα τη διακλάδωση μετά από ένα προκαθορισμένο αριθμό ζευγών διελεύσεων-διακοπών του ρεύματος σφάλματος, όταν αυτό υπερβεί μια προκαθορισμένη τιμή που ονομάζεται «ελάχιστο ρεύμα διέγερσης».

Ο αριθμός διελεύσεων-διακοπών που προκαλούν το άνοιγμα του διακόπτη ρυθμίζεται σε μια, δυο ή τρεις. Όταν οι διακοπές του ρεύματος σφάλματος από το προηγούμενο μέσο προστασίας (του ΔΙ με αυτόματες επαναφορές)

δεν ανέλθουν στον αριθμό των διακοπών στο οποίο έχει ρυθμιστεί ο ΔΑ, τότε πρέπει να παρέλθει ένα χρονικό διάστημα που ονομάζεται χρόνος μνήμης, για να μπορέσει ο ΔΑ να μετρήσει μια νέα σειρά διελεύσεων-διακοπών από την αρχή.

Οι διακόπτες απομόνωσης είναι τεχνολογίας είτε κενού είτε SF6 και είναι σύμφωνοι με την τεχνική περιγραφή ΔΔ-ΔΕΔ-273/14.01.22. Έχουν αντοχή σε συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης 10 kA για 1s και 3 kA για 10s. Συνεπώς σε περίπτωση αύξησης της στάθμης βραχυκύκλωσης υπεράνω των 10 kA θα χρειαστεί επανεκτίμηση των δυνατοτήτων τους.

4.8. Διακόπτες αυτόματης επαναφοράς (ΔΑΕ)

Οι διακόπτες αυτόματης επαναφοράς που τοποθετούνται στο εναέριο δίκτυο της ΜΤ είναι σύμφωνα με την Τεχνική περιγραφή ΔΔ 272, τριπολικοί, τάσης 20 kV, κατάλληλοι για απομόνωση σφαλμάτων στις γραμμές διανομής ΜΤ. Τοποθετούνται σε ξύλινους ήτσιμεντένιους στύλους, διαθέτουν ως διακοπτικό μέσο το κενό (vacuum interrupter), ή αέριο SF6 και συνεργάζονται με τους αυτόματους διακόπτες ισχύος, τους διακόπτες απομόνωσης και τους ασφαλειοαποζεύκτες.

Τα βασικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους είναι:

Χαρακτηριστική ένταση συνεχούς λειτουργίας 400 A

Χαρακτηριστική ένταση διακοπής 8 kA (rms)

Αντοχή σε ρεύμα βραχείας διάρκειας 12 kA rms, 3 s και

Ικανότητα ζεύξης σε βραχυκύκλωμα 12 kA rms

Επίσης έχουν ελάχιστη ένταση διέγερσης σε σφάλμα φάσεων από 100 A-1000 A και ελάχιστη ένταση διέγερσης σε σφάλμα γης από 20 A-800 A.

Ο ΔΑΕ μπορεί επιπλέον να ανιχνεύει μικρά σφάλματα γης (sensitive earth fault) από 5A και άνω με δυνατότητα επιλογής ανοίγματος ή όχι.

Ο ΔΑΕ μπορεί να ανοίξει μηχανικά με τη βοήθεια ακόντιου χειρισμού και λειτουργεί ηλεκτρικά από ξεχωριστό πίνακα ελέγχου. Μέσω του πίνακα ελέγχου μπορεί να συγκεντρώνονται πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό το

είδος και το μέγεθος των σφαλμάτων, όπως και η χρονική στιγμή του σφάλματος.

4.9. Τηλεχειριζόμενοι διακόπτες φορτίου

Οι τηλεχειριζόμενοι διακόπτες φορτίου (ΤΧΔΦ) είναι ένα σχετικά νέο υλικό του δικτύου. Είναι τύπου κενού ή μόνωσης αερίου SF6.

Τα γενικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους είναι τα παρακάτω:

Χαρακτηριστική ένταση συνεχούς λειτουργίας 630 A

Αντοχή σε ρεύμα βραχείας διάρκειας 16 kA /3 s και

Ικανότητα ζεύξης σε βραχυκύκλωμα (κορυφή) 40 kA rms

Τοποθετούνται πάνω σε πλαίσιο σε ξύλινους ή τσιμεντένιους στύλους του δικτύου και μπορούν να λειτουργούν με 3 τρόπους:

- Τοπικά με χρήση μονωτικού ακοντίου
- Τοπικά μέσω πίνακα ελέγχου
- Εξ αποστάσεως από κεντρικό σύστημα ελέγχου μέσω τηλεχειρισμού.

Οι υπόψη διακόπτες συνοδεύονται από περιφερειακή μονάδα ελέγχου (RTU), για εξ αποστάσεως/τοπική μεταγωγή για επιλογή του απαιτούμενου τρόπου λειτουργίας. Η μονάδα RTU είναι συμβατή με το σύστημα ελέγχου και παρακολούθησης SCADA του ΔΕΔΔΗΕ.

Για την ανίχνευση σφαλμάτων ισχύουν τα παρακάτω:

Ανίχνευση σφαλμάτων φάσης από 40 A έως 800 A, σφαλμάτων γης από 10 A έως 400 A και ευαίσθητων σφαλμάτων γης (SEF) από 1,5 A έως 20 A

Οι πιο εξειδικευμένες λειτουργίες του διακόπτη και της μονάδας ελέγχου (RTU) αναφέρονται στη σχετική τεχνική περιγραφή.

Ο ΔΦ μπορεί να χρησιμοποιείται και σαν ΔΑ σε συνδυασμό με έναν ανάντη ΔΑΕ ή ΔΙ ως εξής: Όταν η RTU εμφανίσει “σφάλμα” φάσεων ή γης ο ΔΦ θα μετρήσει μια λειτουργία του ΔΑΕ ή ΔΙ εφόσον η τάση γραμμής πέσει κάτω από το επίπεδο volt OFF της ανίχνευσης ανοιχτής γραμμής και συγχρόνως μηδενιστεί το ρεύμα που διέρχεται από το ΔΦ. Επόμενες λειτουργίες του ΔΑΕ ή του ΔΙ θα μετριοούνται από τον ΔΦ και όταν συμπληρωθεί ένας προκαθορισμένος αριθμός λειτουργιών, ο ΔΦ απομονώνει το δίκτυο που έχει βλάβη ενώ ο ΔΑΕ (ΔΙ) είναι σε ανοικτή θέση και θα μπορεί τότε να επαναφέρει το ρεύμα στο υγιές τμήμα του δικτύου.

5. ΡΕΥΜΑ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

5.1. Γενικά

Η διαχείριση και ο έλεγχος ενός ακτινικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται στην υπόθεση της ύπαρξης μονόδρομων ροών ισχύος, οι οποίες μεταδίδονται από τα υψηλότερα επίπεδα τάσης μεταφοράς στα επίπεδα διανομής. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα ρεύματα βραχυκυκλώματος συμπεριφέρονται με παρόμοιο τρόπο. Οι παραδοχές αυτές επιτρέπουν την εφαρμογή σχετικά απλών και οικονομικών σχημάτων προστασίας, προκειμένου να επιτευχθεί επιλεκτική λειτουργία του συστήματος προστασίας.

Σύμφωνα με τις αρχές της επιλεκτικότητας, μόνο η συσκευή προστασίας που βρίσκεται πλησιέστερα στο σφάλμα πρέπει να λειτουργεί για την εκκαθάριση του σφάλματος, αφήνοντας το υπόλοιπο δίκτυο υπό τάση.

Η κατανεμημένη παραγωγή σε επίπεδα μέσης και χαμηλής τάσης αλλάζει τη θεμελιώδη βάση της προαναφερθείσας μονόδρομης ροής ισχύος. Τόσο οι ροές ισχύος όσο και τα ρεύματα βραχυκύκλωσης μπορούν πλέον να έχουν ανάντη διευθύνσεις, οι οποίες είναι επίσης διαφορετικών τιμών από τις αρχικά προβλεπόμενες.

Έτσι τα αρχικά συστήματα που εφαρμόστηκαν (δηλαδή η προστασία της κύριας τροφοδότησης) μπορεί να αρχίσουν να είναι λιγότερο αποτελεσματικά ή ακόμη και να σταματήσουν να λειτουργούν.

Το πρόβλημα αυτό προκαλείται καθώς η τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώματος που ανιχνεύεται από την κύρια προστασία του υποσταθμού μπορεί να μεταβληθεί και, ως εκ τούτου, να επηρεάσει το χρόνο απόκρισης των συσκευών προστασίας, ο οποίος εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, από το μέγεθος και τη θέση της κατανεμημένης παραγωγής εντός του δικτύου διανομής.

Όπως αναφέρθηκε, ένα από τα κύρια προβλήματα της παρουσίας των κατανεμημένων πηγών παραγωγής στα δίκτυα διανομής είναι η απώλεια συντονισμού και η μη έγκαιρη ενεργοποίηση των διατάξεων προστασίας, καθώς τα ρεύματα βραχυκυκλώματος μπορεί να αυξηθούν λόγω της συμβολής των εν λόγω πηγών. Τα ρεύματα σφάλματος υφίστανται μεταβολές

που μπορούν να διατρέξουν την ασφάλεια και προς τις δύο κατευθύνσεις, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να διασχίζεται από ρεύματα που παράγονται σε σημεία κατάντη και ανάντη της θέσης της. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητη η αναδιαμόρφωση των διατάξεων προστασίας αυτών των δικτύων διανομής.

Κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία ενός συστήματος ισχύος μεταξύ των πιο σημαντικών εργασιών είναι οι υπολογισμοί του ρεύματος βραχυκυκλώματος. Τα σφάλματα από βραχυκυκλώματα μπορούν να ελαχιστοποιηθούν στο σύστημα μέσω του σχεδιασμού και της καλής συντήρησης, αλλά δεν μπορούν να αποφευχθούν. Οι ρυθμίσεις προστασίας και η επιλογή και διαστασιολόγηση του εξοπλισμού διακοπής απαιτούν ακριβή και λεπτομερή υπολογισμό των ρευμάτων βραχυκυκλώματος αφού προορίζονται για την απενεργοποίηση των σφαλμάτων σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Ένα επιπλέον θέμα που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι αν ο εγκατεστημένος εξοπλισμός είναι σε θέση να αντέξει τις θερμικές και μηχανικές επιδράσεις των ρευμάτων βραχυκυκλώματος.

Επιπλέον ο υπολογισμός του μέγιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης έχει και οικονομική σημασία καθώς περιττή υψηλή ονομαστική τιμή του εξοπλισμού οδηγεί σε υψηλότερα οικονομικά κόστη.

5.2. Τύποι βραχυκυκλωμάτων και μέθοδοι υπολογισμού

Το πρότυπο IEC 60909-0 χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό διαφόρων τύπων ρευμάτων βραχυκύκλωσης για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση του προτύπου IEC 60909-0 είναι σε ορισμένες περιπτώσεις αρκετά συντηρητική, γεγονός που είναι θετικό κατά τον υπολογισμό των ρευμάτων για το σύστημα.

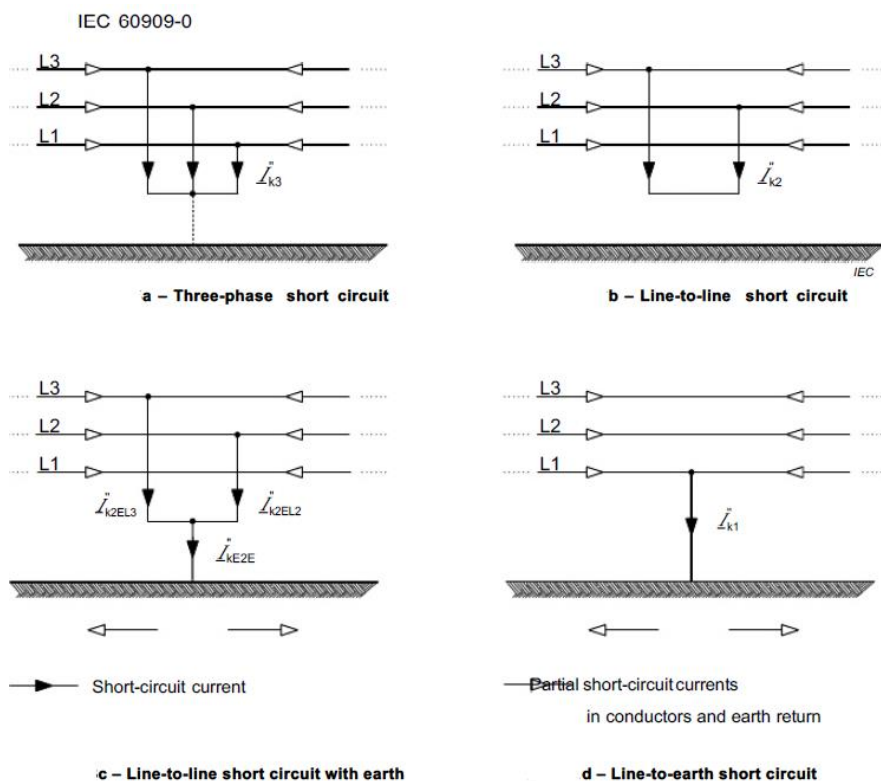
Οι διάφοροι τύποι βραχυκυκλωμάτων που μπορεί να συμβούν στο δίκτυο είναι:

α: Τριφασικό βραχυκύκλωμα

β: Διφασικό βραχυκύκλωμα χωρίς αγωγό γείωσης

γ: Διφασικό βραχυκύκλωμα με αγωγό γείωσης

δ: Μονοφασικό βραχυκύκλωμα με αγωγό γείωσης και φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 8.



Σχήμα 8 Διάφοροι τύποι βραχυκυκλώματος

Για τον υπολογισμό του μέγιστου και ελάχιστου ρεύματος βραχυκύκλωσης το πρότυπο λαμβάνει κάποιες παραδοχές που παρόλο που δεν είναι απολύτως αληθείς για τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, δίνουν αποδεκτά αποτελέσματα.

Η μέθοδος της ισοδύναμης πηγής τάσης.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό βασίζεται στην εισαγωγή μιας ισοδύναμης πηγής τάσης στη θέση βραχυκυκλώματος. Η ισοδύναμη πηγή τάσης είναι η μόνη ενεργός τάση του συστήματος.

Όλες οι τροφοδοτήσεις του δικτύου, (στοιχεία του ανάντη δικτύου, μονάδες παραγωγής, οι σύγχρονες και ασύγχρονες μηχανές) αντικαθίστανται από τις σύνθετες αντιστάσεις τους.

Με τη βοήθεια της ισοδύναμης πηγής τάσης είναι δυνατός ο υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης στη θέση του βραχυκυκλώματος. Ενώ στοιχεία όπως δεδομένα λειτουργίας και φορτία των καταναλωτών, διέγερση

γεννητριών κλπ καθώς και πρόσθετοι υπολογισμοί για όλες τις πιθανές ροές φορτίου τη στιγμή του βραχυκυκλώματος είναι περιττά.

Οι σύνθετες αντιστάσεις των γεννητριών, των μετασχηματιστών του δικτύου και των μονάδων του σταθμού παραγωγής αντίστοιχα πολλαπλασιάζονται με συντελεστές διόρθωσης κατά τον υπολογισμό των μέγιστων ρευμάτων βραχυκύκλωσης στη θέση βραχυκυκλώματος σύμφωνα με το παρόν πρότυπο.

Ο υπολογισμός της σύνθετης αντίστασης βραχυκυκλώματος βασίζεται γενικά στα ονομαστικά δεδομένα του ηλεκτρικού εξοπλισμού και της τοπολογικής διάταξης του συστήματος και έχει το πλεονέκτημα ότι είναι δυνατός τόσο για υφιστάμενα συστήματα όσο και για συστήματα που βρίσκονται στο στάδιο του σχεδιασμού.

Γενικά, εξετάζονται δύο τύποι ρευμάτων βραχυκύκλωσης, οι οποίοι διαφέρουν ως προς το μέγεθός τους:

- το μέγιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης που καθορίζει τη χωρητικότητα ή το ονομαστικό ρεύμα του ηλεκτρικού εξοπλισμού καθώς είναι αυτό που καθορίζει τη διαστασιολόγηση εξοπλισμού όσον αφορά τις μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις και
- το ελάχιστο ρεύμα βραχυκύκλωσης που μπορεί να αποτελέσει τη βάση, για παράδειγμα, για την επιλογή των ασφαλειών και των ηλεκτρονόμων καθώς και για τη ρύθμιση των διατάξεων προστασίας.

Εξοπλισμός σχετικά χαμηλού κόστους, όπως οι διακόπτες ή οι ασφάλειες, χρησιμοποιούνται για να αποσυνδέουν το τμήμα του δικτύου στο οποίο παρουσιάστηκε ένα σφάλμα. Η χρήση υψηλών ρευμάτων σφάλματος για την αναγνώριση σφαλμάτων στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι γνωστή ως προστασία από υπερένταση.

Ο εξοπλισμός προστασίας τοποθετείται σε πολλαπλά σημεία σε όλο το δίκτυο για να ανιχνεύει τα επίπεδα ρεύματος και να "ενεργοποιούν" ή αποσυνδέουν, εάν υπερβαίνει το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα στο συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου.

Συνολικά, η προστασία από ρεύμα σφάλματος μέσω συσκευών όπως οι ασφάλειες και οι διακόπτες ισχύος αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της

διατήρησης ενός ασφαλούς ηλεκτρικού δικτύου. Η ανίχνευση ρεύματος σφάλματος βασίζεται στη βασική φυσική του ηλεκτρικού ρεύματος και σε σχετικά απλές αλλά ισχυρές συσκευές που ανιχνεύουν και αντιδρούν αυτόματα σε υψηλά επίπεδα ρεύματος χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση.

6. ΕΝΑΕΡΙΟΙ ΑΓΩΓΟΙ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Περίπου το 89% του συνολικού μήκους του δικτύου ΜΤ είναι εναέριο και από το εναέριο δίκτυο το 99,67% αποτελείται από γυμνούς αγωγούς, συνεπώς εκτεθειμένο στις μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις σε συνθήκες σφάλματος.

6.1. Μηχανική αντοχή των αγωγών του εναέριου δικτύου ΜΤ κατά τη διάρκεια βραχυκυκλώματος.

Κατά τη διάρκεια ενός βραχυκυκλώματος, αναπτύσσονται ελκτικές και απωστικές δυνάμεις μεταξύ των αγωγών, οι οποίες προκαλούν κίνηση των αγωγών και τη μηχανική καταπόνησή τους. Κατά την ταλάντωση των αγωγών η απόσταση μεταξύ των αγωγών μπορεί να μειωθεί τόσο ώστε να προκληθεί εκ νέου σφάλμα. Για λόγους ασφάλειας λοιπόν η καταπόνηση και η κίνηση των αγωγών υπολογίζεται στις συνθήκες μέγιστου σφάλματος.

Οι παραπάνω δυνάμεις καταπονούν επιπλέον και τον εξοπλισμό στήριξης και ανάρτησης των αγωγών όπως μονωτήρες στήριξης και ανάρτησης, ακροδέκτες και λοιπά υλικά.

Ο τρόπος υπολογισμού της μηχανικής καταπόνησης των αγωγών και του εξοπλισμού στήριξης περιγράφεται αναλυτικά στα πρότυπα IEC 60865-1 [20] και IEC 60865-2 [21].

Σύμφωνα δε με την παρ. 2.3.1 του προτύπου IEC 60865-1 οι καταπονήσεις σε εγκαταστάσεις με εύκαμπτους αγωγούς είναι περίπου ίσες στην περίπτωση διφασικού και τριφασικού σφάλματος, καθώς στην περίπτωση συμμετρικού τριφασικού σφάλματος ο κεντρικός αγωγός κινείται πολύ λίγο εξαιτίας της αδράνειάς του και των αμφίδρομων δυνάμεων που επενεργούν πάνω σε αυτόν. Για το λόγο αυτό οι υπολογισμοί των δυνάμεων γίνονται θεωρώντας διφασικό σφάλμα.

Για κάθε κατασκευή του δικτύου θα πρέπει να υπολογίζεται η μέγιστη δύναμη εφελκυσμού που μπορεί να αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος (F_t) σύμφωνα με την παρ.2.3.2.2. του προτύπου και η δύναμη εφελκυσμού που μπορεί να αναπτυχθεί μετά το βραχυκύκλωμα (F_f), όταν ο αγωγός επιστέφει πίσω, σύμφωνα με την παρ.2.3.2.3. του παραπάνω προτύπου και να επιλέγεται η μεγαλύτερη.

Οι τύποι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των δυνάμεων εφελκυσμού πριν και μετά το βραχυκύκλωμα δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$F_t = \begin{cases} F_{st} (1 + \varphi \psi) & \text{για } n=1, \text{ single conductor} \\ 1,1 F_{st} (1 + \varphi \psi) & \text{για } n \geq 2, \text{ bundled conductors} \end{cases} \quad (34)$$

$$F_f = 1,2 F_{st} \sqrt{1 + 8\zeta \frac{\delta_m}{180^\circ}} \quad (35)$$

Όπου :

δ_m : η μέγιστη γωνία αιώρησης προς τα έξω (maximum swing out angle)

ζ : συντελεστής δύναμης για τον εύκαμπτο αγωγό

φ, ψ συντελεστές για την εφελκυστική δύναμη που ασκείται στον αγωγό

F_{st} : σταθερή εφελκυστική δύναμη που ασκείται στον εύκαμπτο αγωγό

Η ελάχιστη απόσταση στην οποία μπορούν να πλησιάσουν οι δύο αγωγοί κατά την ταλάντωση δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από ένα κάτω όριο, προκειμένου να αποφευχθεί η δημιουργία ηλεκτρικού τόξου.

Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61936-1 παρ. 5.4.3 η ελάχιστη απόσταση στην οποία μπορούν να πλησιάσουν οι δύο αγωγοί κατά την ταλάντωση λόγω βραχυκυκλώματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 50% της υποχρεωτικής απόστασης μεταξύ των φάσεων.

Το παραπάνω όριο αυτό είναι ανάλογο του επιπέδου τάσης και της μέγιστης κρουστικής τάσεως και για το ελληνικό δίκτυο ορίζεται στα 0,27 m με βάση το σχετικό πρότυπο.

Με εφαρμογή της μεθόδου του προτύπου IEC 60865-1, μπορεί να υπολογιστούν αντίστοιχα και οι αποστάσεις μεταξύ των αγωγών σε περίπτωση σφάλματος.

Από τον τρόπο υπολογισμού που προτείνει το πρότυπο, προκύπτει ότι οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των αγωγών είναι ο τύπος του αγωγού, η κατασκευή και ο τρόπος στήριξης/ανάρτησης, το μήκος των ανοιγμάτων, οι αρχικές τανύσεις των αγωγών, το ρεύμα και η διάρκεια του σφάλματος.

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω σχέσεις και παράμετροι του προτύπου:

Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη ανά μονάδα μήκους για τους εύκαμπτους αγωγούς υπολογίζεται από τη σχέση (παρ. 2.3.2.1 του προτύπου)

$$F'' = \frac{\mu_0}{2\pi} 0,75 \frac{(I_{K3})^2 l_c}{a l} \quad (19)$$

όπου:

I_{K3}'' είναι το αρχικό τριφασικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης (r.m.s.), a είναι η κεντρική απόσταση μεταξύ των κύριων αγωγών, και l_c είναι το μήκος ανοίγματος (τόξου) του κύριου αγωγού.

Για ατάνυστους αγωγούς (slack conductors), στους οποίους ασκούνται δυνάμεις πίεσης στα στηρίγματα των μονωτήρων ισχύει ότι $l_c = l$.

Ενώ για τους τανυσμένους αγωγούς (strained conductors) $l_c = l - 2l_i$

όπου l_i είναι το μήκος της αλύσου των μονωτήρων.

Ο λόγος της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης, κάτω από συνθήκες βραχυκυκλώματος, σε σχέση με την ελκτική δύναμη της βαρύτητας στον αγωγό υπολογίζεται από τη σχέση:

$$r = \frac{F'}{n g_n m'_s} \quad (20)$$

(όπου n ο αριθμός των κλώνων στη δέσμη του αγωγού, g_n η επιτάχυνση της βαρύτητας $9,81 \text{ m/s}^2$ και $m'_s = m' + \{(n_s \times m_z)/(n \times l_c)\}$ είναι το βάρος ανά τρέχον μέτρο του αγωγού αφού συμπεριληφθεί και το βάρος των αποστατών,

m' είναι το βάρος ανά τρέχον μέτρο του αγωγού, n_s είναι ο αριθμός των αποστατών στο άνοιγμα, m_z το βάρος ενός σετ αποστατών).

Ο παραπάνω λόγος δίνει την κατεύθυνση της δύναμης που δρα στον αγωγό:

$$\delta_1 = \tan^{-1} r \quad (21)$$

Η ισοδύναμη στατική καμπυλότητα (m) του αγωγού στο κέντρο του τόξου, δίνεται από τη σχέση:

$$b_c = \frac{n m'_s g_n l^2}{8 F_{st}} \quad (22)$$

Η περίοδος της ταλάντωσης T υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T = 2\pi \sqrt{0,8 \frac{b_c}{g_n}} \quad (23)$$

Και για μικρές γωνίες αιώρησης υπολογίζεται χωρίς ροή ρεύματος στον αγωγό.

Η περίοδος T_{res} της ταλάντωσης του αγωγού κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_{res} = \frac{T}{\sqrt[4]{1+r^2}} \frac{1}{[1 - \frac{\pi^2}{64} (\frac{\delta_1}{90})^2]} \quad (24)$$

(δ_1 σε μοίρες)

Ο συντελεστής ακαμψίας στη συνέχεια υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N = \frac{1}{sl} + \frac{1}{n E_s A_s} \quad (25)$$

(αν η σταθερά ελατηρίου S και για τα δύο στηρίγματα του ανοίγματος δεν είναι γνωστή λαμβάνεται ίση με $S = 10^5$ N/m)

Το μέτρο ελαστικότητας του Young :

$$E_s = \begin{cases} E[0,3+0,7 \sin(\frac{F_{st}}{n\sigma_{fin}A_s} 90^\circ)] & \text{για } \frac{F_{st}}{nA_s} \leq \sigma_{fin} \quad (26) \\ E & \text{για } \frac{F_{st}}{nA_s} > \sigma_{fin} \quad (27) \end{cases}$$

Όπου $\sigma_{fin} = 5 * 10^7$ N/m²

Ακολούθως ο συντελεστής καταπόνησης του κύριου αγωγού υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\zeta = \frac{n g_n m'_s l}{24 F_{st}^3 N} \quad (28)$$

Κατά τη διάρκεια ή το τέλος του βραχυκυκλώματος, το τόξο του ανοίγματος των αγωγών, μετατοπίζεται κατά μία γωνία δ_k που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\delta_1 [1 - \cos(360^\circ \frac{T_{k1}}{T_{res}})] \quad \text{για} \quad 0 \leq \frac{T_{k1}}{T_{res}} \leq 0,5 \quad (29)$$

$\delta_k =$

$$2\delta_1 \quad \text{για} \quad \frac{T_{k1}}{T_{res}} > 0,5$$

Η χρονική διάρκεια T_{k1} κατά την οποία θα κυκλοφορήσει για πρώτη φορά το ρεύμα βραχυκυκλώματος, ουσιαστικά είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της αρχικοποίησης του κυκλώματος μέχρι την πρώτη φορά που θα σταματήσει να ρέει ρεύμα σε αυτό.

Στην περίπτωση όπου η διάρκεια T_{k1} είναι μεγαλύτερη από την τιμή 0.4T, τότε η τιμή 0.4T θα χρησιμοποιηθεί αντί της T_{k1} για τον υπολογισμό των συναρτήσεων (29), (33) και (37).

Η μέγιστη γωνία αιώρησης του τόξου του ανοίγματος των αγωγών, κατά τη διάρκεια ή το τέλος του βραχυκυκλώματος, κατά μία γωνία δ_m υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\chi = \begin{cases} 1 - r \sin \delta_k & \text{για } 0 \leq \delta_k \leq 90^\circ \\ 1 - r & \text{για } \delta_k > 90^\circ \end{cases} \quad (30)$$

Και

$$\delta_m = \begin{cases} 1,25 \arccos \chi & \text{για } 0,766 \leq \chi \leq 1 \\ 10^\circ + \arccos \chi & \text{για } -0,985 \leq \chi \leq 0,766 \\ 180^\circ & \text{για } \chi \leq -0,985 \end{cases} \quad (31)$$

(η μέγιστη γωνία μετατόπισης είναι το χειρότερο σενάριο όπου η διάρκεια του βραχυκυκλώματος είναι μικρότερη ή ίση με το T_{k1})

Η μέγιστη γωνία μετατόπισης δ_m μπορεί να υπολογιστεί για ευκολία και από το σχήμα 6 του προτύπου συναρτήσει των T_{k1}/T και r .

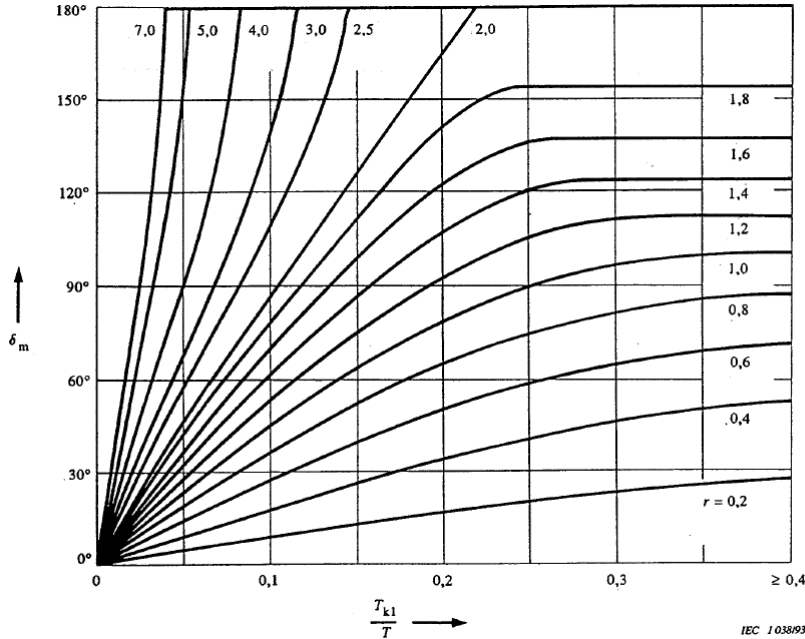


Figure 6 – Maximum swing out angle δ_m for a given maximum short-circuit duration T_{k1}

Η παράμετρος φ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$3(\sqrt{1+r^2}-1) \quad \text{για } T_{k1} \geq T_{res}/4$$

$$\varphi = \quad \quad \quad (32)$$

$$3(r \sin \delta_k + \cos \delta_k - 1) \quad \text{για } T_{k1} < T_{res}/4$$

Η παράμετρος ψ είναι συνάρτηση των παραμέτρων ζ και φ και είτε υπολογίζεται από τη γραφική παράσταση 7 του προτύπου είτε σαν πραγματική λύση της εξίσωσης:

$$\varphi^2 \psi^3 + \varphi(2+\zeta)\psi^2 + (1+2\zeta)\psi - \zeta(2+\varphi) = 0 \quad (33)$$

με $0 \leq \psi \leq 1$.

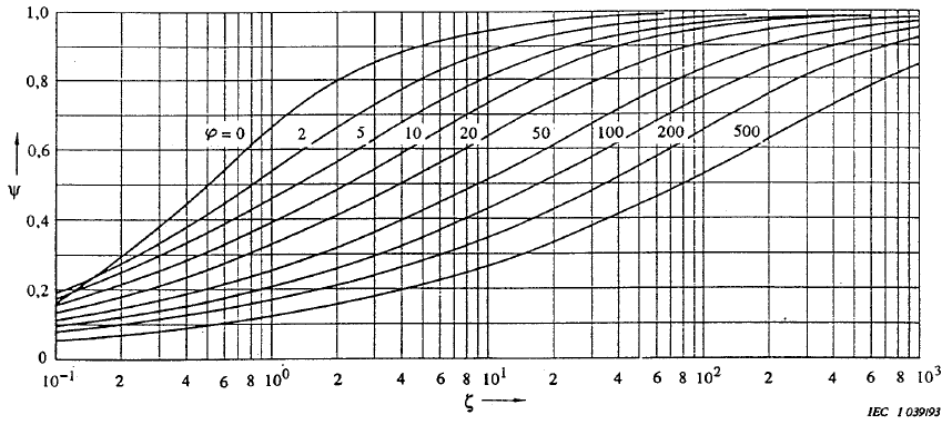


Figure 7 – Factor ψ for tensile force in flexible conductors

Στη συνέχεια μπορούν να προσδιοριστούν οι εφελκυστικές δυνάμεις στον αγωγό από τις σχέσεις (34) και (35).

Ακολούθως μπορούν να υπολογιστούν η οριζόντια μετατόπιση b_h και το ελάχιστο διάκενο αέρα μεταξύ των αγωγών a_{min} ως εξής:

Η ελαστική διαστολή:

$$\epsilon_{ela} = N(F_t - F_{st}) \quad (36)$$

Η θερμική διαστολή:

$$\epsilon_{th} = \begin{cases} c_{th} \left[\frac{I_{k3}''}{A_s n} \right]^2 T_{res}/4 & \text{για } T_{k1} \geq T_{res}/4 \\ c_{th} \left[\frac{I_{k3}''}{A_s n} \right]^2 T_{k1} & \text{για } T_{k1} < T_{res}/4 \end{cases} \quad (37)$$

(c_{th} λαμβάνεται ίσο με :

$0,27 \cdot 10^{-18} \text{ m}^4/(\text{A}^2\text{s})$ για αγωγούς αλουμινίου ή αλουμινίου/χάλυβα με διατομή όπου $Al/St > 6$

$0,17 \cdot 10^{-18} \text{ m}^4/(\text{A}^2\text{s})$ για αγωγούς αλουμινίου ή αλουμινίου/χάλυβα με διατομή όπου $Al/St \leq 6$

$0,088 \cdot 10^{-18} \text{ m}^4/(\text{A}^2\text{s})$ για αγωγούς χαλκού)

Ο παράγοντας C_D επιτρέπει την αύξηση της καμπυλότητας της χορδής που προκαλείται λόγω της ελαστικής και θερμικής επιμήκυνσης του αγωγού και υπολογίζεται ως εξής:

$$C_D = \sqrt{1 + \frac{3}{8} \frac{l^2}{b_c^2} (\varepsilon_{ela} + \varepsilon_{th})} \quad (38)$$

Ο παράγοντας C_F επιτρέπει μια δυνατή αύξηση στη καμπυλότητα του αγωγού που προκλήθηκε από την αλλαγή του σχήματος του αγωγού και λαμβάνεται ως εξής:

$$C_F = \begin{cases} 1,05 & \text{για } r \leq 0,8 \\ 0,97 + 0,1r & \text{για } 0,8 < r < 1,8 \\ 1,15 & \text{για } r \geq 1,8 \end{cases} \quad (39)$$

Η μέγιστη οριζόντια μετατόπιση b_h εντός του ανοίγματος εξαιτίας του βραχυκυκλώματος για ατάνυστους αγωγούς (όπου $l_c = l$) που στηρίζονται σε μονωτήρες στήριξης υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$b_h = \begin{cases} C_F C_D b_c & \text{για } \delta_m \geq 90^\circ \\ C_F C_D b_c \sin \delta_m & \text{για } \delta_m \leq 90^\circ \end{cases} \quad (\text{όπου } l_c = l) \quad (40)$$

Η μέγιστη οριζόντια μετατόπιση b_h εντός του ανοίγματος εξαιτίας του βραχυκυκλώματος για τανυσμένους αγωγούς (όπου $l_c = l - 2l_i$) που στηρίζονται σε αλυσίδα μονωτήρων ανάρτησης υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$b_h = \begin{cases} C_F C_D b_c \sin \delta_1 & \text{για } \delta_m \geq \delta_1 \\ C_F C_D b_c \sin \delta_m & \text{για } \delta_m \leq \delta_1 \end{cases} \quad (\text{όπου } l_c = l - 2l_i) \quad (41)$$

Τέλος η απόσταση που προσεγγίζουν οι αγωγοί μεταξύ τους (στην πιο επιβαρυσμένη περίπτωση) κατά τη διάρκεια του διφασικού βραχυκυκλώματος υπολογίζεται από τη σχέση:

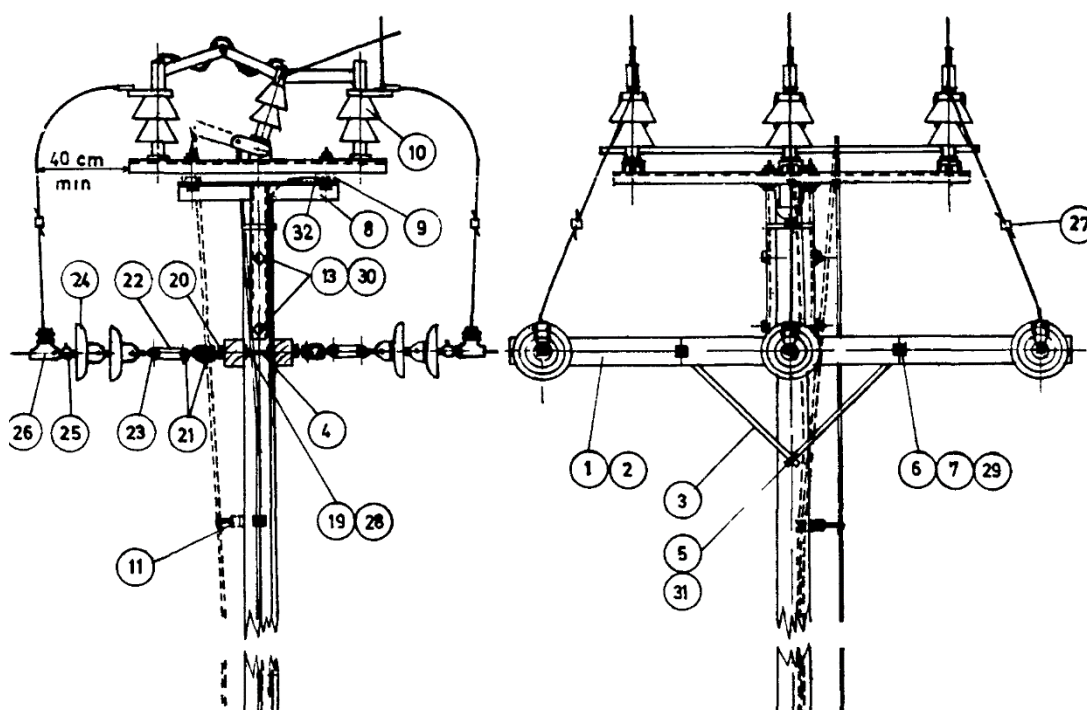
$$a_{\min} = a - 2b_h \quad (42)$$

Κάνοντας χρήση των παραπάνω σχέσεων υπολογίστηκαν για μια τυποποιημένη κατασκευή με αγωγούς ACSR-95 mm², τόσο οι ελκτικές δυνάμεις όσο και η απόσταση που προσεγγίζουν οι αγωγοί ο ένας με τον άλλο για δύο περιπτώσεις, μία με στάθμη βραχυκύκλωσης αυτή του σχεδιασμού 7,2 kA και μία για την περίπτωση στάθμης βραχυκύκλωσης 10 kA και για διάφορα ανοίγματα 10 m, 20 m, 30 m και 40 m.

Στον παρακάτω Πίνακα 4 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα για μια τυπική κατασκευή P-23 (Σχήμα 9) σύμφωνα με το ΕΤΚΔ (Εγχειρίδιο Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής του ΔΕΔΔΗΕ, και τάνυση CS-31) και για αγωγό ACSR-95 mm², για δύο περιπτώσεις.

Για την περίπτωση της στάθμης βραχυκύκλωσης σχεδιασμού 7,2 kA και για περίπτωση αύξησης της στάθμης βραχυκύκλωσης σε 10 kA.

Η επιλογή είναι ενδεικτική και χαρακτηριστική για τα πρώτα χιλιόμετρα των αναχωρήσεων από τους υποσταθμούς.



Σχήμα 9 Κατασκευή P-23

ΕΙΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ: P-23					
ΜΗΚΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ	10m	20m	30m	40m	ΡΕΥΜΑ ΒΡΑΧ/ΤΟΣ
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΓΩΓΩΝ	1,06 m	0,83m	0,56 m	0,27 m	7,2 kA*
	0,98m	0,56m	0,18m	0,12	10 kA
ΔΥΝΑΜΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ F _t (kN) <small>(κατά τη διάρκεια του βραχυκυκλώματος)</small>	17,6	17,6	17,9	18,2	10 kA
ΔΥΝΑΜΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ F _f (kN) <small>(μετά το βραχυκύκλωμα)</small>	21,1	21,1	21,1	21,2	10 kA

Πίνακας 4: Δυνάμεις εφελκυσμού και ελάχιστες αποστάσεις αγωγών ACSR-95 mm² για * 7,2 kA: ρεύμα βραχυκυκλώματος σχεδιασμού & 10 kA

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ αγωγού αλουμινίου με χαλύβδινη ψυχή ACSR-95 mm²

Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά αγωγού*

Υλικό Αγωγού aluminum / Steel Core

Σχήμα αγωγού κυκλικό

Ευκαμψία αγωγού πολύκλωνος

Διαστασιολογικά Χαρακτηριστικά:

Αριθμός συρμάτων ατσαλιού 7

Αριθμός συρμάτων αλουμινίου 26

Ονομαστική διάμετρος συρμάτων ατσαλιού 2,12 mm

Ονομαστική διάμετρος συρμάτων αλουμινίου 2.72 mm

Διατομή Αλουμινίου 151,1 mm²

Ονομαστική εξωτερική διάμετρος 17,24 mm

Βάρος (περίπου) 622 kg/km

Phase Conductor Cross Section 95 mm²

Αριθμός πόλων 1

Διατομή Αγωγού 95 mm

Ηλεκτρολογικά Χαρακτηριστικά:

Ονομαστική τάση U₀/U 18 / 30 (36) kV

Μέγιστη αντίσταση αγωγού σε συνεχές ρεύμα, 20° C 0,192 Ohm/km

Μηχανικά Χαρακτηριστικά

Ελάχιστο φορτίο θραύσης 56 kN

* Χρησιμοποιήθηκαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αγωγού από το τεχνικό φυλλάδιο της εταιρείας NEXANS, η οποία αποτελεί δόκιμο προμηθευτή του ΔΕΔΔΗΕ για τον συγκεκριμένο τύπο αγωγού [23].

Από τον παραπάνω Πίνακα 4 φαίνεται ότι για κάποια ανοίγματα οι αγωγοί μπορεί να προσεγγίσουν ο ένας τον άλλον σε επίπεδο κάτω από το όριο ασφαλείας των 0,27m γι' αυτό σε περίπτωση αύξησης του ρεύματος βραχυκύκλωσης θα πρέπει να ελεγχθούν οι τυποποιημένες κατασκευές του δικτύου πιο αναλυτικά.

Επιπλέον φαίνεται ότι η μέγιστη δύναμη εξαρτάται περισσότερο από την ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης και λιγότερο από την απόσταση μεταξύ των αγωγών και το μήκος των ανοιγμάτων.

6.2. Μηχανική αντοχή μονωτήρων ανάρτησης και στήριξης

Στο εναέριο δίκτυο ΜΤ χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύπου μονωτήρων: συνθετικοί μονωτήρες ανάρτησης και στήριξης, μονωτήρες τέρματος τύπου κώδωνα και γυάλινοι μονωτήρες ανάρτησης.

Όσον αφορά τους μονωτήρες στήριξης και ανάρτησης του εναέριου δικτύου, σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60865-1 (παρ. 2.4), η μηχανική αντοχή αυτών δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέγιστη δύναμη εφελκυσμού όπως αυτή προσδιορίζεται παραπάνω και για τους ακροδέκτες η αντοχή θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το μέγιστο των $1,5F_t$ και $1,0F_t$.

Για τους συνθετικούς μονωτήρες στήριξης και ανάρτησης ισχύει η τεχνική περιγραφή ΔΔ-204/07.06.2021. Για τους πορσελάνινους μονωτήρες κώδωνα ισχύει η τεχνική περιγραφή ΔΔ-329/20.11.2008. Για τους γυάλινους μονωτήρες ανάρτησης ισχύει η τεχνική περιγραφή ΔΔ-284/20.11.2008

Αν και οι παραπάνω μονωτήρες προδιαγράφονται για δίκτυο με στάθμη βραχυκύκλωσης 7,2 kA, τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους είναι αρκετά υψηλά.

Συγκεκριμένα σύμφωνα με τις ανωτέρω τεχνικές περιγραφές οι συνθετικοί μονωτήρες ανάρτησης που είναι στο εναέριο δίκτυο έχουν μηχανική αντοχή SML (ελάχιστη αντοχή σε μηχανικό φορτίο) 120 kN, οι συνθετικοί μονωτήρες στήριξης αντοχή σε κάμψη 11 kN και οι μονωτήρες πορσελάνης αντοχή σε κάμψη 13 kN. Οι γυάλινοι μονωτήρες ανάρτησης έχουν συνδυασμένη ηλεκτρομηχανική αντοχή και αντοχή σε εφελκυσμό 70 kN.

Οι παραπάνω μονωτήρες έχουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή από την μέγιστη εφελκυστική δύναμη που μπορεί να αναπτυχθεί στους αγωγούς σε περίπτωση σφάλματος 10 kA και συνεπώς δεν τίθεται θέμα ασφαλούς λειτουργίας τους και στην περίπτωση που το ρεύμα βραχυκύκλωσης αυξηθεί από τα 7,2 στα 10 kA και ίσως και στα 16 kA (στην τελευταία περίπτωση θα

χρειαστεί εκ νέου υπολογισμός των αντίστοιχων εφελκυστικών δυνάμεων που αναπτύσσονται στους αγωγούς και τα εξαρτήματά τους).

6.3. Θερμική καταπόνηση των αγωγών του εναέριου δικτύου ΜΤ κατά τη διάρκεια βραχυκυκλώματος.

Η θέρμανση των αγωγών κατά τη διάρκεια ενός βραχυκυκλώματος περιλαμβάνει διάφορα φαινόμενα μη γραμμικού χαρακτήρα τα οποία είτε αμελούνται είτε γίνονται διάφορες παραδοχές για τον μαθηματικό υπολογισμό. Η παραδοχές που γίνονται βάσει του παραπάνω προτύπου (IEC 60865) είναι ότι:

- η ειδική θερμότητα του αγωγού θεωρείται σταθερή
- η χαρακτηριστική αντίσταση –θερμοκρασία θεωρείται γραμμική
- το επιδερμικό φαινόμενο του ίδιου του αγωγού (μαγνητική επίδραση του ίδιου του αγωγού) και η επίδραση των παρακείμενων παράλληλων αγωγών δεν λαμβάνεται υπόψη
- η ανύψωση θερμοκρασίας του αγωγού γίνεται αδιαβατικά.

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η παρ. Α.9 και ο πίνακας 6 του προτύπου.

$$S_{thr} = \frac{K}{\sqrt{T_{kr}}}$$

$$K = \sqrt{\frac{\kappa_{20} c \rho}{a_{20}} \ln \frac{1 + a_{20} (\theta_c - 20 \text{ } ^\circ\text{C})}{1 + a_{20} (\theta_b - 20 \text{ } ^\circ\text{C})}}$$

with the following data of material:

Symbol	SI-unit	Copper	Aluminium Alloy, Aluminium Conductor Steel Reinforced (ACSR)	Steel
c	J/(kg°C)	390	910	480
ρ	kg/m ³	8 900	2 700	7 850
κ_{20}	1/(Ωm)	$56 \cdot 10^6$	$34,8 \cdot 10^6$	$7,25 \cdot 10^6$
α_{20}	1/°C	0,0039	0,004	0,0045

If base-temperatures other than 20 °C are used, the equation for K must be changed.

[από IEC 60865-1]

Table 6 - Recommended highest temperatures for mechanically stressed conductors during a short circuit

Type of conductor	Maximum recommended conductor temperature during a short circuit
Bare conductors, solid or stranded: Cu, Al or Al alloy	200 °C
Bare conductors, solid or stranded: steel	300 °C

[από IEC 60865-1]

Όπου:

S_{thr} :	Rated short-time withstand current density (r.m.s.) for 1 s	A/m ²
K :	Factor for calculating S_{thr}	As ^{0,5} /m ²
T_{kr} :	Rated short- time	s
κ_{20} :	Specific conductivity at 20 °C	1/(Ωm)
c :	Specific thermal capacity	J/(kg °C)
ρ :	Specific mass	Kg/m ³
α_{20} :	Temperature coefficient	1/°C
θ_c :	Conductor temperature at the beginning of a short circuit	°C
θ_b :	Conductor temperature at the end of a short circuit	°C

Παραδοχές για τους υπολογισμούς:

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές του πίνακα 6 του προτύπου για τις υψηλότερες συνιστώμενες θερμοκρασίες γυμνών αγωγών σε βραχυκύκλωμα και οι 250 °C και για τα καλώδια (από οδηγίες διανομής).

Το ισοδύναμο θερμικό ρεύμα βραχυκυκλώματος εκφράζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$I_{th} = I_k'' \sqrt{m + n} \quad (63)$$

Όπου m και n είναι αριθμητικοί συντελεστές και I_k'' είναι το συμμετρικό ρεύμα βραχυκυκλώματος.

Για τα δίκτυα διανομής το n συνήθως λαμβάνεται $n=1$

Και το m υπολογίζεται από το παρακάτω διάγραμμα:

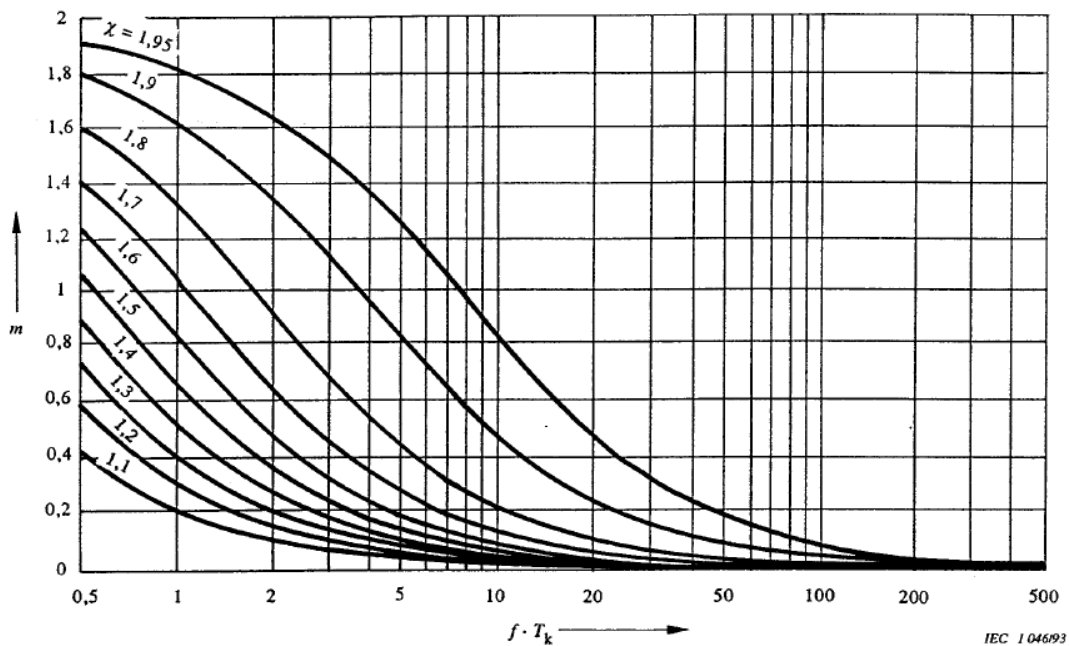


Figure 12 a) – Factor m , heat dissipation due to d.c. component in three-phase systems and single-phase systems

Παρατήρηση: Όταν συμβαίνουν επαναλαμβανόμενα σφάλματα σε μικρά χρονικά διαστήματα τότε ο τύπος του ισοδύναμου θερμικού ρεύματος είναι διαφορετικός γιατί πρέπει να συμπεριλάβει τους αντίστοιχους χρόνους. Στην παρούσα θεώρηση θεωρήθηκε ότι δεν συμβαίνουν επαναλαμβανόμενα σφάλματα για απλοποίηση των υπολογισμών.

Για διάφορους τύπους αγωγών και καλωδίων και διαφόρων διατομών που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο η χρήση των παραπάνω τύπων έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα, που συγκεντρώνονται στους παρακάτω πίνακες 5 και 6.

Παρόμοιοι υπολογισμοί προκύπτουν και από την Οδηγία Νο 16 της Διανομής με λίγο διαφοροποιημένες τις τιμές της οριακής θερμοκρασίας των αγωγών.

Στους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκαν οι προτεινόμενες τιμές του προτύπου ως πιο σύγχρονου των προτύπων που αναφέρονται στην οδηγία διανομής, χωρίς να ελεγχθεί αν κάποιο από τα δύο είναι πιο συντηρητικό στους σχετικούς υπολογισμούς.

Πίνακας 5: Θερμική καταπόνηση αγωγών ACSR και AAAC(AL)

ΑΓΩΓΟΙ:		ACSR (AL)				AAAC (AL)	
		16	35	50	95	35	185
S	mm ²	25	56	80	150	35	185
c	j/(kg °C)	910	910	910	910	910	910
ρ	kg/m ³	2700	2700	2700	2700	2700	2700
κ ₂₀	(1/(Ωm))*10 ⁶	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8
α ₂₀		0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004
c*ρ	j/°Cm ³	2,457	2,457	2,457	2,457	2,457	2,457
θ _c	°C	200	200	200	200	200	200
θ _b	°C	80	80	80	80	80	80
K		11,957	11,957	11,957	11,957	11,957	11,957
T _{kr}	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
T _{kr}	s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
T _{kr}	s	1	1	1	1	1	1
S ^{thr} _(0,1s)	A/mm ²	0,264470612	0,26447061	0,26447061	0,26447061	0,26447061	0,26447061
S ^{thr} _(0,2s)	A/mm ²	0,187008963	0,18700896	0,18700896	0,18700896	0,18700896	0,18700896
S th _(1s)	A/mm ²	0,083632951	0,08363295	0,08363295	0,08363295	0,08363295	0,08363295
I _{0,1}	kA	6,61	14,81	21,16	39,67	9,26	48,93
I _{0,2}	kA	4,68	10,47	14,96	28,05	6,55	34,60
I ₁	kA	2,09	4,68	6,69	12,54	2,93	15,47

Πίνακας 6: Θερμική καταπόνηση καλωδίων XLPE και N2XSY

ΚΑΛΩΔΙΑ:		XLPE (AL)			N2XSY (Cu)			
		50	150	240	50	70	300	400
S	mm ²	50	150	240	50	70	300	400
c	J/(kg °C)	910	910	910	390	390	390	390
ρ	kg/m ³	2700	2700	2700	8900	8900	8900	8900
κ ₂₀	(1/(Ωm)) [*] 10 ⁶	34,8	34,8	34,8	56	56	56	56
α ₂₀		0,004	0,004	0,004	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
c*ρ	J/°Cm ³	2,457	2,457	2,457	3,471	3,471	3,471	3,471
θ _c	°C	250	250	250	250	250	250	250
θ _b	°C	90	90	90	90	90	90	90
K		10,741	10,741	10,741	7,092	7,092	7,092	7,092
T _{kr}	s	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
T _{kr}	s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
T _{kr}	s	1	1	1	1	1	1	1
S ^{thr} (0,1s)	A/mm ²	0,294400	0,294400	0,294400	0,445881	0,445881	0,445881	0,445881
S ^{thr} (0,2s)	A/mm ²	0,2081727	0,2081727	0,2081727	0,315285	0,315285	0,315285	0,315285
S th (1s)	A/mm ²	0,0930976	0,0930976	0,0930976	0,1410001	0,1410001	0,1410001	0,1410001
I _{0,1}	kA	14,72	44,16	70,66	22,29	31,21	133,76	178,35
I _{0,2}	kA	10,41	31,23	49,96	15,76	22,07	94,59	126,11
I ₁	kA	4,65	13,96	22,34	7,05	9,87	42,30	56,40

Από τους πίνακες προκύπτει ότι για σφάλματα μικρής διάρκειας 0,1 ή 0,2s οι περισσότεροι τύποι αγωγών και καλωδίων επαρκούν για ρεύμα βραχυκύκλωσης εντάσεως μεγαλύτερης των 7,2 kA για το οποίο είναι σχεδιασμένο το υπάρχον σύστημα.

Για τυχόν μεγαλύτερης διάρκειας σφάλματα όπως το 1s το οποίο όμως θεωρείται από τα τυπικά σφάλματα για τους υπολογισμούς, θα πρέπει να γίνεται αυστηρότερος έλεγχος στις διατομές των αγωγών που θα χρησιμοποιούνται σε περίπτωση που χρειαστεί αύξηση τη στάθμης βραχυκύκλωσης πάνω από το υπάρχον όριο του σχεδιασμού και πολύ περισσότερο στις αρχές των αναχωρήσεων των γραμμών.

Γενικά θεωρείται ότι χρόνοι 0,1 s και 0,2 s είναι αρκετοί ώστε τα μέσα προστασίας να λειτουργήσουν.

7. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

7.1. Γενικά στοιχεία του δικτύου

Παρακάτω παρουσιάζονται μετά από επεξεργασία γενικά στοιχεία του δικτύου ΜΤ και ΧΤ του ΔΕΔΔΗΕ.

(Τα παρακάτω στοιχεία έχουν ληφθεί από το ΣΑΔ 2022-2026 - Σχέδιο ανάπτυξης του Δικτύου.)

ΠΕΡΙΟΧΕΣ	Μήκος Δικτύου (km)			ΣΥΝΟΛΟ:
	ΕΝΑΕΡΙΟ	ΥΠΟΓΕΙΟ	Υ/Β	
ΔΠΑ	4.796	6.501	107	11.404
ΔΠΜ-Θ	30.205	1.670	142	32.016
ΔΠΠ-Η	27.938	849	168	28.956
ΔΠΚΕ	25.281	1.460	91	26.832
ΔΠΝ	13.571	1.007	494	15.072
ΣΥΝΟΛΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ:	101.791	11.488	1.001	114.280

Πίνακας 7: Μήκος δικτύου ΜΤ ανά τύπο και Διοικητική Περιοχή ΔΕΔΔΗΕ (31.12.2021)

ΠΕΡΙΟΧΕΣ	Μήκος Δικτύου (km)			ΣΥΝΟΛΟ:
	ΓΥΜΝΟΙ ΑΓΩΓΟΙ	ΣΥΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΑ	ΣΥΝΟΛΟ:	
ΔΠΑ	4.764	32	4796	
ΔΠΜ-Θ	30.105	99	30.205	
ΔΠΠ-Η	27.858	80	27.938	
ΔΠΚΕ	25.188	93	25.281	
ΔΠΝ	13.544	27	13.571	
ΣΥΝΟΛΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ:	101.460	333	101.791	

Πίνακας 8: Μήκος εναερίου δικτύου ΜΤ ανά είδος και Διοικητική Περιοχή ΔΕΔΔΗΕ (31.12.2021)

ΠΕΡΙΟΧΕΣ	Μήκος Δικτύου (km)			
	ΓΥΜΝΟΙ ΑΓΩΓΟΙ	ΣΥΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΑ	ΣΥΓΚΕΝΤΡΙΚΟΙ	ΣΥΝΟΛΟ:
ΔΠΑ	4.176	10.646	65	14.887
ΔΠΜ-Θ	11.638	14.580	218	26.435
ΔΠΠ-Η	13.525	22.443	32	36.000
ΔΠΚΕ	3.321	16.228	27	19.577
ΔΠΝ	4.096	12.120	301	16.517
ΣΥΝΟΛΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ:	36.756	76.017	643	113.416

Πίνακας 9: Μήκος εναερίου Δικτύου ΧΤ ανά είδος και Διοικητική Περιοχή ΔΕΔΔΗΕ (31.12.2021)

Από τους παραπάνω πίνακες προκύπτει ότι το 89% του συνολικού μήκους του δικτύου ΜΤ είναι εναέριο και από το εναέριο δίκτυο το 99,67% αποτελείται από γυμνούς αγωγούς, συνεπώς εκτεθειμένο περισσότερο στις μηχανικές και θερμικές καταπονήσεις σε συνθήκες σφάλματος που αναπτύχθηκαν παραπάνω καθώς και σε θεώρηση της επάρκειας των αγωγών των μικρότερων διατομών σε περίπτωση αναθεώρησης της στάθμης βραχυκύκλωσης σε υψηλότερα επίπεδα της σημερινής (των 7,2 kA).

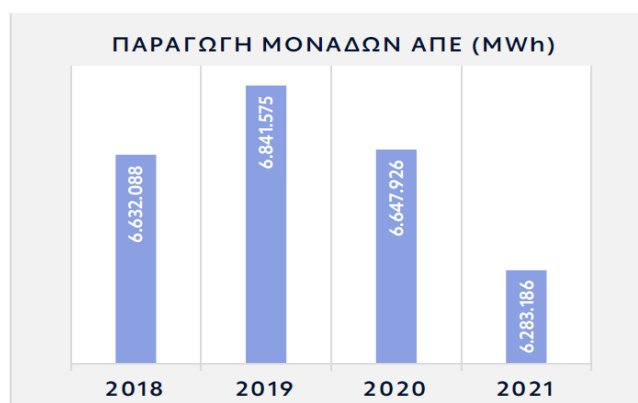
Πίνακας 10: Στοιχεία Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ ανά Διοικητική Περιοχή ΔΕΔΔΗΕ (31.12.2021)

ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΕΝΑΕΡΙΟΙ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ			ΛΟΙΠΟΙ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ			ΣΥΝΟΛΟ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ		
	Αριθμός		Εγκατ. Ισχύς (kVA)	Αριθμός		Εγκατ. Ισχύς (kVA)	Αριθμός		Εγκατ. Ισχύς (kVA)
	Υ/Σ	Μ/Σ		Υ/Σ	Μ/Σ		Υ/Σ	Μ/Σ	
ΔΠΑ	10.793	10.960	3.857.175	3.927	4.256	2.993.985	14.720	15.216	6.851.160
ΔΠΜ-Θ	46.076	46.173	5.744.190	2.529	2.846	1.863.715	48.605	49.019	7.607.905
ΔΠΠ-Η	38.773	38.806	5.654.205	872	890	609.420	39.645	39.696	6.263.625
ΔΠΚΕ	40.542	40.567	5.037.985	997	1.060	703.870	41.539	41.627	5.741.855
ΔΠΝ	20.098	20.155	3.196.655	437	447	306.245	20.535	20.602	3.502.900
ΣΥΝΟΛΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ:	156.282	156.661	23.490.210	8.762	9.499	6.477.235	165.044	166.160	29.967.445

*Στους λοιπούς Υ/Σ περιλαμβάνονται οι εσωτερικού χώρου, οι επίγειοι και οι συνεπτυγμένου τύπου (compact).

7.2. Στατιστικά στοιχεία περιθωρίου απορρόφησης ισχύος των υπαρχόντων Μ/Σ

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η παραγωγή από μονάδες ΑΠΕ οι οποίες είναι συνδεδεμένες στη ΜΤ και ΧΤ στο σύνολο του ΕΔΔΗΕ για τα έτη 2018-2021.



Παραγωγή Μονάδων ΑΠΕ (MWh)

(Τα στοιχεία έχουν ληφθεί από το ΣΑΔ 2022-2026 - Σχέδιο ανάπτυξης του Δικτύου.)

Η δυνατότητα απορρόφησης ισχύος από μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής έχει αποσυνδεθεί από το τοπικό επίπεδο της γραμμής μέσης τάσης και τις επί μέρους ιδιαιτερότητες και έχει αναχθεί σε κεντρικότερο επίπεδο, δηλαδή στο επίπεδο των υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ και συγκεκριμένα σε επίπεδο μετασχηματιστών ΥΤ/ΜΤ, οι οποίοι οριοθετούν την πρωταρχική δυναμικότητα του Δικτύου σε δεδομένη χρονική στιγμή και παρέχουν σταθερότερη βάση αναφοράς, αφού εξαντλούν τις δυνατότητες της υφιστάμενης υποδομής μιας ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής, μέσω όλων των δυνατών εναλλακτικών επιλογών ως προς το δίκτυο μέσης τάσης (δημιουργία νέων γραμμών μέσης τάσης, ενισχύσεις-αναβαθμίσεις υφισταμένων κλπ.).

Με αυτόν τον τρόπο η δυνατότητα απορρόφησης ισχύος σε μια περιοχή προσδιορίζεται από το σύνολο των υποσταθμών που την εξυπηρετούν, ενσωματώνοντας και τη δυνατότητα μεταβολής της υφιστάμενης τοπολογίας του δικτύου μέσης τάσης.

Η προσέγγιση αυτή βασίζεται σε γενικούς τεχνικούς περιορισμούς στο επίπεδο των υποσταθμών, πέραν της ονομαστικής ισχύος των εγκατεστημένων μετασχηματιστών, στη διατήρηση της ισχύος βραχυκύκλωσης στην πλευρά μέσης τάσης των υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ εντός της στάθμης σχεδιασμού για λόγους ασφαλούς λειτουργίας των εγκαταστάσεων και στην επιβαλλόμενη από τον ΚΔΣ&ΣΗΕ διατήρηση του συντελεστή ισχύος των υποσταθμών εντός συγκεκριμένων ορίων.

Έτσι η δυνατότητα απορρόφησης ισχύος από μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής λογίζεται ως συνάρτηση της επίπτωσης τους στους ανωτέρω περιορισμούς. Οι μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής συμβάλλουν στη διαμόρφωση της τιμής της ισχύος βραχυκύκλωσης στους ζυγούς ΜΤ των υποσταθμών και η συμβολή τους στο βραχυκύκλωμα διαφοροποιείται ανά τεχνολογία (οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί συμβάλλουν με το ονομαστικό τους ρεύμα, σταθμοί με σύγχρονες γεννήτριες συμβάλλουν με ρεύμα πολλαπλάσιο του ονομαστικού τους, ενώ η συμβολή των ανεμογεννητριών εξαρτάται από την τεχνολογία τους).

Από την άλλη πλευρά η εγκατάσταση μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της απορροφούμενης ενεργού ισχύος, χωρίς ανάλογη, κατά κανόνα, μεταβολή των απαιτήσεων αέργου ισχύος. Σε κάθε περίπτωση ο ολικός συντελεστής ισχύος των υποσταθμών θα πρέπει να διατηρείται στα επίπεδα που προδιαγράφει ο Κώδικας του Συστήματος, δηλ. σε τιμές υψηλότερες του 0,95 επαγωγικό.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται είναι δυναμική, αφού τα υπολογιζόμενα περιθώρια υπόκεινται σε περιοδική επανεκτίμηση, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις μεταβολές ως προς την κατάσταση των αιτημάτων σύνδεσης μονάδων διεσπαρμένης παραγωγής (υλοποίηση έργων, νέες δεσμευτικές προσφορές, αναστολή αδειών ή λήξη ισχύος προσφορών σύνδεσης κλπ.) αλλά και τις τυχόν μεταβολές ως προς τις δυνατότητες της υφιστάμενης υποδομής σε βάθος χρόνου.

Από τα δημοσιευμένα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ στη σχετική εφαρμογή [24], σχετικά με το περιθώριο απορρόφησης ισχύος των υπαρχόντων Μ/Σ προκύπτουν τα παρακάτω:

ΑΡΙΘΜΟΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΥΤ/ΜΤ	ΑΡΙΘΜΟΣ Μ/Σ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ (ΜΒΑ)	ΠΛΗΘΟΣ ΑΠΕ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΕ ΜΒΑ	Μ/Σ ΧΩΡΙΣ ΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΜΒΑ	Μ/Σ ΧΩΡΙΣ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΒΑ
225	445	21837,8	76080	8256,6	46	87

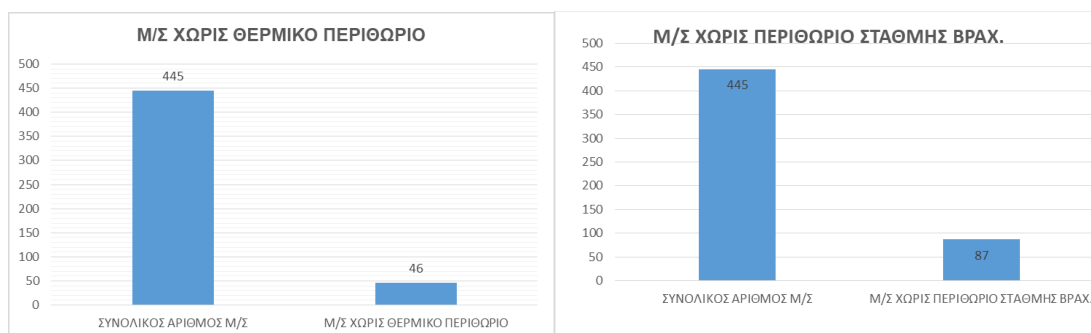
Από την στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι το 30% των υφιστάμενων μετασχηματιστών έχουν εξαντλήσει την δυνατότητα απορρόφησης ισχύος μονάδων ΑΠΕ, είτε λόγω του θερμικού ορίου που επιβάλλει η ονομαστική ισχύς τους, είτε λόγω του ορίου βραχυκύκλωσης (Σχήμα 10).

Πιο συγκεκριμένα σε σύνολο 445 Μ/Σ, οι 312 έχουν διαθέσιμο ηλεκτρικό χώρο, ενώ 133 έχουν εξαντλήσει ένα ή και τα δύο περιθώρια.



Σχήμα 10 Μ/Σ διανομής με ηλεκτρικό περιθώριο και χωρίς ηλεκτρικό περιθώριο

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι περιπτώσεις Υ/Σ στους οποίους έχει μεν εξαντληθεί το περιθώριο της στάθμης βραχυκύκλωσης αλλά όχι και το θερμικό όριο ισχύος των Μ/Σ. Οι Υ/Σ χωρίς θερμικό περιθώριο αποτελούν ποσοστό λίγο παραπάνω από το 10% του συνόλου (Σχήμα 11)



Σχήμα 11 Μ/Σ διανομής χωρίς θερμικό περιθώριο

Ένα παράδειγμα αποτελεί ο Υποσταθμός της Βέροιας όπου και οι δύο Μ/Σ έχουν θερμικό περιθώριο (30,1 και 28,4 MVA αντίστοιχα ο καθένας) αλλά δεν υπάρχει περιθώριο λόγω της στάθμης βραχυκύκλωσης, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 11.

ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΥΤ/ΜΤ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ Μ/Σ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΜVA	ΠΛΗΘΟΣ ΑΠΕ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΕ ΜVA	ΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΜVA	ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΣΤΑΘΜΗΣ ΒΡΑΧ ΜVA
ΒΕΡΟΙΑΣ	Βέροια ΜΣ1	50	409	19,9	30,1	0
ΒΕΡΟΙΑΣ	Βέροια ΜΣ2	50	259	21,6	28,4	0

Πίνακας 11: Θερμικά περιθώρια των Μ/Σ του Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ Βέροιας

Συνεπώς χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση της δυνατότητας της αύξησης της στάθμης βραχυκύκλωσης από το υφιστάμενο όριο σχεδιασμού των 7,2 kA σε μεγαλύτερο όριο 10 kA ή και περισσότερο για καλύτερη εκμετάλλευση των παραπάνω περιθωρίων απορρόφησης.

Η εξέταση για κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνει ανά υποσταθμό εξετάζοντας την επίδραση της σχετικής αύξησης της στάθμης βραχυκύκλωσης στο σχήμα προστασίας των γραμμών διανομής καθώς και τη μηχανική καταπόνηση του εξοπλισμού.

Μια ακόμα παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη είναι τα αιτήματα ένταξης διεσπαρμένης παραγωγής ανά περιοχή.

7.3. Οικονομικά μεγέθη

Για την καλύτερη αξιοποίηση των δυνατοτήτων επαύξησης της ισχύος των υφιστάμενων υποσταθμών (πχ με προσθήκη Μ/Σ), αλλά και της γενικότερης αναβάθμισής τους αρχικά απαιτείται προσδιορισμός των γεωγραφικά κρίσιμων περιοχών παρέμβασης για την ενίσχυση του δικτύου διανομής για λόγους εξυπηρέτησης της ζήτησης για την ταυτόχρονη υποδοχή νέων έργων ΑΠΕ, προσδιορισμός των υποσταθμών που θα οδηγηθούν σε κορεσμό και θα χρειαστούν επαύξηση καθώς και των γραμμών που θα χρειαστούν ενίσχυση εξαιτίας της υπέρβασης της δυνατότητας απορρόφησης επιπλέον ισχύος.

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά έργα με δυνατότητες χρηματοδότησης που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με την αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου.

α. Αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος σε υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ για σύνδεση νέων ΑΠΕ

Το έργο της αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος σε υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ για σύνδεση νέων ΑΠΕ εκτιμάται περίπου σε 37,2 εκ ευρώ (με δυνατότητα χρηματοδότησης από το ΠΔΕ 12 εκ ευρώ) και ορίζοντα υλοποίησης τα 5 έτη.

Το έργο περιλαμβάνει έργα αύξησης της δυναμικότητας των υποσταθμών του δικτύου κατά 725 MVA, η οποία θα κατανεμηθεί ανά περιφέρεια ως εξής:

125 MVA στην Αττική,
150 MVA στην Κεντρική Ελλάδα
150 MVA στην Πελοπόννησο και Ήπειρο
300 MVA Μακεδονία και Θράκη

Αναλυτικά τα έργα στους Υ/Σ είναι:

- Αντικατάσταση Μ/Σ στον Υ/Σ Φλώρινας (επαύξηση κατά 50 MVA)
- Επαύξηση ΚΥΤ Μελίτης (επαύξηση κατά 50 MVA)
- Επαύξηση Υ/Σ Σκύδρας (επαύξηση κατά 50 MVA)
- Επαύξηση Υ/Σ Σπερχειάδας (επαύξηση κατά 50 MVA)
- Αντικατάσταση Μ/Σ στον Υ/Σ Πτολεμαΐδας II (επαύξηση κατά 50 MVA)
- Επαύξηση ΚΥΤ Τρικάλων (επαύξηση κατά 50 MVA)
- Αντικατάσταση Μ/Σ στον Υ/Σ Μεγάρων (επαύξηση κατά 75 MVA)
- Επαύξηση Υ/Σ Μαγικού (επαύξηση κατά 50 MVA)
- Αντικατάσταση Μ/Σ στον Υ/Σ Δομοκού (επαύξηση κατά 50 MVA)
- Επαύξηση Υ/Σ Ιωάννινα I (επαύξηση κατά 50 MVA)
- Επαύξηση ΚΥΤ Αράχθου (επαύξηση κατά 50 MVA)
- Αντικατάσταση Μ/Σ στον Υ/Σ Πύλου (επαύξηση κατά 50 MVA)
- Αντικατάσταση Μ/Σ στον Υ/Σ Οινοφύτων (επαύξηση κατά 50 MVA)
- Εγκατάσταση Μ/Σ στο ΚΥΤ Φιλίππων (επαύξηση κατά 50 MVA)

(Τα παραπάνω στοιχεία λήφθηκαν από τη σχετική απόφαση του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, αναρτητέα στο Διαδίκτυο, Α.Π.: ΥΠΕΝ/ΕΣΠΑΕΝ/98830/1514/28-09-22 [30])

Από τα παραπάνω έργα αυτή τη στιγμή είναι στο στάδιο δημοπράτησης τα παρακάτω:

Διακήρυξη ΔΕΕΔ-46 : «Επέκταση της πλευράς ΜΤ του Υ/Σ Πύλου για την αύξηση διείσδυσης ΑΠΕ» με εκτιμώμενη αξία 825.688,00 € και περιλαμβάνει έργα επέκτασης του υφιστάμενου Υ/Σ 150/20 kV Πύλου με 7 συνολικά πύλες αναχωρήσεων ΜΤ (5 πύλες στην πλευρά του Μ/Σ Νο2 και 2 πύλες στην πλευρά του Μ/Σ Νο1), με τον απαραίτητο εξοπλισμό προστασίας, ελέγχου και επικοινωνίας της επέκτασης. (με χρονοδιάγραμμα υλοποίησης 9 μηνών).

Διακήρυξη ΔΕΕΔ-45: "Έργα Ενίσχυσης σε τέσσερις (4) Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ για την αύξηση διείσδυσης των ΑΠΕ (Ομάδα Έργων 2)" με εκτιμώμενη αξία 13.952.000,00 € και περιλαμβάνει τα παρακάτω έργα:

- Επέκταση του ΚΥΤ Τρικάλων με 3ο Μ/Σ 150/20kV, 50MVA, και αναλυτικότερα:

Προσθήκη νέου Μ/Σ ισχύος (Μ/Σ Νο3) 40/50 MVA, τάσης βραχυκύκλωσης $u_k \geq 23\%$, με επέκταση των ζυγών 150kV και επέκταση της πλευράς ΜΤ, με την προσθήκη επτά (7) νέων πυλών αναχωρήσεων, μίας (1) πύλης άφιξης Μ/Σ και μίας (1) πύλης διασύνδεσης ζυγών ΜΤ. Εγκατάσταση νέας μονάδας RTU στο κτίριο ελέγχου του ΚΥΤ για την υποστήριξη της επέκτασης

- Αντικατάσταση των τριών Μ/Σ 150/20KV, 25MVA του Υ/Σ Μεγάρων με νέους 50MVA και προσθήκη πυλών ΜΤ, και αναλυτικότερα:
 - Αντικατάσταση των τριών υφιστάμενων Μ/Σ ισχύος 20/25 MVA με νέους, ισχύος 40/50 MVA και τάση βραχυκύκλωσης $u_k \geq 25\%$ στις υφιστάμενες βάσεις.
 - Επέκταση της πλευράς ΜΤ του Μ/Σ Νο1 με την προσθήκη μίας (1) νέας πύλης αναχώρησης (P380), υπαίθριου τύπου, μεταξύ των υφιστάμενων πυλών P-390 και P-315.
 - Επέκταση της πλευράς ΜΤ του Μ/Σ Νο2 με την προσθήκη μίας (1) νέας πύλης αναχώρησης (P300), υπαίθριου τύπου, μεταξύ των υφιστάμενων πυλών P-325 και P-290.
 - Επέκταση πλευράς ΜΤ Μ/Σ Νο3 με την προσθήκη δύο (2) νέων πυλών αναχωρήσεων (P310, P320), υπαίθριου τύπου, σε συνέχεια της υφιστάμενης πύλης P-330
 - Αναβάθμιση των πυλών εισόδου από Μ/Σ και για τους τρεις Μ/Σ.

- Επέκταση του Υ/Σ Μαγικού με 3ο Μ/Σ 150/20kV, 50MVA, και ειδικότερα:

Προσθήκη νέου Μ/Σ ισχύος (Μ/Σ Νο1) 40/50 MVA, τάσης βραχυκύκλωσης $u_k \geq 23\%$, με επέκταση των ζυγών 150kV και επέκταση της πλευράς ΜΤ, με

την προσθήκη δώδεκα (12) νέων πυλών αναχωρήσεων, μίας (1) πύλης άφιξης Μ/Σ και μίας (1) πύλης διασύνδεσης ζυγών ΜΤ. Οι πύλες ΜΤ θα είναι μεταλλοενδεδυμένοι Πίνακες εντός του κτιρίου ελέγχου του Υ/Σ

➤ Αντικατάσταση των δύο Μ/Σ 150/20KV, 25MVA του Υ/Σ Δομοκού με νέους 50MVA και τάση βραχυκύκλωσης $u_k \geq 23\%$, και προσθήκη πυλών ΜΤ, και αναλυτικότερα:

- Αντικατάσταση των δύο υφιστάμενων Μ/Σ ισχύος 20/25 MVA με νέους, ισχύος 40/50 MVA και τάση βραχυκύκλωσης $u_k \geq 23\%$ στις υφιστάμενες βάσεις, οι οποίες πρέπει να ενισχυθούν.

- Επέκταση της πλευράς ΜΤ του Μ/Σ Νο1 με την προσθήκη τεσσάρων (4) νέων πυλών αναχωρήσεων (P250-P280), υπαίθριου τύπου

- Επέκταση πλευράς ΜΤ Μ/Σ Νο2 με την προσθήκη τεσσάρων (4) νέων πυλών αναχωρήσεων (P330-P360), υπαίθριου τύπου

- Διαχωρισμός ουδετέρου κόμβου των Μ/Σ ισχύος και προσθήκη νέας αντίστασης γείωσης στον Μ/Σ Νο2.

- Αναβάθμιση των πυλών εισόδου από Μ/Σ και για τους δύο Μ/Σ.

Διακήρυξη ΔΕΕΔ-41 : «Έργα Ενίσχυσης σε πέντε (5) Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ για την αύξηση διείσδυσης των ΑΠΕ (Ομάδα Έργων 1)» () με εκτιμώμενη αξία 14.464.300,00 € και περιλαμβάνει τα παρακάτω έργα:

➤ Αντικατάσταση των δύο Μ/Σ 150/20KV, 25MVA του Υ/Σ Φλώρινας με νέους 50MVA και προσθήκη πυλών ΜΤ, και αναλυτικότερα:

- Αντικατάσταση των δύο υφιστάμενων Μ/Σ ισχύος 20/25 MVA με νέους, ισχύος 40/50 MVA και τάση βραχυκύκλωσης $u_k \geq 23\%$ στις υφιστάμενες βάσεις.

- Επέκταση της πλευράς ΜΤ του Μ/Σ Νο1 με την προσθήκη δύο (2) νέων πυλών αναχωρήσεων (P380, P370)

- Επέκταση πλευράς ΜΤ Μ/Σ Νο2 με την προσθήκη δύο (2) νέων πυλών αναχωρήσεων (P260, P270)

- Διαχωρισμός ουδετέρου κόμβου των Μ/Σ ισχύος και προσθήκη νέας αντίστασης γείωσης στον Μ/Σ Νο2.

➤ Επέκταση του ΚΥΤ Μελίτης με 2ο Μ/Σ 150/20kV, 50MVA

Προσθήκη ενός νέου Μ/Σ ισχύος 40/50 MVA Νο2, τάσης βραχυκύκλωσης $u_{k\geq 20\%}$ με επέκταση των ζυγών 150kV και σύνδεση με τους υφιστάμενους ζυγούς ΜΤ (μεταλλοεπενδεδυμένοι πίνακες ΜΤ) που βρίσκονται εντός κτιρίου ΜΤ, στο οποίο υπάρχει αίθουσα ελέγχου για την εγκατάσταση του εξοπλισμού προστασίας, ελέγχου επικοινωνίας για το νέο εξοπλισμό .

➤ Επέκταση του Υ/Σ Σκύδρας με 3ο Μ/Σ 150/20kV, 50MVA

Προσθήκη νέου Μ/Σ ισχύος (Μ/Σ Νο1) 40/50 MVA, τάσης βραχυκύκλωσης $u_{k\geq 23\%}$ με επέκταση των ζυγών 150kV και επέκταση της πλευράς ΜΤ, με την προσθήκη έξι (6) νέων πυλών αναχωρήσεων, μίας (1) πύλης άφιξης Μ/Σ και μίας (1) πύλης διασύνδεσης ζυγών ΜΤ.

➤ Επέκταση του Υ/Σ Σπερχειάδας με 2^ο Μ/Σ 150/20kV, 50MVA.

Προσθήκη ενός νέου Μ/Σ ισχύος (Μ/Σ Νο2) 40/50 MVA, τάσης βραχυκύκλωσης $u_{k\geq 23\%}$ και πλήρης επέκταση της πλευράς ΜΤ, με την προσθήκη οκτώ (8) νέων πυλών αναχωρήσεων, μίας (1) πύλης άφιξης Μ/Σ και μίας (1) πύλης διασύνδεσης ζυγών ΜΤ. Οι πύλες ΜΤ θα είναι μεταλλοενδεδυμένοι Πίνακες εντός του κτιρίου ελέγχου του Υ/Σ.

➤ Αντικατάσταση των δύο Μ/Σ 150/20KV, 25MVA του Υ/Σ Εορδαίας (Πτολεμαΐδα II) με νέους 50MVA και προσθήκη πυλών ΜΤ, και αναλυτικότερα:

- Αντικατάσταση των δύο υφιστάμενων Μ/Σ ισχύος 20/25 MVA με νέους, ισχύος 40/50 MVA και τάση βραχυκύκλωσης $u_{k\geq 23\%}$ στις υφιστάμενες βάσεις.

- Επέκταση της πλευράς ΜΤ του Μ/Σ Νο2 με την προσθήκη έξι (6) νέων πυλών αναχωρήσεων (P290-P340), υπαίθριου τύπου

- Επέκταση πλευράς ΜΤ Μ/Σ Νο3 με την προσθήκη πέντε (5) νέων πυλών αναχωρήσεων (P420-P460), υπαίθριου τύπου 6

- Διαχωρισμός ουδετέρου κόμβου των Μ/Σ ισχύος και προσθήκη νέας αντίστασης γείωσης στον Μ/Σ Νο3.

β. Αναβάθμιση του εναέριου δικτύου σε δασικές περιοχές, με αντικατάσταση γυμνών αγωγών εναέριου δικτύου με καλυμμένους αγωγούς ή συνεστραμμένα καλώδια και υπογειοποίηση ή μετατόπιση τμημάτων του δικτύου που διέρχονται από δασικές περιοχές.

Ο προϋπολογισμός εκτιμάται σε 149,8 εκ. ευρώ με δυνατότητα χρηματοδότησης 40 εκ. ευρώ.

Το έργο θα βελτιώσει την ανθεκτικότητα και την αξιοπιστία του δικτύου (δείκτες ποιότητας της παρεχόμενης ενέργειας: Διάρκεια διακοπών ανά πελάτη (SAIDI) και συχνότητα διακοπών ανά πελάτη (SAIFI) καθώς επίσης θα προστατεύσει πιο αποτελεσματικά το περιβάλλον (δάση, άγρια ζώα).

Εκτίμηση σε συνολικό μήκος 2.084,5 km που περιλαμβάνει:

- Μετατοπίσεις εναέριου δικτύου ΜΤ (αποξήλωση και κατασκευή νέου): 746,4 km
- Αποξήλωση εναέριου δικτύου ΜΤ και κατασκευή με συνεστραμμένα ΜΤ: 254,8 km
- Μετατοπίσεις εναέριου δικτύου ΜΤ (αποξήλωση και κατασκευή νέου με ΣΚ): 300,5 km.
- Αποξήλωση εναέριου δικτύου ΜΤ και κατασκευή υπογείου ΜΤ: 782,8 km

(Τα παραπάνω στοιχεία λήφθηκαν από τη σχετική απόφαση του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, αναρτητέα στο Διαδίκτυο, Α.Π.: ΥΠΕΝ/ΕΣΠΑΕΝ/98830/1514/28-09-22 [30])

γ. Αναβαθμίσεις του δικτύου με στόχο την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και την προστασία του περιβάλλοντος

Το συνολικό μήκος δικτύου προς υπογειοποίηση/αναβάθμιση εκτιμάται στα 1845,2 km, με ενδεικτικό προϋπολογισμό 199,8 εκ. ευρώ και δυνατότητα χρηματοδότησης 60 εκ. ευρώ και αφορά υπογειοποίηση και αναδρομολόγηση του δικτύου σε οικισμούς ιδιαίτερης πολιτιστικής ή τουριστικής σημασίας.

(Τα παραπάνω στοιχεία λήφθηκαν από τη σχετική απόφαση του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, αναρτητέα στο Διαδίκτυο, Α.Π.: ΥΠΕΝ/ΕΣΠΑΕΝ/98830/1514/28-09-22 [30])

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια εκτίμηση ποσοτήτων και κόστους υλικών εξοπλισμού του δικτύου (χωρίς την τοποθέτηση) με αναβαθμισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά για στάθμη βραχυκύκλωσης άνω των 10 kA και για περίοδο κάλυψης αναγκών 2 ετών:

Η εκτίμηση βασίζεται σε ποσότητες και προϋπολογισθείσες τιμές παρελθόντων ετών όπως έχουν δημοπρατηθεί (όχι οι συμβολαιοποιημένες τιμές) στον επίσημο ιστότοπο της εταιρείας για τους Διαγωνισμούς προμηθειών. Άλλωστε οι τιμές των επομένων ετών βασίζονται με αναπροσαρμογή στις συμβολαιοποιημένες τιμές των προηγούμενων ετών. Στη συνέχεια οι τιμές αναπροσαρμόζονται με μια αύξηση εξαιτίας της απαίτησης αυξημένης στάθμης βραχυκύκλωσης.

ΥΛΙΚΟ: ΑΠΟΖΕΥΚΤΕΣ

ΕΙΔΟΣ: ΑΠΟΖΕΥΚΤΕΣ	ΕΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΑ ΕΙΔΟΥΣ	ΠΟΣΟ ΤΗΤΕΣ /ΜΗΝΑ	ΑΞΙΑ ΑΝΑ ΤΕΜ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (ΤΕΜ)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΑ ΕΙΔΟΥΣ (€)
Μονοπολική αποζεύκτες με συνθετικούς μονωτήρες	2018 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	270	27000	11,25	100		
	2020 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	960	96000	40	100		
	2022 (ΓΙΑ 16 ΜΗΝΕΣ)	12000	1536000	750	128		
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ 2 ΕΤΗ				267	109,33	6410	700827
Τριπολική αποζεύκτες με συνθετικούς μονωτήρες	2018 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	720	712125	30	989,1		
	2020 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	720	522000	30	725		
	2022 (ΓΙΑ 16 ΜΗΝΕΣ)	4000	2744000	250	686		
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ 2 ΕΤΗ				103	800,02	2480	1984051,7
Μονοπολική αποζεύκτες 20kV με μονωτήρες πορσελάνης, υπερενισχυμένης μόνωσης (υπερβαρέως τύπου)	2020 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	310	24800	13	80		
	2022 (ΓΙΑ 16 ΜΗΝΕΣ)	284	30388	18	107		
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ 2 ΕΤΗ				15	94	368	34408
Μονοπολική αποζεύκτες 20kV με μονωτήρες πορσελάνης, ενισχυμένης	2020 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	3360	268800	140	80		
	2022 (ΓΙΑ 16 ΜΗΝΕΣ)	2688	341376	168	127		

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΝΑΕΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

μόνωσης (βαρέως τύπου)							
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ 2 ΕΤΗ				154	103,5	3696	382536
Μονοπολικοί αποζεύκτες 20kV με μονωτήρες πορσελάνης, κανονικής μόνωσης	2020 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	1680	134400	70	80		
	2022 (ΓΙΑ 16 ΜΗΝΕΣ)	1028	130556	64,25	127		
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ 2 ΕΤΗ				67	103,5	1611	166738,5
Τριπολικοί αποζεύκτες 20kV με μονωτήρες πορσελάνης, ενισχυμένης μόνωσης (βαρέως τύπου)	2020 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	1200	621600	50	518		
	2022 (ΓΙΑ 16 ΜΗΝΕΣ)	632	470008	39,5	744		
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ 2 ΕΤΗ				45	630,84 2	1074	677524,06
Τριπολικοί αποζεύκτες 20kV με μονωτήρες πορσελάνης, υπερενισχυμένης μόνωσης (υπερβαρέως τύπου)	2020 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	600	336000	25	560		
	2022 (ΓΙΑ 16 ΜΗΝΕΣ)	368	224112	23	609		
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ 2 ΕΤΗ				24	584,5	576	336672
ΣΥΝΟΛΑ:						16215	4.282.757
ΑΥΞΗΣΗ ΤΙΜΗΣ ΚΑΤΑ 20 % ΛΟΓΩ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΒΡ. ΣΤΑ 16 kA						16215	5.139.308

Υλικό: Ασφαλειοαποζεύκτες:

ΕΙΔΟΣ: ΑΣΦΑΛΕΙΟ-ΑΠΟΖΕΥΚΤΕΣ	ΕΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΑ ΕΙΔΟΥΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ /ΜΗΝΑ	ΑΞΙΑ ΑΝΑ ΤΕΜ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (ΤΕΜ)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΑ ΕΙΔΟΥΣ (€)
Βάση Ασφαλειοαποζεύκτη υπαίθρου 20KV με μονωτήρα πορσελάνης ενισχυμένης μόνωσης	2018 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	4800	216000	200	45		
	2020 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	7200	381600	300	53		
	2022 (ΓΙΑ 28 ΜΗΝΕΣ)	8820	599760	315	68		
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ 2 ΕΤΗ				272	55	6520	360773,33
Θήκη Ασφαλειοαποζεύκτη υπαίθρου 20KV με μονωτήρα πορσελάνης ενισχυμένης μόνωσης	2018 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	5280	100320	220	19		
	2020 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	7920	182160	330	23		
	2022 (ΓΙΑ 28 ΜΗΝΕΣ)	9702	349272	347	36		
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ 2 ΕΤΗ				299	26	7172	186472
Βάση Ασφαλειοαποζεύκτη	2020 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	4800	264000	200	55		

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΕ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΝΑΕΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

υπαίθρου 20KV με συνθετικό μονωτήρα	2021 (ΓΙΑ 28 ΜΗΝΕΣ)	21000	987000	750	47		
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ 2 ΕΤΗ				475	51	11400	581400
Θήκη Ασφαλειοαποζεύκτη υπαίθρου 20KV με συνθετικό μονωτήρα	2020 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	5280	110880	220	21		
	2021 (ΓΙΑ 28 ΜΗΝΕΣ)	23100	716100	963	31		
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ 2 ΕΤΗ				591	26	14190	368940
ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ (ΒΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΘΗΚΩΝ):						81870	2.787.393,3
*ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΑΡ. 4.3.3, 5 ΦΟΡΕΣ ΑΚΡΙΒΟΤΕΡΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΓΙΑ ΣΤΑΘΜΗ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΤΩΝ 16 kA						81.870	6.734.193,3

Υλικό: Συνεπτιγμένοι υπαίθριοι υποσταθμοί διανομής:

ΕΙΔΟΣ: ΣΥΝΕΠΤΥΓΜΕΝΟΙ ΥΠΑΙΘΡΙΟΙ	ΕΤΟΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΑ ΕΙΔΟΥΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ /ΜΗΝΑ	ΑΞΙΑ ΑΝΑ ΤΕΜ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ (ΤΕΜ)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΑ ΕΙΔΟΥΣ (€)
Υπαίθριοι συνεπτιγμένοι υποσταθμοί 640 kVA χωρίς το Μ/Σ	2018 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	64+8 (67)	1.385.360	3	20677		
	2021 (ΓΙΑ 24 ΜΗΝΕΣ)	144+12 (148)	2.951.280	6	19941,1		
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ 2 ΕΤΗ				4	20309	96	1.949.669
ΑΥΞΗΣΗ ΤΙΜΗΣ ΚΑΤΑ 80% ΛΟΓΩ ΑΥΞΗΣΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΝΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ SF6 FREE						96	3.509.404

Συμπεράσματα

Για την αντιμετώπιση των περιορισμών στο περιθώριο υποδοχής ισχύος των ΑΠΕ στο δίκτυο διανομής και σε σχέση με τους περιορισμούς που τίθενται εξαιτίας της στάθμης βραχυκύκλωσης, υπάρχουν λύσεις που μπορούν να εφαρμοστούν.

Οι λύσεις στοχεύουν στην αύξηση της χωρητικότητας του δικτύου ώστε να φιλοξενεί υψηλότερα επίπεδα ισχύος ΑΠΕ, χωρίς να διακυβεύεται η σταθερότητα και αξιοπιστία του δικτύου.

Πιθανές προσεγγίσεις:

- Μια από τις πρωταρχικές λύσεις είναι η ενίσχυση της υποδομής του δικτύου για τη διαχείριση της αυξημένης ισχύος από ΑΠΕ. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την αναβάθμιση των μετασχηματιστών, των γραμμών διανομής και εξοπλισμού των υποσταθμών για την ενίσχυση της χωρητικότητάς τους. Τα μέτρα ενίσχυσης μπορεί να περιλαμβάνουν την κατασκευή νέων γραμμών ή υποσταθμών για καλύτερη κατανομή της ενέργειας από πηγές ΑΠΕ σε όλο το δίκτυο. Η κατασκευή νέων υποσταθμών όμως αποτελεί πολύ ακριβή λύση και υπόκειται σε νομοθετικούς και περιβαλλοντικούς περιορισμούς.

Επίσης θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν, υποσταθμοί που έχουν κατασκευαστεί από παραγωγούς (κυρίως για σύνδεση αιολικών), για την εξυπηρέτηση γραμμών διανομής του δικτύου. Σε αυτή την περίπτωση δίνεται η δυνατότητα σύνδεσης περισσότερων σταθμών ΑΠΕ στο δίκτυο, αλλά απαιτείται αλλαγή του σχετικού ρυθμιστικού πλαισίου προς αυτή την κατεύθυνση.

- Αύξηση της στάθμης σχεδιασμού του βραχυκυκλώματος του δικτύου. Αυτό θα απαιτήσει νέα τυποποίηση στον εξοπλισμό και τις κατασκευές που θα χαρακτηρίζονται από αντοχή σε υψηλότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης. Η προσέγγιση αυτή δίνει την δυνατότητα ενσωμάτωσης αυξημένης ισχύος διεσπαρμένων πόρων, χωρίς να προϋποθέτει την ανάπτυξη ασθενέστερων δικτύων. Η επιλογή του επιπέδου της νέας στάθμης σχεδιασμού απαιτεί τεχνοοικονομική μελέτη η οποία θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την νέα

τυποποίηση των κατασκευών και του εξοπλισμού αλλά και το κόστος και τον τρόπο αναβάθμισης του υφιστάμενου.

- Εγκατάσταση συσκευών οι οποίες επιτρέπουν τον περιορισμό των ρευμάτων βραχυκύκλωσης (Fault current limiting devices – FCL), είτε του ανάντη δικτύου, είτε πηγών που συνδέονται σε αυτό. Τέτοιου είδους διατάξεις είναι εμπορικά διαθέσιμες, ωστόσο για την ενσωμάτωσή τους στο ελληνικό δίκτυο διανομής απαιτείται μελέτη και αξιολόγηση πλήθους παραμέτρων τεχνικών και οικονομικών καθώς και πιλοτική εφαρμογή πριν υιοθετηθεί ως εναλλακτική λύση.
- Περιορισμός της συμβολής του ανάντη συστήματος, με αύξηση της σύνθετης αντίστασης του εξοπλισμού (κατά βάση των Μ/Σ ΥΤ/ΜΤ), ώστε να αυξηθεί το διαθέσιμο περιθώριο βραχυκύκλωσης, το οποίο μπορεί να καλυφθεί από τη συμβολή μονάδων που συνδέονται στο δίκτυο. Με αυτόν τον τρόπο δύναται να προκύψει σημαντικό πρόσθετο περιθώριο για σύνδεση διεσπαρμένων πόρων, χωρίς την ανάγκη περαιτέρω παρεμβάσεων στο δίκτυο αφού διατηρείται η τυποποιημένη στάθμη σχεδιασμού. Ωστόσο, με την προσέγγιση αυτή το δίκτυο καθίσταται ασθενέστερο και περισσότερο επιρρεπές σε διαταραχές ποιότητας ισχύος, συνεπώς συνιστά προσέγγιση μη ενδεδειγμένη ως λύση καθολικής εφαρμογής.
- Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας. Η ενσωμάτωση συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας στο δίκτυο μπορεί να δώσει λύση στον περιορισμό του περιθωρίου υποδοχής ισχύος από ΑΠΕ. Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μπορεί να αποθηκεύουν την περίσσεια ενέργειας σε περιόδους χαμηλής ζήτησης και να την απελευθερώνουν σε περιόδους υψηλής ζήτησης ή όταν η παραγωγή από ΑΠΕ είναι χαμηλή. Εξομαλύνοντας τις διακυμάνσεις στην παραγωγή ισχύος από ΑΠΕ, τα συστήματα αποθήκευσης μπορούν να ενισχύσουν την ικανότητα του δικτύου να δέχεται υψηλότερα επίπεδα ενέργειας χωρίς να υπερβαίνουν τα όρια στάθμης βραχυκύκλωσης. Για τους παραγωγούς, ο συνδυασμός ΑΠΕ και αποθήκευση, το όφελος θα είναι η μείωση των περικοπών λόγω αδυναμίας

απορρόφησης της παραγόμενης ενέργειας από το δίκτυο και η δυνατότητα παροχής εγγυημένης ισχύος (capacity firming), περιορίζοντας τις αποκλίσεις από την προγραμματισμένη παραγωγή.

- Μια άλλη προσέγγιση είναι η εφαρμογή στρατηγικών περικοπής ενεργού ισχύος. Αυτό συνεπάγεται προσωρινή μείωση της εξόδου των πηγών ΑΠΕ κατά τις περιόδους που το δίκτυο δεν είναι σε θέση να φιλοξενήσει την πλήρη ισχύ εξόδου τους. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται προηγμένα συστήματα ελέγχου για τη διαχείριση της διαδικασίας περικοπής και τη διασφάλιση ότι οι πηγές λειτουργούν εντός του αποδεκτού περιθωρίου υποδοχής ισχύος του δικτύου.

Επίσης η διατήρηση της κατάλληλης προστασίας του συστήματος κατά τη διάρκεια σφαλμάτων, όπως τα βραχυκυκλώματα, είναι απαραίτητη για την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία των δικτύων διανομής με υψηλή διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα εξελεγμένα συστήματα προστασίας, οι απαιτήσεις διέλευσης σφάλματος και ο βελτιωμένος συντονισμός των συσκευών προστασίας είναι αποτελεσματικές στρατηγικές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενίσχυση της προστασίας του συστήματος και τη διασφάλιση της συνεχούς ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα δίκτυα διανομής.

Όμως ενώ δεν υπάρχει αμφιβολία ότι τα μελλοντικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να διατηρήσουν επαρκή προστασία από σφάλματα με την αυξημένη ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υπάρχει ακόμα σημαντική αβεβαιότητα ως προς το ποια θα είναι η καλύτερη προσέγγιση.

Ακρωνύμια/Συντομογραφίες

Ακρωνύμια / Συντομογραφίες Ελληνικών και Λατινικών χαρακτήρων
(acronyms/ abbreviations)

ΑΔΜΗΕ	:	Ανεξάρτητος Διαχειριστής Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
Α/Π	:	Αιολικά Πάρκα
ΑΠΕ	:	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΔΑ	:	Διακόπτης Απομόνωσης
ΔΑΕ	:	Διακόπτης Αυτόματης Επαναφοράς
ΔΕΔΔΗΕ	:	Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΔΙ	:	Διακόπτης Ισχύος
ΔΦ	:	Διακόπτης Φορτίου
IEA/ΔΟΕ	:	International Energy Agency/Διεθνής Οργάνωση Ενέργειας
IEC	:	International Electrotechnical Commission
EN	:	European Standards (European Norm)
ΕΣΕΚ	:	Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
ΕΤΚΔ	:	Εγχειρίδιο Τυποποιημένων Κατασκευών Διανομής
GWP	:	Global warming potential (δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη)
ΜΔΝ	:	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
ΜΤ	:	Μέση τάση
ΜΥΗΣ	:	Μικρός Υδροηλεκτρικός Σταθμός
ΠΔΕ	:	Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων
Σ.Η.Θ.Υ.Α.	:	Συμπαράγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης
Υ/Σ	:	Υποσταθμός
Φ/Β	:	Φωτοβολταικά
ΧΤ	:	Χαμηλή τάση

Βιβλιογραφία

- [1] <https://www.consilium.europa.eu/el/press/press-releases/2023/03/30/council-and-parliament-reach-provisional-deal-on-renewable-energy-directive/>
- [2] <https://www.dapeep.gr/energeia/ape-sithia/deltio-ape/>
- [3] N 4951/2022.
- [4] IEC 61952:2008: Insulators for overhead lines - Composite line post insulators for A.C. systems with a nominal voltage greater than 1 000 V - Definitions, test methods and acceptance criteria.
- [5] IEC 61952-1:2019: Insulators for overhead lines - Composite line post insulators for AC systems with a nominal voltage greater than 1 000 V - Part 1: definitions, end fittings and designations
- [6] ANSI C 29.8 Wet – process porcelain insulators (apparatus, cap and pin type).
- [7] ANSI C 29.9 Wet – process porcelain insulators (apparatus post type).
- [8] J. J. G. Ledesma, L. R. d. Araujo, D. R. R. Penido, and J. L. R. Pereira, “Algorithm for the analysis of coordination of protection for distribution systems,” IEEE Trans. Latin America, vol. 13, no. 7, pp. 2168–2175, July 2015.
- [9] E. M. Campitelli, L. G. W. D. Silva, R. A. F. Pereira, and J. R. S. Mantovani, “Interactive system for placement and coordination of overcurrent protective devices,” in Proc. IEEE/PES Transmiss. Distrib. Conf. Expo.: Latin America, Aug 2006, pp.1–6.
- [10] S. Chaitusaney and A. Yokoyama, “Prevention of reliability degradation from recloser-fuse miscoordination due to distributed generation,” IEEE Trans. Power Del., vol. 23, no. 4, pp. 2545–2554, Oct 2008
- [11] A. Fazanehrfat, S. A. M. Javadian, S. M. T. Bathaee, and M. R. Haghifamt, “Maintaining the recloser-fuse coordination in distribution systems in presence of dg by determining dg’s size,” in Proc. 9th IET Int. Conf. Develop. Power Syst. Protect. (DPSP 2008), March 2008, pp. 132– 137.
- [12] A. F. Naiem, Y. Hegazy, A. Y. Abdelaziz, and M. A. Elsharkawy, “A classification technique for recloser-fuse coordination in distribution systems with distributed generation,” IEEE Trans. Power Del., vol. 27, no. 1, pp. 176–185, Jan 2012.
- [13] Y. Tang and R. Ayyanar, “Verification of protective device coordination in distribution systems with photovoltaic generation,” in Proc. 40th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), June 2014, pp. 2100–2105.
- [14] H. A. Abdel-Ghany, A. M. Azmy, N. I. Elkalashy, and E. M. Rashad, “Optimizing DG penetration in distribution networks concerning protection schemes and technical impact,” Electric Power Systems Research, vol. 128, pp. 113 – 122, 2015.
- [15] S. Santoso and T. A. Short, “Identification of fuse and recloser operations in a radial distribution system,” IEEE Trans. Power Del., vol. 22, no. 4, pp. 2370–2377, Oct 2007.

- [16] https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ecf2b875-b59f-11ec-b6f4-01aa75ed71a1.0004.02/DOC_1&format=PDF
- [17] https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:ecf2b875-b59f-11ec-b6f4-01aa75ed71a1.0004.02/DOC_2&format=PDF
- [18] IEC 60909, “Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents,” 2016.
- [19] IEC 60909-2, “Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 2: Data of electrical equipment for short-circuit current calculations,” 2008.
- [20] IEC 60865-1:2011 Short-circuit currents - Calculation of effects - Part 1: Definitions and calculation methods
- [21] IEC TR 60865-2:2015
Short-circuit currents - Calculation of effects - Part 2: Examples of calculation
- [22] IEC 61936-1:2021 Power installations exceeding 1 kV AC and 1,5 kV DC Part 1: AC
- [23] <https://www.nexans.gr/el/products/Power-Transmission-and-Distribution-Conductors-OHL/ACSR---DEH7968.html>
- [24] <https://apps.deddie.gr/WebAPE/index.html> (Δυνατότητες απορρόφησης ισχύος σταθμών ΑΠΕ ανά γεωγραφική περιοχή στο Διασυνδεδεμένο Δίκτυο)
- [25] European Parliament, “Social climate fund: Fit for 55 package.” 2021
- [26] ANSI C 29.1 Test methods for electrical and power insulators.
- [27] IEC 60282-2 High-voltage fuses - Part 2: Expulsion fuses
- [28] IEEE C 37.41 Design Tests For High-Voltage (>1000 V) Fuses And Accessories
- [29] IEEE C 37.42 Specifications For High-Voltage (>1000 V) Fuses And Accessories
- [30] ΥΠΕΝ/ΕΣΠΑΕΝ/98830/1514/28-09-22
- [31] “Short-circuit calculations in networks with distributed generation,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 78, no. 7, pp. 1181–1191, 2008
- [32] THE MECHANICAL EFFECTS OF SHORT-CIRCUIT CURRENTS IN OPEN AIR SUBSTATIONS (PART II) CIGRE brochure 105