



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Ηλεκτρική Προστασία Έναντι Σφαλμάτων σε Βιομηχανικές
Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις MT/XT με Συστήματα Γείωσης
TN-TT-IT – Διαστασιολόγηση και Επιλογική Συνεργασία
Αυτομάτων Μέσων Προστασίας. Μελέτη περιπτώσεων.**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σακελλάρης Δημήτριος

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Περαντζάκης Γεώργιος

ΙΟΥΝΙΟΣ 2024



UNIVERSITY OF THESSALY
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND
COMPUTER ENGINEERING

**Electrical Protection Against Faults in MV/LV Industrial
Electrical Installations with TN-TT-IT Grounding Systems –
Selection of Automatic Interrupting Means and Coordination
Protection. Case Studies**

DIPLOMA THESIS

SAKELLARIS DIMITRIS

Supervisor: Perantzakis Georgios

JUNE 2024

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων **Περαντζάκης Γεώργιος**

Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Σταμούλης Γεώργιος**

Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος **Τσαλαπάτα Χαρίκλεια**

Ε.ΔΙ.Π, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

Σακελλάρης Δημήτρης

DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this diploma thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work / contributions of third parties for which the permission of the authors / beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and / or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

SAKELLARIS DIMITRIS

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κλείνει ο κύκλος των σπουδών μου στην σχολή των Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω προσωπικά τον κύριο Περαντζάκη Γεώργιο που επέδειξε εμπιστοσύνη προς το πρόσωπο μου και αποδέχθηκε την πρόταση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Σταμούλη Γεώργιο και την κυρία Τσαλαπάτα Χαρίκλεια, που με προθυμία δέχτηκαν να γίνουν μέλη της τριμελούς επιτροπής, της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στην οικογένεια μου, η οποία με στήριξε και βρίσκονταν δίπλα μου σε όλα τα στάδια της ζωής μου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση της ηλεκτρικής προστασίας έναντι σφαλμάτων σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις Μέσης Τάσης (MT) και Χαμηλής Τάσης (XT), οι οποίες χρησιμοποιούν συστήματα γείωσης TN-TT-IT. Επιλέχθηκε η ερευνητική μεθοδολογία της μελέτης περίπτωσης, η οποία περιέχει μια ολοκληρωμένη ανάλυση των χαρακτηριστικών του συστήματος, των διαμορφώσεων της γείωσης και των δομών του δικτύου διανομής στους ιδιωτικούς υποσταθμούς.

Συγκεκριμένα εξετάστηκαν τα χαρακτηριστικά των Βιομηχανικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (BHE) με ιδιωτικούς υποσταθμούς, η περιγραφή και τα χαρακτηριστικά των συστημάτων γείωσης, συμπεριλαμβανομένων των TN (TN-C, TN-C-S) καθώς και την εφαρμογή τους στις BHE. Επιπλέον, εξετάζονται οι κίνδυνοι που προκύπτουν εξαιτίας σφαλμάτων σε BHE, αναλύονται οι επιπτώσεις της ηλεκτρικής αντίστασης στο ανθρώπινο σώμα αλλά και τα μέτρα προστασίας για την έμμεση και την άμεση επαφή σε BHE με συστήματα γείωσης. Επιπρόσθετα, γίνεται συζήτηση για την προστασία των BHE κατά τη διάρκεια σφαλμάτων και παρουσίαση και διαστασιολόγηση των αυτόματων προστατευτικών διατάξεων σε BHE. Η μελέτη εστιάζει πρώτον στον υπολογισμό των τάσεων επαφής σε BHE με διαφορετικά συστήματα γείωσης και δεύτερον στην επιλογή και την διαστασιολόγηση των αυτόματων προστατευτικών διατάξεων σε BHE.

Τα ευρήματα αποκαλύπτουν διαφοροποιημένες εκτιμήσεις οι οποίες σχετίζονται με τον σχεδιασμό, την εφαρμογή και βελτιστοποίηση των μέτρων προστασίας σε BHE. Η παρούσα μελέτη ενθαρρύνει την περαιτέρω διερεύνηση και βελτίωση των στρατηγικών προστασίας σε εξελισσόμενα βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Abstract

The purpose of this thesis is to investigate the electrical protection against faults in industrial Medium Voltage (MV) and High Voltage (HV) installations using TN-TT-IT grounding systems. The case study research methodology was chosen, which contains a comprehensive analysis of the system characteristics, grounding configurations and distribution network structures at the private substations.

In particular, the characteristics of Industrial Electricity Installations (IEE) with private substations, the description and characteristics of grounding systems, including TN (TN-C, TN-C-S) and their application in BEE were examined. In addition, the risks arising from faults in BEE are examined, the effects of electrical resistance on the human body are analysed, as well as the protective measures for indirect and direct contact in BEE with earthing systems. In addition, there is a discussion on the protection of the BEE during faults and a presentation and sizing of automatic protective devices in BEE. The study focuses firstly on the calculation of the contact voltages in BEEs with different grounding systems and secondly on the selection and sizing of automatic protective devices in BEEs.

The findings reveal differentiated considerations related to the design, implementation and optimization of protection measures in BEEs. This study encourages further investigation and improvement of protection strategies in evolving industrial environments.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	12
Abstract	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	20
1.1.Γενικά	20
1.2.Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις ή Εγκαταστάσεις Κίνησης	20
1.3. Ιδιωτικός Υποσταθμός (Υ/Σ) MT/XT.....	23
1.3.1. Μέση τάση	25
1.3.2. Χαμηλή τάση.....	26
1.4. Δομή και διαμόρφωση εσωτερικού δικτύου διανομής Β.Η.Ε. με Υ/Σ.....	27
1.4.1. Δομή.....	27
1.4.2. Διαμόρφωση.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΙΩΣΕΙΣ.....	14
2.1. Γενικά	14
2.2. Περιγραφή και χαρακτηριστικά συστημάτων σύνδεσης γειώσεων TN (TN-C, TN-C-S), TT και IT.....	14
2.3. Εφαρμογή των συστημάτων γείωσης TN, TT, IT σε Β.Η.Ε.	17
2.3.1. Σύστημα TT (Terra-Terra) – Άμεση γείωση.....	17
2.3.2 Σύστημα IT (Isolated Terra) – αγείωτου ουδετέρου	18
2.3.3 Σύστημα TN (Terra Neutral) – ουδετέρωση.....	19
2.4. Διάταξη και υπολογισμοί των εγκαταστάσεων γείωσης και αγωγών προστασίας στον Υ/Σ και κύριο κτήριο Β.Η.Ε.	23

2.4.1. Διάταξη.....	23
2.4.2. Υπολογισμοί.....	27
2.5. Δυνατότητες και περιορισμοί σύνδεσης των γειώσεων MT και XT	29
2.5.1. Δυνατότητες σύνδεσης γειώσεων	29
2.5.2. Περιορισμοί σύνδεσης γειώσεων.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	33
3.1. Κίνδυνοι πρόκλησης ατυχημάτων ηλεκτροπληξίας και πυρκαγιάς σε Β.Η.Ε.....	33
3.1.2. Ηλεκτροπληξία	33
3.1.3. Πυρκαγιά	34
3.2. Επιδράσεις από τη διέλευση ΕΡ στο ανθρώπινο σώμα	35
3.2.1. Γενικά η επίδραση του ρεύματος στον άνθρωπο.....	36
3.2.2. Επίδραση του εναλλασσόμενου ρεύματος	37
3.3. Απαιτήσεις ασφάλειας έναντι ηλεκτροπληξίας	38
3.4. Προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή και από ταυτόχρονη άμεση και έμμεση επαφή σε Β.Η.Ε. με σύστημα γείωσης TN, TT, IT.....	41
3.4.1. Προστασία έναντι έμμεσης επαφής σε Β.Η.Ε. με συστήματα γείωσης TN, TT, IT	42
3.4.2. Προστασία έναντι άμεσης και έμμεσης επαφής.....	43
3.5 Σφάλματα γης (μόνωσης)	44
3.6. Παρουσίαση και διερεύνηση τεχνικών περιορισμού τάσεων επαφής για σφάλματα μόνωσης στη XT και MT Β.Η.Ε.....	46
3.7. Μελέτη περίπτωσης υπολογισμού τάσεων επαφής σε ΒΗΕ με σύστημα γείωσης TN, TT και IT.	51
3.8. Συγκριτική παρουσίαση τάσεων επαφής και εξαγωγή συμπερασμάτων για τα συστήματα γείωσης TN, TT, IT στη μελέτη περίπτωσης.....	58

3.8.1. Η έννοια του ισοδύναμου κυκλώματος ατόμου.	58
3.8.2. Αποτελέσματα	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	69
4.1. Προστασία Β.Η.Ε. σε συνθήκες σφάλματος στη ΧΤ και ΜΤ	69
4.1.1. Μέση Τάση	69
4.1.2. Χαμηλή Τάση	71
4.2. Προστασία έναντι υπερφορτίσεων	72
4.3. Προστασία έναντι ρευμάτων βραχυκυκλώματος.....	74
4.4. Προστασία έναντι ρευμάτων διαρροής σε σφάλματα γης	78
4.5. Προστασίες στον υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ	81
4.6. Αυτόματη απομόνωση και διακοπή λειτουργίας εγκατάστασης σε συνθήκες σφάλματος	82
4.7. Παρουσίαση, ανάλυση λειτουργίας και διαστασιολόγηση αυτόματων διακοπτικών μέσων (ΑΔΜ).....	85
4.7.1 Μικροαυτόματοι (αυτόματα διακοπτικά μέσα συσκευών και γραμμών)	86
4.7.2 Αυτόματοι διακόπτες κινητήρων	87
4.7.3. Αυτόματα διακοπτικά μέσα ισχύος σε Β.Η.Ε.	91
4.8. Ασφάλειες, αυτόματοι διακόπτες ισχύος, διακόπτες διαφορικού ρεύματος (Δ.Δ.Ρ.), μικροαυτόματοι γραμμών.....	95
4.8.1. Ασφάλειες	95
4.8.2. Αυτόματοι διακόπτες ισχύος.....	97
4.8.3. Διακόπτες Διαφορικού Ρεύματος (Δ.Δ.Ρ.)	98
4.8.4. Μικροαυτόματοι γραμμών.....	101
4.9 Επιλεκτική συνεργασία μέσων προστασίας	103

4.9.1 Επιλεκτική συνεργασία μεταξύ ασφαλειών.....	104
4.9.2. Επιλεκτική συνεργασία μεταξύ αυτόματων διακοπών ισχύος	110
4.9.3. Επιλεκτική συνεργασία μεταξύ ασφαλειών και αυτομάτων διακοπών ισχύος/ μικροαυτόματων	112
4.10. Μελέτη περίπτωσης επιλογής, διαστασιολόγησης και σχεδιασμού επιλογικής συνεργασίας Β.Η.Ε.....	115
Βιβλιογραφία.....	123

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1.Γενικά

Είναι ευρέως διαδεδομένο ότι το ηλεκτρικό ρεύμα αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας των ανθρώπων. Η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται όπου είναι απαραίτητη με τη λιγότερο δυνατή χρέωση και τις μικρότερες περιβαλλοντικές συνέπειες. Η ηλεκτροδότηση ανήκει κατά κύριο λόγο σε κρατικές ή ιδιωτικές εταιρείες ηλεκτρισμού. Στην Ελλάδα, για πολλά χρόνια, η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού είχε το μονοπώλιο, το οποίο με το πέρασμα των χρόνων «ξεθωριάζει». Όλο και περισσότεροι επιχειρηματίες, του ιδιωτικού τομέα κυρίως, χρηματοδοτούν την παραγωγή ενέργειας, έχοντας ως αποτέλεσμα το «άνοιγμα» της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2.Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις ή Εγκαταστάσεις Κίνησης

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα επισημανθεί η έννοια των Βιομηχανικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (Β.Η.Ε.) ή εγκαταστάσεων κίνησης οι οποίες προϋποθέτουν την ηλεκτροδότηση τους από ιδιωτικό υποσταθμό καταναλωτή μέσης τάσης (ΜΤ). Με τον όρο Β.Η.Ε. νοούνται εκείνες που ως επί το πλείστο το φορτίο των μηχανημάτων τους τροφοδοτείται από ηλεκτροκινητήρες. Οι εγκαταστάσεις κίνησης για να τροφοδοτηθούν με ρεύμα πρέπει να γίνει ο υπολογισμός διατομών αγωγών (ή καλωδίων) στα διάφορα τμήματα των ανεξάρτητων γραμμών τροφοδότησης των μηχανημάτων της Β.Η.Ε. από τα οποία συντελείται. Η ελάχιστη επιτρεπόμενη διατομή αγωγού για τις γραμμές κίνησης κυμαίνεται στο $1,5 \text{ mm}^2$ τουλάχιστον [1].

Δηλαδή: **S (διατομή αγωγού φάσης) $\geq 1,5 \text{ mm}^2$**

Οι υποπίνακες κίνησης στις Β.Η.Ε. είναι η αφετηρία για τα κυκλώματα των γραμμών τροφοδοσίας των διάφορων ηλεκτρικών φορτίων της εγκατάστασης. Τα μηχανήματα τροφοδοτούνται κυρίως με την πολική τάση της ΔΕΗ (τριφασικό δίκτυο) με τιμή τάσης τα $400\text{V(rms)}/50\text{Hz}$. Οπότε το επιτρεπόμενο ποσοστό πτώσης τάσης πρέπει να μην υπερβαίνει το 4% της τιμής αυτής. Στις Β.Η.Ε. περιλαμβάνονται ενδεικτικά:

— οι Βιομηχανίες

- οι Βιοτεχνίες
- τα Επαγγελματικά Εργαστήρια (ξυλουργεία, σιδηρουργεία, τυπογραφεία)
- συνεργεία
- σταθμοί αυτοκινήτων
- ΚΤΕΟ

Η κατασκευή και ο σχεδιασμός βιομηχανικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων απαιτεί ειδική τεχνογνωσία και εξειδικευμένη εμπειρία, ακολουθώντας αυστηρά συγκεκριμένους κανόνες προστασίας. Για αυτό τον λόγο διαφοροποιούνται σε μεγάλο βαθμό από τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κτιρίων κατοικίας. Επιπλέον, τα περιβάλλοντα λειτουργίας των Β.Η.Ε. οφείλουν να σχεδιάζονται προσαρμοσμένα στην περιοχή που βρίσκονται και ανάλογα των ιδιοτήτων του χρήστη τους. Αναφορικά με τους χώρους υπάρχουν αγροτικές, ξηρές, υγρές ή βρεγμένες εγκαταστάσεις, μέρη εκτεθειμένα σε εκρήξεις ή εύφλεκτα υλικά κλπ. Οπότε, η δομή των Β.Η.Ε. πρέπει να είναι ανάλογη των χώρων αυτών και σύμφωνη με τα μέτρα ασφαλείας. Εν συνεχεία και σε αντιστοιχία με τον χρήστη, άλλη λειτουργικότητα πρέπει να έχει το περιβάλλον για ένα εξειδικευμένο εργαζόμενο στα ηλεκτρολογικά και άλλη όταν πρόκειται για έναν απλό χρήστη.

Η παροχή ασφάλειας, καλής λειτουργικότητας, αξιοπιστίας, καλαισθησίας και χαμηλού κόστους είναι μερικές από τις σημαντικότερες παραμέτρους βάσει των οποίων κατασκευάζονται οι εγκαταστάσεις ΜΤ και ΧΤ στις Β.Η.Ε. [2]. Η χρήση των υλικών που αξιοποιούνται είναι διαφορετική σε κάθε χώρο (π.χ. υγρός ή στεγνός, κ.λπ.). Για αυτό χρειάζεται να προηγείται η ανάλυση των χαρακτηριστικών του μέρους, και έπειτα να ακολουθεί η επιλογή των υλικών βάση των γνωρισμάτων του. Η εκτίμηση του περιβάλλοντος εγκατάστασης, η οποία υλοποιείται από τον εγκαταστάτη ή τον μηχανικό, εφαρμόζεται σε πλαίσια λογικά και με ιδιαίτερη προσοχή, διότι τα συστατικά για τις αντίξοες συνθήκες κοστίζουν περισσότερο συγκριτικά με αυτά των καθαρών, ξηρών και στεγασμένων περιοχών.

Μια λεπτομερής κατάταξη αναφέρεται στα IEC 364-3 πρότυπα σχετικά με τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες και τις καταστάσεις χρήσης των εγκαταστάσεων και των υλικών. Ωστόσο, το HD 384-3 έγγραφο εναρμόνισης δεν τηρεί την προαναφερθείσα κατάταξη, αλλά την συμπεριλαμβάνει. Η ίδια επισημαίνει κάποια χαρακτηριστικά όπως φαίνονται και στον πίνακα 1.1. [2].

Πίνακας 1.1: Πρότυπα IEC 364-3 για τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες.

Ως προς το φυσικό περιβάλλον	Ως προς τη χρήση	Ως προς τα οικοδομικά
Θερμοκρασία Υψόμετρο Υγρασία Διάβρωση Ταλαντώσεις Σεισμοί, κεραυνοί και άλλα φυσικά φαινόμενα Ακτινοβολία κ.λπ.	Ικανότητα Δυνατότητα εξόδου Αντίσταση του σώματος Επαφή με τη γη Υλικά (εκρηκτικά, εύφλεκτα, κ.λπ.)	Υλικό Χαρακτηριστικά της κατασκευής

Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που προορίζεται να εγκατασταθεί και να λειτουργήσει σε εκρηκτικό περιβάλλον πρέπει να φέρει τη σήμανση EEx, οι προδιαγραφές των οποίων καθορίζονται από αντίστοιχα πρότυπα και κανονισμούς, IEC, VDE και DIN [2]. Δηλαδή, οι προδιαγραφές πρέπει να εξασφαλίζουν στον επιλεγόμενο εξοπλισμό αντοχή έναντι της διάβρωσης, μηχανική αντοχή κι αντοχή στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για την κατασκευή των χώρων στις B.H.E. γίνεται αντιληπτό πως απαιτούνται διάφορες προδιαγραφές, και παράλληλα, η ποιότητα των υλικών που εφαρμόζονται πρέπει να αναγράφεται με κώδικα πάνω σε αυτά. Στην περίπτωση που οι ελληνικοί κανονισμοί ή τα πρότυπα δεν καλύπτουν συγκεκριμένες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ή υλικά, μπορεί να χρησιμοποιηθούν τα πρότυπα της Διεθνούς Ένωσης IEC, όπου είναι μέλος η χώρα μας. Στον πίνακα 1.2. παρατίθενται ενδεικτικά κάποιοι συμβολισμοί-σήματα χώρας προέλευσης και ποιότητας διεθνών οργανισμών για τα ηλεκτρολογικά υλικά και τις συσκευές [3].

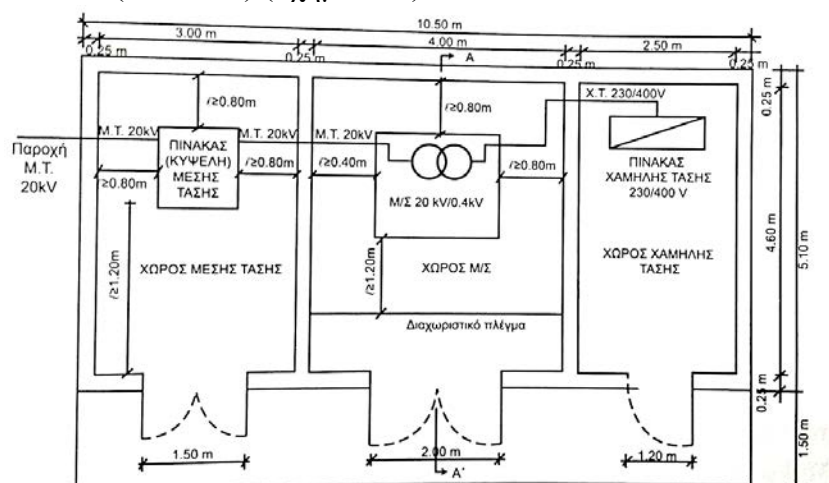
Σήμα	Χώρα	Σήμα	Χώρα
	Αυσταλία	I I S	Ισραήλ
	Βέλγιο		Ιταλία
	Γαλλία		Καναδάς
	Δ.Γερμανία	B.S.I.	Μ. Βρετανία
	Δανία		Ολλανδία
	Ελβετία		Νορβηγία
	ΗΠΑ		Σουηδία
	Ισλανδία		Φινλανδία

Πίνακας 1.2.: Σήματα χώρας προσέλευσης και ποιότητας ηλεκτρολογικών υλικών και συσκευών[3].

1.3. Ιδιωτικός Υποσταθμός (Υ/Σ) ΜΤ/ΧΤ

Η προέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος «γεννάται» στους σταθμούς παραγωγής, οι οποίοι κατά κύριο λόγο είναι σε πιο μακρινή απόσταση από τους χώρους κατανάλωσης της. Στην Ελλάδα και στην υπόλοιπη Ευρωπαϊκή κοινότητα, η πλειονότητα των καταναλωτών αξιοποιεί την χαμηλή τάση (μονοφασική ή τριφασική) για την τροφοδοσία των φορτίων τους, με ονομαστικές τιμές 0,23kV(φασική)/0,4kV(πολική). Για καταναλωτές μεγάλης ισχύος, συμπεριλαμβανομένων και των βιομηχανικών εγκαταστάσεων των οποίων η ισχύς ξεπερνά τα 135kVA, προτείνεται η εγκατάσταση ιδιωτικού υποσταθμού ΜΤ. Επομένως, το ηλεκτρικό ρεύμα διανέμεται στη ΜΤ, την οποία οι καταναλωτές/πελάτες αξιοποιούν αναλόγως τις ανάγκες τους, αφού την υποβιβάσουν με δικούς τους υποσταθμούς στα επίπεδα τάσης που απαιτούνται από τη βιομηχανική μονάδα. Οι ιδιωτικοί υποσταθμοί (Υ/Σ) μέσης τάσης, στην ουσία είναι τα κομβικά σημεία μετατροπής της τάσης από ένα δίκτυο ισχύος 20kVA σε δίκτυο χαμηλής τάσης 400V για την ρευματοδότηση στους βιομηχανικούς χώρους, οι οποίοι χρειάζονται μεγάλη ισχύ κατανάλωσης. Στο σχήμα 1.1. παρουσιάζεται η κάτοψη ενός ιδιωτικού υποσταθμού. Ο κάθε υποσταθμός αποτελείται από [4]:

- Την εγκατάσταση ΜΤ της ΔΕΗ, συμπεριλαμβανομένων των εξαρτημάτων προστασίας αυτής.
- Την εγκατάσταση του ίδιου του καταναλωτή, στην οποία εμπεριέχεται το σύστημα ελέγχου μέσης και χαμηλής τάσης, δηλαδή ο πίνακας (κυψέλη) μέσης τάσης (σχήμα 1.2.).
- Τον μετασχηματιστή ισχύος για τον υποβιβασμό της μέσης τάσης των 20kV σε χαμηλή τάση 400V/230V (20/0,4kV) (σχήμα 1.3.).



Σχήμα 1.1.: Κάτοψη χώρων υποσταθμού μέσης τάσης[4].



Σχήμα 1.2.: Πίνακες μέσης τάσης- Υποσταθμοί μέσης τάσης [5].



Σχήμα 1.3.: Μετασχηματιστής υποβιβασμού τάσης, MT/XT.

Ο υποσταθμός μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο MT (υπόγειο ή εναέριο) μέσω παροχικών καλωδίων (αγωγών) μέσης τάσης. Επιπλέον, τα προαναφερόμενα καλώδια συνδέουν τον πίνακα (κυψέλη) MT με το μετασχηματιστή ισχύος. Η κατασκευή αυτών των καλωδίων γίνεται με [4]:

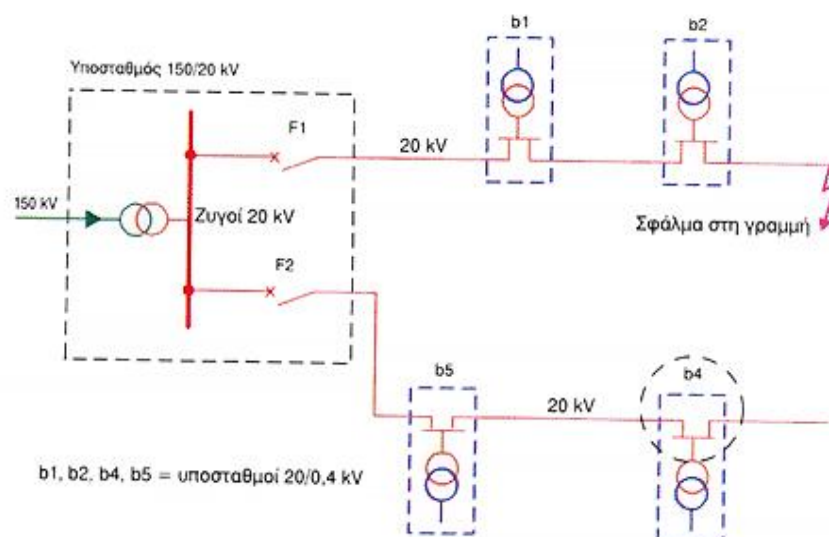
1. μόνωση χημικά δικτυωμένου πολυαιθυλενίου (XLPE)

2. θερμοπλαστικά υλικά που τα περικλείουν εξωτερικά σαν στρώσεις με σκοπό την μηχανική προστασία
3. χαλκό ή αλουμίνιο
4. θωράκιση από σύρματα ή από ταινία χαλκού

1.3.1. Μέση τάση

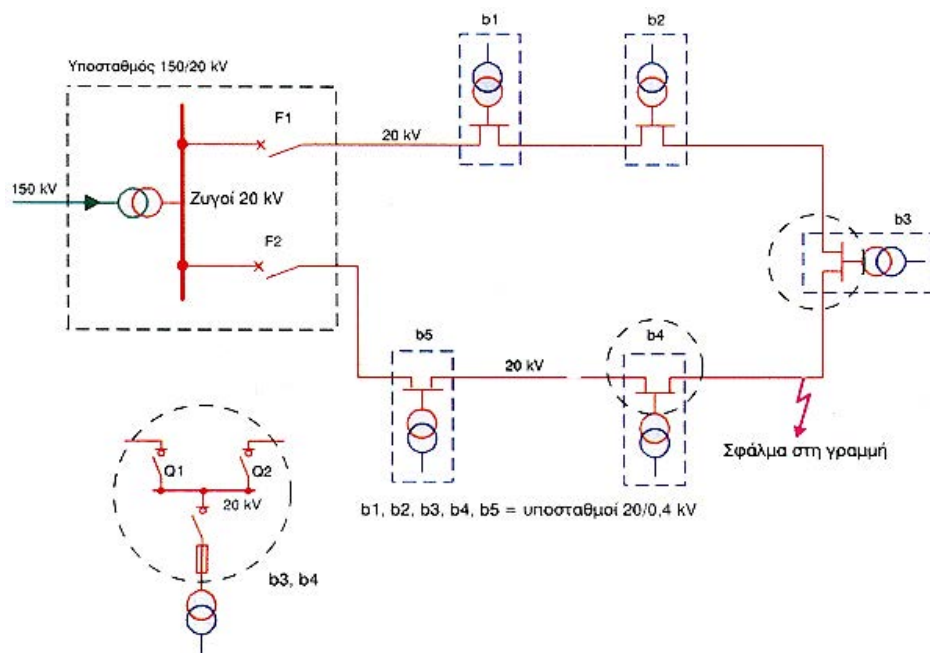
Χρησιμοποιούμε τον όρο μέση τάση (MT) συνήθως για τα συστήματα διανομής ηλεκτρικού ρεύματος, όπως αυτά της ΔΕΗ με πολική τάση 20kV (παλιότερα 22kV). Η MT είναι αναγκαία για τη μεταβίβαση μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ισχύος και συνήθως η φαινόμενη ισχύς ξεπερνάει τα 135kVA. Τα δίκτυα MT διακρίνονται σε:

- Ακτινικά δίκτυα: εδώ υπάρχουν κατά βάση εναέριες γραμμές των 20kV, οι οποίες ξεκινούν από τον κύριο υποσταθμό 150/20kV της ΔΕΗ και διατάσσονται με τέτοιο τρόπο όπως και οι ακτίνες του κύκλου. Στο σχήμα 1.4. φαίνονται οι ακτίνες που ενώνονται με καταναλωτές MT παραπλεύρως κάθε καλωδίου. Η ασφαλής σύνδεση στο σύστημα MT προϋποθέτει την ύπαρξη ιδιωτικού υποσταθμού από τον κάθε καταναλωτή. Το κυρίως αρνητικό αυτών των δικτύων είναι ότι αν υπάρξει σφάλμα σε οποιοδήποτε σημείο της γραμμής, τότε ο διακόπτης ισχύος (circuit breaker) F1 που βρίσκεται στην αρχή της ανοίγει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι γραμμές των καταναλωτών να μη διαθέτουν πλέον τάση [6].



Σχήμα 1.4.: Ακτινικό δίκτυο[6].

- Βροχοειδή δίκτυα: αυτά έρχονται να συμπληρώσουν τα ελαττώματα των ακτινικών δικτύων. Τα υπόγεια ή εναέρια καλώδια των 20kV έχουν ως αφετηρία τον κεντρικό υποσταθμό 150/20kV της ΔΕΗ, δημιουργώντας έναν κλειστό βρόχο που ξανά καταλήγει στους ζυγούς των 20kV του υποσταθμού 150/20kV. Στο σχήμα 1.5. παρουσιάζονται οι καταναλωτές b1...b5, που συνδέονται κατά μήκος του βρόχου. Οι διακόπτες ισχύος F1, F2 προστατεύουν τον βρόχο στα δύο άκρα του. Αν παρατηρηθεί κάποιο σφάλμα σε κάποιο μέρος του βρόχου (b3,b4) τότε ενεργοποιείται η λειτουργία προστασίας των διακοπών F1,F2. Έτσι οι διακόπτες ανοίγουν και ο βρόχος χαρακτηρίζεται από έλλειψη τάσης [7].



Σχήμα 1.5.: Βροχοειδές δίκτυο[7].

1.3.2. Χαμηλή τάση

Η τιμή της XT, σε αντίθεση με την μέση τάση, δεν ξεπερνάει τα 1000V στα κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος είτε τα 1500V στα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος, όταν μετριέται μεταξύ αγωγών. Επίσης, δεν ξεπερνά τα 600V στα κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος ή τα 900V στα κυκλώματα συνεχούς ρεύματος όταν μετριέται μεταξύ αγωγών και γης. Χρησιμοποιείται συνήθως για οικιακή χρήση [4].

1.4. Δομή και διαμόρφωση εσωτερικού δικτύου διανομής Β.Η.Ε. με Υ/Σ

1.4.1. Δομή

Σύμφωνα με τον Κτηριοδομικό Κανονισμό, η δομή και η διαμόρφωση των υποσταθμών για να είναι ορθή, χρειάζεται οι Β.Η.Ε. να διαθέτουν τους κατάλληλους χώρους με σκοπό να γίνει επιτυχώς η σύνδεση με το δίκτυο μέσης τάσης της ΔΕΗ. Οι τεχνικές οδηγίες της ΔΕΗ βοηθούν στην κατασκευή των περιοχών, μέσα στις οποίες θα τοποθετηθούν οι κυψέλες προστασίας, μέτρησης, εισόδου και εξόδου καλωδίου. Επιπλέον, σε περιπτώσεις ανάγκης τα μέρη αυτά πρέπει να παρέχουν εύκολη πρόσβαση των ανθρώπων στους μετασχηματιστές, στους πίνακες διανομής, κ.λπ. Η εγκατάσταση του υποσταθμού με υποβιβασμό τάσης οφείλει την πρόβλεψη σωστών χώρων για την τοποθέτηση [4]:

- α. Μετασχηματιστών: Ο μετασχηματιστής ισχύος αποτελεί το πιο σημαντικό κομμάτι για υποσταθμούς ΜΤ. Χαρακτηρίζεται ως καρδιά του συστήματος, για αυτό πρέπει να υλοποιείται συνεχώς ο έλεγχος του σε επίπεδο απόδοσης, λειτουργίας, απωλειών και καταπονήσεών του.
- β. Διακοπών μέσης τάσης: Η διακοπή και η προστασία στα κυκλώματα πραγματοποιείται με τη χρήση τους και ανάλογα με το είδος τους μπορούν να λειτουργήσουν είτε υπάρχει διακόπτης φορτίου είτε αυτόματος διακόπτης ισχύος.
- γ. Διακόπτης διανομής χαμηλής τάσης.

Οι μεταλλικοί πίνακες (πεδία) χρησιμοποιούνται για να τοποθετείται μέσα σ' αυτούς ηλεκτρολογικό υλικό, όπως μετασχηματιστές και διακόπτες. Επιπλέον πρέπει να διαθέτουν περσίδες για αερισμό, καθώς και να έχουν στη δομή τους άκαυστα υλικά. Για τις συσκευές μέσης τάσης, η διάταξή τους πρέπει να εξασφαλίζει την ευχερή συντήρηση και λειτουργία τους. Ειδικότερα, η ελάχιστη απόσταση του πίνακα μέσης τάσης από τοίχο οφείλει να είναι 1,20m το λιγότερο. Οι μετασχηματιστές αντίστοιχα χρειάζεται να έχουν μια απόσταση 1,20m ανάμεσα στο κέλυφος χαμηλής τάσης και στο διαχωριστικό πλέγμα ή στον αντικείμενο τοίχο. Από την πλευρά της κυψέλης το κέλυφος του μετασχηματιστή και ο αντικείμενος τοίχος χρειάζεται να έχει 0,40m, ενώ στις άλλες δύο πλευρές εκατέρωθέν του, η απόσταση ορίζεται στα 0,80m από τον αντικείμενο τοίχο. Τέλος, από την οροφή οφείλει

να απέχει 0,40m. Η προσβασιμότητα στον υποσταθμό μετασχηματισμού προβλέπεται μόνο για το αρμόδιο προσωπικό, ο Υ/Σ χαρακτηρίζεται ως διαμέρισμα ηλεκτρικής υπηρεσίας [4].

Μετασχηματιστές ξηρού τύπου ή αερόψυκτοι για να μην υπερθερμανθούν απαιτούν χώρο (φυσικό ή τεχνητό) με επαρκή αερισμό για την απαγωγή της θερμότητας. Συνήθως συνίσταται ο φυσικός εξαερισμός για την ψύξη στην κατασκευή αυτού του ειδικού μέρους, ενώ όποια αλλαγή των ανοιγμάτων στον αερισμό ή η παρεμπόδισή του με κάποιο κάλυμμα-έμφραξη απαγορεύεται ρητά. Μια άλλη παράμετρος που οφείλει να έχει κατάλληλη οργάνωση είναι η λήψη μέτρων πυρόσβεσης σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς. Σε περίπτωση διαρροής λαδιού -αφορά στους Μ/Σ ελαίου- στην περιοχή του μετασχηματιστή η ύπαρξη λεκάνης με μεγάλη χωρητικότητα είναι σημαντική, ώστε να συγκεντρώνονται τα λάδια στην ανάλογη κατάσταση. Επιπρόσθετα, για να αποφευχθεί μια ενδεχόμενη πυρκαγιά, η περισυλλογή λαδιού δεν πρέπει να αφήνει ελεύθερη επιφάνεια ή χρειάζεται να απομακρύνεται από το χώρο με την ανάλογη προσοχή [4].

Για τη μηχανική αντοχή δαπέδου των περιοχών ηλεκτρικής υπηρεσίας, λαμβάνεται υπόψη το φορτίο 500kp/m^2 (περίπου $4,9\text{ kN/m}^2$). Εδώ εξαιρούνται οι χώροι με τα ηλεκτροπαραγωγικά ζεύγη και τους μετασχηματιστές. Τα μέρη Μ/Σ πρέπει να έχουν δάπεδα που θα ελέγχονται με το συγκεκριμένο μηχάνημα σε πραγματικές συνθήκες φόρτισης. Κάτι αντίστοιχο ισχύει και για τους χώρους, στους οποίους θα πραγματοποιείται το πέρασμα των προαναφερόμενων μηχανημάτων [4].

Στους υποσταθμούς χρειάζονται μπατικοί τοίχοι περιμετρικά ή όταν διαθέτουν στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος να έχουν τουλάχιστον 15cm πάχος. Μπατική ονομάζεται η τοιχοποιία, όπου ο τοίχος έχει πάχος όσο το μήκος του τούβλου, δηλαδή 19 εκ. [8]. Στη σημερινή εποχή ως τρόπος κτισίματος επικρατεί «η ντάμα», καθώς η εμφάνιση του τοίχου θυμίζει το ταμπλό του ομώνυμου παιχνιδιού. Επιπλέον, στα πλαίσια του Υ/Σ τόσο στην πλάκα επικάλυψής του όσο και στο δάπεδο ή στο πάχος των τοίχων που τον περιβάλλουν, απαγορεύεται η ύπαρξη ξένης εγκαταστάσεως με προορισμό τον ίδιο, όπως για παράδειγμα σωλήνες θέρμανσης, σωληνώσεις παροχών, αποχετεύσεις, κ.ά. Σημαντικό εδώ θα ήταν να προβλεφθεί η είσοδος καναλιού κάτω από τους πίνακες ή η διέλευση μέσης τάσης καλωδίων στο δάπεδο. Οι ελάχιστες αποστάσεις από τα οικοδομικά υλικά που αναφέρθηκαν για τις συσκευές του υποσταθμού, δεν έχουν απαραίτητα ισχύ και συνάφεια με πάσης φύσεως εγκεκριμένους τυποποιημένους υποσταθμούς [4].

Αν ένα κτίριο περιλαμβάνει παρόμοια πηγή ηλεκτροπαραγωγής για να τροφοδοτεί τα ζωτικά φορτία, όταν γίνονται διακοπές στο δίκτυο τροφοδότησης από τη ΔΕΗ, γίνεται ξανά πρόβλεψη αντίστοιχων περιοχών. Οι τελευταίοι οφείλουν να κατασκευάζονται έχοντας τα τυπικά στοιχεία που προαναφέρθηκαν, δηλαδή κατάλληλη σήμανση, φυσικό ή τεχνητό αλλά επαρκή αερισμό και άκαυστα υλικά, διότι αποτελούν με τη σειρά τους τόπους ηλεκτρικής υπηρεσίας. Πιο συγκεκριμένα, τα μέρη όπου θα υλοποιηθεί η εγκατάσταση συσσωρευτών χρειάζεται να έχουν αρκετό εξαερισμό και αντιεκρηκτική ηλεκτρική τοποθέτηση [4].

Η τροφοδότηση των Β.Η.Ε. με μέση τάση επιτυγχάνεται μέσω τεσσάρων τύπων παροχών: Α1 και Α2 (υπαίθριες), Β1 και Β2 (στεγασμένες) [4]. Αναλόγως με τη δομή, την ισχύ και την τάση του δικτύου, η ΔΕΗ καθορίζει την επιλογή της κατάλληλης παροχής εξ αυτών.

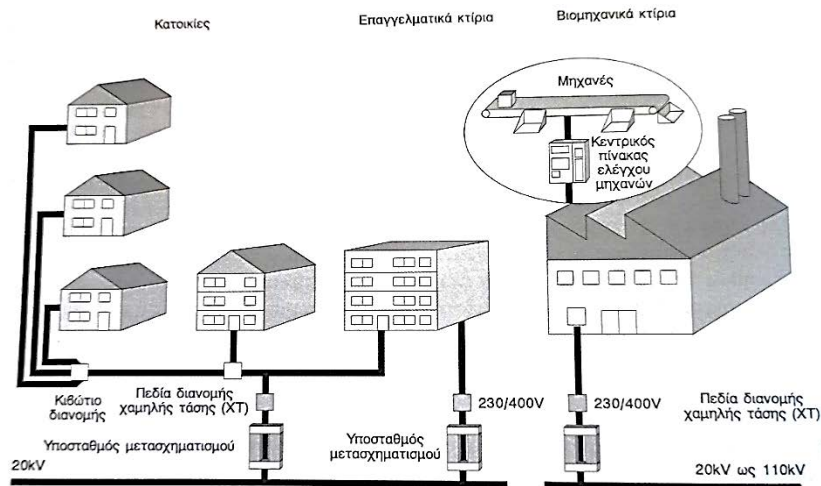
Ο πίνακας μέσης τάσης που προαναφέρθηκε στην ενότητα 1.3 αποτελείται από μία ή περισσότερες κυψέλες, στις οποίες πραγματοποιούνται οι συνδεσμολογίες καλωδίων με την κεντρική παροχή (από τη ΔΕΗ καλώδια άφιξης) και καλωδίων αναχώρησης προς τροφοδότηση των μετασχηματιστών ισχύος. Κάτω από τον πίνακα υπάρχουν ειδικά σχεδιασμένα κανάλια για την επίτευξη της όδευσης των καλωδίων, ενώ οι κυψέλες αποτελούνται από διάφορα διαμερίσματα (π.χ. μπαρών, χαμηλής τάσης, μηχανισμού λειτουργίας, κ.λπ.). Τέλος, και οι ίδιες οι κυψέλες σε εσωτερικό χώρο που χρειάζεται παροχές μέσης τάσης διαχωρίζονται σε πεδίο άφιξης (από βρόχο ΜΤ) και αναχώρησης (προς βρόχο ΜΤ), μετρήσεων και αναχώρησης προς τον μετασχηματιστή [4].

1.4.2. Διαμόρφωση

Η ρευματοδότηση μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης γίνεται μέσω εναέριων ή υπόγειων παροχών από το δίκτυο της ΔΕΗ. Η τελευταία υποχρεούται να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια μέχρι τη βιομηχανική εγκατάσταση του καταναλωτή-πελάτη. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω καλωδίων που ξεκινούν από το δίκτυο της ΔΕΗ και καταλήγουν σε κάποιο κιβώτιο σύνδεσής του κτηρίου του πελάτη. Σήμερα, οι εγκαταστάσεις παροχής ρεύματος δεν ανήκουν κατ' αποκλειστικότητα στη ΔΕΗ και συγκεκριμένα αυτό ισχύει από το 2012. Εκτός από τη ΔΕΗ πλέον, υπάρχουν και άλλες εταιρείες που παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια, δίνοντας η κάθε μία διαφορετικά πακέτα προσφορών, έτσι υπάρχει και ανταγωνισμός τιμών.

Τα συστήματα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος ΜΤ προμηθεύουν τις Β.Η.Ε. Αντίστοιχα, για τη ΧΤ, ο εφοδιασμός ισχύος στο δίκτυο διανομής, υλοποιείται με τη χρήση

μετασχηματιστών. Ο μετασχηματιστής που είναι απαραίτητος για την παροχή ισχύος, είναι κομμάτι του Υ/Σ. Παράλληλα, ο Υ/Σ είναι μέρος του δικτύου, που έχει στην κατοχή του ο κάθε πελάτης. Στο σχήμα 1.6. φαίνεται η διαδικασία τροφοδοσίας των διάφορων συστημάτων, σε κατηγορίες κτηρίων, οι οποίες αξιοποιούνται για διαφορετικές χρήσεις.



Σχήμα 1.6.: Δομή του συστήματος παροχής ηλεκτρικής ενέργειας σε βιομηχανικά, επαγγελματικά και κατοικίες[9].

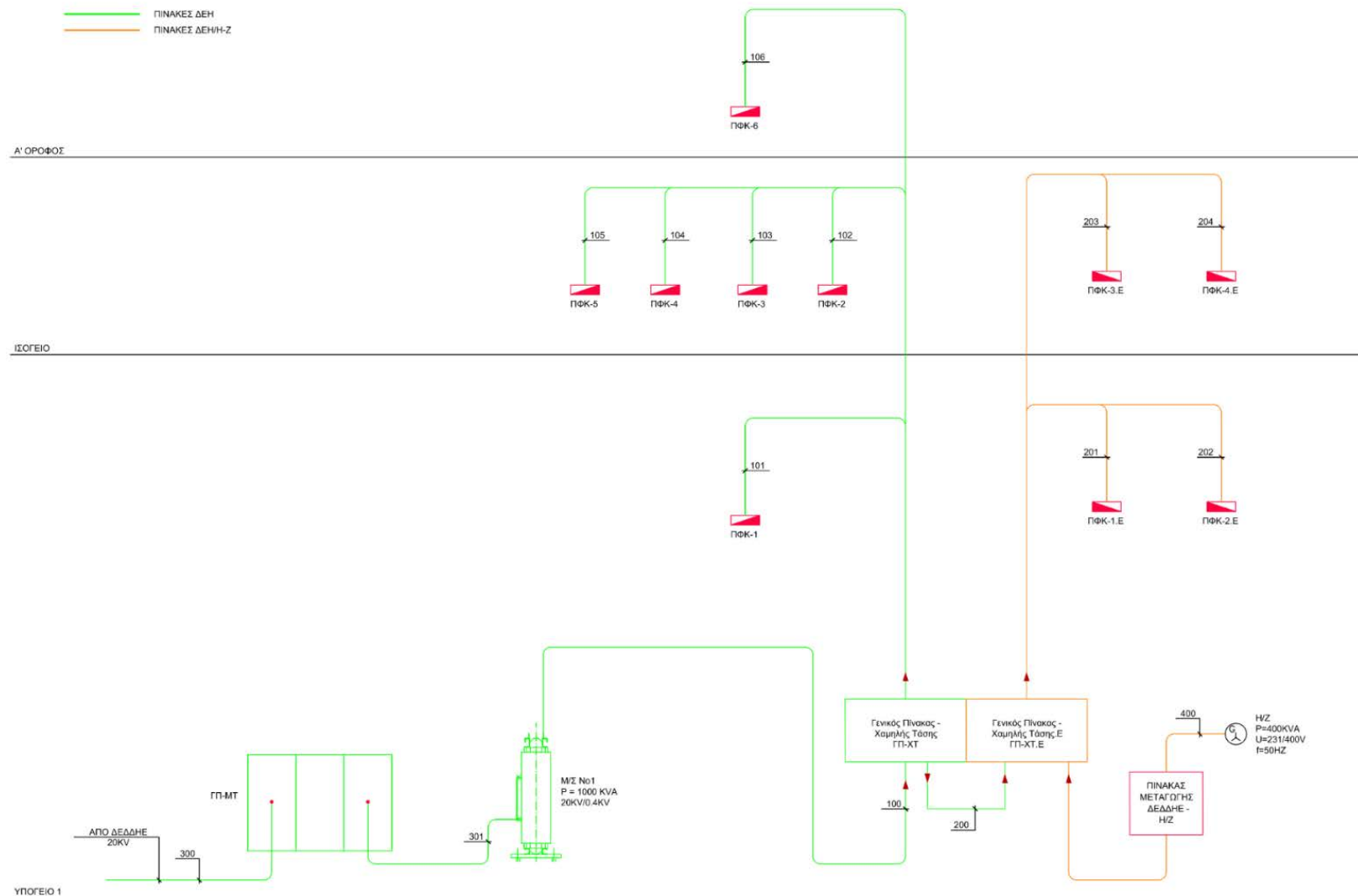
Η Εσωτερική Ηλεκτρική Εγκατάσταση (Ε.Η.Ε.) πρέπει να γίνει από αδειούχο μηχανικό μελετητή. Η ανάληψη της εγκατάστασης θα πρέπει να γίνει από αρμόδιο ηλεκτρολόγο, οφείλει να έχει την αρχιτεκτονική κάτοψη του χώρου, γνώση της θέσης και του μεγέθους των ηλεκτρικών φορτίων, ώστε να είναι αποτελεσματικός και αποδοτικός ο σχεδιασμός της εγκατάστασης. Κάθε Ε.Η.Ε. πρέπει να κατασκευάζεται με βάση κάποια κριτήρια, τα εξής:

- Την ασφαλή λειτουργία της, ώστε να αποφευχθούν καταστάσεις ηλεκτροπληξίας από επικίνδυνες τάσεις επαφής, πρόκληση πυρκαγιάς από βραχυκύκλωμα κ.λπ.
- Το λογικό και ανταγωνιστικό κόστος κατασκευής.
- Την εύρυθμη λειτουργία όλων των εξαρτημάτων της εγκατάστασης.
- Την καλαισθησία.
- Την ικανοποιητική εφεδρεία/αντικατάσταση στην περίπτωση πιθανών. δυσλειτουργιών που μπορεί να προκύψουν.
- Τη δυνατότητα επέκτασης.

Οι υποσταθμοί, αναλόγως το χώρο εγκατάστασης του εξοπλισμού τους, διαχωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες [1]:

- Εναέριος: είναι απλής κατασκευής υποσταθμός. Εγκαθίσταται σε κατάλληλο ύψος από το έδαφος και εδράζεται πάνω σε συνδυασμένη κατασκευή από στύλους και χρησιμοποιείται κυρίως σε εναέρια ηλεκτρικές γραμμές. Εάν η ισχύς του υποσταθμού είναι μέχρι 50kVA ο μετασχηματιστής τοποθετείται σε έναν στύλο. Στην περίπτωση που η ισχύς είναι από 75 έως 400kVA τότε ο μετασχηματιστής τοποθετείται σε ειδικές εξέδρες που σχηματίζονται μεταξύ δύο στύλων. Στον βασικό του εξοπλισμό συγκαταλέγονται οι τριπολικοί διακόπτες ισχύος, το αλεξικέραυνο, οι τρεις μονοπολικοί μαχαιρωτοί διακόπτες (αποζεύκτες) με τις αντίστοιχες συντηκτικές ασφάλειες και οι ασφάλειες τήξης, οι οποίες αν υπάρξει κάποιο ζήτημα υπερφόρτωσης ή βλάβης, διακόπτουν αυτομάτως την τροφοδότηση του μετασχηματιστή από τη γραμμή μέσης τάσης. Στη χαμηλή τάση χρησιμοποιούνται συντηκτικές ασφάλειες σε κάθε γραμμή που αναχωρεί.
- Υπαίθριος: κατασκευάζεται εκεί όπου δεν χρησιμεύουν οι εναέριοι Υ/Σ. Δηλαδή όπου είναι απαραίτητη πιο μεγάλη ισχύς και οι τοπικές συνθήκες δίνουν τη δυνατότητα για υπαίθρια τοποθέτηση των μηχανημάτων. Είναι σχετικά απλής κατασκευής καθώς οι κυψέλες του περιβάλλονται από τοιχώματα μεταλλικής κατασκευής και η συνδεσμολογία τους επιτυγχάνεται με τα καλώδια και τον μετασχηματιστή, ο οποίος τοποθετείται στην ύπαιθρο. Η ισχύς του είναι πάνω από 500kVA.
- Επίγειος εσωτερικού χώρου: η εγκατάστασή του πρέπει να πληροί συγκεκριμένες προδιαγραφές. Για αυτό και τα κτήρια, που γίνεται η τοποθέτηση Υ/Σ, πρέπει να έχουν καλό εξαερισμό, ώστε η χωρική θερμοκρασία να είναι στα φυσιολογικά επιτρεπτά όρια και να διασφαλιστεί η σωστή λειτουργία του μετασχηματιστή και των άλλων ηλεκτρικών συσκευών και καλωδίων και να διαθέτουν επίσης λεκάνες απορροής του λαδιού των μετασχηματιστών σε ειδικό φρεάτιο. Στον βασικό τους εξοπλισμό είναι και οι κυψέλες μέσα στις οποίες εγκαθίστανται όλα τα όργανα ζεύξης και μέτρησης, με τους αντίστοιχους μετασχηματιστές τάσης και ρεύματος.
- Υπόγειος: η εγκατάσταση του είναι κάτω από την επιφάνεια της γης. Κατασκευάζεται κυρίως στα αστικά κεντρικά σημεία αλλά και όπου είναι δύσκολη η δημιουργία κάποιου άλλου είδους υποσταθμού. Για την εγκατάστασή του χρειάζεται μια υπόγεια οικοδομή, που να το επιτρέπουν οι συνθήκες εδάφους, για αυτό τα βασικά δομικά στοιχεία του κτίσματος (π.χ. οροφή, δάπεδο, τοίχοι) χρειάζεται να είναι υδατοστεγή και στιβαρά. Επίσης είναι απαραίτητη η ύπαρξη ειδικά διαμορφωμένου χώρου, για τη περισυλλογή λαδιού του μετασχηματιστή σε περίπτωση διαφυγής αυτού. Επειδή είναι δύσκολη η

κυκλοφορία αέρα για την ψύξη, αναλόγως των τοπικών συνθηκών που επικρατούν, εφαρμόζονται ποικίλες διατάξεις, φυσικού και μηχανικού εξαερισμού, οι οποίες διασφαλίζουν την κυκλοφορία του αέρα, δίχως να εισέρχονται στο κτίσμα νερά.



Σχήμα 1.7.: Μονογραμμικό διάγραμμα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε Β.Η.Ε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΙΩΣΕΙΣ

2.1. Γενικά

Στη σημερινή εποχή, η γείωση είναι ένα από τα βασικότερα τμήματα μιας Ε.Η.Ε. Στις εγκαταστάσεις γείωσης, όταν υπάρξει ένωση ενός μέρους ενός κυκλώματος ή ενός εξωτερικού προς το κύκλωμα αγωγίμου μεταλλικού αντικειμένου, ονομάζεται γείωση. Η γείωση αποσκοπά στην εξασφάλιση αγωγίμης διαδρομής, ώστε τυχόν ρεύματα σφάλματος να εκτονώνονται στη γη και να παρέχεται η απαραίτητη ασφάλεια.

Η υλοποίηση της εγκατάστασης γείωσης επιτυγχάνεται με τη χρήση [1]:

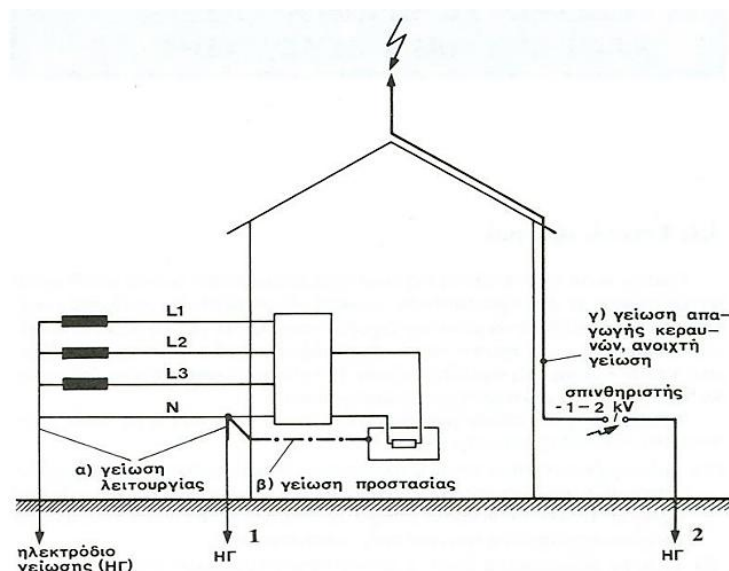
- Ενός ή περισσότερων ηλεκτροδίων συνδεδεμένων μεταξύ τους, εξασφαλίζοντας την άμεση επαφή με τη γη.
- Των κατάλληλων αγωγών σύνδεσης.

2.2. Περιγραφή και χαρακτηριστικά συστημάτων σύνδεσης γειώσεων TN (TN-C, TN-C-S), TT και IT

Οι αγωγοί σύνδεσης της εγκατάστασης γείωσης με τα γειωμένα μέρη μιας Ε.Η.Ε. πρέπει να είναι συνεχείς χωρίς την παρεμβολή διακοπτικών διατάξεων, όπως διακόπτες, ασφάλειες κ.λπ., ώστε να διασφαλιστεί η επιστροφή του ρεύματος σφάλματος προς την πηγή. Επιπλέον, οι αγωγοί γείωσης πρέπει να έχουν την κατάλληλη διατομή και να παρουσιάζουν ελάχιστη επαγωγική αντίσταση, ώστε να μην προκαλείται σ' αυτούς μεγάλη πτώση τάσης. Από αυτή την απαίτηση προκύπτει ο περιορισμός ότι οι αγωγοί γείωσης δεν πρέπει να διέρχονται μέσα από χαλύβδινους σωλήνες, διάταξη που αυξάνει την επαγωγική αντίδραση των αγωγών γείωσης. Σε διατάξεις αντικεραυνικής προστασίας, οι αγωγοί καθόδου μπορεί να διακόπτονται από σπινθηριστές (ενδιάμεσα ειδικά στοιχεία) για τον περιορισμό της ηλεκτροχημικής διάβρωσης της εγκατάστασης γείωσης [1].

Οι γειώσεις με βάση την εφαρμογή τους, διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες (σχήμα 2.1.). Αυτές είναι οι εξής [1]:

1. Λειτουργίας: εξασφαλίζει τη σωστή λειτουργία του ηλεκτρικού κυκλώματος μιας εγκατάστασης και αποτελεί μέρος αυτού. Μπορεί να περιλαμβάνει και άλλες αντιστάσεις ωμικές, επαγωγικές ή χωρητικές. Κατά τη γείωση αυτή, η οποία δεν είναι ανοικτή, εκτελείται αγωγή με σύνδεση μεταξύ της γης και:
 - Του ουδέτερου κόμβου του Μ/Σ υποβιβασμού τάσης 20kV-230/400V.
 - Του ουδέτερου αγωγού δικτύου ΧΤ (ανά διαστήματα) τάσης 20kV-230/400V.
 - Της ράγας του ηλεκτρικού σιδηρόδρομου τάσης 20kV-230/400V.
2. Προστασίας: έχει ως σκοπό την προστασία ατόμων από επικίνδυνες τάσεις επαφής. Είναι η αγωγή με σύνδεση ενός μεταλλικού σημείου με την εγκατάσταση γείωσης, το οποίο δεν αποτελεί μέρος του ενεργού κυκλώματος. Ο αγωγός της συγκεκριμένης γείωσης δεν πρέπει να διακόπτεται με τη παρεμβολή διακοπτικών στοιχείων, όπως ασφάλειες τήξεως, μικροαυτόματους ή διακόπτες και στοιχεία διακένων
3. Γείωση αντικεραυνικής εγκατάστασης: διοχετεύει την ηλεκτρική ενέργεια (των στατικών ηλεκτρικών φορτίων) των κεραυνών στη γη. Κατά τη γείωση αυτή, η οποία είτε είναι συνεχής είτε ανοικτή (με την παρεμβολή σπινθηριστή), εκτελείται η αγωγή με σύνδεση ενός ακρότατου σημείου της εγκατάστασης με τη γη π.χ. αλεξικέραυνο.



Σχήμα 2.1.: Κατηγορίες γειώσεων [2].

Σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 60364 αναφέρονται τα παρακάτω είδη συστημάτων γείωσης [10]:

1. Σύστημα TT.
2. Σύστημα IT.
3. Σύστημα TN. Αναλόγως της σχέσης του ουδέτερου και του αγωγού προστασίας υπάρχουν κι οι παραλλαγές του συστήματος TN, TN-S, TN-C, TN-C-S.

Το πρώτο σε σειρά γράμμα δείχνει τη σχέση ανάμεσα στην παροχή ρεύματος (γεννήτριας ή μετασχηματιστή) και στη γη:

- T (Terra=γη) αν υπάρχει απευθείας επαφή κάποιου σημείου με τη γη.
- I (Isolate=απομονώνω) αν όλα τα ενεργά σημεία δεν έχουν καμία επαφή με τη γη ή μόνο ένα σημείο συνδέεται μ' αυτή διαμέσου υψηλής σύνθετης αντίστασης.

Το δεύτερο σε σειρά γράμμα σχετίζεται με τα εκτεθειμένα αγωγίμα σημεία της εγκατάστασης με τη γη:

- T αν υπάρχει απευθείας ηλεκτρική σύνδεση με τη γη και τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη, ανεξάρτητα από τη γείωση που υπάρχει σε οποιουδήποτε τυχαίο σημείο του τροφοδοτικού συστήματος.
- N (Neutral=ουδέτερος) αν υπάρχει απευθείας ηλεκτρική σύνδεση στο γειωμένο σημείο του δικτύου τροφοδοσίας με τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη. Τα μεταλλικά περιβλήματα των συσκευών και μεταλλικών δικτύων συνδέονται στον ουδέτερο αγωγό, ο οποίος συνδέεται στην εγκατάσταση γείωσης (γειώνεται) στο σημείο παροχέτευσης της Ε.Η.Ε. ή στο γειωμένο ουδέτερο κόμβο του δευτερεύοντος του Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ.

Κάθε επιπλέον γράμμα (αν υπάρχει) καθορίζει τη διάταξη των αγωγών ουδέτερου και προστασίας. Οπότε:

- S (Separate=Ξεχωριστός) αν ο αγωγός ουδέτερου και προστασίας είναι ξεχωριστοί.
- C (Combined=Συνδυασμένος) αγωγός PEN, όταν δηλαδή αγωγοί προστασίας και ουδέτερου ενώνονται σε έναν μόνο αγωγό.

Στις διάφορες περιοχές του πλανήτη χρησιμοποιούνται όλα τα συστήματα γείωσης και συγκεκριμένα στην Ελλάδα, με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384, στις Ε.Η.Ε. νοικοκυριών αξιοποιείται το TN-S σύστημα. Στην Ελλάδα το σύστημα TT συναντάται σε μεγάλα αστικά κέντρα όπως το κέντρο της Αθήνας, η Θεσσαλονίκη και η Πάτρα. Αντίθετα στην περιοχή της Θεσσαλίας, εφαρμόζεται ουδετέρωση, το σύστημα TN [10].

2.3. Εφαρμογή των συστημάτων γείωσης TN, TT, IT σε Β.Η.Ε.

Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις αξιοποιούνται οι εξής μέθοδοι γείωσης [2]:

- TT (Terra-Terra) - Η άμεση γείωση → όλα τα αγωγίμα σημεία συνδέονται στη γραμμή γείωσης (πλέγμα, ηλεκτρόδιο, πλάκα γείωσης κ.α.).
- TN (Terra-Neutral) - Η ουδετέρωση → όλα τα αγωγίμα σημεία συνδέονται με τον ουδέτερο ή άλλο γειωμένο αγωγό φάσης δικτύου.
- Οι διακόπτες διαφυγής → απομονώνονται αυτόματα τα μέρη που εμφανίζουν σφάλμα διαρροής ρεύματος στην εγκατάσταση.

Τα εκτεθειμένα αγωγίμα σημεία της ηλεκτρικής εγκατάστασης πρέπει να γειώνονται με τη βοήθεια των αγωγών προστασίας, υπό τις ισχύουσες συνθήκες για τα συστήματα σύνδεσης των γειώσεων TT, IT, TN που εφαρμόζονται στην εγκατάσταση [11]. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα συστήματα.

2.3.1. Σύστημα TT (Terra-Terra) – Άμεση γείωση

Στο γειωμένο ηλεκτρόδιο, το οποίο είναι ηλεκτρικά ανεξάρτητο από το αντίστοιχο της πηγής, θα πρέπει να συνδέονται όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη, τα οποία προφυλάσσονται από την ίδια διάταξη προστασίας (σχήμα 2.2.). Σε αυτό σύστημα προβλέπονται διατάξεις προστασίας διαφορικού ρεύματος και αυτές έναντι υπερεντάσεων.

Λαμβάνονται υπόψιν τα όσα αναφέρονται στην παράγραφο 413.1.4.2 του ΕΛΟΤ.

Τα παραπάνω πρέπει να πληρούν τη συνθήκη της παραγράφου 413.1.4.3 του ΕΛΟΤ [11]:

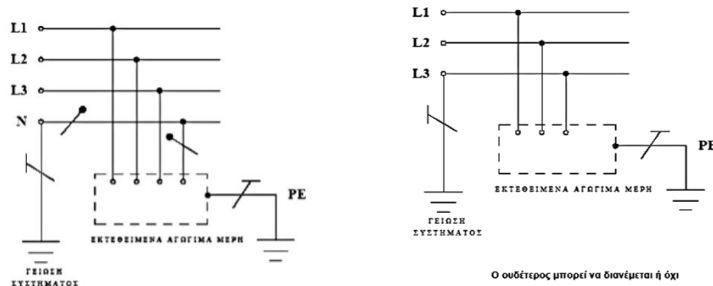
$R_A \times I_a \leq 50V$, όπου:

R_A το άθροισμα των αντιστάσεων του ηλεκτροδίου γείωσης και του αγωγού προστασίας.

I_a το ρεύμα που διασφαλίζει την αυτόματη λειτουργία της διάταξης προστασίας ως εξής:

I_a είναι το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας, σε περίπτωση που η διάταξη προστασίας είναι μια διάταξη διαφορικού ρεύματος (ακαριαίας λειτουργίας ή με χρονική καθυστέρηση). Αν η διάταξη προστασίας είναι μια διάταξη υπερεντάσεων:

- I_a είναι το ρεύμα που εξασφαλίζει την ακαριαία λειτουργία, όσον αφορά τις διατάξεις ακαριαίας λειτουργίας.
- I_a είναι το ρεύμα που εξασφαλίζει την αυτόματη λειτουργία με χρόνο που δεν υπερβαίνει τα 5s, στην περίπτωση των διατάξεων με χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας αντίστροφου χρόνου.



Σχήμα 2.2.: Σύστημα σύνδεσης γειώσεων TT [12].

2.3.2 Σύστημα IT (Isolated Terra) – αγείωτου ουδετέρου

Σε αυτό το σύστημα, τα εκτεθειμένα αγωγή σημεία της εγκατάστασης συνδέονται με γειωμένο ηλεκτρόδιο. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις σύνδεσης των ενεργών αγωγών, είτε δεν έχουν καμία σύνδεση προς τη γη είτε συνδέονται προς αυτή μέσω μιας σύνθετης αντίστασης μεγάλης τιμής (σχήμα 2.3.). Έτσι αν προκύψει σφάλμα γείωσης, το ρεύμα σφάλματος να είναι ελάχιστο. Σε περίπτωση που ο ουδέτερος κόμβος είναι απρόσιτος ή ανύπαρκτος, πραγματοποιείται σύνδεση ενός τεχνητού κόμβου προς τη γη, ο οποίος προκύπτει μέσω παρέμβασης μιας σύνθετης αντίστασης, φέροντας μαζί και την κατάλληλη τιμή [11].

Δεκτές είναι οι διατάξεις [11]:

- ✚ Επιτήρησης της μόνωσης.
- ✚ Προστασίας έναντι των υπερεντάσεων.

✚ Προστασίας διαφορικού ρεύματος.

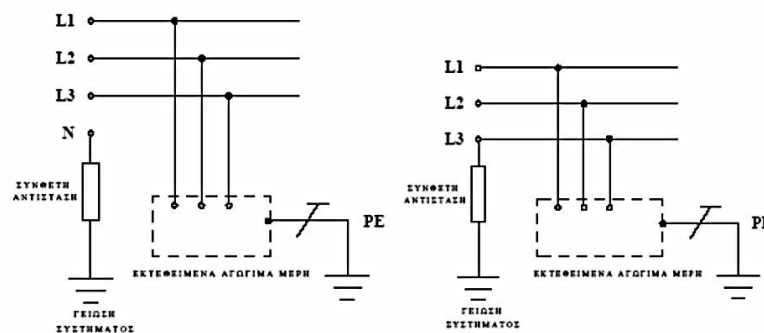
Λαμβάνονται υπόψιν οι σημειώσεις της παραγράφου 413.1.5.1 του ΕΛΟΤ.

Πρέπει να ακολουθείται η προϋπόθεση της παραγράφου 413.1.5.3 του ΕΛΟΤ HD 384 [11]:

$R_A \times I_d \leq 50V$, όπου:

- R_A το άθροισμα των αντιστάσεων γείωσης των εκτεθειμένων αγωγίμων μερών.
- I_d το ρεύμα σφάλματος πολύ μικρής σύνθετης αντίστασης ανάμεσα σε ένα εκτεθειμένο αγωγίμο σημείο και έναν αγωγό φάσης ή έναν αγωγό προστασίας. Η τιμή I_d καθορίζεται από τα ρεύματα διαρροής -λόγω της χωρητικής ζεύξης προς τη γη- και εάν το σύστημα είναι συνδεδεμένο προς τη γη, από τη συνολική αντίσταση γείωσης του.

Τέλος, προτείνεται, σε περίπτωση σφάλματος, αυτό να εξουδετερώνεται σε όσο πιο σύντομο χρονικό διάστημα γίνεται. Όπως και στην περίπτωση δεύτερου σφάλματος, η τροφοδοσία θα πρέπει να σταματά αυτόματα.



Ο ουδέτερος μπορεί να διανέμεται ή όχι

Σχήμα 2.3.: Σύστημα σύνδεσης γειώσεων IT [12].

2.3.3 Σύστημα TN (Terra Neutral) – ουδετέρωση

Σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση με σύστημα γείωσης TN (ουδετερογείωση), τα εκτεθειμένα μεταλλικά μέρη των συσκευών, καθώς και τα μεταλλικά δίκτυα που εισέρχονται στο κτήριο, πρέπει να συνδέονται απευθείας με αγωγούς προστασίας στον κύριο ακροδέκτη γείωσης της εγκατάστασης, ο οποίος συνδέεται σε ισοδυναμικό ζυγό και αυτός με τη σειρά του συνδέεται με την εγκατάσταση γείωσης (π.χ. θεμελιακή γείωση). Εάν πρόκειται για B.H.E., ο

ουδέτερος κόμβος του δευτερεύοντος του Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ στον Υ/Σ συνδέεται στον κύριο ισοδυναμικό ζυγό και από το ζυγό αναχωρεί ο αγωγός PEN, εάν πρόκειται για σύστημα TN-C, ή οι αγωγοί PE και N, εάν πρόκειται για σύστημα TN-S. Για οικονομικούς λόγους και εφόσον η ηλεκτρική εγκατάσταση βιομηχανικού κτηρίου αναπτύσσεται ακτινικά, συμφέρει το τμήμα της γραμμής από τον υποσταθμό μέχρι το γενικό πίνακα χαμηλής τάσης (Γ.Π.Χ.Τ.) και τα τμήματα (παροχές) από το Γ.Π.Χ.Τ. μέχρι τους υποπίνακες να είναι TN-C και από τους υποπίνακες και μετά να είναι TN-S, με την προϋπόθεση ότι ο ουδέτερος αγωγός γειώνεται στη (θεμελιακή) εγκατάσταση γείωσης πριν από κάθε υποπίνακα. Στην ουδετερογείωση πρέπει να επιδιώκεται χαμηλή αντίσταση γείωσης του ουδέτερου αγωγού, ώστε σε συνθήκες σφάλματος να περιορίζεται στο ελάχιστο το ηλεκτρικό δυναμικό του ουδετέρου ως προς γη για να εξασφαλίζεται προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας. Αυτό εξασφαλίζεται -π.χ. στα δίκτυα ΧΤ της Δ.Ε.Η. με συνεχείς γειώσεις του αγωγού PEN (συνήθως ανά δεύτερο στύλο, περίπου 300m). Επίσης, οι αγωγοί φάσης δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αγωγοί PEN [11].

Δεκτές είναι οι διατάξεις:

-  Προστασίας έναντι υπερεντάσεων.
-  Προστασίας διαφορικού ρεύματος.

Τα χαρακτηριστικά των διατάξεων προστασίας κι οι σύνθετες αντιστάσεις των κυκλωμάτων πρέπει να διασφαλίζουν ότι σε περίπτωση σφάλματος μικρής σημασίας σύνθετης αντίστασης σε οποιοδήποτε σημείο της εγκατάστασης ανάμεσα σε ένα εκτεθειμένο αγωγίμο μέρος και έναν αγωγό φάσης ή έναν αγωγό προστασίας, η τροφοδοσία θα διακοπεί αυτόματα, σε χρόνο το πολύ ίσο με:

— 5s, στις περιπτώσεις που ορίζει η παράγραφος 413.1.3.6. του ΕΛΟΤ HD 384.

Για αυτό και θα πρέπει να ακολουθείται η παρακάτω συνθήκη [11]:

$$Z_s \times I_a \leq U_0$$

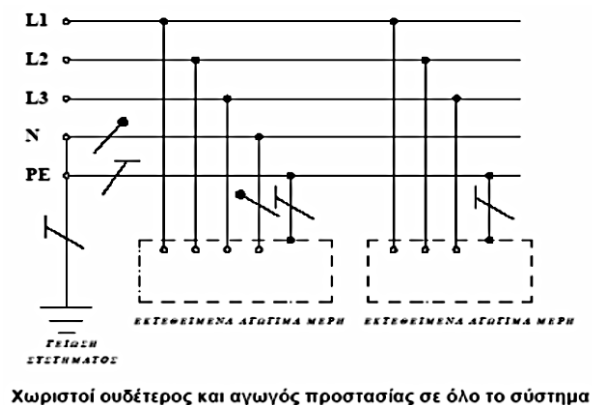
Z_s η σύνθετη αντίσταση του βρόχου του σφάλματος, ο οποίος εμπεριέχει τον ενεργό αγωγό ως το σημείο του σφάλματος, τον αγωγό προστασία ανάμεσα στο σφάλμα με την πηγή και τέλος την πηγή.

I_a το ρεύμα που δημιουργεί την αυτόματη λειτουργία της διάταξης προστασίας, στο χρόνο που αναφέρθηκε πιο πάνω. Σε περίπτωση που εφαρμόζεται διάταξη προστασίας διαφορικού ρεύματος I_a είναι το ονομαστικό διαφορικό ρεύμα λειτουργίας της διάταξης.

U_o η ονομαστική τάση, ανάμεσα στη φάση και τη γη, προτεινόμενη τιμή εναλλασσόμενου ρεύματος.

2.3.3.1 Σύστημα TN-S (Terra Neutral Securite)

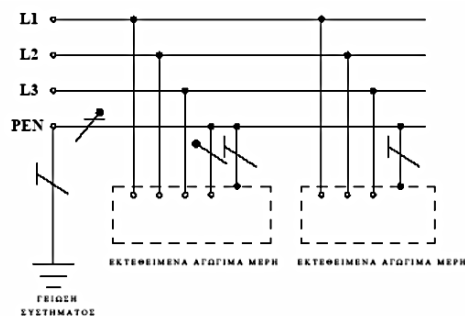
Στον αγωγό PEN, ο αγωγός προστασίας (PE) διαχωρίζεται από τον ουδέτερο αγωγό (N) (σχήμα 2.4.), έτσι το σύστημα TN-S χρησιμοποιείται εξίσου στα τμήματα των εγκαταστάσεων που διαθέτουν μόνο σταθερές γραμμές και στα τμήματα τα οποία διαθέτουν κινητές γραμμές. Κατά τη χρήση διάταξης προστασίας διαφορικού ρεύματος συνίσταται η μη εφαρμογή του αγωγού PEN προς την πλευρά του φορτίου του [11].



Σχήμα 2.4.: Σύστημα σύνδεσης γειώσεων TN-S [12].

2.3.3.2 Σύστημα TN-C (Terra Neutral Combine)

Εδώ επιτυγχάνεται συγχρόνως η χρήση του αγωγού PEN, ως αγωγός προστασίας κι ως ουδέτερος (σχήμα 2.5.). Στο συγκεκριμένο υποσύστημα, είναι πιθανή η δημιουργία επικίνδυνης τάσης επαφής, από τα απροστάτευτα αγωγίμα σημεία, ακόμα και χωρίς να έχει προηγηθεί κάποια βλάβη, αν υπάρξει διακοπή του αγωγού PEN. Γι' αυτό και η τροφοδοσία από δημόσια δίκτυα διανομής των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, δεν εφαρμόζεται πλέον στη χώρα μας [11].

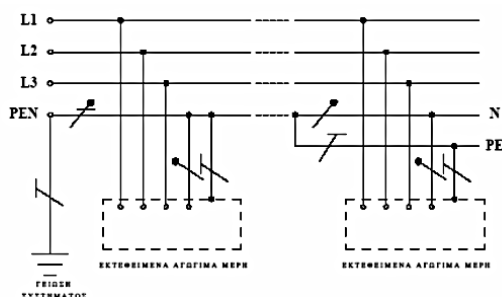


Οι λειτουργίες ουδέτερου και προστασίας συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό σε ολόκληρο το σύστημα

Σχήμα 2.5.: Σύστημα σύνδεσης γειώσεων TN-C [12].

2.3.3.3 Σύστημα TN-C-S (Terra Neutral Combine Securite)

Στην ίδια εγκατάσταση μπορούν να συνυπάρξουν τα δίκτυα TN-C και TN-S (σύστημα TN-C-S), αλλά πάντα το σύστημα TN-C τοποθετείται από τη μεριά της πηγής και το TN-S από τη μεριά του φορτίου. Για αυτό και ο αγωγός PEN, εφαρμόζεται μόνο σε ένα τμήμα του δικτύου. Από κει και πέρα διαχωρίζεται σε αγωγό προστασίας PE και σε ουδέτερο N, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.6., και δε συνδέονται μεταξύ τους από εκεί κι έπειτα [11].



Οι λειτουργίες ουδέτερου και προστασίας συνδυάζονται σε ένα μόνο αγωγό σε ένα μέρος του συστήματος

Σχήμα 2.6.: Σύστημα σύνδεσης γειώσεων TN-C-S [12].

Η προστασία ηλεκτρικής εγκατάστασης TN έναντι υπερεντάσεων και διαρροής ρεύματος πραγματοποιείται με τις παρακάτω διατάξεις [11]:

- ✚ Προστασίας έναντι υπερεντάσεων.
- ✚ Προστασίας διαφορικού ρεύματος, εξαιρώντας την παραγράφο 413.1.3.2.

2.4. Διάταξη και υπολογισμοί των εγκαταστάσεων γείωσης και αγωγών προστασίας στον Υ/Σ και κύριο κτήριο Β.Η.Ε.

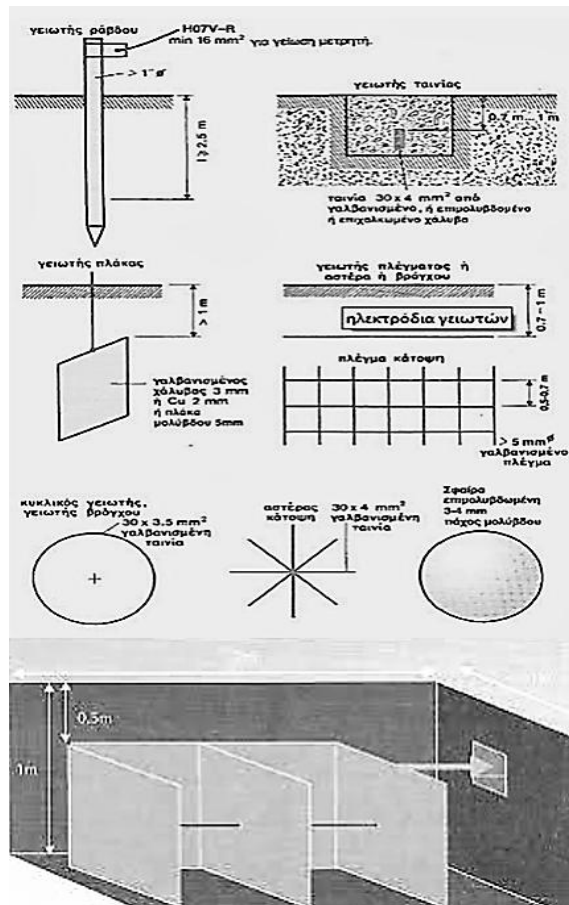
2.4.1. Διάταξη

Στη γείωση χρησιμοποιούνται αγωγοί σχετικά με την διάταξη των εγκαταστάσεων γείωσης, οι οποίοι τοποθετούνται εντός του εδάφους και ονομάζονται ηλεκτρόδια γείωσης, κάποια από τα οποία διακρίνονται και στο σχήμα 2.7. Για τους Υ/Σ των Β.Η.Ε. οι πιο γνωστές κατηγορίες είναι οι κάτωθι [13], [14], [15], [16], [17]:

1. Γειωτής τύπου «Ε» (Σχ.2.7): Συγκροτείται από δύο στοιχεία, τα οποία συναρμολογούνται κατάλληλα και με τη σειρά τους απαρτίζονται από πλάκες. Το πρώτο κομμάτι έχει τη μορφή «Π» και το δεύτερο «Γ» και η συναρμολόγησή τους υλοποιείται από κοχλίες και περικόχλια M8 τύπου A2 που είναι ανοξείδωτα, καθώς και από μεταλλικές γωνίες. Έχει χαρακτηριστικά ίδια με 6 ράβδους μήκους 1,5m η καθεμία (απόσταση 4m μεταξύ τους), ή με 5 πλάκες ίδιων διαστάσεων (απόσταση 3m μεταξύ τους). Η κατασκευή του γίνεται με χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο (πάχους 50 μm) ή καθαρό ηλεκτρολυτικό χαλκό. Εάν είναι επιθυμητή περαιτέρω μείωση της αντίστασης γείωσης γειωτή τύπου «Ε», αυτό είναι εφικτό με την επέκταση του γειωτή προσθέτοντας κατάλληλο αριθμό στοιχείων τύπου «Γ».
2. Γειωτής πλάκας: Έχει λάβει την συγκεκριμένη ονομασία λόγω της πλάκας που ενταφιάζεται και συναντάται σε διάφορες διαστάσεις (με μικρότερες τις 0,5m·0,5m·2mm). Τοποθετείται στο εδαφικό βάθος των 0,5m και η κορυφή της είναι στην επιφάνεια. Στην κατασκευή του γειωτή χρησιμοποιείται επιμολυβδωμένος, επιχαλκωμένος ή γαλβανισμένος χάλυβας πάχους άνω των 3mm. Επίσης, άλλο υλικό εδώ αποτελεί και ο μόλυβδος ή ο χαλκός με 2mm πάχος ως επί το πλείστον.
3. Γειωτής ταινίας: Κάνουν την εμφάνιση τους ταινίες με διάφορες διαστάσεις σε αυτόν τον τύπο γείωσης. Η ταινία, που θα επιλεγεί ως κατάλληλη, ορίζεται σε 0,5m βάθος. Τις περισσότερες φορές είναι προτιμότερη η επιλογή υγρού εδάφους για την

εγκατάστασή της, με αποτέλεσμα να τη συναντάμε και σε 0,7-1m βάθος. Η τοποθέτηση της ταινίας μπορεί να γίνει περιμετρικά της εγκαταστάσεως (γειωτής βρόχου) με κυκλικό ή ευθύγραμμο τρόπο. Διαφορετικά, αξιοποιείται κυκλικής διατομής αγωγός, που διαθέτει πιο μεγάλη αντίσταση γείωσης, γιατί κατά την επαφή του με το έδαφος έχει μικρότερη επιφάνεια. Συνήθως η κατασκευή των γειωτών ταινίας γίνεται από επιχαλκωμένο, γαλβανισμένο ή επιμολυβδωμένο χάλυβα. Εδώ εντάσσεται και η θεμελιακή γείωση.

4. Γειωτής ράβδου: Υπάρχουν ράβδοι διατομής σταυρού ή κυκλικής διατομής με μήκος 1-3m. Διακρίνονται από ένα μυτερό άκρο, το οποίο τοποθετείται με φορά προς τα κάτω, με αποτέλεσμα να κατευθύνεται πιο σωστά στο έδαφος. Το άλλο άκρο (που βρίσκεται προς τα πάνω) είναι σε προσβάσιμο μέρος. Όταν σε κάποια μέρη συναντάται ελάττωση της ειδικής αντίστασης κατά βάθος, η αξιοποίηση των προαναφερόμενων γειωτών είναι η ιδανική.
5. Γειωτής πλέγματος: Είναι αγωγός κυκλικής ή άλλης διατομής ή πλέγμα από ταινίες, που εγκαθίσταται σε βάθος μισού έως ενός μέτρου οριζοντίως και έχει τετραγωνάκια με άνοιγμα πλάτους 0,7-2,0m. Πλεονέκτημά του αποτελούν οι αμελητέες βηματικές τάσεις στο έδαφος, στο πάνω μέρος του πλέγματος. Παρατηρούνται βεβαίως μεγαλύτερες βηματικές τάσεις όταν τα ανοίγματα του πλέγματος είναι πάνω από 0,7m, σε σχέση με αυτά που έχουν ανοίγματα 0,5m.
6. Ακτινικός γειωτής: Διαθέτει πολλές ακτίνες και σχηματικά θυμίζει αστέρα, ενώ συγχρόνως, αποτελείται από ράβδους ή ταινίες. Ο αστέρας αυτός ενταφιάζεται σε 80cm βάθος και είναι σε οριζόντια θέση. Αξιοποιούνται υλικά παρόμοια με τον γειωτή ταινίας.



Σχήμα 2.7.: Κάποια από τα ηλεκτρόδια γειωτών [13],[14].

Ακολουθούν οι πιο ευρέως διαδεδομένες κατηγορίες σχετικά με την διάταξη των γειωτών. Αξίζει να σημειωθεί πως γειωτές συστήματος και αγωγοί σύνδεσης οφείλουν να αποτελούνται από το ίδιο υλικό, με σκοπό την αποφυγή ηλεκτροχημικής διάβρωσης. Επιπρόσθετα, κατά την διάταξη χρειάζεται να ληφθούν υπόψη διάφορες παράμετροι, όπως ο χώρος που είναι διαθέσιμος, το έδαφος πως είναι (π.χ. αμμώδες, κ.λπ.), το κόστος, οι κλιματολογικές συνθήκες, κ.ά., για να γίνει η σωστή επιλογή γειωτή. Ειδικότερα, για Β.Η.Ε. και υποσταθμούς κατατάσσονται τα παρακάτω συστήματα γείωσης [13], [14], [17].

- α. Θεμελιακή γείωση: Τοποθετείται περιμετρικά στα θεμέλια των τοίχων του κτιρίου ή μέσα στα συνδετήρια δοκάρια των πεδύλων, ως ένα κλειστός δακτύλιος, και κατασκευάζεται κυρίως από γειωτή ταινίας ή σε σπανιότερες περιπτώσεις από αγωγό κυκλικής διατομής. Όταν ένα κτίριο έχει μεγάλη περίμετρο, προτείνεται η εγκατάσταση ταινίας σε εγκάρσια ή διαμήκη τμήματα αυτής, μέσα σε σκυρόδεμα θεμελίων. Με αυτόν τον τρόπο θα απέχει κατά το πλείστον 10m από τον γειωτή οποιοδήποτε σημείο του

υπογείου. Όταν το μήκος της ταινίας αυξάνεται, η αντίσταση γείωσης ελαττώνεται, η διατομή της ταινίας χρειάζεται να είναι τουλάχιστον 100mm^2 με ελάχιστο πάχος 3 mm. Για να μην προκύψουν ηλεκτροχημικές διαβρώσεις με τον οπλισμό, προτιμάται η χρήση χαλύβδινης θερμά επιψευδαργυρωμένης ταινίας και η αποφυγή χάλκινης. Η ίδια χαρακτηρίζεται από πολλά οφέλη, καθώς αντέχει στο χρόνο και έχει μηχανική υποστήριξη, η τοποθέτησή της είναι εύκολη επειδή εγκαθίσταται σε εκσκαφή που υπάρχει, η αντίσταση γείωσης διαθέτει χαμηλή τιμή και στον εσωτερικό χώρο αναμένονται γειώσεις σε κάθε σημείο. Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384, για τα νέα κτήρια η θεμελιακή γείωση προβλέπεται ως βασική γείωση λειτουργίας και προστασίας, και είναι η συνηθέστερη μορφή γείωσης κτιρίων, υποσταθμών και βιομηχανιών.

- β. Γείωση με πλάκες: Αποτελείται από την τυχαία διάταξη πλακών με απόσταση ανάμεσά τους γύρω στα 3m. Η μεταξύ τους σύνδεση πραγματοποιείται με αγωγό γείωσης, ο οποίος έχει συνήθως διατομή 50mm^2 και είναι φτιαγμένος από χαλκό.
- γ. Πολυγωνική διάταξη: Εδώ την εμφάνισή τους κάνουν ραβδοειδείς γειωτές, τοποθετημένοι με τέτοιο τρόπο που σχηματίζουν συνήθως ισόπλευρο τρίγωνο (ας επισημανθεί πως οι ίδιοι αποτελούν τις κορυφές του και έτσι προκύπτει τριγωνική γείωση). Η πλευρά του τριγώνου είναι 1,5 φορά του βάθους έμπηξης, και επιπλέον, η σύνδεση τους επιτυγχάνεται μέσω αγωγού γείωσης που έχει διατομή ανάλογη με τις ανάγκες της εγκατάστασης (πιο συχνά συναντάται η χρήση χαλκού με 50mm^2 διατομή).
- δ. Περιμετρική γείωση: Σε όρυγμα με 50-70cm βάθος εγκαθίσταται γειωτής ταινίας που συμβάλλει στην κατασκευή της περιμετρικής γείωσης. Επίσης, ο γειωτής αυτός πρέπει να απέχει τουλάχιστον 2m από το κτήριο, καθώς τα μπάζα κοντά σε αυτό δεν είναι αγωγίμα.

Πέρα από τα παραπάνω σημαντική είναι και η χρήση προστατευτικών αγωγών, οι οποίοι συμβάλλουν στην προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας και μπορεί να ενώνουν ηλεκτρόδια γείωσης ή κάποια εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη ή ακόμη και το βασικό σημείο της γείωσης. Οι ίδιοι διαχωρίζονται σε αγωγούς γείωσης, προστατευτικούς αγωγούς κυκλώματος και αγωγούς ισοδυναμικής σύνδεσης [18].

Οι αγωγοί γείωσης βοηθούν στην όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματική ένωση του ηλεκτροδίου της γείωσης με την ηλεκτρική εγκατάσταση. Εν συνεχεία, η σύνδεση του

σημείου γείωσης του πίνακα διανομής (πράσινο-κίτρινο χρώμα) με την ηλεκτρική εγκατάσταση, και πιο ειδικά, με τα μεταλλικά της μέρη, είναι δουλειά των προστατευτικών αγωγών του κυκλώματος. Τέλος, με τους αγωγούς ισοδυναμικής σύνδεσης πραγματοποιείται στην ηλεκτρική εγκατάσταση ο συνδυασμός του συστήματος γείωσής της με άλλες περιοχές (π.χ. μεταλλικός σωλήνας γκαζιού ή νερού, κ.λπ.) [18].

2.4.2. Υπολογισμοί

Για τον υπολογισμό των εγκαταστάσεων γείωσης και των αγωγών προστασίας χρησιμοποιούμε τον όρο αντίσταση γείωσης. Με βάση αυτή περιγράφεται η αντίσταση ενός συστήματος γείωσης ή ηλεκτροδίου προς την άπειρη γη. Άπειρη γη θεωρείται σημείο στο έδαφος σε κάποια απόσταση από το γειωτή -συνήθως 5-10 φορές τη μεγαλύτερη διάσταση του γειωτή- όπου το ηλεκτρικό δυναμικό είναι πρακτικά μηδέν. Θεωρητικά το δυναμικό μηδενίζεται στο άπειρο, απ' όπου προκύπτει και ο επιθετικός προσδιορισμός «άπειρη γη» [14].

Όταν ενωθεί μια πηγή ρεύματος στα δύο της άκρα με την άπειρη γη (το ένα άκρο) και την εγκατάσταση γείωσης (το άλλο άκρο), τότε γίνεται λόγος για υλοποίηση της μέτρησης στην αντίσταση γείωσης. Μέσω του νόμου του Ohm δίνεται η αντίσταση γείωσης και μετριέται η τάση σε αυτή τη πηγή ρεύματος, δίνοντας μια αντίληψη για την ποιότητα της γείωσης. Κλίμα, έδαφος, εγκατάσταση κ.λπ. επηρεάζουν σε άμεσο βαθμό την μέτρηση της αντίστασης γείωσης. Παράλληλα, η αντίσταση γείωσης είναι ένας αξιοσημείωτος δείκτης της ποιότητας και της επάρκειας της εγκατάστασης, αλλά όχι και απόλυτος [13].

Στον πίνακα 2.1. αναφέρονται σχήμα, γειωτής και τύποι υπολογισμού στις διάφορες-τυπικές εγκαταστάσεις γείωσης.

Πίνακας 2.1.: Τύποι για αντιστάσεις γειωτών [2].

α/ α	Σχήμα	Γειωτής	Τύπος	Προσεγγιστικός τύπος
1		Πάσσαλος (πλάγια όψη)	$R_{\alpha 1} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$ $l_{\alpha} \approx 1-0,5m$	$R_{\alpha} \approx \frac{\rho}{l_{\alpha}}$
2		Πολύγωνο πασσάλων $a \geq 1$ (κάτοψη)	$R_{\alpha} \approx k \frac{1}{n} R_{\alpha 1}$ $a/l=3; n=5; k \approx 1,2$ $R_{\alpha 1}$ = αντίσταση ενός πασσάλου	Μπορεί να τεθεί $k=(1-1,5)$ ειδικά για $n=10$ $k=1,25$
3		Ταινία γείωσης ή επιφανειακός γειωτής, βάθος $h=0,5-1,0m$ (πλάγια όψη)	$R_{\alpha} = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$	$R_{\alpha} \approx \frac{2\rho}{l}$
4		Πλέγμα σε βάθος 0,5- 1,0m $D = \sqrt{\frac{4bl}{\pi}}$ (κάτοψη)	$R_{\alpha} \approx \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{lg}$ lg =συνολικό μήκος αγωγού	$R_{\alpha} \approx \frac{\rho}{2D}$
5		Θεμελιακή γείωση, $D = \sqrt{\frac{4}{\pi} S}$	-	$R_{\alpha} = \frac{2\rho}{\pi D}$
6		Κυκλικός γειωτής (κάτοψη)	$R = \frac{\rho}{2\pi D} \ln \frac{8l}{d} \left(1 + \frac{\ln(2l)/l}{\ln(8D/d)} \right)$	$R_{\alpha} = \frac{2\rho}{\pi D}$ (1)
7		Γειωτής πλάκας, πλάγια όψη S [m ²]	-	$R = \frac{\rho}{4,5\alpha}$ (2)
8		$n=5$ $n=4$ $n=3$ $n=2$	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,27\pi d}$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,25\pi d}$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,22\pi d}$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,09\pi d}$	-- -- -- --
9		Ημισφαιρικός γειωτής	$R = \frac{\rho}{\pi D}$ (3)	--

(1) Για ακανόνιστους βρόγχους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ισοδύναμη διάμετρος $D=0,33 \cdot U$ όπου U =το μήκος του αγωγού
(2) Για πλάκες που δεν είναι τετράγωνες θέτουμε $\alpha = \sqrt{S}$ όπου S =επιφάνεια
(3) Για έναν γειωτή όγκου V ακανόνιστου σχήματος εφαρμόζεται ο τύπος του σφαιρικού γειωτή με $D=1,57 \cdot \sqrt[3]{V}$ όπου εμφανίζεται το πάχος του αγωγού d αυτό είναι ίσο με $d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$, όπου A η διατομή του αγωγού.

2.5. Δυνατότητες και περιορισμοί σύνδεσης των γειώσεων MT και XT

Πρωταρχικός στόχος της γείωσης σε Υ/Σ αποτελεί η ανθρώπινη προστασία από τάσεις επαφής. Σύμφωνα με το πρότυπα του ΕΛΟΤ HD 384, η θεμελιακή γείωση είναι η πιο αποδοτική γείωση σε Υ/Σ, η οποία θα πρέπει να έχει τιμή [14]:

- i. $< 40 \Omega$ στην περίπτωση που η MT γειώνεται ξεχωριστά από τη XT.
- ii. $< 1 \Omega$ στην περίπτωση που MT και XT γειώνονται από κοινού.

Στους υποσταθμούς MT ενδείκνυται η εφαρμογή πολλαπλής γείωσης προστασίας και χρήση εξωτερικού προστατευτικού αγωγού (ξεχωριστός αγωγός γείωσης στην ουδετέρωση). Οπότε, ο ουδέτερος κόμβος οποιουδήποτε μετασχηματιστή διαχωρίζεται σε προστατευτικό και σε ουδέτερο αγωγό στον πίνακα XT. Από εκεί ο ουδέτερος ακολουθεί διαδρομή προς τον ζυγό ουδετέρου, ενώ η γείωση καταλήγει στον ζυγό γείωσης. Από τον τελευταίο σηματοδοτείται η έναρξη του δικτύου γείωσης της ηλεκτρικής εγκατάστασης [14].

Αν η τιμή της αντιστάσεως γείωσης στη μέση και χαμηλή τάση είναι κάτω από 1Ω , τότε μόνο μπορεί να πραγματοποιηθεί σύνδεση της γείωσης του ουδετέρου με την γείωση προστασίας των κυψελών MT και του δοχείου του μετασχηματιστή. Επιπλέον, μπάρες γείωσης του πίνακα XT με χάλκινο αγωγό 95 mm^2 τουλάχιστον και ουδέτεροι κόμβοι μετασχηματιστών ενώνονται μεταξύ τους στη θεμελιακή γείωση [14].

2.5.1. Δυνατότητες σύνδεσης γειώσεων

Στα διάφορα συστήματα σύνδεσης γειώσεων υπάρχουν διάφορα πλεονεκτήματα. Ορισμένα από αυτά είναι τα ακόλουθα:

1. Το δίκτυο γείωσης TT χαρακτηρίζεται από απλότητα στο σχεδιασμό και την εγκατάσταση, δεν απαιτείται συνεχής έλεγχος της εγκατάστασης και τροφοδοτείται συνήθως απευθείας από το δίκτυο διανομής XT. Εκτός από το κύριο αυτόματο μέσο προστασίας (μικροαυτόματο ή ασφάλεια τήξεως), η τοποθέτηση διακόπτη διαφορικού ρεύματος (ΔΔΡ, RCD 30mA) κρίνεται αναγκαία για τη προστασία από πυρκαγιά και ηλεκτροπληξία στα μικρά ρεύματα διαρροής λόγω σφάλματος μόνωσης. Σε εκτεταμένες εγκαταστάσεις με περισσότερους από έναν ΔΔΡ (πχ. τοποθέτηση ΔΔΡ στο γενικό πίνακα και στους υποπίνακες) πρέπει να διασφαλίζεται η επιλογική συνεργασία μεταξύ των

διαδοχικών ΔΔΡ ώστε να απομονώνεται μόνο το τμήμα με το σφάλμα. Κύριο μειονέκτημα του συστήματος TT είναι ότι ο βρόχος σφάλματος περιλαμβάνει και την αντίσταση γης η τιμή της οποίας είναι άγνωστη. Έτσι, για την αποτελεσματική λειτουργία του αυτόματου μέσου προστασίας σε συνθήκες στερεού βραχυκυκλώματος απαιτείται χαμηλή αντίσταση γείωσης της εγκατάστασης -συνήθως μικρότερη από 1Ω- για την υλοποίηση της οποίας το κόστος είναι υψηλό [19].

2. Το δίκτυο γείωσης TN ονομάζεται και ουδετερογείωση και υλοποιείται με τις παραλλαγές TN-C, TN-S και TN-C-S. Βασικό πλεονέκτημα του συστήματος TN (ισχύει για όλες τις παραλλαγές του) είναι η χαμηλή αντίσταση του βρόχου σφάλματος, επειδή διαμορφώνεται μόνο από μεταλλικούς αγωγούς, χωρίς να υπεισέρχεται η αντίσταση του ηλεκτροδίου γείωσης. Η αντίσταση του ηλεκτροδίου γείωσης επηρεάζει μόνο το ύψος της τάσης επαφής. Σε συνθήκες σφάλματος μόνωσης, το ρεύμα σφάλματος αποκτά μεγάλη τιμή, ο χρόνος διακοπής και απομόνωσης του κυκλώματος είναι μικρός, εξασφαλίζοντας έτσι αποτελεσματική προστασία από ηλεκτροπληξία έναντι τάσεων επαφής. Το σύστημα TN πρέπει να διαθέτει ένα αποτελεσματικό δίκτυο κύριας και συμπληρωματικής ισοδυναμικής προστασίας και εξίσωσης δυναμικών, αναγκαία προϋπόθεση για τη σωστή λειτουργία της εγκατάστασης. Η προστασία από ηλεκτροπληξία και πρόκληση πυρκαγιάς από μικρά ρεύματα διαρροής εξασφαλίζεται από ΔΔΡ, με την προϋπόθεση ότι το δίκτυο είναι TN-S και όχι TN-C. Σε δίκτυο TN-C δεν τοποθετείται ΔΔΡ διότι δεν εξασφαλίζεται η λειτουργία του ΔΔΡ σε συνθήκες διαρροής ρεύματος και αυτό συνιστά βασικό μειονέκτημα του συστήματος TN-C. Στο σύστημα TN-C η επιστροφή του ρεύματος στην πηγή δεν πραγματοποιείται μόνο μέσω του αγωγού PEN αλλά και μέσω των γειώσεων του PEN και των ισοδυναμικά συνδεδεμένων μεταλλικών δικτύων. Αυτά τα ρεύματα επιστροφής από μεταλλικά δίκτυα δημιουργούν πρόβλημα ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας, δηλαδή προκαλούνται ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (διαταραχές) στη λειτουργία ευαίσθητων ηλεκτρονικών και τηλεπικοινωνιακών διατάξεων. Αυτό συνιστά ένα άλλο μειονέκτημα του συστήματος γείωσης TN-C. Για το λόγο αυτό, σε εγκαταστάσεις με τηλεπικοινωνιακά συστήματα και ηλεκτρονικές διατάξεις χρησιμοποιείται δίκτυο TN-S στο οποίο το ρεύμα επιστροφής περιορίζεται μόνο στον αγωγό ουδετέρου. Το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 δεν συνιστά το σύστημα TN-C ως μοναδικό σύστημα γείωσης σε εγκαταστάσεις XT. Το σύστημα γείωσης που χρησιμοποιείται κυρίως στη χώρα μας και

το οποίο υιοθετεί και η ΔΕΗ στη διανομή ΧΤ είναι το TN-C-S. Από τον υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ μέχρι τον καταναλωτή είναι δίκτυο TN-C και στον καταναλωτή γίνεται TN-S. Δίκτυο TN-C-S αξιοποιούμε και στην παρούσα εργασία. Συγκεκριμένα από το 2^{ον} του Μ/Σ ΜΤ/ΧΤ μέχρι το ΓΠΧΤ και από το ΓΠΧΤ και μέχρι τους δευτερεύοντες πίνακες (υποπίνακες) το δίκτυο είναι TN-C και από τους δευτερεύοντες πίνακες και μετά γίνεται TN-S [20] [21] [22] [23].

3. Το δίκτυο γείωσης IT πρόκειται για σύστημα στο οποίο ο κόμβος αστέρα του Μ/Σ δε γειώνεται ή γειώνεται μέσω αντίστασης μεγάλης τιμής (της τάξεως των ΜΩ), ενώ τα μεταλλικά περιβλήματα των συσκευών και μεταλλικές διατάξεις γειώνονται τοπικά με ξεχωριστό ηλεκτρόδιο. Με την εμφάνιση σφάλματος μόνωσης το ρεύμα είναι πολύ μικρό και δεν υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας ή πυρκαγιάς. Όμως, εάν παραμείνει το σφάλμα και στη συνέχεια εμφανιστεί και δεύτερο σφάλμα, τότε το δίκτυο μετατρέπεται σε δίκτυο TN και πρέπει άμεσα να διακοπεί η λειτουργία. Για το λόγο αυτό στα συστήματα IT πρέπει να προβλέπεται κατάλληλη ανιχνευτική διάταξη, η οποία με την εμφάνιση πρώτου σφάλματος παρέχει οπτικό ή ηχητικό σήμα, προκειμένου να διακοπεί η τροφοδοσία και να αποκατασταθεί η βλάβη [11].

2.5.2. Περιορισμοί σύνδεσης γειώσεων

Εκτός, από τα παραπάνω παρατηρούνται και αρκετά μειονεκτήματα. Ενδεικτικά κάποια από αυτά είναι τα εξής:

1. Στο δίκτυο TT διασυνδέονται τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα σε μία μόνο σύνδεση γείωσης (ευρέως διαδεδομένες εγκαταστάσεις) ή απαιτείται RCD για κάθε ομάδα εκτεθειμένων αγωγίμων τμημάτων [19].
2. Στο δίκτυο TN απαιτείται ανάγκη ακριβούς υπολογισμού των γραμμών. Επίσης, η εγκατάσταση πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό διότι υπάρχει κίνδυνος σε περίπτωση επεκτάσεων ανακαίνισης ή ανεξέλεγκτης χρήσης [20].
3. Το TN-S πρέπει να εντοπίζεται προς τη μεριά του φορτίου, ενώ το TN-C στην μεριά της πηγής. Επιπλέον, σε περίπτωση σφάλματος μόνωσης, το ρεύμα βραχυκυκλώματος είναι υψηλό και μπορεί να προκαλέσει βλάβη στον εξοπλισμό [21].
4. Στο TN-C μπορεί να παρατηρηθεί επικίνδυνη τάση επαφής στα εκτεθειμένα αγωγίμα στοιχεία, ακόμη και εν απουσία σφάλματος, σε περίπτωση διακοπής του αγωγού PEN.

Επιπρόσθετα, στο συγκεκριμένο σύστημα δεν γίνεται να προστεθεί διάταξη προστασίας διαφορικού ρεύματος αν αυτό κριθεί σκόπιμο, για λόγους επαύξησης του βαθμού ασφαλείας. Επομένως, για τους προηγούμενους λόγους, το σύστημα TN-C δεν χρησιμοποιείται πια στην Ελλάδα σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, οι οποίες ρευματοδοτούνται από ένα δημόσιο δίκτυο διανομής. Τέλος, το TN-C (ταυτόχρονη χρήση αγωγού ως αγωγός προστασίας και ουδέτερου) αξιοποιείται μόνο σε τμήματα ηλεκτρικών γραμμών που είναι σταθερές στην εγκατάσταση, και μόνο όταν ισχύουν οι απαιτήσεις του άρθ. 546.2. [11].

5. Στο δίκτυο TN-C-S το κύριο μειονέκτημα είναι όταν ο συνδυασμένος αγωγός γείωσης ουδέτερου αγωγού, διακοπεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση τάσης στις εκτεθειμένες μεταλλικές κατασκευές στην ιδιοκτησία του καταναλωτή, η οποία μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Είναι επίσης δυνατόν να προκύψουν ασυνήθιστα ρεύματα γείωσης που κυκλοφορούν μεταξύ των ιδιοκτησιών, ιδίως όταν ορισμένες ιδιοκτησίες έχουν μεταλλικούς σωλήνες νερού και άλλες πλαστικούς [23].
6. Το σύστημα IT δεν χρησιμοποιείται στις συνήθεις βιομηχανικές και κτιριακές εγκαταστάσεις [10]. Το σύστημα IT αξιοποιείται ως βέλτιστη λύση σε ζητήματα ασφαλείας, δηλαδή στη ρευματοδότηση κατασκευών που χρειάζονται μεγάλη αξιοπιστία και ασφάλεια. Για παράδειγμα σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ορυχείων (υπόγειες συνθήκες εξόρυξης), καθώς εξασφαλίζει την έλλειψη σπινθήρων στη περίπτωση μονοφασικού σφάλματος [24]. Επιπρόσθετα, το σύστημα IT χρησιμοποιείται μόνο στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ιδιοπαραγωγής και στην τροφοδότηση που πραγματοποιείται από υποσταθμό υποβιβασμού της τάσης, ο οποίος υπάγεται στον ίδιο φορέα που φέρει την ευθύνη λειτουργίας της εκάστοτε εγκατάστασης [11]. Για αυτό στις προαναφερόμενες εφαρμογές, παρατηρείται μικρή τιμή του ρεύματος διαρροής σε συνθήκες μονοφασικού σφάλματος χωρίς να επιδρά σημαντικά στη δραστηριότητα του ηλεκτρικού εξοπλισμού. Τέλος, παρέχει τη δυνατότητα για αυξημένο χρονικό διάστημα στις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης [24].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1. Κίνδυνοι πρόκλησης ατυχημάτων ηλεκτροπληξίας και πυρκαγιάς σε Β.Η.Ε.

Ο τρόπος εγκατάστασης ή σύνδεσης των καλωδίων, των ηλεκτρολογικών πινάκων, των ηλεκτρικών συσκευών και γενικώς των ηλεκτρολογικών υλικών περιγράφονται και προσδιορίζονται από τα πολλά και διάφορα πρότυπα που υπάρχουν, για την αποφυγή των διάφορων κινδύνων. Τα πρότυπα εμπλουτίζονται ή καταργούνται, ανάλογα με την πρόοδο της τεχνολογίας. Τα πρότυπα λοιπόν των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων κτηρίων είναι υποχρεωτικά, μιας και αφορούν στην ασφάλεια ατόμων, συσκευών και περιουσιακών στοιχείων. Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις υπάρχουν διάφοροι κίνδυνοι, εκ των οποίων οι πιο σημαντικοί είναι:

- Η ηλεκτροπληξία ανθρώπων ή εκτρεφόμενων ζώων
- Η πυρκαγιά ή οι εκρήξεις λόγω υπερθέρμανσης αγωγών, σπινθήρων ή ηλεκτρικού τόξου.

Όσον αφορά τους ανθρώπους, δύο είναι οι βασικότεροι κίνδυνοι που τους επηρεάζουν. Αρχικά, τα ρεύματα μεγέθους άνω των 50mA, είναι πολύ επικίνδυνα, καθώς διαπερνούν το ανθρώπινο σώμα. Προκαλούνται σοβαρές βλάβες ακόμα και θάνατος. Δεύτερον, όταν πρόκειται κυρίως για ατυχήματα σε εγκαταστάσεις ισχύος υψηλής τάσης, όπου λόγω ύπαρξης ηλεκτρικού τόξου, είναι πιθανό να προκληθούν σοβαρά εγκαύματα στο ανθρώπινο σώμα. Τώρα όσον αφορά τις συσκευές, οι πιο σημαντικοί κίνδυνοι είναι η πρόκληση πυρκαγιάς λόγω, υπερφόρτισης των αγωγών, πολύ αυξημένης θερμοκρασίας (φούρνοι), κατεστραμμένης μόνωσης και λόγω βραχυκυκλώματος. Τέλος, είναι οι εκρήξεις που μπορεί να προκληθούν από σπινθήρες, κυρίως σε περιβάλλοντα με εκρηκτικά μίγματα (ατμοί της βενζίνης) και η ηλεκτρική διάβρωση κυρίως στο συνεχές ρεύμα [25].

3.1.2. Ηλεκτροπληξία

Ηλεκτροπληξία προκαλείται όταν ένας ζωντανός οργανισμός αγγίζει δυο αγώγιμα ή μεταλλικά μέρη ($\alpha+\beta$) με διαφορετική τάση προς τη γη. Ηλεκτροπληξία μπορεί να προκληθεί από [2]:

- Άμεση επαφή του οργανισμού, όταν κάποιος ακουμπήσει αγωγό που φέρει ηλεκτρικό ρεύμα και συγχρόνως έρχεται σε αγωγή με επαφή με το έδαφος.
- Έμμεση επαφή του οργανισμού έχουμε, όταν καταστρέφεται η μόνωση και τα μεταλλικά και μη γειωμένα μέρη βρίσκονται υπό τάση, οπότε η «συναναστροφή» με αυτά προκαλεί την ηλεκτροπληξία. Έμμεση επαφή υψηλού κινδύνου μπορεί να υπάρξει, αν εξαιτίας της φθαρμένης μόνωσης, τα ξένα μεταλλικά αγωγίμα αντικείμενα (π.χ. σωλήνες) βρεθούν υπό τάση, ενώ σε κοντινή απόσταση υπάρχουν γειωμένα μεταλλικά μέρη.
- ❖ Η φθορά των αγωγών μπορεί να προκληθεί από υπερθέρμανση, υγρασία του περιβάλλοντος και βιολογικούς παράγοντες, όπως τα έντομα και τα τρωκτικά.
- Επαφή του οργανισμού με ελαττωματικό ηλεκτροφόρο μηχανισμό, που οδηγεί σε βραχυκύκλωμα.

Μια άλλη περίπτωση ηλεκτροπληξίας, η οποία δεν αναφέρεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384, είναι όταν, μετά από σφάλμα σε εγκατάσταση, ρεύματα μεγάλης έντασης οδηγούνται προς γη (π.χ. μέσω ηλεκτροδίου γείωσης). Στην περίπτωση αυτή, εμφανίζεται ηλεκτρικό δυναμικό στην επιφάνεια της γης το οποίο μεταβάλλεται μειούμενο με την απόσταση από το σημείο εισόδου του ρεύματος στη γη. Επομένως, εάν ένας άνθρωπος βρεθεί εκεί και πατήσει στο έδαφος, υφίσταται μεταξύ των ποδιών του ατόμου μία τάση, η οποία καλείται βηματική τάση (U_s , step voltage), και η οποία προκαλεί ηλεκτροπληξία. Τάση επαφής U_i είναι η τάση που υπάρχει συγχρόνως σε δύο αγωγίμα προσιτά μέρη [2].

3.1.3. Πυρκαγιά

Σε κάθε Β.Η.Ε. αν οι συνθήκες το ευνοούν (π.χ. σε χημικές βιομηχανίες, ορυχεία κ.λπ. με εκρηκτικό περιβάλλον), είναι δυνατόν να δημιουργηθεί κάποιου είδους πυρκαγιάς ή έκρηξης. Αρχικά για να μη προκληθεί πυρκαγιά ή έκρηξη θα πρέπει να μη συνυπάρχουν τρεις παράγοντες: η καύσιμη ύλη, το οξυγόνο και η θερμότητα, η οποία διατηρεί σε υψηλά ποσοστά τη θερμοκρασία. Ωστε σε περίπτωση που υπάρξει φωτιά να είναι διαχειρίσιμη και να σβηστεί άμεσα.

Σοβαροί κίνδυνοι μπορούν να προκληθούν για τον ανθρώπινο οργανισμό από μια πυρκαγιά ή έκρηξη. Αυτό οφείλεται στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται, στη μείωση περιεκτικότητας του οξυγόνου που υπάρχει στον αέρα, στα αέρια, στον καπνό που υπάρχει

και στην κατάρρευση τυχόν δομικών υλικών και κατασκευών που μπορεί να υπάρχουν σε μια βιομηχανική εγκατάσταση.

Οι υψηλές θερμοκρασίες έχουν αντίκτυπο στον ανθρώπινο οργανισμό [25]:

- Άμεσα: όταν υπάρχει επαφή με τη φλόγα, άρα υπάρχει μεγάλη πιθανότητα πρόκλησης εγκαυμάτων στο σώμα ή ανάφλεξης των ρούχων.
- Σε μορφή ισχυρής θερμικής ακτινοβολίας. Αφυδάτωση δημιουργείται από την υψηλή θερμοκρασία (σταδιακό έλλειμα σε νερό, βασικό συστατικό του ανθρώπινου οργανισμού) και εγκαύματα πρώτου, δευτέρου ή τρίτου βαθμού (το τελευταίο μπορεί να οδηγήσει και στο θάνατο).
- Σε επαφή με θερμές αέριες μάζες οι οποίες συνήθως προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα, αφυδάτωση, καρδιακά προβλήματα και υπερθερμία.

Εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν εκείνη τη στιγμή, τα υλικά των κτηρίων συνήθως καταστρέφονται ή αλλοιώνεται η ποιότητά τους. Επίσης, είναι πολύ πιθανή η κατάρρευση δομικών υλικών προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις για τους εργαζόμενους της βιομηχανικής εγκατάστασης. Όσον αφορά τις εκρήξεις, το ωστικό κύμα και τα θραύσματα συνήθως προκαλούν σοβαρούς τραυματισμούς ακόμα και θάνατο των ανθρώπων [25].

3.2. Επιδράσεις από τη διέλευση ΕΡ στο ανθρώπινο σώμα

Η πορεία και η ένταση του ρεύματος διά του σώματος, ο χρόνος ροής και η συχνότητα ή το είδος του ρεύματος (κρουστικό, συνεχές ή εναλλασσόμενο), καθορίζουν την επίδραση του ηλεκτρικού φορτίου στον οργανισμό του ανθρώπου. Ωστόσο, υπάρχουν υποκειμενικοί παράγοντες που επηρεάζουν το αποτέλεσμα της ηλεκτροπληξίας, με αποτέλεσμα τα άτομα να διακρίνονται σε περισσότερο ή λιγότερο ανθεκτικά. Επίσης, σημαντικό ρόλο εδώ έχουν και η φυσική με τη ψυχική κατάσταση του ανθρώπου.

3.2.1. Γενικά η επίδραση του ρεύματος στον άνθρωπο

Ο μεγαλύτερος κίνδυνος για ζημιά στον άνθρωπο μετά την επαφή με το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η κοιλιακή μαρμαρυγή, κατά την οποία οι παλμοί της καρδιάς εξελίσσονται σε πολύ γρήγορους και άρρυθμους. Αποτελεί πιθανή αιτία θανάτου λόγω ότι η κυκλοφορία του αίματος εμποδίζεται, προκαλώντας συγχρόνως διάφορες επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό, που αναφέρονται παρακάτω.

Αξίζει να τονιστεί πως μετά το ατύχημα χρειάζεται να δοθούν ορθά οι πρώτες βοήθειες στον τόπο του συμβάντος από εκπαιδευμένο προσωπικό. Παραδείγματος χάριν, ηλεκτρική διέγερση της καρδιακής λειτουργίας, Καρδιοπνευμονική Αναζωογόνηση (ΚΑΡ.Π.Α.), κ.λπ. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται προσπάθεια μείωσης των συνεπειών, και συνεπώς, διάσωσης της ζωής.

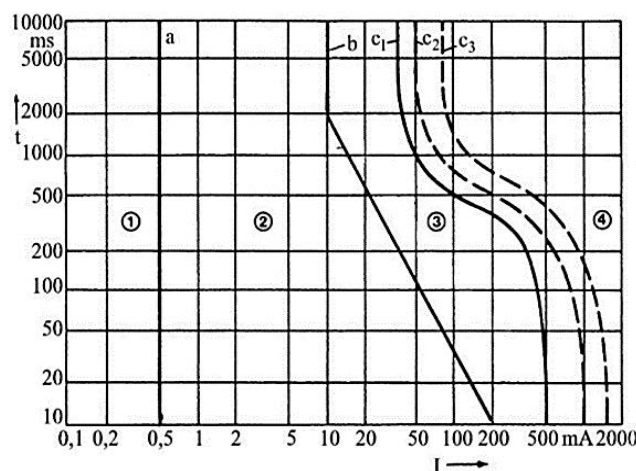
Η επίδραση που έχει το ρεύμα στο ανθρώπινο σώμα σχετίζεται άμεσα με το μέγεθος του ρεύματος που θα διέλθει μέσα από την καρδιά. Όταν το ρεύμα έντασης I οδηγείται απ' το αριστερό χέρι και καταλήγει στα δύο πόδια, προκύπτει μια αρκετά επιβλαβής περίπτωση, με ρεύμα αναφοράς γνωστό ως I_{ref} και τύπο: $I_{\text{ref}} = F \cdot I$, με I ρεύμα και F παράγοντας (0,4...1,5) και φαίνονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα 3.1. [2]:

Πίνακας 3.1.: Παράγοντας ρεύματος καρδιάς F .

Κατεύθυνση	Παράγοντας F	Κατεύθυνση	Παράγοντας F
Αριστερό χέρι-ένα ή δύο πόδια/ δύο χέρια-δύο ποδια	1,0	Δεξί χέρι-στήθος	1,3
Δεξί χέρι-πλάτη	0,3	Αριστερό χέρι-πλάτη	0,7
Χέρι-χείρι	0,4	Αριστερό χέρι-στήθος	1,5
Δεξί χέρι-ένα οποιοδήποτε/και τα δύο πόδια	0,8	Οπίσθια-δύο χέρια ή ένα χέρι δεξί ή αριστερό	0,7

3.2.2. Επίδραση του εναλλασσόμενου ρεύματος

Μεγαλύτερο βαθμό επικινδυνότητας για τους ζωντανούς οργανισμούς παρουσιάζει το εναλλασσόμενο ρεύμα (ηλεκτροπληξία, εργατικά ατυχήματα), ειδικά όταν είναι σε συνδυασμό με αυξημένο χρόνο διέλευσης και με ελαττωμένη αντίσταση ιστών (π.χ. βρεγμένο δέρμα). Το συνεχές ρεύμα είναι σε μικρότερο βαθμό επιβλαβές, αλλά σε καμία περίπτωση ακίνδυνο. Ρεύμα μικρής έντασης δημιουργεί βλάβες στην καρδιά. Για παράδειγμα, καρδιακή μαρμαρυγή κοιλιών και κόλπων, είναι κάποιες από αυτές. Το ηλεκτρικό ρεύμα μικρής έντασης μπορεί να οδηγήσει σε ανακοπή της κυκλοφορίας του αίματος, εξαιτίας καρδιακής ανακοπής ή καρδιακής μαρμαρυγής, η οποία αποτελεί συνήθη αιτία θανατηφόρων ατυχημάτων (σχήμα 3.1.). Όλα αυτά τα φαινόμενα οφείλονται στη διαρροή ρεύματος διαμέσου της καρδιάς [26]. Η μη κυκλοφορία του αίματος προκαλεί τη διακοπή της οξυγόνωσης του εγκεφάλου, ενώ ο θάνατος επέρχεται σε μόλις λίγα λεπτά. Το ρεύμα μεγάλης έντασης δημιουργεί κατευθείαν συσπάσεις αναπνευστικών μυών.



Σχήμα 3.1 : Η επιρροή του εναλλασσόμενου ρεύματος με συχνότητα 15Hz έως 100Hz στο ανθρώπινο σώμα, ανεξάρτητα από ηλικία και βάρος (όπου t =διάρκεια ρεύματος και I =ρεύμα διά του σώματος) [27].

Παρατηρείται ότι [27] [28]:

- Ζώνη 1: Κατά πάσα πιθανότητα απουσία αντίδρασης του ανθρώπινου οργανισμού

- Ζώνη 2: Κατά πάσα πιθανότητα καμία επιβαρυντική για την υγεία φυσιοπαθολογική επίδραση
- Ζώνη 3: Κατά πάσα πιθανότητα μη εμφάνιση οργανικών βλαβών. Ωστόσο, μπορεί να προκληθούν παροδικές διαταραχές των καρδιακών παλμών, μυϊκή συστολή και δυσχέρειες στην αναπνοή.
- Ζώνη 4: Πιθανή εκδήλωση καρδιακής μαρμαρυγής. Στην καμπύλη c_1 αυξάνεται η πιθανότητα γύρω στο 5%, στη c_2 μέχρι το 50% και άνω των 50% στη καμπύλη c_3 . Όσο περνά ο χρόνος και αυξάνεται το ρεύμα υπάρχει πιθανότητα να παρουσιαστούν αναπνευστική ή καρδιακή ανακοπή, καθώς και σοβαρά εγκαύματα.

Η καμπύλη b που διαχωρίζει τη ζώνη 2 από την 3 θεωρείται όριο κινδύνου με εξίσωση: $I_{ac} = I_1 + 10/t$, με I_{ac} να είναι η ενεργός ένδειξη σε mA, I_1 ενεργός ένδειξη του επιτρεπόμενου ρεύματος απελευθέρωσης (=10 mA) και t η χρονική διάρκεια σε δευτερόλεπτα [2].

Τα συμπεράσματα από τις μελέτες έκαναν ορατό πως σε ελάχιστους χρόνους του ρεύμα που επιφέρει μαρμαρυγή είναι σχετικά μεγάλο. Μάλιστα στην περίπτωση που η διάρκεια του ρεύματος είναι πιο μικρή του 1/3 της περιόδου της καρδιάς, τότε δημιουργείται σε αυξημένο ποσοστό μαρμαρυγή, αφού η ρευματοδότηση εισέλθει κατά τη διάρκεια της ευαίσθητης φάσης της καρδιάς [2].

Εκτός από τα παραπάνω, το ηλεκτρικό σοκ μπορεί να προκαλέσει βίαιη μυϊκή συστολή και αιμορραγία των μυϊκών ινών, με αποτέλεσμα την εξάρθρωση των αρθρώσεων, κατάγματα και θανατηφόρες/ακινητοποιητικές πτώσεις. Η ηλεκτροπληξία μπορεί να είναι επικίνδυνη μέσω δράσεων στο αναπνευστικό σύστημα. Διεγείρει το πνευμονογαστρικό νεύρο προκαλώντας επιβράδυνση της καρδιάς, ενώ μπορεί να προκαλέσει αγγειοσύσπασση ή και εγκεφαλικό οίδημα, σπασμούς, κώμα, αμνησία, κ.λπ. Επιπρόσθετα, για τις χαμηλές τάσεις, τα τοπικά εγκαύματα του δέρματος περιορίζονται στα σημεία εσόδου και εξόδου του ρεύματος, αλλά δεν αποτελούν άμεση αιτία θανάτου [28].

3.3. Απαιτήσεις ασφάλειας έναντι ηλεκτροπληξίας

Οι κτιριολογικές προϋποθέσεις των εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων καθορίζονται από την απόφαση 3046/304/1989, του άρθρου 30 των Εσωτερικών ηλεκτρικών

εγκαταστάσεων, αλλά και το υπουργικό διάταγμα [Α] 999/2007 (ΦΕΚ 57/Β/2007) του ισχύοντος κτηριοδομικού κανονισμού [29].

Σε κάθε Β.Η.Ε. πρέπει να πληρούνται και να τηρούνται απαιτήσεις ασφάλειας και μέτρα προστασίας, ώστε να αποφεύγονται τυχόν κίνδυνοι, που μπορεί να προκύπτουν από τη λειτουργία της. Με βάση τους κανονισμούς που ισχύουν, η εκτέλεση και η διάταξη των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων είναι απαραίτητο να κατασκευάζεται με συγκεκριμένα πρότυπα με σκοπό την αποτροπή της ηλεκτροπληξίας, η διαπέραση δηλαδή επικίνδυνου ηλεκτρικού ρεύματος στο ανθρώπινο σώμα. [29]

Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι επικίνδυνο, εξαιτίας σφάλματος στη μόνωση των ηλεκτρικών συσκευών, μηχανημάτων αλλά και αγωγών, στις εκατέρωθεν περιπτώσεις [4]:

1. Όταν υπάρχει επαφή με μεταλλικά στοιχεία σταθερών μηχανημάτων ή συσκευών, με τάση έναντι της γης, μεγαλύτερη των 250V σε οποιονδήποτε χώρο. Αλλά και με τάση έναντι της γης, από 50-250V, σε όλους τους χώρους εκτός των ξηρών χώρων σπιτιών ή γραφείων με μονωμένο δάπεδο.
2. Όταν υπάρχει επαφή με τα μεταλλικά περιβλήματα των γραμμών με τάση έναντι της γης, από 50-250V, σε όλους τους χώρους εκτός των ξηρών χώρων σπιτιών ή γραφείων και ας μην υπάρχει μονωμένο δάπεδο. Επίσης, με τάση αγωγών έναντι της γης, μεγαλύτερη των 250V σε όλους τους χώρους.
3. Όταν υπάρχει επαφή με μεταλλικά στοιχεία φορητών συσκευών, με τάση έναντι της γης, μεγαλύτερη των 50V σ' όλους τους χώρους.

Επομένως, η προστασία κατά της ηλεκτροπληξίας εξασφαλίζεται με την τήρηση των παρακάτω προϋποθέσεων [11]:

- Για το εναλλασσόμενο ρεύμα η ένδειξη της ονοματικής τάσης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 50V, ενώ για το συνεχές τα 120V.
- Σύμφωνα με την παράγραφο 411.1.2 του ΕΛΟΤ HD 384, υπάρχει μια πηγή που εξυπηρετεί την τροφοδότηση.
- Πληρούνται οι απαιτήσεις, σχετικά με τα κυκλώματα SELV και PELV, της παραγράφου 411.1.3 του ΕΛΟΤ HD 384.

Επιπλέον ο κατασκευαστής της κάθε Β.Η.Ε. υποχρεωτικά θα πρέπει να ακολουθεί κάποιες απαιτήσεις κατασκευής [4]:

- Να χρησιμοποιεί διπλή μόνωση ηλεκτρικών μηχανημάτων και συσκευών ή να έχει φροντίσει για την ύπαρξη μιας σταθερά μονωμένης θέσης.
- Να τοποθετεί όπου κρίνεται απαραίτητο, στο χώρο της ηλεκτρικής εγκατάστασης, διακόπτη διαφυγής τάσης ή έντασης.
- Να έχει «κανονίσει» να πραγματοποιείται άμεση γείωση ή ουδετέρωση.
- Να τοποθετήσει τον κατάλληλο μετασχηματιστή, στο χώρο της εγκατάστασης όπου αυτό μπορεί να είναι εφικτό, ώστε να επιτευχθεί υποβιβασμός της τάσης κάτω από 50V.
- Να χρησιμοποιεί την γαλβανική απομόνωση, σε μέρη της εγκατάστασης που κρίνει ότι μπορεί να είναι λειτουργική.
- Να χρησιμοποιεί μεταλλικά στοιχεία με προστατευτικό περίβλημα και ειδική κάλυψη, διότι μπορούν να γίνουν πολύ επικίνδυνα σε περίπτωση κάποιας βλάβης στη μόνωση. Οπότε πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο απρόσιτα από τους εργαζόμενους.

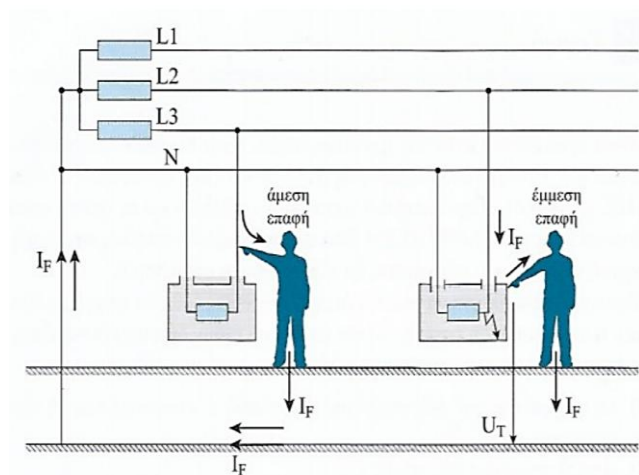
Μια τελευταία απαίτηση ασφαλείας είναι ο συστηματικός έλεγχος και η σωστή συντήρηση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Αυτού του είδους οι εργασίες θα πρέπει να γίνονται από εξουσιοδοτημένο προσωπικό, με τις σχετικές γνώσεις. Επίσης, οι εργασίες απαιτούν συγκεκριμένο και εξειδικευμένο εξοπλισμό, ώστε και οι εργαζόμενοι να είναι πλήρως ασφαλείς. Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία η συντήρηση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων πρέπει να γίνεται μια φορά το χρόνο. Οι αρμόδιοι που κάνουν αυτούς τους ελέγχους, κρίνουν τι πρέπει να αλλάξει στις εγκαταστάσεις αλλά και πόσο συχνά θα πραγματοποιούνται αυτοί. [29]

3.4. Προστασία έναντι ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή και από ταυτόχρονη άμεση και έμμεση επαφή σε B.H.E. με σύστημα γείωσης TN, TT, IT.

Η ηλεκτροπληξία, ως το πιο σοβαρό αποτέλεσμα της έκθεσης στο ηλεκτρικό ρεύμα, μπορεί να προκληθεί από άμεση ή έμμεση επαφή του σώματος με κάποια ενεργά ηλεκτρικά τμήματα.

Άμεση επαφή: Παρατηρείται στην περίπτωση που κάποιο άτομο αγγίζει ηλεκτροφόρο αγωγό, για παράδειγμα τα ηλεκτροφόρα μέρη ενός φθαρμένου ρευματοδότη (πρίζα), καλώδιο με κατεστραμμένη μόνωση, ακόμη και απροστάτευτα ηλεκτροφόρα τμήματα μιας μη καλυμμένης ηλεκτρικής συσκευής (σχήμα 3.2.) [30].

Έμμεση επαφή: Προκύπτει όταν ένας άνθρωπος άπτεται στα μεταλλικά αγείωτα τμήματα ενός εξοπλισμού, μιας συσκευής ή εγκατάστασης, που εξαιτίας ενός σφάλματος (για παράδειγμα, λόγω καταστροφής της μόνωσης ρευματοφόρων) ευρίσκονται υπό τάση (σχήμα 3.2.) [30].



Σχήμα 3. 2.: Άμεση και έμμεση επαφή, όπου I_F το ρεύμα σφάλματος και U_T η τάση επαφής [31].

Οπότε, στις B.H.E. χρειάζεται να ακολουθούνται μέτρα προστασίας, με σκοπό την αποφυγή κινδύνων από τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που διαθέτουν. Μερικά από αυτά αναφέρονται αμέσως μετά.

3.4.1. Προστασία έναντι έμμεσης επαφής σε B.H.E. με συστήματα γείωσης TN, TT, IT

Όταν η κύρια μόνωση καταστρέφεται ή είναι ανεπαρκής τότε υπάρχει κίνδυνος πρόκλησης ηλεκτροπληξίας από έμμεση επαφή. Διότι υπό αυτές τις συνθήκες, αγωγίμα μη ενεργά μεταλλικά περιβλήματα συσκευών θα βρεθούν υπό τάση με κίνδυνο ηλεκτροπληξίας σε άτομα που θα έρθουν τυχαία σε επαφή με αυτά.

Οι κατάλληλοι μέθοδοι προστασίας στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι οι ακόλουθοι [2] [32]:

1. Αυτόματη αποσύνδεση απ' το δίκτυο παροχέτευσης της ηλεκτρικής ενέργειας: Η χρήση της είναι ευρέως διαδεδομένη. Για την απόξευξη μπορεί να συνδυαστεί διακόπτης διαφορικού ρεύματος διαφυγής έντασης, καθώς και όργανα προστασίας αυτόματης διακοπής όπως ασφάλειες τήξεως και αυτόματοι διακόπτες (μικροαυτόματοι κ.λπ.). Η μέθοδος της αυτόματης αποσύνδεσης αποδίδει κατάλληλα και χρησιμοποιείται για τα δίκτυα TN, TT και IT, ενώ διαφοροποιείται με βάση τη μορφή του δικτύου. Στην αυτόματη απόξευξη χρειάζονται γειώσεις και αγωγός προστασίας, και παράλληλα, απαιτείται αξιοποίηση συμπληρωματικών ισοδυναμικών συνδέσεων. Όλα τα παραπάνω εφαρμόζονται σε όλες τις μορφές των δικτύων, τα οποία πληρούνται κάτω από κατάλληλες και ορισμένες συνθήκες.
2. Ηλεκτρικός, γαλβανικός διαχωρισμός (μετασχηματιστής απομόνωσης): Το μονοφασικό ή τριφασικό κύκλωμα υπό προστασία τροφοδοτείται μέσω μετασχηματιστή μόνωσης. Μπορεί να αξιοποιηθούν διάφορες αγείωτες πηγές, όπως ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (εναλλακτήρας ΕΡ με μηχανή εσωτερικής καύσεως, ΜΕΚ), inverter, μπαταρίες, κ.λπ. Αξιοποιείται στα εργοτάξια, σε εγκαταστάσεις προσωρινές και μικρές, καθώς και σε κήπους. Κάθε μετασχηματιστής απομόνωσης οφείλει να διαθέτει ισχυρή μόνωση ανάμεσα σε πρωτεύουν και δευτερεύον και να πληρούν συγκεκριμένους κανονισμούς, όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των μετασχηματιστών γενικής χρήσης. Επιπρόσθετα, τα συστήματα γείωσης IT πρέπει να είναι εφοδιασμένα με κατάλληλη διάταξη συνεχούς παρακολούθησης της μόνωσης της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Η διάταξη πρέπει να δώσει οπτικό ή ηχητικό σήμα σε περίπτωση εμφάνισης πρώτου σφάλματος μόνωσης, ώστε να εντοπιστεί και να απομακρυνθεί άμεσα το σφάλμα, πριν εμφανιστεί ταυτόχρονα με το πρώτο και δεύτερο σφάλμα. Στην περίπτωση αυτή, με ταυτόχρονα τα δύο

σφάλματα, το δίκτυο μετατρέπεται από δίκτυο IT σε δίκτυο TN με απρόβλεπτες συνέπειες για την ασφάλεια των χρηστών της εγκατάστασης.

3. Εφαρμογή αγείωτων ισοδυναμικών συνδέσεων: Εδώ συνδέονται ισοδυναμικά τα εξωτερικά και εκτεθειμένα μεταλλικά περιβλήματα συσκευών και μεταλλικά εσωτερικά δίκτυα. Οι αγωγοί των ισοδυναμικών συνδέσεων πρέπει να έχουν την κατάλληλη διατομή, αφού φέρουν το ρεύμα βραχυκυκλώματος σε συνθήκες σφάλματος, να οδεύουν σταθερά στην εγκατάσταση και να συνδέονται στέρεα με τα μεταλλικά περιβλήματα των συσκευών και με μεταλλικά δίκτυα που εισέρχονται στο κτήριο στο κτήριο. Ακολούθως να πραγματοποιείται σύνδεση των ισοδυναμικών αγωγών με τον κύριο ισοδυναμικό ζυγό της εγκατάστασης. Επίσης, οι ισοδυναμικοί αγωγοί δεν πρέπει να διέρχονται μέσα από μεταλλικούς σωλήνες προστασίας γιατί αυξάνεται η επαγωγική αντίδραση των αγωγών και επομένως η πτώση τάσης σ' αυτούς, κάτι που πρέπει να αποφεύγεται.
4. Αξιοποίηση εξοπλισμού με κλάση μόνωσης II ή γενικώς με ενισχυμένη μόνωση: Φέρει αρκετά ισχυρή μόνωση και αποτρέπεται η καταστροφή της. Αυτό είναι εφικτό χρησιμοποιώντας ενισχυμένη μόνωση ή κύρια και συμπληρωματική μόνωση, όπως τα καλώδια. Στην επιπρόσθετη μόνωση μπορεί να χρησιμοποιηθούν περιβλήματα με δείκτη προστασίας IP2X. Μονωτικά περιβλήματα που διαπερνώνται για στερέωση εξοπλισμού, πρέπει να διατηρούν της προστασία τους έναντι της ηλεκτροπληξίας. Επιπρόσθετα, τα τελευταία χρειάζεται να ελέγχονται για να μην διαπερνώνται από αγωγή υλικά.
5. Χρήση μη αγωγίμων χώρων για την τοποθέτηση: Η είσοδος αγωγού γείωσης PE στο χώρο απαγορεύεται. Οι τοίχοι και το δάπεδο πρέπει να είναι μονωμένοι για να πληρούνται οι συνθήκες προστασίας. Επίσης, τα αγωγή μέρη πρέπει να απέχουν πάνω από 2m και επιτρέπεται ταυτόχρονα η χρήση φραγμάτων ή κιγκλιδωμάτων. Η αντοχή των μονώσεων ανέρχεται στα 2000V. Επίσης, το δάπεδο θα πρέπει να διαθέτει αντίσταση άνω των 50 kΩ για 500V ή 100 kΩ για 500V τάση συστήματος.

3.4.2. Προστασία έναντι άμεσης και έμμεσης επαφής

Για την ασφάλεια ως προς την ταυτόχρονη προστασία από άμεση και έμμεση επαφή μπορούν να αξιοποιηθούν δύο πολύ χαμηλές τάσεις PELV ή SELV [11]. Η PELV είναι η

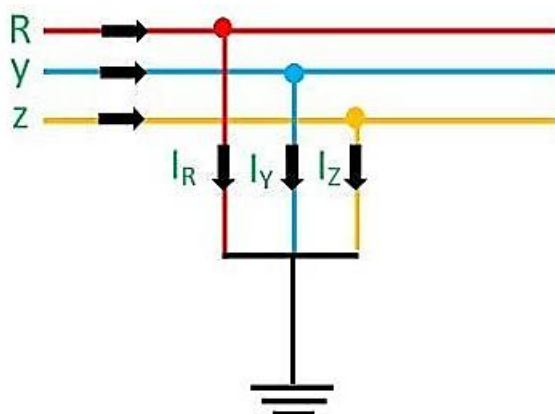
συντομογραφία του «Protective Extra Low Voltage» και αποτελεί την πολύ χαμηλή τάση προστασίας, ενώ το SELV είναι τα αρχικά του «Safety Extra Low Voltage» και αναφέρεται στην πολύ χαμηλή τάση ασφαλείας [9]. Επιπλέον, η FELV γνωστή και ως «Functional Extra Low Voltage» απευθύνεται στην πολύ χαμηλή τάση λειτουργίας και συναντάται στο IEC 60364-4-41 ως μέτρο προστασίας για την άμεση και την έμμεση επαφή. Η τελευταία μάλιστα χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένες καταστάσεις, στις οποίες χρειάζεται φύλαξη με αυτόματο περιορισμό του επιπέδου της τροφοδοσίας [11].

3.5 Σφάλματα γης (μόνωσης)

Σφάλμα μόνωσης προκαλείται όταν, λόγω καταστροφής της, προκαλείται επαφή αγωγού υπό υψηλή τάση (π.χ. αγωγοί φάσεων) με αγώγιμα μέρη τα οποία γειώνονται. Το μέγεθος του ρεύματος σφάλματος ή ρεύμα βραχυκυκλώματος εξαρτάται, εκτός από τις αντιστάσεις του δικτύου και το ύψος της τάσεως, και από την αντίσταση σφάλματος ή αλλιώς την αντίσταση του προκαλούμενου ηλεκτρικού τόξου. Η δυσμενέστερη περίπτωση είναι όταν συμβαίνει άμεση επαφή, χωρίς την παρεμβολή αντίστασης σφάλματος, του αγωγού με τη γη, δηλαδή στέρεο βραχυκύκλωμα, οπότε προκαλείται και η μέγιστη αναμενόμενη ένταση σφάλματος. Στην περίπτωση αυτή, η διακοπή του κυκλώματος πρέπει να γίνει άμεσα. Οι καταστροφές σε στύλους, οι σφοδροί άνεμοι, η κατάρρευση των δέντρων σε γραμμές και οι κεραυνοί είναι κάποιοι από τους λόγους πρόκλησης σφαλμάτων [33]. Σε μόνιμα, προσωρινά και σφάλματα με επανένανση διαχωρίζονται τα σφάλματα. Μόνιμο είναι το σφάλμα, το οποίο προκαλεί μόνιμη βλάβη στο σύστημα π.χ. Διαλυμένος εξοπλισμός. Αντιθέτως, το προσωρινό σφάλμα, δε δημιουργεί κάποια μόνιμη βλάβη σε κανένα σημείο του συστήματος. Αν διακοπεί η λειτουργία του κυκλώματος και μετά από λίγο ξανά συνδεθεί, το σύστημα εξακολουθεί να έχει σωστή λειτουργία. Όσον αφορά τα σφάλματα με επανένανση, ανήκουν στην κατηγορία των παροδικών σφαλμάτων, απλώς δεν χάνονται αλλά κάνουν την εμφάνισή τους ξανά. Για να εξαφανιστούν, θα πρέπει να παρέμβουν άτομα του προσωπικού όπως συμβαίνει και στα μόνιμα σφάλματα. Βέβαια τα σφάλματα επανένανσης ενέχουν σοβαρούς κινδύνους για το σύστημα, μιας και οι υπερτάσεις που συμβαίνουν κατά τη διακοπή και μετά εμφανίζονται ξανά, δημιουργούν διηλεκτρικές καταπονήσεις. Επίσης, τα

σφάλματα, αναλόγως την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαπερνά το δίκτυο διακρίνονται σε δύο κατηγορίες [34]:

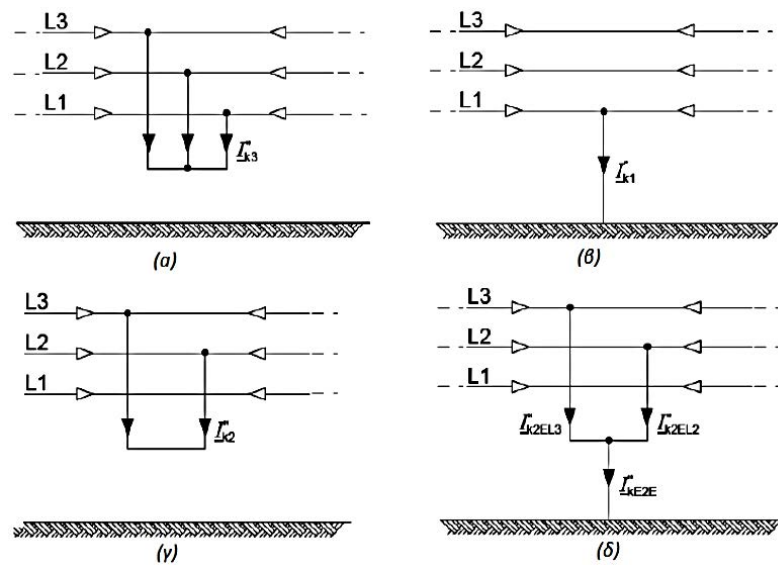
α) συμμετρικά σφάλματα, είναι τα στέρα ή μη τριφασικά βραχυκυκλώματα, δηλαδή όταν σε κάποιο σημείο του δικτύου έλθουν σε επαφή και οι τρεις φάσεις μεταξύ τους (σχήμα 3.3.). Αυτού του είδους τα σφάλματα παραμένουν σε μια ισορροπία, δηλαδή διατηρούν τη συμμετρία τους με την προϋπόθεση ότι έχει πραγματοποιηθεί διαδοχική μετατόπιση των τριών φάσεων της γραμμής. Είναι αρκετά σημαντικός τύπος σφάλματος που αναφέρεται σε πιο μεγάλα ρεύματα, όμως η παρουσία του είναι σπάνια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αξιοποιείται ισορροπημένος υπολογισμός βραχυκυκλώματος με σκοπό να προσδιοριστούν αυτά τα μεγάλα ρεύματα.



Σχήμα 3.3.: Συμμετρικό σφάλμα [35]

β) ασύμμετρα σφάλματα, εδώ οι βλάβες σχετίζονται με μόνο μία ή δύο φάσεις. Οι γραμμές τοποθετούνται ασύμμετρα (σχήμα 3.4.). Αυτές οι κατηγορίες σφαλμάτων υπάρχουν μεταξύ γραμμών ή μεταξύ γραμμής και γης, ενώ στις σύνθετες αντιστάσεις της φάσης, το ασύμμετρο σφάλμα βραχυκύκλωσης είναι μη ισορροπημένο. Τα σφάλματα βραχυκύκλωσης διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- τριφασικό σφάλμα
- διφασικό σφάλμα
- διφασικό σφάλμα προς γη
- μονοφασικό σφάλμα γης



Σχήμα 3.4.: (α)τριφασικό σφάλμα (β)μονοφασικό σφάλμα γης (γ)διφασικό σφάλμα (δ)διφασικό σφάλμα γης [36].

3.6. Παρουσίαση και διερεύνηση τεχνικών περιορισμού τάσεων επαφής για σφάλματα μόνωσης στη XT και MT B.H.E.

Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που απαγορεύεται η αυτόματη διακοπή της τροφοδοσίας, όταν παρουσιαστεί το πρώτο σφάλμα προς γη (βλάβη μόνωσης, άμεση και έμμεση επαφή), εξαιτίας της σημαντικότητας των ενεργειών που πραγματοποιούνται σε αυτές τις εγκαταστάσεις, είναι δυνατή η προστασία των ατόμων έναντι ηλεκτροπληξίας - από άμεση ή έμμεση επαφή- με την κατασκευή απομονωμένου δικτύου IT. Σε εγκαταστάσεις χαμηλής ισχύος, π.χ. μονοφασικές, η τροφοδοσία φορτίου με την τεχνική του απομονωμένου δικτύου (IT) πραγματοποιείται συνήθως μέσω μετασχηματιστή απομόνωσης με αγείωτο το δευτερεύον τύλιγμα. Με αγείωτη την πλευρά του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή απομόνωσης, σε περίπτωση σφάλματος μόνωσης, δεν υπάρχει κλειστή διαδρομή για το ρεύμα σφάλματος, οπότε αποφεύγεται και ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας. Ο μόνος δρόμος επιστροφής του ρεύματος σφάλματος προς την πηγή είναι μέσω των χωρητικών ζεύξεων των αγωγών της γραμμής του δευτερεύοντος, το οποίο ρεύμα γίνεται υπολογίσιμο μόνο για μεγάλα μήκη γραμμών. Για την αποφυγή των ρευμάτων ζεύξης, το μήκος γραμμής τροφοδοσίας του φορτίου στο δευτερεύον πρέπει να μην υπερβαίνει μια μέγιστη επιτρεπτή τιμή. Οι κατάλληλοι αγωγοί προστασίας γειώνουν τα εκτεθειμένα αγωγίμα στοιχεία της B.H.E. με ισοδυναμικό τρόπο. Αν, λοιπόν, προκύψει πρώτο σφάλμα ανάμεσα σε ένα

εκτεθειμένο αγωγίμο μέρος ή αγωγού προς γη ή ενεργού μέρους τότε αποτρέπεται η χρήση αυτόματων διακοπών διαρροής, μιας και δεν πρέπει να συμβεί αυτόματη διακοπή της τροφοδοσίας. Γι' αυτό, χρειάζεται η ανάλογη συσκευή μέτρησης σύνθετης αντίστασης της μόνωσης για το αποξενωμένο σύστημα, που θα πληροφορεί τους παρευρισκόμενους της Β.Η.Ε. για το σφάλμα, μέσω ακουστικής και οπτικής ένδειξης. Αν τώρα συμβεί και δεύτερο σφάλμα και το πρώτο δεν έχει επιδιορθωθεί ακόμη, τότε απαιτείται η αυτόματη διακοπή της τροφοδοσίας, με την αρωγή των απαραίτητων μέτρων ασφαλείας. Για να είμαστε σε θέση να πούμε ότι μια Β.Η.Ε. αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο σύστημα ασφαλείας για τα κυκλώματα που την ρευματοδοτούν, θα πρέπει να διαθέτει τα παρακάτω [37], [38]:

- Μ/Σ απομόνωσης, οι οποίοι είναι μονοφασικοί με δύο διαφορετικά τυλίγματα, το πρωτεύον και το δευτερεύον. Θα πρέπει να προσφέρουν γαλβανική απομόνωση και τα τυλίγματα ανάμεσά τους να έχουν διπλή ή ενισχυμένη μόνωση ώστε να περιορίζεται το ρεύμα διαρροής ανάμεσα στο πρώτο και δεύτερο τύλιγμα και σε ένταση να μην ξεπερνούν τα 3,5 mA. Επιπλέον, χρειάζεται να είναι θωρακισμένοι με μέταλλο, που θα τερματίζει σε ακροδέκτη στην μπροστινή μεριά των Μ/Σ και εκεί θα ενώνονται με αγωγό ισοδυναμικής γείωσης. Παράλληλα, η ύπαρξη αισθητηρίων θερμοκρασίας είναι απαραίτητη στο δευτερεύον τύλιγμα. Αυτά τα αισθητήρια «κουμπώνουν» σε κλέμμες με σκοπό τη σύνδεση στον επιτηρητή μόνωσης. Τέλος, σε μεταλλικά ερμάρια με δυνατότητα εξαερισμού θα πρέπει να τοποθετούνται οι μετασχηματιστές, ακολουθώντας το πρότυπο IEC 60439-2 [37].
- Μονάδα επίβλεψης της μόνωσης του δευτέρου τυλίγματος των Μ/Σ και θα πρέπει να συμφωνεί με τα αντίστοιχα πρότυπα. Επίσης, για να αποφεύγονται περιπτώσεις πυρκαγιάς και καταστροφής των μονώσεων ο επιτηρητής μόνωσης χρειάζεται να έχει τοποθετημένες διατάξεις ελέγχου της έντασης και της θερμοκρασίας. Επιπλέον χρειάζεται να διαθέτει και κάποια άλλα χαρακτηριστικά, τα ακόλουθα [38]:
 - ❖ Εγκατεστημένο σύστημα αυτοδιάγνωσης το οποίο διαρκώς θα πραγματοποιεί έλεγχο στην ηλεκτρική συνέχεια της καλωδίωσης, ώστε σε περίπτωση κάποιας βλάβης, να γίνει άμεση ενημέρωση.
 - ❖ Εγκατεστημένη διάταξη για να μετριέται το ρεύμα του δευτερεύοντος τυλίγματος, μέσα από την έμμεση μέτρηση με Μ/Σ έντασης με έξοδο /5A και διατάσσοντας τη μέτρηση της θερμοκρασίας των τυλιγμάτων με τη βοήθεια των αισθητήρων PT100 και PTC.

- ❖ Ο επιτηρητής μόνωσης να είναι απολύτως ρυθμιζόμενος με βάση συνθήκες του κάθε χρήστη, η ενεργοποίηση ηχητικού σήματος (συναγερμός) της αντίστασης μόνωσης, έχοντας ακέραιες τιμές από 50 έως 500 kΩ.
 - ❖ Τοποθετημένη ψηφιακή οθόνη LCD, ώστε ο ενδιαφερόμενος να μπορεί ανά πάσα στιγμή να παρακολουθεί την ένδειξη της αντίστασης με ακρίβεια, ακόμα και αν αυτή οριοθετείται σε κλίμακα μικρότερη των 50 kΩ.
- Συσκευή αναγγελίας βλάβης για εγκατάσταση σε κομβικό σημείο της βιομηχανικής εγκατάστασης, η οποία μονάδα θα μετατρέπει τα σήματα, που θα παίρνει από τους επιτηρητές μόνωσης ηχητικό και οπτικό σήμα αντίστοιχα. Επιπλέον, οι εργασίες συντήρησης, οι οποίες βοηθούν στην ομαλή λειτουργία του εξοπλισμού, θα πρέπει να πραγματοποιούνται σε κοντινά χρονικά διαστήματα. Τέλος, στον πίνακα 3.2. παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά που χρειάζεται να έχει ο εξοπλισμός μας.

Προβλεπόμενα	Πράσινο LED: Συνδεδεμένο κύκλωμα Κίτρινο LED: Επισήμανση χαμηλής αντίστασης μόνωσης, μέσω ηχητικού σήματος (σειρήνα) Κόκκινο LED: Ένδειξη υπερφόρτωσης
Κουμπιά ελέγχου	Σίγαση, δοκιμή
Διατομή κάθε καλωδίου	2,5 mm ²
Βαθμός προστασίας εξοπλισμού	IP 30
Εγκατάσταση	Χωνευτή εγκατάσταση σε σχετικό κουτί
Βάρος	200 γρ.
Περιοχή θερμοκρασίας λειτουργίας	-10 ÷ 60°C, με μέγιστη τιμή υγρασίας στο 95%
Προϋποθέσεις	Αντικείμενο: CEI EN 61557-8 / CEI 64.8/7-710 V2/ IEC 60364-7-710 UNE 20615 Εγγύηση: CEI EN 61010-1
Συμβατότητα (ηλεκτρομαγνητική)	CEI EN 61326-1

Πίνακας 3.2.: Τεχνικά χαρακτηριστικά περιορισμού τάσεων επαφής για σφάλματα μόνωσης στο σύστημα IT [38].

Όσον αφορά τα συστήματα TN ο εξοπλισμός τροφοδοσίας και διανομής τους θα πρέπει να είναι βαθμού προστασίας IP44. Άρα, παρέχεται μηχανική προστασία από αντικείμενα με πάχος άνω του 1mm αλλά και προστασία από διείσδυση νερού. Επίσης, περιλαμβάνονται διακόπτες απομόνωσης για κυκλώματα ελέγχου αλλά και για την απομόνωση της τροφοδοσίας που εισέρχεται. Ο διακόπτης φορτίου θα πρέπει να βρίσκεται ασφαλισμένος ή

«κλειδωμένος». Επίσης, όλοι οι αγωγοί, μαζί και ο ουδέτερος πρέπει να αποσυνδέονται από τους διακόπτες έκτακτης ανάγκης [39]. Οι βιομηχανικοί ρευματοδότες χρειάζεται να έχουν χαμηλή τάση SELV και με διατάξεις διαφορικού ρεύματος (RCD) με ρεύμα λειτουργίας τα 30mA και διαφορετικοί μετασχηματιστές τροφοδοτούν το κάθε τροφοδοτικό σύστημα. Επιπλέον, τα κυκλώματα τροφοδοσίας του εξοπλισμού πρέπει να ρευματοδοτούνται από ένα συγκρότημα διανομής, το οποίο παρέχει προστασία έναντι υπερεντάσεων, πρίζες (όπου χρειάζεται) οι οποίες να περικλείονται σε συγκρότημα διανομής στερεωμένο σε κάποιο χώρο της εγκατάστασης και ένα τοπικό RCD εάν κρίνεται απαραίτητο. Στο σύστημα TN, τα κυκλώματα διανομής σε περίπτωση που οι αγωγοί PE και φάσεων έχουν την ίδια διατομή, ισχύει $U_t = c \cdot U_0$, όπου U_t είναι το μέγεθος της τάσης αφής, το «c» είναι ένας συμβατικός παράγοντας που μπορεί να είναι = 0,8 και U_0 η ονομαστική φασική τάση. Αυτό σημαίνει ότι σε συνθήκες σφάλματος, η τάση σφάλματος, η οποία επιβάλλει και το ρεύμα σφάλματος, είναι το 80% της ονομαστικής φασικής τάσης του δικτύου και όχι η ονομαστική τάση. Δηλαδή, θεωρείται ότι το ποσοστό 20% της ονομαστικής τάσης αντιπροσωπεύει την πτώση τάσης στο εσωτερικό του δικτύου παροχέτευσης της εγκατάστασης που βρίσκεται ανάντη της θέσης σφάλματος. Τέλος, αξιοσημείωτο είναι πως επιτρεπόμενος χρόνος αποσύνδεσης δεν πρέπει να ξεπερνά τα 5s για γραμμές παροχών και κυκλώματα διακλάδωσης σταθερών

συσκευών και 0.4s για κυκλώματα που τροφοδοτούν φορητές συσκευές ονομαστικής τάσης 230 V, αλλά και για τα κυκλώματα που δεν υποστηρίζονται από το πρότυπο 411.3.2.2. Στον πίνακα 3.3. παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται στον εξοπλισμό [40].

Πίνακας 3.3.: Τεχνικά χαρακτηριστικά περιορισμού τάσεων επαφής για σφάλματα μόνωσης στο σύστημα TN [39],[40],[41].

Καλώδια και συνδέσεις	περιβάλλονται από μηχανική προστασία
Ρεύμα λειτουργίας RCD	<30 mA
Τάση προ σφάλματος	$U_t = c \cdot U_0$, με $c=0,8$
Βαθμός προστασίας	IP44
Τάση λειτουργίας εγκατάστασης	σε τάσεις >1kV
Χρόνος αποσύνδεσης	<5s και 0,4s
Αντίσταση αγωγού PE και φάσεις	Z'_{PE} και Z_L
Πρότυπα	σύμφωνα με το EN 60669-2-1/IEC 364-4-41 1982

Σχετικά με τα συστήματα TT το σύνολο των εκτεθειμένων αγωγίμων τμημάτων χρειάζεται να συνδέεται με τους αγωγούς προστασίας PE σε κάποιο ηλεκτρόδιο γείωσης. Στα δίκτυα τροφοδοσίας XT γειώνεται άμεσα ο ουδέτερος κόμβος του Μ/Σ στον υποσταθμό και αυτό γίνεται και για τους δύο τύπους δικτύων TN και TT. Εάν δεν υπάρχει διαθέσιμος κόμβος, τότε επιλέγεται μία από τις τρεις φάσεις και γειώνεται. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60364-4-41 στα συστήματα TT και TN η προστασία της εγκατάστασης έναντι υπερεντάσεων (π.χ. από βραχυκυκλώματα) εξασφαλίζεται από αυτόματες προστατευτικές διατάξεις (αυτόματοι διακόπτες ισχύος ασφάλειες τήξεως) που παρεμβάλλονται στην αναχώρηση των γραμμών στους πίνακες διανομής. Απαραίτητη προϋπόθεση για την αξιόπιστη λειτουργία των προστατευτικών διατάξεων είναι η χαμηλή αντίσταση του βρόχου σφάλματος, ο οποίος περιλαμβάνει την εσωτερική αντίσταση της πηγής και τις αντιστάσεις των αγωγών φάσης και προστασίας. Όταν χρησιμοποιείται RCD οι άνθρωποι φυλάσσονται από την ηλεκτροπληξία, διασφαλίζοντας ότι η τάση επαφής δεν υπερβαίνει τα 50V (rms) [42] [43]. Θεωρώντας τα 50V ως οριακή τάση, για να επιτευχθεί η προστασία από έμμεση επαφή μέσω συσκευών RCD είναι απαραίτητο να πληρείται η εξής συνθήκη [44]:

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50V \text{ οπότε: } R_A \leq \frac{50V}{I_{\Delta n}} .$$

Όπου:

R_A είναι η συνολική αντίσταση (σε ohm) του ηλεκτροδίου γείωσης και του αγωγού προστασίας των εκτεθειμένων αγωγίμων μερών

$I_{\Delta n}$ είναι το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας της διάταξης υπολειπόμενου ρεύματος του διακόπτη.

Τέλος, όσον αφορά τους χρόνους αποσύνδεσης το πρότυπο διακρίνει δύο δυνατότητες:

1. Στα ονομαστικά ρεύματα που δεν ξεπερνούν τα 32A τηρούνται οι ακόλουθοι χρόνοι:

- Αν, $50V < U_0 \leq 120V$ τότε για το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι 0,3s.

- Αν, $130V < U_0 \leq 230V$ τότε για το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι 0,2s και για το συνεχές ρεύμα 0,4s.

- Αν, $230V < U_0 \leq 400V$ τότε για το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι 0,4s και για το συνεχές ρεύμα είναι 0,8s.

- Αν, $U_0 > 400V$ τότε για το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι 0,1s και για το συνεχές ρεύμα 0,2s.

2. Για ονομαστικά ρεύματα μεγαλύτερα από 32A, η διακοπή πρέπει να γίνεται σε χρόνο μικρότερο από 1s.

Πίνακας 3.4.: Τεχνικά χαρακτηριστικά περιορισμού τάσεων επαφής για σφάλματα μόνωσης στο σύστημα TT [41],[42],[43],[44].

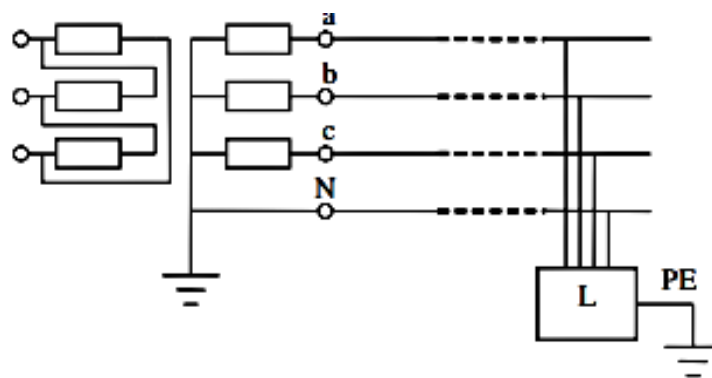
Προστασία από ρεύματα διαρροής	Απαιτείται RCD
Τάση λειτουργίας	$>50V$
Ρεύμα λειτουργίας RCD	$< 30mA$
Διατομή καλωδίου	$10 \text{ mm}^2 - 16 \text{ mm}^2$
Βαθμός προστασίας	IP20B
Περιοχή θερμοκρασίας λειτουργίας	$-25^\circ C \text{ έως } +50^\circ C$
Χρόνος αποσύνδεσης	$< 1s$
Αντίσταση ηλεκτροδίου γείωσης της εγκατάστασης	$R_A \leq 50V / I_{\Delta n}$
Πρότυπο	IEC 60364-4-41

3.7. Μελέτη περίπτωσης υπολογισμού τάσεων επαφής σε BHE με σύστημα γείωσης TN, TT και IT.

Η χρήση μετατροπέων ισχύος σε ηλεκτρικές μονάδες έχει σημειώσει αξιοσημείωτη άνοδο τα τελευταία χρόνια. Αυτή η αύξηση μπορεί να αποδοθεί στην αυξανόμενη ανάγκη για βελτιωμένη αξιοπιστία τροφοδοσίας σε μονάδες τροφοδοσίας AC. Επιπλέον, οι μετατροπείς ισχύος χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε μονάδες τροφοδοσίας DC λόγω της καταλληλότητάς τους για ορισμένες εφαρμογές, όπως οι γαλβανικές διεργασίες. Στην πλειονότητα των αστικών ή βιομηχανικών χρήσεων, η ενέργεια παρέχεται μέσα στα κτίρια με τριφασικά ηλεκτρικά συστήματα, τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν ή όχι ουδέτερη γραμμή. Αυτές οι εγκαταστάσεις έχουν τη δυνατότητα να τροφοδοτούνται είτε με άμεση τροφοδοσία από σύστημα XT είτε, εναλλακτικά, με τη χρήση Μ/Σ για σύνδεση σε τροφοδοτικό συστήματος MT.

Από την άποψη της εφαρμογής, οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις μπορούν να υλοποιηθούν χρησιμοποιώντας τρία τυπικά είδη. Αυτά τα είδη κατηγοριοποιούνται με βάση την κατάσταση γείωσης της δευτερεύουσας περιέλιξης του μετασχηματιστή και την κατάσταση γείωσης του πλαισίου φορτίων [45].

A) Το σύστημα TT (σχήμα 3.5.) χρησιμοποιείται όταν η ενέργεια παρέχεται απευθείας από μια κοινή επιχείρηση χρησιμοποιώντας ένα σύστημα χαμηλής τάσης. Ο μετασχηματιστής MT/XT στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις εγκαθίσταται σε στεγασμένο κατάλληλο κτήριο (υποσταθμός). Τα τυλίγματα του συνδέονται συνήθως σε συνδεσμολογία τριγώνου-αστέρα και ο ουδέτερος κόμβος του αστέρα γειώνεται απευθείας με την εγκατάσταση γείωσης του υποσταθμού. Τα μεταλλικά περιβλήματα συσκευών στον καταναλωτή συνδέονται αγωγίμα μέσω αγωγού PE με τοπική εγκατάσταση γείωσης η οποία είναι ανεξάρτητη και δε συνδέεται με την εγκατάσταση γείωσης του υποσταθμού.



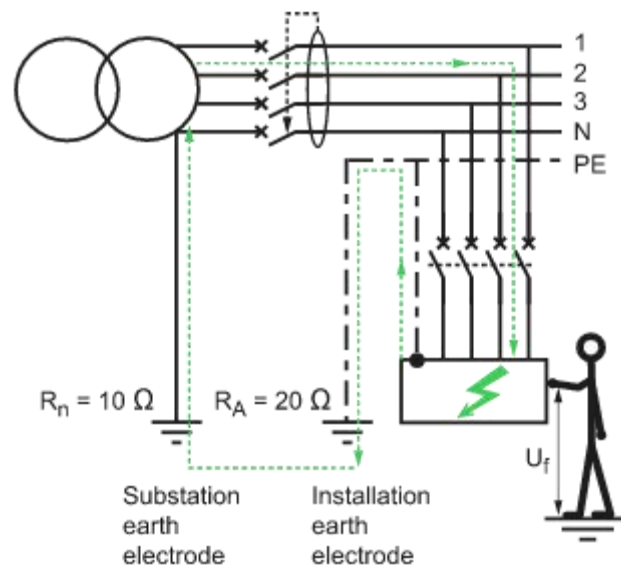
Σχήμα 3.5.: Διάγραμμα συστήματος TT [45].

Σε συστήματα γείωσης TT συνήθως τοποθετούνται ειδικές συσκευές, οι οποίες είναι γνωστές και ως Residual Current Devices (RCDs), παρέχοντας προστασία και μειώνοντας την πιθανότητα πυρκαγιάς Από ρεύματα διαρροής. Κάθε σφάλμα μόνωσης προκαλεί διακοπή ρεύματος, αλλά η διακοπή περιορίζεται στο ελαττωματικό μέρος όταν υπάρχουν συνδεδεμένα τα RCDs.

Επισημαίνεται πως όλα τα εκτεθειμένα αγωγίμα τμήματα της εγκατάστασης πρέπει να συνδέονται με ένα κοινό ηλεκτρόδιο γείωσης και ο ουδέτερος του μετασχηματιστή γειώνεται με ξεχωριστό ηλεκτρόδιο γείωσης. Ως εκ τούτου, σε περίπτωση σφάλματος μόνωσης, η σύνθετη αντίσταση αποτελείται κυρίως την αντίσταση των δύο ηλεκτροδίων γείωσης σε σειρά. Το ρεύμα σφάλματος μόνωσης είναι πολύ μικρό προκειμένου να

ενεργοποιηθούν ασφάλειες υπερέντασης, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η σύνδεση ενός RCD με ευαισθησία $I_{\Delta n} < \frac{50}{R_a}$, (όπου R_a είναι η αντίσταση του ηλεκτροδίου γείωσης εγκατάστασης), για την αυτόματη αποσύνδεση του συστήματος. Η τάση επαφής πρέπει να είναι μικρότερη από το συμβατικό όριο ασφαλείας που είναι 50 V.

Για τον υπολογισμό της τάσης επαφής σε περίπτωση σφάλματος μόνωσης σε ένα σύστημα γείωσης TT θεωρούμε το ακόλουθο παράδειγμα (σχήμα 3.6), όπου φαίνεται και ο βρόχος σφάλματος που δημιουργείται:

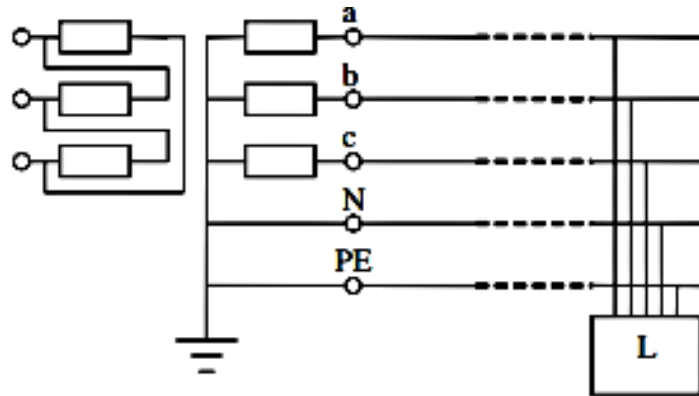


Σχήμα 3.6.: Ο βρόχος σφάλματος στην περίπτωση συστήματος γείωσης TT [46].

Θεωρούμε πως το ηλεκτρόδιο γείωσης του ουδετέρου στο μετασχηματιστή έχει αντίσταση $R_n = 10 \text{ Ohm}$. Αντίστοιχα, το ηλεκτρόδιο γείωσης της εγκατάστασης έχει αντίσταση $R_A = 20 \text{ Ohm}$. Επομένως, η συνολική αντίσταση των ηλεκτροδίων γείωσης (σύνδεση σε σειρά) είναι $R_T = R_A + R_n = 30 \text{ Ohm}$. Το ρεύμα βρόχου γείωσης είναι $I = \frac{V_0}{R_T} = \frac{230}{30} = 7.7 \text{ A}$. Η τάση επαφής μπορεί να υπολογιστεί ως $U_f = R_A \cdot I = 20 \cdot 7.7 = 154 \text{ V}$. Η τάση αυτή είναι αρκετά μεγάλη και με ρεύμα $50/20 = 2.5 \text{ A}$, που σημαίνει ότι εάν τοποθετηθεί ένα RCD των 30mA, τότε θα ενεργοποιηθεί σε περίπου 30 ms χωρίς σκόπιμη χρονική καθυστέρηση, εάν συμβεί υπέρβαση της τάσης σφάλματος σε ένα εκτεθειμένο-αγώγιμο μέρος.

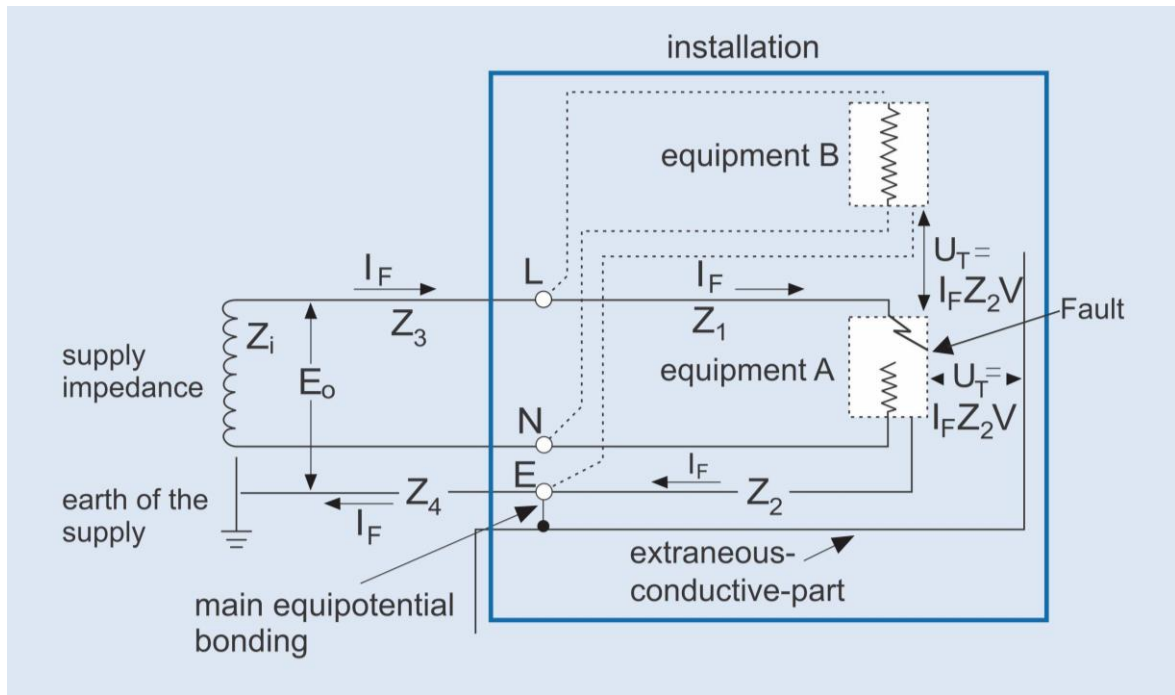
B) Το σύστημα TN (σχήμα 3.7.) απαιτεί από τους χρήστες που λαμβάνουν ρεύμα μέσω ενός συστήματος MT να εγκαταστήσουν έναν Μ/Σ MT-XT για λόγους χρήσης και ασφαλείας.

Το παρόν σύστημα διαθέτει μια μοναδική εγκατάσταση γείωσης που εξυπηρετεί τους διπλούς σκοπούς της γείωσης του ουδέτερου κόμβου του ΜΣ ΜΤ/ΧΤ, των μεταλλικών μερών του εξοπλισμού ΜΤ και ΧΤ στον υποσταθμό, καθώς και των μεταλλικών περιβλημάτων στην εγκατάσταση ΧΤ του καταναλωτή.



Σχήμα 3.7.: Διάγραμμα συστήματος TN [45].

Στην περίπτωση που άτομο έλθει τυχαία σε ταυτόχρονη επαφή μεταξύ του μεταλλικού περιβλήματος βλαβέντος εξοπλισμού ο οποίος συνδέεται σε αγωγό PE και με μεταλλικό περίβλημα συσκευής η οποία δε συνδέεται με αγωγό PE ή με εισερχόμενο γειωμένο μεταλλικό δίκτυο, τότε το άτομο δέχεται την τάση επαφής U_T (σχήμα 3.8.).



Σχήμα 3.8.: Βασικό σχηματικό διάγραμμα για σύστημα γείωσης TN-S που δείχνει τάσεις επαφής [47].

Η τάση αυτή υπολογίζεται ως εξής σύμφωνα με το κυκλωματικό διάγραμμα στο σχήμα 3.8.:

$$U_T = I_F \cdot Z_2 \Rightarrow E_0 \left(\frac{Z_2}{Z_E + Z_1 + Z_2} \right) \Rightarrow E_0 \left(\frac{Z_1 + Z_2}{Z_E + Z_1 + Z_2} \right) \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right).$$

Εάν θέσουμε $c = \frac{Z_1 + Z_2}{Z_E + Z_1 + Z_2}$, και αντικαταστήσουμε, η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$U_T = E_0 \left(\frac{Z_1 + Z_2}{Z_E + Z_1 + Z_2} \right) \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right).$$

Στην περίπτωση που οι αγωγοί του κυκλώματος έχουν διατομή μικρότερη από 35 mm^2 , η αντίστασή τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί της σύνθετης αντίστασής τους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί η U_0 ως η ονομαστική τάση προς τη γείωση της τροφοδοσίας αντί της E_0 . Προκύπτει λοιπόν η ακόλουθη σχέση:

$$U_T = U_0 c \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right).$$

Επιπλέον, εάν οι αγωγοί έχουν εμβαδόν διατομής που δεν υπερβαίνει τα 35 mm^2 , για τους αγωγούς φάσης και προστασίας που είναι από το ίδιο υλικό και έχουν διατομές A_1 και A_2 αντίστοιχα, ισχύει:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{A_2}{A_1} = m.$$

Συνεπώς, η εξίσωση γίνεται:

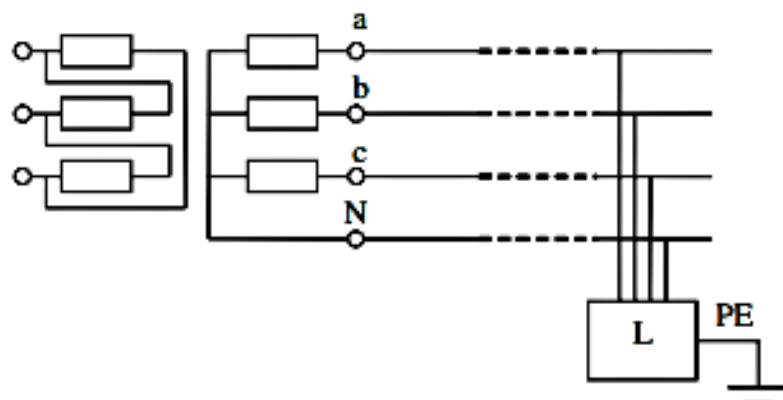
$$U_T = U_0 \cdot c \left(\frac{m}{m+1} \right),$$

Όπου ο συντελεστής c αντιπροσωπεύει την αναλογία της διαθέσιμης τάσης τροφοδοσίας στο σημείο αναφοράς κατά τη λειτουργία της προστατευτικής διάταξης και η τιμή m αντιπροσωπεύει το λόγο του εμβαδού διατομής του αγωγού φάσης σε σύγκριση με το εμβαδόν διατομής του προστατευτικού αγωγού γείωσης στο εξεταζόμενο κύκλωμα.

Θεωρώντας $c = 0.8$ και $m = 1$ προκύπτει η τάση επαφής:

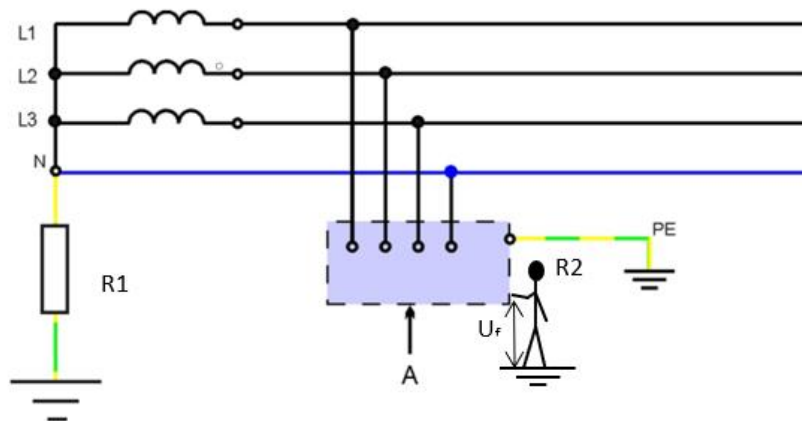
$$U_T = 230 \cdot 0.8 \cdot \left(\frac{1}{1+1} \right) = 92 \text{ V}.$$

Γ) Το σύστημα IT (σχήμα 3.9.) χρησιμοποιείται όταν ο χρήστης απαιτεί μια αξιόπιστη τροφοδοσία XT, αν και παρέχεται ισχύς με μειωμένη τάση, λόγω ειδικών συνθηκών. Ο Μ/Σ ΜΤ-ΧΤ είναι εξοπλισμένος με συνδέσεις τριγώνου και είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το κοινό δευτερεύον σημείο περιέλιξης δεν είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένο με το σύστημα γείωσης. Τα εκτεθειμένα αγωγίμα μέρη της εγκατάστασης είναι μονωμένα. Το σύστημα IT παρουσιάζει μια ορισμένη απόκριση σε περίπτωση αρχικής βλάβης γείωσης. Σε περίπτωση αρχικής εμφάνισης σφάλματος γείωσης, το σύστημα λειτουργεί σύμφωνα με τις αρχές ενός συστήματος TT.



Σχήμα 3.9.: Διάγραμμα συστήματος IT [45].

Επισημαίνεται πως στο εν λόγω σύστημα σύνδεσης των γειώσεων και στην περίπτωση ενός σφάλματος της μόνωσης μεταξύ μιας φάσης και ενός εκτεθειμένου αγωγίμου μέρους ή του αγωγού προστασίας, το ρεύμα σφάλματος κυκλοφορεί μέσω των χωρητικοτήτων των αγωγών του συστήματος τροφοδότησης και της εγκατάστασης προς τη γη, αν το σύστημα τροφοδότησης είναι πλήρως μονωμένο προς τη γη, ή και μέσω της σύνθετης αντίστασης, αν το σύστημα συνδέεται με τη γη με μια τέτοια αντίσταση (μεγάλης τιμής). Εξαιτίας της απουσίας γείωσης του συστήματος τροφοδότησης ή της μεγάλης τιμής της σύνθετης αντίστασης γείωσης του συστήματος, το ρεύμα σφάλματος είναι τόσο μικρό, ώστε να μην προκαλεί την εμφάνιση επικίνδυνης τάσης επαφής (σχήμα 3.10.). Επικίνδυνη τάση επαφής είναι δυνατόν να εμφανισθεί στην περίπτωση ενός δεύτερου σφάλματος μιας άλλης φάσης ή του ουδέτερου.



Σχήμα 3.10.: Διάγραμμα συστήματος γείωσης IT για υπολογισμό τάσης επαφής.

Αυτή η μικρή τιμή της τάσης επαφής επαληθεύεται και μέσω της σχέσης:

$$U_f = R_2 \cdot I \Rightarrow U_f = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_0 ,$$

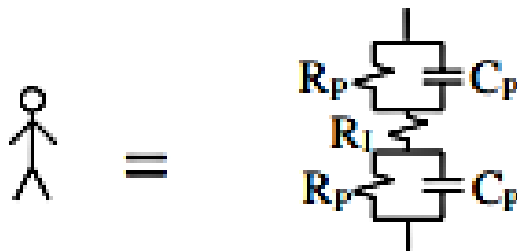
Όπου R_1 και R_2 είναι η αντίσταση του ηλεκτροδίου γείωση του ουδετέρου στο μετασχηματιστή και του ηλεκτροδίου γείωσης της εγκατάστασης αντίστοιχα.

Επειδή, όμως, όπως αναφέρθηκε η αντίσταση R_1 στο σύστημα αυτό γείωσης είναι πολύ μεγάλη δεδομένου ότι όλα τα ενεργά μέρη είναι μονωμένα προς τη γη. Άρα δεδομένου αυτού και λόγω της παραπάνω σχέσης προκύπτει πως η τάση επαφής είναι πολύ μικρή (αμελητέα).

3.8. Συγκριτική παρουσίαση τάσεων επαφής και εξαγωγή συμπερασμάτων για τα συστήματα γείωσης TN, TT, IT στη μελέτη περίπτωσης.

3.8.1. Η έννοια του ισοδύναμου κυκλώματος ατόμου.

Η διερεύνηση των τάσεων επαφής και των ρευμάτων διαρροής σε διαφορετικά σχήματα απαιτεί τη χρήση ενός ισοδύναμου κυκλώματος (σχήμα 3.11.) που μπορεί να απεικονίσει με ακρίβεια τη μελέτη περίπτωσης, λαμβάνοντας επίσης υπόψη την ποικιλία των παραμέτρων. Από την άποψη της ηλεκτρικής ασφάλειας, μπορεί να φανεί ότι όταν τα άτομα υφίστανται ηλεκτροπληξία ως αποτέλεσμα έμμεσης επαφής σε ένα κύκλωμα XT εντός του εξεταζόμενου εύρους συχνοτήτων, η συμπεριφορά τους μπορεί να χαρακτηριστεί ως ωμική χωρητική, ανεξάρτητα από τη συγκεκριμένη τάση και εμπλεκόμενες τιμές συχνότητας.



Σχήμα 3.11.: Το ισοδύναμο κύκλωμα ατόμου [45].

Αυτό το μοντέλο κυκλώματος λαμβάνει υπόψη μόνο τη χωρητική επίδραση του δέρματος (C_P) και τα αγωγάμα αποτελέσματα του σώματος (R_P και R_I). Στους υπολογισμούς

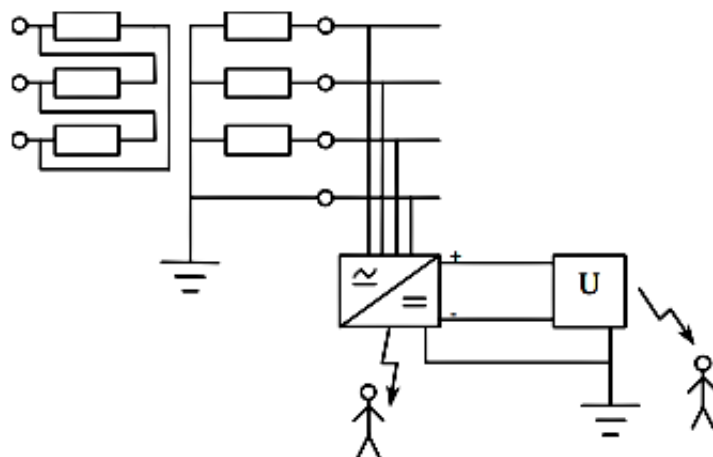
χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες τιμές για την ανθρώπινη αντίσταση και τη χωρητική αντίστοιχα: $R_P = 500\Omega$ και $R_I = 600\Omega$ [48] και $C_P = 1,5\mu F$ [49].

3.8.1.1. Μια μελέτη περίπτωσης κυκλωμάτων σφάλματος σε ανορθωτές γεφυρών τριών φάσεων

Ο πρωταρχικός στόχος αυτής της μελέτης είναι να εξακριβώσει την τάση και το ρεύμα επαφής που βιώνουν τα άτομα σε περιπτώσεις έμμεσης επαφής, εστιάζοντας συγκεκριμένα στην κυματομορφή του ηλεκτρικού ρεύματος. Η αξιολόγηση των τάσεων και των ρευμάτων σε συστήματα TT, TN και IT πραγματοποιείται σε περιπτώσεις που αφορούν έμμεση επαφή [45].

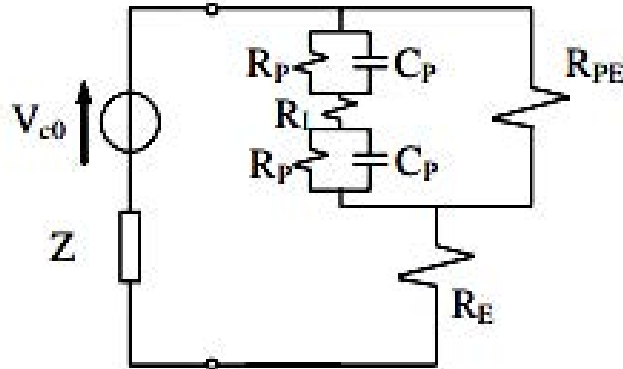
1) Το φαινόμενο της έμμεσης αλληλεπίδρασης σε σύστημα TT

Η ενσωμάτωση ενός ανορθωτή γέφυρας μέσα σε ένα τριφασικό σύστημα έχει ως αποτέλεσμα τη συμπίληψη ενός εξαρτήματος κυκλώματος που τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα, όπως γίνεται αντιληπτό από την οπτική γωνία του σταθμού ηλεκτροπαραγωγής. Μια άμεση επαφή μπορεί να συμβεί είτε στον ανορθωτή είτε στο μεταλλικό περίβλημα του φορτίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.12.



Σχήμα 3.12.: Έμμεση επαφή σε σύστημα TT. Η επαφή μπορεί να είναι απευθείας στον ανορθωτή ή στο φορτίο [45].

Όταν τα σώματα συνδέονται με το προστατευτικό καλώδιο, η σύνδεσή τους με αυτό είναι εν παραλλήλω, χωρίς να παίζει ρόλο το συγκεκριμένο σημείο επαφής. Το κύκλωμα που σχετίζεται με τη μελέτη περίπτωσης αστοχίας απεικονίζεται στο σχήμα 3.13.



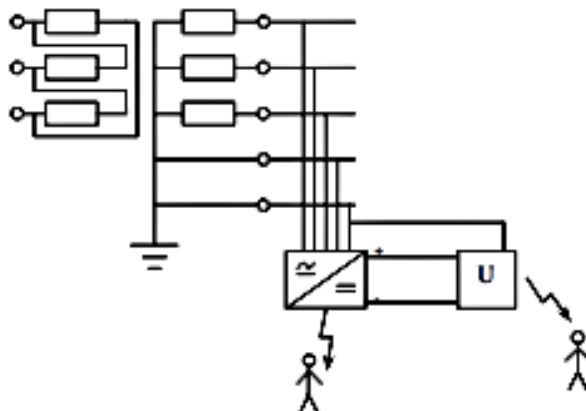
Σχήμα 3.13.: Κύκλωμα σφάλματος για φορτίο τροφοδοσίας ανορθωτή σε σύστημα TT [45].

Το πρωταρχικό μέλημα στην ηλεκτρική ασφάλεια είναι η παράλληλη σχέση μεταξύ του προστατευτικού καλωδίου και των ατόμων. Η αντίσταση του εδάφους, όταν συνδέεται σε σειρά με το κύκλωμα σφάλματος, παρουσιάζει σημαντική διακύμανση λόγω πολλών παραγόντων όπως η σύσταση της γης και οι επικρατούσες καιρικές συνθήκες, μεταξύ άλλων. Η κυματομορφή της γεννήτριας τάσης έχει τη δυνατότητα να παρουσιάζει μεταβλητότητα σε περίπτωση ελαττώματος εσωτερικού ανορθωτή, καθώς και να διατηρεί τη συνεχή παρουσία έμμεσης επαφής στο φορτίο.

Οι τιμές αντίστασης που χρησιμοποιούνται στις προσομοιώσεις για την αντίσταση του σύρματος προστασίας (P_E) και την αντίσταση γείωσης συμβολίζονται ως $R_{PE}=1\Omega$ και $R_E=1\Omega$, αντίστοιχα.

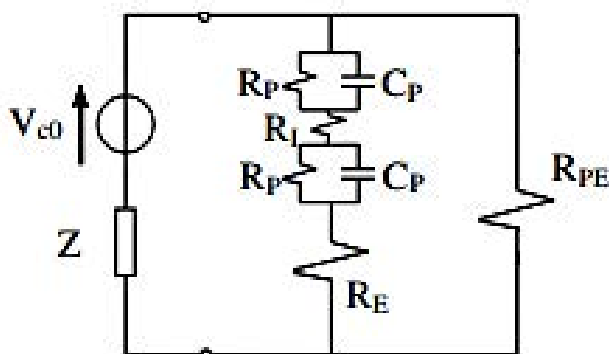
2) Έμμεση αλληλεπίδραση εντός του συστήματος TN

Σε περίπτωση που η εγκατάσταση είναι εξοπλισμένη με σύστημα TN XT, η χρήση ενός καλωδίου ανορθωτή είναι απαραίτητη για τα κυκλώματα σφάλματος που απεικονίζονται στο σχήμα 3.14., ιδιαίτερα σε καταστάσεις που περιλαμβάνουν έμμεση επαφή.



Σχήμα 3.14.: Έμμεση επαφή σε σύστημα TN. Η επαφή μπορεί να είναι απευθείας στον ανορθωτή ή στο φορτίο [45].

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, όπως φαίνεται στο προηγούμενο παράδειγμα, η πρωταρχική ανησυχία για την ασφάλεια προκύπτει από τη διασύνδεση των ατόμων με το προστατευτικό καλώδιο (σχήμα 3.15.). Αυτό οφείλεται στην παράλληλη σύνδεση που υπάρχει μεταξύ των ατόμων και του σύρματος προστασίας σε περιπτώσεις που περιλαμβάνουν έμμεση επαφή.

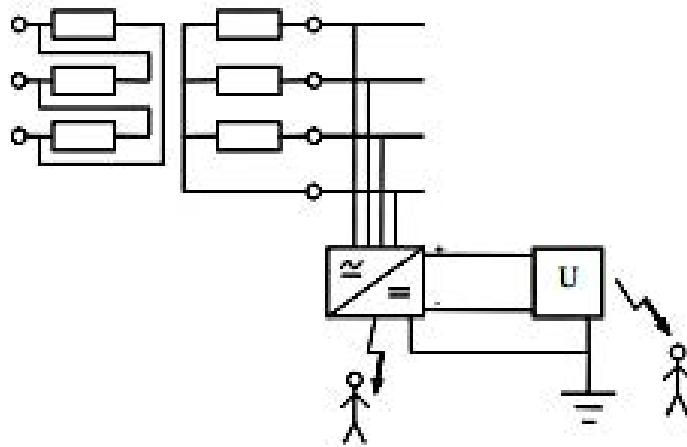


Σχήμα 3.15.: Κύκλωμα σφάλματος για φορτίο τροφοδοσίας ανορθωτή σε σύστημα TN [45].

Όπως φάνηκε στην προηγούμενη περίπτωση, δηλαδή στην περίπτωση TT, τα θεμελιώδη στοιχεία που σχετίζονται με την ηλεκτρική ασφάλεια παραμένουν συνεπή.

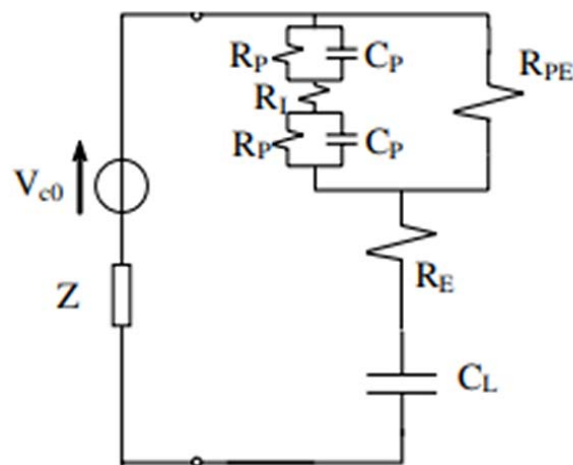
3) Έμμεση Επικοινωνία σε συστήματα IT

Η χρήση ενός ανορθωτή σε ένα σύστημα IT διασφαλίζει το πρωταρχικό μέλημα της ηλεκτρικής ασφάλειας, που επιτυγχάνεται κυρίως με το κλείσιμο του κυκλώματος σφάλματος μέσω της παρασιτικής χωρητικότητας των καλωδίων. Το κύκλωμα της μελέτης περίπτωσης προέρχεται από το κύκλωμα που φαίνεται στο σχήμα 3.16.



Σχήμα 3.16.: Έμμεση επαφή σε σύστημα IT. Η επαφή μπορεί να είναι απευθείας στον ανορθωτή ή στο φορτίο [45].

Στο συγκεκριμένο σενάριο, σε αντίθεση με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, το πρωταρχικό μέλημα σχετικά με την ασφάλεια είναι η χρήση συστημάτων IT. Συγκεκριμένα, το ρεύμα σφάλματος περιορίζεται κυρίως από την χωρητικότητα διαρροής των καλωδίων (σχήμα 3.17.).

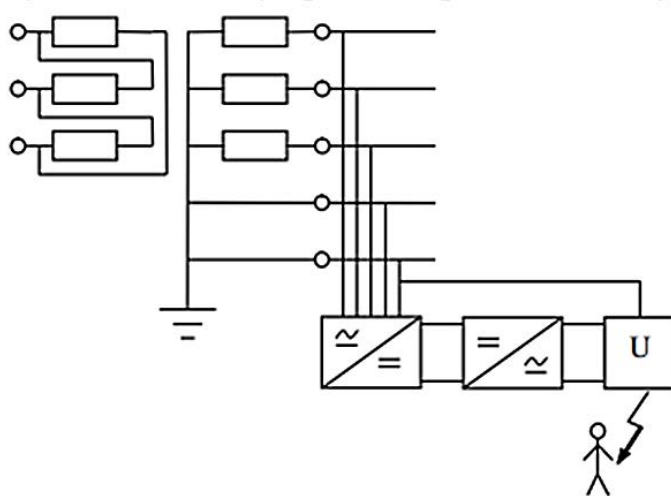


Σχήμα 3.17.: Κύκλωμα σφάλματος για φορτίο τροφοδοσίας ανορθωτή σε σύστημα IT [45].

Η διασύνδεση μεταξύ των μεταλλικών περιβλημάτων φορτίου και του καλωδίου προστασίας επιτρέπει στα καλύμματα φορτίου να λειτουργούν ως διαχωριστής ρεύματος σε περίπτωση σφάλματος.

4) Κυκλώματα μελέτης περίπτωσης αστοχίας ενός τριφασικού μετατροπέα.

Ο στόχος των ερευνών που διεξήχθησαν σε αυτά τα σενάρια είναι, παρόμοια με τα προηγούμενα, να εξακριβωθεί η κυματομορφή τάσης επαφής και ρεύματος που βιώνουν άτομα σε καταστάσεις έμμεσης επαφής. Τα παραδείγματα υπό διερεύνηση αφορούν τις έμμεσες συνδέσεις που μπορεί να προκύψουν σε ηλεκτρικά συστήματα XT, συγκεκριμένα σε εκείνα που χρησιμοποιούν διαμορφώσεις TT, TN και IT. Αυτά τα συστήματα ενσωματώνουν μια γέφυρα ανορθωτή-μετατροπέα, η οποία χρησιμοποιείται για την παροχή ρεύματος σε ένα συγκεκριμένο τμήμα της εγκατάστασης ή ένα καθορισμένο φορτίο, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.18.



Σχήμα 3.18.: Έμμεση επαφή σε σύστημα IT με μετατροπέα τροφοδοσίας ανορθωτή [45].

Το κύκλωμα σφάλματος παραμένει αναλλοίωτο σε σύγκριση με τις προηγούμενες περιπτώσεις, με τις μόνες τροποποιήσεις να είναι οι ποικίλες κυματομορφές των τάσεων επαφής ανοιχτού κυκλώματος V_{c0} [45].

3.8.2. Αποτελέσματα

Τα προαναφερθέντα δεδομένα εξετάστηκαν μέσω αριθμητικής προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το σύνολο εργαλείων SymPower System Simulink™. Οι κυματομορφές που αποκτήθηκαν στις διάφορες περιπτώσιολογικές μελέτες για τάσεις επαφής και ρεύμα που διέρχονται από μεμονωμένα άτομα είναι οι εξής [45]:

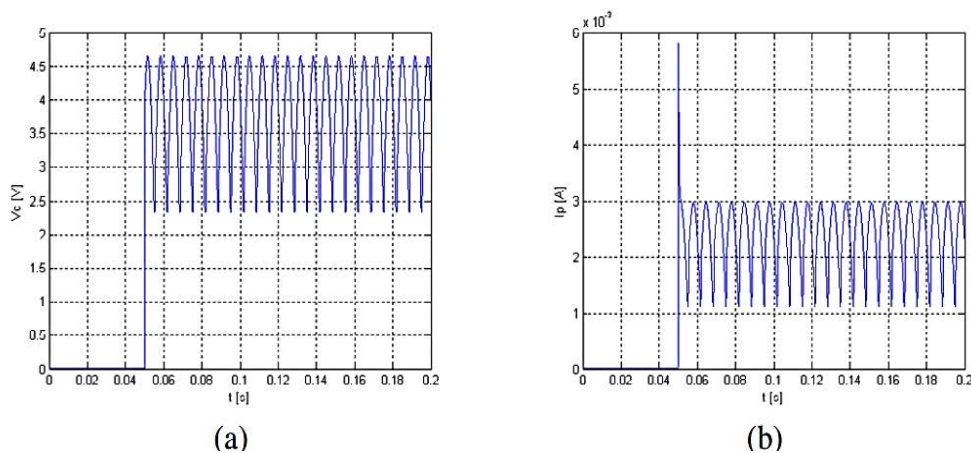
A) τριφασικός ανορθωτής γέφυρας.

Αυτή η διερεύνηση διεξάγεται με βάση την προϋπόθεση ότι η επαφή εμφανίζεται σε $t = 50$ ms. Το κύκλωμα σφάλματος που εξετάζεται αποτελείται από το ισοδύναμο κύκλωμα ατόμων, την αντίσταση του σύρματος προστασίας και την αντίσταση της γείωσης. Οι τιμές που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι οι εξής:

Η αντίσταση ενός χάλκινου σύρματος με μέγεθος 25mm^2 και μήκος 100m ήταν σε $78\text{m}\Omega$. Επιπλέον, η αντίσταση γείωσης προσδιορίζεται στα 5Ω .

1) Η έννοια της έμμεσης αλληλεπίδρασης μέσα στο σύστημα TT.

Οι κυματομορφές που αποκτήθηκαν φαίνονται στο σχήμα 3.19.

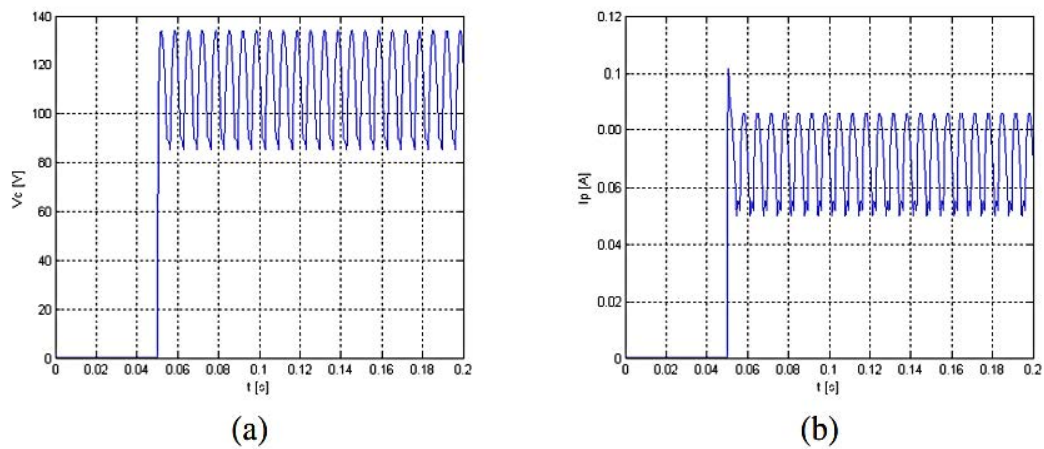


Σχήμα 3.19.: Τάσεις επαφής (a) και ρεύμα μέσω ανθρώπων (b) κυματομορφές σε περίπτωση μελέτης συστήματος TT [45].

Το γράφημα δείχνει ότι τα επίπεδα τάσης επαφής πέφτουν κάτω από το όριο των 50V , υποδεικνύοντας ότι βρίσκονται εντός του μη επικίνδυνου εύρους. Το ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από άτομα βρίσκεται κάτω από το εύρος των αναστρέψιμων φυσιολογικών επιδράσεων, συγκεκριμένα κάτω από το όριο για την κοιλιακή μαρμαρυγή.

2) Έμμεση αλληλεπίδραση εντός του συστήματος TN

Οι κυματομορφές που αποκτήθηκαν φαίνονται στο σχήμα 3.20.

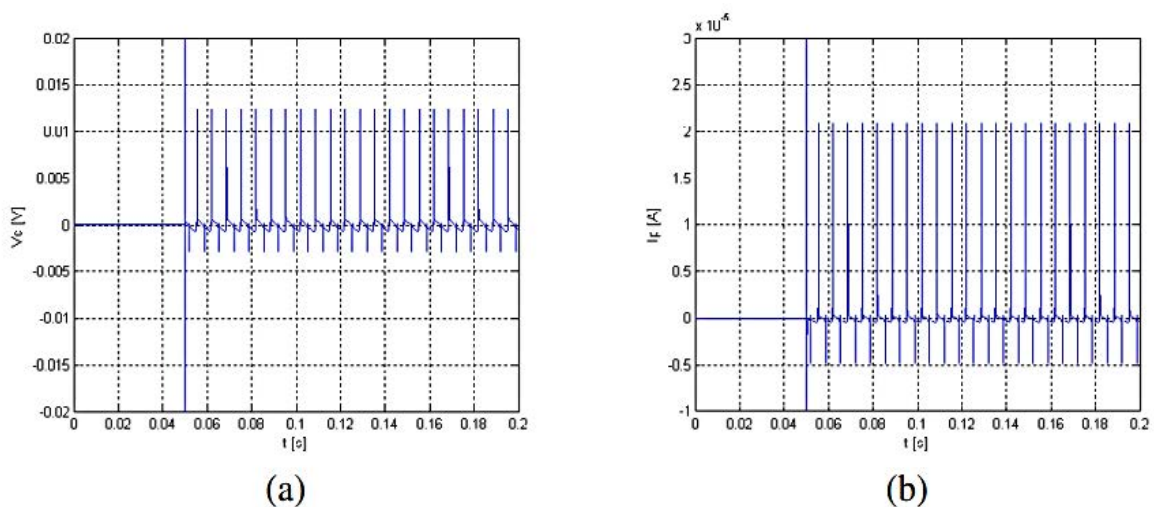


Σχήμα 3.20.: Τάσεις επαφής (a) και ρεύμα μέσω ανθρώπων (b) κυματομορφές σε περίπτωση μελέτης συστήματος TN [45].

Σε αυτό το συγκεκριμένο σενάριο, οι τιμές επαφής θεωρείται ότι βρίσκονται στο επικίνδυνο εύρος, καθώς υπερβαίνουν τα 50V αφού ως αποτέλεσμα, οι τιμές επαφής παρουσιάζουν πτώση. Το ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από τα άτομα κατά τη διάρκεια της έμμεσης επαφής εμπίπτει στη ζώνη μη αναστρέψιμων φυσιολογικών συνεπειών, δηλαδή πάνω από το όριο για κοιλιακή μαρμαρυγή.

3) Έμμεση επαφή εντός συστήματος IT

Οι κυματομορφές που αποκτήθηκαν απεικονίζονται στο σχήμα 3.21.



Σχήμα 3.21.: Τάσεις επαφής (α) και ρεύμα μέσω ατόμων (b) κυματομορφές σε περίπτωση μελέτης συστήματος IT [45].

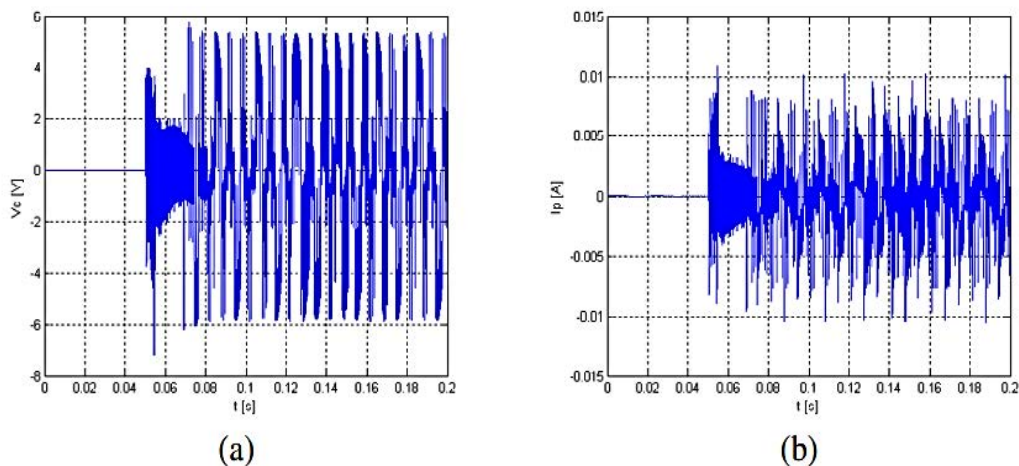
Με βάση τις απεικονιζόμενες κυματομορφές, μπορεί να συναχθεί ότι οι τάσεις επαφής είναι εντός ενός εύρους που θεωρείται μη επικίνδυνο, ενώ το ρεύμα που διέρχεται από άτομα βρίσκεται εντός μιας ζώνης που σχετίζεται με φυσιολογικές συνέπειες που δεν θεωρούνται επιβλαβείς.

B) Τριφασικός μετατροπέας

Σύμφωνα με το προηγούμενο σενάριο, η επαφή συμβαίνει σε $t=50\text{ms}$ και χρησιμοποιούνται οι ίδιες τιμές όλων των παραμέτρων του κυκλώματος. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

- 1) Το φαινόμενο της έμμεσης επαφής μέσα στο σύστημα TT.

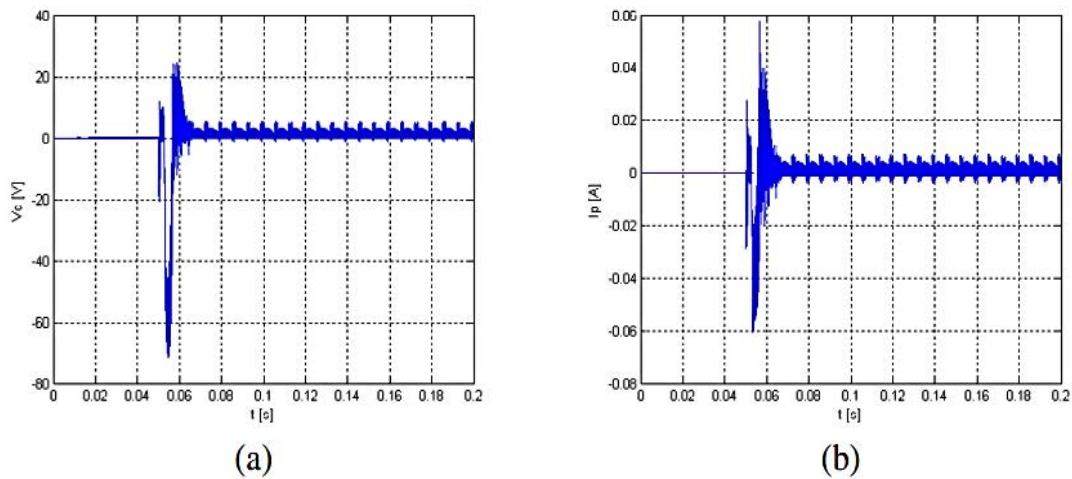
Οι κυματομορφές που αποκτήθηκαν απεικονίζονται στο σχήμα 3.22.



Σχήμα 3.22.: Τάσεις επαφής (α) και ρεύμα μέσω ανθρώπων (b) κυματομορφές σε περίπτωση μελέτης συστήματος TT [45].

2) Έμμεση αλληλεπίδραση εντός του συστήματος TN

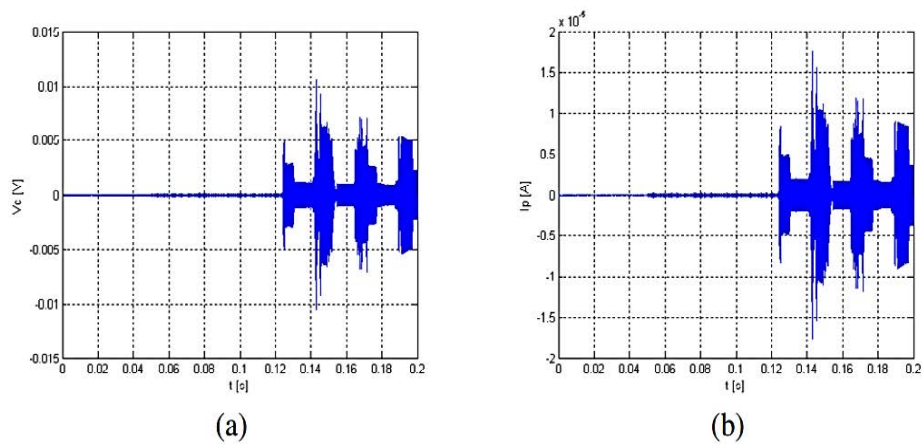
Οι κυματομορφές που αποκτήθηκαν απεικονίζονται στο σχήμα 3.23.



Σχήμα 3.23.: Τάσεις επαφής (a) και ρεύμα μέσω ανθρώπων (b) κυματομορφές σε περίπτωση μελέτης συστήματος TN [45].

3) Έμμεση αλληλεπίδραση μέσα σε ένα σύστημα IT.

Οι κυματομορφές που αποκτήθηκαν φαίνονται στο σχήμα 3.24.



Σχήμα 3.24.: Τάσεις επαφής (a) και ρεύμα μέσω ανθρώπων (b) κυματομορφές σε περίπτωση μελέτης συστήματος IT [45].

3.8.3. Συμπεράσματα

Μέσω μιας ολοκληρωμένης εξέτασης των ηλεκτρονικών μετατροπέων που χρησιμοποιούνται σε πολλές ηλεκτρικές εφαρμογές, καθώς και μιας αξιολόγησης των τριών διαμορφώσεων γείωσης που χρησιμοποιούνται στο σύστημα, προέκυψαν οι κυματομορφές τάσης και ρεύματος που αντιμετωπίζουν τα άτομα σε περίπτωση έμμεσης επαφής. Η μελέτη έχει διεξαχθεί για τις διαμορφώσεις γείωσης των TT, TN και IT. Οι κυματομορφές των προτεινόμενων προτύπων διαφέρουν σημαντικά από εκείνες που παρατηρούνται σε περίπτωση έμμεσης επαφής κατάντη ενός μετατροπέα, με δυνητικά επικίνδυνες συνέπειες για τα άτομα [45].

- Προστασία από σφάλματα γης (G): Πραγματοποιείται από ειδικούς H/N οι οποίοι ενεργοποιούνται ευθύς αμέσως με την εμφάνιση σφάλματος γης, π.χ. διαρροή ρεύματος προς γη. Δηλαδή, ο H/N διακόπτει το κύκλωμα σε χρόνο μικρότερο από τον επιτρεπόμενο σε περίπτωση διαρροής προς γη.
- Προστασία από βραχυκύκλωμα (I): όταν το ρεύμα υπερβεί την τιμή I_3 , τότε τίθεται σε λειτουργία ο H/N. Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μέχρι την ενεργοποίηση των διακοπτικών μέσων είναι σύντομο, για να είναι εφικτή και η προστασία του δικτύου από τα μεγάλα ρεύματα.
- Προστασία από υπερφόρτιση (L): όταν η τιμή ρεύματος I_1 ξεπεραστεί, τίθεται σε λειτουργία ο H/N και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, εξαρτώμενο από μια καμπύλη αντίστροφου χρόνου, ενεργοποιεί τα διακοπτικά μέσα.
- Προστασία από βραχυκύκλωμα με καθυστέρηση (S): όταν η τιμή ρεύματος i_2 ξεπεραστεί, τίθενται σε λειτουργία τα διακοπτικά μέσα του H/N, στη χρονική διάρκεια που ορίζεται από την καμπύλη σταθερού χρόνου ή από την καμπύλη αντίστροφου χρόνου.

2. Ασφάλειες MT

Οι ασφάλειες παρέχουν προστασία από υπερεντάσεις και βραχυκυκλώματα. Στο εμπόριο διατίθενται για μια ποικιλία τιμών τάσεων, εντάσεων και ικανότητα διακοπής ρεύματος βραχυκυκλώματος σε kA. Γι' αυτό και το μέγεθός τους είναι σε συνάρτηση με την ονομαστική τάση και η διάμετρός τους επίσης σε συνάρτηση με την ονομαστική τους ένταση. Υπάρχουν δύο κατηγορίες MT [4]:

- Ασφάλειες εκτόνωσης: κατά κύριο λόγο τις συναντάμε στα εναέρια δίκτυα. Έχουν σχήμα κυλινδρικό και εσωτερικά έχουν τηκτό τανυσμένο με ελατήριο. Όταν εμφανιστεί κάποιο σφάλμα το τηκτό λιώνει, υδρατμοί και ένα τόξο σχηματίζονται στο εσωτερικό της ασφάλειας, συνεισφέροντας έτσι στη σβέση του τόξου.
- Ασφάλειες σκόνης με υψηλή ικανότητα διακοπής/HRC (High Rupturing Capacity): είναι φτιαγμένες εξωτερικά από πορσελάνη και στο εσωτερικό τους έχουν κεραμικό πυρήνα πάνω στον οποίο τυλίγεται σπειροειδώς το τηκτό. Το τελευταίο, είναι φτιαγμένο

από κράμα αργυρού και υπάρχει μέσα σε σκόνη από χαλαζία. Σε περίπτωση σφάλματος το τηκτό ανεβάζει θερμοκρασία και λιώνει, περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο το ρεύμα σφάλματος αλλά επιφέροντας θερμικές και μικρές καταπονήσεις στις συσκευές του Υ/Σ.

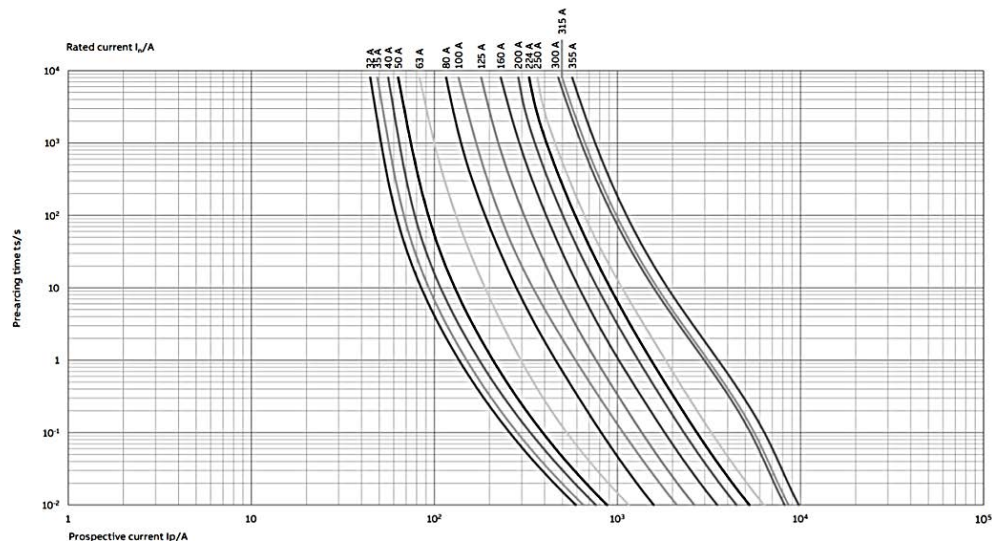
3. Διακόπτες ισχύος μέσης τάσης

Πρόκειται για αυτόματους διακόπτες ισχύος με μεγάλη ικανότητα διακοπής ρεύματος βραχυκυκλώματος σε kA οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε Β.Η.Ε. και σε υποσταθμούς. Διαθέτουν θερμικό στοιχείο υπερφόρτωσης με χαρακτηριστική αντίστροφου χρόνου και στοιχείο ακαριαίας λειτουργίας για προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων. Συνεργάζονται με Η/Ν και Μ/Σ μέτρησης για την παρακολούθηση των ρευμάτων γραμμής. Πλέον υπάρχουν τρεις κατηγορίες που χρησιμοποιούνται: α) διακόπτης ισχύος κενού β) διακόπτης ισχύος αέρα και γ) διακόπτης ισχύος εξαφθοριούχου θείου SF₆ [4].

4.1.2. Χαμηλή Τάση

Στη ΧΤ διακρίνουμε [49]:

1. Ασφάλειες HCR χαμηλής τάσης: έχουν τη δυνατότητα διακοπής μεγάλων ρευμάτων σφάλματος. Λειτουργούν ως ολική προστασία από βραχυκυκλώματα και υπερφορτίσεις αλλά και σαν εφεδρικές για την προστασία από βραχυκυκλώματα, αναλόγως το είδος τους. Ανάλογα με την κατηγορία της ασφάλειας, μπορεί να παρέχει πλήρη προστασία από βραχυκυκλώματα και υπερφορτίσεις (κατηγορία gG) ή προστασία μόνο από βραχυκυκλώματα (κατηγορία aM). Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος λιώνει το τηκτό και διακόπτεται η τροφοδοσία και ταυτόχρονα σβήνει το ηλεκτρικό τόξο. Οι καμπύλες προστασίας αναπαρίστανται στο σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2.: Καμπύλες προστασίας HRC ασφαλειών XT [48].

2. Διακόπτες ισχύος XT: διακρίνονται σε ηλεκτρονικές και θερμομαγνητικές μονάδες ενεργοποίησης του διακόπτη. Οι διακόπτες ισχύος XT διακρίνονται στα παρακάτω είδη με βάση:
 - Τον σχεδιασμό τους (ανοιχτού ή κλειστού τύπου).
 - Τις λειτουργίες προστασίας (καμπύλες χρονικής διάρκειας-ρεύματος).
 - Τη διαχείριση των δεδομένων και την επικοινωνίας.
 - Το είδος εγκατάστασης.
 - Τη δυνατότητα πρόσθετων τμημάτων που μπορούν να προστεθούν μελλοντικά στο σώμα του διακόπτη.
 - Την ικανότητα διακοπής ρεύματος βραχυκυκλώματος σε kA.

4.2. Προστασία έναντι υπερφορτίσεων

Σε όλο τον κόσμο οι B.H.E. χρησιμοποιούν σε καθημερινή βάση τους μικροαυτόματους διακόπτες, οι οποίοι σε περίπτωση υπερφόρτισης ή βραχυκυκλώματος αποτελούν την πιο γνωστή μονάδα προστασίας για τα καλώδια ισχύος. Οι διακόπτες αυτοί αν και μοιάζουν με ένα απλό εξάρτημα, θεωρούνται ένα «μικρό θαύμα της μηχανικής» κι αυτό γιατί

συνίστανται με πάνω από 60 εξαρτήματα, εξαιρετικά ταιριαστά μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο είναι ένας πολύ έξυπνος μηχανισμός προστασίας, γρήγορος στην ενεργοποίηση αλλά και αξιόπιστος για τις διάφορες κατηγορίες σφαλμάτων που μπορεί να προκύψουν σε μια εγκατάσταση. Οι μικροαυτόματοι διακόπτες λοιπόν, τίθενται σε λειτουργία και σταματούν την τροφοδοσία του συστήματος που υπάρχει το σφάλμα χρησιμοποιώντας το θερμικό στοιχείο προστασίας που υπάρχει στο εσωτερικό τους. Το θερμικό στοιχείο είναι αντίστροφου χρόνου, δηλαδή ο χρόνος διακοπής είναι αντιστρόφως ανάλογος με την τιμή του ρεύματος υπερφόρτισης. Με τη μεταβολή της θερμοκρασίας λειτουργίας του διακόπτη, η καμπύλη του στοιχείου μετατοπίζεται με αποτέλεσμα να υπάρχει και μεταβολή του χρόνου διακοπής. Με ικανότητα να παραμορφώνεται, κάμπτεται, με την αύξηση της θερμοκρασίας από το ρεύμα υπερφόρτισης. Έτσι όταν το διαπερνά μεγάλη ένταση ρεύματος, για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια από το επιτρεπτό, παραμορφώνεται και ενεργοποιεί το μηχανισμό απόξευξης του μικροαυτόματου. Οι καμπύλες αντίστροφου ρεύματος οριοθετούν την ένταση του χρόνου και του ρεύματος που σε περίπτωση υπερφόρτισης είναι αποδεκτό να περνούν διαμέσου του μικροαυτόματου. Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ 60364:2020, για να είναι σωστή η επιλογή προστατευτικών μέσων από υπερφορτίσεις, χρειάζεται να δοθεί έμφαση στο ρεύμα που περνά μέσω των καλωδίων ισχύος. Επίσης, πρέπει να έχουν ισχύ συγχρόνως οι παρακάτω σχέσεις [50]:

$$I_b \leq I_n \leq I_z (\alpha)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z (\beta)$$

Όπου:

I_b , το ονομαστικό ρεύμα του κυκλώματος

I_n , η αμέσως επόμενη ή ίση τυποποιημένη τιμή απ' αυτή της κανονικής λειτουργίας και μικρότερη ή ίση από τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή που μπορεί να διαρρέει τους αγωγούς.

I_z , το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα συνεχούς λειτουργίας της γραμμής, στηριζόμενοι στο Πρότυπο IEC/HD 60364-5-52

I_2 , ρεύμα διασφάλισης της ορθής λειτουργίας του μέσου προστασίας στο συμβατικό χρόνο (στη συγκεκριμένη περίπτωση συμβατικό ρεύμα ενεργοποίησης I_t για τους MCBs).

Έστω ότι διαθέτουμε γραμμή η οποία τροφοδοτεί μονοφασικό φορτίο ισχύος $P=2700W$, οπότε η απορροφούμενη ένταση είναι $I_b=11.739A$. Άρα, ασφαλίζουμε με Miniature Circuit Breaker (MCB) 16A, διατομή αγωγών $3 \times 2.5mm^2$, και σωλήνα διαμέτρου $16mm^2$. Η απορροφούμενη ένταση για μονοφασικό φορτίο υπολογίζεται από τον τύπο:

$$I = P/U_{\phi} * \cos\phi$$

Ας υποθέσουμε συντελεστή ισχύος $\cos\phi = 1$ (αφού μας δίνεται μονοφασικό φορτίο ισχύος), έχουμε:

$$11,739A = 2700W/U_{\phi} * 1$$

$$U_{\phi} = 2700W/11,739A$$

$$U_{\phi} = 230,10V$$

Τώρα, ας ελέγξουμε αν πληρούνται οι προϋποθέσεις:

- Το MCB έχει ονομαστική ισχύ 16A. Καθώς το ρεύμα φορτίου είναι 11,739A, το οποίο είναι χαμηλότερο από 16A, η συνθήκη ονομαστικής τιμής MCB ικανοποιείται.
- Διατομή αγωγού: Η διατομή του αγωγού είναι $3 \times 2,5mm^2$, που σημαίνει ότι υπάρχουν τρεις αγωγοί $2,5mm^2$. Η συνολική επιφάνεια διατομής είναι $3(2,5mm^2) = 7,5mm^2$. Αυτό αντιστοιχεί σε διάμετρο αγωγού περίπου 3,07 mm.
- Διάμετρος σωλήνα: Συνιστάται σωλήνας με εσωτερική διάμετρο 16mm και διατομής τουλάχιστον $200mm^2=2cm^2$.

Δεδομένου ότι η διάμετρος της διατομής του αγωγού (3,07mm) είναι μικρότερη από τη διάμετρο του σωλήνα (4mm), ο αγωγός μπορεί εύκολα να χωρέσει μέσα στο σωλήνα. Επομένως, ικανοποιούνται ταυτόχρονα τόσο η ονομαστική τιμή MCB όσο και οι συνθήκες διατομής του αγωγού.

4.3. Προστασία έναντι ρευμάτων βραχυκυκλώματος

Το βραχυκύκλωμα αποτελεί ένα τύπο κυκλώματος με καθόλου ή αρκετά μικρή αντίσταση. Αυτό προκύπτει όταν υπάρχει συνδεσμολογία από και προς την πηγή μεταξύ των αγωγών.

Κατά τη διάρκειά του, το φορτίο παρακάμπτεται, ενώ συγχρόνως, παρατηρείται ανοδική πορεία στην ένταση του ρεύματος σε αρκετά αυξημένα επίπεδα.

Σε περίπτωση που το κύκλωμα δεν προστατεύεται αποτελεσματικά έναντι βραχυκυκλωμάτων, αυτό έχει ως αποτέλεσμα, υπερθέρμανση και τήξη της μόνωσης των αγωγών και πρόκληση πυρκαγιάς, καταστροφή εξοπλισμού κ.λπ. [51]. Τα εξαρτήματα που αξιοποιούνται με σκοπό την πιο δυνατή προστασία του κυκλώματος είναι γνωστά ως προστατευτικές διατάξεις, και στην περίπτωση του βραχυκυκλώματος διακόπτουν την τροφοδοσία του κυκλώματος άμεσα. Οπότε οι διατάξεις προστασίας τίθενται σε λειτουργία χωρίς χρονοκαθυστέρηση. Βέβαια κάθε διάταξη προστασίας διαθέτει και ένα συγκεκριμένο χρόνο λειτουργίας [52].

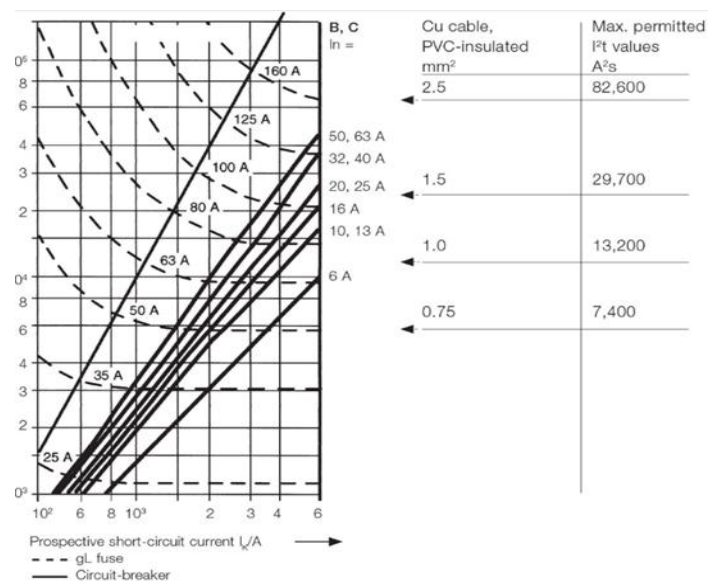
Εδώ οι διατάξεις προστασίας οφείλουν να διακόπτουν το ρεύμα σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, με τη δυνατότητα να μην υποστούν ουδεμία ζημιά. Αυτή η δεξιότητα διακοπής χρειάζεται να έχει τιμή μεγαλύτερη ή ίση από το ρεύμα στερεού βραχυκυκλώματος, στο σημείο που εγκαθίσταται η διάταξη αυτή.

Στην αρχή του κυκλώματος εφαρμόζονται προστατευτικές διατάξεις, οι οποίες διακόπτουν τη λειτουργία του κυκλώματος, όταν προκληθεί μεγαλύτερη τιμή ρεύματος από την καθορισμένη και επιθυμητή [51]. Η ονομαστική τιμή της ασφάλειας είναι γενικά υψηλότερη από το αναμενόμενο κανονικό ρεύμα λειτουργίας για να επιτρέπει προσωρινές αιχμές ρεύματος ή ρεύματα εισροής όταν μια συσκευή ενεργοποιείται. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι ονομαστικές τιμές και απαιτήσεις των ασφαλειών μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την εφαρμογή και τους κανονισμούς της χώρας. Συνίσταται πάντα να συμβουλευόμαστε τους σχετικούς κώδικες, τα πρότυπα και τις συστάσεις του κατασκευαστή για τη σωστή επιλογή και εγκατάσταση ασφαλειών σε συγκεκριμένα ηλεκτρικά κυκλώματα.

Σε συνθήκες βραχυκυκλώματος, οι καμπύλες I^2t δείχνουν τις πιθανές τιμές της ενέργειας που διαπερνά μέσα από τον μικροαυτόματο, που εκφράζονται με μονάδα μέτρησης A^2s [50].

Στο σχήμα 4.3. παρουσιάζεται η επιτρεπτή τιμή ενέργειας σε ένα βραχυκύκλωμα, για να οδεύσει μέσα από έναν μικροαυτόματο. Η ίδια είναι ίση με $20.000A^2s$, σε περιπτώσεις που το προβλεπόμενο βραχυκύκλωμα έχει ένταση γύρω στα $I_k = 6kA$. Αυτή η τιμή των καμπυλών ενέργειας είναι σε σημαντικό βαθμό πιο μικρή από τα $29.700 A^2s$, την οποία

μπορεί να αντέξει ένα χάλκινο καλώδιο με διατομή $1,5\text{mm}^2$ και μόνωση PVC. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η προστασία του καλωδίου, όταν προκύψει βραχυκύκλωμα [50].



Σχήμα 4.3.: Καμπύλες ενέργειας I^2t (let-through energy) - Προστασία έναντι βραχυκυκλώματος [50].

Η προστασία έναντι ρευμάτων βραχυκυκλώματος εξασφαλίζεται με τον εντοπισμό και την ακαριαία διακοπή μεγάλων ρευμάτων. Αυτά έχουν προέλθει από βραχυκύκλωμα, είτε από επαφή ανάμεσα σε ουδέτερο αγωγό και αγωγό φάσης ή από επαφή ανάμεσα σε δύο αγωγούς φάσης. Σε αυτή τη περίπτωση η διαφύλαξη έχει ως στόχο την αποτροπή της φθοράς της εγκατάστασης του ηλεκτροκινητήρα και εφαρμόζεται μέσω των εξής διατάξεων προστασίας [1], [52], [53]:

1. Ασφάλειες τήξεως (βιδωτές ή μαχαιρωτές): Η λειτουργία των ασφαλειών καθορίζεται μέσω χαρακτηριστικών καμπυλών χρόνου διακοπής/ρεύματος. Σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60269-2006 οι καμπύλες φανερώνουν μία συνάρτηση ανάμεσα στο προσδοκώμενο ρεύμα βραχυκυκλώματος και στον πραγματικό χρόνο, δηλαδή δηλώνουν τον χρόνο διακοπής. Σε αυτά τα μέτρα προστασίας συμπεριλαμβάνονται ασφάλειες μαχαιρωτές ή HBC-Fuses (είναι μαχαιρωτές) ή HRC-fuses ή NH, μεγάλες βιδωτές ασφάλειες ή D ή DIAZED, ασφάλειες μικρές βιδωτές ή DO ή NEOZED, ασφαλειοαποξεύκτης για φυσίγγια κυλινδρικά ή για NEOZED φυσίγγια [54]. Όταν ένα κύκλωμα διακόπτεται

οφείλεται στην τήξη ταινίας μέσα σε ειδική σκόνη από χαλαζία ή στο λιώσιμο αργυρού ή χάλκινου σύρματος. Έπειτα από τη διαδικασία της τήξης μια μεγάλη ωμική αντίσταση εισάγεται στο κύκλωμα, μειώνοντας το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Για ρεύματα $<20\text{A}$ αξιοποιούνται σύρματα από χαλκό ενώ αγωγοί από άργυρο χρησιμοποιούνται για υψηλότερα ρεύματα. Αυτό συμβαίνει με σκοπό την ύπαρξη όσο το δυνατόν λιγότερων ελλείψεων ισχύος που αφορούν στην αντίσταση του τηκτού.

2. Μικροαυτόματοι (Minature Circuit Breaker - MCBs): Η προστασία των εγκαταστάσεων των Β.Η.Ε. από βραχυκύκλωμα εξασφαλίζεται με τη χρήση μικροαυτομάτων διακοπών, προσδίδοντας ταυτόχρονα ασφάλεια και αξιοπιστία κατά τη διάρκεια του χειρισμού. Οι MCBs επίσης χαρακτηρίζονται και ως συσκευές ενεργοποίησης με χρονική καθυστέρηση, που τίθενται σε λειτουργία και διακόπτουν το κύκλωμα όποτε υπάρχει υπέρνταση που ρέει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και υπάρχει κίνδυνος για όλο το σύστημα. Οι μικροαυτόματοι έχουν δύο διαφορετικούς μηχανισμούς απόξευξης. Ένας εξ αυτών είναι ο μηχανισμός μαγνητικής απόξευξης που ενεργοποιείται στιγμιαία με σκοπό τη προφύλαξη από βραχυκύκλωμα. Μπορεί να διαχωρίζονται σε αυτόματους θερμομαγνητικούς διακόπτες και σε αυτόματους μαγνητικούς διακόπτες [55]. Σε περίπτωση λοιπόν βραχυκυκλώματος, οι MCBs τίθενται σε λειτουργία και διακόπτουν την ηλεκτροδότηση εντός $2,5\text{ms}$. Παραδείγματος χάριν, αν οι συσκευές αυτές έχουν ονομαστική αντοχή 10kA , τότε οι MCBs μπορούν να διακόψουν με ασφάλεια τα συστήματα σε περίπτωση σφάλματος, εκτός εάν το ρεύμα βραχυκυκλώματος δεν ξεπερνά τα 10kA .
3. Αυτόματοι διακόπτες ισχύος που εφοδιάζονται με στοιχεία πτώσης από βραχυκύκλωμα (ανοιχτού ή κλειστού τύπου): Τα αυτόματα διακοπτικά μέσα κλειστού ή ανοιχτού τύπου συμφωνούν με τους κανονισμούς του προτύπου IEC 60947-2. Η δυνατότητα αναστολής I_{cu} ανά διακόπτη οφείλει να είναι ίση με το πιο μεγάλο πιθανό βραχυκύκλωμα στο μέρος τοποθέτησής τους, ανάλογα με τον σχεδιασμό της εγκατάστασης [56]. Οι διακόπτες ισχύος λέγονται και αυτόματοι. Αυτοί αξιοποιούνται με σκοπό τη φύλαξη έναντι υπερφορτίσεων ή ως γενικό μέσο ζεύξης με εξαίρεση το κομμάτι των αποξεύξεων ή ζεύξεων φορτίου. Έτσι, δημιουργούνται ελάχιστοι κύκλοι δραστηριότητας για 2.000-10.000 κλεισίματα και ανοίγματα. Οι ίδιοι αναστέλλουν ή ζεύγουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα όταν η λειτουργία είναι φυσιολογική ή μη όπως και στο βραχυκύκλωμα. Πέρα του θαλάμου σβέσης και των επαφών, υπάρχει δυνατότητα να φέρουν

ηλεκτρομαγνητικό και θερμικό στοιχείο, χαρακτηριστικά καθυστέρησης της πτώσης, βοηθητικές επαφές, μανδαλώσης και σημάνσης, καθώς και στοιχείο έλλειψης τάσης. Όσον αφορά την κατασκευή των διακοπών ισχύος, δημιουργούνται από 20Α έως 5.000Α. Με την αρωγή του ελατηρίου (το οποίο θα πρέπει να έχει οπλιστεί αφού προηγηθεί η μείωση του αναστολέα), απωθούνται οι επαφές ισχύος. Με χειροκίνητο συντονισμό χρησιμοποιώντας κινητήρα, μοχλό ή κουμπί υλοποιείται ο οπλισμός, ο οποίος πραγματοποιείται και εξ αποστάσεως (τηλεχειριζόμενος) [2].

4.4. Προστασία έναντι ρευμάτων διαρροής σε σφάλματα γης

Τα μέτρα ασφαλείας για ρεύματα διαρροής στοχεύουν στην προστασία του εξοπλισμού και των ανθρώπων από κίνδυνο πυρκαγιάς και ηλεκτροπληξίας, εξαιτίας φθοράς στη μόνωση του εξοπλισμού ή εξαιτίας αγγίγματος/επαφής με απροστάτευτο/εκτεθειμένο αγωγίμο μέρος αντιστοίχως. Όλοι οι τύποι μονάδων προστασίας από ρεύματα διαρροής στις Β.Η.Ε., που καλύπτουν συγχρόνως όλες τις απαιτήσεις της εγκατάστασης, είναι οι ακόλουθοι [57]:

1. Διακόπτες διαρροής (Residual Current Circuit Breaker - RCCB): Οι διακόπτες RCCBs ή FI αποτελούν διακόπτες διαρροής, οι οποίοι διαφυλάσσουν τους ανθρώπους σε περιπτώσεις ηλεκτροπληξίας, όταν έρχονται σε επαφή άμεσα με ένα μέρος του ηλεκτρικού δικτύου που είναι ενεργό. Επιπλέον, οι ίδιοι αξιοποιούνται στις Β.Η.Ε. για προστασία από επαφή με όχι τόσο καλά γειωμένο ή καθόλου γειωμένο κέλυφος μιας συσκευής, που λόγω βλάβης είναι υπό τάση (έμμεση επαφή). Η τήρηση των κανόνων της γείωσης, όπως για παράδειγμα το να μην υπερβαίνουν το ανώτατο όριο τιμής της επιτρεπτής/παραδεκτής αντίστασης γείωσης, καθώς και η χρησιμοποίησή τους σε δίκτυα, στα οποία σημείο αναφοράς τους είναι η γη (δίκτυα TT, TN), αποτελούν δυο πολύ σημαντικές προϋποθέσεις, με σκοπό την αποτελεσματική λειτουργία των διακοπών διαρροής συνολικά. Αυτού του είδους οι διακόπτες εντοπίζουν τη διαφορά των ρευμάτων, δηλαδή το διαφορικό ρεύμα $I_{\Delta n}$, το οποίο διαρρέει μέσα στους αγωγούς φάσεων-ουδετέρου. Αν αυτή η διαφορά δεν είναι πιο μικρή από μια επιθυμητή και ασφαλή στάθμη, διενεργείται διακοπή της τάσης από το κύκλωμα των καταναλώσεων. Στην περίπτωση που δεν «ξαναγυρίζει» στην πηγή οτιδήποτε εγκαταλείπει την ίδια, τότε

ισχύει πως η διαφορά διαρρέει προς τη γη, και είναι πολύ πιθανό αυτό να έχει πραγματοποιηθεί μέσω ενός ανθρώπινου σώματος [58].

2. Διακόπτες διαρροής με ενσωματωμένα χαρακτηριστικά/στοιχεία μικροαυτόματου (Residual Current Circuit Breaker with Overcurrent Protection -RCBO): Στις Β.Η.Ε. χρησιμοποιούνται διακόπτες RCBO με διατάξεις προστασίας έναντι υπερεντάσεων και βραχυκυκλώματος, προφυλάσσοντας τον εξοπλισμό και τους ανθρώπους από ρεύματα διαρροής προς τη γη. Παράλληλα, προσφέρουν μαγνητική και θερμική προστασία στις γραμμές/καλώδια αναχωρήσεων σε πίνακες ΧΤ. Υπό συνθήκες έμμεσης ή άμεσης επαφής πρέπει να υπάρχουν διακόπτες διαρροής 10 ή 30mA, για ανθρώπινη προφύλαξη από ηλεκτροπληξία. Για τη διαφύλαξη του εξοπλισμού από τις επιρροές των ρευμάτων διαρροής προς τη γη ή από πυρκαγιές, χρειάζονται διακόπτες διαρροής με 100 ή 300mA. Η ενεργοποίησή των διακοπών θα επιχειρείται σε περιπτώσεις που τα ρεύματα ουδετέρου και φάσεων έχουν διανυσματικό άθροισμα διάφορο του μηδενός, χωρίς να απαιτείται κάποια άλλη πηγή τροφοδοσίας για τη λειτουργία [59]. Οι βασικές διαφορές των διακοπών RCCB και RCBO είναι [60]:

- Ο RCCB προστατεύει μόνο από το υπολειπόμενο ρεύμα, ενώ ο RCBO προστατεύει από το υπολειπόμενο ρεύμα και την υπερφόρτωση.
- Ο RCCB δεν διαθέτει προστασία από βραχυκύκλωμα σ' αντίθεση με τον RCBO.
- Η διάρκεια ζωής ενός RCCB είναι μεγαλύτερη από έναν RCBO επειδή ο πρώτος τίθεται σε λειτουργία μόνο όταν υπάρχει ρεύμα στο κύκλωμα, ενώ ο δεύτερος ενεργοποιείται όταν υπάρχει υπερένταση ή βραχυκύκλωμα στο σύστημα. Τέλος, η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται από παράγοντες όπως το περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιείται, η συχνότητα χρήσης και η ποιότητα της συσκευής.

3. Ρελέ διαρροής για εγκατάσταση σε πόρτα πίνακα (ή σε κάποιες περιπτώσεις και σε ράγα): Όταν στις εγκαταστάσεις, η ονομαστική ένταση αυτών υπερβαίνει την τιμή των 125A, δεν δύναται να εφαρμοστούν συμβατικοί διακόπτες διαρροής με τοποθέτηση σε ράγα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες αξιοποιούνται ρελέ διαρροής, τα οποία έρχονται σε συνεργασία με κάποιον τορροειδή μετασχηματιστή εξωτερικά. Ο ουδέτερος και όλες οι φάσεις διαπερνούν εσωτερικά του τορροειδούς και δεν αποκλείεται η εφαρμογή τους και σε κυκλώματα εν απουσία του ουδετέρου (για παράδειγμα κινητήρες). Όταν προκύψει σφάλμα, η οδηγία απόζευξης του γενικού τηλεχειριζόμενου ή αυτόματου

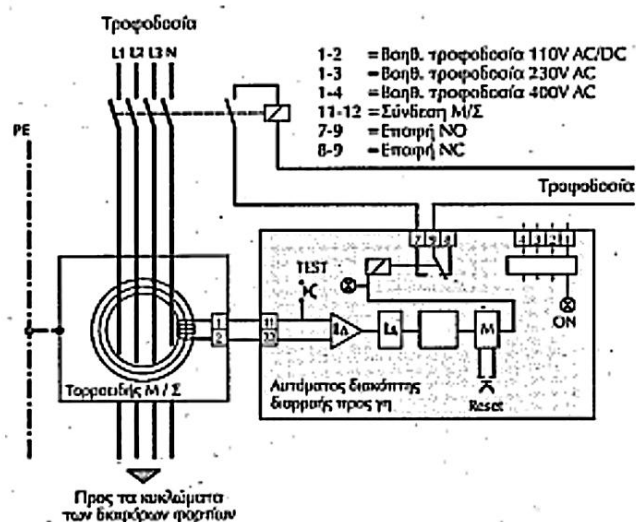
διακόπτη (ρελέ ισχύος) μεταφέρεται από το ρελέ διαρροής. Στις Β.Η.Ε. τα ρελέ διαρροής είναι η ιδανική επιλογή προστατεύοντας από ρεύματα διαρροής προς γη [61].

Ο διακόπτης διαρροής προς τη γη είναι υποχρεωτικό να χρησιμοποιείται σε όλες τις εγκαταστάσεις. Επιπλέον για την επιλογή του διαφορικού ρεύματος ισχύει [11]:

- $I_{\Delta n} \leq 30\text{mA}$ για οικιακές εγκαταστάσεις
- $I_{\Delta n}$: 300mA-500mA για εργαστήρια και μικρές βιομηχανικές εγκαταστάσεις
- $I_{\Delta n}$: 500mA-1000mA για μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις

Τα 1000A – 6000A είναι ρεύματα σφάλματος, οπότε αυτά είναι και τα μέγιστα ρεύματα που μπορεί να αντέξει σαν κατασκευή ο Δ.Δ.Ρ.

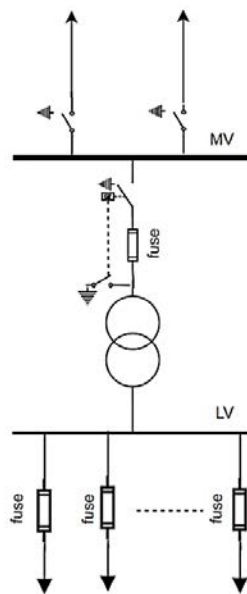
Πραγματοποιείται σύνδεση με ειδικούς τορροειδείς μετασχηματιστές, με σκοπό να επιτευχθεί ο έλεγχος και η σύγκριση του ρεύματος εισόδου και εξόδου σε αυτούς, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4. Όταν κάνει την εμφάνιση της διαφορά ρεύματος στο επιβλεπόμενο κύκλωμα, τότε στο δευτερεύον του τορροειδούς μετασχηματιστή δημιουργείται σήμα. Το πρόβλημα εντοπίζεται από το σύστημα του διακόπτη διαρροής προς τη γη και υλοποιείται μετατροπή της καταστάσεως κάποιας ενσωματωμένης μεταγωγικής επαφής, η οποία έχει τη δυνατότητα ενεργοποίησης ενός αυτόματου διακόπτη ή ενός διακόπτη προστασίας μέσω κάποιου πηνίου εργασίας [53].



Σχήμα 4.4.: Τορροειδής Μ/Σ [53].

4.5. Προστασίες στον υποσταθμό ΜΤ/ΧΤ

Στο βασικό Υ/Σ της εγκατάστασης υπάρχει ένας Μ/Σ ισχύος, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον μετασχηματισμό τάσης στα προβλεπόμενα για τη διανομή επίπεδα. Διατίθενται και πυκνωτές ώστε να ελεγχεται η άεργος ισχύς. Επιπλέον, στους Υ/Σ υπάρχουν διπλοί ζυγοί ΜΤ ώστε αν προκύψει ανάγκη για κάποια συντήρηση, να είναι δυνατή η παράκαμψη ενός ζυγού και να μη χρειάζεται να γίνει διακοπή τροφοδοσίας της ΜΤ. Ο βασικός Υ/Σ, για να εξασφαλίσει την ασφάλεια των γραμμών από τυχόν σφάλματα ΜΤ έχει και τα απαραίτητα διακοπτικά μέσα. Η τάση, η συχνότητα, τα ρεύματα των γραμμών και η ροή ισχύος είναι τα στοιχεία του δικτύου, τα οποία επιτηρούνται από τους Η/Ν προστασίας με τους οποίους συνδέονται οι διακόπτες ισχύος. Υπάρχουν επίσης και οι δευτερεύοντες Υ/Σ, στις γραμμές ΜΤ μετατρέποντας τη ΜΤ σε ΧΤ. Για να είναι ασφαλές το δίκτυο από σφάλματα στην μεριά ΜΤ του Μ/Σ, ο Υ/Σ αποτελείται από τον αυτόματο διακόπτη ισχύος ή τον διακόπτη φορτίου και τις ασφάλειες ΜΤ, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.5. Σε περίπτωση σφάλματος του Μ/Σ απ' τη μεριά της ΜΤ, η βλάβη θα σταματήσει από την προστασία του Μ/Σ κι όχι από το μέσο προστασίας που υπάρχει στην αρχή της γραμμής. Η λειτουργία των μέσων προστασίας στην αναχώρηση της γραμμής ενεργοποιείται όταν υπάρξει βλάβη στην απομόνωση του σφάλματος από την προστασία του Μ/Σ [48].



Σχήμα 4.5.: Προστασία Υ/Σ ΜΤ [48].

4.6. Αυτόματη απομόνωση και διακοπή λειτουργίας εγκατάστασης σε συνθήκες σφάλματος

Υπό κανονικές συνθήκες η απόζευξη είναι η αναστολή του φορτίου από την τροφοδοσία και πραγματοποιείται όταν το κύκλωμα δεν ηλεκτροδοτείται. Με τους αποζεύκτες διασφαλίζεται πως το κύκλωμα το οποίο εξετάζουν δεν θα βρεθεί ποτέ υπό τάση, όσο το ίδιο είναι μη λειτουργικό για έναν συγκεκριμένο λόγο, όπως αυτός της συντήρησης [62].

Η διακοπή θεωρείται ως αποσύνδεση του φορτίου από την παροχή υπό φυσιολογικές συνθήκες δραστηριότητας, είτε υπό μεγάλης αναγκαιότητας περιστάσεις ή συνθήκες ζημιάς. Κάθε ηλεκτρική συσκευή, εγκατάσταση ή κύκλωμα χρειάζεται έλεγχο μέσω αποτελεσματικών μέσων διακοπής, ορθά τοποθετημένα, για να εξαλείφεται ή να αποτρέπεται ο οποιοσδήποτε κίνδυνος. Η τοποθέτηση των μέσων αυτών στην αρχή κάποιας ηλεκτρικής εγκατάστασης έχει ως αποτέλεσμα τη λειτουργία τους ως γενικοί διακόπτες. Από τη μια διακόπτες, οι οποίοι επιτελούν λειτουργική αναστολή, είναι παραδείγματος χάριν οι διακόπτες φωτισμού. Από την άλλη συσκευές που πράττουν παύση υπό συνθήκες σφάλματος μπορεί να είναι οι αυτόματοι διακόπτες διαρροής ρεύματος (Α.Δ.Δ.), οι ασφάλειες τήξης, τα αυτόματα διακοπτικά μέσα «Circuit Breakers», οι μικροαυτόματοι διακόπτες κυκλώματος «Miniature Circuit Breakers (MCB)», κ.ά. [62].

Η απόζευξη βασίζεται στην απομόνωση από το σύστημα, του συνόλου των ενεργών αγωγών κάποιου φορτίου, για παράδειγμα ενός ηλεκτροκινητήρα. Σε καταστάσεις όπου παρατηρείται σφάλμα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της εγκατάστασης, η αυτόματη απομόνωση και η διακοπή αυτή της ενέργειας επιτυγχάνεται με [1]:

1. Αποζεύκτη: Συνήθως αξιοποιείται όταν ο συντηρητής ηλεκτρολόγος χρειάζεται να διακόψει την τάση προμήθειας του συστήματος με ρεύμα. Αυτός έχει ως σκοπό την επέμβαση χωρίς διακινδύνευση τόσο στον ίδιο τον ηλεκτροκινητήρα, όσο και στην εκκίνηση της γραμμής του ηλεκτροκινητήρα. Ο αποζεύκτης είναι ενιαίο δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει τρεις ασφάλειες (μαχαιρωτές ή βιδωτές), που είναι ανάλογες των τριών φάσεων. Αυτό το σύστημα είναι γνωστό ως «ασφαλειοαποζεύκτης» (συνδυασμός ασφαλειών με αποζεύκτη), που χρησιμοποιείται συγχρόνως ως ασφάλεια και ως διακόπτης [4]. Οι ασφάλειες NH ή αλλιώς μαχαιρωτές, οι οποίες εφαρμόζονται στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κίνησης, διαθέτουν βάσεις 00/1 για τριπολικές και

00/0/1/2/3/4α για μονοπολικές. Η δυνατότητα διακοπής ρεύματος, αντίστοιχα με το μέγεθός τους κυμαίνεται από 24 έως 1250A.

2. Αυτόματος διακόπτης μαγνητικής προστασίας (σχήμα 4.6.): Πρέπει να συνεργάζεται πάντα με θερμικό και συμπεριλαμβάνει χειροκίνητο σύστημα ζεύξης-απόζευξης πόλων, σύστημα παλινόρθωσης (reset), καθώς και ηλεκτρομαγνητικά δεδομένα, τα οποία σταματούν την ζεύξη συνολικά των πόλων του κυκλώματος ισχύος σε συνθήκες βραχυκυκλώματος, σε χρόνο ανά ms.
3. Αυτόματος διακόπτης θερμομαγνητικής προστασίας ή διακόπτης ισχύος (σχήμα 4.7.): Ο ίδιος περιλαμβάνει πέντε βασικά μέρη. Πιο συγκεκριμένα, αποτελείται από το χειροκίνητο σύστημα ζεύξης πόλων (start), το σύστημα επαναφοράς (reset) και το σύστημα απόζευξης πόλων (stop), το οποίο είναι επίσης χειροκίνητο. Επιπλέον, υπάρχουν ηλεκτρομαγνητικά στοιχεία, που παρέχουν ικανότητα προστασίας στα βραχυκυκλώματα. Αυτά τα στοιχεία διακόπτουν τη ζεύξη του συνόλου των πόλων στο κύκλωμα ισχύος, όταν διέρχεται από αυτά ρεύμα τιμής 10 φορές ανώτερη από το επιθυμητό, ανά ms σε χρόνο. Υπάρχουν και θερμικά (διμεταλλικά) στοιχεία, που δίνουν ικανότητα προστασίας στην περίπτωση επαναλαμβανόμενων υπερφορτίσεων.



Σχήμα 4.6.: Αυτόματος διακόπτης μαγνητικής προστασίας (α) ηλεκτρολογικός συμβολισμός, (β) εξωτερική όψη και (γ) χαρακτηριστική καμπύλη ενεργοποίησης του διακόπτη [1].



Σχήμα 4.7.: Αυτόματος διακόπτης θερμομαγνητικής προστασίας ή διακόπτης ισχύος (α) ηλεκτρολογικός συμβολισμός, (β) εξωτερική όψη και (γ) χαρακτηριστική καμπύλη ενεργοποίησης του διακόπτη [1].

Οι χειροκίνητοι διακόπτες-αποξεύκτες είναι σημαντικές διατάξεις προστασίας για τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Δίνουν στο προσωπικό τη δυνατότητα παρέμβασης στην επεξεργασία του τεχνικού κομματιού ενός δικτύου κάθε στιγμή που είναι απαραίτητο. Αξιοποιούνται για τη ζεύξη-απόζευξη φορτίων, για παράδειγμα το φωτισμό. Επιπλέον συμβάλλουν στην έναρξη και την παύση του συστήματος ή την επιλογή επεξεργασιών, ακόμη και για την απομόνωση εξαρτημάτων του δικτύου, με σκοπό την διεξαγωγή εργασιών συντήρησης [9].

Οι διάφορες απαιτήσεις που οφείλουν να φέρουν εις πέρας οι διακόπτες-αποξεύκτες, οδήγησαν σε μια ευρεία ποικιλία λειτουργιών και των ανάλογων όρων, που δεν παρουσιάζονται μονίμως στα σχετικά πρότυπα [9]. Πιο συγκεκριμένα οι όροι, όπως διακόπτης βηματικής λειτουργίας ή εναλλαγής, διακόπτης ON ή OFF, διακόπτης απομόνωσης ή μεσαίας θέσης, ακόμη και διακόπτης τριών κατευθύνσεων, στοχεύουν στην περιγραφή των διαφορετικών ειδών και των χαρακτηριστικών των επαφών. Αντίθετα, στα είδη των επαφών αναφέρονται οι όροι διακόπτης-αποξεύκτης, λειτουργικός διακόπτης, απομονωτής και διακόπτης ελέγχου. Τέλος, οι όροι διακόπτες και μπουτόν αφορούν τον τρόπο ενεργοποίησης των επαφών.

Ο έλεγχος λειτουργίας κινητήρων επιτυγχάνεται αυτόματα (τοπικά) ή αυτόματα από απόσταση, μπορεί να χρειάζεται ζεύξεις-αποζεύξεις σε μεγάλο αριθμό ή να απαιτείται

ανθεκτικότητα στα ισχυρά ρεύματα αιχμής εκκίνησης, ή ακόμη πραγματοποιείται και χειροκίνητα. Σε περίπτωση που στους κινητήρες υλοποιείται αυτόματα η ρύθμιση της λειτουργίας τους, τότε αξιοποιούνται ηλεκτρονόμοι ισχύος (ρελέ). Αν, όμως, εκτελείται χειροκίνητα, τότε εφαρμόζονται αυτόματοι διακόπτες μαγνητικής ή θερμομαγνητικής προστασίας [1].

4.7. Παρουσίαση, ανάλυση λειτουργίας και διαστασιολόγηση αυτόματων διακοπτικών μέσων (ΑΔΜ)

Τα αυτόματα διακοπτικά μέσα προστασίας, είναι διακόπτες ισχύος οι οποίοι τίθενται σε λειτουργία με αυτόματο τρόπο, σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, όταν ξεπεραστεί κάποια τιμή του ρεύματος. Προορισμός τους είναι η προστασία του εξοπλισμού από υπερθέρμανση λόγω υπερφορτίσεων και προστασία από θερμική και μηχανική (δυναμική) καταπόνηση από βραχυκυκλώματα. [63].

Αποτελούνται από 3 μέρη:

- Τις επαφές με το θάλαμο σβέσης, δηλαδή ΔΙ.
- Το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο το οποίο σε περίπτωση που ξεπεραστεί κάποια τιμή του ρεύματος, το ΔΙ ενεργοποιείται αμέσως παρέχοντας προστασία σε κατάσταση βραχυκυκλώματος.
- Το θερμικό στοιχείο ή τον Η/Ν ώστε όταν προκύψει υπερφόρτιση, να ενεργοποιηθεί το ΔΙ και να προστατεύσει το κύκλωμα.

Οι αυτόματοι διακόπτες συνδέονται με Η/Ν υπέρτασης ή υπότασης προστατεύοντας τους κινητήρες. Αναλόγως τη συσκευή που είναι υπό προστασία, κατηγοριοποιούνται ως εξής [63]:

- ❖ Μικροαυτόματοι (αυτόματα διακοπτικά μέσα συσκευών και γραμμών).
- ❖ Αυτόματοι διακόπτες κινητήρων.
- ❖ Αυτόματα διακοπτικά μέσα ισχύος σε Β.Η.Ε.

4.7.1 Μικροαυτόματοι (αυτόματα διακοπτικά μέσα συσκευών και γραμμών)

Σχεδιάζονται με βάση το Πρότυπο IEC 60947-1 2007 και αξιοποιούνται για την προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων και υπερφορτίσεων στις αναχωρήσεις γραμμών [63].

Τα τεχνικά γνωρίσματα γνωστά και ως κατασκευαστικά στοιχεία, χρησιμοποιούνται για την ορθή επιλογή μικροαυτόματου και είναι τα εξής [2], [63]:

1. Τάση: Δημιουργούνται σε τριφασική ή μονοπολική συνδεσμολογία για 230/400V και αναστέλλουν παρόμοιες τιμές ρεύματος για 60-110V DC τάσεις.
2. Ονομαστικό ρεύμα I_N : 4A-63A.
3. Ο έλεγχός τους είναι χειροκίνητος στο κλείσιμό, αλλά αυτόματος στο άνοιγμα, πράγμα που υλοποιείται με εντολή από το ηλεκτρομαγνητικό ή θερμικό στοιχείο
4. Δυνατότητα διακοπής σε βραχυκυκλώματα, δηλαδή 6.000A $\cos\varphi=0,4$. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες I, II και III μικροαυτόματων που μπορούν να διακόπτουν 3,6 και 10kA αντιστοίχως.
5. Ομάδα περιορισμού που ρέει το ρεύμα: Κλάσεις I, II και III που αντιστοιχούν στη δυνατότητα του διακόπτη να αντέξει σε υψηλή τιμή μεταβατικού ρεύματος για μεγάλο χρονικό διάστημα, οι οποίες είναι αντίστοιχες με μικρότερες, μεσαίες ή και με υψηλότερες απαιτήσεις. Ειδικότερα, το γινόμενο $I^2 \cdot t$ βοηθάει αποτελώντας βασικό παράγοντα για την ενσωμάτωση σε μια κλάση.
6. Χαρακτηριστικές ρεύματος χρόνου: Μόλις η τιμή του ρεύματος φτάσει περίπου στο 3πλάσιο-5πλάσιο του ονομαστικού, αξιοποιείται η καμπύλη τύπου B, η οποία έχει ως γνώρισμα πως το ηλεκτρομαγνητικό κομμάτι της αποξεύγει σε ελάχιστη χρονική διάρκεια. Επίσης, είναι μια γενική χαρακτηριστική που αφορά κυκλώματα γραφείων, κατοικιών που δεν υπάρχει τροφοδοσία από κινητήρες, για παράδειγμα κλιματιστικά. Σε επαφή βρίσκονται τα σημεία των καμπυλών, το οποίο σημαίνει ότι όπου τελειώνει το σημείο της B ξεκινάει της C. Όσον αφορά τη χαρακτηριστική τύπου C, προβλέπεται για συσκευές που διαθέτουν υψηλά ρεύματα έναρξης, π.χ. κινητήρες ή φωτιστικά ισχύος και φτάνει στο 5πλάσιο με 10πλάσιο του ονομαστικού.

Όταν το επιθυμητό ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι πιο μεγάλο από εκείνο που έχει τη δυνατότητα να σταματήσει ο μικροαυτόματος, χρειάζεται ο τελευταίος να προστατεύεται με ασφάλεια τήξης, η οποία προηγείται, ενώ διαφορετικώς θα καταστραφεί [63].

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε τροφοδοσία ρεύματος 480VAC και πρέπει να προστατεύσουμε τα ηλεκτρικά μηχανήματα μιας Β.Η.Ε. από βραχυκυκλώματα και υπερφορτώσεις. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιήσουμε MCBs. Το συνολικό φορτίο του μηχανήματος είναι 150A και το καλώδιο τροφοδοσίας είναι τριφασικό.

Ακολουθεί ο τρόπος με τον οποίο μπορούμε να διαστασιολογήσουμε και να επιλέξουμε MCBs για αυτή την εφαρμογή:

1. Καθορισμός του ονομαστικού ρεύματος των MCBs: Σύμφωνα με τα βιομηχανικά πρότυπα, το ονομαστικό ρεύμα των MCBs χρειάζεται να έχει τιμή μεγαλύτερη ή ίση με αυτή του μέγιστου ρεύματος φορτίου του εξοπλισμού. Επομένως, πρέπει να επιλέξουμε MCBs με ονομαστικό ρεύμα 150A ή μεγαλύτερο.
2. Υπολογισμός του ρεύματος βραχυκύκλωσης: Μπορούμε να υποθέσουμε ότι το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι 20kA.
3. Επιλογή της ικανότητας διακοπής των MCBs: Πρέπει να επιλέξουμε MCBs με ικανότητα διακοπής τουλάχιστον 20kA για να διασφαλίσουμε την ασφάλεια των μηχανημάτων και των χειριστών.
4. Επιλογή του αριθμού των πόλων: Ο αριθμός των πόλων που απαιτείται στο παράδειγμά μας εξαρτάται από τον αριθμό των φάσεων στην παροχή ρεύματος. Δεδομένου ότι έχουμε τριφασική παροχή, πρέπει να επιλέξουμε τριπολικούς MCBs.
5. Επιλογή της καμπύλης ενεργοποίησης: Στο παράδειγμά μας, μπορούμε να επιλέξουμε μια καμπύλη C, οι οποίες είναι κατάλληλες για βιομηχανικό εξοπλισμό.

4.7.2 Αυτόματοι διακόπτες κινητήρων

Στα βραχυκυκλώματα είναι εφικτό να προστατευθούν οι κινητήρες αξιοποιώντας αυτόματα διακοπτικά μέσα ισχύος κλειστού τύπου. Σύμφωνα με το Πρότυπο IEC 60947-4.1. η οργάνωση τύπου C επιτυγχάνεται με συσκευές ελέγχου [64].

Στην προστασία των κινητήρων, οι αυτόματοι διακόπτες ισχύος οφείλουν να εφαρμόζουν τους κανόνες 60947-1 και 60947-2, που βασίζονται στο Πρότυπο IEC με τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά [64]:

1. Τάση (ονομαστική): 690V AC (50/60 Hz).
2. Κατηγορίας C και K, με δυνατότητα αναστολής σε λειτουργία (I_{cs}) που είναι ίση με τη δυνατότητα αναστολής μεγίστου βραχυκυκλώματος (I_{cu}).
3. Ιδανικοί για απόξευση.
4. Σχεδιασμένοι ώστε να στηρίζονται κάθετα ή οριζόντια, χωρίς αυτό να επιδρά αρνητικά στην απόδοσή τους.
5. Δυνατότητα τοποθέτησης είτε στην αναχώρηση του κυκλώματος στον πίνακα κίνησης είτε στον πίνακα ελέγχου λειτουργίας κοντά στο φορτίο (π.χ. κινητήρας).
6. Κλάση μόνωσης II ανάμεσα στα εσωτερικά κυκλώματα ισχύος και τη πρόσοψη.

Τα ειδικά αυτόματα διακοπτικά μέσα που διαθέτουν σταθερή μαγνητική και ρυθμιζόμενη θερμική προστασία και σε συνδυασμό με τις κατάλληλες συμπληρωματικές επαφές μπορούν να εξασφαλίσουν προστασία για όλους τους τύπους κινητήρων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πλήρη προστασία έναντι βραχυκυκλώματος και υπερφόρτισης, αλλά συγχρόνως την επιτυχή κάλυψη των προδιαγραφών DIN VDE 0110-0660 και IEC 292-1 [64].

Το 3πολικό θερμικό στοιχείο έναντι υπερεντάσεως και διακοπής φάσεως παρέχει προστασία σε κινητήρες με ονομαστική ισχύ έως και 2kW. Με τον ίδιο τρόπο προστατεύονται και οι κινητήρες με ονομαστική ισχύ πιο μεγάλη από 2kW μέχρι και τα 75kW, ειδικά όμως προστατεύονται με τη βοήθεια τριφασικού H/N. Η ηλεκτρονική μονάδα προστασίας κινητήρος αποτελεί μέσο προστασίας για κινητήρες που διαθέτουν ονομαστική ισχύ πάνω από τα 75kW. Ένα ισοδύναμο θερμικό κύκλωμα, περιλαμβάνεται στη μονάδα που αναφέρθηκε παραπάνω, το οποίο λειτουργεί αθροιστικά σε σχέση με τις απώλειες χαλκού – σιδήρου του κινητήρα. Ανάλογα με τις απώλειες αυτές παράγεται η χαρακτηριστική καμπύλη θερμοκρασίας του κινητήρα κατά τα στάδια ψύξεως, λειτουργίας και εκκίνησης. Η ηλεκτρονική μονάδα προστασίας κινητήρος χρειάζεται να επιβλέπει την παραπάνω καμπύλη καθ' όλη τη διάρκεια διακοπής της ηλεκτροδότησης, ενώ συγχρόνως να λειτουργεί ξανά στο κατάλληλο σημείο της χαρακτηριστικής, μόλις η ρευματοδότηση επανέλθει [64].

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα κύκλωμα διακλάδωσης αποτελούμενο από έναν τριφασικό κινητήρα και μία διάταξη (πίνακα) ελέγχου. Η τελευταία επιτρέπει στον χρήστη να εκκινεί, να σταματά και να ρυθμίζει τη λειτουργία του κινητήρα. Μπορεί επίσης να περιλαμβάνει διάφορες προστατευτικές διατάξεις, όπως ασφάλειες ή διακόπτες κυκλώματος, για την προστασία από υπερένταση ή βραχυκύκλωμα. Τα δεδομένα που ισχύουν είναι τα εξής:

- Ρύθμιση τριπολικού θερμικού/μαγνητικού διακόπτη: 10A
- Ονομαστικό ρεύμα κινητήρα (I_e): 7.6A
- Ονομαστική τάση κινητήρα: 460V
- Εύρος προστασίας από υπερφόρτωση: 115% - 140% του ονομαστικού ρεύματος πλήρους φορτίου του κινητήρα.
- Μήκος κυκλώματος: περίπου 15m
- Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση καλωδίου: 30A

Για να διαστασιολογήσουμε το κύκλωμα του κινητήρα, πρέπει να προσδιορίσουμε τα εξής:

- Προστασία του κυκλώματος διακλάδωσης του κινητήρα: Θα χρησιμοποιήσουμε έναν διακόπτη κυκλώματος για την παροχή προστασίας από βραχυκύκλωμα ή υπερφόρτιση. Κατά γενικό κανόνα, ο διακόπτης κυκλώματος πρέπει να διαστασιολογείται στο 125% της ονομαστικής τιμής ρεύματος πλήρους φορτίου του κινητήρα. Επομένως, ο διακόπτης κυκλώματος θα πρέπει να διαστασιολογηθεί στα εξής επίπεδα:

$$I_p = I_e \times 125\% = 7,6A \times 1,25 = 9,5A$$

Όπου:

I_p είναι το μέγιστο ρεύμα που επιβαρύνει ο κινητήρας το κύκλωμα κατά την εκκίνηση του σε A.

- Επιλογή ενός τριπολικού θερμικού/μαγνητικού διακόπτη κυκλώματος: 10A.
- Επιλογή εκκινητή κινητήρα: Θα επιλέξουμε έναν εκκινητή κινητήρα που είναι κατάλληλος για έναν τριφασικό κινητήρα 5hp, 460V, 3 φάσεων.

Θα χρησιμοποιήσουμε τον κατάλογο για να επιλέξουμε έναν εκκινητή κινητήρα που

έχει:

- Ονομαστικό ρεύμα ίσο ή μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα πλήρους φορτίου του κινητήρα 7,6A.

- Ονομαστική τάση ίση ή μεγαλύτερη από την ονομαστική τάση του κινητήρα (460V)
- Προστασία υπερφόρτωσης που έχει ρυθμιστεί να ενεργοποιείται σε ρεύμα μεταξύ 115% και 140% της ονομαστικής τιμής ρεύματος πλήρους φορτίου του κινητήρα.

Διαστασιολόγηση καλωδίων: Θα διαστασιολογήσουμε τα καλώδια με βάση την ονομαστική ένταση ρεύματος πλήρους φορτίου του κινητήρα και το μήκος του κυκλώματος. Το μήκος του κυκλώματος είναι περίπου 15m και τα καλώδια θα είναι χάλκινοι αγωγοί τύπου «Thermoplastic Heat- and Water-resistant Nylon-coated» (THWN) εγκατεστημένοι σε σωλήνα. Θα χρησιμοποιήσουμε το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384 για να βρούμε την ονομαστική ένταση του καλωδίου. Για ένα κύκλωμα μήκους περίπου 15m, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε καλώδιο 6mm², το οποίο έχει συνεχή επιτρεπτή ένταση ρεύματος 30A.

Σύμφωνα με το Πρότυπο η μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης από το 2ον του Μ/Σ στον υποσταθμό μέχρι το δυσμενέστερο φορτίο πρέπει να είναι μικρότερη από 4%, όταν η εγκατάσταση τροφοδοτείται από το δημόσιο δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης. Οι περιορισμοί αυτοί επιβάλλονται για λόγους λειτουργικούς και επίσης για λόγους εξοικονόμησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλυτικότερα, όσο μεγαλύτερη είναι η πτώση τάσης τόσο μικρότερη είναι η τάση τροφοδοσίας για τα ηλεκτρικά φορτία που θα συνδεθούν στο δίκτυο, δημιουργώντας πιθανά προβλήματα λειτουργίας σε ηλεκτρονικές διατάξεις.

Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ HD 60364-5-53 η πτώση τάσης u σε V μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$u = b \left(\rho \frac{L}{S} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) I_B$$

, όπου b είναι ένας συντελεστής ίσος με 1 για τριφασικά κυκλώματα και ίσος με 2 για μονοφασικά κυκλώματα, ρ είναι η ειδική αντίσταση του αγωγού σε κανονική λειτουργία, L είναι το μήκος των αγωγών σε m, S είναι η διατομή των αγωγών σε mm², $\cos \varphi$ είναι ο συντελεστής ισχύος, λ είναι η αντίσταση ανά μονάδα μήκους των αγωγών σε mΩ/m και I_B είναι η ένταση του ρεύματος του αγωγού σε A (η απορροφώμενη ένταση της γραμμής).

Η ειδική αντίσταση του αγωγού ρ (Ω*mm²/m) εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία του αγωγού η οποία είναι η μέγιστη συνεχώς επιτρεπόμενη θερμοκρασία του μονωτικού του αγωγού. Για χάλκινους αγωγούς και μονωτικό από PVC η μέγιστη θερμοκρασία είναι 70°C.

Η ειδική αντίσταση του χαλκού στους 20°C είναι $\rho(20)=0.0172(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$ και στους 70°C είναι $\rho(70)=\rho(20) \cdot 1.25=0.0172 \cdot 1.25=0.022(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$:

- Για το χαλκό $0.0225 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$ και
- Για το αλουμίνιο $0.03 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$.

Εν προκειμένω, το υλικό των αγωγών που θα χρησιμοποιηθούν είναι χαλκός οπότε $\rho = 0.0225 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$. Για το συντελεστή b ισχύει $b = 1$, καθώς μελετούμε τριφασικό κύκλωμα. Το μήκος της γραμμής είναι $L = 15 \text{ m}$ και διατομή του αγωγού είναι $S = 6 \text{ mm}^2$. Ο συντελεστής ισχύος $\cos\phi$ είναι ίσος με 0.85, η αντίσταση ανά μονάδα μήκους του αγωγού είναι $\lambda = 0.08 \text{ m}\Omega/\text{m}$ και το ρεύμα απευθείας εκκίνησης του κινητήρα είναι 9.5A. Λαμβάνοντας υπόψη όμως πως ο κινητήρας εκκινεί με διακόπτη αστέρα-τρίγωνο, το ρεύμα εκκίνησης μειώνεται στο 1/3 της τιμής ρεύματος εκκίνησης. Άρα $I_B = 9.5 / 3 \text{ A}$.

Από τα παραπάνω και αντικαθιστώντας στη σχέση υπολογίζουμε πως η πτώση τάσης στη γραμμή κατά την εκκίνηση είναι:

$$u = 1 \cdot \left(0.0225 \cdot \frac{15}{6} \cdot 0.85 + 0.08 \cdot 15 \cdot 0.53 \right) \cdot \frac{9.5}{3} \Rightarrow u = 3.217 \text{ V}.$$

Η σχετική πτώση τάσης επί τοις εκατό Δu δίνεται από το πηλίκο της υπολογιζόμενης πτώσης τάσης της γραμμής u σε V προς την ονομαστική τάση U_0 σε V ως εξής:

$$\Delta u = 100 \frac{u}{U_0} \Rightarrow \Delta u = 100 \frac{3.217}{220} \Rightarrow \Delta u = 1.39 \text{ \%}.$$

Παρατηρείται λοιπόν πως ποσοστιαία πτώση τάσης είναι στα επιτρεπόμενα όρια (<4%).

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου αυτόματου διακόπτη βασίζεται σε διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του τύπου του φορτίου, της πηγής ισχύος, της ικανότητας του διακόπτη να διαχειρίζεται ρεύματα εισόδου και των περιβαλλοντικών συνθηκών.

4.7.3. Αυτόματα διακοπτικά μέσα ισχύος σε B.H.E.

Βασίζονται στο Πρότυπο IEC 60947-2 2003. Βρίσκουν εφαρμογή ως γενικό μέσο ζεύξης ή παρέχουν προστασία έναντι υπερρευμάτων, αλλά χωρίς να αξιοποιούνται για αποζεύξεις ή ζεύξεις φορτίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κατασκευή τους για μικρό αριθμό κύκλων

λειτουργίας, συγκεκριμένα κυμαίνονται ανάμεσα σε 2000 έως 10000 κύκλους. Είναι ικανοί να σταματούν, κάτω από οποιαδήποτε συνθήκη λειτουργίας, το κύκλωμα [63].

Διαθέτουν [63]:

- α. Θάλαμο σβέσης τόξου.
- β. Στοιχείο έλλειψης τάσης.
- γ. Επαφές.
- δ. Συμπληρωματικές επαφές μανδάλωσης - σήμανσης.
- ε. Δεδομένα χρονικής απόκλισης της πτώσης.
- στ. Ηλεκτρομαγνητικό και θερμικό στοιχείο.

Για να διαλέξουμε το απαραίτητο ΔΙ θα πρέπει να εξεταστούν τα ακόλουθα τεχνικά γνωρίσματα [63]:

1. Η ονομαστική τάση (400V).
2. Μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα: 2.000A (ονομαστικό ρεύμα).
3. Αντοχή επαφών για 1 sec:40 kA, κυρίως για διακόπτες >800A.
4. Το ανώτερο επιθυμητό ρεύμα απόξευξης κάτω από έναν ορισμένο συντελεστή ισχύος.
5. Η ισχύς απόξευξης $\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k$, π.χ. 52 MVA. Η κλάση βραχυκύκλωσης P_1 ή P_2 συμβαδίζει με το ρεύμα. Όπου P_1 περιλαμβάνει τους επαναληπτικούς κύκλους λειτουργίας O-t-CO, ενώ η P_2 έχει να κάνει με γραμμές και εγκαταστάσεις διανομής αντιστοιχώντας σε O-t-CO-t-CO. Η διαφορά στα ηλεκτρικά μεταξύ O-t-CO για την P_1 και O-t-CO-t-CO για την P_2 για τις βιομηχανίες έγκειται στη φύση και τη διάρκεια των ηλεκτρικών λειτουργιών. Στην περίπτωση του O-t-CO για P_1 , αναφέρεται στη λειτουργία του ανοίγματος του κυκλώματος (O), της αναμονής για ορισμένο χρονικό διάστημα (t) και στη συνέχεια του κλεισίματος του κυκλώματος (CO) για επαναλαμβανόμενους κύκλους. Αυτός ο τύπος λειτουργίας χρησιμοποιείται συνήθως σε βιομηχανίες που απαιτούν διακοπόμενη παροχή ισχύος ή έχουν συγκεκριμένα πρότυπα ζήτησης ισχύος. Επιτρέπει την ελεγχόμενη και περιοδική παροχή ισχύος με βάση τις απαιτήσεις της βιομηχανίας. Από την άλλη πλευρά, το O-t-CO-t-CO για την P_2

αναφέρεται στη λειτουργία του ανοίγματος του κυκλώματος (O), της αναμονής για ορισμένο χρονικό διάστημα (t), του κλεισίματος του κυκλώματος (CO) και της επανάληψης αυτής της ακολουθίας λειτουργιών ξανά (O-t-CO-t-CO). Αυτός ο τύπος λειτουργίας χρησιμοποιείται συνήθως σε εγκαταστάσεις και γραμμές διασύνδεσης για να εξασφαλιστεί ο σωστός συγχρονισμός και η προστασία των ηλεκτρικών συστημάτων.

6. Τμήμα προσαρμογής ηλεκτρονικού ή θερμικού στοιχείου $I = f(t)$, αν υφίσταται: 1.100-2.000A.
7. Περιοχή λειτουργίας στιγμιαίου ηλεκτρομαγνητικού στοιχείου για την προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων, αν υφίσταται: 6.000-24.000A.
8. Η κατηγορία του H/N με έλλειψη τάσης/υπέρτασης.
9. Η κατηγορία στην οποία ανήκει η λειτουργική τάση του κινητήρα οπλισμού ή ο μηχανισμός οπλισμού του ελατηρίου.
10. Η κατηγορία και η ποσότητα συμπληρωματικών επαφών στοχεύοντας στη μανδάλωση ή τη σήμανση.
11. Τους μεγάλους διακόπτες, μέθοδος ψύξης επαφών με ανεμιστήρα, για παράδειγμα των 4.000A.

Ας υποθέσουμε ότι σχεδιάζουμε έναν αυτόματο διακόπτη ισχύος για μια βιομηχανική εγκατάσταση με τις ακόλουθες προδιαγραφές:

Τάση λειτουργίας: 480V

Μέγιστο ρεύμα φορτίου: 2000A

Ονομαστικό ρεύμα βραχυκυκλώματος: 50kA

Θερμοκρασία λειτουργίας: -20°C έως 40°C

1. Καθορισμός του τύπου διακόπτη: Με βάση τις παραπάνω προδιαγραφές, χρειαζόμαστε διακοπτικό υλικό XT που δεν ξεπερνά τα 1000V.
2. Καθορισμός των ονομαστικών τιμών του διακόπτη:
 - Πρέπει να υπολογίσουμε τις ακόλουθες παραμέτρους:

Ρεύμα πλήρους φορτίου (FLC): 2000A

Ρεύμα βραχυκύκλωσης (SCC): 50kA

Ονομαστική τάση (V): 480V

- Χρησιμοποιώντας αυτές τις παραμέτρους, μπορούμε να υπολογίσουμε τις ακόλουθες ονομαστικές τιμές:

Ονομαστικό ρεύμα I_e : $I_e = 1,45 \times 2000A = 2900A$

Ρεύμα βραχυχρόνιας αντοχής I_{cw} : $= 50kA \times 1,45 \times 1s = 72,5kA$

Ρεύμα αντοχής αιχμής I_{pk} : $= I_{cw} \times 2,5 = 181,25kA$

Όπου:

$k = 1,45$ είναι ένας σταθερός συντελεστής με βάση την ονομαστική τάση και τον τύπο του διακόπτη

$t = 1s$ η διάρκεια του βραχυκυκλώματος.

3. Επιλογή του κατάλληλου τύπου διακόπτη: Με βάση τις προδιαγραφές και τις ονομαστικές τιμές που υπολογίστηκαν παραπάνω, μπορούμε να επιλέξουμε τον κατάλληλο τύπο διακόπτη XT. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι ένας διακόπτης Molded Case Circuit Breaker (MCCB), ο οποίος διαχειρίζεται υψηλά ρεύματα σφάλματος και είναι κατάλληλος για βιομηχανικές εφαρμογές.
4. Επιλογή πρόσθετων χαρακτηριστικών:
 - Προστασία από υπερένταση.
 - Προστασία από βραχυκυκλώματα.
 - Προστασία από σφάλματα τόξου.
 - Δυνατότητες επικοινωνίας για παρακολούθηση και έλεγχο.
5. Οριστικοποίηση των προδιαγραφών και του σχεδιασμού: Ο διακόπτης μπορεί να εγκατασταθεί σε έναν πίνακα διανομής, ο οποίος περιλαμβάνει άλλα εξαρτήματα ηλεκτρικής διανομής, όπως μετασχηματιστές, γραμμές μεταφοράς και μετρητές. Ο σχεδιασμός θα πρέπει επίσης να λαμβάνει υπόψη το περιβάλλον και να συμμορφώνεται με τα σχετικά ηλεκτρικά πρότυπα και κανονισμούς.

4.8. Ασφάλειες, αυτόματοι διακόπτες ισχύος, διακόπτες διαφορικού ρεύματος (Δ.Δ.Ρ.), μικροαυτόματοι γραμμών

Σύμφωνα με την νομοθεσία στην Ελλάδα, οι έλεγχοι στην αρχή και οι σταδιακοί επανέλεγχοι είναι υποχρεωτικοί στις Β.Η.Ε. με βάση τον ΕΛΟΤ HD 384. Οι πρώτοι έλεγχοι υλοποιούνται πριν ηλεκτροδοτηθεί η εγκατάσταση ή έπειτα από κάποια σημαντική τροποποίηση της, ενώ οι επαναληπτικοί έλεγχοι εφαρμόζονται περιοδικά σε χρονικά διαστήματα που ορίζονται από το είδος της Β.Η.Ε. Η προστασία των ατόμων και των εγκαταστάσεων από διαφόρους κινδύνους της ηλεκτροδότησης (πυρκαγιά, ηλεκτροπληξία, έκρηξη, κ.λπ.) εξασφαλίζεται μέσω του τακτικού επανελέγχου της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, αποτελώντας συγχρόνως πολύτιμο εργαλείο πρόληψης [65]. Όλα αυτά πραγματοποιούνται με τη βοήθεια ασφαλειών, αυτόματων διακοπών ισχύος, Δ.Δ.Ρ., καθώς και με τη χρήση μικροαυτόματων γραμμών, που στη συνέχεια αναλύονται εκτενέστερα.

4.8.1. Ασφάλειες

Για να διαλέξουμε την πιο σωστή ασφάλεια πρέπει να ελεγχθούν τα ακόλουθα τεχνικά γνωρίσματα [2], [63]:

- α. Την ονομαστική τάση, για παράδειγμα 230/400V.
- β. Το ονομαστικό ρεύμα ή ονομαστική ισχύς διακοπής, που εξαρτάται από το είδος της ασφάλειας. Παραδείγματος χάριν τύπος D με μέγιστο ρεύμα διακοπής 50kA, τύπος DO με 25kA και τύπος NH με μέγιστο ρεύμα αναστολής 100kA.
- γ. Τις χαρακτηριστικές χρόνου και ρεύματος. Το «μικρό» και «μεγάλο» δοκιμαστικό ρεύμα παρέχονται είτε μαζί με τη χαρακτηριστική είτε χωρίς αυτή. Σε συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο, περίπου μια ώρα, η ασφάλεια δεν μπορεί να λιώσει από το μικρό ρεύμα σε αντίθεση με το μεγάλο ρεύμα.

Βρίσκουμε 4 είδη ασφαλειών (σχήμα 4.8.) με βασικές διαφορές στην ισχύ απόζευξης και στο μέγεθός τους. Αυτά είναι τα εξής [63]:

1. Ασφάλειες τύπου D, Diazed (Μεγάλες Βιδωτές): Όσον αφορά τις μεγάλες βιδωτές ασφάλειες, έχουν πορσελάνινο περίβλημα και αντέχουν ρεύματα από 2-200A. Η βάση και το κάλυμμα αυτής, το καπάκι, το φυσίγγιο και η μήτρα προσαρμογέα αποτελούν

βασικά μέρη των ασφαλειών. Το άκρο του φυσιγγίου είναι ίσο με τη διάμετρο της μήτρας, με αποτέλεσμα να μην εφαρμόζεται λανθασμένα φυσίγγιο με πιο μεγάλη διάμετρο, δηλαδή με παραπάνω ονομαστικό ρεύμα, κάτι που δεν εγγυάται πως η γραμμή είναι προστατευμένη. Τα 50kA είναι το όριο του ρεύματος απόξευξης των ασφαλειών.

2. Ασφάλειες τύπου D0, Neozed (Μικρές βιδωτές): Πορσελάνινο περίβλημα διαθέτουν και οι μικρότερες βιδωτές ασφάλειες τύπου D0, καλύπτοντας διάφορα εύρη ρεύματος από 2 έως 100A. Κατασκευάζονται με τον ίδιο τρόπο όπως οι προαναφερθείσες ασφάλειες τύπου D, αλλά είναι μικρότερες σε μέγεθος για να καλύπτουν μικρότερες ονομαστικές τιμές ρεύματος και ρεύματα διακοπής.
3. Ασφάλειες τύπου NH (Μαχαιρωτές), HBC fuses, HRC fuses: Η εξωτερική όψη των μαχαιρωτών ασφαλειών είναι κατασκευασμένη από πορσελάνη. Επιπλέον, διατίθενται σε 7 διαφορετικά μεγέθη, καλύπτοντας ποικίλλα φάσματα ρεύματος από 6 έως 1250A. Ως τηκτό στις ασφάλειες εννοούμε μια ταινία η οποία διαθέτει στενά σημεία και μια συγκόλληση μαλακής φύσεως (casiter bonding) στη μέση, που επέρχεται σε λιώσιμο όταν υπάρξει υπερφόρτιση. Αυτό ελαχιστοποιεί την αντίσταση στη σταθερή λειτουργία και μεγεθύνει τη δυνατότητα διακοπής. Εάν προκύψει βραχυκύκλωμα, έπειτα απ' την τήξη και την εξάλειψη του τόξου, εμφανίζεται υψηλή αντίσταση, ελαττώνοντας το ρεύμα βραχυκυκλώματος.
4. Ασφάλειες τύπου G (Μικροασφάλειες): Αυτές οι μικροασφάλειες περιέχονται σε γυάλινους κυλινδρικούς σωλήνες, καλύπτοντας διαφορετικά μέρη ρεύματος από 20mA έως 16A. Βασίζονται στο Πρότυπο IEC 60127-2006. Η ταινία της ασφάλειας εμπεριέχεται σε σωλήνα από γυαλί. Προστατεύουν εξοπλισμό χαμηλής ισχύος, όπως εργαστηριακό εξοπλισμό, όργανα μέτρησης, ηλεκτρονικές συσκευές και εξοπλισμό εικόνας και ήχου.



Σχήμα 4.8.: Ασφάλειες τήξης [66].

Υπάρχουν και οι ασφαλειοαποζεύκτες που συνδυάζουν τους μαχαιρωτούς αποζεύκτες με τις μαχαιρωτές ασφάλειες τύπου NH, καθιστώντας τους ασφαλειοαποζεύκτες κυκλώματος με λειτουργίες τόσο ασφάλειας όσο και γενικού διακόπτη. Για αυτό είναι κατάλληλοι για εγκαταστάσεις ισχύος. Οι διακόπτες ισχύος μπορούν να ανοιγοκλείνουν με χειροκίνητο συντονισμό υπό φορτίο, αλλά οι κινήσεις πρέπει να εκτελούνται γρήγορα, ώστε οι επαφές να μην επηρεάζονται από ηλεκτρικά τόξα. Οι ασφαλειοαποζεύκτες από τον κατασκευαστή τους φτάνουν ως τα 1250A, σε συνδυασμό με συμπληρωματικές επαφές για έλεγχο και σήμανση [63].

Οι ασφάλειες δημιουργούνται για τα ποικίλλα είδη χρήσης τα οποία προσδιορίζονται από 2 γράμματα, όπως φαίνεται και στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1.: Τύποι Δ.Δ.Ρ. [63].

Πρώτο γράμμα (εύρος απόζευξης)	Δεύτερο γράμμα (κατηγορία χρήσης)
g = πλήρης προστασία για όλη την περιοχή ρευμάτων	G = γενική χρήση
α = μερική προστασία μόνο σε υψηλά ρεύμα	L = γραμμές, καλώδια
	M = θερμικά (για κινητήρες)
	R = ημιαγωγοί
	B = εγκαταστάσεις ορυχείων
	Tr = μετασχηματιστές

4.8.2. Αυτόματοι διακόπτες ισχύος

Κάποια από τα γνωρίσματα των διακοπών ισχύος αναφέρονται στην υποενότητα 4.7.3. Εκτός αυτών υπάρχουν επιπλέον τα εξής [2]:

1. Ανώτερο επιθυμητό ρεύμα απόζευξης: $I_k=110\text{kA}$, με συγκεκριμένο $\cos\phi$: $\cos\phi=0,4$.
2. Ρελέ υπέρτασης και προσαρμογής του, σε περίπτωση που υπάρχει.
3. Ρελέ έλλειψης τάσης και έλεγχός του, σε περίπτωση που υπάρχει.
4. Βοηθητικές επαφές για μανδάλωση ή σήμανση, κ.ά. Για παράδειγμα, 3 κλειστές και 3 ανοιχτές.

5. Διακόπτες ανώτατης ισχύος υπάρχει πιθανότητα να χρειάζονται βοηθητικές τάσεις, που η προέλευσή τους πρέπει να είναι από δίκτυο ανεξάντλητης τάσης, όπως είναι τα 48V ή 110V συνεχούς τάσης.
6. Μοντέρνοι διακόπτες ισχύος διαθέτουν ένα χαρακτηριστικό επικοινωνίας. Η επικοινωνία μπορεί να υλοποιηθεί μέσω του βιομηχανικού συστήματος ελέγχου SCADA. Δεδομένα όπως η τάση, η θέση επαφών, η ρευματοδότηση κ.α., μπορούν να διαδοθούν. Επιπλέον, υπάρχει δυνατότητα τηλεχειρισμού.

Οι μικροαυτόματοι και οι μικροί διακόπτες ισχύος διαθέτουν όρια στο βραχυκυκλωμένο ρεύμα. Όταν το ρεύμα βραχυκυκλώματος ξεπεράσει την επιτρεπόμενη τιμή, τότε γίνεται χρήση ασφαλειών έως και 3 βαθμίδες πιο πάνω. Οι διακόπτες ισχύος είναι προτιμότεροι απ' τις ασφάλειες, στην περίπτωση μη επιλεκτικής αλληλεπίδρασης με διάφορα μέσα προστασίας. Κατά βάση αυτό παρατηρείται σε ρεύματα, τα οποία υπερβαίνουν τα 400A. Επιπρόσθετα, ηλεκτρονόμοι περιλαμβάνονται σε σύγχρονους διακόπτες ισχύος, οι οποίοι ρυθμίζουν επακριβώς τόσο το ρυθμιζόμενο ρεύμα όσο και το σχήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης ηλεκτρομαγνητικών - θερμικών δεδομένων [2].

4.8.3. Διακόπτες Διαφορικού Ρεύματος (Δ.Δ.Ρ.)

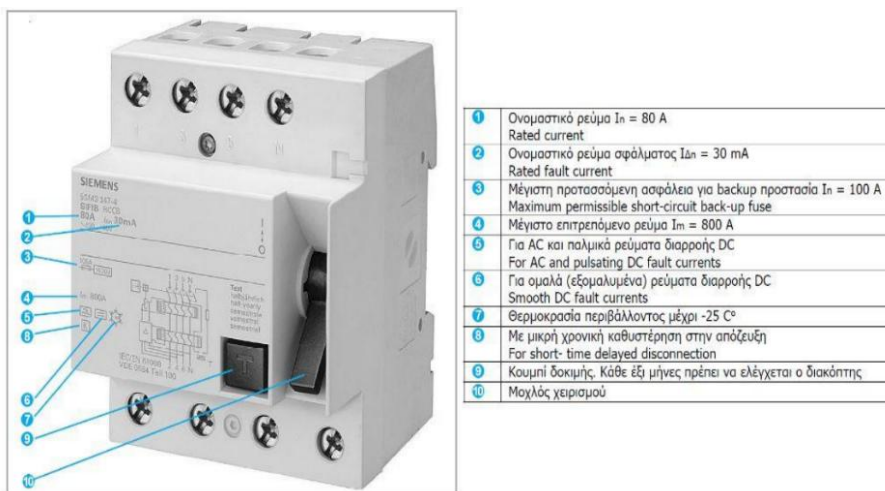
Ο Διακόπτης Διαρροής Έντασης (Δ.Δ.Ε.) ονομάζεται ρελέ διαρροής ή H/N ασφαλείας ή ρελέ διαφυγής, και αποτελεί διάταξη Δ.Δ.Ρ. Οι σημαντικές δραστηριότητες της διάταξης ενσωματώνονται και εκτελούνται σε έναν μηχανισμό, αρμόδιο για στερέωση στον «κορμό» του πίνακα διανομής της Β.Η.Ε. ή για στερέωση σε ράγα τροποποιημένης διατομής. Οι Δ.Δ.Ε. σε μονοφασικό δίκτυο είναι διπολικοί (N, L1), ενώ σε τριφασικό δίκτυο είναι τετραπολικοί (N, L1, L2, L3) [66].

Στο μονοφασικό δίκτυο ο αναστολέας κατανοείται ως ρεύμα εισόδου στο κύκλωμα το ρεύμα της φάσης, ενώ ως ρεύμα εξόδου το ρεύμα του ουδετέρου. Στο τριφασικό δίκτυο ο αναστολέας κατανοείται ως ρεύμα εισόδου, ως ρεύμα εξόδου και το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων των τριών φάσεων. Ο κάθε διακόπτης διαρροής εφοδιάζεται με μπουτόν ελέγχου (T), για να εξετάζεται κατά περιόδους η δεξιότητα του αναστολέα να διακόπτει τον εφοδιασμό του κυκλώματος, όταν εμφανίζεται ρεύμα διαρροής προς τη γη. Ο έλεγχος

καθορίζεται περιοδικά από τον κατασκευαστή. Ειδικά, χρειάζεται να εκτελείται ανά εξάμηνο. Πραγματοποιείται με μπουτόν test, και παράλληλα, ο διακόπτης πρέπει να είναι υπό τάση. Στις δοκιμές απαιτείται από ζεύξη του αναστολέα, αλλιώς ο ίδιος δεν λειτουργεί ορθά, με συνέπεια την ρισκοκινδύνευση έναντι ηλεκτροπληξίας [66].

Δύο είναι τα κύρια δομικά χαρακτηριστικά που αφορούν κάθε διάταξη του διαφορικού ρεύματος: ο ηλεκτρονόμος μέτρησης και ο αισθητήρας. Επίσης, η διάταξη του διαφορικού ρεύματος ρυθμίζει διαρκώς την διαφορά ανάμεσα στο ρεύμα εισόδου και το ρεύμα εξόδου. Σκοπός αυτών των διατάξεων είναι η προστασία ζώων και ατόμων από ηλεκτροπληξία και η εφαρμογή τους είναι υψίστης σημασίας για τις Β.Η.Ε. [66].

Στο ΕΛΟΤ HD384 το διαφορικό ρεύμα λειτουργίας $I_{\Delta N}$ είναι λιγότερο ή ίσο με 30mA σε μια διάταξη διαφύλαξης, τότε αξιοποιείται ως διάταξη προστασίας έναντι άμεσης επαφής [65]. Είναι αξιοσημείωτο πως η εφαρμογή αυτών των διατάξεων (π.χ. Δ.Δ.Ε.), δεν αποτελεί κατά αποκλειστικότητα μέτρο πλήρους προφύλαξης. Τα μέτρα φύλαξης διαφορικού ρεύματος χαρακτηρίζονται από τον ΕΛΟΤ HD384 ως διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση του μέτρου της «αυτόματης αναστολής του εφοδιασμού» για προφύλαξη έναντι έμμεσης επαφής. Εδώ περιλαμβάνεται και ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας, που υπάρχει πιθανότητα να προκύψει λόγω εφαρμογής μιας ελαττωματικής συσκευής. Επιπρόσθετα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις Δ.Δ.Ρ. με ονομαστικό διαφορικό ρεύμα λειτουργίας κάτω ή ίσο με 300mA, για να προστατέψει σε περίπτωση πυρκαγιάς ως συνέπεια βραχυκυκλώματος. Σύμφωνα με το σχήμα 4.9. υπάρχουν διάφορα τεχνικά γνωρίσματα που αφορούν τους Δ.Δ.Ρ. [66].



Σχήμα 4.9.: Τεχνικά χαρακτηριστικά Δ.Δ.Ρ. [65].

Η επιλογή των διακοπών διαρροής βασίζεται στα ακόλουθα χαρακτηριστικά [66]:

- α. Μονοφασικοί (N, L).
- β. Τριφασικοί (N, L1, L2, L3).
- γ. Το είδος του ρεύματος βλάβης (είτε D.C. παλμικό είτε A.C. μεικτό, με αρμοδιότητες, σε τι συχνότητα και ποιο φάσμα συχνότητας περιλαμβάνει).

Οι Δ.Δ.Ρ. διαχωρίζονται σε τέσσερις τύπους, όπως φαίνονται και στον πίνακα 4.2. Αυτοί κατηγοριοποιούνται με βάση το είδος του διαφορικού ρεύματος. Οι τύποι αυτοί είναι οι εξής [66]:

- i. Τύπου AC, δηλαδή 50Hz.
- ii. Τύπου A, δηλαδή 50Hz.
- iii. Τύπου F, δηλαδή 1kHz.
- iv. Τύπου B, δηλαδή 2kHz-100kHz.

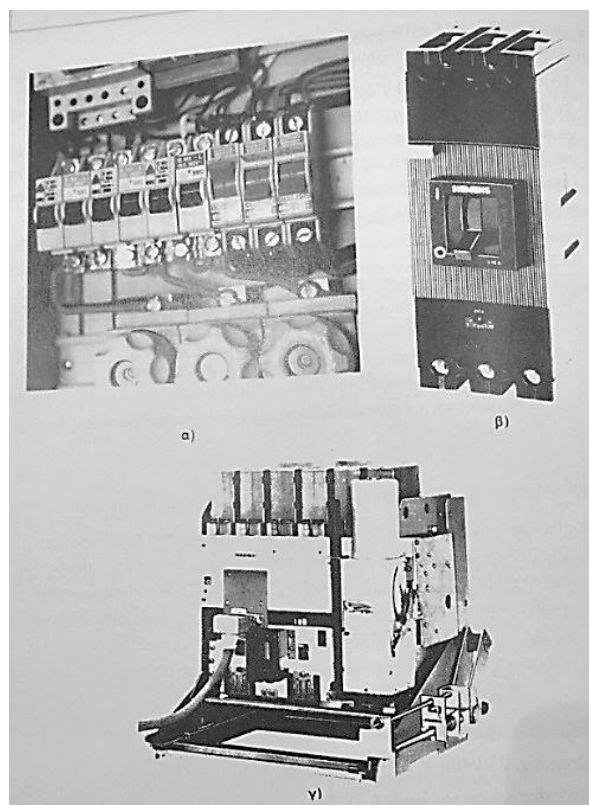
Πίνακας 4.2.: Τύποι Δ.Δ.Ρ. [66].

Κυματο- μορφή Ρεύματος	Περιπτώσεις λειτουργίας ΔΔΡ σε σχέση με την κατηγορία αυτών				Ρεύμα Ενεργοποίησης
	AC	A	F	B	
					
	■	■	■	■	0,5 μέχρι 1,0 ΙΔη
	—	■	■	■	0,35 μέχρι 1,4 ΙΔη
	—	■	■	■	Καθυστέρηση ρεύματος: 90° 0,35 μέχρι 1,4 ΙΔη
	—	■	■	■	Καθυστέρηση ρεύματος: 135° 0,11 μέχρι 1,4 ΙΔη
	—	■	■	■	max 1,4 ΙΔη + 6mA
	—	—	■	■	max 1,4 ΙΔη + 10mA
	—	—	■	■	0,5 μέχρι 1,4 ΙΔη
	—	—	—	■	0,5 μέχρι 2,0 ΙΔη
					
					
	—	—	—	■	Συχνότητα ρεύματος 150Hz 0,5 μέχρι 2,4 ΙΔη
	—	—	—	■	Συχνότητα ρεύματος 400Hz 0,5 μέχρι 6 ΙΔη
	—	—	—	■	Συχνότητα ρεύματος 1000Hz 0,5 μέχρι 14 ΙΔη

Από τα προαναφερόμενα είναι εμφανές πως χρειάζεται πάντα να παρέχεται κατάλληλη προσοχή κατά την προτίμηση ενός Δ.Δ.Ρ. στο τι μορφή ρεύματος διαρροής χρειάζεται σε μια Β.Η.Ε. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να καθοριστεί και ο πιο κατάλληλος Δ.Δ.Ρ., που θα διαφυλάξει πλήρως τους ανθρώπους και την εγκατάσταση όταν υπάρξει σφάλμα διαρροής [66].

4.8.4. Μικροαυτόματοι γραμμών

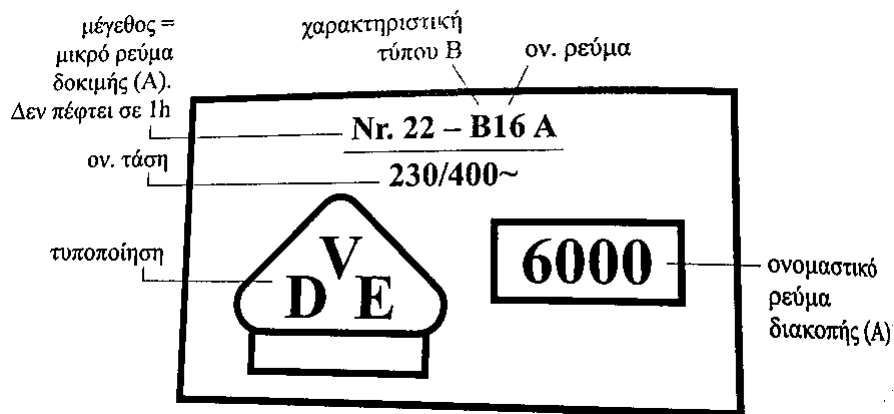
Οι μικροαυτόματοι γραμμών (Σχήμα 4.10.), όπως έχει προαναφερθεί στην υποενότητα 4.7.1., εφαρμόζονται στο σημείο εκκίνησης των γραμμών, με σκοπό την προφύλαξή τους στο συνεχές βραχυκύκλωμα και στην υπερένταση.



Σχήμα 4.10.: Μικροαντόμετοι και διακόπτες ισχύος: (α) μικροαντόμετοι διαφύλαξης γραμμών, (β) αναστολέας ισχύος 160A και (γ) διακόπτης ισχύος 4000A με κινητήρα σπλισμού [2].

Η δεξιότητα αναστολής σε μικροαντόμετους παρατηρείται συχνά στα 6.000A. Ανάμεσα σε 3A έως και 25A σε διακόπτες πρέπει να είναι η κλάση περιορισμού ρεύματος. Το ηλεκτρομαγνητικό τμήμα της γραμμής μικροαυτοματισμού ρυθμίζεται έτσι ώστε να δημιουργείται πτώση ρεύματος που κυμαίνεται στα 3,5-5 ονομαστικών τιμών με χρόνο μικρότερο από 100 ms [2].

Το θερμικό σημείο της χαρακτηριστικής καμπύλης των γραμμών απ' τους μικροαντόμετους ορίζεται από τα ρεύματα δοκιμής I_1 (μικρό ρεύμα) και I_2 (μεγάλο ρεύμα), καθώς και από τα μέρη που βρίσκονται στο μέσον, σύμφωνα με τους όρους του VDE 0641. Σύμφωνα με το VDE 0641, η πινακίδα του μικροαντόμετου τυποποιείται μέσω των κανονισμών και περιλαμβάνει το μικρό ρεύμα δοκιμής, τον κατασκευαστή, τη δυνατότητα απόξευξης και το ονομαστικό ρεύμα (σχήμα 4.11.) [2].



Σχήμα 4.11.: Επιγραφή (πινακίδα) σε μικροαυτόματους διαφύλαξης γραμμών κατά VDE 0641[2].

Η ονομαστική ένταση του μικροαυτόματου για την προστασία γραμμών κυμαίνεται στα 70-90% του συνεχώς επιτρεπόμενου ρεύματος γραμμών. Για παράδειγμα, γραμμή H05VV-F 3 G 2,5 (NYM 3×2,5mm²) φυλάσσεται με μικροαυτόματο 16A [2].

Συνήθως οι μικροαυτόματοι έχουν δυνατότητα διακοπής γύρω στα 6kA ή περιορίζεται ανάμεσα στα 3-10kA. Σε περιπτώσεις που το ρεύμα βραχυκύκλωσης ξεπερνά αυτόν τον περιορισμό, χρειάζεται να υπάρχει μια ασφάλεια, η οποία μπορεί να είναι 2-4 βαθμίδες πιο μεγάλη. Παραδείγματος χάριν, για 16A επιλέγουμε ασφάλεια μέχρι και 63A. Σημαντικό είναι ανά πάσα στιγμή να υπάρχουν προτεταμένες ασφάλειες ως εφεδρικές. Μια ασφάλεια διαφυλάσσει πιο πολλά του ενός παράλληλα κυκλώματα όταν προκύψει βραχυκύκλωμα [2].

4.9 Επιλεκτική συνεργασία μέσων προστασίας

Η επιλεκτική συνεργασία (discriminative operation) μεταξύ των μέσων προστασίας μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική. Σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να ενεργοποιηθούν τα μέσα προστασίας που βρίσκονται πλησιέστερα στο πιθανό σφάλμα. Επί παραδείγματι, εάν επισυμβεί ένα σφάλμα στην πλευρά της XT του Μ/Σ, θα πρέπει να ενεργοποιηθεί μόνο ο διακόπτης ισχύος της XT και η ΜΤ να μην επηρεαστεί. Η επιλεκτική συνεργασία μπορεί να επιτευχθεί μελετώντας τις χαρακτηριστικές απόζευξης του κάθε

οργάνου προστασίας (δηλαδή του χρόνου που απαιτείται για διακοπή τους σε συνάρτηση με το ρεύμα).

Με αυτό τον τρόπο δεν διακόπτεται η τροφοδοσία όταν το σφάλμα διαρκεί ελάχιστο χρόνο και απομονώνεται μόνο ένα μικρό τμήμα μιας γραμμής, το οποίο υφίσταται κάποιο μόνιμο σφάλμα. Το τελευταίο μπορεί έχει πολύ μικρή διάρκεια. Σε μια τέτοια περίπτωση, μετά από μικρό χρόνο και εφόσον δεν προκληθεί κάποια άλλη ζημιά, η τροφοδοσία των καταναλωτών επανέρχεται κανονικά. Στην αντίθετη περίπτωση είναι αναγκαίο να σταματήσει η τροφοδοσία όλων των καταναλωτών για να αποφευχθούν μεγαλύτερες βλάβες. Σφάλματα είναι πιθανά και στις διακλαδώσεις των γραμμών, όπου το κοντινότερο μέσο προστασίας σε αυτό θα πρέπει να ενεργοποιείται για την απομόνωσή του.

4.9.1 Επιλεκτική συνεργασία μεταξύ ασφαλειών

Σε περίπτωση που ένα σύστημα είναι εξοπλισμένο με προστατευτικές ασφάλειες, είναι επιτακτική ανάγκη να επιλεγούν προσεκτικά οι κατάλληλες. Αυτό διασφαλίζει ότι σε περίπτωση σφάλματος, όπως υπερφόρτωση ή βραχυκύκλωμα, ενεργοποιείται μόνο το πλησιέστερο μέσο προστασίας.

Οι ασφάλειες και γενικότερα τα αυτόματα διακοπτικά μέσα συνήθως τοποθετούνται στην αναχώρηση γραμμών διακλάδωσης ενός πίνακα με στόχο να διακόψουν τη γραμμή σε περίπτωση σφάλματος [10]. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό όταν υπάρχει αύξηση του ρεύματος λόγω βραχυκυκλώματος ή υπερφόρτωσης, καθώς προστατεύει τις ηλεκτρικές γραμμές εντός της εγκατάστασης. Για την απόφαση σχετικά με τις ασφάλειες που θα τοποθετηθούν σε ένα ηλεκτρικό σύστημα, πρέπει να ληφθούν υπόψη τα ακόλουθα χαρακτηριστικά.

- Το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας (πίνακας 4.3.).
- Η ονομαστική τάση λειτουργίας.
- Η ικανότητα διακοπής όταν υπάρξει βραχυκύκλωμα.
- Η καμπύλη χρόνου-έντασης ρεύματος.

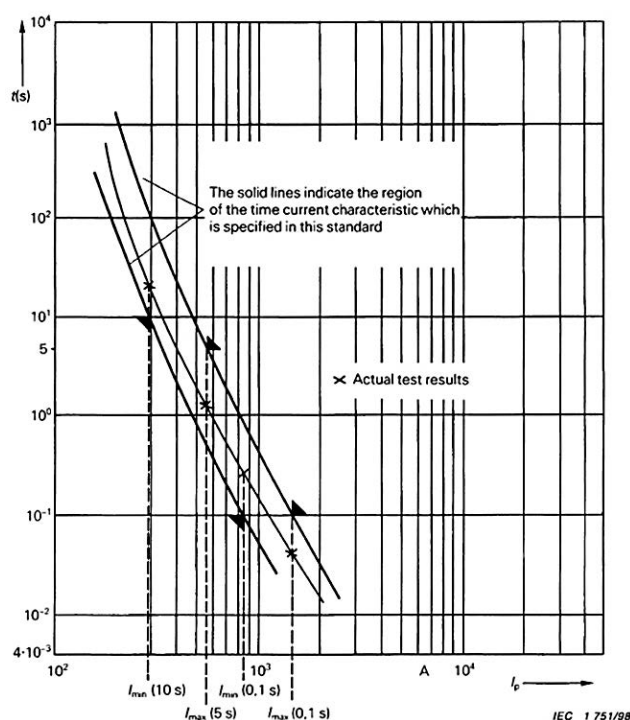
Παρακάτω συνοψίζονται οι τύποι ασφαλειών που περιγράφηκαν στην ενότητα 4.8 και το ονομαστικό τους ρεύμα [10], [67], ενώ παρακάτω παρουσιάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη χρόνου-ρεύματος για καθένα τύπο ασφαλειών.

Πίνακας 4.3.: Ονομαστικό ρεύμα ασφαλειών.

<u>Τύποι Ασφαλειών</u>	<u>Ονομαστικό Ρεύμα</u>
G (Miniature fuses, Geräteschutzsicherungen)	20mA - 16 ^A
D0 (Neozed)	2A - 100 ^A
D (Diazed)	2A - 200 ^A
NH (Niederspannung-Hochleistungssicherungen) ή HRC (High Rupture Capacity) fuses ή HBC (High Breaking Current) fuses	2A - 1250 ^A

➤ Ασφάλειες Τύπου D

Το Πρότυπο IEC 60269, καθορίζει τα όρια των χαρακτηριστικών, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.12.



Σχήμα 4.12: Όρια χαρακτηριστικών χρόνου-ρεύματος ασφαλειών τύπου D [72].

Ακολουθώς, στον πίνακα 4.4. παρουσιάζονται τα ρεύματα δοκιμής ανάλογα με το ονομαστικό ρεύμα για αυτού του τύπου τις ασφάλειες.

Πίνακας 4.4.: Ρεύματα δοκιμής ασφαλειών τύπου D.

Ονομαστικό ρεύμα I_N (A)	Μικρό ρεύμα δοκιμής. Η ασφάλεια δεν λιώνει I_1 (A)	Μεγάλο ρεύμα δοκιμής. Η ασφάλεια λιώνει I_2 (A)	Χρόνος□ δοκιμής t (h)
0 - 4	$1,5 \cdot I_N$	$2,1 \cdot I_N$	1
4 - 10	$1,5 \cdot I_N$	$1,90 \cdot I_N$	1
10 - 25	$1,4 \cdot I_N$	$1,75 \cdot I_N$	1
23 - 63	$1,3 \cdot I_N$	$1,60 \cdot I_N$	1
63 - 100	$1,3 \cdot I_N$	$1,60 \cdot I_N$	1

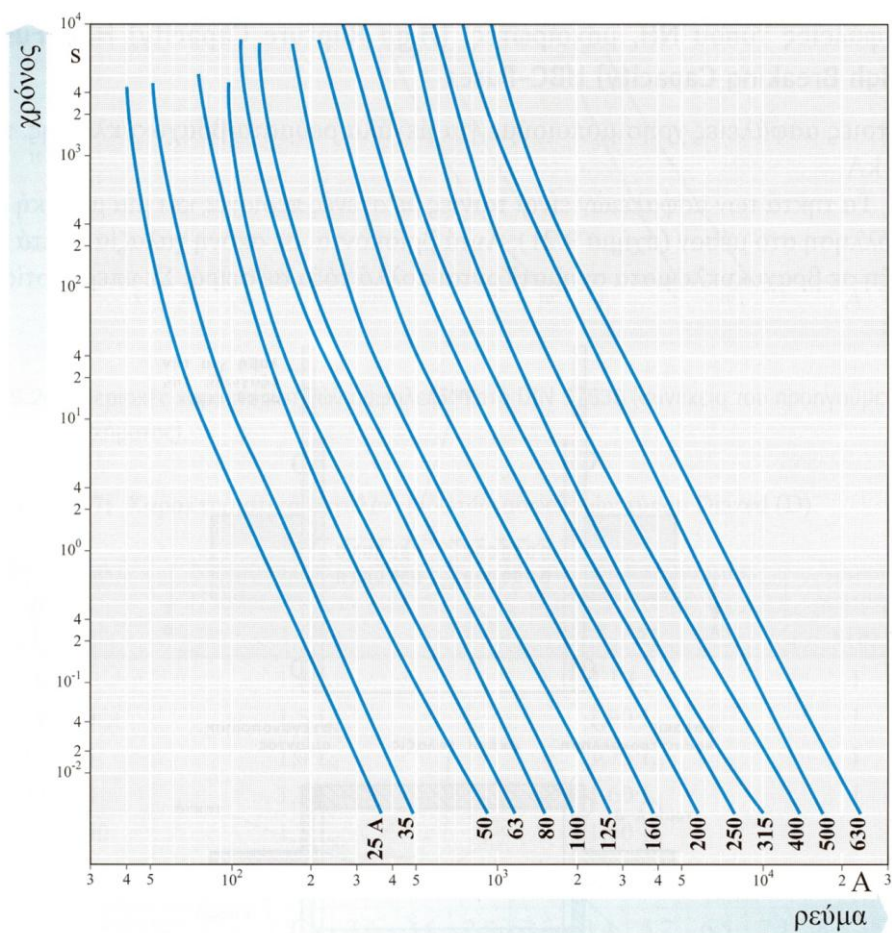
Ον. ρεύμα (A)	2	6	10	16	20	25	35	50	63	80	100
Ον. απώλειες (W)	3,3	2,3	2,6	2,8	3,3	3,4	5,2	6,5	7,1	8,5	9,1

➤ Ασφάλειες Τύπου D0

Ο τρόπος κατασκευής και λειτουργίας αυτών των ασφαλειών είναι όμοιος με αυτό των ασφαλειών τύπου D, όμως με μικρότερο ρεύμα απόξευξης, ονομαστικό ρεύμα και μέγεθος.

➤ Ασφάλειες Τύπου NH (Μαχαιρωτές)

Οι χαρακτηριστικές χρόνου-ρεύματος αυτού του τύπου ασφαλειών είναι ενιαίες για κάθε κατασκευαστή και παρουσιάζονται στο σχήμα 4.13.



Σχήμα 4.13.: Χαρακτηριστικές χρόνου-ρεύματος για ασφάλειες τύπου NH [73].

Στον πίνακα 4.5. που ακολουθεί παρουσιάζονται τα ρεύματα δοκιμής ανάλογα με το ονομαστικό ρεύμα για αυτού του τύπου τις ασφάλειες.

Πίνακας 4.5.: Ρεύματα δοκιμής ασφαλειών τύπου NH.

Ον. ρεύμα I_N σε (A)	Μικρό ρεύμα I_1 (A) Δεν λιώνει την ασφάλεια	Μεγάλο ρεύμα I_2 (A) Λιώνει την ασφάλεια	Χρόνος δοκιμής (h)
0 - 4	$1,5 \cdot I_N$	$2,10 \cdot I_N$	1
4 - 10	$1,5 \cdot I_N$	$1,90 \cdot I_N$	1
10 - 25	$1,4 \cdot I_N$	$1,75 \cdot I_N$	1
25 - 63	$1,3 \cdot I_N$	$1,60 \cdot I_N$	1
63 - 160	$1,3 \cdot I_N$	$1,60 \cdot I_N$	2
160 - 400	$1,3 \cdot I_N$	$1,60 \cdot I_N$	3
>400	$1,3 \cdot I_N$	$1,60 \cdot I_N$	4

➤ Ασφάλειες Τύπου G

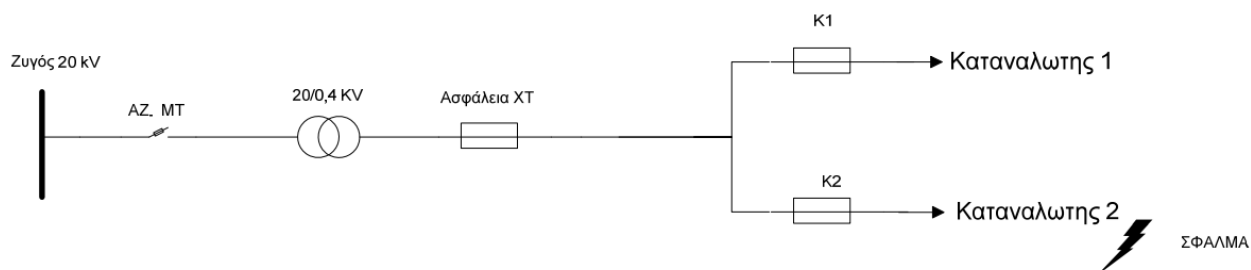
Οι χαρακτηριστικές χρόνου – ρεύματος για αυτές τις ασφάλειες χωρίζονται στις κατηγορίες που παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 4.6.: Κατηγορίες χαρακτηριστικών χρόνου-ρεύματος για ασφάλειες τύπου G.

Κατηγορία	Χαρακτηριστική χρόνου-ρεύματος
FF	Πολύ ταχείας τήξης (σπάνια)
F	Ταχείας τήξης
M	Μεσαίας τήξης
T	Βραδείας τήξης
TT	Πολύ βραδείας τήξης (σπάνια)

Όπως γίνεται αντιληπτό σε όλους τους τύπους ασφαλειών, η χαρακτηριστική χρόνου-ρεύματος, το ονομαστικό ρεύμα, η ονομαστική τάση, καθώς και το ρεύμα απόξευξης αποτελούν τα κυριότερα χαρακτηριστικά των μέσων αυτών προστασίας των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων και πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν πριν την επιλογή τους για κάποια διάταξη [68].

Ακολουθώς, παρατίθεται ένα παράδειγμα (σχήμα 4.14.) μιας τέτοιας διάταξης με ασφάλειες, καθώς και η μελέτη που γίνεται για την επιλεκτική συνεργασία τους.



Σχήμα 4.14.: Επιλεκτική συνεργασία ασφαλειών.

Αναλυτικότερα, στο παραπάνω παρουσιάζεται μια εναέρια γραμμή MT, στην οποία η τάση υποβιβάζεται στα 400V, μέσω ενός Μ/Σ 20/0,4 kV. Η γραμμή αυτή τροφοδοτεί δύο καταναλωτές XT. Ένας ασφαλειοαποζεύκτης (AZ MT), δηλαδή μια ασφάλεια εκτόνωσης προστατεύει τη γραμμή MT και το πρωτεύον τύλιγμα του Μ/Σ, ενώ στη XT ο Μ/Σ και οι καταναλωτές προστατεύονται από μια ασφάλεια. Οι καταναλωτές προστατεύονται από τις ασφάλειες K1 και K2 αντίστοιχα. Σε περίπτωση σφάλματος στη γραμμή του καταναλωτή 2 και προκειμένου να μην εμποδιστεί η ορθή λειτουργία του καταναλωτή 1, αλλά και ολόκληρης της διάταξης η ασφάλεια K2 θα πρέπει να αποζεύξει τον καταναλωτή K2 έγκαιρα και πριν από τον ασφαλειοαποζεύκτη MT και την K1. Σε διαφορετική περίπτωση θα επισυμβεί διακοπή και στον καταναλωτή 1, κάτι το οποίο δυσχεραίνει τη σωστή λειτουργία της εγκατάστασης. Η περίπτωση βέβαια απόζευξης του AZ πριν από την ασφάλεια K2 είναι επίσης ανεπιθύμητη δεδομένου πως για ένα σφάλμα σε κάποια γραμμή βγαίνει εκτός όλη η ηλεκτρική εγκατάσταση. Προκειμένου, λοιπόν, να αποφευχθούν τα παραπάνω και να περιοριστεί η πιθανή βλάβη στην πλευρά του καταναλωτή 2, είναι αναγκαίο ο χρόνος τήξης της ασφάλειας K2 και το μέγεθος της ταυτόχρονα να είναι μικρότερα από τα αμέσως προηγούμενα. Θα πρέπει δηλαδή να ανοίξει μόνο η ασφάλεια που βρίσκεται κοντά στο σφάλμα, ώστε να μην τεθούν εκτός λειτουργίας τα υπόλοιπα φορτία [69].

Προκειμένου το παραπάνω να είναι εφικτό θα πρέπει ο χρόνος διέγερσης της K2 να είναι μικρότερος από αυτό των K1 και του AZ. Επιπλέον, σύμφωνα με κανονισμούς ο χρόνος

διέγερσης ενός μέσου προστασίας χρειάζεται να υπολείπεται του αμέσως προηγούμενου του κατά 0,2 sec και να είναι μεγαλύτερος του χρόνου διέγερσης του αμέσως επόμενου μέσου.

Έτσι, κατά την επιλογή των σωστών ασφαλειών για την προστασία μιας εγκατάστασης και στην περίπτωση που δε υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης (διαφορετικοί κατασκευαστές) πρέπει να ικανοποιείται η εξής σχέση αναφορικά με τα ονομαστικά ρεύματα των μέσων. Επίσης, εάν σχεδιαστεί οριζόντια τομή στη χαρακτηριστική του αυτόματου διακόπτη στο σημείο A και της ασφάλειας στο σημείο B, χρειάζεται να ισχύει $B/A > 1,7$. Άρα εάν η ένταση του ρεύματος στο A είναι 1000A, στο B θα είναι τουλάχιστον 1700A. Η σχέση είναι 1/1.7 και δηλώνει πως εάν π.χ. η μία ασφάλεια είναι 16A, η επόμενη ασφάλεια θα είναι $16 \cdot 1.7 = 27.2$ άρα 32A (επιλέγουμε από τις υπαρκτές τιμές ονομαστικού ρεύματος των ασφαλειών). Στην περίπτωση όμως που μπορούν να εγκατασταθούν μέσα προστασίας από τον ίδιο κατασκευαστή αρκεί να διαφέρουν κατά μία βαθμίδα, δηλαδή εάν η μία ασφάλεια είναι 40A, η επόμενη χρειάζεται να είναι ίση ή να υπερβαίνει τα 50A.

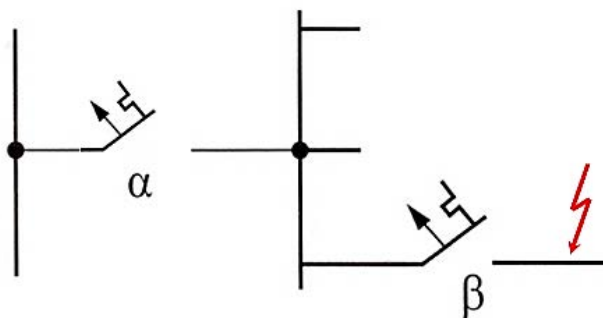
Στην επιδίωξη επιλεκτικής συνεργασίας κατά την εξέταση μιας νέας εγκατάστασης, καθίσταται επιτακτική ανάγκη να εξεταστούν οι χαρακτηριστικές έντασης-χρόνου των προστατευτικών μέσων από την έναρξη της γραμμής έως και τον καταναλωτή. Ως εκ τούτου, όλες οι χαρακτηριστικές έντασης-χρόνου των προστατευτικών μέσων, που εκτείνονται από την έναρξη της κύριας γραμμής μετασχηματιστή έως τους επόμενους ζυγούς του, μέχρι το σημείο κατανάλωσης, ενοποιούνται σε ένα ενιαίο διάγραμμα χρόνου ρεύματος, που συνήθως αναφέρεται ως διάγραμμα αλληλουχίας. Για την επίτευξη επιλεκτικής συνεργασίας, διεξάγεται μια συγκριτική ανάλυση των χαρακτηριστικών έντασης-χρόνου των μέσων που είναι ενσωματωμένα στην εγκατάσταση.

4.9.2. Επιλεκτική συνεργασία μεταξύ αυτόματων διακοπών ισχύος

Με αντίστοιχο τρόπο με την επιλεκτική συνεργασία μεταξύ των ασφαλειών μπορεί να μελετηθεί και να υλοποιηθεί και η επιλεκτική συνεργασία μεταξύ των αυτόματων διακοπών ισχύος. Κατά την επιλογή αυτού του μέσου προστασίας μιας ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν το ονομαστικό ρεύμα, και η τάση, καθώς και το θερμικό ρεύμα για το 1s και το μέγιστο ρεύμα απόζευξης. Οι χρόνοι ενεργοποίησης

των διακοπών ισχύος θα πρέπει να μικραίνουν, καθώς μεταβαίνουμε από την τροφοδοσία προς την κατανάλωση και οι χαρακτηριστικές των μέσων προστασίας δεν θα πρέπει να τέμνονται και μάλιστα θα πρέπει να έχουν μια διαφορά στο χρόνο ενεργοποίησης, προκειμένου να επιτευχθεί η επιλεκτική συνεργασία. Θα μελετήσουμε μέσω ενός παραδείγματος την επιλεκτική συνεργασία δύο αυτόματων διακοπών ισχύος στο δίκτυο, που φαίνεται στο

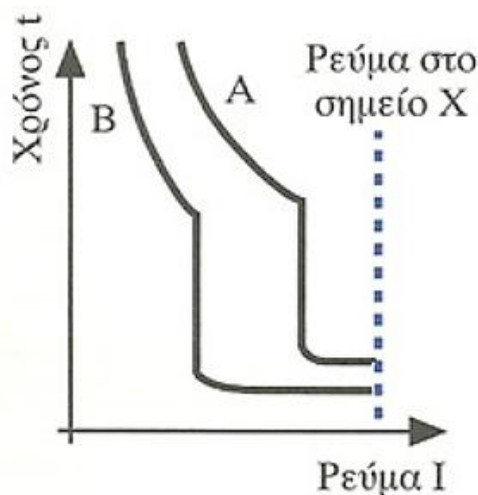
σχήμα 4.15.



Σχήμα 1.15.: Επιλεκτική συνεργασία μεταξύ αυτομάτων διακοπών ισχύος.

Θεωρούμε πως έχουμε ένα δίκτυο όπου σε δύο σημεία υπάρχουν 2 αυτόματοι διακόπτες ισχύος για την προστασία σε δύο διαφορετικά σημεία από βραχυκυκλώματα και υπερφορτίσεις. Αν υποθεθεί πως υπάρχει ένα σφάλμα στο σημείο β, τότε θα πρέπει να ενεργοποιηθεί το πιο κοντινό στο σφάλμα προστατευτικό μέσο. Επομένως, θα πρέπει να αποζεύξει μόνο ο δεύτερος αυτόματος διακόπτης, ώστε να μην τεθούν τα άλλα φορτία εκτός λειτουργίας [70]. Συνεπώς, ο χρόνος διέγερσης του μέσου α θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το χρόνο διέγερσης του β. Θα πρέπει λοιπόν οι χαρακτηριστικές χρόνου-ρεύματος των δύο αυτομάτων διακοπών να μην τέμνονται μεταξύ τους και η χαρακτηριστική του πρώτου διακόπτη να είναι πάνω από αυτή του δευτέρου διακόπτη όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.16.

Κατά την επιλογή των σωστών αυτομάτων διακοπών για την προστασία μιας εγκατάστασης και στην περίπτωση που δε υπάρχει δυνατότητα σύγκρισης (διαφορετικοί κατασκευαστές) πρέπει να ικανοποιείται η σχέση $1/3$ αναφορικά με τα ονομαστικά ρεύματα των μέσων. Επομένως εάν επιλεγεί ένας αυτόματος διακόπτης με 16A, τότε ο άλλος λόγω αυτής της σχέσης πρέπει να είναι τουλάχιστον 48A. Άρα επιλέγεται μία από τις συνήθεις διαθέσιμες βαθμίδες που να ικανοποιεί αυτό τον περιορισμό, δηλαδή 50A.



Σχήμα 4.16.: Χαρακτηριστικές ρεύματος-χρόνου αυτόματων διακοπών ισχύος [70].

4.9.3. Επιλεκτική συνεργασία μεταξύ ασφαλειών και αυτομάτων διακοπών ισχύος/ μικροαυτόματων

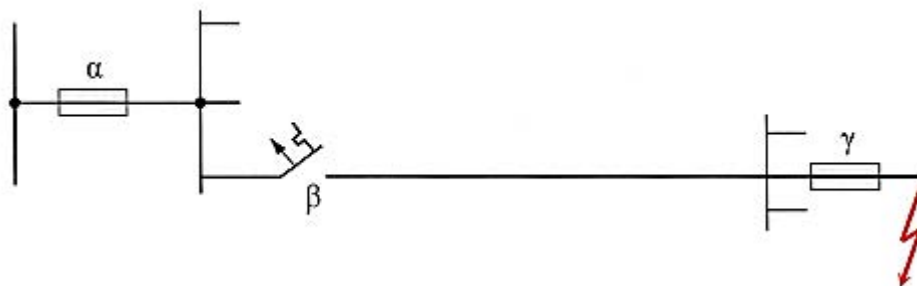
Η επιλεκτική συνεργασία μεταξύ ασφαλειών και αυτόματων διακοπών ισχύος/ μικροαυτόματων επιτυγχάνεται επιλέγοντας τα κατάλληλα μέσα προστασίας, αφού έχει γίνει σύγκριση των χαρακτηριστικών και μέσα από τη γραφική χρόνου-ρεύματος αυτών [71]. Οι χαρακτηριστικές γραφικές παραστάσεις των προστατευτικών διατάξεων φανερώνουν το χρόνο που απαιτείται για να ανοίξει (προστατευτική διάταξη) σε γνωστό ρεύμα διερχόμενο από το κύκλωμα. Προκειμένου, λοιπόν, σε περίπτωση σφάλματος να ενεργοποιούνται μόνο τα μέσα που βρίσκονται κοντά σε κάποιο σφάλμα και να μην τίθενται εκτός λειτουργίας τα υπόλοιπα φορτία είναι σημαντικό ο χρόνος ενεργοποίησης, που προκύπτει από τις χαρακτηριστικές καμπύλες των διατάξεων προστασίας, να μειώνεται όσο πλησιάζουμε προς τον καταναλωτή. Στο σχήμα 4.1. παρουσιάζεται ένα παράδειγμα επιλεκτικής συνεργασίας μεταξύ ασφαλειών και μικροαυτόματων διακοπών.

Στο σχήμα αυτό έχει σχεδιαστεί σε κοινό σύστημα αξόνων η γραφική χρόνου-ρεύματος για μια ασφάλεια που είναι συνδεδεμένη στο τμήμα της μέσης τάσης (κόκκινη καμπύλη) και η χαρακτηριστική διακόπτη ισχύος που είναι συνδεδεμένος στη XT (μπλε καμπύλη). Παρατηρώντας και τις δύο χαρακτηριστικές, είναι προφανές κατά την αύξηση της έντασης του ρεύματος, ο χρόνος απόξευξης μειώνεται. Στη χαρακτηριστική του αυτόματου διακόπτη υπάρχει μια απότομη αλλαγή λόγω του μαγνητικού στοιχείου.

Για να επιτευχθεί η επιλεκτική συνεργασία μεταξύ αυτών των μέσων πρέπει για τους χρόνους διέγερσης να ισχύουν $t_{ασφάλειας} > t_{μικροαυτόματος}$. Συνεπώς, προκειμένου να συμβεί αυτό απαιτείται η καμπύλη της ασφάλειας να είναι πάντα πάνω από αυτή του αυτόματου διακόπτη. Επίσης, εάν σχεδιαστεί οριζόντια μια τομή στις χαρακτηριστικές των δύο αυτών μέσων στο σημείο A στον αυτόματο διακόπτη και στο B στην ασφάλεια, χρειάζεται $B / A > 1,35$. Αν δηλαδή η ένταση ρεύματος ρεύμα στο A είναι 1000A, το ρεύμα B της ασφάλειας θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 1350A. Επιπλέον, στην περίπτωση που σχεδιαστεί μια κάθετη τομή στην καμπύλη του αυτόματου διακόπτη στο σημείο C και της ασφάλειας στο σημείο D, χρειάζεται $D / C > 2$.

Στο σημείο αυτό θα επισημανθεί πως κατά την επιλογή των μέσων προστασίας ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων, υπάρχει διασπορά τιμών χαρακτηριστικών στα μέσα που είναι ίδιου τύπου, ακόμη σε αυτά που ανήκουν στον ίδιο κατασκευαστή. Η διασπορά είναι ακόμη μεγαλύτερη στην περίπτωση που τα μέσα προστασίας προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές. Οπότε είναι αναγκαίο να γίνεται πάντοτε σύγκριση χαρακτηριστικών προκειμένου να εξασφαλιστεί η επιλεκτική συνεργασία.

Παρακάτω (σχήμα 4.17.) παρατίθεται ως παράδειγμα μια διάταξη στην οποία υπάρχουν ασφάλειες και ένας μικροαυτόματος, όπου δεν επιτυγχάνεται επιλεκτική συνεργασία.

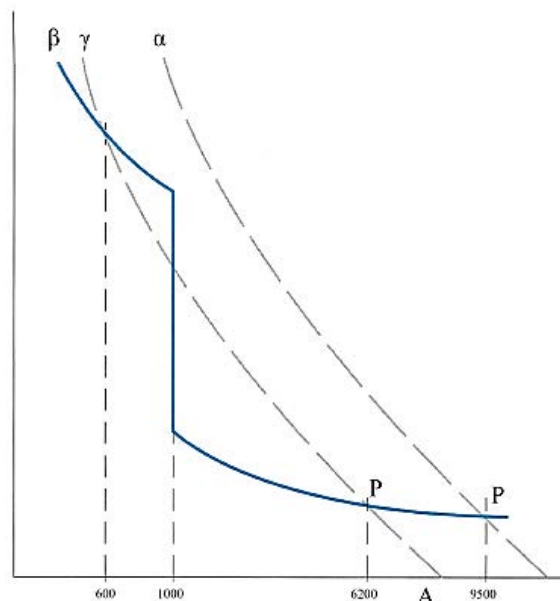


Σχήμα 4.17.: Παράδειγμα όπου δεν επιτυγχάνεται η επιλεκτική συνεργασία [71].

Εξετάζεται, λοιπόν, η περίπτωση όπου επισυμβαίνει σφάλμα μετά το μέσο προστασίας γ. Τότε είναι αναγκαίο να ανοίξει μόνο η ασφάλεια γ που είναι τοποθετημένη πλησιέστερα στο σφάλμα, προκειμένου να συνεχίσουν να λειτουργούν τα υπόλοιπα φορτία της διάταξης και

να μην τεθούν εκτός λειτουργίας. Οι χαρακτηριστικές ρεύματος-χρόνου για τα εν λόγω μέσα προστασίας φαίνονται στο σχήμα 4.18. Επομένως, πρέπει οι χρόνοι διέγερσης να είναι $t_\alpha > t_\beta > t_\gamma$. Ωστόσο, παρατηρείται πως για $1000\text{A} < I < 6200\text{A}$ ισχύει $t_\alpha > t_\gamma > t_\beta$, κάτι το οποίο δεν είναι επιθυμητό και έτσι δεν εξασφαλίζεται η επιλεκτική συνεργασία μεταξύ αυτών των μέσων.

Εάν σχεδιαστεί οριζόντια μια ευθεία, η οποία τέμνει την καμπύλη του αυτόματου διακόπτη στο σημείο A και την ασφάλεια στο σημείο B, απαιτείται να ισχύει $B / A > 1,9$. Άρα εάν η ένταση του ρεύματος στο A είναι 1000A , το ρεύμα στο B θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 1900A . Η σχέση είναι $1/1,9$ και δηλώνει πως εάν π.χ. η μία ασφάλεια είναι 16A , η επόμενη ασφάλεια θα είναι $16 \cdot 1,9 = 30,4$ άρα 32A (επιλέγουμε από τις υπαρκτές τιμές ονομαστικού ρεύματος των ασφαλειών). Στην περίπτωση επιλογής μέσων προστασίας του ίδιου κατασκευαστή είναι αρκετό η διαφορά τους να είναι μιας βαθμίδας δηλαδή εάν για παράδειγμα η τιμή μίας ασφάλειας είναι 40A , τότε η επόμενη χρειάζεται να υπερβαίνει τα 50A .



Σχήμα 4.18.: Χαρακτηριστικές ρεύματος-χρόνου σε περίπτωση που δεν ισχύει η επιλεκτική συνεργασία [72].

4.10. Μελέτη περίπτωσης επιλογής, διαστασιολόγησης και σχεδιασμού επιλογικής συνεργασίας B.H.E.

Κάθε ηλεκτρική γραμμή μιας B.H.E. θα πρέπει να ασφαρίζεται από υπερεντάσεις. Τα προστατευτικά μέσα για τις υπερφορτίσεις και/ή τα βραχυκυκλώματα, θα πρέπει να εγκαθίστανται στην αρχή κάθε ηλεκτρικού κυκλώματος και σε σημεία με μειωμένη ικανότητα μεταφοράς ρεύματος ή μειωμένη ονομαστική τιμή βραχυκυκλώματος.

Προκειμένου να επιλεχθούν μέσα προστασίας από υπερφορτίσεις θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι ακόλουθες σχέσεις $I_2 \leq 1.45 \cdot I_z$ και $I_B \leq I_n \leq I_z$ [10].

Οι ασφάλειες τήξεως και οι μικροαυτόματοι διακόπτες χρησιμοποιούνται ως διατάξεις προστασίας από υπερφορτίσεις, προστατεύοντας το φορτίο που τροφοδοτείται από τη γραμμή αλλά και την ίδια τη γραμμή. Η τυποποιημένη τιμή του ονομαστικού ρεύματος των ασφαλειών δίνεται κατ' αντιστοιχία με τη διατομή των αγωγών που προστατεύουν [72]. Σχετικά με τη διαστασιολόγηση, η αποδεκτή τιμή πτώσης της τάσης από το σημείο του μετρητή μέχρι το φορτίο χρειάζεται να είναι μικρότερη ή ίση με 4 % από την ονομαστική τάση τροφοδοσίας της εγκατάστασης, κατά το πρότυπο ΕΛΟΤ HD 384.525.1. Πιο συγκεκριμένα, είναι 9,2V για 230V και 16,0V για 400V. Αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν για λόγους κατανάλωσης ενέργειας. Μάλιστα, η απώλεια ισχύος και η πτώση τάσης στις γραμμές είναι μεγέθη ανάλογα μεταξύ τους. Στον ακόλουθο πίνακα 4.7. [73] παρουσιάζονται οι διατομές και οι διαστασιολογήσεις των ασφαλειών μιας γραμμής.

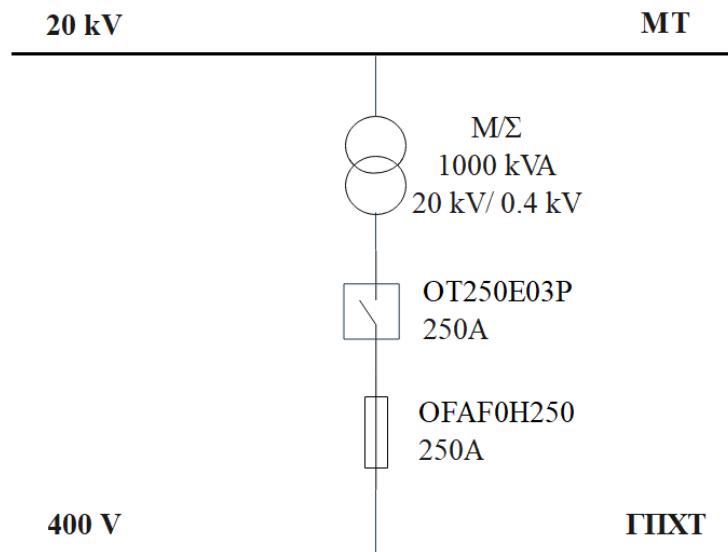
Πίνακας 4.7.: Διαστασιολόγηση ασφαλειών.

Ονομαστική διατομή καλωδίων (mm ²)	Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση αγωγού / Ένταση ασφάλειας για την προστασία του αγωγού					
	ΟΜΑΔΑ Ι		ΟΜΑΔΑ ΙΙ		ΟΜΑΔΑ ΙΙΙ	
	Ένας ή περισσότεροι αγωγοί στο ίδιο καλώδιο ή σωλήνα π.χ. H05V-U (NYA)		Πολυπολικά, πεπλατυσμένα εύκαμπτα καλώδια		Μονοπολικά καλώδια στον αέρα, με ελάχιστη απόσταση τη διάμετρο τους	
	Επιτρεπόμενη ένταση αγωγού [A]	Ασφάλεια [A]	Επιτρεπόμενη ένταση αγωγού [A]	Ασφάλεια [A]	Επιτρεπόμενη ένταση αγωγού [A]	Ασφάλεια [A]
0,75	-	-	13	-	16	
1	12	-	16	15	20	20
1,5	16	10	20	20	25	25
2,5	21	16	27	25	34	35
4	27	20	36	35	45	50
6	35	25	47	50	57	60
10	48	35	65	60	78	90
16	65	63	87	80	104	100
25	88	80	115	100	137	125
35	110	100	143	125	168	160
50	140	125	178	160	210	200
70	175	160	220	225	260	260

Στην επιλεκτική συνεργασία το μέσο προστασίας που είναι πλησιέστερα στο πιθανό σφάλμα ενεργοποιείται προτού ενεργοποιηθεί το μέσο προστασίας που υπάρχει πλησιέστερα στην τροφοδοσία. Υπό αυτό το πρίσμα μπορεί άμεσα να εντοπιστεί το σημείο μιας βλάβης στην εγκατάσταση και να επιδιορθωθεί, και παράλληλα διακόπτεται η παροχή μόνο στο τμήμα της εγκατάστασης με τη βλάβη. Έτσι, οι υπόλοιπες γραμμές λειτουργούν ανεπηρέαστα. Είναι σύνηθες στην επιλεκτική συνεργασία να προστίθεται κάποια μορφή εφεδρείας προστασίας.

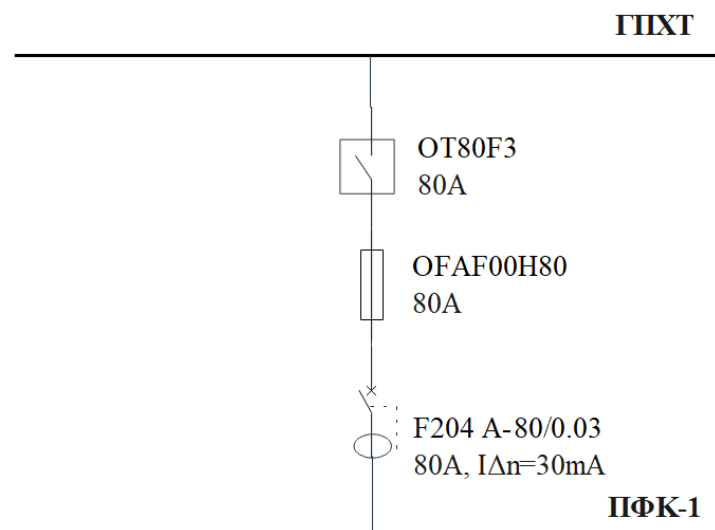
Στην υπό μελέτη βιομηχανική ηλεκτρολογική εγκατάσταση που παρουσιάστηκε στο σχήμα 1.7. της παρούσας διπλωματικής εργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικροαυτομάτοι, ασφάλειες διακόπτες φορτίου και διακόπτες ισχύος ως μέσα προστασίας των πινάκων από υπερφορτίσεις και βραχυκυκλώματα. Στην πλευρά του 2^{ου} Μ/Σ, ο υποσταθμός αποτελείται από έναν διακόπτη φορτίου ή αυτόματο διακόπτη ισχύος και μία ασφάλεια. για την προστασία του Μ/Σ και του Γενικού Πίνακα Χαμηλής Τάσης (ΓΠΧΤ), όπως φαίνεται στο μονογραμμικό διάγραμμα της σύνδεσης ΜΤ και ΧΤ στο σχήμα 4.19. Η χρήση της

ασφάλειας γίνεται για την προστασία από υπερφορτίσεις και βραχυκυκλώματα, ενώ του διακόπτη για τη ζευξη και απόζευξη του ΓΠΧΤ.



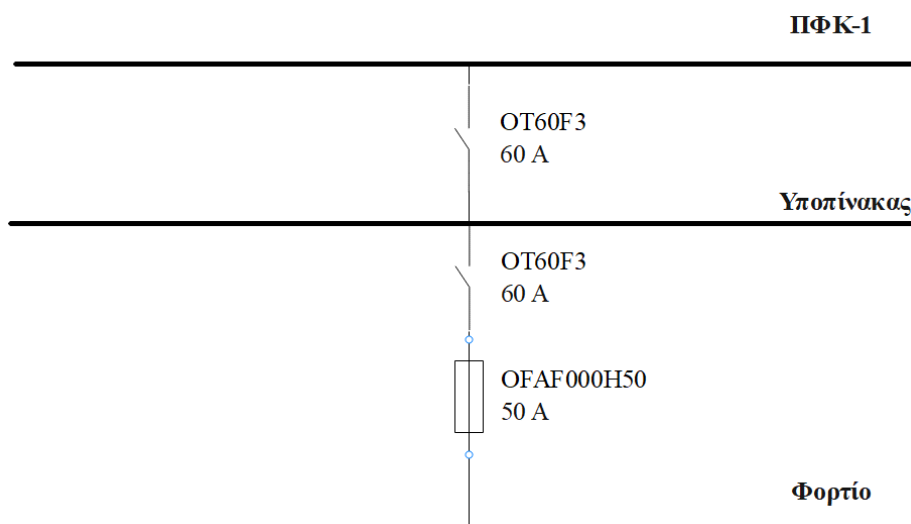
Σχήμα 4.19.: Μονογραμμικό σχέδιο σύνδεσης MT και XT.

Κάθε γραμμή από τον ΓΠΧΤ προς τους επιμέρους πίνακες της εγκατάστασης περιλαμβάνει έναν διακόπτη φορτίου, μαζί με μια ασφάλεια και έναν διακόπτη διαφορικού ρεύματος (Δ.Δ.Ρ.). Ο διακόπτης φορτίου και η ασφάλεια χρησιμοποιούνται για τους λόγους που αναφέρθηκαν και προηγουμένως. Ο Δ.Δ.Ρ. είναι απαραίτητος από τη νομοθεσία και η επιλογή του γίνεται ώστε να αντέχει το ονομαστικό ρεύμα κάθε πίνακα. Το διαφορικό του ρεύμα είναι στα 30mA και έτσι στην περίπτωση που υπάρχει διαφορά κατά 30mA μεταξύ του αθροίσματος της εντάσεως ρεύματος και των τριών φάσεων και του ρεύματος του ουδετέρου τότε ενεργοποιείται αυτός ο διακόπτης. Η σύνδεση αυτή του ΓΠΧΤ και των επιμέρους πινάκων παρουσιάζεται και στο μονογραμμικό σχέδιο του σχήματος 4.20., όπου παρουσιάζεται η σύνδεση του ΓΠΧΤ με τον πίνακα ΠΦΚ1 της εγκατάστασης. Με τον ίδιο τρόπο ωστόσο επιτελείται η σύνδεση του Γενικού Πίνακα και με τους υπόλοιπους πίνακες της υπό μελέτη εγκατάστασης του σχήματος 1.7.



Σχήμα 4.20.: Μονογραμμικό σχέδιο σύνδεσης ΓΠΧΤ και πίνακα ΠΦΚ-1.

Σε καθέναν από τους πίνακες αυτούς συνδέεται κάποιο φορτίο κίνησης (π.χ. αντλίες, γεννήτριες, κινητήρες κτλ.). Για την προστασία λοιπόν, του φορτίου της κάθε γραμμής παρεμβάλλεται ένας διακόπτης φορτίου και μια ασφάλεια μεταξύ τους, οι οποίοι να μπορούν να αντέχουν την ονομαστική τάση και το ρεύμα λειτουργίας του. Η σύνδεση αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 4.21., που ακολουθεί.



Σχήμα 4.21.: Μονογραμμικό σχέδιο σύνδεσης ΠΦΚ-1 με υποπίνακα και φορτίου.

Στην περίπτωση που συμβεί κάποιο σφάλμα σε κάποιον υποπίνακα του γενικού πίνακα και προκειμένου να μην επηρεαστεί η ορθή λειτουργία των υπόλοιπων φορτίων θα πρέπει ο μικροαυτόματος του εν λόγω υποπίνακα να ενεργοποιηθεί πρώτος σε σχέση με το μέσο προστασίας που βρίσκεται στον 2^ο του Μ/Σ. Σε αντίθετη περίπτωση θα υπάρχει διακοπή λειτουργίας και των υπόλοιπων γραμμών του δικτύου (που δεν έχουν κάποιο σφάλμα). Ο χρόνος διέγερσης των προστατευτικών μέσων χρειάζεται να μειώνεται καθώς γίνεται μετάβαση από την τροφοδοσία προς τον καταναλωτή, εξασφαλίζοντας έτσι την επιλεκτική συνεργασία. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται άμεση απομόνωση κάποιας πιθανής βλάβης σε όσο το δυνατόν μικρότερο τμήμα της γραμμής. Επιπλέον, οι υπόλοιπες γραμμές της εγκατάστασης θα πρέπει να εξακολουθούν να δουλεύουν ανεξάρτητα από σφάλμα.

Δεδομένου πως μελετούμε μία βιομηχανική εγκατάσταση, θεωρούμε πως τους πίνακες ΠΦΚ1, ΠΦΚ2, ΠΦΚ3, ΠΦΚ4, ΠΦΚ5 είναι συνδεδεμένα φορτία κίνησης. Ως φορτία κίνησης μπορούν να τοποθετηθούν αντλίες, ανεμιστήρες, συμπιεστές, αναδευτήρες, θραυστήρες, ανυψωτικά, γερανοί τόρνοι κτλ. Η ισχύς που μπορούν να καταναλώσουν αυτά τα μηχανήματα είναι περίπου 10-30 kW και εξαρτάται από το μηχάνημα που τοποθετείται. Για τη μελέτη της παρούσας εγκατάστασης θα θεωρήσουμε πως σε κάθε πίνακα θα τοποθετηθεί φορτίο με ισχύ 25 kW. Επομένως, το ονομαστικό ρεύμα της κάθε γραμμής μπορεί να υπολογιστεί ως εξής:

$$I = P / (\sqrt{3} * \cos\phi * V) = 30k / (\sqrt{3} * 0.85 * 400) = 42.45 \text{ A.}$$

Οι καταναλώσεις κάθε γραμμής φαίνονται στον πίνακα 4.8.

Πίνακας 4.8.: Κατανάλωση Γραμμών Β.Η.Ε.

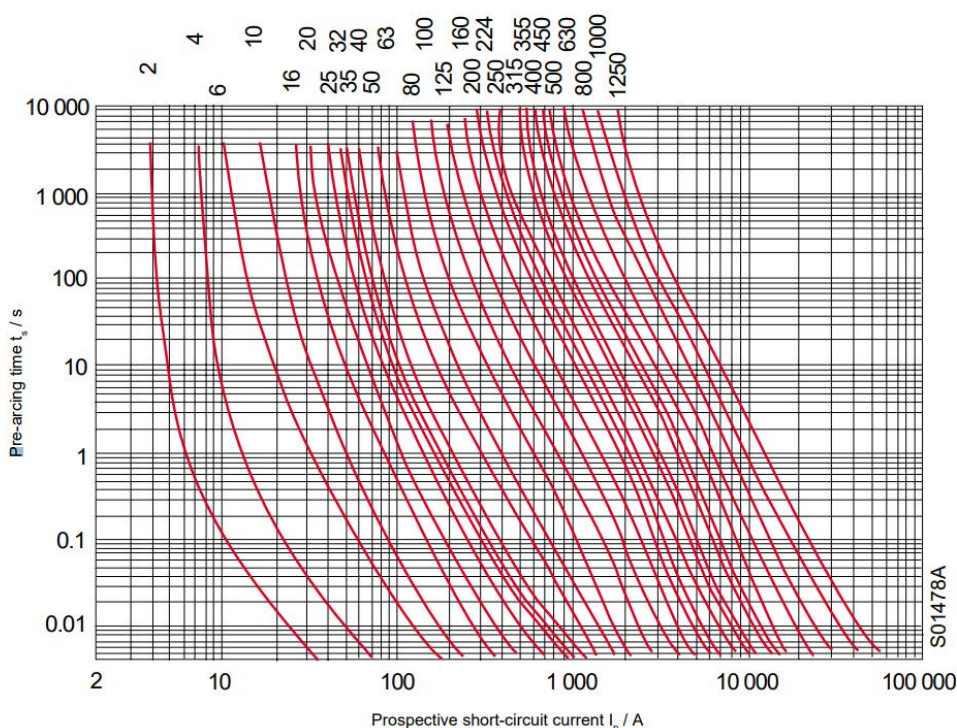
Τμήμα Εγκατάστασης	Είδος Φορτίου	Ισχύς P (kW)	Cosφ	Ονομαστικό Ρεύμα (A)
ΠΦΚ-1	Φορτίο κίνησης	25	0,85	42,25
ΠΦΚ-2	Φορτίο κίνησης	25	0,85	42,25
ΠΦΚ-3	Φορτίο κίνησης	25	0,85	42,25
ΠΦΚ-4	Φορτίο κίνησης	25	0,85	42,25
ΠΦΚ-5	Φορτίο κίνησης	25	0,85	42,25
ΓΠΧΤ		125	0,85	212,26

Στη συγκεκριμένη Β.Η.Ε. θα επιλεγθούν ασφάλειες του ίδιου κατασκευαστή (ABB) για την προστασία του της XT μετά το Μ/Σ (F1), την είσοδο του κάθε υποπίνακα (F2) της εγκατάστασης, αλλά και μεταξύ του υποπίνακα και του φορτίου (F3). Ιδιαίτερη βαρύτητα θα πρέπει να δίνεται στα διαγράμματα χρόνου διέγερσης και ρεύματος που δίνονται από τον κατασκευαστή για τα προστατευτικά μέσα, προκειμένου να γίνεται η κατάλληλη επιλογή. Συγκεκριμένα, ως F1 μπορεί να επιλεγεί η ασφάλεια OFAF0H250, ως F2 η ασφάλεια OFAF00H80 της ABB και ως F3 η ασφάλεια OFAF000H50 [74]. Με αυτό τον τρόπο και λαμβάνοντας υπόψιν τη χαρακτηριστική χρόνου-ρεύματος καθενός μέσου προστασίας, παρατηρείται και από το σχήμα 4.22. πως το προστατευτικό μέσο, το οποίο βρίσκεται πλησιέστερα στο φορτίο θα ενεργοποιηθεί πρώτο σε ένα πιθανό σφάλμα, που είναι και το επιθυμητό. Έτσι λοιπόν, εξασφαλίζεται η προστασία της βιομηχανικής εγκατάστασης από μεμονωμένα σφάλματα [75].

Συγκεκριμένα, στο διάγραμμα χρόνου-ρεύματος του σχήματος 4.22 παρατηρούμε την απόκριση των ασφαλειών της σειράς OFAF000H της εταιρείας ABB. Εάν στο σχήμα θεωρήσουμε μία νοητή κατακόρυφη γραμμή και έστω στη θέση όπου $I=800\text{ A}$, παρατηρούμε ότι αυτή τέμνει την απόκριση των ασφαλειών σε διαφορετικά σημεία. Επομένως, ο χρόνος ενεργοποίησης των ασφαλειών είναι διαφορετικός για καθεμιά ασφάλεια στην ίδια ένταση ρεύματος. Σε όλες τις περιπτώσεις παρατηρείται πως η νοητή αυτή κατακόρυφη γραμμή τέμνει πρώτα τις αποκρίσεις των ασφαλειών με μικρότερο ονομαστικό ρεύμα και μετά αυτές των ασφαλειών με μεγαλύτερο ρεύμα. Επομένως και στην περίπτωση των 1000 A που εξετάζεται, παρατηρείται πως ο χρόνος ενεργοποίησης π.χ. των ασφαλειών με ονομαστικό ρεύμα 50A , 80A , 250A είναι 0.02s , 0.2s και 100s αντίστοιχα. Συνεπώς, στην περίπτωση που στο φορτίο που βρίσκεται συνδεδεμένο στο ΠΦΚ1 λόγω κάποιου σφάλματος διαπεράσει για κάποιο μικρό χρονικό διάστημα (2s) τη γραμμή τροφοδοσίας του ρεύμα έντασης 1000A , τότε θα επισυμβούν τα παρακάτω. Αρχικά και σε χρόνο 0.02s θα ενεργοποιηθεί η ασφάλεια που είναι τοποθετημένη στη γραμμή ΠΦΚ1-φορτίο, αφού εκεί είναι συνδεδεμένη η ασφάλεια OFAF000H50 που αντιστοιχεί στα 50A . Έπειτα και σε χρόνο 0.2s θα ενεργοποιηθεί η ασφάλεια που είναι τοποθετημένη στη γραμμή ΓΠΧΤ-ΠΦΚ1, αφού εκεί είναι συνδεδεμένη η ασφάλεια OFAF000H80 που αντιστοιχεί στα 80A . Δεδομένου όμως πως ο χρόνος του σφάλματος δεν θα ξεπεράσει τα 100s , δεν θα ενεργοποιηθεί η ασφάλεια OFAF000H250 της γραμμής ΜΤ-ΓΠΧΤ. Συνεπώς στο διάστημα

των 2s θα αποκοπεί μόνο η γραμμή που αντιστοιχεί στον πίνακα ΠΦΚ1 και οι υπόλοιπες γραμμές των άλλων πινάκων θα λειτουργούν κανονικά και ανεξάρτητα από το σφάλμα αυτό.

Η επιλογή επιπλέον των διακοπών ισχύος της εγκατάστασης, έγινε με τον ίδιο τρόπο. Προκειμένου λοιπόν να εξασφαλίζεται η επιλεκτική συνεργασία μεταξύ τους, ο διακόπτης που βρίσκεται στην είσοδο κάθε πίνακα και σε περίπτωση σφάλματος στην γραμμή του θα αποκόπτει πιο γρήγορα από τον διακόπτη στο 2^ο του Μ/Σ. Έτσι στις γραμμές ΓΠΧΤ-ΠΦΚ1, ΓΠΧΤ-ΠΦΚ2, ΓΠΧΤ-ΠΦΚ3, ΓΠΧΤ-ΠΦΚ4, ΓΠΧΤ-ΠΦΚ5 έχουν τοποθετηθεί οι διακόπτες OT80F3, ενώ στη γραμμή ΜΤ-ΓΠΧΤ έχει τοποθετηθεί ο διακόπτης φορτίου OT250E03P. Ανατρέχοντας στο datasheet των δύο αυτών διακοπών παρατηρούμε πως για την ενεργοποίηση του OT80F3 στο 1s χρειάζεται να περάσει 1.5kA, ενώ στην περίπτωση του OT250E03P και για χρόνο ενεργοποίησης επίσης 1s απαιτείται να περάσουν 8kA. Επομένως, εάν λόγω κάποιου σφάλματος στη γραμμή του ΠΦΚ1 περάσει 1.5kA, θα ενεργοποιηθεί ο διακόπτης ισχύος της γραμμής ΓΠΧΤ-ΠΦΚ1 στο 1s. Όμως ο διακόπτης της γραμμής ΜΤ-ΓΠΧΤ θα ενεργοποιηθεί αργότερα και στο χρόνο αυτό οι υπόλοιπες γραμμές θα λειτουργούν κανονικά.



Σχήμα 4.22.: Σύγκριση μέσων προστασίας για επιλεκτική συνεργασία.

Τα μέσα προστασίας που επιλέχθηκαν για τη συγκεκριμένη εγκατάσταση και που πληρούν τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω φαίνονται αναλυτικά στον πίνακα 4.9.

Πίνακας 4.9.: Μέσα προστασίας που επιλέχθηκαν για τη Β.Η.Ε.

Γραμμή -Τμήμα Εγκατάστασης	Ισχύς P (kW)	Ρεύμα Γραμμής	Μέσα προστασίας	Ον. Ρεύμα Προστασίας (A)
ΜΤ – ΓΠΧΤ	125	212,26	Διακόπτης φορτίου- OT250E03P	250
			Ασφάλεια - OFAF0H250	250
ΓΠΧΤ - ΠΦΚ-1	25	42,25	Διακόπτης φορτίου- OT80F3	80
			Ασφάλεια - OFAF00H80	80
			Δ.Δ.Ρ. – F204 A-80/0.03	80
ΓΠΧΤ - ΠΦΚ-2	25	42,25	Διακόπτης φορτίου- OT80F3	80
			Ασφάλεια - OFAF00H80	80
			Δ.Δ.Ρ. – F204 A-80/0.03	80
ΓΠΧΤ - ΠΦΚ-3	25	42,25	Διακόπτης φορτίου- OT80F3	80
			Ασφάλεια - OFAF00H80	80
			Δ.Δ.Ρ. – F204 A-80/0.03	80
ΓΠΧΤ - ΠΦΚ-4	25		Διακόπτης φορτίου- OT80F3	80
			Ασφάλεια - OFAF00H80	80
			Δ.Δ.Ρ. – F204 A-80/0.03	80
ΓΠΧΤ - ΠΦΚ-5	25	42,25	Διακόπτης φορτίου- OT80F3	80
			Ασφάλεια - OFAF00H80	80
			Δ.Δ.Ρ. – F204 A-80/0.03	80
ΠΦΚ-1 - Φορτίο	25	42,25	Διακόπτης φορτίου- OT60F3	60
			Ασφάλεια - OFAF00H50	50

Βιβλιογραφία

- [1] Τουλόγλου, Σ., 2001. *Ηλεκτρικές Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις (Κίνησης) & Υποσταθμοί (Μέσης Τάσης)*. Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ.
- [2] Ντοκόπουλος, Π., 2005. *Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών*. Αθήνα: Εκδόσεις ΖΗΤΗ.
- [3] Κεμίδης, Π., Μπαργιώτας, Δ., & Σανδαλίδης, Χ., 2002. *Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Υποσταθμοί - Α' Τεύχος*. Ανακτήθηκε 20/07/2022 από: [Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων](#).
- [4] Μπιτζιώνης, Β., 2015. *ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ* (2^η έκδ.). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.
- [5] Πίου, Μ., 2019. *Αυξήσεις πάνω από 20% στη Μέση Τάση*. Ανακτήθηκε 20/07/2022 από: [Υποσταθμοί Μέσης Τάσης](#).
- [6] Tisoft, Ακτινικά δίκτυα. Ανακτήθηκε 20/07/2022 από: [Ακτινικά Δίκτυα](#)
- [7] Tisoft, Βροχοειδή δίκτυα. Ανακτήθηκε 20/07/2022 από: [Βροχοειδή δίκτυα](#)
- [8] ΤΟΙΧΟΠΟΙΪΕΣ, *Τοιχοποιίες ανάλογα με τον τρόπο σύμπλεξης των τούβλων*. Ανακτήθηκε 20/07/2022 από: [Τοιχοποιίες](#)
- [9] Gunter, G. S., 2019. *ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ* (3^η έκδ.). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.
- [10] Γκόνος, Ι. Φ. & Πολυκράτη, Α. Δ., 2020. *ΣΧΕΔΙΟ ΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ: Οικιακές, Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις*. Αθήνα: Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.
- [11] *ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΕΛΟΤ* (2^η εκδ.). [ΕΛΟΤ HD 384](#).
- [12] Καμινάρης, Σ.,. Ενότητα 2: Μέθοδοι Προστασίας σε Εγκαταστάσεις Χ.Τ. [Ε.Η.Ε. Ι-Εργαστήριο](#).
- [13] Πακτιτής, Θ., 2020. *ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΙΩΣΕΩΝ*. [ΠΑΤΡΑ 2020](#).

- [14] Ζουμπούκος, Τ. & Τσουκάτος, Μ., 2019. *Σχεδίαση και κατασκευή διατάξεων γείωσης*. [ΠΑΤΡΑ 2019](#).
- [15] Βάρλα, Δ. Π., 2004. *Υπολογιστική μελέτη συστημάτων γείωσης*. [ΑΘΗΝΑ 2004](#).
- [16] Καραντώνη, Ε. Ι., 2012. *Μελέτη Ιδιωτικού Υποσταθμού ΜΤ-ΧΤ*. [ΑΘΗΝΑ 2012](#).
- [17] Ηλεκτρολόγοι, 1^{ης} ΕΠΑΣ ΟΑΕΔ, 2015. *ΕΙΔΗ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΩΝ ΓΕΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ*. [ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΙ](#).
- [18] Νεόφυτος, Σ., 2018. *Μοντελοποίηση Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων με Παρουσία Φωτοβολταϊκών Πηγών*. [Νεόφυτος Σεραφείμ](#).
- [19] Linquip Technews, 2020. *TT Earthing System: An Easy-to-Understand Guide Along with a Full Description*. [Linquip Technews](#).
- [20] Csanyi, E., 2020. *Advice in choosing the right neutral earthing system for your installation*. [EEP](#).
- [21] Electro Expert, 2019. *TN-S Grounding System Overview*. [Electro Expert](#).
- [22] Linquip Technews, 2020. *TNC Earthing System: A Detailed Explanation*. [Linquip Technews](#).
- [23] Linquip Technews, 2020. *A Definitive Guide to TNCS Earthing System*. [Linquip Technews](#).
- [24] Electro Expert, 2019. *Πού εφαρμόζεται το σύστημα γείωσης IT*; [Electro Expert](#)
- [25] Γεωργιάδου, Ε., 2003. *Κίνδυνοι πυρκαγιάς και Πυροπροστασίας*. Αθήνα. [Γεωργιάδου Εύη](#).
- [26] Δρ. Ν. Α. Μπορμπιλιάς, 2018. *Επίδραση Ηλεκτρικού ρεύματος στον ανθρώπινο οργανισμό*. [Πανεπιστήμιο Πατρών 2018](#).
- [27] Μαρκοπούλου, Μ. & Γεωργακίλας, Α., χ.χ. *Βιοφυσική*. [Βιοφυσική](#).
- [28] Καμινάρης, Σ., *Ενότητα 1: Εισαγωγή – Βασικές έννοιες για τις Ε.Η.Ε. – Πρότυπο HD 384 – Κίνδυνοι από το ηλεκτρικό ρεύμα*. [Εσωτερικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις](#).

- [29] Βανταράκης, Απ., Κλεπετσάνης, Π., Παντελιού, Σ., Παπαδοπούλου, Χρ., Κωνσταντοπούλου, Γ., 2013. *Οδηγός υγιεινής και ασφάλειας Πανεπιστημίου Πατρών*. [Πανεπιστήμιο Πατρών 2013](#).
- [30] Dr. Bikson, M., 2005. *A review of hazards associated with exposure to low voltages*. [University of New York](#).
- [31] Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Ασφαλίσεων, 2011. *Ασφάλεια και υγεία στην εργασία*. [Υπουργείο εργασίας και κοινωνικών ασφαλίσεων](#).
- [32] ΠΑΝΑ ΝΤΑΝΙΕΛ ΠΕΤΡΟΥΤ, 2021. *Μελέτη Ηλεκτρικής Εγκατάστασης Διώροφης Οικίας*. [Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου](#).
- [33] Δρ.-Μηχ. Σιδεράκης, Κ.,Γ.,. *Μέσα Προστασίας II - Προστασία από την ηλεκτροπληξία*. [ΤΕΙ Κρήτης](#).
- [34] Βοβός Ν., Γιαννακόπουλος Γ., 2008. *Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.
- [35] Illustrationprize,. *Συμμετρικά και ασύμμετρα σφάλματα*. [Συμμετρικό σφάλμα](#).
- [36] Στεργιοπούλου, Κ., 2020. *Ανάλυση και Αξιολόγηση Σφαλμάτων σε Δίκτυα Διανομής με Κατανεμημένη Παραγωγή*. [Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας](#).
- [37] Anderson, G., 2008. *Modeling and Analysis of Electric Power Systems*. [Σφάλματα σχέδια](#).
- [38] ABB,. *Τεχνική Προδιαγραφή για Μετασχηματιστές Απομόνωσης & Διατάξεις Επιτήρησης Μόνωσης*. [ABB](#).
- [39] Crushtymks,. *Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις όπου απαγορεύεται η χρήση του συστήματος TN-C-S*. [Τεχνικά χαρακτηριστικά TN](#).
- [40] GT – ENGINEERING,. *IEC 60364-4-41: PROTECTION AGAINST ELECTRIC SHOCK*. [TN SYSTEMS](#).
- [41] Schneider Electric,. *Κατάλογος 2020*. [Schneider](#).
- [42] GT – ENGINEERING,. *IEC 60364-4-41: PROTECTION AGAINST ELECTRIC SHOCK*. [TT Systems](#).

- [43] Axis Electricals, 2021. *Expert Electrical Engineering Articles*. [Significance of TT Systems](#).
- [44] ABB,. *Distribution systems and protection against indirect contact and earth fault*. [ABB](#).
- [45] Brenna M., Iannone F. & Zaninelli D., 2005. *Electrical Safety Analysis in Low Voltage Systems with Electronic Power Converters*. IEEE Power Engineering Society General Meeting. [IEEE](#)
- [46] www.scirp.org
- [47] Touch Voltage Calculations for LV Electrical Systems - ELEK Software, [Elek](#)
- [48] Fascicolo R., 1999. *Effects of current passing through the human body*. [Norma CEI 64](#)
- [49] Carrescia V., 1997. *Fondamenti di sicurezza elettrica*. TNE Editore, p. 739. [TNE](#)
- [50] ABB,. *Μικροαυτοματοι διακόπτες - Τους χρησιμοποιούμε καθημερινά αλλά πόσο καλά τους γνωρίζουμε;* [ABB](#).
- [51] Χριστόπουλος, Κ., 2019. *ΤΟ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑ ΚΑΙ ΟΙ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ*. [slideplayer](#).
- [52] TiSoft,. *Προστασία από βραχυκύκλωμα*. [TiSoft](#).
- [53] Δρ. Μηχ. Σιδεράκης, Κ., Γ.,. *Μέσα Προστασίας II Προστασία από την ηλεκτροπληξία*. [T.E.I. Κρήτης](#).
- [54] TiSoft,. *Είδη ασφαλειών τήξης*. [TiSoft](#).
- [55] ABB,. *S200 Μικροαντόματοι (MCBs)*. [ABB](#).
- [56] Legrand,. *Τεχνική Προδιαγραφή -ΔΙΑΝΟΜΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ* [legrand](#).
- [57] ABB,. *Διακόπτες διαρροής (RCDs)*. [ABB](#).
- [58] ABB,. *Διακόπτες διαρροής – RCCBs*. [ABB](#).
- [59] ABB,. *Διακόπτες διαρροής με στοιχεία μικροαντόματου – RCBO*. [ABB](#).
- [60] Electrical Terminology, 2021. *RCCB vs RCBO: A Comprehensive Comparison Guide*. [electricalterminology](#).

- [61] ABB,. *Ρελέ διαρροής για πόρτα πίνακα*. [ABB](#).
- [62] ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.,. *Μέτρα προστασίας και ηλεκτρική ασφάλεια*. [ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.](#).
- [63] Παπασπύρου, Σ., 2020. *Μελέτη Προστασίας Ηλεκτρολογικής Εγκατάστασης Αλευρόμυλου με Τροφοδοσία από Συνεχή Τάση*. [Α.Π.Θ. Πολυτεχνική Σχολή](#).
- [64] Εγνατία Οδός Α.Ε., 2012. *Αποχετευτικά δίκτυα του οικισμού Αντιπάρου του Νομού Κυκλάδων (N0900b)*. [ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.](#).
- [65] Safe Business,. *Ασφάλεια Ηλεκτρολογικών Εγκαταστάσεων*. [safebusiness](#).
- [66] Τσουπάκης, Κ., 2016. *Ανάλυση Τεχνικών Χαρακτηριστικών Ηλεκτρολογικού Υλικού Πινάκων Χαμηλής Τάσης*. [Α.Ε.Ι. Πειραιά](#).
- [67] Μπιτζιώνης, Β., 2022. *Βιομηχανικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις*. Εκδόσεις Τζιόλα.
- [68] Electricallab,. *Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις II*. [electricallab](#).
- [69] Καλπακίδης, Ι., 2009. *Περιγραφή των Μέσων Προστασίας και των Εγκαταστάσεων Μέσης Τάσης της Δ.Ε.Η. και των Καταναλωτών*. [Α.Π.Θ. Πολυτεχνική Σχολή](#).
- [70] Κοντόσταυλος, Ο., 2017. *ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ*. [slideplayer](#).
- [71] TiSoft,. *Επιλεκτική συνεργασία μεταξύ των οργάνων προστασίας στις δύο πλευρές του μετασχηματιστή*. [TiSoft](#).
- [72] Λέκκας, Χ., 2018. *ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΟΤΗΣΗΣ ΟΙΚΙΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΠΕ*, [Πολυτεχνείο Κρήτης](#).
- [73] Αγαπάκης, Μ., 2018. *Σχεδιασμός Και Μελέτη Εφαρμογής Ηλεκτρομηχανολογικών Εγκαταστάσεων Βιομηχανίας Παραγωγής Ειδών Ζαχαροπλαστικής*. [Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας](#).
- [74] ABB,. *Details for: OFAF000H50*. [OFAF000H50](#).
- [75] ABB,. *Detailed information for: S203-K6*. [s203-k63](#).