



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ Υ.Τ./Μ.Τ.”

“TECHNOLOGIES OF DISTRIBUTION SUBSTATIONS H.V./M.V.”



Υπεύθυνος Καθηγητής: Δρ. Παντελής Μαλατέστας

Φοιτητής: Νεκτάριος Γιαννόπουλος

**Αιγάλεω
Ιούλιος – 2017**

Copyright © Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Εκπαιδευτικού Ίδρυματος Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.

Αιγάλεω
Ιούλιος – 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Παντελή Μαλατέστα, Καθηγητή του Α.Ε.Ι. Πειραιά Τ.Τ. για την ανάθεση καθώς και για την καθοδήγησή του που ήταν σημαντική για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδελφή μου Πηνελόπη, για την υπομονή και τη συμπαράστασή της, καθώς για την ηθική στήριξη στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας και κατ' επέκταση του κύκλου σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περιεχόμενα	iv
Περίληψη.....	vii
Executive Summary	viii
Πρόλογος.....	1
1. Εισαγωγή στους Υποσταθμούς και στο Σύστημα Μεταφοράς και Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας	3
1.1 Εισαγωγή	3
1.2 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.)	6
1.3 Δομή Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας	9
1.4 Υποσταθμοί	12
1.4.1 Γενικά	12
1.4.2 Υποσταθμός διανομής	14
1.4.2.1 Υ/Σ Εναέριοι	15
1.4.2.2 Υ/Σ Επίγειοι	15
1.4.2.3 Υ/Σ Υπόγειοι	16
1.4.3 Βροχοειδή δίκτυα	18
1.4.4 Υποσταθμός μεταφοράς	19
1.4.4.1 Υποσταθμοί ανυψώσεως τάσης Μ.Τ/150kV	21
1.4.4.2 Υποσταθμοί Υποβιβασμού Τάσεως 150/20 kV	22
1.4.4.3 Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (Κ.Υ.Τ)	25
1.4.5 Εγκλιωτισμένη Υποσταθμοί SF6 (GAS INSULATED SUBSTATION)	26
1.4.5.1 Σύγκριση συμβατικών υποσταθμών και GIS	28
1.4.5.2 Κόστος Διάρκειας ζωής	29
1.4.5.3 Αξιοπιστία	30
1.4.5.4 Συντήρηση- Εποπτεία	30
1.4.5.5 Επιλογή υποσταθμού με μόνωση αερίου ανοιχτού ή κλειστού τύπου	31
1.5 Σύνδεση Υ/Σ Καταναλωτών ΥΤ με το Σύστημα (Πελάτες Υψηλής Τάσης)	32
2. Εξοπλισμός Υποσταθμού	33
2.1 Εισαγωγή	33
2.2 Μετασχηματιστής (Μ/Σ)	33
2.2.1 Παράλληλη Λειτουργία Μετασχηματιστών	36
2.2.2 Τυπικά Μεγέθη Μετασχηματιστών	37
2.3 Αυτομετασχηματιστής	38
2.4 Διακόπτες Ισχύος	39
2.4.1 Γενικά	39
2.4.2 Τύποι διακοπών ισχύος	40
2.5 Αντιστάθμιση Άεργης Ισχύος	45
2.6 Χαρακτηριστικά Πυκνωτών και Πηνίων	46
2.7 Ζυγοί	49
2.7.1 Γενικά	49
2.7.2 Τύποι ζυγών	49
2.7.3 Δομή των ζυγών	50
2.7.4 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά των Ζυγών	51
2.7.4.1 Διαστάσεις ζυγών	51
2.7.4.2 Χάλκινοι Αγωγοί	52
2.7.4.3 Σφικτήρες	52
2.8 Αποζεύκτες	52
2.9 Αλεξικέραυνα	54
2.9.1 Γενικά	54

2.9.2 Κατασκευαστικά στοιχεία αλεξικεραυνών.....	55
2.10 Μονωτήρες	55
2.10.1 Μονωτήρες εξωτερικού χώρου	55
2.10.2 Μονωτήρες εσωτερικού χώρου	56
2.11 Κυματοπαγίδες	56
2.12 Πυκνωτές	57
3. Μελέτη Υποσταθμού 150kV/20kV	59
3.1 Κανονισμοί για εγκατάσταση Υποσταθμού	59
3.2 Κριτήρια Χωροθέτησης Υποσταθμού υποβιβασμού τάσεως 150/20kV	63
3.3 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υποσταθμού υποβιβασμού τάσεως 150/20kV	73
3.4 Μονογραμμικό Υποσταθμού υποβιβασμού τάσεως 150/20kV	79
3.5 Έργα Πολιτικού Μηχανικού	80
3.6 Κάτοψη και τομές ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού	81
4. Κριτήρια σχεδίασης και επιλογής διάταξης υποσταθμών	85
4.1 Κριτήρια σχεδίασης Υ/Σ	85
4.2 Σχεδιασμός ενός Υποσταθμού	87
4.3 Επιλογή της τοποθεσίας του Υ/Σ	90
4.4 Επιλογή διάταξης υποσταθμού	94
5. Τύποι διατάξεων υποσταθμών	98
5.1 Εισαγωγή	98
5.2 Διάταξη ενός ζυγού	98
5.3 Διάταξη τμηματοποιημένου ζυγού	102
5.4 Διάταξη κεντρικού ζυγού με ζυγό μεταγωγής	104
5.5 Διάταξη με δακτυλιοειδή ζυγό	108
5.6 Διάταξη 1.5 διακόπτη (breaker and a half)	114
5.7 Διάταξη ενός και ενός τρίτου διακόπτη, 1 + 1/3 (Breaker and a third bus arrangement)	122
5.8 Διάταξη δυο ζυγών με δύο διακόπτες ανά αναχώρηση	125
5.9 Διάταξη διπλού ζυγού με έναν διακόπτη ανά αναχώρηση	129
5.10 Διατάξεις με διπλούς βρόχους	130
5.11 Διάταξη με πολλαπλούς βρόχους	131
6. Προστασία Διατάξεων	133
6.1 Εισαγωγή	133
6.2 Απαιτήσεις προστασίας ζυγών	136
6.3 Προστασία διατάξεως ενός ζυγού	137
6.4 Προστασία διάταξης τμηματοποιημένου ζυγού	138
6.5 Προστασία διάταξης κύριου ζυγού σε συνδυασμό με ζυγό μεταγωγής	140
6.6 Προστασία διάταξης διπλού ζυγού- ενός διακόπτη	142
6.7 Προστασία διάταξης διπλού ζυγού- διπλού διακόπτη	144
6.8 Προστασία διατάξεως δακτυλιοειδή ζυγού	144
6.9 Προστασία διάταξης 1.5 διακόπτη	147
6.10 Προστασία διάταξης ενός ζυγού σε συνδυασμό με μετασχηματιστή	147
6.11 Μετασχηματιστές Μετρήσεων	150
6.12 Διαφορική προστασία ζυγών	152
6.12.1 Διάταξη προστασίας πολυρυθμιζόμενου διαφορικού ρεύματος	153
6.12.2 Διάταξη προστασίας διαφορικής τάσης υψηλής εμπέδησης	154
6.12.3 Διαφορική διάταξη προστασίας με αερόφυκτο μετασχηματιστή	156
6.12.4. Βαθμιαία διαφορική προστασία υψηλής εμπέδησης	159
6.13 Διάφορα άλλα διαφορικά συστήματα προστασίας ζυγών	159
6.13.1 Διαφορικός χρόνος υπερεντάσεως	160
6.13.2 Κατευθυντική διαφορική σύγκριση	160
6.13.3 Μερική διαφορική προστασία	162
6.14 Σφάλμα γείωσης στο ζυγό	165
7. Συστήματα Γείωσης	166

7.1 Εισαγωγή - Η γείωση και ο ρόλος της	166
7.2 Ορισμοί – Βασικές έννοιες	168
7.3 Ασφάλεια στη γείωση - Το βασικό πρόβλημα	174
7.4 Συνθήκες κινδύνου	177
7.5 Προδιαγραφές συστήματος γείωσης	179
7.6 Είδη γειώσεων	181
7.7 Μέθοδοι γείωσης	185
7.8 Τύποι και μορφές γειωτών	186
7.9 Συστήματα γείωσης	193
7.10 Βελτιωτικά υλικά γειώσεων	197
7.11 Κρουστική σύνθετη αντίσταση γείωσης	198
8. Καλώδια - Αγωγοί Μέσης Τάσης	202
8.1. Εισαγωγικά	202
8.2 Καλώδια Μέσης τάσης	202
8.2.1 Σύντομη Περιγραφή	202
8.2.2 Σύνθεση των καλωδίων μέσης τάσης	204
8.3 Κατασκευαστικά στοιχεία για κάθε μέρος των καλωδίων μέσης τάσης	205
8.3.1. Αγωγοί	205
8.3.2. Εξομαλυντικά (ημιαγώγιμα) στρώματα	207
8.3.3 Μόνωση	207
8.3.4 Μανδύας (ή μεταλλικός μανδύας ή μεταλλική θωράκιση ή ηλεκτρική θωράκιση)	208
8.3.5. Ζώνη μηχανικής ενίσχυσης	210
8.3.6. Εξωτερικό προστατευτικό στρώμα (ή εξωτερικός μανδύας)	211
8.4. Είδη καλωδίων μέσης τάσης	216
9. Καλώδια Υψηλής Τάσης	223
9.1 Σύντομη Περιγραφή	223
9.2 Καλώδια Υπερυψηλής Τάσης με Μεταλλική Περιέλιξη	224
9.3. Γραμμές μεταφοράς (Γ.Μ.) & καλώδια Υ.Τ.	226
9.3.1. Τυποποιημένα Είδη Εναέριων Γ.Μ.	226
9.4. Θερμικό Όριο	227
9.5 Είδη καλωδίων υψηλής τάσης	229
9.6 Χαρακτηριστικά Καλωδιακών Γ.Μ	231
Συμπεράσματα	233
Βιβλιογραφία	234

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μελέτη αυτή παρουσιάζει σφαιρικά τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται στους υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ. Οι τεχνολογίες στις οποίες δίνεται έμφαση είναι τα είδη των υποσταθμών, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού αλλά και της λειτουργίας τους, οι κανονισμοί που πρέπει να ακολουθηθούν για την εγκατάστασή του υποσταθμού, οι φορείς τυποποίησης, τα κριτήρια χωροθέτησης, τα κριτήρια σχεδίασης και επιλογής διάταξης υποσταθμών, οι τύποι των διατάξεων των υποσταθμών, οι τύποι προστασίας αυτών των διατάξεων, τα συστήματα γείωσης και τέλος τα είδη των καλωδίων μέσης και υψηλής τάσης. Ο υποσταθμός ΥΤ/ΜΤ είναι ένα ιδιαίτερο σύνθετο σύστημα με πολλές τεχνολογίες και η εργασία υπογραμίζει την ανάγκη της συνεχούς βελτιώσεώς τους με γνώμονα τη μείωση του κόστους, του περιβαλλοντικού αντίκτυπου και την αξιοπιστία του συνολικού συστήματος.

EXECUTIVE SUMMARY

This study offers a complete presentation of the technologies applied to the substations HV/MV. Emphasis is placed on the types of substations, the technical characteristics of the equipment and their operation, the regulations to be followed for the installation of the substation, the standardization commissions, the location standards, the design criteria and the selection of the substation's configuration, the types of substation apparatus, the types of protection of these devices, the grounding systems and finally the types of medium and high voltage cables. The substation HV/MV is a particularly complex system with many technologies and this study underlines the need for continuous improvements enhancing the reduction of cost, the environmental impact and the reliability of the overall system.

Keywords: substation HV/MV, Interior Electrical Installations, Equipment, Configuration, Types of Substation's Configuration, Reliability of Apparatus, Parameters of selection for Substation's Configuration, Grounding systems, cables

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται περιγραφή των τεχνολογιών που εφαρμόζονται στους υποσταθμούς ΥΤ/ΜΤ αναλύοντας τον εξοπλισμό, τους τύπους των διατάξεων των υποσταθμών και τη σχετική νομοθεσία κριτηρίων και έργων που απαιτούνται για τη χωροθέτηση και εγκατάστασή τους.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, οι υποσταθμοί γενικότερα και, ειδικότερα γίνεται μια ανάλυση των διαφόρων ειδών αυτών με ιδιαίτερη έμφαση στους υποσταθμούς μεταφοράς.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον βασικό εξοπλισμό ενός υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ και επιπλέον η περιγραφή των μηχανημάτων εκείνων, των οποίων η συνεχής και αδιάκοπη λειτουργία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη λειτουργία ενός υποσταθμού.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στους κανονισμούς που διέπουν την εγκατάσταση ενός υποσταθμού, τα κριτήρια χωροθέτησής του, τα γενικά τεχνικά χαρακτηριστικά και τέλος οι εξειδικευμένοι σχεδιασμοί και τα έργα που απαιτούνται για την εγκατάσταση του.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τα κριτήρια σχεδίασης ενός υποσταθμού, ο τρόπος σχεδιασμού του με όσα οφείλουν να συμπεριληφθούν για αυτόν καθώς και η περιγραφή των κριτηρίων επιλογής της διάταξης ενός υποσταθμού.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση και περιγραφή όλων των διατάξεων των υποσταθμών που χρησιμοποιούνται ή έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα ενώ αναφέρεται ο τρόπος λειτουργίας καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα διάφορα είδη προστασίας που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τη διάταξη.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην έννοια και το ρόλο της γείωσης καθώς και στα διάφορα είδη γειωτών και μεθόδων υπολογισμού των παραμέτρων τους.

Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα καλώδια και στους αγωγούς μέσης τάσης.

Στο ένατο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα καλώδια υψηλής τάσης.

Λέξεις κλειδιά: Υποσταθμός ΥΤ/ΜΤ, Εσωτερικές ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, Εξοπλισμός, Διάταξη, Τύποι διατάξεων υποσταθμών, Αξιοπιστία διατάξεων, Κριτήρια επιλογής διατάξεων υποσταθμών, συστήματα γείωσης, καλώδια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

“ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥΣ ΚΑΙ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ”

1.1 Εισαγωγή

Το 1889 πραγματοποιήθηκε φωτισμός του ιστορικού κέντρου της Αθήνας. Έκτοτε δημιουργούνται σταδιακά μικρές ιδιωτικές ή δημόσιες εταιρείες που παράγουν και διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία κάλυπτε μόνο το φωτισμό και μάλιστα με ωράριο, με συνεχείς διακοπές και σε σχετικά υψηλές τιμές για τον μέσο Έλληνα. Από τους 11600 οικισμούς της χώρας, το ρεύμα έφτανε μόνο σε 823. Τον Αύγουστο του 1950 ιδρύθηκε η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, με σκοπό να χαραχτεί και να εφαρμοστεί μια εθνική ενεργειακή πολιτική, κατά την οποία θα γίνεται εντατική εκμετάλλευση των εγχώριων πόρων [5].



Φωτογραφία 1.1: Χάρτης σταθμών παραγωγής ηλεκτρισμού και δικτύου μεταφοράς [34]

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στους Υποσταθμούς και στο Σύστημα Μεταφοράς και Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού Α.Ε. είναι η μεγαλύτερη εταιρία παραγωγής και προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Διαθέτει μια μεγάλη υποδομή σε εγκαταστάσεις ορυχείων λιγνίτη, παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Κατέχει περίπου το 68% της εγκατεστημένης ισχύος των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα συμπεριλαμβάνοντας στο ενεργειακό της μείγμα λιγνιτικούς, υδροηλεκτρικούς και πετρελαϊκούς σταθμούς, καθώς και σταθμούς φυσικού αερίου, αλλά και μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) [34].

Το Δεκέμβριο του 2000 ιδρύθηκε ο ανεξάρτητος Διαχειριστής του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΣΜΗΕ Α.Ε.). Ο ΔΕΣΜΗΕ ανέλαβε την ευθύνη της λειτουργίας του συστήματος μεταφοράς του ρεύματος και μεριμνά έτσι ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να παρέχεται με ασφάλεια και ποιότητα, εντάσσοντας στο σύστημα τις μονάδες παραγωγής της Δ.Ε.Η. Α.Ε και των ανεξάρτητων παραγωγών με τον πιο συμφέροντα τρόπο.



Φωτογραφία 1.2: Θερμοηλεκτρικός σταθμός που λειτουργεί με γαιάνθρακα

Από το Φεβρουάριο του 2001 και μετά ξεκίνησε η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Έκτοτε πραγματοποιήθηκε είσοδος στην αγορά ανεξάρτητων παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας, ανταγωνιστών της Δ.Ε.Η [5].

Σύμφωνα με στοιχεία του 2011 από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας για το Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα, το 66.5% της εγκατεστημένης ισχύος των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων είναι θερμοί σταθμοί, εκ των οποίων 4930 MW με λιγνίτη, 730 MW με πετρέλαιο και 4579 MW με φυσικό αέριο. Το 19.6% είναι μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί και το 13.9% είναι μονάδες ΑΠΕ. Ταυτόχρονα η ανάδειξη της προστασίας του περιβάλλοντος, ως στόχοι υψηλής προτεραιότητας της ελληνικής πολιτείας, οδηγεί σε προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, θέτοντας ως στόχο την αύξηση της συμμετοχής τους στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο 34% μέχρι το 2020. Στο ίδιο πλαίσιο δίνεται έμφαση στην επιτάχυνση της διείσδυσης του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο. Επειδή η χρονική διάρκεια ζωής των αποθεμάτων λιγνίτη δεν υπερβαίνει τα 35 χρόνια, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι θα πρέπει να μπουν στο ελληνικό ισοζύγιο ηλεκτρισμού νέα καύσιμα, όπως ο λιθάνθρακας, ώστε να παραταθεί η διαθεσιμότητα και η χρήση του λιγνίτη σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου [35].

1.2 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.)

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.) είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων τα οποία εξυπηρετούν τις ανάγκες ενός συνόλου καταναλωτών με την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα Σ.Η.Ε. πρέπει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το λιγότερο δυνατό κόστος και με το μικρότερο δυνατό οικολογικό αντίκτυπο, εξασφαλίζοντας σταθερή συχνότητα, σταθερή τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης. [1]

Τα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να διακριθούν στα ακόλουθα τμήματα:

1. Τους Σταθμούς Παραγωγής
2. Τα Δίκτυα Μεταφοράς
3. Τα Δίκτυα Διανομής

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των δικτύων διανομής, σε αντιπαραβολή με τα δίκτυα μεταφοράς, είναι ότι αποτελούνται από μεγάλο πλήθος στοιχείων. Από το γεγονός αυτό αποκτά ιδιαίτερη σημασία για τα Δίκτυα Διανομής, η τυποποίηση των επί μέρους κατασκευαστικών τους στοιχείων, καθώς και του υλικού που χρησιμοποιείται σε αυτά, δεδομένου ότι πρόκειται για επαναλαμβανόμενες κατασκευές από πολλά διεσπαρμένα συνεργεία σε ολόκληρη τη χώρα.

Η ηλεκτρική ενέργεια από το σημείο που θα παραχθεί μέχρι το σημείο που θα καταναλωθεί βρίσκεται σε μια συνεχή ροή και, επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δε μπορεί να αποθηκευτεί, πρέπει να παράγεται τη στιγμή ακριβώς που χρειάζεται η κατανάλωσή της. Η παραγωγή γίνεται στους σταθμούς παραγωγής όπου εκεί με διάφορες τεχνικές μετατρέπεται η θερμική ενέργεια των ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κ.α.) και η μηχανική ενέργεια των υδάτινων ροών και υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μεταφορά της

από τα εργοστάσια παραγωγής προς τις περιοχές κατανάλωσης γίνεται με τις γραμμές υψηλής και υπερυψηλής τάσεως (στην Ελλάδα οι γραμμές είναι των 400 kV ή των 150 kV), οι οποίες μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κεντρικά σημεία του δικτύου. Αυτοί είναι οι λεγόμενοι υποσταθμοί, από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής της μέσης τάσεως (20 kV ή 15 kV), που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές δια μέσου των υποσταθμών διανομής και των γραμμών χαμηλής τάσεως 400/230 V.

Αν και τα μεγέθη των Σ.Η.Ε. διαφέρουν, υπάρχουν μεταξύ τους χαρακτηριστικά που είναι κοινά για τα περισσότερα από αυτά. Τα υπαρκτά συστήματα είναι τα τριφασικά εναλλασσομένου ρεύματος με συχνότητα 50 ή 60 Hz, τα οποία χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις, και τα συστήματα συνεχούς ρεύματος για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ονομαστική τάση λειτουργίας παραμένει σταθερή. Οι γραμμές μεταφοράς μέσης τάσης έχουν τρεις αγωγούς φάσεων. Τα τριφασικά συστήματα ρευμάτων είναι συμμετρικά με ίσα τα μεγέθη των τριών φάσεων και με γωνιακές αποκλίσεις 120° μεταξύ τους. Η ροή είναι συνεχής και κάνει την λειτουργία τους πολύ πιο ομαλή και αποδοτική.

Οι ακόλουθες απαιτήσεις πρέπει να εξασφαλίζονται και να ικανοποιούνται σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας:

1. Να παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση.
2. Το σύστημα πρέπει να ικανοποιεί επαρκώς τη ζήτηση πραγματικής και άεργου ισχύος, η οποία μεταβάλλεται με το χρόνο.
3. Η παρεχόμενη ενέργεια πρέπει να ικανοποιεί ορισμένους όρους ποιότητας.
4. Η ενέργεια πρέπει να παρέχεται με τα ελάχιστα οικονομικά και οικολογικά κόστη.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στους Υποσταθμούς και στο Σύστημα Μεταφοράς και Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Με βάση την έκταση και εφόσον καλύπτουν το σύνολο μιας χώρας, το σύνολο μιας γεωγραφικής περιοχής, ή τις ανάγκες μεμονωμένου ιδιωτικού συγκροτήματος, τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να διακριθούν σε:

1. Εθνικά Συστήματα
2. Περιφερειακά Συστήματα
3. Ιδιωτικά Συστήματα

Η δομή του συστήματος έχει πρωτεύουσα σημασία για τη γεωγραφική διαθεσιμότητα της ηλεκτρικής ενέργειας. Η ιδιότητα, η οποία χαρακτηρίζει τη δομή και τη σύνθεσή του συστήματος περισσότερο από κάθε άλλη είναι το μέγεθος του συστήματος. Οποσδήποτε όμως ακόμη και το μικρότερο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα πολύπλοκο ηλεκτρικό δίκτυο. [2,3]

1.3 Δομή Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνεται στα εξής ειδικότερα συστήματα:

1. Το Σύστημα Παραγωγής
2. Το Σύστημα Διασυνδέσεως και Μεταφοράς
3. Το Σύστημα Υπομεταφοράς
4. Το Σύστημα Διανομής

Το Σύστημα Παραγωγής περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής, όπου παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα, μαζί με τους υποσταθμούς ανυψώσεως της τάσεως για την μεταφορά του υπό υψηλή τάση.

Το Σύστημα Μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών Υψηλής Τάσεως, τους Υποσταθμούς Ζεύξεως των δικτύων αυτών, τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων τάσεων του δικτύου και τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσεως σε μέση τάση προς τροφοδότηση των δικτύων διανομής. Με το Σύστημα Μεταφοράς η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από τους σταθμούς παραγωγής προς τις περιοχές κατανάλωσης.

Το Σύστημα Διανομής περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης, στα οποία υπάγονται και οι υποσταθμοί διανομής, μέσω των οποίων η μέση τάση υποβιβάζεται σε χαμηλή τάση. Με τα δίκτυα διανομής, η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στις μικρότερες περιοχές φορτίου, και παρέχεται στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης.

Οι εγκαταστάσεις παραγωγής και μεταφοράς είναι συνήθως οικονομικά εξαρτημένες μεταξύ τους και γι' αυτό ο τεχνικός και οικονομικός σχεδιασμός των σταθμών παραγωγής, των κύριων γραμμών μεταφοράς και των κεντρικών υποσταθμών πρέπει να είναι ενιαίος, με κύριο στόχο την ικανοποίηση των

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στους Υποσταθμούς και στο Σύστημα Μεταφοράς και Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

ενεργειακών αναγκών της κατανάλωσης, με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία τροφοδότησης. Από την άλλη, η διανομή είναι μια διαφορετική λειτουργία, η οποία σχεδιάζεται και αναπτύσσεται χωριστά και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής και των καταναλωτών που εξυπηρετεί.

Ένα σύστημα παραγωγής μπορεί να λειτουργεί μεμονωμένο ή διασυνδεδεμένο με ένα ή περισσότερα άλλα γειτονικά συστήματα. Τέλος, σε ένα καινούριο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας δεν υπάρχει σύστημα υπομεταφοράς.

Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσεως. Η μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται με υψηλή τάση, διότι συνεπάγεται μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες και συνεπώς οικονομικότερη λειτουργία. Χρησιμοποιούνται διάφορες βαθμίδες τάσεως μεταφοράς, αναλόγως της απόστασης και του μεγέθους της ισχύος που πρέπει να μεταφερθεί. Οι εφαρμοζόμενες διεθνώς τάσεις μεταφοράς έχουν τιμές 66 kV, 110 kV, 132 kV, 138 kV, 150 kV, 220 kV, 275 kV, 345 kV, 400 kV, 500 kV, 750 kV, 1100 kV, 1500 kV, και 2000 kV, από τις οποίες οι τρεις τελευταίες βρίσκονται υπό μελέτη και αφορούν το μέλλον. Από τις εν λειτουργία τάσεις μεταφοράς, οι από 66 έως 220 kV αποτελούν τη βαθμίδα των υψηλών τάσεων (ΥΤ), από 275 έως και 500 kV τη βαθμίδα των υπερυψηλών τάσεων (ΥΥΤ) και οι άνω των 500 kV τη βαθμίδα των εξαιρετικά υψηλών τάσεων (ΕΥΤ). Πρέπει να σημειωθεί ότι έχουμε κυρίως μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας με εναλλασσόμενο ρεύμα ενώ η μεταφορά με συνεχές είναι περιορισμένη.

Η σύνδεση των καταναλωτών από το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται ανάλογα με τη μέγιστη απορροφούμενη ισχύ τους. Έτσι τους διακρίνουμε σε τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Καταναλωτές Υψηλής Τάσης - Υ.Τ.
2. Καταναλωτές Μέσης Τάσης - Μ.Τ.- (συνήθως για απορροφούμενη ένταση άνω των 200 Α ανά φάση στη χαμηλή τάση)

3. Καταναλωτές Χαμηλής Τάσης - Χ.Τ.

Μία άλλη διάκριση των καταναλωτών γίνεται ανάλογα με τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνουμε τους:

- Βιομηχανικούς καταναλωτές
- Εμπορικούς (ή Γενικής χρήσεως) καταναλωτές
- Οικιακούς καταναλωτές
- Αρδευτικούς καταναλωτές κ.α.

Οι πελάτες που είναι συνδεδεμένοι στα δίκτυα υψηλής και μέσης τάσης είναι στην πλειονότητά τους βιομηχανικοί καταναλωτές (τριφασικές παροχές), ενώ στα δίκτυα χαμηλής τάσης συνδέονται πελάτες οικιακής χρήσης και ένα μεγάλο μέρος πελατών εμπορικής χρήσης (μονοφασικές παροχές) καθώς και τριφασικές παροχές για βιομηχανικές εγκαταστάσεις μέχρι περίπου 200Α ανά φάση.

Η ροή της ενέργειας μπορεί να κατευθυνθεί στις διάφορες γραμμές του δικτύου κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή οικονομία λειτουργίας. Στα συστήματα υπάρχει η τάση να έχουν διάταξη βροχοειδή. Πράγματι, η δομή αυτή, σε αντίθεση με την ακτινική δομή των συστημάτων διανομής, επιτρέπει περισσότερους συνδυασμούς διαδρόμων της ενέργειας και συνεπώς εξυπηρετεί καλύτερα τους σκοπούς του συστήματος μεταφοράς. Επειδή το σύστημα μεταφοράς μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ισχύος στο σύστημα είναι φυσικό τα συνιστώμενα μέρη τα οποία το τροφοδοτούν και το συνθέτουν (γεννήτριες, μετασχηματιστές, γραμμές, διακόπτες) να μην είναι μόνο τα πιο σημαντικά αλλά και τα πιο ενδιαφέροντα από άποψη τεχνικής συστημάτων. Λόγω της μεγάλης σπουδαιότητας του συστήματος μεταφοράς στην όλη λειτουργία του συστήματος, τα τεχνικά προβλήματα που παρουσιάζει αυτό και τα οποία αφορούν τόσο στη δομή όσο

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στους Υποσταθμούς και στο Σύστημα Μεταφοράς και Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

και στη λειτουργία υπό ομαλές ή ανώμαλες συνθήκες του συστήματος μεταφοράς, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. [2,3,4]

1.4 Υποσταθμοί [2]

1.4.1 Γενικά

Υποσταθμός γενικά ονομάζεται η ηλεκτρική εγκατάσταση στην οποία γίνεται μετασχηματισμός τάσης, η κατανομή ή η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι εναλλακτήρες των σταθμών παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια με τάση 15 kV ή 20 kV. Η τάση των 15 kV ή 20 kV είναι χαμηλή ώστε να μην ενδείκνυται να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις, λόγω μεγάλων απωλειών. Έτσι η τάση ανυψώνεται στα 150 kV ή 400 kV και μετά με τη γραμμή μεταφοράς μεταφέρεται κοντά τους καταναλωτές. Ελάχιστοι καταναλωτές τροφοδοτούνται με τάση 150 kV (π.χ. Πελάτες Υψηλής Τάσης).

Η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται με Μ.Τ. στους μεγάλους καταναλωτές (βιομηχανίες κ.λ.π.) ενώ στους μικρούς (σπίτια, καταστήματα, βιοτεχνίες) με Χ.Τ. Έτσι υπάρχει ανάγκη και άλλων μετασχηματιστών από Υ.Τ. ή Υ.Υ.Τ. σε Μ.Τ. και μετά από Μ.Τ. σε Χ.Τ. Εκτός από τα προηγούμενα πρέπει να γίνει και η διασύνδεση των σταθμών του συστήματος μιας και από κάπου πρέπει να ξεκινούν οι γραμμές μεταφοράς και διανομής. Όλες οι παραπάνω απαιτήσεις καλύπτονται από τον σχεδιασμό των υποσταθμών (Υ/Σ).

Οι γραμμές μεταφοράς αναχωρούν από τους υποσταθμούς και καταλήγουν σε αυτούς, αφού αποτελούν τους κύριους κόμβους του δικτύου. Οι υποσταθμοί στους οποίους συνδέονται απλώς γραμμές, χωρίς απαραίτητως να γίνεται μετασχηματισμός τάσεως, λέγονται υποσταθμοί ζεύξεως ή διασυνδέσεως. Εάν γίνεται επιπλέον και μετασχηματισμός τάσεως από μια βαθμίδα τάσεως μεταφοράς σε άλλη χαμηλότερη, τότε πρόκειται για υποσταθμό μετασχηματισμού ή υποσταθμό υποβιβασμού ή και υποσταθμό ζεύξεως και μετασχηματισμού. Αντίστοιχοι προς τους υποσταθμούς υποβιβασμού είναι οι

υποσταθμοί ανυψώσεως, οι οποίοι βρίσκονται και ανήκουν, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στους σταθμούς παραγωγής και στους οποίους γίνεται ανύψωση της τάσεως από την τιμή της τάσεως παραγωγής - η οποία κυμαίνεται από 6 έως 20 kV - στην τιμή της τάσεως μεταφοράς. Τα στοιχεία σύνδεσης των γραμμών στους υποσταθμούς καλούνται ζυγοί, σε αυτούς δε οι γραμμές συνδέονται μέσω των διακοπών. Οι διακόπτες, οι οποίοι χρησιμεύουν για τη διακοπή και αποκατάσταση της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος, και οι μετασχηματιστές, στους οποίους μετασχηματίζεται η ισχύς και αλλάζει η τάση, αποτελούν τις σπουδαιότερες συσκευές ισχύος των δικτύων μεταφοράς.

Τους υποσταθμούς τους χωρίζουμε σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την τάση που τροφοδοτούνται:

A) Σε υποσταθμούς διανομής

B) Σε υποσταθμούς μεταφοράς

Οι Υ/Σ μπορεί να είναι είτε υπαίθριοι, όπου όλα τα μηχανήματα υψηλής και μέσης τάσης βρίσκονται εγκατεστημένα στην ύπαιθρο, είτε εσωτερικού χώρου, και τότε όλα τα μηχανήματα βρίσκονται μέσα σε κλειστό στεγασμένο χώρο. Είναι αυτονόητο ότι σε κάθε μία από τις δύο περιπτώσεις τα μηχανήματα είναι κατασκευασμένα για τον κάθε χώρο. Αυτοί με τη σειρά τους διακρίνονται σε Υ/Σ υποβιβασμού τάσης και ανύψωσης.



Φωτογραφία 1.3: Υποσταθμός ΔΕΗ

1.4.2 Υποσταθμός διανομής [2]

Οι Υ/Σ διανομής κάνουν υποβιβασμό της τάσης. Πιο συγκεκριμένα υποβιβάζουν τη μέση τάση των 15 ή 20kV στην τάση κατανάλωσης των 230/400 V.

Οι Υ/Σ διανομής ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους διακρίνονται σε εναέριους, επίγειους και υπόγειους. Παρακάτω παρατίθεται μία σύντομη περιγραφή αυτών.

1.4.2.1 Υ/Σ Εναέριοι

Ο τύπος των Υ/Σ αυτών κατασκευάζεται πάνω σε στύλους και χρησιμοποιείται εκεί όπου ο χώρος και το περιβάλλον επιτρέπουν την εγκατάστασή του. Συνήθως χρησιμοποιούνται εκεί που οι ηλεκτρικές γραμμές είναι εναέριες. Το μέγεθος των Υ/Σ αυτών δεν ξεπερνά συνήθως τα 250 kVA σε εγκατεστημένη ισχύ. Πλεονεκτήματα των υποσταθμών αυτών είναι η απλότητα και η φθηνή κατασκευή τους.

Σαν στύλοι στους Υ/Σ αυτούς χρησιμοποιούνται κάθε είδους στύλοι ηλεκτρικών γραμμών, κατάλληλοι να κρατούν το βάρος του μετασχηματιστή και των συσκευών μέσης και χαμηλής τάσης. Δίδυμοι στύλοι, ζευγάρια από δίδυμους ξύλινους στύλους ή δικτυωτοί σιδερένιοι στύλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εγκατάσταση εναέριου Υ/Σ.

Οι συσκευές μέσης τάσης στους εναέριους Υ/Σ μετασχηματισμού είναι οι διακόπτες ηλεκτρικής ισχύος και οι συντηκτικές ασφάλειες. Οι συντηκτικές ασφάλειες μέσης τάσης χρησιμεύουν για την αυτόματη διακοπή της τροφοδότησης του μετασχηματιστή από τη γραμμή μέσης τάσης σε περίπτωση υπερφορτίσεως του ή σφάλματος.

Στην πλευρά χαμηλής τάσης χρησιμοποιούνται σε κάθε γραμμή που αναχωρεί συντηκτικές ασφάλειες.

1.4.2.2 Υ/Σ Επίγειοι

α. Επίγειοι Υ/Σ εσωτερικού τύπου

Εκεί όπου το μέγεθος ισχύος ή ο χώρος δεν επιτρέπουν την εγκατάσταση εναέριου Υ/Σ κατασκευάζονται οι επίγειοι Υ/Σ. Οι Υ/Σ τοποθετούνται είτε

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στους Υποσταθμούς και στο Σύστημα Μεταφοράς και Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

μέσα σε κτίρια που υπάρχουν, είτε μέσα σε ιδιαίτερα οικοδομήματα, είτε μέσα σε ειδικά μεταλλικά περίπτερα.

Η διάταξη Υ/Σ σε κλειστό χώρο απαιτεί να ληφθούν ειδικά μέτρα για να εξασφαλισθεί ο αερισμός, έτσι ώστε η θερμοκρασία του χώρου να μη φθάσει σε επικίνδυνα όρια για τη λειτουργία του μετασχηματιστή και των άλλων ηλεκτρικών συσκευών και καλωδίων.

β. Επίγειοι Υ/Σ υπαίθριοι

Οι Υ/Σ αυτοί κατασκευάζονται εκεί όπου χρειάζεται ισχύς μεγαλύτερη από τη συνηθισμένη των εναέριων Υ/Σ και οι τοπικές συνθήκες επιτρέπουν την υπαίθρια εγκατάσταση των μηχανημάτων του Υ/Σ. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομείται το μεγαλύτερο μέρος της δαπάνης που απαιτείται για να κατασκευαστεί ένα κτίριο.

Πολλές φορές χρησιμοποιούνται τα ίδια μηχανήματα και διατάξεις όπως στους Υ/Σ εσωτερικού τύπου, οι δε κυψέλες αναχώρησης περικλείονται μέσα σε μεταλλικό περίπτερο και συνδέονται με καλώδια με το μετασχηματιστή που είναι εγκατεστημένος στο ύπαιθρο.

1.4.2.3 Υ/Σ Υπόγειοι

Υπόγειοι Υ/Σ λέγονται εκείνοι που κατασκευάζονται κάτω από την επιφάνεια της γης. Τέτοιοι Υ/Σ κατασκευάζονται βασικά σε κεντρικά σημεία πόλεων και σε θέσεις που δεν είναι εύκολη η κατασκευή υπέργειου Υ/Σ.

Για την εγκατάσταση των Υ/Σ αυτών χρειάζεται βασικά μια υπόγεια οικοδομή και ως εκ τούτου κατασκευάζονται εκεί όπου οι συνθήκες κάτω από το έδαφος επιτρέπουν την κατασκευή ενός τέτοιου κτιρίου. Οι τοίχοι, το δάπεδο και η

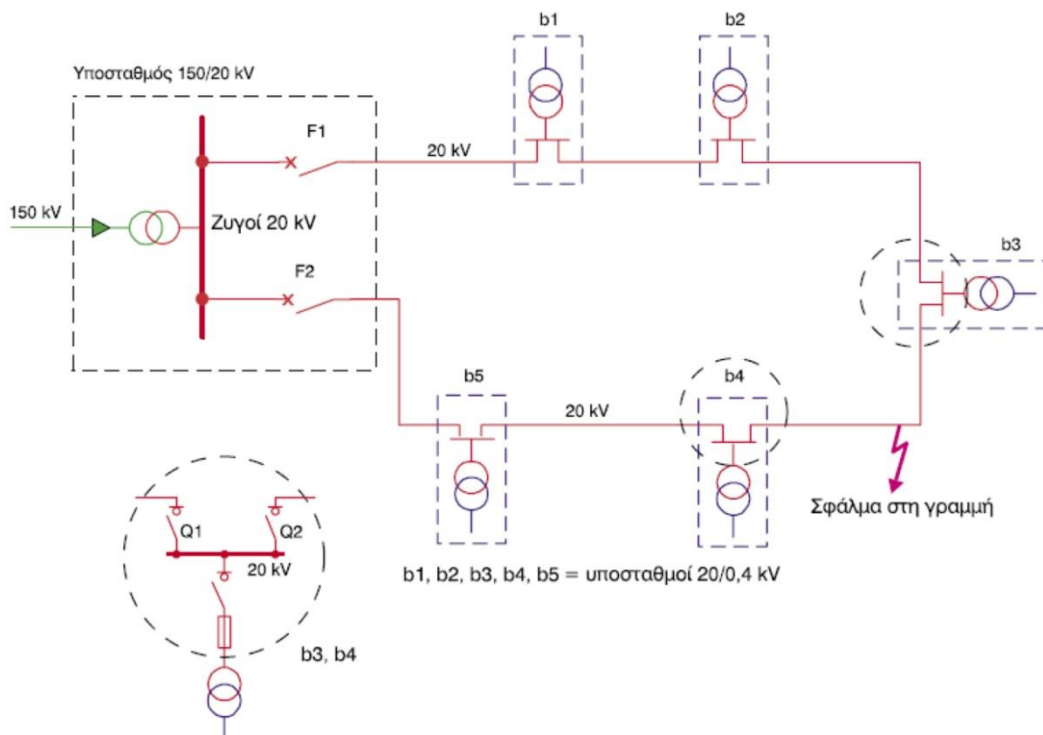
οροφή του υπογείου κτιρίου πρέπει να κατασκευάζονται ανθεκτικά και στεγανά.

Το πιο δύσκολο σημείο στην κατασκευή των Υ/Σ αυτών είναι η εξασφάλιση της κυκλοφορίας του αέρα για την ψύξη. Για το σκοπό αυτό ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες χρησιμοποιούνται διάφορες διατάξεις που εξασφαλίζουν την κυκλοφορία του αέρα χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να μπουν μέσα νερά.

Επίσης πρέπει να υπάρχει κατάλληλο χαντάκι για τη συγκέντρωση του λαδιού του μετασχηματιστή σε περίπτωση διαρροής.

1.4.3 Βροχειδή δίκτυα [32]

Οι γραμμές των 20 kV (εναέριες ή υπόγεια καλώδια) που αναχωρούν από τον κεντρικό υποσταθμό 150/20 kV της ΔΕΗ, σχηματίζουν ένα κλειστό βρόχο που ξανακαταλήγει στους ζυγούς 20 kV του υποσταθμού 150/20 kV (Φωτογραφία 1.4). Κατά μήκος του βρόχου συνδέονται οι καταναλωτές b1, b2, b3, κ.λ.π. Ο βρόγχος προστατεύεται στις δύο άκρες του με τους διακόπτες ισχύος F1 και F2. Σε περίπτωση σφάλματος σε κάποιο σημείο του βρόχου, π.χ. ανάμεσα στους καταναλωτές b3 και b4 τότε λειτουργούν οι προστασίες των διακοπών F1 και F2 και ο βρόγχος μένει χωρίς τάση. Στη συνέχεια, αφού εντοπίσουμε το σφάλμα ανοίγουμε τους διακόπτες φορτίου Q1 στο b3 και Q2 στο b4 και απομονώνουμε το τμήμα b3-b4. Στη συνέχεια κλείνουμε τους διακόπτες F1 και F2 και επανέρχεται η τάση στο δίκτυο το οποίο μέχρι την αποκατάσταση της βλάβης λειτουργεί σαν 2 ακτινικά δίκτυα.



Φωτογραφία 1.4: Βροχειδές δίκτυο [6]

1.4.4 Υποσταθμός μεταφοράς [2]

Οι Υ/Σ μεταφοράς ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετούν διακρίνονται σε:

1. Υ/Σ ανυψώσεως

Οι Υ/Σ ανυψώσεως βρίσκονται κοντά στο σταθμό παραγωγής. Προορισμός τους είναι η ανύψωση της τάσεως παραγωγής στην τάση μεταφοράς.

2. Υ/Σ υποβιβασμού

Οι Υ/Σ υποβιβασμού έχουν σαν προορισμό τον υποβιβασμό της τάσης μεταφοράς των 150 ή 400 kV στη μέση τάση διανομής 15 ή 20 kV.

3. Υ/Σ ζεύξεως

Στους Υ/Σ ζεύξεως γίνεται μόνο ζεύξη ηλεκτρικών κυκλωμάτων (υψηλής τάσης) χωρίς απαραίτητα να γίνεται μετασχηματισμός τάσεως. Τα κύρια μηχανήματα που περιλαμβάνει είναι αποζεύκτες και ζυγοί.

Συνήθως όμως οι Υ/Σ είναι μικτοί, δηλαδή ανυψώσεως και ζεύξεως συγχρόνως ή υποβιβασμού και ζεύξεως κ.λπ. Οι κυριότερες συνιστώσες του υφιστάμενου Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι οι εξής:

192 Υποσταθμοί (Υ/Σ) υποβιβασμού 150kV/MT εκ των οποίων 173 εξυπηρετούν τις ανάγκες των πελατών του Δικτύου Διανομής, 14 τις ανάγκες του Δικτύου στην περιοχή της Αττικής, 4 χρησιμοποιούνται για την τροφοδότηση των φορτίων Ορυχείων και ένας εξυπηρετεί ανάγκες άντλησης στον υδροηλεκτρικό σταθμό Πολυφύτου. 11 Υ/Σ για την υποδοχή της ισχύος αιολικών πάρκων (Α/Π), εκ των οποίων 8 χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στους Υποσταθμούς και στο Σύστημα Μεταφοράς και Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

τη σύνδεση Α/Π, ενώ 3 χρησιμοποιούνται και για εξυπηρέτηση φορτίων. Υ/Σ ανυψώσεως σε 31 σταθμούς παραγωγής. 27 Υ/Σ υποβιβασμού 150 kV/MT, που εξυπηρετούν τις εγκαταστάσεις πελατών υψηλής τάσης.

Οι Υ/Σ μεταφοράς με βάση τον τρόπο κατασκευής τους διακρίνονται σε:

➤ Υπαίθριοι (συμβατικοί) Υποσταθμοί

Εφόσον υπάρχει διαθέσιμος χώρος, οι Υ/Σ αυτοί αποτελούν ένα απλό και φθηνό τρόπο κατασκευής. Στους Υ/Σ της Υψηλής-Υπερυψηλής Τάσης που είναι υπαιθρίου τύπου, η δε Μέση Τάση μπορεί να είναι εξωτερικού χώρου, είτε εσωτερικού χώρου (πίνακες).

➤ Εγκιβωτισμένοι Υποσταθμοί SF₆ (Gas Insulated Substations)

Η έλλειψη χώρου και το κόστος κτήσης γης στις μεγάλες πόλεις, η ρύπανση στα βιομηχανικά κέντρα και στις παράκτιες περιοχές καθώς και αισθητικοί λόγοι, ώθησαν τους κατασκευαστές σε νέους, αποτελεσματικούς, ασφαλείς και οικονομικούς τρόπους κατασκευής Υ/Σ. Έτσι αναπτύχθηκαν οι εγκιβωτισμένοι Υ/Σ όπου όλα τα υπό Υψηλή Τάση τμήματα (αγωγοί σύνδεσης, μετασχηματιστές τάσης-έντασης, διακόπτες, αποζεύκτες κτλ. βρίσκονται εγκιβωτισμένα μέσα σε στεγανά, γειωμένα, μεταλλικά δοχεία τα οποία περιέχουν σαν μονωτικό αέριο εξαφθοριούχο θείο (SF₆) υπό πίεση. Παρακάτω περιγράφεται αυτός ο τρόπος σχεδιασμού των Υ/Σ πιο αναλυτικά.

➤ Υπόγειοι Υποσταθμοί

Είναι η τελευταία τάση της τεχνολογίας, και ουσιαστικά πρόκειται για εγκιβωτισμένους Υ/Σ (GIS) οι οποίοι έχουν υπογειοποιηθεί, μεγιστοποιώντας

έτσι την εκμετάλλευση χώρου καθώς και το αισθητικό αποτέλεσμα στις μεγάλες πόλεις.

1.4.4.1 Υποσταθμοί ανυψώσεως τάσης Μ.Τ/150kV

Ο Υ/Σ ανυψώσεως βρίσκεται κοντά στο σταθμό παραγωγής. Προορισμός του είναι η ανύψωση της τάσεως παραγωγής στην τάση μεταφοράς. Κοντά στο χώρο του Υ/Σ ανυψώσεως βρίσκονται και οι εγκαταστάσεις για την εξασφάλιση των 6kV, 3kV και 230/400 V που χρειάζονται για τη τροφοδότηση των βοηθητικών κυκλωμάτων του σταθμού παραγωγής. Οι εγκαταστάσεις αυτές αποτελούν τον Υ/Σ εσωτερικής υπηρεσίας. Ο Υ/Σ αυτός τροφοδοτείται και από τη γεννήτρια του σταθμού και από τις γραμμές μεταφοράς με μετασχηματιστή υποβιβασμού 150/15 kV, ώστε σε περίπτωση βλάβης της γεννήτριας να υπάρχει ρεύμα στο σταθμό για την τροφοδότηση των βοηθητικών εγκαταστάσεων.

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με μετατροπή κάποιας άλλης μορφής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία παρέχεται στην κατανάλωση σήμερα από συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακες, πετρέλαιο), από τη ροή ή την πτώση των υδάτων και από την κινητική ενέργεια του ανέμου. Οι διάφοροι τύποι των σταθμών παραγωγής κατατάσσονται ως εξής:

- 1) ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ (Ατμοηλεκτρικοί, Ντηζελοηλεκτρικοί: Ντήζελ, Αεριοστρόβιλοι, Πυρηνικοί)
- 2) ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ (Υδατοπτώσεων, Υδάτινων Ρευμάτων, Αντλητικοί)

Κύρια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η μηχανική ενέργεια, η οποία μετατρέπεται σε ηλεκτρική μέσω των γεννητριών συνεχούς ή εναλλασσομένου ρεύματος, αναλόγως των συνθηκών χρήσεως. Αν και οι μηχανές Diesel, και σε

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στους Υποσταθμούς και στο Σύστημα Μεταφοράς και Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

κάποια περιορισμένη έκταση σήμερα και οι ατμομηχανές και οι βενζινομηχανές, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εκεί που απαιτούνται μικρές σχετικά μονάδες, οι χρησιμοποιούμενες κατά κανόνα μηχανές για την κίνηση των γεννητριών είναι οι αμοστρόβιλοι, υδροστρόβιλοι και αεριοστρόβιλοι. Εκτός από αυτά, αναπτύχθηκαν τα τελευταία έτη οι πυρηνικοί αντιδραστήρες, η παραγόμενη θερμότητα των οποίων έχει γίνει επίσης βασική πηγή ενέργειας, με κόστος συνεχώς βελτιούμενο.

Τα κύρια μηχανήματα ενός Υ/Σ ανυψώσεως είναι:

- 1) Ο Μ/Σ που ανυψώνει την τάση παραγωγής στη τάση μεταφοράς (συνήθως 15 ή 20 kV σε 150 ή 400 kV)
- 2) Οι διακόπτες ισχύος και οι αποζεύκτες που χρειάζονται για τη διακοπή της ηλεκτρικής συνέχειας των γραμμών.
- 3) Οι ζυγοί (μπάρες) για τη διακλάδωση των γραμμών
- 4) Διάφορα βοηθητικά μηχανήματα (Μ/Σ τάσεως και εντάσεως, αλεξικέραυνα κ.λπ.)

Η ισχύς των Υ/Σ ανυψώσεως εξαρτάται από τη παραγόμενη ενέργεια στο σταθμό.

1.4.4.2 Υποσταθμοί Υποβιβασμού Τάσεως 150/20 kV

Οι Υ/Σ υποβιβασμού έχουν σαν προορισμό τον υποβιβασμό της τάσης μεταφοράς των 150 ή 400 kV στη μέση τάση διανομής 15 ή 20 kV. Η επιλογή της θέσης για την κατασκευή ενός Υ/Σ υποβιβασμού καθορίζεται ύστερα από ειδική τεχνικοοικονομική μελέτη που γίνεται από την Διεύθυνση Προγραμματισμού και στην οποία φτάνουν όλες οι απαιτήσεις της Διανομής. Ο αριθμός των Υ/Σ υποβιβασμού καθορίζεται από τις ανάγκες σε ηλεκτρική

ενέργεια των διάφορων περιοχών και από την εμβέλεια των γραμμών διανομής που είναι περίπου 70 χιλιόμετρα.

Η πτώση τάσεως του ρεύματος, η απώλεια της ισχύος και γενικά το κόστος της ενέργειας που μεταφέρεται εξαρτάται από την απόσταση μεταφοράς. Συνεπώς μια ορισμένη τάση μπορεί να εξυπηρετήσει καταναλώσεις που βρίσκονται μέσα σε μια ορισμένη απόσταση. Αν ξεπεραστεί το όριο αυτής της μέγιστης απόστασης θα πρέπει να αυξηθούν οι διατομές των γραμμών ώστε στο τέλος να καθίσταται αντιοικονομική η κατασκευή. Για το Εθνικό Δίκτυο της Ελλάδας έχουν καθοριστεί σαν τάση μεταφοράς τα 400 kV, 150 kV και τα 20 kV ή 15 kV σε παλιές γραμμές.

Πάντως οι Υ/Σ στην Ελλάδα είναι κύριως υπαίθριου τύπου, βρίσκονται έξω από πόλεις διότι τα οικόπεδα είναι φθηνότερα και μειώνεται ο κίνδυνος για ανθρώπινα ατυχήματα από τις γραμμές υψηλής τάσης. Αν χρειαστεί να κατασκευαστεί Υ/Σ μέσα σε πόλη τότε προτιμάται η κατασκευή Υ/Σ κλειστού τύπου μέσα σε ειδικά κλειστά κτίρια κατάλληλης κατασκευής και με μηχανήματα μελετημένα για εσωτερικό χώρο. Η τροφοδότηση των Υ/Σ αυτών καθώς και των καταναλώσεων γίνεται με υπόγεια καλώδια.

Κατασκευάζονται κυρίως Υ/Σ 150/20 kV για λόγους προστασίας του δικτύου γραμμών και επειδή η οικονομική εμβέλεια της μέσης τάσης των 20 KV είναι κοντά στα 70 km και υπάρχουν περιπτώσεις μεγάλης κατανάλωσης π.χ. παρουσία ηλεκτροβόρας βιομηχανίας σε απόσταση μικρότερη των 70 km από Υ/Σ. Η διαμόρφωση των Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, από τους οποίους τροφοδοτούνται τα δίκτυα ΜΤ, είναι βασικής σημασίας για την καλή λειτουργία των Δικτύων Διανομής. Η σύνδεση των Υ/Σ γίνεται μέσω ζυγών. Οι ζυγοί διαχωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες και η σύνδεση τους μπορεί να είναι απλή ή περισσότερο πολύπλοκη. Οι διαστάσεις του Υ/Σ κλειστού χώρου είναι σημαντικά μικρότερες από ότι του εξωτερικού χώρου. Παρά ταύτα όμως η ανάγκη ακόμη μεγαλύτερης μείωσης των διαστάσεων των Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, όταν

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στους Υποσταθμούς και στο Σύστημα Μεταφοράς και Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

κατασκευάζονται στα κέντρα των πόλεων, οδήγησε στην ανάπτυξη εξοπλισμού ΥΤ, του οποίου η μόνωση δεν βασίζεται στις μονωτικές ικανότητες του αέρα αλλά σε αέριο υπό πίεση (SF₆) ή σε στερεά μονωτικά.



Φωτογραφία 1.5: Υ/Σ Ρουφ (Πηγή Δ.Ε.Η. Α.Ε.)

1.4.4.3 Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (Κ.Υ.Τ) [2]

Τα Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (ΚΥΤ) αποτελούν τα σημεία σύνδεσης του Συστήματος 400kV με το Σύστημα 150 kV και εξυπηρετούν ανάγκες απομάστευσης ισχύος προς το Σύστημα 150 kV. Πρόκειται για 13 ΚΥΤ με έναν ή περισσότερους αυτομετασχηματιστές τριών επιπέδων τάσης και 3 ΚΥΤ, τα οποία εξυπηρετούν παράλληλα και ανάγκες ανύψωσης τάσης από τις μονάδες παραγωγής προς το Σύστημα 400 kV.

Παρατηρείται ότι οι πρωτοποριακές προσπάθειες ανάπτυξης γραμμών υπερυψηλών τάσεων έγιναν σε χώρες, οι οποίες βασίζονταν κυρίως στην υδροηλεκτρική ενέργεια για τη βιομηχανική τους ανάπτυξη (Σουηδία, Καναδάς, πρώην Ε.Σ.Σ.Δ.). Η πρώτη γραμμή μεταφοράς 400 KV στην Ευρώπη άρχισε να λειτουργεί στη Σουηδία το 1952. Η επιτυχία της γραμμής αυτής συνέτεινε στην υιοθέτηση από τις ευρωπαϊκές χώρες μιας τάσεως 380/400 kV για την διασύνδεση των δικτύων τους. Η Ρωσία, η οποία δεν υιοθέτησε την τάση των 400 KV, εισήγαγε το 1959 την τάση των 500 KV. Η σχετική αφθονία ορυκτών καυσίμων, τα οποία διέθεταν ορισμένες χώρες, τις κατέστησε σχετικά ανεξάρτητες από τις ανάγκες μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις. Εν τούτοις τα οικονομικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα, τα οποία προσφέρει ένα ισχυρό δίκτυο μεταφοράς, είναι αναμφισβήτητα πλέον και συνέτειναν στην αλματώδη ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο. Σήμερα βρίσκονται σε λειτουργία τάσεις μεταφοράς 765 KV και μελετώνται τάσεις 1000-2000 KV για το προσεχές μέλλον.

Η ισχύς, η οποία μπορεί να μεταφερθεί με μια γραμμή μεταφοράς, είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της τάσεως αυτής και επομένως είναι προφανής ο ρόλος των υπερυψηλών τάσεων στην επίτευξη μεγάλων ισχύων μεταφοράς. Επί πλέον οι μειωμένες απώλειες, τις οποίες συνεπάγεται η μεταφορά με υπερυψηλές τάσεις, καθιστούν οικονομικότερη τη λειτουργία με τις τάσεις αυτές. Το κόστος μεταφοράς αποτελεί τη συνισταμένη του κόστους

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στους Υποσταθμούς και στο Σύστημα Μεταφοράς και Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

εγκατάστασης, του κόστους απωλειών και του κόστους συντήρησης της γραμμής. Η εκλογή μιας τάσεως μεταφοράς αποτελεί κυρίως θέμα αντιστάθμισης των αρχικών επενδύσεων στη γραμμή και το λοιπό εξοπλισμό από το κόστος λειτουργίας.

Παρακάτω βλέπουμε το κέντρο Υπερυψηλής Τάσης Λάρισας και τις γραμμές μεταφοράς που αναχωρούν από αυτό.



Φωτογραφία 1.6: Κέντρο Υπερυψηλής Τάσης Λάρισας (Πηγή Δ.Ε.Η. Α.Ε.)

1.4.5 Εγκιβωτισμένοι Υποσταθμοί SF₆ (GAS INSULATED SUBSTATION)

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται και ένας νέος τρόπος κατασκευής Υ/Σ υψηλής και Υπερυψηλής τάσης με μόνωση εξαφθοριούχου θείου SF₆. Η νέα αυτή τεχνολογία είναι υπό συνεχή ανάπτυξη από την πρώτη της εμφάνιση το 1960 όταν το SF₆ χρησιμοποιούταν ως πυροσβεστικό υλικό, και ενώ αρχικά θεωρήθηκε έτοιμη προς λειτουργία, έχουν γίνει συνεχείς αλλαγές στον σχεδιασμό, στην κατασκευή και στη λειτουργία των GIS Υ/Σ. [2,7]

Υποσταθμοί με μόνωση αερίου SF₆ (GIS) λειτουργούν εδώ και 25 χρόνια με σημαντική επιτυχία σε όλα τα μοντέρνα Συστήματα Μεταφοράς. Οι τάσεις λειτουργίας καλύπτουν ένα εύρος 72 kV μέχρι και 800 kV σήμερα. [2,8]

Οι βασικοί λόγοι επιλογής υποσταθμών GIS παρουσιάζονται παρακάτω:

- Λόγω της μεγάλης διηλεκτρικής αντοχής του αερίου SF₆ προκύπτουν κατασκευές πολύ μικρότερων διαστάσεων σε σχέση με τους συμβατικούς υποσταθμούς που έχουν μόνωση τον ατμοσφαιρικό αέρα (Air Insulated Substations). Οι δραστικά μικρότερων διαστάσεων υποσταθμοί είναι μια απόλυτα κρίσιμη επιλογή για περιοχές πυκνοκατοικημένες και γενικά περιορισμένου διαθέσιμου χώρου.
- Λόγω κλειστού περιβάλλοντος λειτουργίας, οι Υ/Σ GIS δεν είναι ευαίσθητοι στην περιβαλλοντολογική και βιομηχανική ρύπανση.
- Εφόσον τα ενεργά τμήματα του Υ/Σ βρίσκονται μεταλλικά γειωμένα δοχεία, η ασφάλεια για το προσωπικό είναι μεγαλύτερη.
- Μεγάλη αξιοπιστία λειτουργίας και μειωμένο κόστος συντήρησης.
- Ευελιξία στη σχεδίαση, κατασκευή αλλά και στην επέκταση του Υ/Σ λόγω της ανάπτυξης του σε πρότυπες βαθμίδες (modules).
- Η συνολική εγκατάσταση είναι περισσότερο άκαμπτη και σταθερή με αποτέλεσμα την αυξημένη σεισμική ανοχή της.
- Η συνεχής ευαισθησία του κοινού για τη διατήρηση του περιβάλλοντος θέτει σοβαρούς περιορισμούς στην επέκταση ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Οι Υ/Σ GIS κλειστού τύπου εναρμονίζονται ευκολότερα με τον περιβάλλοντα χώρο. [2,9]

1.4.5.1 Σύγκριση συμβατικών υποσταθμών και GIS

Ουσιαστικά οι εγκιβωτισμένοι Υ/Σ διαφέρουν από τους συμβατικούς σε τέσσερα βασικά σημεία:

- 1) Όλα τα υπό τάση στοιχεία βρίσκονται μέσα σε μεταλλικό γειωμένο περίβλημα. Συνεπώς υπάρχει απόλυτη ασφάλεια για το προσωπικό.
- 2) Το περίβλημα, η εξασφαλισμένη στεγανότητα του χώρου και η χρήση υψηλής ποιότητας αερίου SF₆ προστατεύουν τη μόνωση από περιβαλλοντικές επιδράσεις όπως ρύπανση, υψόμετρο, καιρικές συνθήκες κ.τ.λ.
- 3) Η μόνωση με SF₆ επιτρέπει την πολύ μεγάλη μείωση των διαστάσεων του Υ/Σ. Έτσι το απαιτούμενο για τη στέγαση του Υ/Σ κτίριο είναι σχετικά μικρό. Υπολογίζεται στο 1/5 του απαιτούμενου χώρου για αντίστοιχο συμβατικό Υ/Σ, ενώ το κόστος κατασκευής ανέρχεται ενδεικτικά στο τριπλάσιο.
- 4) Λόγω της κατασκευής, οι Υ/Σ αυτοί έχουν μειωμένες ανάγκες συντήρησης (κύκλος συντήρησης περί τα 20 χρόνια). [10]

Επιπλέον εκτός των παραπάνω έχουν και τα εξής πλεονεκτήματα:

- 1) Κάθε φάση βρίσκεται σε ξεχωριστό μεταλλικό περίβλημα γεγονός που παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια και αντοχή ως προς τις υπερτάσεις μεταξύ φάσεων, ενώ ταυτόχρονα αποκλείει την εμφάνιση τριφασικών σφαλμάτων. Επιπλέον με αυτό τον τρόπο μειώνονται στο ελάχιστο και οι ηλεκτροδυναμικές καταπονήσεις των ζυγών κατά την διάρκεια βραχυκυκλωμάτων.
- 2) Κατασκευάζονται σύμφωνα με πρότυπες εναλλάξιμες βαθμίδες (modular construction) γεγονός που δίνει μεγάλη ευελιξία στην σχεδίαση και την επέκταση των εγκαταστάσεων ενός Υ/Σ.

1.4.5.2 Κόστος Διάρκειας Ζωής

Το κόστος διάρκειας ζωής (Life Cycle Cost) είναι το συνολικό άθροισμα που διαμορφώνουν τα επιμέρους ποσά που δαπανώνται στις κυρίαρχες φάσεις του αναμενόμενου χρόνου ζωής του Υ/Σ. Το LCC αναφορικά με Υ/Σ GIS εμπλέκεται στην αξιολόγηση εναλλακτικών επιλογών διατάξεων του υποσταθμού, όπως είναι η επιλογή ενός υποσταθμού GIS κλειστού ή ανοικτού τύπου. Επίσης σχετίζεται με τις απαιτήσεις του πλεονάζοντος εξοπλισμού (redundancy), ενώ επηρεάζει άμεσα την επιλογή της πολιτικής συντήρησης, προστασίας και ελέγχου του Υ/Σ.

Το κόστος διάρκειας ζωής LCC ορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$LCC = CI + CP + CR + CO + OC + CD,$$

CI: το κόστος εγκατάστασης (εξοπλισμός, γήπεδα, κτίρια, ανέγερση, δοκιμές).

CP: κόστος προγραμματισμένης προληπτικής συντήρησης.

CR: κόστος επισκευών.

CO: κόστος λειτουργίας.

OC: κόστος μη εξυπηρετούμενου φορτίου.

CD: κόστος απόσυρσης από την εμπορική λειτουργία.

Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν το κόστος του Υ/Σ GIS αποφασίζονται κατά τη διάρκεια της μελέτης για όλη τη διάρκεια ζωής του Υ/Σ GIS. Στο παρελθόν μέγιστη σημασία αποδιδόταν στο αρχικό κόστος εγκατάστασης. Σήμερα η τελική επιλογή κατασκευής του Υ/Σ GIS προσαρμόζεται στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων κόστους, αξιοπιστίας, διαθεσιμότητας και συντήρησης.

1.4.5.3 Αξιοπιστία

Η υψηλή αξιοπιστία του εξοπλισμού GIS είναι μία από τις βασικότερες αιτίες επιλογής ενός Υ/Σ αυτού του τύπου. Η αξιοπιστία εκφράζεται από τον συντελεστή διαθεσιμότητας. Η εμπειρία από τη λειτουργία Υ/Σ GIS έδειξε ότι ο μέσος συντελεστής διαθεσιμότητας είναι περίπου 99.8 %. Το υπόλοιπο ποσοστό 0.2 % μη διαθεσιμότητας αντιστοιχεί κατά ένα μικρό μόνο μέρος στο χρόνο διακοπής λόγω συντήρησης. Η αντίληψη που επικρατεί σήμερα ανάμεσα στους χρήστες ότι οι Υ/Σ GIS είναι υψηλής αξιοπιστίας, ιδιαίτερα κάτω από δύσκολες συνθήκες περιβάλλοντος, οδηγεί στην απλοποίηση της σχεδίασης σε σχέση με τους συμβατικούς Υ/Σ με μόνωση τον αέρα, δηλαδή σε μικρότερες σχετικά απαιτήσεις για πλεονάζοντα εξοπλισμό. Η πλειοψηφία όμως των χρηστών σήμερα αποδέχεται ότι οι απαιτήσεις πλεονάζοντος εξοπλισμού στη σχεδίαση και των δύο τύπων Υ/Σ πρέπει να είναι παρόμοιες. Η κατάλληλη σχεδίαση των διατάξεων και του Υ/Σ γενικότερα διευκολύνει την πρόσβαση για συντήρηση, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση της διαθεσιμότητας και σε χαμηλό κόστος λειτουργίας. Στόχος της σχεδίασης είναι ο κατάλληλος χωρισμός του Υ/Σ σε διαμερίσματα SF₆, έτσι ώστε να προκύπτουν μικρότερες τυποποιημένες συνθέσεις. Είναι αναγκαία επίσης η στεγανότητα των διαμερισμάτων SF₆ και η διατήρηση της ονομαστικής πίεσης ενός διαμερίσματος που συνορεύει με ένα υπό συντήρηση τμήμα.

1.4.5.4 Συντήρηση - Εποπτεία

Έχει αποδειχθεί ότι η πολιτική συντήρησης, που βελτιώνει τη διαθεσιμότητα στους Υ/Σ GIS, βασίζεται στις συνθήκες και όχι στο χρόνο. Για την εφαρμογή μιας τέτοιας πολιτικής απαιτείται η παρακολούθηση και εποπτεία των διατάξεων SF₆, λόγω του γεγονότος ότι οι πιο κρίσιμες βλάβες συμβαίνουν εσωτερικά και προκαλούν διηλεκτρική διάσπαση. Σημειώνεται ότι λόγω της υψηλής αξιοπιστίας των Υ/Σ GIS δεν ενδείκνυται η εφαρμογή της προληπτικής συντήρησης, που θα ελάττωνε τη διαθεσιμότητα λόγω της θέσης εκτός

λειτουργίας του Υ/Σ. Ο τυπικός ρυθμός σφαλμάτων του εξοπλισμού GIS υπολογίζεται σε 0.02 σφάλματα ανά πύλη και έτος. Με ένα μέσο χρόνο ζωής περίπου 40 έτη για τον εξοπλισμό, αναμένεται ένα λειτουργικό σφάλμα σε όλη τη διάρκεια του χρόνου ζωής του. Η διατήρηση της διαθεσιμότητας με εφαρμογή κατάλληλης συντήρησης απαιτεί ένα υψηλό κόστος που μπορεί να δικαιολογηθεί για τάσεις λειτουργίας μεγαλύτερες από 400 kV.

1.4.5.5 Επιλογή υποσταθμού με μόνωση αερίου ανοιχτού ή κλειστού τύπου

Η επιλογή ενός Υ/Σ κλειστού ή ανοιχτού τύπου GIS (indoor-outdoor GIS) καθορίζεται συγκριτικά από τα κριτήρια της λειτουργικής αξιοπιστίας, των περιβαλλοντικών προβλημάτων και του κόστους διάρκειας ζωής των δύο τύπων Υ/Σ. Η λειτουργική αξιοπιστία των Υ/Σ GIS κλειστού τύπου, όταν επιτυγχάνεται ο κατάλληλος σχεδιασμός, που εξασφαλίζει προστασία έναντι των εξωτερικών συνθηκών λειτουργίας, όπως είναι οι χαμηλές θερμοκρασίες, η υγρασία, το χιόνι και ο πάγος, η ηλιακή ακτινοβολία, η θαλάσσια και η βιομηχανική ρύπανση. Για την επιλογή ενός ανοιχτού ή κλειστού τύπου GIS με βάση το κόστος διάρκειας ζωής, απαιτείται ένα μοντέλο σύγκρισης κόστους για τις δύο εναλλακτικές λύσεις. Είναι κοινώς παραδεκτό ότι το αρχικό κόστος της εγκατάστασης είναι μικρότερο για τους Υ/Σ GIS ανοιχτού τύπου, κυρίως λόγω του κόστους κατασκευής του κτιρίου, ενώ το συνολικό κόστος διάρκειας ζωής είναι μεγαλύτερο συγκριτικά με τους Υ/Σ GIS κλειστού τύπου λόγω του κόστους συντήρησης. Όταν επιλέγεται η εγκατάσταση ενός Υ/Σ με μόνωση αερίου (GIS) αντί ενός συμβατικού Υ/Σ με μόνωση τον αέρα (AIS), λόγω συνθηκών αυξημένης ρύπανσης, η επιλογή Υ/Σ GIS κλειστού ή ανοιχτού τύπου εξαρτάται κυρίως από το κόστος συντήρησης και επισκευών. Όταν η επιλογή γίνεται για λόγους περιορισμένου διαθέσιμου χώρου και σε περιοχές χωρίς έντονη εξωτερική ρύπανση, το αρχικό κόστος εγκατάστασης πιθανόν να οδηγήσει σε έναν Υ/Σ GIS ανοιχτού τύπου, ως οικονομικότερη λύση.

1.5 Σύνδεση Υ/Σ Καταναλωτών Υ/Τ με το Σύστημα (Πελάτες Υψηλής Τάσης) [33]

Οι συνδέσεις καταναλωτών Υ/Τ με το Εθνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς (Ε.Δ.Σ.Μ.) προβλέπονται με τον ίδιο τρόπο που πραγματοποιούνται οι συνδέσεις των Υ/Σ δικτύου. Πάντοτε πραγματοποιείται παρεμβολή κυψέλης ή κυψελών ΥΤ με ή χωρίς αυτόματο διακόπτη, που εγκαθίστανται από τον καταναλωτή. Τα ανωτέρω πραγματοποιούνται βάσει υποδείξεων ειδικής μελέτης που εκπονείται κάθε φορά από τον ΑΔΜΗΕ και σύμφωνα με τις διατάξεις του Κώδικα Διαχείρισης Συστήματος. Στο δε εξοπλισμό ζεύξης Υ/Τ των νέων αυτών Υ/Σ θα πρέπει να προβλέπεται η δυνατότητα τηλεχειρισμού. Επίσης, ο ΑΔΜΗΕ εκτιμά προσεγγιστικά ένα χρονικό διάστημα τουλάχιστο τριών (3) ετών μεταξύ της ημερομηνίας εγκρίσεως κατασκευής των έργων και της θέσεως αυτών υπό τάση. Στις περιπτώσεις που ο χώρος για τον Υ/Σ δεν είναι εξαρχής διαθέσιμος, το παραπάνω χρονικό διάστημα επιμηκύνεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

“ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ”

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται και περιγράφονται τα διάφορα μηχανήματα που βρίσκονται εγκατεστημένα στους Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ. Παρακάτω γίνεται κάτι παραπάνω από μια απλή περιγραφή και θα αναφερθούν κάποια θεωρητικά στοιχεία που θα καταδείξουν τον προορισμό του κάθε μηχανήματος από τον οποίο απαρτίζεται ο εξοπλισμός ενός υποσταθμού ΥΤ/ΜΤ καθώς και οι λειτουργίες που επιτελεί το καθένα από αυτά.

2.2 Μετασχηματιστής (Μ/Σ) [2]

Είναι το σημαντικότερο κομμάτι του Υ/Σ. Ο Μ/Σ είναι μια ηλεκτρική μηχανή με σταθερά μέρη. Περιλαμβάνει δύο πηνία για κάθε φάση, τα οποία είναι μεταξύ τους ηλεκτρικά ανεξάρτητα και μαγνητικά συζευγμένα. Χρησιμοποιείται για την ανύψωση ή τον υποβιβασμό της τάσης. Το τύλιγμα που τροφοδοτεί ονομάζεται πρωτεύον και αυτό, από το οποίο «παραλαμβάνεται» η ηλεκτρική ενέργεια με μετασχηματισμένη τάση, ονομάζεται δευτερεύον. Αν στο πρωτεύον η τάση είναι V_1 , η ένταση του ρεύματος I_1 και ο αριθμός σπειρών N_1 και τα αντίστοιχα μεγέθη του δευτερεύοντος είναι V_2 , I_2 , N_2 , τότε ισχύει:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = k, \text{ λόγος μετασχηματισμού}$$

Μέσα στο δοχείο του Μ/Σ, το οποίο γεμίζεται με λάδι, τοποθετούνται ο πυρήνας και τα τυλίγματα του Μ/Σ που περικλείουν τον πυρήνα. Αυτό το λάδι είναι ειδικό λάδι για μετασχηματιστές. Μπορεί να είναι ορυκτέλαιο ή συνθετικό.

Τα κατασκευαστικά μέρη ενός μετασχηματιστή αναλυτικότερα είναι τα παρακάτω:

- 1) Το δοχείο του Μ/Σ που περικλείει τον πυρήνα, τα τυλίγματα και το λάδι
- 2) Οι μονωτήρες Υ.Τ. και Μ.Τ. που χρησιμεύουν για την ασφαλή διέλευση του ρεύματος Υ.Τ.
- 3) Το δοχείο διαστολής που χρησιμεύει για να δέχεται την αύξηση του όγκου του λαδιού όταν αυτό θερμαίνεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του Μ/Σ.
- 4) Το ψυγείο του λαδιού που χρησιμεύει για την ψύξη του λαδιού. Όταν τα τυλίγματα του Μ/Σ διαρρέονται από ρεύμα εκλύεται, λόγω του φαινομένου Joule, θερμότητα (απώλειες χαλκού). Επίσης θερμότητα εκλύεται και από τον πυρήνα, λόγω κυκλοφορίας δινορρευσμάτων (απώλειες σιδήρου) μέσα σ' αυτόν. Πρέπει η εκλυόμενη θερμότητα να αποβάλλεται στο περιβάλλον για να μην ξεπερνάει η θερμοκρασία του Μ/Σ επικίνδυνες τιμές. Σε αυτό συνεισφέρει το μονωτικό λάδι που χρησιμεύει ως ψυκτικό μέσο. Για την καλύτερη απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας τοποθετούνται εξωτερικά του δοχείου του Μ/Σ ψυγεία που διαθέτουν εκτεταμένες επιφάνειες εναλλαγής της θερμότητας.



Φωτογραφία 2.1: Μετασχηματιστής με μονωτικά λάδια [ΔΕΗ Α.Ε]

Σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι Μ/Σ χρησιμοποιούνται συνήθως για να μετατρέπουν ή να υποβιβάζουν την τάση από ένα υψηλό επίπεδο σε ένα χαμηλότερο. Αυτοί ονομάζονται Μ/Σ διανομής και ισχύος. Υπάρχουν βέβαια και Μ/Σ που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή και τη λειτουργία των διατάξεων προστασίας και ελέγχου. Αυτοί ονομάζονται Μ/Σ μετρήσεων. Οι Μ/Σ είναι τα πιο ζωτικά εξαρτήματα σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο και κατά συνέπεια σε έναν υποσταθμό. Παρόλα αυτά επειδή οι σύγχρονες εγκαταστάσεις περιέχουν εξειδικευμένα συστήματα προστασίας που εξασφαλίζουν έναν αυτόματο τρόπο λειτουργίας και ελέγχου, συχνά οδηγούν σε εγκατάλειψη και παραμέληση των Μ/Σ. Αν όμως συμβεί ένα σφάλμα σε έναν Μ/Σ, αυτό είναι συνήθως αρκετά σοβαρό και απαιτείται εκτενής επισκευή και μεγάλος χρόνος διακοπής. Για αυτόν ακριβώς το λόγο είναι απαραίτητο να διεξάγεται σε τακτά χρονικά διαστήματα μια λεπτομερής και εξονυχιστική συντήρηση για να υπάρχει ένα υψηλό ποσοστό αξιοπιστίας και συνεχούς λειτουργίας [11].

Με βάση τη διάταξη του μαγνητικού κυκλώματος οι ολόσωμοι τριφασικοί μετασχηματιστές διαιρούνται σε δύο τύπους:

- 1) Τον τύπο κελύφους (ή μανδύα), στον οποίο το μαγνητικό κύκλωμα είναι κέλυφος που περιβάλλει το τύλιγμα και
- 2) Τον τύπο του πυρήνα, στον οποίο το μαγνητικό κύκλωμα είναι πυρήνας περιβαλλόμενος από το τύλιγμα.

Η επιλογή ενός μετασχηματιστή γίνεται με βάση τα ονομαστικά του μεγέθη.

Παρατίθενται τα κυριότερα από αυτά:

- 1) Η ονομαστική λειτουργία ενός μετασχηματιστή καθορίζεται από τα μεγέθη τα οποία δίνονται επί της πλάκας του κατασκευαστή

- 2) Η ονομαστική ικανότητα ενός μετασχηματιστή. Πρόκειται για την ισχύ στους ακροδέκτες του δευτερεύοντος. Φαίνεται στην πλάκα και εκφράζεται σε Kilovoltampere (kVA).
- 3) Η ονομαστική πρωτεύουσα τάση: η τάση η οποία φαίνεται στην πλάκα. Εάν το πρωτεύον είναι εφοδιασμένο με ενδιάμεσες λήψεις (taps), οι ονομαστικές ενδιάμεσες τάσεις φαίνονται ιδιαίτερα.
- 4) Η ονομαστική δευτερεύουσα τάση: η τάση στους ακροδέκτες του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή με υπό κενό φορτίο. Εάν το δευτερεύον τύλιγμα είναι εφοδιασμένο με ενδιάμεσες λήψεις (taps), οι ονομαστικές ενδιάμεσες τάσεις φαίνονται ιδιαίτερα.
- 5) Τα ονομαστικά ρεύματα του μετασχηματιστή, πρωτεύον και δευτερεύον, φαίνονται επί της πλάκας αυτού και υπολογίζονται με βάση τις ονομαστικές τιμές της ισχύος και τάσεως. Θεωρείται ότι η ισχύς του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος είναι η ίδια.

2.2.1 Παράλληλη Λειτουργία Μετασχηματιστών

Δύο ή περισσότεροι μετασχηματιστές είναι συνδεδεμένοι παράλληλα όταν τόσο τα πρωτεύοντα όσο και τα δευτερεύοντα τυλίγματα τους είναι συνδεδεμένα κατ' αυτόν τον τρόπο.

Η παράλληλη σύνδεση καθίσταται αναγκαία για δύο λόγους:

- 1) Για αύξηση φορτίου σε υπάρχουσα εγκατάσταση.
- 2) Για απόκτηση εφεδρείας σε περίπτωση ευπαθούς φορτίου που δεν ανέχεται διακοπή.

Για να είναι παράλληλη η λειτουργία των μετασχηματιστών υπό ιδανικές συνθήκες, πρέπει να εκπληρώνονται οι όροι που ακολουθούν. Η κατάταξη με την οποία έχουν γραφτεί έχει γίνει με βάση τη σχετική σπουδαιότητα του κάθε όρου.

- 1) Οι σχέσεις τάσεων γραμμών τους πρέπει να είναι οι ίδιες ή περίπου ίδιες
- 2) Οι Μ/Σ πρέπει να έχουν την ίδια μετάθεση φάσεων μεταξύ τάσεων γραμμών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος
- 3) Η ακολουθία των φάσεων να είναι η ίδια
- 4) Να έχουν την ορθή πολικότητα κατά τις συνδέσεις
- 5) Οι ισοδύναμες σύνθετες αντιστάσεις αυτών (μέτρα) να είναι αντιστρόφως ανάλογες προς τις ονομαστικές ικανότητες αυτών σε KVA ή τα ονομαστικά ρεύματα αυτών.
- 6) Οι λόγοι των ισοδύναμων ωμικών αντιστάσεων προς τις επαγωγικές αντιδράσεις αυτών πρέπει να είναι ίσοι.

2.2.2 Τυπικά Μεγέθη Μετασηματιστών

Οι εγκαταστημένοι σήμερα Μ/Σ ΥΤ/ΜΤ, εάν είναι παλιάς προελεύσης έχουν ονομαστική μέση τάση 15,75kV ή 23kV (στην Περιφέρεια Αττικής), ενώ οι νεότεροι έχουν 15,75kV και 21kV ή μόνο 21kV. Όλες οι παραγγελίες νέων Μ/Σ γίνονται με πρόβλεψη δευτερεύουσας διπλής τάσεως, δηλαδή 15,75kV και 21kV, εντός των Μ/Σ περιοχής πρωτεύουσας που δεν χρησιμοποιείται η τάση των 15,75kV, καθώς και άλλων ειδικών περιπτώσεων όπου η παραγγελία γίνεται μόνο με πρόβλεψη δευτερεύουσας 21kV. Καταβάλλεται προσπάθεια από το Διαχειριστή Δικτύου ώστε να ολοκληρωθεί η μετάβαση στα δίκτυα ΜΤ διανομής από 15kV στα 20kV τόσο για λόγους οικονομικής λειτουργίας όσο και για την αποφυγή παραγγελιών Μ/Σ ΥΤ/ΜΤ με διπλή δευτερεύουσα τάση που έχει σαν συνέπεια την αύξηση του κόστους τους.

Οι Μ/Σ μπορούν γενικά να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- 1) ανάλογα με το είδος της μόνωσης και
- 2) ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους: σε αυτούς που έχουν το λάδι σαν μονωτικό μέσο και σε αυτούς που είναι ξηρού τύπου [11].

2.3 Αυτομετασχηματιστής [2]

Ένας συνηθισμένος μονοφασικός μετασχηματιστής του οποίου τα πηνία (τύλιγμα σειράς, κοινό τύλιγμα) συνδέονται σε σειρά ονομάζεται αυτομετασχηματιστής (ΑΜΣ). Ο αυτομετασχηματιστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετασχηματισμό ισχύος τάσεως V_H σε χαμηλότερης τάσεως V_X ή αντίστροφα. Η σχέση μεταφοράς μεταξύ των κυκλωμάτων υψηλής και χαμηλής τάσεως είναι E_H/E_X και διαφέρει από το λόγο των τάσεων ακροδεκτών μόνο κατά την επίδραση των σχετικώς μικρών πτώσεων τάσεως στις σύνθετες αντιστάσεις σκεδάσεως, δηλαδή

$$\frac{V_H}{V_X} \approx \frac{E_H}{E_X} = \frac{N_1+N_2}{N_2}$$

όπου N_1 και N_2 ο αριθμός ελιγμάτων στα δύο τυλίγματα αντίστοιχα.

Κατασκευαστικά η μόνη διαφορά μεταξύ ενός αυτομετασχηματιστή (ΑΜΣ) και ενός συνήθους μετασχηματιστή (Μ/Σ) δύο τυλιγμάτων είναι ότι το τύλιγμα σειράς του αυτομετασχηματιστή πρέπει να έχει μόνωση η οποία να αντιστοιχεί στην τάση προς γη του κυκλώματος υψηλής τάσης, η οποία τάση είναι μεγαλύτερη από αυτήν που επάγεται σε αυτό το τύλιγμα μεταφοράς. Σε όλα τα λοιπά στοιχεία ο αυτομετασχηματιστής είναι απλώς μετασχηματιστής δύο τυλιγμάτων συνδεδεμένων όμως σε σειρά. Η εσωτερική συμπεριφορά ενός αυτομετασχηματιστή δεν είναι διαφορετική από αυτήν ενός συνήθους μετασχηματιστή δύο τυλιγμάτων, αλλά λόγω της διαφορετικής συνδεσμολογίας οι σχέσεις μεταξύ των τάσεων και ρευμάτων διαφοροποιούνται ελαφρώς.

2.4 Διακόπτες Ισχύος [2]

2.4.1 Γενικά

Οι διακόπτες ισχύος ή αυτόματοι διακόπτες είναι τα μέσα με τα οποία πραγματοποιείται η διακοπή των βραχυκυκλωμάτων στα ηλεκτρικά δίκτυα μεταφοράς και διανομής. Ο ρόλος που διαδραματίζουν λοιπόν στην προστασία του δικτύου και την ταχεία αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας σε περίπτωση βλάβης είναι πολύ σημαντικός. Επίσης χρησιμοποιούνται για τους συνήθεις χειρισμούς του δικτύου, δηλαδή τις ζεύξεις και αποζεύξεις των γραμμών, των μετασχηματισμών, των γεννητριών κ.λ.π.

Το μέγεθος της ισχύος βραχυκυκλώματος, την οποία μπορεί να διακόψει ο διακόπτης και ο χρόνος διακοπής, αποτελούν δύο βασικά χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος. Επίσης, ο χρόνος λειτουργίας του διακόπτη είναι εξαιρετικής σημασίας, για τα μεγάλα κυρίως δίκτυα διότι, προστιθέμενος στο χρόνο λειτουργίας της προστασίας από την οποία παίρνει την εντολή, δίνει το χρόνο εκκαθάρισεως του σφάλματος, ή διατηρήσεως της ανωμαλίας στο σύστημα. Το σημαντικότερο καθήκον του διακόπτη είναι η διακοπή του ρεύματος βραχυκυκλώσεως, γι' αυτό και η ικανότητα διακοπής, ένα από τα σπουδαιότερα λειτουργικά χαρακτηριστικά του διακόπτη, πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με την ισχύ βραχυκύκλωσης του δικτύου στη θέση του διακόπτη.

Οι διακόπτες βασικά περιλαμβάνουν ένα ζεύγος επαφών, μια σταθερή και μια κινητή. Ένας μηχανισμός κινεί την κινητή επαφή για να κλείσει ή να διακόψει το κύκλωμα. Ο μηχανισμός μπορεί να είναι ένα απλό σωληνοειδές, ένας μηχανισμός φορτισμένου ελατηρίου, υδραυλικός μηχανισμός, μηχανισμός πνευματικός ή μικτός υδραυλικοπνευματικός. Όταν απαιτείται διακοπή του κυκλώματος, ο μηχανισμός κινεί και απομακρύνει τις επαφές μεταξύ των οποίων σχηματίζεται ένα ηλεκτρικό τόξο. Κύριο καθήκον λοιπόν του διακόπτη

είναι να σβήσει το τόξο για να διακοπεί το ηλεκτρικό κύκλωμα. Η σβέση του τόξου επιτυγχάνεται με την εκτόξευση πάνω του ενός μέσου, δηλαδή μονωτικού ελαίου, πεπιεσμένου αέρα ή άλλου αερίου μονωτικού μέσου, το οποίο χαρακτηρίζει και τον τύπο του διακόπτη. Έτσι οι κυριότεροι τύποι διακοπών ισχύος υψηλής και μέσης τάσεως είναι οι εξής:

- 1) Ελαίου
- 2) Πτωχού ελαίου
- 3) Πεπιεσμένου αέρα
- 4) Εξαφθοριούχου θείου (SF₆)
- 5) Κενού

2.4.2 Τύποι διακοπών ισχύος

1. Αυτόματοι διακόπτες ελαίου

Είναι ο παλαιότερος τύπος διακοπών. Το έλαιο χρησιμοποιείται στους διακόπτες διότι μεγάλος όγκος του αναφλέγεται δύσκολα και επειδή είναι ταυτόχρονα μονωτικό και ψυκτικό μέσο. Το κύριο όμως ψυκτικό μέσο στην περίπτωση αυτή είναι το υδρογόνο που αναπτύσσεται όταν το τόξο ατμοποιεί το υγρό λάδι. Έχει δύο επαφές για κάθε πόλο και ανοίγουν μέσα σε περιβάλλον λαδιού. Κατά το άνοιγμα των επαφών δημιουργείται ηλεκτρικό τόξο. Στο χώρο του τόξου το λάδι υπερθερμαίνεται, δημιουργούνται φυσαλίδες και αυξάνει ο όγκος του απότομα. Τούτο προκαλεί τη γρήγορη κυκλοφορία του λαδιού (σάρωση) στο χώρο που δείχνουν τα βέλη. Το λάδι περνώντας με ταχύτητα μέσα από τις σχιστές πλάκες απομακρύνει τη παραγόμενη από το τόξο θερμότητα (ψύχει τις επαφές) αυξάνει την αντίσταση μεταξύ των επαφών και το τόξο σβήνει γρήγορα. Υπάρχουν και αυτόματοι διακόπτες λαδιού στους οποίους το λάδι ενεργεί κατά μήκος του τόξου που παράγεται από αντλία λαδιού. Χρήση του διακόπτη ελαίου γίνεται σήμερα συνήθως σε δίκτυα μέχρι 66 kV, μερικές φορές όμως και μέχρι τάσεις 275 kV. Όσο όμως μεγαλώνουν οι

τάσεις τόσο περισσότερος όγκος ελαίου απαιτείται με συνέπεια αύξηση του κόστους. Παρακάτω παρατίθεται μια φωτογραφία διακοπών ελαίου.



Φωτογραφία 2.2: διακοπών ελαίου (Πηγή Δ.Ε.Η. Α.Ε.)

2. Αυτόματοι διακόπτες «πτωχού» ελαίου

Ο τύπος αυτός έδωσε λύση στο πρόβλημα κόστους των διακοπών ελαίου, αφού η ειδική του σχεδίαση επιτρέπει μεγάλο περιορισμό της ποσότητας του ελαίου που μολύνεται και ανθρακοποιείται κατά τη σβέση. Το λάδι όμως στους διακόπτες του τύπου αυτού χρησιμοποιείται μόνο για τη σβέση και δεν αποτελεί μόνωση. Η μόνωση εξασφαλίζεται από στερεά, συνθετικά ή φυσικά διηλεκτρικά υλικά (πορσελάνη, χαρτί, εποξειδική ρητίνη). Χρησιμοποιούνται συνήθως στην περιοχή 20-220 kV με ικανότητα διακοπής από 250-7500 MVA. Οι μοντέρνοι διακόπτες «πτωχού» ελαίου έχουν πολύ ανεπτυγμένους θαλάμους σβέσεως και αντιμετωπίζουν και τις πιο δύσκολες καταστάσεις. Τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκαν διακόπτες ελαίου και για τάσεις πάνω από 220 kV με περισσότερους από έναν θαλάμους σβέσεως. Η χρησιμοποίηση περισσότερων από έναν θαλάμους σβέσεως στη σειρά εφαρμόζεται για τη

διακοπή ενός ρεύματος υπό πολλαπλάσια τάση και αποτελεί τη βασική αρχή των διακοπών ισχύος στα συστήματα υπερυψηλής τάσεως. Με τον τρόπο αυτόν μια ολόκληρη περιοχή τάσεων, π.χ. 72.5 kV έως 765 kV εξυπηρετείται από διακόπτες που συντίθενται από ορισμένο αριθμό ίδιων μοναδιαίων διακοπών ανά φάση. Το λάδι εκτοξεύεται επάνω στο τόξο από ένα έμβολο που παρασύρεται και κινείται μαζί με την κινητή επαφή. Το σύστημα των επαφών περιλαμβάνει μια ολισθαίνουσα κινητή επαφή κινούμενη προς τα κάτω και μια σταθερή επαφή στο επάνω μέρος. Ένα έμβολο στο κάτω μέρος εκτοξεύει λάδι στο θάλαμο σβέσεως μέσω διαφόρων βαλβίδων και συμβάλλει στη σβέση του τόξου. Το έμβολο αυτό είναι στερεωμένο στη συνδετική ράβδο μεταξύ της κινητής επαφής και του μηχανισμού κινήσεως του διακόπτη. Το τόξο διακόπτεται μέσα στο θάλαμο σβέσεως με εγκάρσιο φύσημα λαδιού. Κατά το κλείσιμο του διακόπτη η κινητή επαφή κινείται με μεγάλη ταχύτητα και εκτοπίζει το λάδι προκαλώντας αύξηση πίεσεως στο θάλαμο τόξου. Αυτό αυξάνει τη διηλεκτρική αντοχή και εμποδίζει προέλαση του διακένου πριν ακουμπήσουν οι επαφές μεταξύ τους.

Τα αέρια τα οποία παράγονται κατά τη σβέση του τόξου ανέρχονται στο επάνω διαμέρισμα του διακόπτη, διαχωρίζονται από το λάδι περνώντας μέσα από ένα λαβύρινθο και διαφεύγουν μέσω μιας βαλβίδας στην ατμόσφαιρα.

3. Αυτόματοι διακόπτες αέρα

Οι αυτόματοι διακόπτες αέρα κοστίζουν ακριβότερα από τους διακόπτες λαδιού. Υπερτερούν όμως στο ότι δεν χρειάζονται συντήρηση (αλλαγή λαδιού σε ορισμένα διαστήματα), στη μικρή μόλυνση του θαλάμου σβέσεως και στο ότι η διακοπή (το άνοιγμα των επαφών) γίνεται ταχύτερα. Ο αέρας μέσα στη δεξαμενή διατηρείται σε σταθερή πίεση με έναν αεροσυμπιεστή. Ο συμπιεσμένος αέρας βοηθά στη σβέση του τόξου. Το μέσο σβέσεως είναι ουσιαστικά το άζωτο του αέρα, που αποτελεί και την εσωτερική μόνωση του διακόπτη. Στις περισσότερες περιπτώσεις η πίεση του αέρα είναι 20-30 ata

αλλά μπορεί να φτάσει και τα 60 ata. Μειονεκτήματα του τύπου αυτού είναι η θορυβώδης λειτουργία του και η σταθερή του ικανότητα σβέσεως, ανεξάρτητα από το διακοπόμενο ρεύμα, πράγμα που οδηγεί στο βίαιο μηδενισμό των ασθενών ρευμάτων όπως είναι τα μικρά επαγωγικά ρεύματα. Αυτό έχει σαν συνέπεια την ανάπτυξη σοβαρών υπερτάσεων κατά τη διακοπή. Χρησιμοποιείται για τάσεις από 110 kV και πάνω.

4. Αυτόματοι διακόπτες εξαφθοριούχου θείου SF6

Το εξαφθοριούχο θείο SF6 είναι αέριο αδρανές ώστε δεν προσβάλλει τα μεταλλικά, πλαστικά και συνθετικά εξαρτήματα από τα οποία κατασκευάζεται ένας διακόπτης υψηλής τάσεως. Το μόριο του SF6 δεν περιέχει άνθρακα που συνήθως μολύνει το χώρο της σβέσεως. Εξάλλου το SF6 έχει πολύ καλές διηλεκτρικές ιδιότητες και για τις μικρές μόνο τάσεις είναι και το μονωτικό του διακόπτη. Σε σχέση με το διακόπτη πεπιεσμένου αέρα λειτουργεί σε χαμηλότερες πιέσεις και έχει μικρότερες διαστάσεις, αφού τα χαρακτηριστικά διακοπής του στις 15 ata λόγω χάρη αντιστοιχούν σε εκείνα που έχει ο πεπιεσμένος αέρας στις 50 ata. Επειδή το SF6 είναι δαπανηρό δεν αφήνεται ελεύθερο στην ατμόσφαιρα αλλά διατηρείται σε κλειστό κύκλωμα, πράγμα που κάνει άλλωστε αθόρυβη τη λειτουργία του. Χρησιμοποιείται στις μέσες και υψηλές τάσεις. Ενώ μια τεχνική που εφαρμόζεται ευρύτερα στους διακόπτες SF6 είναι η τεχνική τύπου φουσητήρα (puffer type technique). Με το SF6 το σβήσιμο του τόξου γίνεται ταχύτερα και ο διακόπτης είναι λιγότερο ογκώδης από τον αντίστοιχο αυτόματο διακόπτη ριπής αέρα. Χρησιμοποιείται για τάσεις της τάξης των 230 kV, 15000 MVA. Παρακάτω παρατίθεται μια φωτογραφία διακοπών εξαφθοριούχου θείου SF6.



Φωτογραφία 2.3: Διακόπτες SF6 (Πηγή Δ.Ε.Η. Α.Ε.)

5. Αυτόματοι διακόπτες κενού

Ο διακόπτης κενού διαφέρει σημαντικά από τα άλλα είδη. Το τόξο αποτελείται από μεταλλικό «ατμό» προερχόμενο από το μέταλλο της καθόδου. Χαρακτηρίζεται από ικανότητα διακοπής υψηλής συχνότητας και πολύ υψηλό ρυθμό αποκατάστασης της διηλεκτρικής αντοχής μετά τη σβέση του τόξου. Το μέταλλο των επαφών, π.χ. βανάδιο, λαμβάνεται πρόνοια να έχει όσο το δυνατόν λιγότερες φυσαλίδες που θα μπορούσαν να νοθεύσουν το κενό. Με την ταχύτητά του και τη μεγάλη του ικανότητα διακοπής βρίσκει εφαρμογή σε συνεχώς υψηλότερες τάσεις καθώς παρακάμπτεται το εμπόδιο του μεγάλου του κόστους. Πράγματι, έχουν ήδη αναγγελθεί διακόπτες κενού για τα 138 kV, ενώ δοκιμάζονται για τα 760 kV και 40 kA.

Ο χώρος στον οποίο γίνεται η διακοπή σε έναν διακόπτη κενού είναι αυτός που βρίσκεται μεταξύ των επαφών, κατά μήκος των ίδιων των επαφών και ο χώρος μεταξύ των επαφών και του εσωτερικού μανδύα. Λόγω της σχετικά μεγάλης διηλεκτρικής αντοχής του κενού οι εσωτερικές διαστάσεις του διακόπτη

μπορούν να είναι πολύ μικρές. Πρέπει όμως να εξασφαλίζεται και εξωτερική διηλεκτρική αντοχή και είναι αυτή που κυρίως καθορίζει το μήκος του μονωτήρα ενός διακόπτη.

2.5 Αντιστάθμιση Άεργης Ισχύος [2]

Το πρόβλημα της διατηρήσεως της τάσεως μεταξύ των επιτρεπόμενων ορίων περιπλέκεται από το γεγονός ότι το σύστημα τροφοδοτείται από πολλές πηγές και τροφοδοτεί φορτία σε όλες τις βαθμίδες του συστήματος. Συνεπώς, δεν πρόκειται για τη διατήρηση της τάσεως σε μία μόνο, αλλά σε πολλές και σε όλες τις βαθμίδες του συστήματος. Για το λόγο αυτό η ρύθμιση της τάσεως δεν μπορεί να γίνεται μόνο από τις γεννήτριες, που είναι φυσιολογικά οι πηγές άεργου όπως και ενεργού ισχύος, αλλά πρέπει να γίνεται και με άλλα μέσα σε περισσότερες θέσεις του δικτύου. Το πρόβλημα επομένως δεν αφορά μόνο τις μονάδες παραγωγής αλλά ολόκληρο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και απαιτεί τη διάθεση ειδικού εξοπλισμού για το σκοπό αυτό. Η κατάλληλη επιλογή και χρησιμοποίηση του εξοπλισμού αυτού είναι από τα σημαντικότερα προβλήματα της σχεδιάσεως και της λειτουργίας του συστήματος. Τα μέσα με τα οποία επιτυγχάνεται η ρύθμιση ή έλεγχος της τάσεως είναι τα εξής:

- 1) τα συστήματα διεγέρσεως των γεννητριών
- 2) τα συστήματα αλλαγής της τάσης υπό φορτίο των μετασχηματιστών ισχύος
- 3) οι μετασχηματιστές ρυθμίσεως της τάσης
- 4) πηγές άεργου ισχύος όπως σύγχρονοι και στατοί εγκάρσιοι πυκνωτές
- 5) η χωρητική αντιστάθμιση σειράς και η εγκάρσια επαγωγική αντιστάθμιση των γραμμών μεταφοράς.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των φορτίων τα οποία τροφοδοτούνται από ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι επαγωγικού χαρακτήρα και συνεπώς απαιτεί τη χορήγηση άεργου ισχύος από το σύστημα. Επιπλέον αυτής,

πρόσθετη άεργος ισχύς καταναλίσκεται σαν απώλειες (I^2X) άεργου ισχύος του δικτύου μεταφοράς και διανομής. Μερικές από τις επιπτώσεις της κυκλοφορίας της άεργου ισχύος στο σύστημα είναι:

- 1) πρόσθετες απώλειες ενεργού ισχύος (I^2R) στις γραμμές και τον εξοπλισμό
- 2) αυξημένη εγκατεστημένη ισχύς γραμμών και εξοπλισμού και επομένως αυξημένες επενδύσεις κεφαλαίων
- 3) πτώση τάσης από την παραγωγή προς τις θέσεις των φορτίων

Καταβάλλεται προσπάθεια να κατανεμηθεί η άεργος ισχύς στο σύστημα ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες ενεργού ισχύος. Εδώ όμως μας ενδιαφέρει κυρίως η τρίτη συνέπεια, και συγκεκριμένα η μέθοδος της εγγύσεως άεργου ισχύος στο σύστημα με πυκνωτές εν παραλλήλω για τη βελτίωση της τάσης του δικτύου. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής για τη βελτίωση της τάσης έχει γενικότερα σαν αποτέλεσμα και τη βελτίωση της οικονομίας του συστήματος. Οι εγκάρσιοι πυκνωτές αντιστάθμισης είναι σύγχρονοι και στατοί.

2.6 Χαρακτηριστικά Πυκνωτών και Πηνίων [2]

Η ανάπτυξη στατών πυκνωτών κατάλληλης ποιότητας είχε σαν αποτέλεσμα την ευρεία εφαρμογή τους σαν πηγών άεργου ισχύος, λόγω των πλεονεκτημάτων, τα οποία παρουσιάζουν. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε στάθμη διανομής μέσης τάσης. Οι στατοί πυκνωτές είναι φθηνότεροι και με χαμηλότερες απώλειες από τους σύγχρονους πυκνωτές, είναι όμως λιγότερο ευέλικτοι στη λειτουργία. Με τους στατούς πυκνωτές η άεργος ισχύς δεν μπορεί να μεταβάλλεται συνεχώς, παρά μόνο κατά βήματα και επιπλέον αυτοί δεν μπορούν να απορροφήσουν επαγωγική άεργο ισχύ όπως οι σύγχρονοι. Σε περίπτωση βυθίσεως της τάσεως του ζυγού η άεργος ισχύς που παράγεται από στατούς πυκνωτές τείνει να μειωθεί ώστε σε περίπτωση σφαλμάτων να μην συμπεριφέρονται τόσο αποδοτικά όσον αφορά την αύξηση της ευστάθειας του

συστήματος. Περαιτέρω, οι στατοί πυκνωτές δεν μπορούν να υπερφορτιστούν, όχι μόνο επειδή είναι πιο ευαίσθητοι αλλά επίσης επειδή η άεργος ισχύς τους καθορίζεται από τη χωρητικότητά τους και την τάση του ζυγού. Επιπλέον, η διακοπή των στατών πυκνωτών συνοδεύεται πολλές φορές από υπερτάσεις και η ζεύξη τους στο σύστημα από μεγάλα κρουστικά ρεύματα.

Εν τούτοις, οι στατοί πυκνωτές έχουν το πλεονέκτημα της εύκολης μετακίνησής τους από μια θέση του δικτύου σε άλλη, όπως επίσης και της εύκολης αύξησης της ισχύος τους με την ανάπτυξη του συστήματος. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι οι στατοί πυκνωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν οικονομικά, σε μικρές μονάδες και στις θέσεις ακριβώς που απαιτείται παροχή άεργου ισχύος στα δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης.

Συγκεκριμένα στα δίκτυα μεταφοράς, για λόγους καλύτερης απόδοσης και οικονομίας, οι πηγές άεργου ισχύος θα πρέπει να εγκαθίστανται κοντά στις θέσεις όπου χρειάζονται μεγάλες ποσότητες άεργου ισχύος. Τέτοιες θέσεις είναι εν γένει τα πέρατα των μεγάλων γραμμών μεταφοράς ή οι μεγάλοι υποσταθμοί, οι οποίοι τροφοδοτούν μεγάλες περιοχές φορτίων. Δεδομένου ότι στις θέσεις αυτές απαιτείται επίσης ρύθμιση της τάσης συνήθως, οι στατοί πυκνωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ρύθμιση της τάσης απ' ευθείας των ζυγών που είναι συνδεδεμένοι. Εκτός από τους πυκνωτές, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της τάσης και την παραγωγή άεργου ισχύος, στα μεγάλα δίκτυα μεταφοράς, είναι απαραίτητη κατά τις ώρες του ελαχίστου φορτίου ιδίως, η μείωση της τάσης και απορρόφηση άεργου ισχύος. Το πρόβλημα οφείλεται στην περίσσεια παραγωγή άεργου ισχύος των γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης, λόγω του μικρού φορτίου, η οποία έχει σαν συνέπεια την ανύψωση της τάσης στα πέρατα των γραμμών, πράγμα το οποίο θέτει σε κίνδυνο τη μόνωσή τους. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την εγκατάσταση εγκάρσιων επαγωγικών πηνίων ισχύος στις θέσεις αυτές, τα οποία συνδέονται είτε απ' ευθείας στη γραμμή, είτε είναι μέσης τάσης, συνδεδεμένα μέσω των τριτευόντων τριγωνικών τυλιγμάτων των

μετασηματιστών ισχύος των υποσταθμών μετασηματισμού ή υποβιβασμού στους οποίους καταλήγουν οι γραμμές. Πολλές φορές τα τελευταία κυρίως χρόνια χρησιμοποιείται παράλληλα χωρητική και επαγωγική αντιστάθμιση στην ίδια θέση του φορτίου με εναλλάξ σύνδεση των πυκνωτών ή των πηνίων στη γραμμή, ανάλογα με το φορτίο. Η ρύθμιση αυτή είναι συνήθως αυτόματη.

Οι ανάγκες εγκατάστασης πυκνωτών MT, πηνίων 150 kV, 66 kV και 30 kV προέκυψαν από τις σχετικές μελέτες ροής ισχύος και τάσεων του συστήματος, τόσο για ομαλές όσο και για έκτακτες συνθήκες λειτουργίας. Θα πρέπει εδώ να τονισθεί ότι το συνφ στους ζυγούς MT είναι σε αρκετούς Υ/Σ χαμηλό. Η ΔΕΗ/Διανομή θα πρέπει να καταβάλει προσπάθειες ώστε η αντιστάθμιση άεργης ισχύος να γίνεται στα άκρα των γραμμών μέσης τάσεως, (τοποθέτηση πυκνωτών επί στύλων διανομής) ώστε να υπάρχει το όφελος της μείωσης και των απωλειών Διανομής. Σύμφωνα με το Άρθρο 15 παρ. 19 του Κ.Δ.Σ. (Κώδικας Διαχείρισης Συστήματος) προβλέπεται ότι για κάθε φόρτιση μεγαλύτερη του 50% της μέγιστης ικανότητας τροφοδότησης, το συνφ κάθε χρήστη πρέπει να κυμαίνεται εντός των ορίων του 0,9 επαγωγικό και 1).

Οι παραπάνω πυκνωτές MT πρέπει να είναι κατάλληλοι για χρήση τόσο σε τάση 15 kV όσο και σε τάση 20 kV, εκτός αυτών που προορίζονται από την αρχή για τάση 20 kV. Κάθε συγκρότημα πυκνωτών πρέπει να διαθέτει το δικό του αυτόματο διακόπτη και να έχει τη δυνατότητα βηματικής εισόδου και εξόδου στο σύστημα. Τα συγκροτήματα πυκνωτών MT που εγκαθίστανται σήμερα στο ΕΔΣΜ είναι ονομαστικής ισχύος 12MVA_r (στα 20 kV) και υποδιαιρούνται σε ομάδες των 4 MVA_r οι οποίες έχουν τη δυνατότητα ανεξάρτητης ζεύξης και απόζευξης στους ζυγούς MT.

Τέλος, ενώ μέχρι σήμερα οι ανάγκες σε αντιστάθμιση άεργης ισχύος καλύπτονταν γενικά με τη συστηματική εγκατάσταση πυκνωτών MT στην παρούσα ΜΑΣΜ προγραμματίζεται για πρώτη φορά η εγκατάσταση πυκνωτών 150 kV σε ΚΥΤ του ΕΔΣΜ.

2.7 Ζυγοί [2]

2.7.1 Γενικά

Ένας υποσταθμός ηλεκτρικής ισχύος συνίσταται από εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για να κατευθύνουν τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα. Συγχρόνως οι αυτοματοποιημένες αυτές διατάξεις και τα μέσα προστασίας, τα οποία τοποθετούνται σε κατάλληλα σημεία του συστήματος, επιτρέπουν τη ροή ενέργειας σε εναλλακτικές οδούς και έτσι συμβάλλουν στην ομαλή λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας υποσταθμός μπορεί να συνδυασθεί με έναν σταθμό γεννήτριας ή με μετασχηματιστές ισχύος, οι οποίοι μετατρέπουν την τάση παροχής σε υψηλότερο ή χαμηλότερο επίπεδο, ή να συνδέσει έναν αριθμό οδών παροχής στο ίδιο επίπεδο τάσης. Μία ή και περισσότερες από αυτές τις δυνατότητες μπορούν να εφαρμοσθούν σε κάθε υποσταθμό, ο οποίος βασικά αποτελείται από έναν αριθμό κυκλωμάτων, τα οποία είτε εισερχόμενα είτε εξερχόμενα είναι συνδεδεμένα σε έναν κοινό ζυγό.

2.7.2 Τύποι ζυγών

Τα κύρια συνιστούντα μέρη ενός εισερχόμενου ή εξερχόμενου κυκλώματος είναι οι γραμμές, οι κόμβοι, οι διακόπτες, οι μετασχηματιστές και οι απομονωτές. Ο πιο απλός τρόπος για να ενωθούν τέτοια κυκλώματα είναι η σύνδεση τους σε ένα απλό καλώδιο ή σε έναν ζυγό. Για να βελτιωθεί η ασφάλεια, να διευκολυνθεί η συντήρηση και να αυξηθεί η ευελιξία των χειρισμών στο σύστημα ηλεκτρικής ισχύος, οι ακόλουθες βασικές δομές ζυγών έχουν χρησιμοποιηθεί στους υποσταθμούς ηλεκτρικής ισχύος Υψηλής Τάσης:

- Απλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες
- Απλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες και ζυγούς μεταγωγής (TRANSFER)
- Κύριοι και μεταγωγικοί ζυγοί

- Διπλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες
- Διπλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες και ζυγούς μεταγωγής
- Διπλοί ζυγοί με διπλούς διακόπτες
- Τριπλοί ζυγοί λειτουργίας με διακόπτες
- Ζυγοί σε σχήμα «δακτυλίου».

Μερικοί από αυτούς αναλύονται παρακάτω και περιγράφονται πιο αναλυτικά.

2.7.3 Δομή των ζυγών

Στους Υποσταθμούς, όπου οι ζυγοί αποτελούν ή προορίζονται να αποτελέσουν μελλοντικά σημαντικούς κόμβους λειτουργίας του συστήματος, επιβάλλεται από την αρχή η κατασκευή ή πρόβλεψη δυνατότητας κατασκευής διπλών ή τριπλών ζυγών λειτουργίας, που σε συνδυασμό με μία ή δύο κυψέλες (με διακόπτες ζεύξεως ζυγών) επιτρέπουν:

- 1) Ελαστικότητα συνδυασμών διασυνδέσεως λειτουργίας.
- 2) Αυξημένες δυνατότητες εκτέλεσης συντήρησης και επισκευών.
- 3) Δυνατότητα κατανομής της σύνδεσης των γραμμών, των μετασχηματιστών και των μονάδων παραγωγής στους πολλαπλούς ζυγούς λειτουργίας ώστε, σε περιπτώσεις σφαλμάτων ζυγών, τα στοιχεία των δικτύων που τίθενται εκτός τάσεως να περιορίζονται σημαντικά.
- 4) Μείωση της στάθμης βραχυκυκλώσεως κάτω από ορισμένες συνθήκες, όπου αυτό είναι απαραίτητο.
- 5) Δυνατότητα αντικατάστασης κάτω από ορισμένες συνθήκες του διακόπτη οποιασδήποτε κυψέλης με ένα διακόπτη ζεύξεως ζυγών, μετά από διακοπή ή ακόμη χωρίς διακοπή, εφόσον προβλεφθεί από την αρχή η κατάλληλη δυνατότητα.

Όπως όμως είναι προφανές η πολυπλοκότητα του σχήματος των ζυγών αυξάνει, εκτός από το κόστος και την πιθανότητα βλάβης, πράγμα βέβαιο που εξαρτάται και από την κατασκευαστική τους διαμόρφωση. Είναι χαρακτηριστικό ότι η βελτίωση της ποιότητας του υλικού (και συνεπώς της συχνότητας των βλαβών) ωθεί τα τελευταία χρόνια προς απλούστερα σχήματα ζυγών, ιδίως στη ΜΤ. Στους Υποσταθμούς, όπου οι ζυγοί δεν αποτελούν ή δεν προορίζονται να αποτελέσουν μελλοντικά σημαντικούς κόμβους λειτουργίας του συστήματος, αρκεί η κατασκευή απλών ζυγών λειτουργίας με δυνατότητα προσθήκης ζυγών μεταγωγής (TRANSFER). Στους παλαιούς Υ/Σ, όπου έχουν χρησιμοποιηθεί έμβολα τεχνητού σφάλματος για την προστασία των Μ/Σ 150 kV/Μ.Τ., γίνεται σταδιακά προσπάθεια αντικατάστασης τους με διακόπτες ισχύος. Σε ειδικές περιπτώσεις Υ/Σ που συνδέονται απευθείας με Γ.Μ. μεγαλύτερης σημασίας, προβλέπεται από την αρχή η εγκατάσταση κυψέλης ζεύξεως με αυτόματο διακόπτη, το ίδιο δε προβλέπεται και στις ζεύξεις ακτινικών Γ.Μ. που τροφοδοτούν ένα ή δύο ακραίους Υ/Σ και συνδέονται προσωρινά στους ζυγούς των Υ/Σ χωρίς διακόπτες.

2.7.4 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά των Ζυγών

2.7.4.1 Διαστάσεις ζυγών

Οι διατομές χάλκινων σωλήνων (μπάρες) που χρησιμοποιούνται για Ζυγούς είναι Φ 20/16 MM, Φ 30/24 MM, Φ 60/52 MM, Φ 80/70 MM, το δε μήκος τους είναι περίπου 6m. Στην πλευρά 150 kV χρησιμοποιούνται μπάρες Φ 30/24 MM, που επαρκούν από ηλεκτρική άποψη, όταν η απόσταση μεταξύ δύο στηριγμάτων είναι μικρότερη ή ίση των 6 m. Αν η απόσταση είναι μεγαλύτερη και μέχρι 8.5 m χρησιμοποιούνται μπάρες Φ 60/52 MM μόνο για λόγους μηχανικής αντοχής. Στην πλευρά 20 kV χρησιμοποιούνται για τους βοηθητικούς Ζυγούς μπάρες Φ 30/24 MM ανεξάρτητα από το μέγεθος του Μ/Σ ισχύος. Για όλους τους υπόλοιπους Ζυγούς, δηλαδή μεταξύ Μ/Σ και Κεντρικού Διακόπτη και για τους Κύριους Ζυγούς 20 kV, χρησιμοποιούνται μπάρες Φ

30/24 MM για Μ/Σ 10/12.5 MVA, Φ 60/52 MM για Μ/Σ 20/25 MVA, Φ 80/70 MM για Μ/Σ 40/50 MVA. Η διανομή Φ 20/16 MM χρησιμοποιείται στα κατεβάσματα προς τους Μ/Σ τάσεως και τον Μ/Σ εσωτερικής υπηρεσίας.

2.7.4.2 Χάλκινοι Αγωγοί

Υπάρχουν διατάξεις Υ/Σ 150/20 kV που έχουν Ζυγούς 150 kV από χάλκινο αγωγό. Η διατομή που χρησιμοποιείται γι' αυτούς τους Ζυγούς, καθώς και για τα κατεβάσματα από τη γραμμή των 150 kV, είναι 240 mm².

2.7.4.3 Σφικτήρες

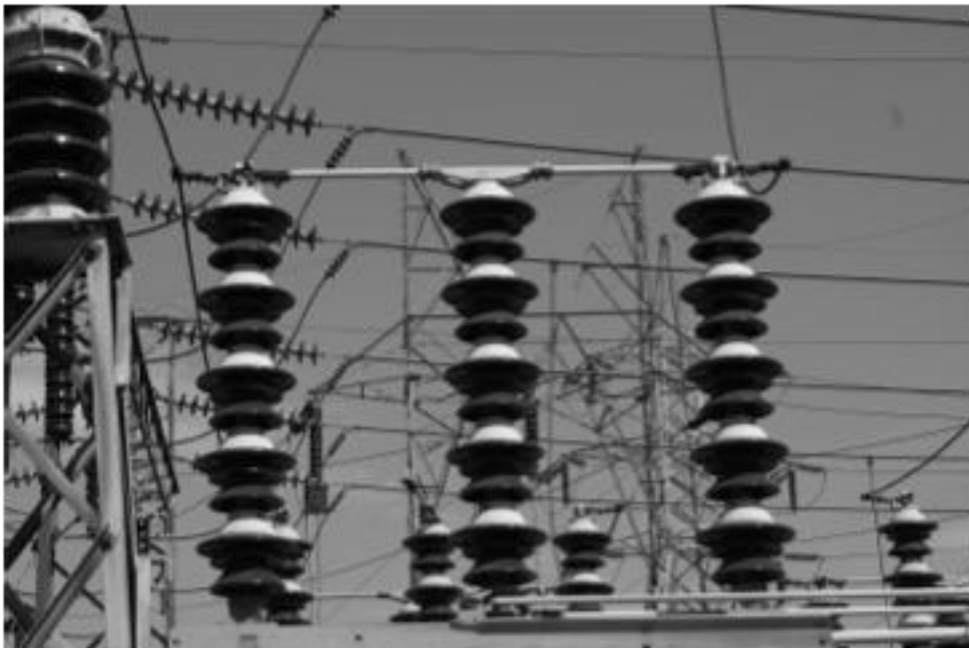
Υπάρχουν δύο ειδών σφικτήρες που χρησιμοποιούνται για τους χάλκινους σωλήνες και τους χάλκινους αγωγούς: σταθεροί και ελαστικοί ή ολισθαίνοντες. Η χρήση τους πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπουν τη διαστολή των μάρων, δηλαδή μεταξύ δύο σταθερών σφικτήρων πρέπει να τοποθετηθεί ελαστικός σφικτήρας, και φυσικά στα ελεύθερα άκρα των μάρων πάντοτε ολισθαίνοντες σφικτήρες.

2.8 Αποζεύκτες [2]

Οι αποζεύκτες μέσης τάσης μπορεί να είναι είτε τριπολικής είτε μονοπολικής αποζεύξεως. Οι τριπολικής αποζεύξεως χειρίζονται με κατάλληλο μηχανισμό, οπότε η κίνηση μεταδίδεται ταυτόχρονα και στις τρεις φάσεις. Οι αποζεύκτες μονοπολικής αποζεύξεως χειρίζονται με κατάλληλο μονωτικό κοντάρι. Οι επαφές του αποζεύκτη στηρίζονται σε μονωτήρες με κατάλληλο μήκος ερπυσμού και μορφής ανάλογα της τάσης λειτουργίας και του χώρου στον οποίο θα εγκατασταθεί (εξωτερικού ή εσωτερικού χώρου).

Η κινητή επαφή του αποζεύκτη είναι κατασκευασμένη από χάλκινη ορθογωνική ράβδο κατάλληλης διατομής ανάλογα με την ονομαστική ένταση του αποζεύκτη.

Στην κατηγορία του αποζεύκτη μέσης τάσης ανήκουν και οι ασφαλειοαποζεύκτες. Αυτοί τοποθετούνται μπροστά από μικρούς μετασχηματιστές ισχύος (μέχρι 250KVA περίπου) ή μετασχηματιστές οργάνων για την προστασία τους. Αντί της λεπίδας του αποζεύκτη υπάρχει η αποζευκτική ασφάλεια που μπορεί να χειρισθεί όπως και η λεπίδα του A/Z για απομόνωση του μηχανήματος με κατάλληλο μονωτικό κοντάρι. Σε περίπτωση σφάλματος θα λιώσει το εσωτερικό τηκτό της ασφάλειας και θα διακοπεί το κύκλωμα.



Φωτογραφία 2.4: Αποζεύκτες (Πηγή Δ.Ε.Η. Α.Ε.)

2.9 Αλεξικέραυνα

2.9.1 Γενικά

Τα Α/Ξ προστατεύουν τις γραμμές μεταφοράς και τα μηχανήματα των υποσταθμών από υπερτάσεις που προκαλούνται είτε από κεραυνούς είτε από διάφορους χειρισμούς στα μηχανήματα του συστήματος. Για την αποτελεσματική προστασία των μηχανημάτων πρέπει να υπάρχουν οι πιο κάτω βασικές απαιτήσεις:

1. Η στάθμη προστασίας σε κρουστικές τάσεις που παρέχεται από τα Α/Ξ πρέπει να είναι σημαντικά χαμηλότερη από την αντίστοιχη αντοχή των μονώσεων του προστατευόμενου μηχανήματος. Η εκλογή της ονομαστικής κρουστικής εντάσεως των Α/Ξ αποτελεί οικονομικό πρόβλημα που εξαρτάται από την ένταση των κεραυνών και από τη σπουδαιότητα του μηχανήματος που πρόκειται να προστατευθεί. Σε περίπτωση που θα χρειασθεί το Α/Ξ να διοχετεύσει ρεύμα μεγαλύτερης εντάσεως τούτο θα καταστραφεί.
2. Η στάθμη προστασίας σε υπερτάσεις από χειρισμούς που παρέχεται από τα αλεξικέραυνα πρέπει να είναι σημαντικά χαμηλότερη από την αντίστοιχη αντοχή των μονώσεων του προστατευόμενου μηχανήματος. Η ονομαστική τάση του Α/Ξ είναι η τάση στην οποία είναι υπολογισμένο να αντέχει αυτό συνέχεια. Όταν ο ουδέτερος είναι γειωμένος επιτρέπεται η χρήση Α/Ξ που έχουν μικρότερη ονομαστική τάση από την ονομαστική πολική.
3. Τα Α/Ξ πρέπει να διατηρούν τη μόνωσή τους σε υπερτάσεις βιομηχανικής συχνότητας.

2.9.2 Κατασκευαστικά στοιχεία αλεξικεραύνων

Τα χρησιμοποιούμενα στους υποσταθμούς Α/Ξ είναι τύπου βαλβίδας και διακόπτουν το τόξο μόνα τους. Αποτελούνται από αντίσταση μεταβαλλόμενης τιμής σε σειρά με εσωτερικά πολλαπλά διάκενα. Αντίσταση εξομάλυνσης μεγάλης τιμής συνδέεται παράλληλα και χρησιμεύει στην κατανομή της τάσης κατά μήκος των κύριων στοιχείων.

Το συγκρότημα τοποθετείται μέσα σε μονωτήρα από πορσελάνη και κλείνεται στεγανά.

Η είσοδος υγρασίας μέσα στο χώρο του μονωτήρα είναι καταστρεπτική για το Α/Ξ. Τα Α/Ξ πρέπει να έχουν τα κατάλληλα για κάθε περίπτωση χαρακτηριστικά για να ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στον προορισμό τους.

2.10 Μονωτήρες [2]

Τα διάφορα μηχανήματα των υποσταθμών για να απομονωθούν ηλεκτρικά από τα γειωμένα στοιχεία τοποθετούνται πάνω σε ειδικές μονωτικές διατάξεις που ονομάζονται μονωτήρες. Οι μονωτήρες διακρίνονται σε εξωτερικού χώρου και σε εσωτερικού χώρου.

2.10.1 Μονωτήρες εξωτερικού χώρου

Οι μονωτήρες που θα χρησιμοποιηθούν για τη στήριξη των μηχανημάτων εξωτερικού χώρου κατασκευάζονται από μονωτικό υλικό που να μην επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες. Τέτοιο υλικό είναι η πορσελάνη και το γυαλί. Γενικά η τάση διασπάσεως των μονωτήρων δεν προσδιορίζεται μόνο από τη βασική στάθμη μονώσεώς τους αλλά και από τη διηλεκτρική αντοχή της εξωτερικής επιφάνειάς τους. Αυτή πρέπει να είναι αυξημένη για την αντιμετώπιση της κατάστασης ρύπανσης. Μια μέση τιμή για χρησιμοποίηση

του υπολογισμού του μήκους ερπυσμού σε περιοχές που υπάρχει πιθανότητα μόλυνσης είναι 25 χιλ/kV ή 31 χιλ/kV (RMS) πολιτικής τάσης.

Επίσης η μορφή της εξωτερικής επιφάνειας των μονωτήρων διαμορφώνεται έτσι ώστε αφενός μεν να υπάρχουν τμήματα που να προστατεύονται από τη ρύπανση, αφετέρου δε να διευκολύνεται ο καθαρισμός της επιφάνειας από τη βροχή.

2.10.2 Μονωτήρες εσωτερικού χώρου

Οι μονωτήρες που θα χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικούς χώρους είναι πιο απλοί στην κατασκευή τους γιατί δεν υπάρχουν σοβαρά προβλήματα ρύπανσης. Μπορούν να κατασκευαστούν και από άλλα μονωτικά υλικά που δεν απορροφούν εύκολα υγρασία. Το μήκος ερπυσμού των μονωτήρων αυτών είναι πολύ μικρότερο από το μήκος ερπυσμού των μονωτήρων αντίστοιχης τάσης αλλά εξωτερικού χώρου.

2.11 Κυματοπαγίδες [2]

Για την επικοινωνία του Κέντρου Κατανομής Φορτίου με τους σταθμούς παραγωγής και τους υποσταθμούς μεταφοράς του συστήματος υπάρχει ειδικό τηλεφωνικό σύστημα που ονομάζεται σύστημα φερεσύχων (CARRIER)· ο δε τρόπος λειτουργίας του σε γενικές γραμμές είναι ο εξής:

Σε σημείο της γραμμής μεταφοράς διαβιβάζεται ρεύμα χαμηλής τάσης και υψηλής συχνότητας από ειδικές ηλεκτρονικές συσκευές, ενώ αντίστοιχοι δέκτες που βρίσκονται στους σταθμούς και τους υποσταθμούς μπορούν να το δεχτούν.

Για την παρεμπόδιση της εισόδου του ρεύματος φερεσύχων στα μηχανήματα του υποσταθμού τοποθετούνται κυματοπαγίδες (φίλτρα) που ενώ επιτρέπουν

το πέρασμα του ρεύματος βιομηχανικής συχνότητας (50 Hz) εμποδίζουν το πέρασμα του ρεύματος υψηλής συχνότητας (έως 350 Hz) των φερεσύχων. Οι κυματοπαγίδες αυτές πρέπει να παρουσιάζουν πρακτικά μηδενική αντίσταση στη συχνότητα των 50 Hz, να επιτρέπουν το πέρασμα του μέγιστου επιτρεπόμενου ρεύματος της γραμμής μέσα στα επιτρεπτά όρια θερμάνσεως και να μπορούν να συντονιστούν σε μια, δυο ή και σε ολόκληρο φάσμα υψηλών συχνοτήτων φερεσύχων.

Η υψηλή συχνότητα επικοινωνίας φτάνει μέχρι την κυματοπαγίδα χωρίς να μπορεί να περάσει από αυτήν. Πριν από την κυματοπαγίδα με αγωγό οδηγείται σε πυκνωτή ζεύξεως ή σε μετασχηματιστή τάσεως τύπου χωρητικού καταμεριστή, που χρησιμεύει συγχρόνως και για τη σύνδεση του συστήματος φερεσύχων, όπου υποβιβάζεται η τάση. Στο άλλο άκρο του πυκνωτή παίρνουμε την υψηλή συχνότητα με χαμηλή τάση, η οποία οδηγείται σε ειδική κατασκευή που την μετατρέπει σε ακουστική.

2.12 Πυκνωτές

Η κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας συνεπάγεται την ταυτόχρονη κατανάλωση ενεργού και άεργης ενέργειας, που και οι δυο μεταφέρονται με τα ηλεκτρικά δίκτυα μεταφοράς και διανομής. Κατά τη μεταφορά τόσο της ενεργού όσο και της άεργης ηλεκτρικής ενέργειας προκαλούνται ταυτόχρονες απώλειες ενεργού και άεργου ενέργειας και παρουσιάζονται και ταυτόχρονες πτώσεις τάσης.

Τα κυριότερα μέσα παραγωγής άεργης ισχύος είναι οι πυκνωτές μέσης τάσης. Αυτοί τοποθετούνται σε συστοιχίες στους υποσταθμούς υποβιβασμού της υψηλής τάσης, στην πλευρά της μέσης τάσης και στις γραμμές διανομής όσο το δυνατό πιο κοντά στα φορτία. Οι συστοιχίες των πυκνωτών πραγματοποιούνται συνήθως με σχηματισμό κατάλληλων ομάδων από μονοφασικές ομάδες μικρής ισχύος που συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά ή

μεικτά. Οι συστοιχίες συνδέονται στο δίκτυο σε διάταξη αστέρα ή τριγώνου ανάλογα με τη τάση και το είδος του δικτύου. Σε γραμμές συνδεδεμένες κατά τρίγωνο ή γραμμές χωρίς γείωση χρησιμοποιούνται συνήθως συστοιχίες πυκνωτών συνδεδεμένες κατά τρίγωνο, ενώ σε γειωμένα συστήματα τεσσάρων αγωγών χρησιμοποιούνται συστοιχίες συνδεδεμένες κατά γειωμένο αστέρα [3, 11, 12].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

“ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ 150KV/20KV ”

3.1 Κανονισμοί για εγκατάσταση Υποσταθμού

Η μελέτη ενός υποσταθμού είναι ένα ειδικό και σχετικά πολύπλοκο πρόβλημα επειδή έχει να κάνει με την αντιμετώπιση ποικίλων θεμάτων, τα οποία κυρίως είναι κτιριακά, ηλεκτρολογικά και προβλήματα ασφαλείας. [13]

Η επιλογή της ακριβούς θέσης του Υ/Σ είναι αποτέλεσμα τεχνικοοικονομικής μελέτης που γίνεται από την Διεύθυνση Προγραμματισμού και στην οποία φτάνουν όλες οι απαιτήσεις της Διανομής.

Γενικότερα οι εγκαταστάσεις των υποσταθμών μελετώνται σύμφωνα με τις οδηγίες της ΔΕΗ και των παρακάτω κανονισμών:

- 1) Κανονισμοί Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (τελευταία νομοθετική τροποποίηση: Φ.50/οικ. 13286/1152/2010.
- 2) VDE 100
- 3) VDE 0101 / DIN 57101
- 4) VDE 0103 / DIN 57103
- 5) IEC 865 [14]

Η Δ.Ε.Η είναι υπεύθυνη για την κατασκευή όλων των αναγκαίων εγκαταστάσεων (συμπεριλαμβανομένων και των υποσταθμών) ώστε να εξασφαλίσει στο σημείο παροχέτευσης της Εσωτερικής Ηλεκτρικής Εγκατάστασης την επιθυμητή τάση και συχνότητα.

Μία ηλεκτρική εγκατάσταση (ΗΕ) μεγαλύτερη του 1 kV στην οποία εμπίπτουν υποσταθμοί ΜΤ και ΥΤ περιλαμβάνει ένα σύνολο ηλεκτρολογικών υλικών με επιλεγμένα χαρακτηριστικά, τα οποία συνδέονται κατάλληλα

μεταξύ τους, ώστε να παρέχουν συνεχώς και με ασφάλεια ηλεκτρική ενέργεια στις διάφορες καταναλώσεις (φορτία) ενός κτιρίου. Σύμφωνα με το άρθρο 384 του κτιριοδομικού κανονισμού, μια εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση περιλαμβάνει το σύνολο των εγκατεστημένων στοιχείων (σωλήνες, υλικά, ειδικά τεμάχια, εξαρτήματα, συσκευές, κλπ.) που λειτουργικά συμβάλλουν στη χρησιμοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας μέσα σε κτίρια ή οικόπεδα για φωτισμό, θέρμανση, κίνηση, σήμανση και λοιπές εφαρμογές. Μία εγκατάσταση τροφοδότησης ηλεκτρικής ενέργειας σχεδιάζεται με βάση τα εξής κριτήρια/απαιτήσεις και παραδοχές/εκτιμήσεις:

- Ασφάλεια ατόμων
- Ασφάλεια συσκευών
- Καλή λειτουργικότητα
- Αξιοπιστία
- Συντήρηση
- Επεκτασιμότητα
- Ικανοποιητική Εφεδρεία
- Ανοχή σε Σφάλματα
- Υπάρχουσα Τεχνολογία Υλικών
- Έγκαιρη προμήθεια υλικών
- Οικονομική λειτουργία
- Ανταγωνιστικό Κόστος

Όσον αφορά στις παραδοχές/εκτιμήσεις σε αυτές συμπεριλαμβάνονται :

- Συνθήκες περιβάλλοντος και λειτουργίας (θερμοκρασία, υγρασία, ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου κλπ)
- Μηχανικές καταπονήσεις ίδιες ή επαγόμενες π.χ δονήσεις
- Κίνδυνοι έκρηξης ή πυρκαγιάς
- Είδος χρήστη π.χ. βιομηχανία, οικιακός καταναλωτής

Για το σχεδιασμό μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν:

- Η κατηγορία του χώρου εγκατάστασης
- Ο χρήστης της εγκατάστασης (π.χ. ο χρήστης είναι εξειδικευμένος στα ηλεκτρολογικά ή είναι οικιακός χρήστης)

Συνοπτικά στους κινδύνους που μπορεί να προκύψουν λόγω σφαλμάτων λόγω ηλεκτρικών εγκαταστάσεων συμπεριλαμβάνονται:

- Ηλεκτροπληξία λόγω επικίνδυνων τάσεων επαφής
- Πυρκαγιά από υπερφόρτιση αγωγών, από βραχυκυκλώματα, από συσκευές υψηλής θερμοκρασίας
- Εκρήξεις λόγω σπινθήρων ή υψηλής θερμοκρασίας.

Να σημειωθεί ότι στους χώρους παραγωγής, μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας επιβάλλεται η ύπαρξη ειδικευμένων προσώπων για τη λειτουργία και συντήρηση των αντίστοιχων ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και απαγορεύεται η πρόσβαση στους χώρους κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας σε πρόσωπα χωρίς ιδιαίτερη γνώση σχετική με τη λειτουργία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

Όσον αφορά στη μελέτη της ηλεκτρικής εγκατάστασης πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται ο κατασκευαστής για την υλοποίηση του έργου και ο καταναλωτής να γνωρίζει τι έχει προβλεφθεί στην εγκατάσταση και πόσο αυτή θα κοστίσει. Η μελέτη μίας ηλεκτρικής εγκατάστασης και κατ' επέκταση ενός υποσταθμού συμπεριλαμβάνει τα παρακάτω:

- Τεχνική περιγραφή της εγκατάστασης και τεύχος υπολογισμών
- Σχέδια κυκλωμάτων και συσκευών (ηλεκτρολογικά και μηχανολογικά) με τη χωροθέτηση τους.

- Κατάλογος των υλικών και χωροθέτηση τους.
- Πρότυπα προδιαγραφών (ΕΛΟΤ, EN κλπ), που αφορούν στον εξοπλισμό τα υλικά και την εγκατάσταση.
- Κόστος κατασκευής της εγκατάστασης

Στους φορείς τυποποίησης των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων εμπλέκονται: η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC, International Electrotechnical Commission), η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Ηλεκτροτεχνική Τυποποίηση (CENELEC, Comite Europeen De Normalisation Electrotechnique) και ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ)

Όσον αφορά στους κανονισμούς VDE 100 (Verband Deutscher Elektrotechniker), VDE 0101 / DIN 57101, VDE 0103 / DIN 57103 πρόκειται για γερμανικούς κανονισμούς εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων που ενημερώνονται συνεχώς και εναρμονίζονται με άλλους ευρωπαϊκούς κανονισμούς. Τέλος ο κανονισμός IEC 865 (International Electrotechnical Commission) αποτελεί υποσκέλος των Κανονισμών της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Ένωσης. Στους εθνικούς φορείς τυποποίησης συμπεριλαμβάνονται και αγγλικοί κανονισμοί για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις (BSI, British Standards Institution).

Οι εθνικοί φορείς τυποποίησης ηλεκτρικών εγκαταστάσεων κτιρίων είναι οι ακόλουθοι:

- UTE (Union Technique de l' Electricite), ο οποίος εκδίδει τα πρότυπα 5-100
- ANSI (American National Standard Institution), ο οποίος εκδίδει το πρότυπο National Electrical Code (ANSI C2) [10, 11].

3.2 Κριτήρια Χωροθέτησης Υποσταθμού υποβιβασμού τάσεως 150/20kV [33]

Η χωροθέτηση του υποσταθμού είναι ένα θέμα μείζονος σημασίας καθώς η επιλογή της κατάλληλης θέσης μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση χρημάτων, ενέργειας και να ελαττώσει σημαντικά το κόστος κατασκευής του υποσταθμού.

Για να γίνει η επιλογή του κατάλληλου οικοπέδου για την ανέγερση ενός υποσταθμού σε μια περιοχή η Διεύθυνση Νέων Έργων Μεταφοράς (ΔΝΕΜ) του ΑΔΜΗΕ διενεργεί έρευνα σε συνεργασία με τους εμπλεκόμενους Τομείς και Διευθύνσεις με στόχο να πληρεί όσο το δυνατόν περισσότερα από τα κάτωθι κριτήρια:

- Κατάλληλο από περιβαλλοντικής άποψης
- Στο κέντρο βάρους των φορτίων
- Σε κατάλληλη θέση για τη σύνδεση με ΓΜ
- Καλή ειδική αντίσταση του εδάφους
- Οδική πρόσβαση
- Σχετικά επίπεδο έδαφος

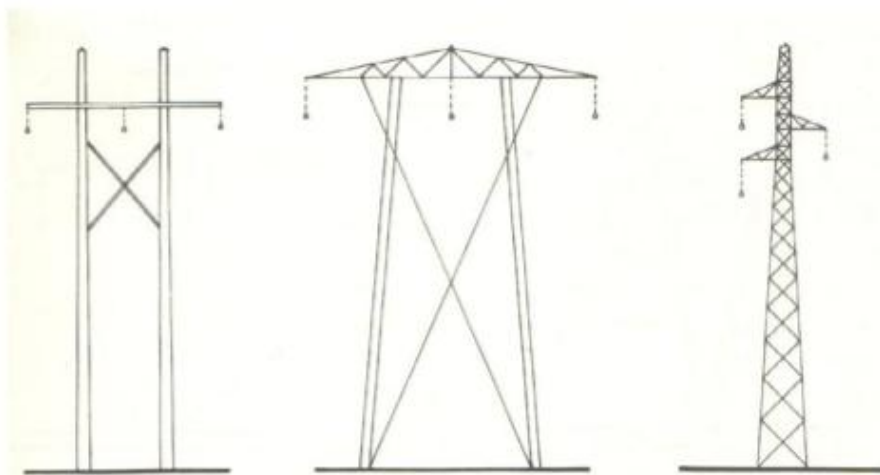
Η ειδική αντίσταση του εδάφους είναι ένα από τα πιο σημαντικά κριτήρια επιλογής γηπέδου καθώς καθορίζει τη διαμόρφωση του δικτύου γείωσης για την ασφάλεια του προσωπικού και του ηλεκτρομηχανολογικού υλικού. Η αντίσταση του εδάφους μετρείται με την μέθοδο Wenner τεσσάρων ηλεκτροδίων και πρέπει να έχει τιμές έως 1 Ω για ρεύμα σφάλματος προς την γη 30 kA και διάρκεια σφάλματος 1 sec.

Στη συνέχεια πρέπει να γίνει τοπογραφική μελέτη και η προβλεπόμενη ανάπτυξη και χωροθέτηση του Η/Μ εξοπλισμού. Στη συνέχεια, αφού αποκτηθούν οι αδειοδοτήσεις από τις αντίστοιχες υπηρεσίες, όπως την

αρχαιολογική και την περιβαλλοντική άδεια για την οποία χρειάζεται η αντίστοιχη μελέτη, το οικόπεδο μπορεί να αποκτηθεί μέσω φιλικού διακανονισμού ή απαλλοτρίωσης.

Η εγκατάσταση των γραμμών μεταφοράς γίνεται κυρίως με δύο τρόπους: 1) με τη χρησιμοποίηση εναέριων γραμμών σε ασφαλές ύψος από το έδαφος, 2) με τη χρησιμοποίηση υπόγειων γραμμών, δηλαδή με τη διαδρομή των αγωγών εντός εδάφους. Η πρώτη περίπτωση κατηγοριοποιείται σε δύο είδη γραμμών: στις γραμμές απλού κυκλώματος και στις γραμμές διπλού κυκλώματος [12,13].

Μια γραμμή απλού κυκλώματος έχει τρεις αγωγούς, οι οποίοι φέρουν ηλεκτρικό ρεύμα, που είναι στερεωμένοι σε πυλώνες τύπου ενός κυκλώματος, όπως φαίνεται στη φωτογραφία 3.1. Από την άλλη, μια γραμμή διπλού κυκλώματος διαθέτει έξι αγωγούς οι οποίοι αντίστοιχα τοποθετούνται σε πυλώνες τύπου διπλού κυκλώματος.



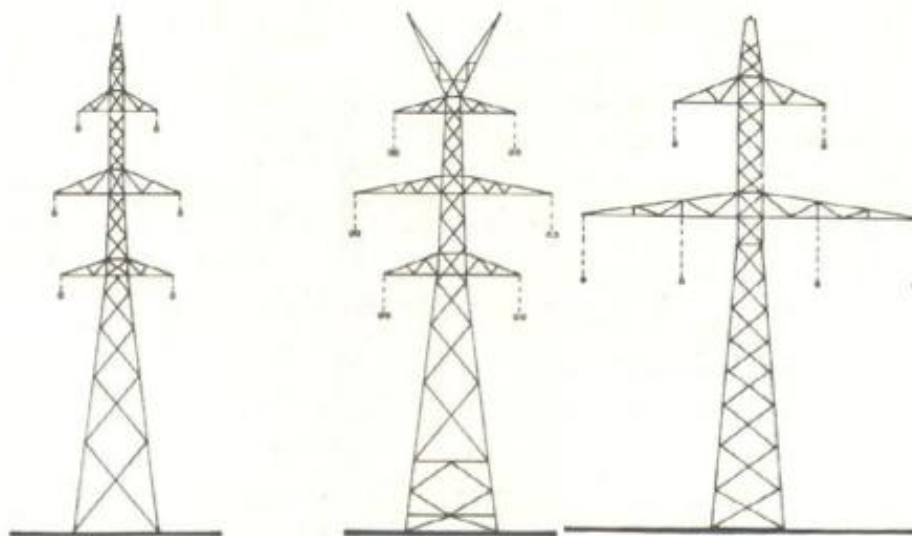
Φωτογραφία 3.1: Τύποι πυλώνων γραμμών μεταφοράς υψηλής και υπερυψηλής τάσης ενός κυκλώματος (ο πρώτος είναι τύπου Η με ξύλινους φορείς)

Η διαφορά των δύο τύπων γραμμών έγκειται στην ισχύ που μπορεί να μεταφέρει η γραμμή, καθώς η γραμμή διπλού κυκλώματος έχει μεγαλύτερη

ικανότητα μεταφοράς απ' ότι η γραμμή απλού κυκλώματος. Ωστόσο, η γραμμή διπλού κυκλώματος έχει μειωμένη αξιοπιστία μεταφοράς καθώς υπάρχει σημαντική πιθανότητα ταυτόχρονης βλάβης και των δύο κυκλωμάτων, όπως επίσης περιπτώσεις μηχανικής βλάβης ενός ή περισσοτέρων πυλώνων ή περιπτώσεις προσβολής της γραμμής από κεραυνό. Στην Ελλάδα, λόγω της μορφολογίας του εδάφους, χρησιμοποιούνται ευρύτατα οι γραμμές διπλού κυκλώματος, καθώς ενδείκνυνται για περιοχές όπου είναι δύσκολη η εξεύρεση επαρκών διαδρόμων διέλευσης, όπως σε περιπτώσεις ορεινού χαρακτήρος του εδάφους. Επιπλέον, αν και μη αξιόπιστες, οι γραμμές αυτές έχουν και το πλεονέκτημα του μικρότερου κόστους μεταφοράς.

Να σημειωθεί ότι το κόστος των υπογείων γραμμών είναι πολλαπλάσιο του κόστους των εναέριων και δικαιολογείται μόνο όταν υπάρχουν σημαντικοί λόγοι αισθητικής του περιβάλλοντος, ασφαλείας ή δυσχερειών στην εξεύρεση ζωνών διελεύσεως, οι οποίοι καθιστούν ανεπιθύμητη ή και ανέφικτη την μεταφορά με εναέριες γραμμές.

Τέτοιες συνθήκες συναντώνται στις πόλεις και γενικώς σε κατοικημένες περιοχές. Οποσδήποτε λοιπόν η εξεύρεση κατάλληλων υπόγειων διαβάσεων είναι ένα βασικό πρόβλημα των υπογείων γραμμών. Οι υπόγειες γραμμές εγκαθίστανται είτε κάτω από τα πεζοδρόμια, είτε κάτω από τα καταστρώματα των οδών. Στις ελληνικές πόλεις εφαρμόζεται κατά κανόνα η πρώτη από τις ανωτέρω τεχνικές στις περιπτώσεις διαμορφωμένων οδών, στις οποίες υπάρχει επαρκής χώρος κάτω από τα πεζοδρόμια, τον οποίο μοιράζονται με τα υπόγεια δίκτυα άλλων κοινοφελών επιχειρήσεων.



Φωτογραφία 3.2: Τύποι πυλώνων γραμμών μεταφοράς υψηλής και υπερυψηλής τάσης δύο κυκλωμάτων.

Τα καλώδια των υπόγειων γραμμών εγκαθίστανται εντός του εδάφους σε διάφορα βάθη, με δεδομένο πως όσο υψηλότερη είναι η τάση της γραμμής, τόσο μεγαλύτερο είναι και το βάθος τοποθέτησης, ώστε τα καλώδια υψηλής τάσης να κατέχουν το μεγαλύτερο βάθος και τα καλώδια χαμηλής τάσης, το μικρότερο.

Το χώμα το οποίο τοποθετείται πάνω από τα καλώδια, είναι λεπτόκοκκο χωρίς πέτρες, αφενός για την καλύτερη απαγωγή της εκλυόμενης θερμότητας, αφετέρου δε για να αποφευχθεί τραυματισμός των καλωδίων από τις πέτρες. Επιπλέον, για την μηχανική προστασία των καλωδίων, τοποθετούνται πάνω από αυτά, και σε όλο το μήκος της διαδρομής της γραμμής, τούβλα ή επιμήκεις πλάκες, συνήθως από τσιμέντο. Οι πλάκες αυτές, οι οποίες τοποθετούνται περίπου 20 cm επάνω από τα καλώδια και φέρουν έντυπες αναγνωριστικές ενδείξεις, προστατεύουν τα καλώδια από τις σκαπάνες και τα άλλα μηχανικά μέσα εκσκαφής των πεζοδρομίων. Παραταύτα, οι ηλεκτρικές βλάβες των υπογείων γραμμών, οι οφειλόμενες σε μηχανικές αιτίες, όπως χτυπήματα κατά τις εκσκαφές, ιδίως στα καλώδια μέσης τάσης και χαμηλής τάσης, είναι από τις πιο συνήθεις.

Αν η εγκατάσταση του υποσταθμού έχει να κάνει με την τροφοδότηση μιας βιομηχανικής εγκατάστασης, θα πρέπει να καθοριστεί η θέση της ως προς το δίκτυο των 150kV. Ο υπολογισμός της απόστασης αυτών των δύο σημείων είναι πολύ σημαντικός, καθώς θα καθορίσει το κόστος των γραμμών των 150, 20 kV και της διασύνδεσης του υποσταθμού με το δίκτυο της ΔΕΗ. Τα τυποποιημένα είδη γραμμών μεταφοράς που χρησιμοποιεί η Δ.Ε.Η. είναι μέχρι σήμερα τα εξής:

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΤΑΣΗ (kV)	ΚΥΚΛΩΜΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΩΝ ΑΝΑ ΦΑΣΗ (ΤΥΠΟΣ ACSR)	
			(MCM)	mm ²
66	ΑΠΛΟ	E/66	1x336.4	1x170
150	ΑΠΛΟ	E/150	1x336.4	1x170
150	ΑΠΛΟ	B/150	1x636.0	1x322
150	ΔΠΛΟ	2B/150	1x636.0	1x322
400	ΑΠΛΟ	B'B'/400	2x954.0	2x483
400	ΔΠΛΟ	2B'B'/400	2x954.0	2x483
400	ΑΠΛΟ	B'B'B'/400	3x954.0	2x483

Πίνακας 1: Τυποποιημένα είδη γραμμών μεταφοράς

Ο χαρακτηρισμός μιας γραμμής αφορά τον τύπο της γραμμής (ελαφρού ή βαρέως ή υπερβαρέως τύπου, E, B και B' αντίστοιχα), τον αριθμό των κυκλωμάτων (το 2 υποδηλώνει γραμμή διπλού κυκλώματος) ενώ το B'B' στον χαρακτηρισμό των γραμμών 400 kV αναφέρεται στη χρησιμοποίηση δύο αγωγών, στερεωμένων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους ανά φάση (και κύκλωμα). Όλοι οι αγωγοί είναι τύπου ACSR, οι διατομές των αγωγών μεταφοράς εκφράζονται σε milcirculamils (MCM) σύμφωνα με την

αμερικανική τυποποίηση και αναφέρονται στην επιφάνεια του ΑΙ της σύνθετης διατομής ACSR ($1 \text{ MCM}=0.5067 \text{ mm}^2$). Από χάρτες των εξεταζόμενων περιοχών, αφού ληφθεί υπόψιν το είδος των γραμμών που περνάνε από την περιοχή, θα υπολογιστεί το απαιτούμενο κόστος βάσει της χιλιομετρικής απόστασης από τις εξεταζόμενες θέσεις και το μοναδιαίο κόστος των γραμμών μεταφοράς. Το κόστος διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος της γραμμής. Για παράδειγμα, το κόστος για μια γραμμή μεταφοράς τύπου E/150, με βάση τις τιμές του 2001, ανέρχεται στα 54.300 €/km, ενώ το κόστος για μια γραμμή 2B/150 είναι 93.900 €/km. Επομένως, το τελικό το κόστος της γραμμής υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Κόστος γραμμής} = \text{Μήκος γραμμής} \times \text{Κόστος ανά χιλιόμετρο} \quad (1)$$

Όσον αφορά στον υπολογισμό του κόστους των γραμμών των 20 kV, ισχύουν τα παρακάτω:

Κόστος Γραμμών 20 kV (τα ποσά σε € ανά χιλιόμετρα)		
	Απλή γραμμή	Διπλή γραμμή
Εναέρια	29.000	35.000
Υπόγεια	88.000	132.000

Πίνακας 2: Μοναδιαίου Κόστος γραμμών 20 kV

Ένα επιπλέον κριτήριο που επηρεάζει τη μελέτη της χωροθέτησης ενός υποσταθμού είναι οι απώλειες ισχύος των γραμμών. Γενικότερα, όταν ένα τμήμα τριφασικής γραμμής, ωμικής αντίστασης $R_l \cdot (\Omega)$ διαρρέεται από ρεύμα I (A), έχουμε απώλεια ισχύος:

$$\Delta P = 3R_l I^2 \text{ (W)} \quad \text{ή} \quad \Delta P = 0,003R_l I^2 \text{ (KW)} \quad (2)$$

Όταν, από το αντίστοιχο τμήμα της γραμμής, το μέγιστο φορτίο της γραμμής είναι I_{\max} , το μήκος του είναι L (km), ενώ η ωμική του αντίσταση είναι R_l

$=R \cdot L$, όπου R η ανά χιλιόμετρο ωμική αντίσταση της γραμμής ($R=\Omega/\text{km}$), τότε η ετήσια μέγιστη απώλεια ισχύος θα είναι:

$$\Delta P = 0,003R \cdot L \cdot I_{\max}^2 \text{ (KW)} \quad (3)$$

Αν η γραμμή συνίσταται από τα τμήματα μήκους L_1, L_2, \dots, L_n , που αντίστοιχα έχουν αντίσταση R_1, R_2, \dots, R_n και τα αντίστοιχα ρεύματα κατά το χρόνο μεγίστου της γραμμής είναι I_1, I_2, \dots, I_n , τότε η συνολική μέγιστη απώλεια ισχύος θα είναι:

$$\Delta P = 0,003 \cdot \sum_{\kappa=1}^{\kappa=n} R_{\Gamma\kappa} I_{\kappa}^2, \quad R_{\Gamma\kappa} = R_{\kappa} \cdot I_{\kappa} \quad (4)$$

Για γραμμή ενιαίας διατομής με αντίσταση $R(\Omega/\text{Km})$

$$\Delta P = 0,003R \cdot \sum_{\kappa=1}^{\kappa=n} L_{\kappa} I_{\kappa}^2 \quad (5)$$

Για τον υπολογισμό της μέγιστης ετήσιας απώλειας ισχύος της γραμμής, το φορτίο του πρώτου τμήματος I_1 λαμβάνεται εκείνο του ετησίου μεγίστου της γραμμής, που γενικά το γνωρίζουμε. Τα υπόλοιπα φορτία $I_2, I_3 \dots, I_n$, λαμβάνονται ανάλογα των αντιστοιχών εγκατεστημένων φορτίων $I'_2, I'_3 \dots, I'_n$. Αν το άθροισμα των εγκατεστημένων φορτίων της γραμμής είναι P_e (σε kVA), ενώ το ετήσιο μέγιστο αυτής είναι P_{\max} , τότε για να βρούμε τα φορτία συμμετοχής στην αιχμή της γραμμής των τμημάτων 1, 2, ... , n, πολλαπλασιάζουμε τα $I'_1, I'_2, I'_3 \dots, I'_n$ με το λόγο:

$$J = \frac{P_{\max}}{P_e} \quad (6)$$

Δηλαδή:

$$I_1 = I'_1 \cdot j = I'_1 \cdot \frac{P_{\max}}{P_e} = I'_1 \cdot \frac{I_{\max}}{I'_1} = I_{\max}, \quad I_2 = I'_2 \cdot j, \quad I_3 = I'_3 \cdot j, \dots, \quad I_n = I'_n \cdot j \quad (7)$$

Εδώ γίνεται η παραδοχή ότι η συμμετοχή διαφόρων τμημάτων της γραμμής στο μέγιστο αυτής, είναι ανάλογη των εγκατεστημένων φορτίων. Η αρχή αυτή,

όταν έχουμε μεγάλο αριθμό τμημάτων, προσεγγίζει αρκετά την πραγματικότητα. Να σημειωθεί ότι υπολογισμός των απωλειών υπολογίζεται διαφορετικά εάν το φορτίο είναι ομοιόμορφα ή τριγωνικά κατανεμημένο. Στην πρώτη περίπτωση, αν η γραμμή συνολικού μήκους L (km) με αντίσταση R (Ω/km) έχει ένα μέγιστο ετήσιο φορτίο I_{\max} , τότε θεωρούμε ότι είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο σε όλο το μήκος της και οι απώλειες υπολογίζονται από την σχέση:

$$\Delta P = R \cdot L \cdot I_{\max}^2 \text{ (W)} \quad (8)$$

Ενώ εάν το φορτίο είναι τριγωνικά κατανεμημένο, τότε:

$$\Delta P = \frac{3}{5} \cdot R \cdot L \cdot I_{\max}^2 \text{ (W)} \quad (9)$$

Αναφορικά, οι ετήσιες απώλειες ενέργειας από ένα τμήμα γραμμής αντίστασης R_{Γ} μπορούν να υπολογιστούν από τον παρακάτω τύπο:

$$\Delta E = 0,003 \cdot 8760 \cdot R_{\Gamma} \cdot I_{\max}^2 \cdot F_A \quad (10)$$

όπου F_A ο συντελεστής απωλειών και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{συντελεστής απωλειών } F_A = \frac{\int_0^{8760} (t) \cdot dt}{8760 \cdot I_{\max}^2} \quad (11)$$

Για να βρούμε το κόστος απωλειών ισχύος και ενέργειας μιας γραμμής πρέπει να γνωρίζουμε το κόστος ισχύος και ενέργειας της επιχείρησης στο ήδη υπάρχον έτος. Το κόστος αυτό, που λαμβάνεται σαν το μακροχρόνιο οριακό κόστος, καθορίζεται από το κόστος στην έξοδο της προηγούμενης βαθμίδας. Έτσι, το κόστος απωλειών υψηλής τάσης καθορίζεται από το κόστος στους ζυγούς υψηλής τάσης, στους υποσταθμούς ΥΥΤ/ΥΤ ή στους υποσταθμούς ανυψώσεως των εργοστασίων παραγωγής. Το κόστος απωλειών μέσης τάσης καθορίζεται από το κόστος στους ζυγούς μέσης τάσης των υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ. Ακολούθως, το κόστος χαμηλής τάσης καθορίζεται από το κόστος στην έξοδο των μετασχηματιστών ΜΤ/ΧΤ.

Έστω, λοιπόν, ότι έχουμε ένα κόστος ισχύος a ευρώ/KW ανά έτος και ένα κόστος ενέργειας β ευρώ/KWh. Το κόστος αναφέρεται στην αιχμή του συστήματος. Αν η γραμμή που εξετάζουμε έχει ετήσιο μέγιστο P_{\max} , ενώ κατά το χρόνο της αιχμής του συστήματος έχει φορτίο P_{α} , τότε το κόστος των απωλειών ισχύος θα πρέπει να υπολογιστεί με το φορτίο P_{α} . Δηλαδή, $\Delta P = 3RI_{\alpha}^2$.

$$\text{συντελεστής ετεροχρονισμού απωλειών ισχύος } m = \left[\frac{P_{\alpha}}{P_{\max}} \right]^2 \quad (12)$$

Ο συντελεστής m εξαρτάται από το είδος των φορτίων της γραμμής. Αν π.χ. έχουμε αστική γραμμή, που το μέγιστο της συμπίπτει χρονικά με την αιχμή του συστήματος, τότε $m=1$, ενώ για αρδευτική γραμμή $m=0$, όταν η αιχμή του συστήματος είναι χειμερινή και $m=1$, αν η αιχμή είναι θερινή.

Έστω γραμμή μήκους L (km), που έχει συντελεστή φορτίου F και συντελεστή απωλειών F_A . Το ετήσιο κόστος απωλειών ισχύος θα είναι:

$$\alpha \cdot 0,003R \cdot L \cdot I_{\alpha}^2 = m \cdot \alpha \cdot 0,003R \cdot L \cdot I_{\max}^2 \quad (13)$$

ενώ το αντίστοιχο ετήσιο κόστος ενέργειας θα είναι:

$$\beta \cdot 0,003R \cdot L \cdot I_{\max}^2 \cdot F_A \cdot 8760 \quad (14)$$

Έτσι το συνολικό κόστος απωλειών ενέργειας και ισχύος θα είναι:

$$K = 0,003R \cdot (m \cdot a + 8760 \cdot \beta \cdot F_A) \cdot L \cdot I_{\max}^2 \quad (15)$$

Θέτουμε:

$$Y = 0,003R \cdot (m \cdot a + 8760 \cdot \beta \cdot F_A) \quad (16)$$

οπότε:

$$K = Y \cdot L \cdot I_{\max}^2 \quad (17)$$

Για κάθε είδος γραμμής βρίσκουμε το συντελεστή Y , για τους διάφορους συντελεστές φορτίου, τον συντελεστή ετεροχρονισμού ισχύος m και το κόστος ισχύος και ενέργειας.

R : Ωμική αντίσταση γραμμής (Ω/km)

m : Συντελεστής ετεροχρονισμού ισχύος

α : Κόστος ισχύος ευρώ/ $\text{KW} \cdot \text{έτος}$ (προηγούμενης βαθμίδας)

β : Κόστος ενέργειας ευρώ/ KWh (προηγούμενης βαθμίδας)

F_A : Συντελεστής απωλειών ($F_A = 0,3F + 0,7F^2$)

F : Ετήσιος συντελεστής φορτίου

L : Μήκος γραμμής (km)

I_{\max} : Ετήσιο μέγιστο φορτίο της γραμμής (A)

K : Ετήσιο κόστος απωλειών ισχύος και ενέργειας (ευρώ/έτος)[15, 16]

3.3 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Υποσταθμού υποβιβασμού τάσεως 150/20kV [33]

Το μεγαλύτερο τμήμα του συστήματος στην Ελλάδα βρίσκεται στα 150 kV. Στον Υ/Σ μεταφοράς υπάρχει συνήθως ενσωματωμένος και ένας Υ/Σ διανομής των 20 kV. Η γραμμή των 150 kV μπορεί να τερματίζει στον Υ/Σ οπότε είναι αντέννα, συνήθως όμως απλά περνάει από τον Υ/Σ για να τον τροφοδοτήσει και ξαναφεύγει. Στην είσοδο και στην έξοδο της γραμμής τοποθετούνται χειροκίνητοι Α/Ζ 150 kV με γειωτές για να μπορούν να απομονώσουν πλήρως τον Υ/Σ. Το ρεύμα έρχεται στις Μπάρες ή Ζυγούς των 150 kV που αποτελούνται από σωλήνες χαλκού ή από αγωγούς που μοιράζουν το ρεύμα στον Υ/Σ. Ένας Υ/Σ μπορεί να έχει μια Πύλη ή Κυψέλη Μ/Σ Ισχύος ή και περισσότερες. Οι Μ/Σ αυτοί μετασχηματίζουν την τάση των 150 kV σε 20 kV (ή 15 kV) και είναι τα σπουδαιότερα και ακριβότερα μηχανήματα του Υ/Σ.

Γι' αυτόν το λόγο υπάρχουν διάφορα συστήματα προστασίας, που όταν δουλέψουν, θα απομονώσουν τον Μ/Σ Ισχύος. Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά στην προστασία των μετασχηματιστών, συνήθως στην πλευρά των 150 kV του Μ/Σ συνδέεται Ηλεκτροκίνητος Α/Ζ (Ασφαλειοαποζεύκτη) και Αυτόματος Διακόπτης 150 kV. Όμοια συνδέεται και στην πλευρά των 20 kV του Μ/Σ Αυτόματος Διακόπτης 20 kV. Οι διακόπτες αυτοί μπορεί να είναι Ελαιοδιακόπτες, Αεροδιακόπτες ή Διακόπτες πτωχού ελαίου. Η λειτουργία τους δηλαδή το άνοιγμα και το κλείσιμο τους, μπορεί να γίνει αυτόματα, δηλαδή με εντολές που θα πάρουν από τα ρελέ της προστασίας ή κατόπιν χειρισμού.

Συνήθως οι Υ/Σ 150/20 kV έχουν ένα μόνιμο προσωπικό τους "επιτηρητές" του Υ/Σ που κάνουν τους αναγκαίους χειρισμούς και καταγράφουν τις ενδείξεις των οργάνων μέτρησης. Αναφέρουμε ότι, γενικά, οι διακόπτες 150 kV και 20 kV είναι διακόπτες ισχύος, μάλιστα, με ισχύ διακοπής πολύ μεγαλύτερη από το κανονικό φορτίο. Κι αυτό γιατί οι διακόπτες αυτοί θα διακόψουν κάποτε, μετά από εντολές των Η/Ν (Ηλεκτρονόμων) προστασίας,

φορτίο σε στιγμή που έχει συμβεί βραχυκύκλωμα. Σημειώνεται ότι η Διεύθυνση Προγραμματισμού κάνει μελέτη βραχυκυκλωμάτων και κατά-γράφει τις τιμές των ρευμάτων σε τριφασικό και μονοφασικό προς γη βραχυ-κύκλωμα στο σημείο του Υ/Σ. Οι αναχωρήσεις των 20 KV αποτελούνται από ένα Διακόπτη 20 kV και από τρεις A/Z 20 kV. Οι δύο A/Z βρίσκονται εκατέρωθεν του Διακόπτη και ο τρίτος A/Z δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης της αναχώρησης στους βοηθητικούς Ζυγούς των 20 kV.



Φωτογραφία 3.3: Υπαίθριος Υποσταθμός 150kV Βιομηχανικής Μονάδας Πολυπροπυλενίου [1]

Όλα τα υλικά του εξοπλισμού και τα βοηθητικά για τις μετρήσεις και τις τηλεπικοινωνίες στηρίζονται ή ενώνονται με ειδικές σιδερένιες κατασκευές, που αποτελούνται από δικτυώματα κατασκευασμένα από ελάσματα, ενώ η μεταφορά του ρεύματος προς τη Διανομή γίνεται με κατάλληλες μπάρες χαλκού. Μέσα στο Κτίριο Ελέγχου του Υ/Σ στεγάζονται το προσωπικό του

Υ/Σ, τα όργανα μετρήσεων, τα ρελέ προστασίας και τα βοηθητικά ρελέ, τα όργανα χειρισμών από απόσταση και οι βοηθητικές παροχές.

Η διαμόρφωση των Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, από τους οποίους τροφοδοτούνται τα δίκτυα ΜΤ, είναι βασικής σημασίας για την καλή λειτουργία των Δικτύων Διανομής. Η σύνδεση των Υ/Σ γίνεται μέσω ζυγών. Οι ζυγοί διαχωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες και η σύνδεση τους μπορεί να είναι απλή ή περισσότερη πολύπλοκη.

Οι διαστάσεις του Υ/Σ κλειστού χώρου είναι σημαντικά μικρότερες από ότι του εξωτερικού χώρου. Παραταύτα, η ανάγκη ακόμη μεγαλύτερης μείωσης των διαστάσεων των Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, όταν κατασκευάζονται στα κέντρα των πόλεων, οδήγησε στην ανάπτυξη εξοπλισμού ΥΤ, του οποίου η μόνωση δεν βασίζεται στις μονωτικές ικανότητες του αέρα αλλά σε αέριο υπό πίεση (SF₆) ή και στερεά μονωτικά.

Η Διάταξη ενός Υ/Σ καθορίζεται από τον Υποτομέα Προμελετών, σύμφωνα με τις απαιτήσεις της "Μελέτης Αναπτύξεως του Συστήματος Μεταφοράς", που καταρτίζει η Διεύθυνση Προγραμματισμού. Όλα τα υλικά που χρησιμοποιεί ο Τομέας Μελετών Υ/Σ / ΔΜΚΜ αναφέρονται στους ειδικούς πίνακες Υπαίθριου Ηλεκτρολογικού Εξοπλισμού. Γενικοί κανόνες πάνω στη χρήση του κυριότερου ηλεκτρολογικού εξοπλισμού είναι οι εξής:

1. Οι Α/Ζ Γραμμών 150 kV είναι πάντοτε χειροκίνητοι με γειωτές. Η θέση που θα τοποθετηθούν εξαρτάται από τη διάταξη του Υ/Σ και ανάλογα διαλέγουμε τον κατάλληλο τύπο Α/Ζ.



Φωτογραφία 3.4: Αποζεύκτες και γειωτές Υποσταθμού [1]

2. Οι A/Z 150 kV πυλών M/Σ είναι πάντοτε ηλεκτροκίνητοι. Για τη θέση τους και την εκλογή τους ισχύει ότι και για την περίπτωση (1). Ο A/Z αυτός αλληλοασφαλίζεται με το διακόπτη των 150 kV ώστε να μην μπορεί να ανοίξει αν πρώτα δεν ανοίξει ο διακόπτης των 150kV.

3. Για την απόζευξη των M/Σ ισχύος χρησιμοποιούνται στην πλευρά των 150 kV διακόπτες 150 kV, με ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που επιλέγονται όπως παραπάνω.

4. Στην πλευρά των 20 kV της πύλης του M/Σ εγκαθίσταται διακόπτης 20 kV, 1200 A, που ονομάζεται Κεντρικός Διακόπτης της πύλης του M/Σ. Στην περίπτωση που έχει εγκατασταθεί στην πλευρά της υψηλής τάσεως έμβολο τεχνητού σφάλματος πρέπει να εγκατασταθεί οπωσδήποτε Κεντρικός Διακόπτης 20 kV. Οι διακόπτες των 20 kV διακρίνονται εκτός από την ονομαστική τους ένταση και για τους M/Σ Εντάσεως που φέρουν στους πόλους τους. Για τους κεντρικούς διακόπτες, οι σχέσεις των M/Σ Εντάσεως δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία, μιας και δεν χρησιμοποιούνται, και γι' αυτό το

βραχυκυκλώνονται· εκτός εάν υπάρχει Διαφορική Προστασία Ζυγών. Συνήθως χρησιμοποιούνται διακόπτες με σχέσεις Μ/Σ.Ε. 2000/5 Α και 950-720/0.58 Α.

5. Όταν σε έναν Υ/Σ υπάρχουν δύο πύλες Μ/Σ 150/20 kV, χωρίζονται οι κύριοι Ζυγοί των 20 kV με έναν Διασυνδεδετικό Διακόπτη 20 kV, 2000 Α. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα να τροφοδοτηθούν τα φορτία του Υ/Σ και από τους δύο Μ/Σ όταν αυτοί μπορούν να δουλέψουν παράλληλα. Αν οι Μ/Σ είναι 40/50 MVA, ο διασυνδεδετικός διακόπτης μένει ανοικτός σε κατάσταση ομαλής λειτουργίας, γιατί δεν μπορούν να παραλληλιστούν οι Μ/Σ αυτοί. Μόνο όταν ένας από τους Μ/Σ 40/50 MVA λειτουργεί, μπορεί να κλείσει ο διασυνδεδετικός διακόπτης και να τροφοδοτηθούν τα φορτία του Υ/Σ (όσα σηκώνει) από αυτόν τον Μ/Σ. Οι Μ/Σ Εντάσεως του Διασυνδεδετικού Διακόπτη πρέπει να έχουν σχέση 950/0.58 Α για τα 15 kV, 720/ 0.58 Α για τα 20 kV ή σε περίπτωση που εγκαθίσταται Διαφορική Προστασία Ζυγών 20 kV, σχέση 400/1 Α (2000/5 Α).

6. Μία πύλη 20 kV (ή 15 kV) αποτελείται, σαν εξοπλισμός, από έναν Διακόπτη 20 kV (ή 15 kV) και από τρας Α/Ζ 20 kV (15 kV) που δίνουν την δυνατότητα να συνδεθεί η πύλη στους Κύριους ή στους Βοηθητικούς Ζυγούς (Ζυγούς Μεταγωγής). Οι διακόπτες 20 kV που προμηθεύεται η ΔΝΕΜ τελευταία είναι 1200 Α, 500 MVA και με σχέσεις Μ/Σ εντάσεως 950/0.58 Α για 15 kV, 720/ 0.58 Α για τα 20 kV και 600-400-200/5 Α ή 400/1 Α και 600-400-200/5 Α όταν εγκαθιστούμε Διαφορικά Ζυγών 20 kV. Σημειώνεται ότι η τάση των 15 kV τείνει να εξαλειφθεί από το σύστημα.

7. Οι Μ/Σ ισχύος 150/20 kV (15 kV) που χρησιμοποιεί η ΔΝΕΜ είναι μεγέθους 40/50 MVA διαφόρων κατασκευαστών. Με τις καινούριες παραγγελίες γίνεται προμήθεια Μ/Σ των δύο τελευταίων μεγεθών και με δυνατότητα αυτόματης ρύθμισης τάσης. Από τους Μ/Σ αυτούς, οι 40/50 MVA δεν μπορούν να παραλληλισθούν, γιατί ο υπόλοιπος εξοπλισμός δεν μπορεί να αντέξει στο μέγεθος του σφάλματος που θα εμφανιστεί σε περίπτωση παράλληλης λειτουργίας. Κάθε Μ/Σ φέρει πόλους της υψηλής τάσεως Μ/Σ Εντάσεως που

χρησιμοποιούνται για τη Διαφορική Προστασία του Μ/Σ. Οι εσωτερικές προστασίες του Μ/Σ, π.χ. θερμοκρασία λαδιού BUCHHOLZ κ.τ.λ., είναι λίγο πολύ ίδιες σε όλους, εξαρτώνται πάντως από τον κατασκευαστή.

8. Σαν βοηθητικός εξοπλισμός υπάρχουν ακόμη:

- a) τα τρία αλεξικέραυνα στο δευτερεύον του Μ/Σ.
- b) οι δύο Μ/Σ τάσεως 20-15 kV/ 100 V σε σύνδεση ανοικτού τριγώνου, που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις.
- c) οι τρεις Μ/Σ εντάσεως σχέσεων 1000-500/ 5-5 A για Μ/Σ 20/25 MVA, 2000-1000/ 5-5 A για Μ/Σ 40/50 MVA που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις με το τύλιγμα τους κλάσεως 0.5820 και για προστασία με το τύλιγμα τους κλάσεως 5820.
- d) Ο Μ/Σ εσωτερικής υπηρεσίας 75 kVA για την τροφοδοσία των βοηθητικών φορτίων του Υ/Σ.
- e) Ο πυκνωτής ζεύξεως και η κυματοπαγίδα που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες (φερέσυχνα).

Στους Υ/Σ μεταφοράς διακρίνουμε τα κυκλώματα:

- 1) Υψηλής (150 kV) ή Υπερυψηλής (400 KV) τάσης Ε.Ρ.
- 2) Μέσης Τάσης 20 kV (Στην περιοχή Αθήνας - Πειραιά είναι 22 kV). Σε σταθμούς παραγωγής η τάση αυτή είναι από 15 μέχρι 20 kV.
- 3) Βοηθητικά κυκλώματα του Υ/Σ 230/400 Ε.Ρ.
- 4) Βοηθητικά κυκλώματα του Υ/Σ 110 V Σ.Ρ. Στους σταθμούς παραγωγής είναι 220 Σ.Ρ.
- 5) Βοηθητικά κυκλώματα του Υ/Σ για τις μετρήσεις και λειτουργία των ηλεκτρονόμων.

Εκτός από αυτά τα κυκλώματα θεωρούμε μέρος των ηλεκτρικών κυκλωμάτων και αυτά που είναι με ονομαστική τάση (0) V.

1. Εναέριο κύκλωμα ηλεκτρικής προστασίας
2. Δίκτυο γείωσης.

Σε κάθε υποσταθμό υπάρχει ιδιαίτερος μετασχηματιστής (Μ/Σ) (εσωτερικής υπηρεσίας) που καλύπτει τις ανάγκες σε Ε.Ρ. 230/400V. Τέτοιες ανάγκες είναι:

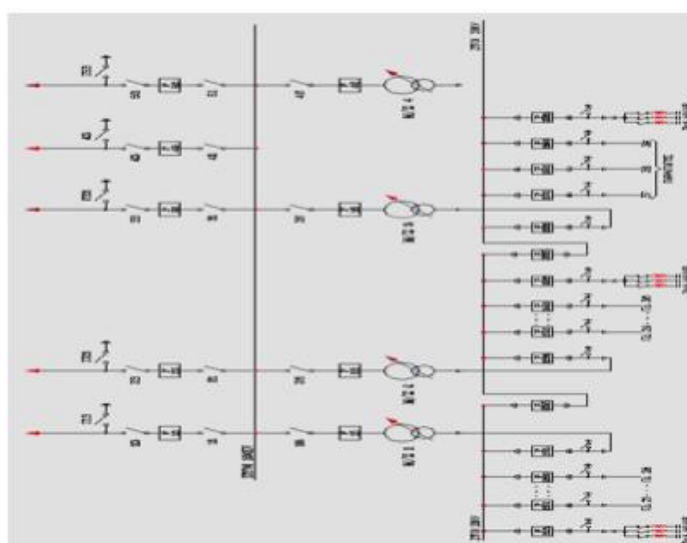
1. Φωτισμός και πρίζες
2. Θέρμανση αίθουσας χειρισμών
3. Λειτουργία κινητήρων των ανεμιστήρων για την ψύξη των Μ/Σ κ.λ.π.

Ένας υποσταθμός υποβιβασμού τάσης από την υψηλή στη μέση τάση (150/20 kV) φαίνεται στη φωτογραφία 1.5 (Υ/Σ Ρουφ).

3.4 Μονογραμμικό Υποσταθμού υποβιβασμού τάσεως 150/20kV [33]

Κάθε χρόνο, μέσω του Ανεξάρτητου Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΔΜΗΕ), εκπονείται προσχέδιο Μελέτης Αναπτύξεως του Συστήματος Μεταφοράς (ΜΑΣΜ), το οποίο υποβάλλεται στην Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ). Η ΡΑΕ, λαμβάνοντας υπ' όψη την υποχρέωση του ΑΔΜΗΕ να διασφαλίσει την απρόσκοπτη πρόσβαση στο Σύστημα, μέσω του πιο οικονομικού, διαφανή και άμεσου τρόπου χωρίς διακρίσεις μεταξύ των Χρηστών ή κατηγοριών Χρηστών, προτείνει στον ΑΔΜΗΕ τροποποιήσεις και συμπληρώσεις του προσχεδίου ΜΑΣΜ, που κρίνει αναγκαίες. Η ΜΑΣΜ έχει χρονικό ορίζοντα πέντε ετών και περιλαμβάνει προγραμματισμό για όλα τα έργα και τις επεκτάσεις. Η ΜΑΣΜ περιλαμβάνει τεχνική περιγραφή και προδιαγραφές, χρονοδιαγράμματα, απαλλοτριώσεις, περιβαλλοντικές μελέτες, προμήθεια υλικών. Το ενδεικτικό Μονογραμμικό είναι το πρώτο βήμα που καθορίζει την περιγραφή ενός Υ/Σ με βάση την επικείμενη μελέτη.

Στο παρακάτω μονογραμμικό διάγραμμα παρουσιάζονται κάποια σύμβολα που αντιστοιχούν στα στοιχεία του Υ/Σ. Διακρίνονται στα 150kV οι μετασχηματιστές υποβιβασμού, οι διακόπτες, οι αποζεύκτες και οι ζυγοί. Στα 20kV επίσης υπάρχουν οι ζυγοί, οι διακόπτες αναχωρήσεως, ο διασυνδετικός, ο διακόπτης Μ/Σ και οι πυκνωτές αντιστάθμισης. Επιπροσθέτως, στο μονογραμμικό διάγραμμα υπάρχουν τα στοιχεία που σχετίζονται **13** με την βασική λειτουργία του Υ/Σ, που είναι ο υποβιβασμός της τάσης από τα 150kV στα 20 kV [16].

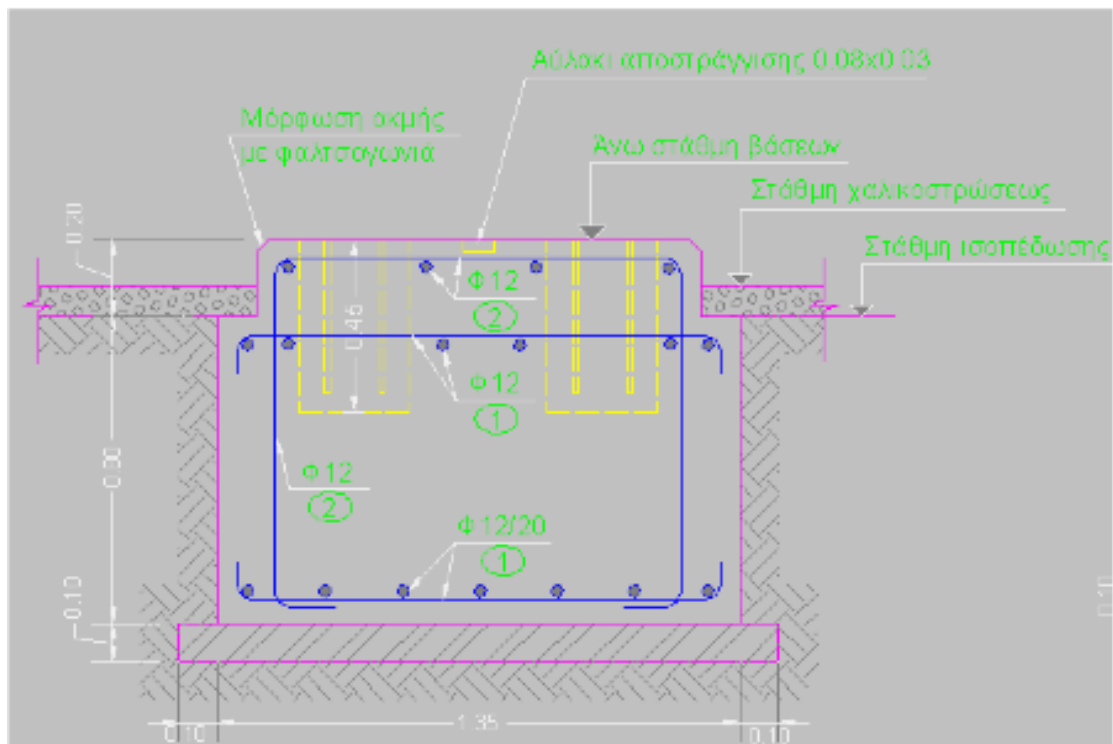


Φωτογραφία 3.5: Μονογραμμικό διάγραμμα υποσταθμού 150 kV

3.5 Έργα Πολιτικού Μηχανικού

Για κάθε μονάδα του Υ/Σ, όπως ο Μ/Σ, ο διακόπτης και τα ικριώματα στήριξης ζυγών, πρέπει να γίνει μία ξεχωριστή μελέτη σχεδιασμού βάσης. Μια τέτοια μελέτη συμπεριλαμβάνει αναλυτική περιγραφή των φορτίων όπως στατική τάνυση, βάρος, ανεμοπίεση, δύναμη από βραχυκύκλωμα, δύναμη λειτουργίας και φορτία από σεισμό μαζί με τα διανύσματά τους. Με βάση τις δυνάμεις, τα σημεία και τον τρόπο διασύνδεσης, αγκύρια, ο πολιτικός μηχανικός επιλέγει τα υλικά προκειμένου να διαμορφώσει τη βάση. Ειδικότερα, γίνεται αναφορά στη χρήση του μείγματος τσιμέντου, της διατομής του σκυροδέματος και του

αριθμού των οπών για την τοποθέτηση των αγκύριων που θα χρησιμοποιηθούν. Στο έργο πολιτικού μηχανικού περιλαμβάνεται μια κάτοψη με όλες τις βάσεις του Η/Μ εξοπλισμού, τους δρόμους, τα κανάλια οδεύσεως καλωδίων και σωλήνων, πιθανά κτίρια καθώς και γενική περιγραφή όλων των παραπάνω με την μορφή υπομνήματος. Στο παρακάτω σχέδιο φαίνεται μια τομή βάσης στήριξης ικρίωματος μονωτήρα 150 kV. Παρατηρούνται οι οπές στις οποίες τοποθετούνται τα αγκίρια στήριξης του ικρίωματος [16].

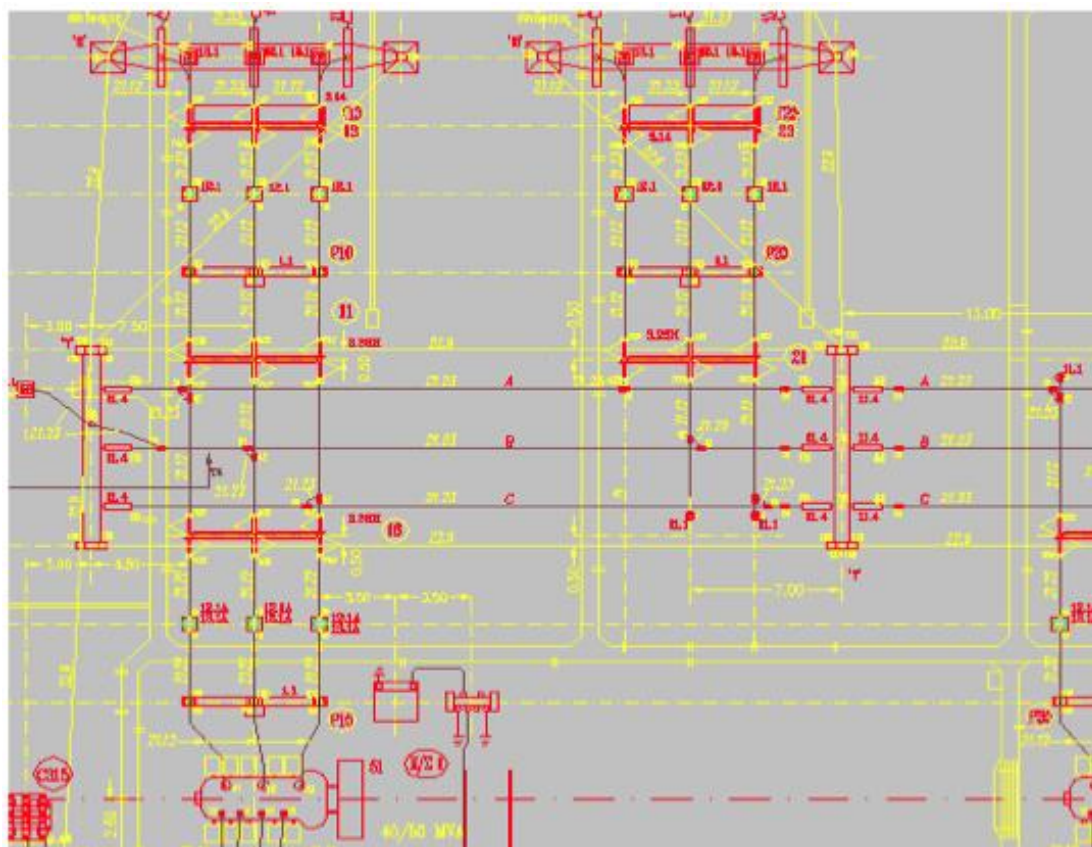


Φωτογραφία 3.6: Τομή βάσης για ικρίωμα στήριξης 150 kV

3.6 Κάτοψη και τομές ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού

Η κάτοψη του Υ/Σ είναι μία από τις βασικότερες μελέτες με προτεραιότητα, καθώς φαίνεται η χωροθέτηση του εξοπλισμού. Στην κάτοψη φαίνεται αναλυτικά η διάταξη και το περιεχόμενο του Υ/Σ, ο οποίος αποτελείται κυρίως από τις πύλες 150 kV, τους ζυγούς, τους μετασχηματιστές και τις αναχωρήσεις 20 kV. Μέσα σε αυτά τα τμήματα διακρίνονται οι διακόπτες, οι αποζεύκτες, οι Μ/Σ εντάσεως, οι Μ/Σ τάσεως, οι πυκνωτές, τα αλεξικέρανα και οι κυματο-

παγίδες. Στην κάτοψη δεν παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας του Η/Μ εξοπλισμού αλλά πρέπει να φαίνονται αναλυτικά τα κριώματα στήριξης, οι μονωτήρες, οι αγωγοί ΥΤ, ΜΤ, οι ζυγοί ΥΤ, ΜΤ και οι σύνδεσμοι μεταξύ τους. Οι ονομασίες των παραπάνω πρέπει να είναι τυποποιημένες για να μπορεί ο κατασκευαστής να βρίσκει το κάθε εξάρτημα και να το τοποθετεί στη σωστή του θέση.



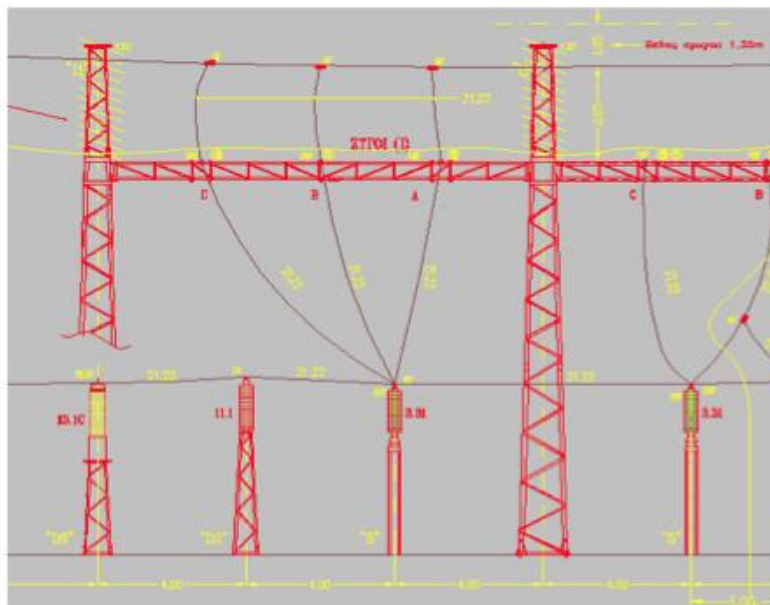
Φωτογραφία 3.7: Τμήμα κάτοψης υποσταθμού 150 kV

Ευκρινείς από την κάτοψη επίσης είναι και οι αποστάσεις ασφαλείας. Έχουν πολύ μεγάλη σημασία γιατί είναι αυτές που έχουν να κάνουν με την διάσπαση του διηλεκτρικού όπως ο αέρας από αγωγό σε αγωγό ή από αγωγό σε γειωμένο σημείο, το οποίο μπορεί να είναι ένα όχημα ή και άνθρωπος. Οι αποστάσεις ασφαλείας για την αντιμετώπιση του τόξου σε γειωμένο σημείο είναι 1,5 μέτρο στα 150 kV και 20 εκατοστά στα 20 kV, δηλαδή 1000 φορές κάτω από το μέγεθος της τάσης. Η απόσταση ασφαλείας από αγωγό σε αγωγό είναι η

διπλάσια της απόστασης από αγωγό σε γειωμένο σημείο [17]. Βέβαια, η επαφή οποιαδήποτε μεταλλικού σημείου, όταν ο υποσταθμός είναι υπό τάση, πρέπει να αποφεύγεται.

Σε μια κάτοψη επίσης φαίνονται οι στήλες τις αντικεραυνικής προστασίας και οι αγωγοί που τις συνδέουν. Μια σωστή αντικεραυνική μελέτη πρέπει να καλύπτει όλο τον Η/Μ εξοπλισμό. Τέλος, σχεδιάζονται διαφορετικές κατόψεις για τον περιμετρικό φωτισμό και τους ρευματοδότες του Υ/Σ. Αυτές οι καταναλώσεις παίρνουν παροχή κατευθείαν από τον πίνακα Ε.Ρ.

Όσον αφορά στις τομές, πρόκειται για σχέδια που συμπληρώνουν την κάτοψη του Υ/Σ. Φτιάχνονται κυρίως στα σημεία που είναι επικίνδυνα, όπως στις διασταυρώσεις ζυγών, μεταβάσεις από ψηλότερα σημεία σε χαμηλότερα ή το αντίθετο, συνδέσεις γραμμών με πύλες και σε σημεία υψηλού ενδιαφέροντος με πολλές λεπτομέρειες, όπως ζυγοί 20 kV, πυκνωτές ή διακόπτες 150 kV [16].



Φωτογραφία 3.8: Τμήμα τομής υποσταθμού 150 kV

Οι αποστάσεις ασφαλείας είναι πιο κατανοητές και βοηθούν στην διευκρίνηση των σημείων σύνδεσης των αγωγών. Στις τομές φαίνονται τα ύψη των κριω-

μάτων και των μονωτήρων στήριξης. Τα ικριώματα των ζυγών είναι από τις **17 πιο** συμπαγείς και στιβαρές μεταλλικές συσκευές, καθώς εκτός από τη στήριξη των ζυγών πρέπει να αντέχουν και στις δυνάμεις Laplace, λόγω βραχυκυκλώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

“ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ”

4.1 Κριτήρια σχεδίασης Υ/Σ [2]

Η φιλοσοφία της σχεδίασης ενός υποσταθμού υψηλής τάσης περιστρέφεται κυρίως γύρω από δύο άξονες: την ασφάλεια και την ευελιξία του συστήματος σε συνδυασμό βέβαια με την οικονομία, την εύκολη συντήρηση και την αξιοπιστία. [18]

Έτσι μπορούμε να διατυπώσουμε τα ακόλουθα κριτήρια σχεδίασης διατάξεων υποσταθμών.

Κριτήριο ασφάλειας εκμετάλλευσης του δικτύου

Σε περίπτωση εσωτερικού σφάλματος στον υποσταθμό (σφάλμα ζυγών) ή σε περίπτωση μη εκκαθαριζόμενου σφάλματος σε μία από τις αναχωρήσεις του υποσταθμού θα πρέπει η απομόνωση και εκκαθάριση του σφάλματος να γίνεται ταχύτατα και με τον μικρότερο δυνατό αριθμό διακοπών ούτως ώστε το μεγαλύτερο δυνατό υγιές τμήμα του υποσταθμού να παραμένει ασφαλές και σε λειτουργία.

Κριτήριο ευελιξίας στην εκμετάλλευση

Είναι συχνά απαραίτητο ένα δίκτυο να μπορεί να διαχωρισθεί προσωρινά σε δύο ή περισσότερα κομμάτια. Για τον λόγο αυτόν ένας υποσταθμός πρέπει να έχει τουλάχιστον δύο ή ακόμα καλύτερα τρεις ζυγούς ούτως ώστε η εκμετάλλευση να έχει την ευελιξία να πραγματοποιεί τις απαιτούμενες

συνδέσεις ή αποσυνδέσεις του δικτύου ανάλογα με τις εκάστοτε λειτουργικές ανάγκες ή ανάγκες συντηρήσεως.

Κριτήριο ελαχίστου πλήθους διακοπών για την εκκαθάριση ενός σφάλματος γραμμής

Συνήθως κάθε αναχώρηση προστατεύεται από ένα μόνο διακόπτη. Η αρχή αυτή εφαρμόζεται στα δίκτυα 150 kV και 400 kV στην Ελλάδα. Έτσι ένα σφάλμα πάνω στην γραμμή προκαλεί συνολικά το άνοιγμα δύο διακοπών, ενός σε κάθε άκρο της γραμμής. Υπάρχουν όμως και διατάξεις υποσταθμών -που δεν έχουν εφαρμοσθεί στην Ελλάδα και οι οποίες περιγράφονται παρακάτω- στις οποίες για την εκκαθάριση ενός σφάλματος γραμμής ανοίγουν δύο διακόπτες σε κάθε ακραίο υποσταθμό. Λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα αποτυχίας ενός διακόπτη και της πολυπλοκότητας των διατάξεων αυτών, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι διατάξεις με ένα διακόπτη ανά αναχώρηση όχι μόνο είναι απλούστερες και οικονομικότερες αλλά και ασφαλέστερες.

Κριτήριο απλότητας των χειρισμών κατά την εκμετάλλευση

Η διάταξη ενός υποσταθμού πρέπει να είναι κατά το δυνατόν απλή, για να μπορούν να γίνονται χειρισμοί αποτελεσματικά και γρήγορα με οδηγίες από το κέντρο κατανομής και, για να έχουν απλή, σύντομη και σαφή μορφή οι οδηγίες αυτές χωρίς να υπάρχει αυξημένη πιθανότητα λάθους. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι το κριτήριο της απλότητας των χειρισμών έρχεται σε αντίθεση με το κριτήριο της ευελιξίας που αναφέρθηκε παραπάνω.

Κριτήριο κόστους και αξιοπιστίας

Είναι δύσκολο να προσδιοριστεί επακριβώς το κόστος ενός υποσταθμού στο πλαίσιο μίας εργασίας. Μπορεί όμως να διατυπωθεί το συμπέρασμα ότι το

κόστος ενός υποσταθμού είναι ανάλογο του αριθμού των διακοπών αυτού. Επιπλέον, για να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα η αξιοπιστία πρέπει να υπάρχουν παράλληλες οδεύσεις, οι οποίες όμως απαιτούν διακόπτες. Έτσι δεχόμαστε ότι και η αξιοπιστία του υποσταθμού είναι ανάλογη των διακοπών.

4.2 Σχεδιασμός ενός Υποσταθμού [2]

Αυτή η ενότητα δίνει χρήσιμες πληροφορίες για το σχεδιασμό των πρωταρχικών παραμέτρων και το γενικότερο εξοπλισμό ενός Υ/Σ σε συνάρτηση με τις απαιτήσεις του συστήματος. Οι επιλογές αναβάθμισης ήδη υπάρχοντων Υ/Σ θα πρέπει να έχουν ήδη εκτιμηθεί. [19]

Τα πρωταρχικά σημεία για τη διαδικασία του σχεδιασμού ενός Υ/Σ είναι τα ακόλουθα:

- 1) Η ανάγκη για ένα νέο Υ/Σ να έχει επιδοκιμαστεί
- 2) Το σύνολο των καθηκόντων του, του φορτίου και γενικά η τοποθεσία να έχει αποφασιστεί.

Γενική τοποθεσία

Συχνά υπάρχουν διάφορες εναλλακτικές για την τοποθεσία ενός νέου Υ/Σ στο δίκτυο και το συνολικό τους κόστους θα πρέπει να υπολογίζεται εξαρχής. Το κόστος της κατασκευής νέων γραμμών μεταφοράς και η ενίσχυση των ήδη υπάρχοντων γίνεται συχνά με την ίδια σειρά που βρίσκονται στον Υ/Σ. Επιπλέον αξίζει να εξετάζονται ποικίλα εναλλακτικά σχέδια για να περιοριστεί το κόστος των γραμμών μεταφοράς.

Επέκταση Υ/Σ

Τόσο η διαθέσιμη έκταση για τον σχεδιασμό του Υ/Σ, ο αριθμός των απερχόμενων τροφοδοτικών διατάξεων των διαφορετικών επιπέδων τάσεων, ο αριθμός των κυρίων μετασχηματιστών, η διάταξη του Υ/Σ και η πιθανότητα επέκτασης, όσο και οι επιλογές διατάξεων αντιστάθμισης θα πρέπει να επιλεγούν για μελλοντικές ανάγκες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διάρκεια ζωής ενός Υ/Σ μπορεί να κυμαίνεται σε 30 με 50 χρόνια.

Είναι πολύ σημαντικό να παρέχεται αρκετός χώρος για επέκταση. Κατά το σχεδιασμό, θα πρέπει να εκτιμηθεί ο απαραίτητος εφεδρικός χώρος και μία καλή πρόγνωση θεωρείται η 100% εφεδρεία απερχόμενων τροφοδοτικών διατάξεων. Η έκταση που απαιτείται, εξαρτάται σημαντικά από τη λειτουργία του Υ/Σ.

Η διαδικασία της επέκτασης, όπως η κατασκευή νέων σταθμών, η επανακατασκευή αυτών ή η επέκταση διατάξεων ζυγών, μπορεί να είναι πολύ δύσκολη και χρονοβόρα, εάν δεν έχει γίνει προηγούμενος σχεδιασμός για αυτήν.

Είναι σημαντικό να καθορίζεται ο αριθμός και το μέγεθος των κυρίων μετασχηματιστών στο τελικό στάδιο ανάπτυξης. Το αρχικό φορτίο αιχμής ενός μετασχηματιστή ισχύος εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων, όπως η διάταξη του δικτύου, η φιλοσοφία της εφεδρείας και το μέγεθος της αύξησης του φορτίου.

Στις περιπτώσεις των GIS (Gas Insulated Substation), είναι σύνηθες να διατηρείται χώρος για έναν αριθμό εφεδρικών σταθμών και επίσης να γίνεται επιτρεπτή η μελλοντική επέκταση του κτιρίου ελέγχου.

Οι απερχόμενοι διάδρομοι γραμμών θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να υπάρχει ο μικρότερος αριθμός διασταυρώσεων μεταξύ των διαφορετικών κυκλωμάτων.

Γενικός έλεγχος

Ο έλεγχος περιλαμβάνει δράσεις που γίνονται κάτω από φυσιολογικές συνθήκες όπως φόρτιση, αποφόρτιση και γείωση τμήματος ενός ζυγού, κτλ. Ο τρόπος που γίνεται αυτός ο έλεγχος μπορεί να εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- 1) Εάν οι διακόπτες λειτουργούν χειροκίνητα ή μηχανικά
- 2) Την παρουσία διακοπών γείωσης
- 3) Εάν ο έλεγχος γίνεται μέσω ενός τοπικού πίνακα ελέγχου ή τοπικού τερματικού υπολογιστή
- 4) Τον βαθμό του αυτοματισμού του Υ/Σ, αλληλουχία ελέγχου
- 5) Τον τηλεχειρισμό από το κτίριο ελέγχου
- 6) Τους κανονισμούς
- 7) Εάν ο σταθμός είναι επανδρωμένος ή όχι

Γενική προστασία

Ο Υ/Σ πρέπει να κατασκευάζεται έτσι ώστε όλα τα πιθανά σφάλματα να περιορίζονται:

- 1) Επιλεκτικά
- 2) Έτσι ώστε η διαβάθμιση ρεύματος σφάλματος των γραμμών και του εξοπλισμού να μην ξεπερνά τα όρια
- 3) Έτσι ώστε να μην προκαλείται κανένας κίνδυνος στο προσωπικό και να πληρούνται οι απαιτήσεις του κώδικα ασφαλείας
- 4) Μέσα σε τέτοιο χρόνο ώστε η σταθερότητα του δικτύου να διατηρείται

- 5) Με τέτοιο τρόπο ώστε το φορτίο και η παραγωγή να διατηρούνται σε ισορροπία

Για κάθε στοιχείο προστασίας παρέχεται συνήθως εφεδρική προστασία και η σημαντική κύρια προστασία διπλασιάζεται.

Τα συστήματα προστασίας μπορούν να διαχωριστούν στις ακόλουθες ομάδες σύμφωνα με τα στοιχεία προστασίας:

- 1) Προστασία γραμμής
- 2) Προστασία μετασχηματιστή
- 3) Προστασία ζυγού διανομής
- 4) Προστασία αποτυχίας διακόπτη
- 5) Προστασία εξοπλισμού αντιστάθμισης

ή ανάλογα με το τύπο προστασίας:

- 1) Προστασία βραχυκυκλώματος
- 2) Προστασία σφάλματος γείωσης
- 3) Προστασία αρμονίας υποσταθμού
- 4) Προστασία υπερφόρτισης
- 5) Προστασία από υπερτάσεις
- 6) Αυτόματες εναλλαγές (αποθήκευση φορτίου, αυτοδιακοπή, τμηματοποίηση δικτύου και διαχωρισμός αυτού)

4.3 Επιλογή της τοποθεσίας του Υ/Σ

Η επιλογή της τοποθεσίας ενός Υ/Σ είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ τεχνικών, οικονομικών, περιβαντολλογικών και διοικητικών παραγόντων.

Με απλά λόγια το πρόβλημα είναι να βρεθεί το πιο κατάλληλο μέρος μέσα σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή, όπου ο Υ/Σ μπορεί να χτιστεί, συμπεριλαμβάνοντας τον συνολικό αριθμό των κυκλωμάτων, τον προορισμό των γραμμών και την ανάλογη ονομαστική ισχύ των μετασχηματιστών.

Τυπικά, το κλίμα και το ύψος σε μία περιοχή είναι σχεδόν το ίδιο, αλλά οι τεχνικοί και περιβαντολλογικοί παράγοντες ποικίλουν. Το πρώτο βήμα είναι να εντοπισθούν πιθανές τοποθεσίες, οι οποίες είναι όσο το δυνατόν πιο ομαλές, με αρκετή διαθέσιμη έκταση, σε λογικό κόστος, με εύκολη πρόσβαση εντός της γενικής τοποθεσίας, χωρίς σημαντικούς περιορισμούς στους διαδρόμους των γραμμών, όπου ο Υ/Σ μπορεί να ανεγερθεί με τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Μία ιδανική θέση είναι οι Υ/Σ να τοποθετούνται κοντά σε ήδη υπάρχοντες διαδρόμους γραμμών ή σε σημεία διασταύρωσης. Μερικές φορές τέτοια σημεία δεν υπάρχουν και η επιλογή θα περιοριστεί σε μέρη που έχουν μόνο κάποια από τα παραπάνω χαρακτηριστικά.

Όταν προσδιοριστούν οι πιθανές τοποθεσίες γίνεται ανάλυση του κόστους, των τεχνικών παραγόντων, καθώς και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και διορθωτικών μέτρων που μπορούν να ισχύσουν, ώστε αυτές να μειωθούν ή και να αποφευχθούν. Αφότου συνεκτιμηθεί η κοινωνική αποδοχή του σχεδίου το μέγεθος της εφικτότητας και το κόστος κάθε εναλλακτικής, στην περίπτωση που δεν βρεθεί καμία κατάλληλη περιοχή, τότε η διαδικασία επανεκινείται με άλλη γενική τοποθεσία.

Περιβαντολλογικοί παράγοντες στη σχεδίαση του Υ/Σ

Παρακάτω ακολουθούν οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που πρέπει να συνυπολογιστούν για τη μείωση των πιθανών επιπτώσεων στο φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον, αφού πολλές από τις πιθανές επιπτώσεις ενός Υ/Σ εξαρτώνται από το αν η τοποθέτησή τους επιβαρύνει ευπαθείς περιοχές.

1. Έδαφος

Η τοποθεσία προτιμάται να είναι σε επίπεδη γη. Αυτό θα μειώνει σημαντικά τις πιθανές επιπτώσεις στα θεμέλια, μειώνοντας την ανάγκη για κινήσεις της γης.

Η περιοχή του Υ/Σ θα πρέπει να μην είναι επιρρεπής σε πλημμύρες. Επίσης δεν θα πρέπει να χτίζεται σε περιοχές με γεωλογικό ενδιαφέρον.

Η έκταση θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη και να έχει αρκετό χώρο να στεγάσει όλο τον εξοπλισμό του Υ/Σ, συμπεριλαμβανομένων και μελλοντικών πιθανών επεκτάσεων.

2. Νερό

Θα πρέπει η επιλογή να είναι τέτοια ώστε να αποφευχθεί οποιαδήποτε ζημιά στη φυσική απορροή, κυρίως στα επιφανειακά τεχνητά ρυάκια, στις υπόγειες δεξαμενές και σε οποιαδήποτε ζημιά του υπόγειου δικτύου.

3. Βλάστηση

Η τοποθέτησή του Υ/Σ, αν είναι δυνατόν, θα πρέπει να γίνεται σε περιοχές με χαμηλή αγροτική παραγωγή ή ακαλλιέργητες εκτάσεις μικρής οικολογικής αξίας.

4. Πανίδα

Θα πρέπει να αποφεύγονται χαρακτηρισμένες περιοχές προστασίας, λόγω των σημαντικών ζωϊκών κοινωνιών, ιδίως προς εξαφάνιση.

5. Πληθυσμός και οικονομία

Ο Υ/Σ θα πρέπει να τοποθετείται σε σημεία μακριά από πολυπληθυσμιακά σημεία, απομονωμένες κατοικίες και περιοχές πιθανής ανάπτυξης. Αυτό δεν ισχύει για Υ/Σ διανομής, οι οποίοι πρέπει να βρίσκονται κοντά στους καταναλωτές που εξυπηρετούν. Αποφεύγονται επίσης περιοχές κοντά σε ορυχεία και περιοχές υψηλού τουρισμού.

6. Πολεοδομία

Για να αποφευχθεί η επιλογή περιοχής υπό ανάπτυξη ή πιθανής ανάπτυξης για το μέλλον, όταν τοποθετείται ένας Υ/Σ, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η πολιτική της πολεοδομίας.

7. Πολιτιστική κληρονομιά

Θα πρέπει να αποφεύγονται οι περιοχές με αρχαιολογική αξία για να αποφευχθεί άμεση ζημιά, όπως φθορά ή καταστροφή αρχαιολογικών μνημείων, ή έμμεση, όπως αισθητική αλλαγή του τοπίου, ως αποτέλεσμα της τοποθέτησης του Υ/Σ στην περιοχή του μνημείου.

8. Υποδομή και άλλος εξοπλισμός

Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η παρουσία άλλων υποδομών, όπως κεραιές τηλεόρασης και ραδιοφώνου, αεροδρόμια αλλά και άλλοι Υ/Σ που ανήκουν σε άλλες ηλεκτρικές εταιρίες, απόβλητα καυσίμων ή εύφλεκτα υλικά, χωματερές ή στρατιωτικές βάσεις, που μπορεί να περιορίσουν την τοποθέτηση του Υ/Σ ή μελλοντική επέκτασή του.

9. Περιοχές φυσικής προστασίας

Επεκτείνοντας το θέμα αποφυγής σημείων με προστατευόμενη πανίδα, ο Υ/Σ θα πρέπει να τοποθετείται μακριά από περιοχές προστατευόμενες, όπως εθνικά και φυσικά πάρκα.

10. Τοπίο

Όποτε είναι δυνατόν, ο Υ/Σ θα πρέπει να τοποθετείται σε περιοχές με μικρό φυσικό κάλλος, αποφεύγοντας περιοχές που ανήκουν στον κατάλογο των καλύτερων φυσικών τοπίων.

Επίσης θα πρέπει να αποφεύγονται δασότοποι, τόσο για το χώρο που χρειάζεται η πτώση ενός δέντρου, όσο για τις οπτικές επιπτώσεις που θα είχε. Η κοντινή παρουσία ενός δάσους, παρόλ' αυτά θα μείωνε την ορατότητα του Υ/Σ και έτσι θα μείωνε της επιπτώσεις στο τοπίο. Η καλύτερη τοποθεσία θα ήταν σε ένα σημείο όπου ο Υ/Σ είναι όσο το λιγότερο ορατός.

4.4 Επιλογή διάταξης υποσταθμού [2]

Γενικά, η επιλογή της διατάξεως που θα χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό ενός υποσταθμού βασίζεται στα παραπάνω κριτήρια και επιπλέον επηρεάζεται από:

- 1) Το επίπεδο ικανοτήτων και εμπειρίας του λειτουργικού προσωπικού
- 2) Την μελλοντική επέκταση και ανάπτυξη του υποσταθμού
- 3) Οικονομία στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης
- 4) Τη διευκόλυνση μελλοντικών επεκτάσεων
- 5) Επανάληψη των κυκλωμάτων δίνοντας εναλλακτικούς δρόμους παροχής
- 6) Το μέγεθος της ισχύος που μεταφέρεται
- 7) Στρατηγική σημασία των κυκλωμάτων

- 8) Τη συνεχή λειτουργία άλλων σημαντικών μερών του δικτύου
- 9) Την αξιοπιστία του υποσταθμού σαν σύνολο και των ξεχωριστών τμημάτων που τον αποτελούν
- 10) Την πρότυπη τακτική του οργανισμού
- 11) Τις απαιτήσεις συντήρησης και τις τεχνικές
- 12) Τους εθνικούς κανονισμούς (για παράδειγμα πότε ή όχι είναι επιτρεπτό να λειτουργεί ελάχιστα ένας αποζεύκτης για να αλλάξει μία συγκεκριμένη διάταξη υποσταθμού χωρίς προσωπική επαλήθευση)

Η επιλογή της διάταξης και οι πιθανές επεκτάσεις ενός υποσταθμού είναι ένα σημαντικό αρχικό βήμα του σχεδιασμού. Ανάμεσα στις αιτίες που επηρεάζουν την απόφαση αυτή είναι η λειτουργική ευελιξία, η ασφάλεια του συστήματος, η αξιοπιστία και διαθεσιμότητα, η ικανότητα να διευκολύνει τον έλεγχο του συστήματος και το κόστος.

α) Λειτουργική ευελιξία.

Προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος της αποσύνδεσης γεννητριών ή καταναλωτών, εξαιτίας σφαλμάτων στα συνιστώμενα μέρη του συστήματος, τα κυκλώματα μεταξύ δύο υποσταθμών συχνά διπλασιάζονται έτσι ώστε η μεταφορά ισχύος να μοιράζεται, για παράδειγμα μεταξύ δύο ξεχωριστών εναέριων γραμμών κυκλωμάτων. Σε μερικές περιπτώσεις είναι επίσης απαραίτητο να περιοριστούν τα επίπεδα βραχυκυκλώσεως. Αυτή η απαίτηση μπορεί να οδηγήσει στην εγκατάσταση αναλογικά μεγαλύτερου αριθμού τμημάτων ζυγών τροφοδοσίας στον υποσταθμό, όταν ο αριθμός των απερχόμενων τροφοδοτικών στοιχείων είναι μεγαλύτερος.

β) Ασφάλεια συστήματος

Τα σφάλματα που γίνονται στα τροφοδοτικά στοιχεία ή στον ίδιο τον υποσταθμό θα πρέπει να εκκαθαρίζονται γρήγορα από όσο το δυνατόν μικρότερο αριθμό διακοπών:

- i) Για να περιορίσει τις διαταραχές στο δίκτυο.
- ii) Να διατηρήσει σε λειτουργία υγιή κυκλώματα.

Προσεχτική επιλογή της ηλεκτρικής διατάξεως -πρωταρχικές συνδέσεις και συστήματα προστασίας- και η λεπτομερής κατασκευή της διάταξης θα πρέπει να δίνουν τη δυνατότητα σε αυτά τα κριτήρια να είναι αισιόδοξα.

γ) Αξιοπιστία και διαθεσιμότητα.

Η εκτίμηση του πώς η διαθεσιμότητα των στοιχείων ενός υποσταθμού επηρεάζει όλη την απόδοση του υποσταθμού είναι ένα περίπλοκο θέμα σε ένα βροχοειδές δίκτυο μεταφοράς. Τα ποσοστά αποτυχίας του εξοπλισμού και η επιλογή της διάταξης έχουν σημαντική επίδραση στην αξιοπιστία και στην διαθεσιμότητα, π.χ. υποχρεωτικές διακοπές και πτώσεις λειτουργίας. Μόνο ακριβείς υπολογισμοί μπορούν να δώσουν σωστά αποτελέσματα. Παλαιότερες μετρήσεις, βασισμένες σε παλιότερες γεννήτριες και συσκευές, έδωσαν στατιστικά αποτυχίας και κατέδειξαν πως το φαινόμενο διάφορων διακοπών λειτουργίας κατά τη διάρκεια της ζωής του υποσταθμού είναι σχετικά μικρό.

Παρ' όλα αυτά για την σύγκριση των διαφορετικών διατάξεων, ο υπολογισμός της αξιοπιστίας είναι ένα χρήσιμο όργανο για το μηχανικό που θα επιλέξει σχεδιάγραμμα και διάταξη. Πολλές διατριβές έχουν γραφτεί με σκοπό τη διερεύνηση της απόδοσης διαφορετικών διατάξεων υποσταθμών με έμφαση στην αξιοπιστία.

Πρόσφατες δημοσιεύσεις έχουν δείξει ότι όχι μόνο ο πρωταρχικός εξοπλισμός αλλά και ο δευτερεύων, η τοποθεσία και ο αριθμός των μετασχηματιστών και οι διατάξεις των δευτερευόντων κυκλωμάτων μπορεί να έχουν επιρροή στην συνολική αξιοπιστία. Για τη διάταξη 1.5 διακόπτη και τις βροχοειδείς διατάξεις θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στη δευτερεύουσα συνδεσμολογία και καλωδίωση.

δ) Έλεγχος υποσταθμού.

Το προτεινόμενο σχεδιάγραμμα αλλά και η προτεινόμενη διάταξη θα πρέπει να υποστηρίζουν την αποτελεσματική συντήρηση της φυσιολογικής λειτουργίας του υποσταθμού, την επιλογή των διαφορετικών ζυγών τροφοδοσίας καθώς και τις σχεδιασμένες διακοπές λειτουργίας για συντήρηση και επέκταση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

“ ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ”

5.1 Εισαγωγή

Παρακάτω παρουσιάζεται μία μελέτη διατάξεων υποσταθμών που χρησιμοποιούνται περισσότερο στην Βόρεια Αμερική και στην Δυτική Ευρώπη. Το φυσικό μέγεθος, ο τύπος και η διάταξη του κύριου εξοπλισμού, όπως οι μετασχηματιστές ισχύος, οι διακόπτες, οι αποζεύκτες, οι διαστάσεις και η τοποθεσία παρακείμενων γραμμών μεταφοράς μπορεί να ποικίλουν για να ταιριάζουν στις ενίοτε ατομικές απαιτήσεις. Παρόλ' αυτά, η κατασκευή ενός νέου ή η επέκταση ενός υπάρχοντος Υ/Σ δε θα πρέπει να συμβιβάζει την προτιμώμενη οδηγία κατασκευής διατάξεως.

5.2 Διάταξη ενός ζυγού [2]

Η διάταξη υποσταθμού ενός ζυγού αποτελείται από ένα κύριο ζυγό ο οποίος τροφοδοτείται συνεχώς και στον οποίον είναι συνδεδεμένες όλες οι γραμμές μεταφοράς και οι μετασχηματιστές. Κάθε γραμμή μεταφοράς ή κάθε μετασχηματιστής είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένος με το ζυγό τροφοδοσίας μέσω ενός μόνο διακόπτη. Αυτή είναι η πιο απλή διάταξη στο σχεδιασμό και στη λειτουργία αλλά ταυτόχρονα είναι και η λιγότερο ευέλικτη και αξιόπιστη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή υψηλής αλλά και χαμηλής τάσης διατάξεων υποσταθμών και εξαρτάται από τον διατιθέμενο χώρο. Στο σχήμα 5.1 απεικονίζεται μία πιθανή διάταξη ενός ζυγού. Στη διάταξη αυτή, το κύκλωμα πρέπει να είναι αποφορτισμένο, καθώς δεν είναι δυνατόν να γίνει εργασία συντηρήσεως στο ζυγό τροφοδοσίας ή σε μέρη της γραμμής μεταφοράς ή των μετασχηματιστών χωρίς να βγάλουμε ολόκληρο το σταθμό εκτός λειτουργίας. Αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με την προσθήκη διακοπών, μπορεί όμως να μειώσει την αξιοπιστία των συστημάτων προστασίας. Επιπλέον, αν χρειαστεί να επεκτείνουμε το ζυγό τροφοδοσίας ή να προσθέσουμε επιπλέον γραμμές τροφο-

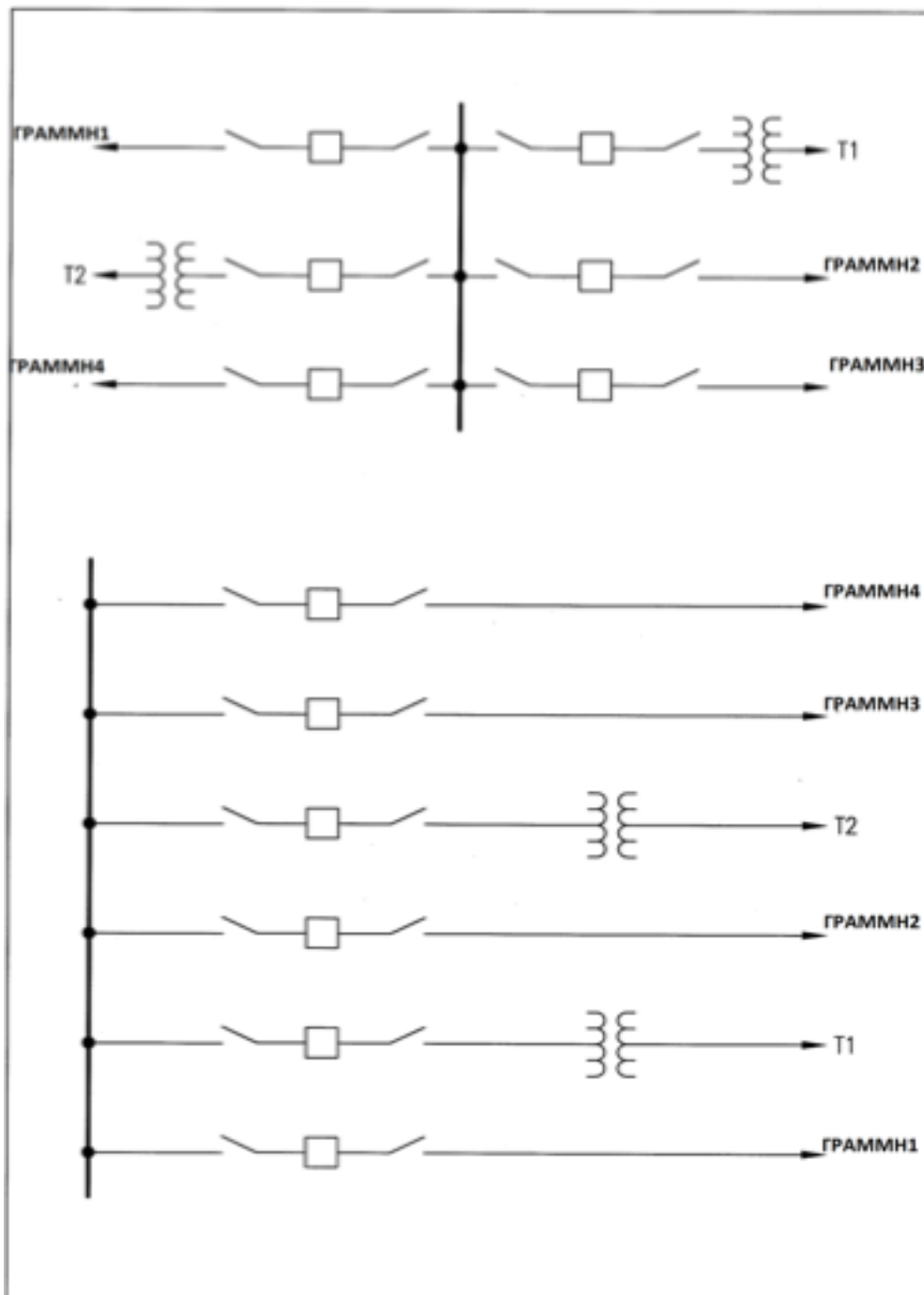
δοσίας ή μετασχηματιστές σε αυτόν, θα πρέπει να αποφορτιστεί ολόκληρος ο σταθμός.

Η περίπτωση σφάλματος ζυγών ή αποτυχίας της λειτουργίας ενός διακόπτη σε λανθασμένες συνθήκες έχει ως αποτέλεσμα να χαθεί ολόκληρο το δίκτυο και, κατά συνέπεια, να υπερφορτιστούν οι γραμμές μεταφοράς ή του εξοπλισμού καθώς και να προκληθούν ασυνήθιστες ροές ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο.

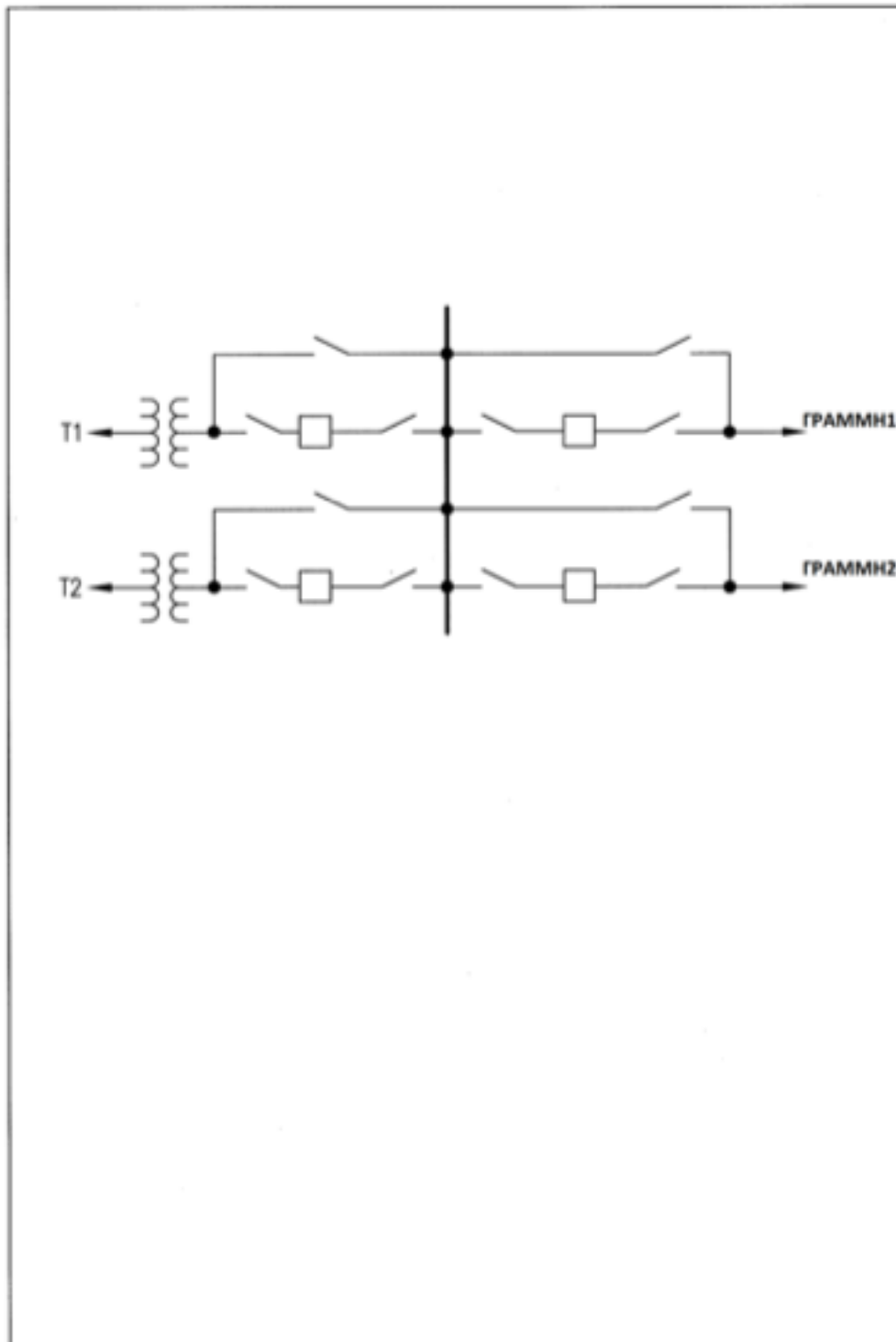
Σε σύστημα διανομής δεν προτείνεται αυτή η διάταξη χωρίς την επιπλέον τοποθέτηση παρακαμπτήριων διακοπών που παρέχουν τη δυνατότητα της διατήρησης λειτουργίας κάποιων άλλων διακοπών κατά τη διάρκεια συντηρήσεως του δικτύου, έτσι ώστε να μην έχουμε ολική απώλεια αυτού. Το σχήμα 5.2 απεικονίζει μια τέτοια διάταξη με επιπλέον παρακαμπτήριους διακόπτες. Αυτή η διάταξη παρόλ' αυτά έχει ως αποτέλεσμα απώλειες υπερρεύματος ή συντονισμένη βηματική απόσταση της προστασίας του ηλεκτρονόμου στο δίκτυο διανομής. Ένα σφάλμα σε μία γραμμή με παρακαμπτήριο διακόπτη μπορεί να προκαλέσει απώλεια πολλαπλών κυκλωμάτων ή πάλι ολική αποφόρτιση του δικτύου. Τέτοιοι πιθανοί κίνδυνοι λειτουργίας δεν είναι αποδεκτοί σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο μεταφοράς, γι' αυτό και δεν θα έπρεπε να χρησιμοποιείται σε τέτοια δίκτυα.

Σε αυτή τη διάταξη υπάρχει το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους καθώς και της απαιτούμενης μικρής έκτασης για την κατασκευή του. Παράλληλα είναι εύκολη η υλοποίηση και η λειτουργία της και η τυχόν απαιτούμενη επέκτασή της. Επίσης είναι σχετικά απλό στην ανάγκη συντηρήσεως και προστασίας. Μειονεκτεί ως προς την αξιοπιστία και αυτό γιατί σε περίπτωση σφάλματος ζυγών με το άνοιγμα του διακόπτη ζεύξεως ζυγών χάνεται ολόκληρο το δίκτυο. Ενώ ταυτόχρονα οι εργασίες της συντηρήσεως μπορούν να περιπλέξουν κάποιες από τις εργασίες προστασίας και να καθυστερήσουν ολικό συντονισμό εφεδρείας. Συνοπτικά μία τέτοια διάταξη δεν είναι κατάλληλη για ένα κεντρικό υποσταθμό μεταφοράς.

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται και οι δύο περιπτώσεις διατάξεως ενός ζυγού.



Σχήμα 5.1: Διάταξη ενός ζυγού



Σχήμα 5.2: Διάταξη ενός ζυγού με παρακαμπτήριους διακόπτες ή διακόπτες διακλάδωσης.

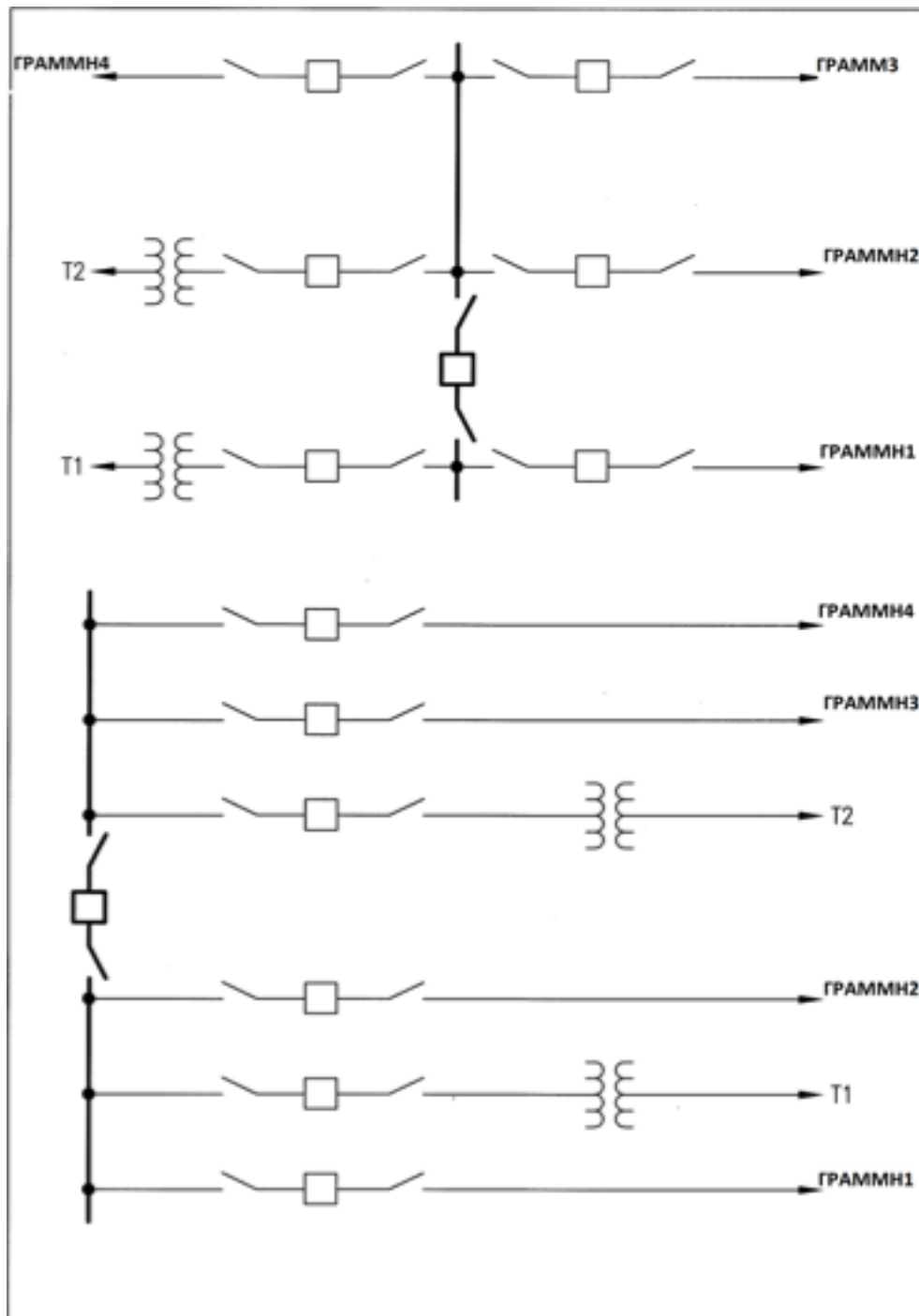
5.3 Διάταξη τμηματοποιημένου ζυγού [2]

Μια επέκταση της διάταξης ενός ζυγού αποτελεί και αυτή με διακόπτες κατά τμήματα αυτού όπου φαίνεται στο σχήμα 5.3. Αυτή η διάταξη ενώνει ηλεκτρικά δύο ή περισσότερες διατάξεις ενός ζυγού ή περισσότερους ζυγούς με διακόπτες κατά τμήματα σε αυτούς. Αυτή η διάταξη μπορεί να λειτουργεί ανοικτή ή κλειστή κανονικά εξαρτώμενη από τις απαιτήσεις του συστήματος. Έτσι ένα σφάλμα ζυγού ή μια αποτυχία λειτουργίας ενός διακόπτη έχουν ως αποτέλεσμα μόνο το επηρεαζόμενο τμήμα του ζυγού να βγει εκτός λειτουργίας και έτσι αποβάλλει τον κίνδυνο της απώλειας ολόκληρου του σταθμού. Οι ροές ισχύος στο δίκτυο μεταφοράς κάτω από φυσικές ή έκτακτες συνθήκες πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την τοποθέτηση γραμμών μεταφοράς και μετασχηματιστών σε κάθε τμήμα του ζυγού έτσι ώστε να μην αποφορτίζεται όταν ο τμηματοποιημένος διακόπτης είναι ανοιχτός. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση αλληλένδετων γραμμών μεταφοράς σε διαφορετικά τμήματα του ζυγού έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί ή να εξαλειφθεί ολοκληρωτικά η πιθανότητα της αφύσικης πτώσης τάσης ή των φαινομένων υπερφόρτισης των γραμμών μεταφοράς.

Αυτή η διάταξη πλεονεκτεί στο ότι ένα σφάλμα στον κύριο ζυγό ή σε συνθήκες αποτυχημένης λειτουργίας διακόπτη μπορεί να απομονωθεί στο τμήμα του εσφαλμένου ζυγού χωρίς να έχουμε απώλεια ολόκληρου του δικτύου. Επιπλέον, η δυσμενής επίπτωση ενός σφάλματος είναι αισθητά μικρότερη από ότι σε μια απλή διάταξη ενός ζυγού εξαιτίας της μεγαλύτερης ευελιξίας και αξιοπιστίας αυτής. Επίσης, η διαδικασία της συντήρησης καθίσταται πιο εύκολη λόγω της δυνατότητας της απομόνωσης τμημάτων του ζυγού. Πλεονεκτεί ως προς την απλή κατασκευή και εύκολη λειτουργία καθώς και για την εφαρμογή προστασίας.

Σε αντίθεση με την απλή διάταξη ενός ζυγού αυτή του τμηματοποιημένου έχει μεγαλύτερο κόστος καθώς και απαίτηση επιπλέον διακοπών για την υλο-

ποίηση της. Επίσης σε αυτή τη διάταξη μπορεί να προκληθεί απομόνωση των κυκλωμάτων τροφοδοσίας από τα φορτία εξαιτίας ενός σφάλματος. Η συντήρηση των διακοπών απαιτεί το άνοιγμα της τερματικής γραμμής μεταφοράς ή την τοποθέτηση του μετασχηματιστή εκτός λειτουργίας. Το ίδιο συμβαίνει και για την ανάγκη επέκτασης του σταθμού.



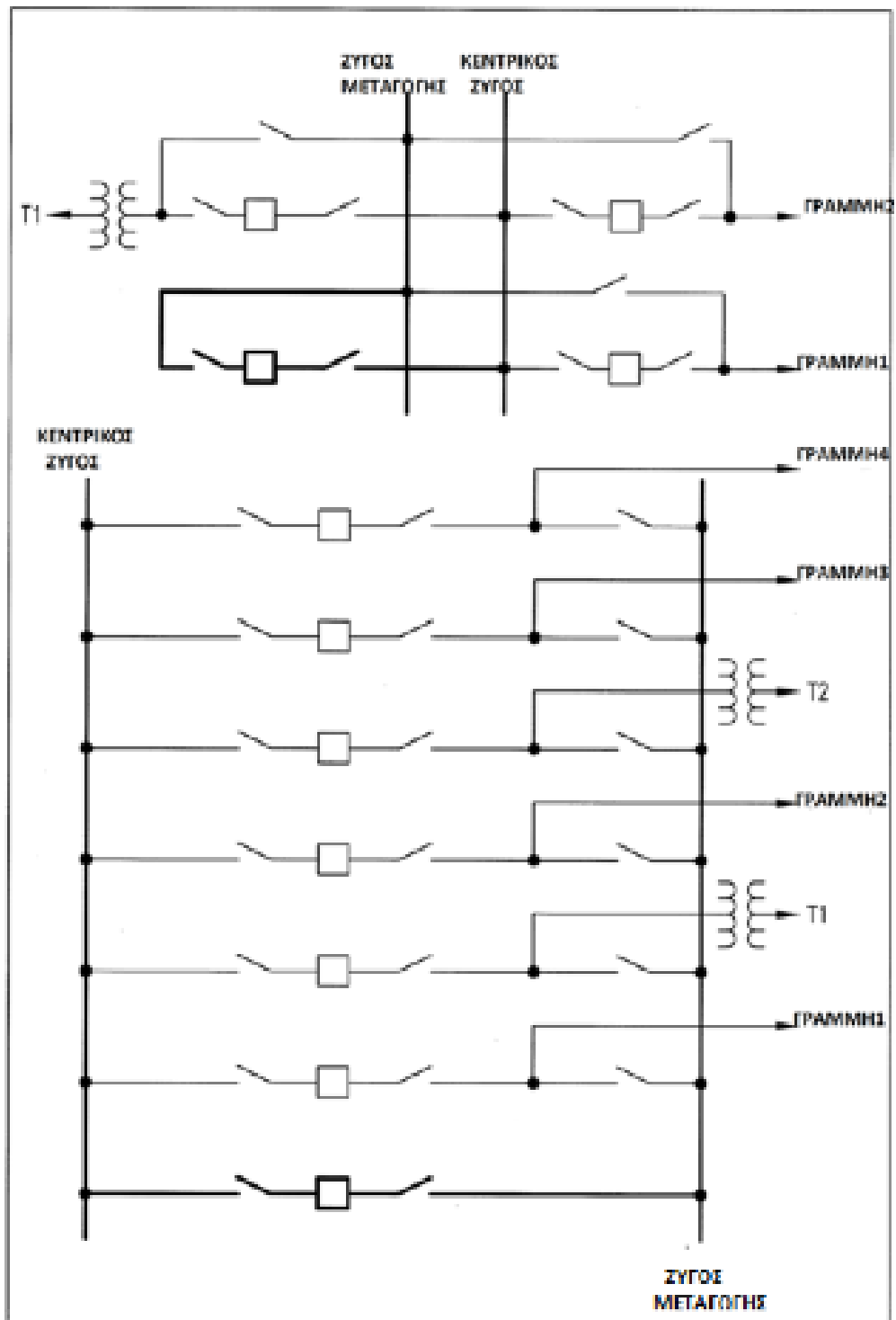
Σχήμα 5.3: Διάταξη ενός ζυγού με τμηματοποίηση διακόπτη

5.4 Διάταξη κεντρικού ζυγού με ζυγό μεταγωγής [2]

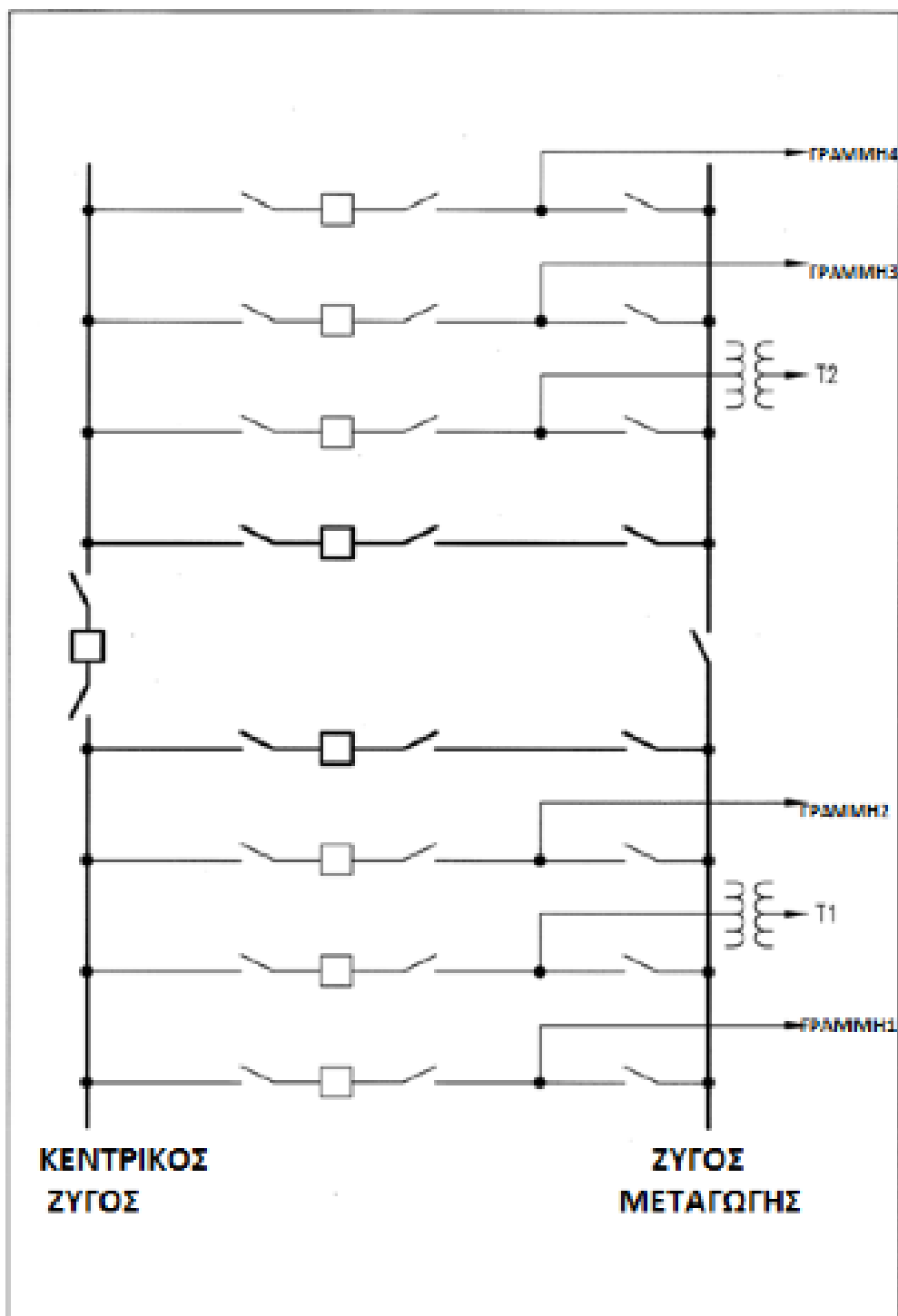
Μία διάταξη κεντρικού ζυγού και μεταγωγής αποτελείται από δύο ανεξάρτητους ζυγούς ο ένας εκ των οποίων είναι φορτισμένος κανονικά. Κατά τη διάρκεια κανονικών διαδικασιών όλες οι γραμμές μεταφοράς και μετασχηματιστές είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένοι στον κύριο ζυγό όμοια με τη διάταξη ενός ζυγού. Όταν απαιτείται η τοποθέτηση ενός διακόπτη εκτός λειτουργίας είτε για συντήρηση είτε για επισκευή, είναι δυνατόν να μεταφέρει τη γραμμή μεταφοράς ή τον μετασχηματιστή στον ζυγό μεταγωγής έτσι ώστε να μην διακόπτεται η λειτουργία. Οι διακόπτες απομόνωσης που συνδέονται με τους διακόπτες οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με το ζυγό είναι κλειστοί και οι τελευταίοι με τη σειρά τους είναι κλειστοί έτσι ώστε να ηλεκτροδοτούν το ζυγό μεταγωγής. Κατόπιν, ο διακόπτης διακλάδωσης, για το διακόπτη που απομονώνεται, είναι κλειστός παραλληλίζοντας τη γραμμή μεταφοράς ή το μετασχηματιστή στον κύριο ζυγό ή το ζυγό μεταγωγής. Έπειτα ανοίγει έτσι ώστε να βγει ο διακόπτης του κυκλώματος εκτός λειτουργίας. Η γραμμή μεταφοράς ή ο μετασχηματιστής είναι προστατευμένοι από τον ηλεκτρονόμο προστασίας που συνδέεται με το διακόπτη που είναι συνδεδεμένος με το ζυγό.

Το σχήμα 5.4 απεικονίζει απλοποιημένες μορφές αυτής της διάταξης. Όπως και στην διάταξη του ενός ζυγού είναι δυνατόν να ενσωματωθούν ένας ή περισσότεροι τμηματοποιημένοι διακόπτες για να παρέχουν επιπλέον ευελιξία και αξιοπιστία στη διάταξη. Το σχήμα 5.5 απεικονίζει μια τέτοια διάταξη ενός κεντρικού και ζυγού μεταγωγής με ενσωματωμένους τμηματοποιημένους ζυγούς που ελαχιστοποιούν τον αριθμό των γραμμών μεταφοράς και των μετασχηματιστών σε κάθε τμήμα του ζυγού. Με αυτή τη διάταξη υπάρχει αισθητά μικρότερος κίνδυνος έτσι ώστε ένα σφάλμα στο ζυγό ή μια αποτυχία λειτουργίας διακόπτη να οδηγήσει σε απώλεια ολόκληρου του δικτύου. Επιπλέον είναι δυνατόν να ενσωματωθούν περισσότερα προσαρμοσμένα πακέτα προστασίας για κάθε διακόπτη ζυγού.

Αυτή η διάταξη πλεονεκτεί γιατί μπορεί να γίνει συντήρηση ή επέκτασή της διατηρώντας τη σε λειτουργία. Επίσης πλεονεκτεί λόγω του λογικού κόστους και της σχετικά μικρής έκτασης που απαιτείται. Ενώ μειονεκτεί στο ότι απαιτείται επιπλέον διακόπτης στη θέση σύνδεσης του ζυγού. Επίσης ένα σφάλμα ενός ζυγού ή αποτυχία λειτουργίας διακόπτη προκαλεί την απώλεια ολόκληρου του υποσταθμού. Καθώς επίσης απαιτείται κάπως περίπλοκη μετατροπή για την τοποθέτηση ενός διακόπτη εκτός λειτουργίας. Ίσως να χρειάζεται η αφαίρεση κάποιων γραμμών μεταφοράς ή μετασχηματιστών για την επέκταση του σταθμού ή τη προσθήκη κάποιων άλλων γραμμών ή μετασχηματιστών στο συγκεκριμένο τμήμα του ζυγού.



Σχήμα 5.4: Διάταξη κεντρικού ζυγού σε συνδυασμού με ζυγό μεταγωγής



Σχήμα 5.5: Διάταξη κεντρικού ζυγού σε συνδυασμό με ζυγό μεταγωγής με τμηματοποιημένους διακόπτες.

5.5 Διάταξη με δακτυλιοειδή ζυγό [2]

Οι διατάξεις με δακτυλιοειδείς ζυγούς είναι πιο απλοί στην κατασκευή και οι πιο κοινοί ανάμεσα σε αυτούς που μέχρι τώρα έχουν σχεδιαστεί. Η διάταξη του δακτυλιοειδή ζυγού ή αλλιώς διάταξη ενός βρόχου είναι πολύ δημοφιλής στις ΗΠΑ. Σε αυτή τη διάταξη αποζεύκτες τοποθετούνται ανάμεσα στις γραμμές μεταφοράς ή των μετασχηματιστών όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6. Υπάρχουν πάντα δύο διακόπτες σε κάθε γραμμή μεταφοράς. Από τη στιγμή που κάθε διακόπτης στο δακτύλιο μοιράζεται, είναι δυνατόν να γίνει συντήρηση σε κάθε διακόπτη χωρίς να επηρεάζει τη λειτουργία της γραμμής μεταφοράς ή του μετασχηματιστή σε κάθε πλευρά του.

Οι διάφορες συσκευασίες προστασίας δεν απαιτούνται επειδή δεν χρειάζεται κεντρικός ή ζυγός μεταφοράς σε αυτή τη διάταξη. Το τμήμα του δακτυλίου μεταξύ των διακοπών είναι πάντα προστατευμένο από τον ηλεκτρονόμο προστασίας της κάθε γραμμής μεταφοράς ή της θέσης του κάθε μετασχηματιστή. Η φιλοσοφία και η εφαρμογή προστασίας και ελέγχου της διάταξης κυκλωμάτων για κάθε γραμμή μεταφοράς και για κάθε θέση μετασχηματιστή είναι παρόμοιες προσφέροντας μία ευκολία στην κατανόηση για το πώς λειτουργεί κάθε ηλεκτρονόμος προστασίας. Η απαραίτητη αλλαγή για την απομόνωση κάθε γραμμής μεταφοράς ή κάθε μετασχηματιστή είναι επίσης παρόμοια που απλοποιεί τις διαδικασίες και πρέπει να οδηγήσει στη βελτιωμένη αξιοπιστία του συστήματος.

Οι δακτυλιοειδείς ζυγοί θα πρέπει να περιοριστούν στον αριθμό των τεσσάρων μέχρι έξι γραμμών μεταφοράς με στόχο την μεγιστοποίηση της ευελιξίας και αξιοπιστίας μιας τέτοιας διάταξης. Αυτός ο περιορισμός οδηγείται από τους δύο παράγοντες. Όποτε γίνεται η διαδικασία της συντήρησης σε έναν διακόπτη ή σε έναν από τους δύο απομονωμένους αποζεύκτες, ο ένας πρέπει να ανοίξει το ζυγό που διακόπτει τη φυσιολογική ροή ισχύος γύρω από το δακτυλιοειδή ζυγό. Σε μερικές συνθήκες λειτουργίας η ροή ισχύος σε τμήματα του ζυγού

μπορεί να υπερβαίνει το ονομαστικό ρεύμα των διακοπών, αποζευκτών ή άλλων στοιχείων. Ακόμα σημαντικότερα, θα μπορούσε ένα σφάλμα να συμβεί σε μία γραμμή μεταφοράς ή σε ένα μετασχηματιστή που είναι συνδεδεμένος με το ζυγό και θα ήταν δυνατόν οι γραμμές τροφοδοσίας να απομονωθούν από τις γραμμές μεταφοράς και από τους μετασχηματιστές που εξυπηρετούν το φορτίο. Όποτε ο δακτυλοειδής ζυγός χρειάζεται να ανοιχτεί για να γίνει συντήρηση ή κατά τη διάρκεια μικρότερων περιόδων για κάποια αλλαγή. Η αξιοπιστία αυτής της διάταξης μειώνεται σε τέτοιο επίπεδο όπως σε αυτής της διάταξης με τον ένα ζυγό που τμηματοποιείται με διακόπτες.

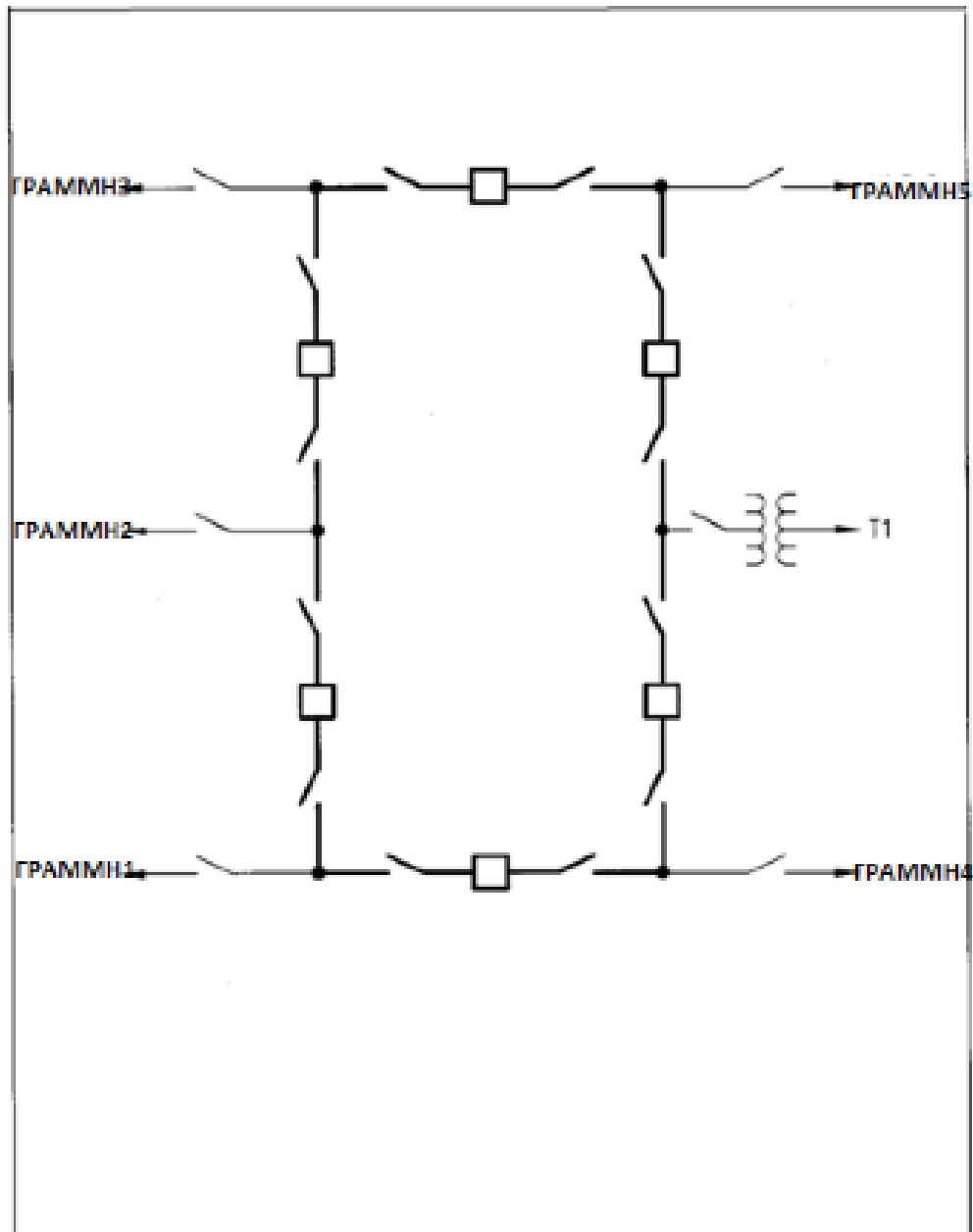
Η αξιοπιστία του συστήματος υποβαθμίζεται επίσης σημαντικά όταν δύο ή μία γραμμή μεταφοράς και ένας μετασχηματιστής βγαίνουν ταυτόχρονα εκτός λειτουργίας και γι' αυτό δεν θα πρέπει να μοιράζονται τον ίδιο διακόπτη. Η πιο κοινή περίπτωση συμβαίνει όποτε δύο γραμμές μεταφοράς τοποθετούνται σε κοινή διάταξη μεταφοράς, καθορίζοντας που είναι καλύτερο να συνδεθεί κάθε γραμμή στο δακτυλοειδή ζυγό. Εάν οι γραμμές μεταφοράς βρίσκονται σε παρακείμενες θέσεις, τότε και οι δύο θα βγουν εκτός λειτουργίας. Εάν δεν μοιράζονται παρακείμενες θέσεις στο δακτύλιο υπάρχει πιθανότητα ο ζυγός να διαχωριστεί όποτε συμβεί ένα σφάλμα σε μία γραμμή μεταφοράς. Η πιθανότητα να συμβεί κάθε τέτοιο δυσάρεστο ενδεχόμενο πρέπει να μελετηθεί και να συμπεριληφθεί στην απόφαση για το πού θα τοποθετηθεί κάθε γραμμή μεταφοράς και κάθε μετασχηματιστής στο δακτυλοειδή ζυγό.

Όταν κατασκευαστεί και μπει σε λειτουργία μια τέτοια διάταξη, είναι δύσκολο να επεκταθεί ο δακτυλοειδής ζυγός. Είναι επίσης ανησυχητικές και οι πολλαπλές διακοπές στοιχείων μετάδοσης που μπορούν να οδηγήσουν σε διακοπή ρεύματος. Εάν είναι μη αποδεκτό να έχουν παρακείμενες θέσεις σε ένα δακτυλοειδή ζυγό και να είναι ταυτόχρονα εκτός λειτουργίας, μία πιθανή λύση είναι να εγκατασταθούν δύο διακόπτες σε σειρά όπως απεικονίζεται στο σχήμα 5.7. Σε αυτή τη διάταξη μία βλάβη ενός διακόπτη συνδεδεμένου είτε με τη γραμμή 1 είτε με τη γραμμή 2 πιο κοντά στον μετασχηματιστή T1, δεν θα

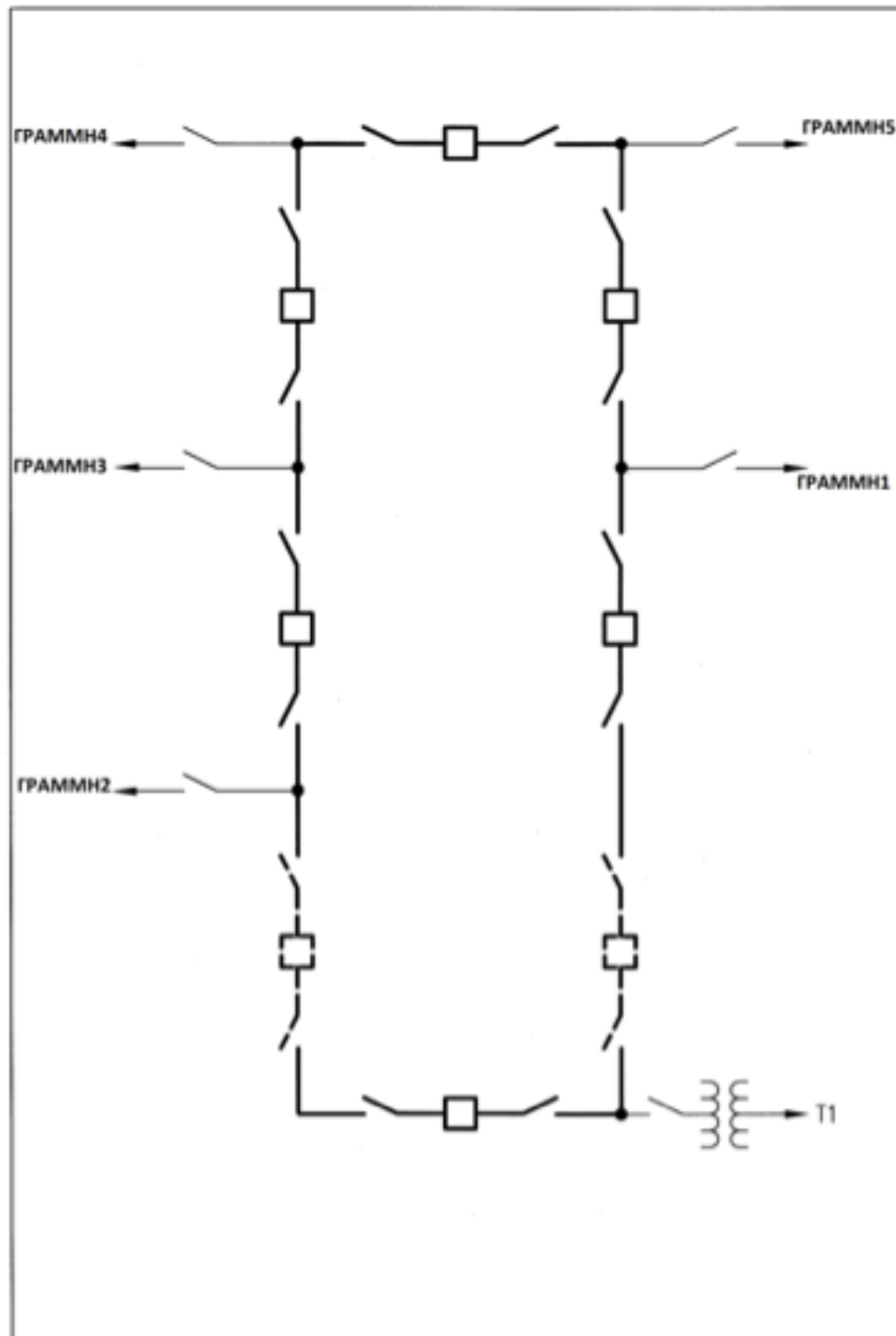
οδηγήσει στην ταυτόχρονη απώλεια του μετασχηματιστή T1. Δεν είναι δυνατόν να προβλέψεις πώς το δίκτυο μεταφοράς μπορεί να επεκταθεί. Γι' αυτό εάν ο δακτυλοειδής ζυγός εγκατασταθεί αρχικά, θα ήταν συνετό να πάρουμε τα μέτρα μας για την προσθήκη από μια σειρά διακοπών σε κάθε πλευρά του κάθε διακόπτη. Μία άλλη εναλλακτική θα ήταν να σχεδιαστεί ο ζυγός έτσι ώστε να είναι εύκολα επεκτάσιμος σε μία διάταξη 1.5 διακόπτη όπως φαίνεται στο σχήμα 5.8.

Η διάταξη του δακτυλοειδή ζυγού λοιπόν πλεονεκτεί όσον αφορά στην ευελιξία, στην λειτουργία και στην ευκολία της κατανόησης των ζωνών προστασίας και ελέγχου και προσωπικής ασφάλειας. Καθώς επίσης έχει μεγάλη αξιοπιστία και κατά την διαδικασία της συντήρησης απομονώνονται οι διακόπτες χωρίς να διαταράσσουν τη λειτουργία της γραμμής μεταφοράς ή του μετασχηματιστή. Επίσης δεν υπάρχει κύριος ζυγός ενώ έχει διπλή τροφοδοσία σε κάθε γραμμή μεταφοράς. Είναι εύκολο να επεκταθεί σε διάταξη 1.5 διακόπτη με χαμηλό κόστος κατασκευής και σχεδιασμού.

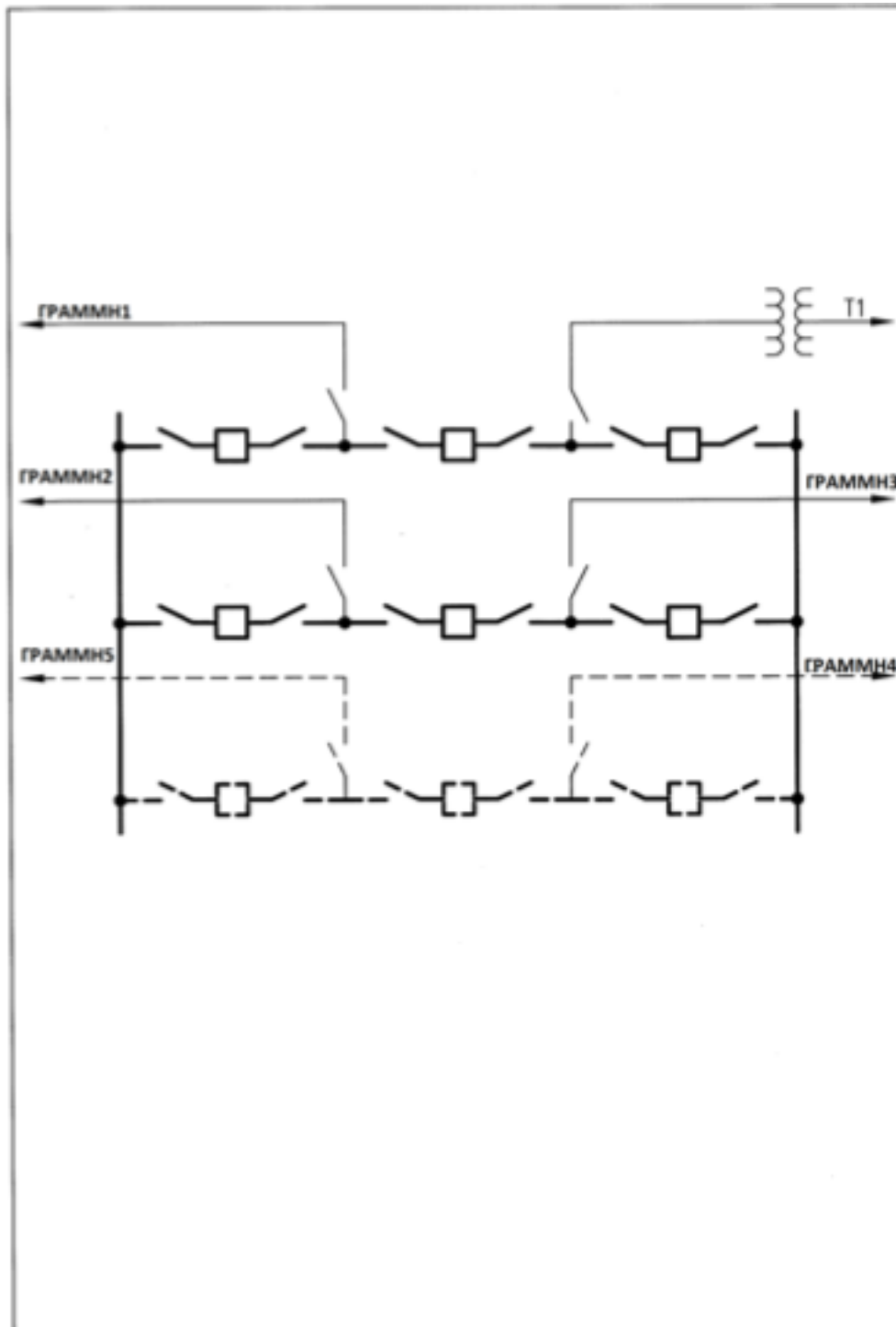
Εκεί που μειονεκτεί είναι στο ότι ο δακτυλοειδής ζυγός μπορεί να διαχωριστεί, για σφάλματα σε δύο γραμμές μεταφοράς, σε μία κοινή διάταξη μετάδοσης ή για ένα σφάλμα σε μία γραμμή μεταφοράς ή σε ένα μετασχηματιστή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της συντήρησης αφήνοντας πιθανούς ανεπιθύμητους συνδυασμούς κυκλώματος στα εναπομείναντα τμήματα του ζυγού. Επίσης μειονεκτεί στο ότι κάθε κύκλωμα πρέπει να έχει το δικό του ηλεκτρονόμο προστασίας. Είναι δύσκολο να επεκταθεί αν ο αρχικός σχεδιασμός δεν συμπεριλαμβάνει τέτοια ευελιξία. Συνεπώς αυτή η διάταξη δεν είναι η πλέον κατάλληλη για το σχεδιασμό ενός κεντρικού υποσταθμού μεταφοράς. Παρ' όλα αυτά ένας δακτυλοειδής ζυγός που μπορεί να επεκταθεί σε διάταξη 1.5 διακόπτη θα ήταν κατάλληλος για τον αρχικό σχεδιασμό ενός υποσταθμού που θα μπορούσε να γίνει κεντρικός υποσταθμός στο μέλλον.



Σχήμα 5.6: Διάταξη δακτυλιοειδή ζυγού



Σχήμα 5.7: Διάταξη δακτυλιοειδή ζυγού με πρόβλεψη δύο διακοπών σε σειρά



Σχήμα 5.8: Διάταξη δακτυλιοειδή ζυγού επεκτάσιμο σε διάταξη 1.5 διακόπτη.

5.6 Διάταξη 1.5 διακόπτη (breaker and a half) [2]

Η διάταξη αυτή που φαίνεται στο σχήμα 5.9 είναι σχετικά απλή και αποτελείται από δύο βασικούς ζυγούς όπου ο καθένας τροφοδοτείται κανονικά και χρησιμοποιείται συχνά στη Βόρειο Αμερική. Σε κάθε δύο αναχωρήσεις έχουμε 3 διακόπτες, συνεπώς αντιστοιχεί 1.5 διακόπτης ανά αναχώρηση. Αυτή η διάταξη είναι πιο αξιόπιστη από αυτήν του δακτυλιοειδή ζυγού και παρέχει αισθητά μεγαλύτερη λειτουργική ευελιξία.

Παρόμοια με αυτής του δακτυλιοειδή ζυγού, κάθε γραμμή μεταφοράς ή κάθε μετασχηματιστής μπορεί να τροφοδοτείται από δύο κατευθύνσεις. Είναι δυνατόν να διατηρήσουμε έναν από τους δύο διακόπτες που είναι συνδεδεμένοι με κάθε αναχώρηση χωρίς να προκληθεί ροή ισχύος. Η διάταξη 1.5 διακόπτη δεν έχει τους λειτουργικούς περιορισμούς όπως αυτή του δακτυλιοειδή ζυγού όταν εκτελείται κάποια εργασία σε ένα διακόπτη, αφού οι κύριοι ζυγοί είναι σχεδιασμένοι να φέρουν μεγαλύτερες ροές ρευμάτων από ότι οποιοσδήποτε διακόπτης και ζυγός σε οποιοδήποτε δοσμένο τμήμα. Όπως και στην παραπάνω διάταξη δεν μπορούμε να ενώσουμε δύο γραμμές μεταφοράς ή μία γραμμή μεταφοράς και ένα μετασχηματιστή που δεν θα είναι ταυτόχρονα εκτός λειτουργίας σε παρακείμενες θέσεις σε ένα δοσμένο τμήμα. Ένα σφάλμα σε ένα διακόπτη που μοιράζεται και στις δύο αναχωρήσεις θα απαιτούσε την διακοπή ροής ισχύος και στις δύο θέσεις. Επιπλέον σφάλματα σε οποιονδήποτε κύριο ζυγό δεν προκαλούν διακοπές του κυκλώματος.

Η διάταξη 1.5 διακόπτη έχει λίγα πλεονεκτήματα σχετικά με την παραπάνω διάταξη όταν υπάρχουν συνολικά λιγότερο από τέσσερις γραμμές μεταφοράς ή θέσεις μετασχηματιστών υποσταθμού. Αυτές οι διατάξεις υποσταθμού είναι πιο ακριβείς στην κατασκευή από ότι του δακτυλιοειδή ζυγού. Επιπλέον εάν ο αριθμός των θέσεων προβλέπεται να παραμείνει περιορισμένος στο μέλλον, σχεδιάζοντας και κατασκευάζοντας την διάταξη του δακτυλιοειδή ζυγού, θα ήταν η πιο αποτελεσματική και πιο δαπανηρή λύση. Η διάταξη 1.5 διακόπτη

θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε υποσταθμούς όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός αναχωρήσεων και μετασχηματιστών που τερματίζουν σε αυτόν.

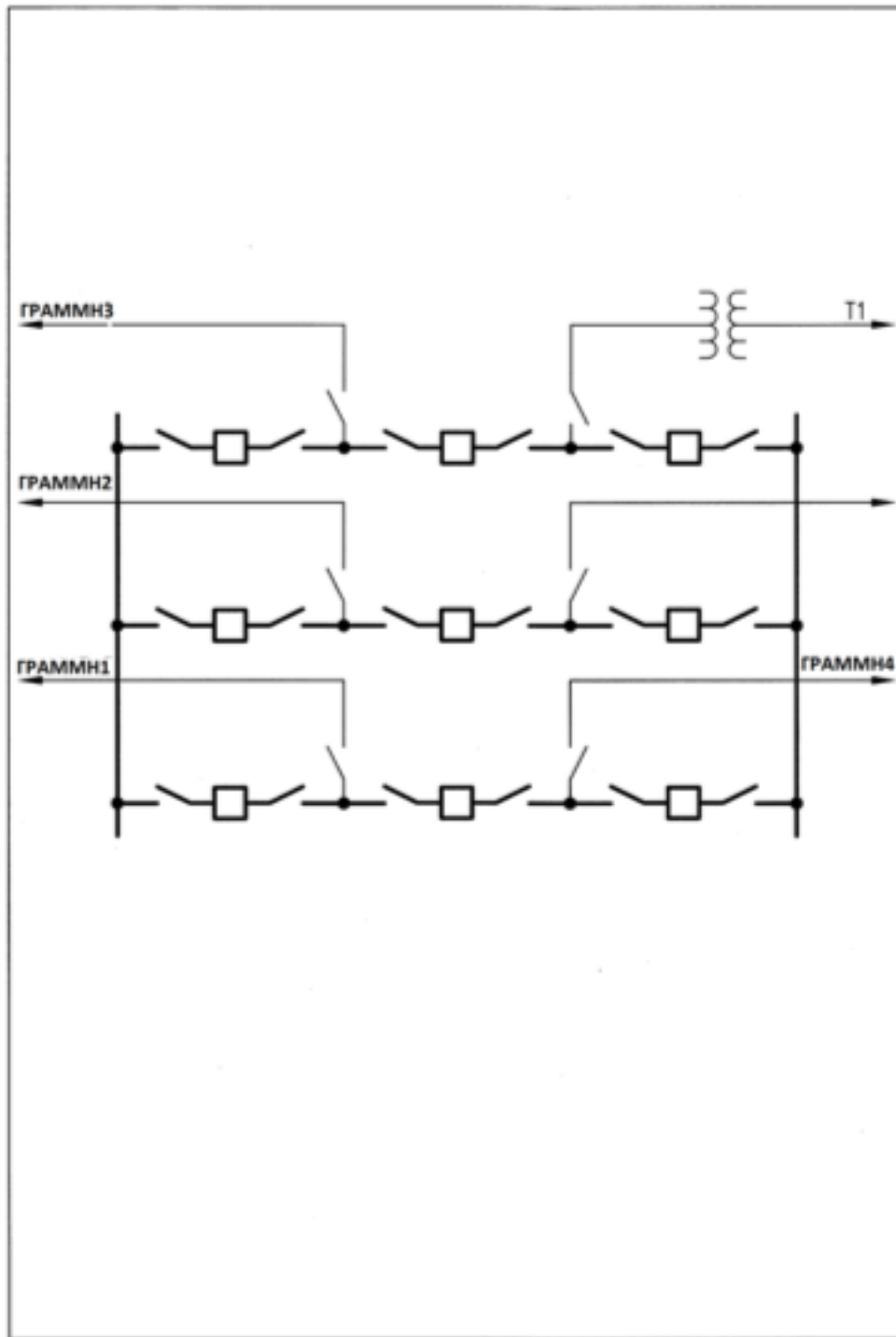
Σε αυτές τις τοποθεσίες όπου ο αριθμός των ηλεκτρικών διαδρομών είναι περιορισμένος και η πλειοψηφία των αναχωρήσεων πρέπει να βγει από τον υποσταθμό ακολουθώντας μία μοναδική διαδρομή θα πρέπει να προτιμούνται ποικιλίες της βασικής διάταξης του 1.5 διακόπτη. Το σχήμα 5.10 απεικονίζει μια τέτοια διάταξη που είναι ηλεκτρικά ταυτόσημη με αυτήν του σχήματος 5.9. Παρόλα αυτά είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να μεγιστοποιεί τον αριθμό των γραμμών μεταφοράς που βγαίνουν από τον υποσταθμό όπου υπάρχουν περιορισμένες ηλεκτρικές διαδρομές.

Όπως και στην παραπάνω διάταξη και αυτή δεν μπορεί εύκολα να επεκταθεί και να τοποθετηθεί ένας δεύτερος διακόπτης σε σειρά με έναν ήδη υπάρχοντα, εκτός εάν κατασκευαστεί και σχεδιασθεί αρχικά με τέτοια πρόβλεψη. Σε συνθήκες λειτουργίας του δικτύου μεταφοράς ίσως να μην επιτρέπεται η ταυτόχρονη απώλεια δύο γραμμών μεταφοράς ή ο συνδυασμός μιας γραμμής μεταφοράς και μία θέση μετασχηματιστή μετά από ένα σφάλμα διακόπτη. Σε μία διάταξη 1.5 διακόπτη, τέτοιες προβλέψεις στο σχεδιασμό χρειάζονται μόνο να περιληφθούν για τον κεντρικό ή τον μοιραζόμενο διακόπτη. Εάν ένας από τους διακόπτες ευθέως συνδεδεμένων με έναν κύριο ζυγό αποτύχει, μόνο η γραμμή μεταφοράς ή ο μετασχηματιστής που είναι ακριβώς συνδεδεμένος σε αυτή τη θέση θα παραμείνει διεγερμένος. Το σχήμα 5.11 απεικονίζει πιθανές συνδέσεις δύο διακοπτών στο κέντρο ή μοιραζόμενη θέση διακόπτη.

Το σχήμα 5.12 και 5.12Α απεικονίζει έναν αυτομετασχηματιστή ηλεκτρικά συνδεδεμένο σε έναν από τους κύριους ζυγούς μέσω ενός ανοιχτού διακόπτη. Εάν συμβεί σφάλμα στον αυτομετασχηματιστή θα πρέπει να προσκοπούν όλοι οι αποζεύκτες που είναι ευθέως συνδεδεμένοι σε αυτόν τον κύριο ζυγό και στους μετασχηματιστές ζυγών χαμηλής τάσης για να απομονωθεί το σφάλμα από το δίκτυο μεταφοράς. Η αξιοπιστία ολόκληρου του υποσταθμού μειώνεται

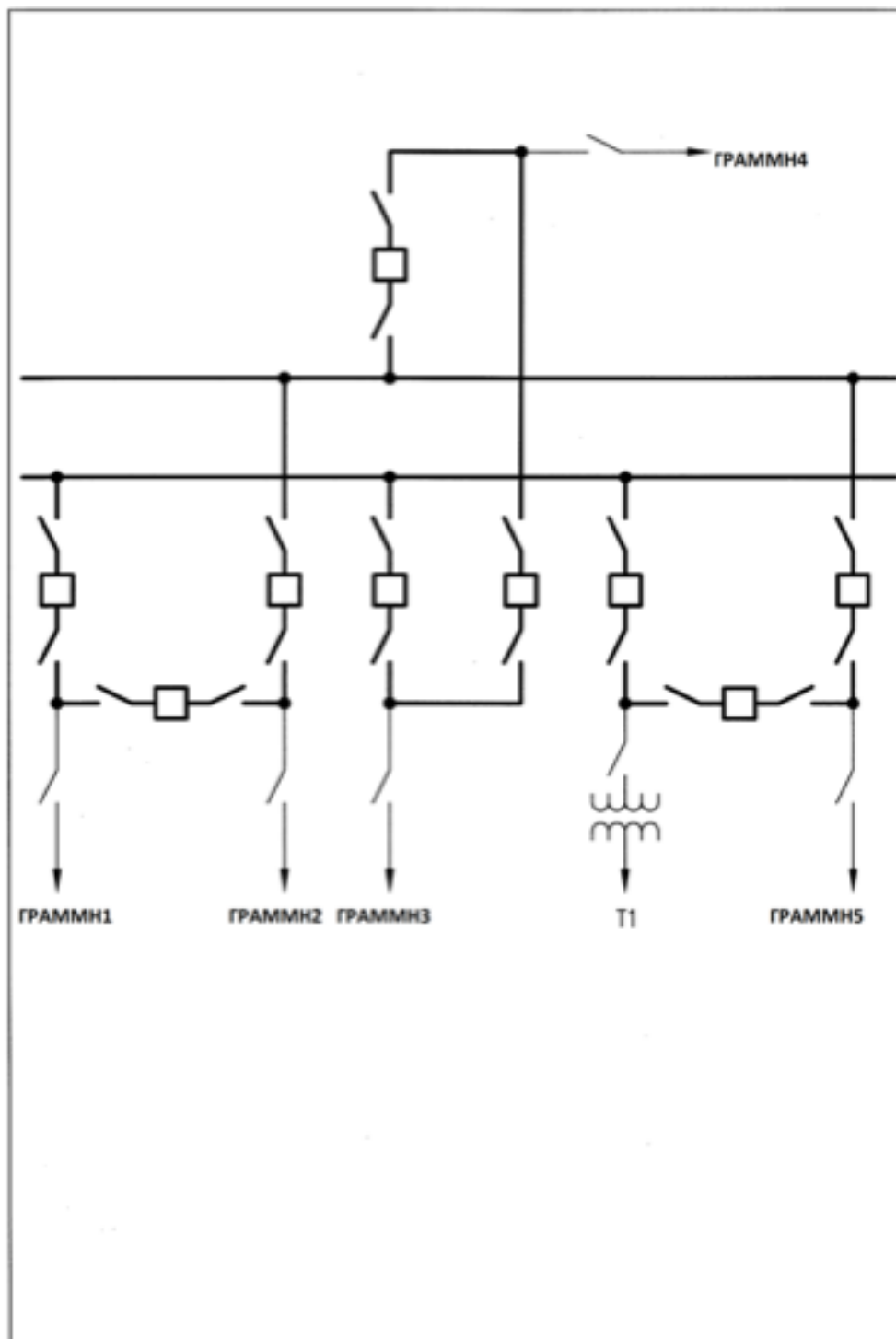
όταν μια απευθείας σύνδεση ενός πυκνωτή, ενός μετασχηματιστή ή μιας γραμμής μεταφοράς στον κύριο ζυγό επιτρέπεται. Η ευελιξία στην λειτουργία είναι επίσης αρνητικά επηρεασμένη απαιτώντας από τον κύριο ζυγό να μείνει εκτός λειτουργίας κάθε φορά που οποιαδήποτε διαδικασία γίνεται στον ανοιχτό διακόπτη ή στον διακόπτη του κυκλώματος. Το κόστος της τοποθέτησης επιπλέον διακοπών δεν είναι σημαντικό. Παρ' όλα αυτά οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις στον υποσταθμό ξεπερνούν σε σημασία αυτό το επιπλέον κόστος. Είναι προτεινόμενο τέτοιες ηλεκτρικές συνδέσεις να μην επιτρέπονται.

Έτσι αυτή η διάταξη πλεονεκτεί καθώς κατά την κανονική λειτουργία, δηλαδή με όλους τους διακόπτες κλειστούς, δεν χάνουμε καμιά γραμμή σε περίπτωση σφάλματος ζυγών για αυτό και έχουμε μεγάλη ασφάλεια καθώς επίσης μεγαλύτερη ευελιξία και αξιοπιστία από αυτή του δακτυλιοειδή ζυγού. Όλες οι αλλαγές γίνονται χρησιμοποιώντας τους διακόπτες και η διαδικασία της συντήρησης σε έναν από αυτούς δεν ανοίγει τον ζυγό γιατί θα μπορούσε ένα σφάλμα να συμβεί κατά τη διάρκεια αυτής. Επίσης είναι εύκολο να προστεθεί τμήμα διπλού ζυγού με δύο διακόπτες. Μειονέκτημα της διατάξεως αυτής είναι ότι απαιτεί μεγαλύτερο κόστος από την παραπάνω και ότι η προστασία είναι περισσότερο πολύπλοκη σε σύγκριση με την προστασία της διάταξης διπλού ζυγού με έναν διακόπτη ανά αναχώρηση που αναφέρεται παρακάτω. Επίσης ένα σφάλμα σε μια γραμμή προκαλεί το άνοιγμα δύο διακοπών του υποσταθμού. Κάθε αναχώρηση απαιτεί 1.5 διακόπτη και είναι δύσκολο να προστεθεί δεύτερος διακόπτης σε σειρά με τον κεντρικό. Σημειώνεται επίσης ότι οι δύο ακραίοι από τους 3 διακόπτες πρέπει να είναι διπλάσιας ονομαστικής εντάσεως δεδομένου ότι θα πρέπει να μπορούν να τροφοδοτήσουν και τις δύο αναχωρήσεις σε περίπτωση που ο ένας από αυτούς είναι ανοικτός.

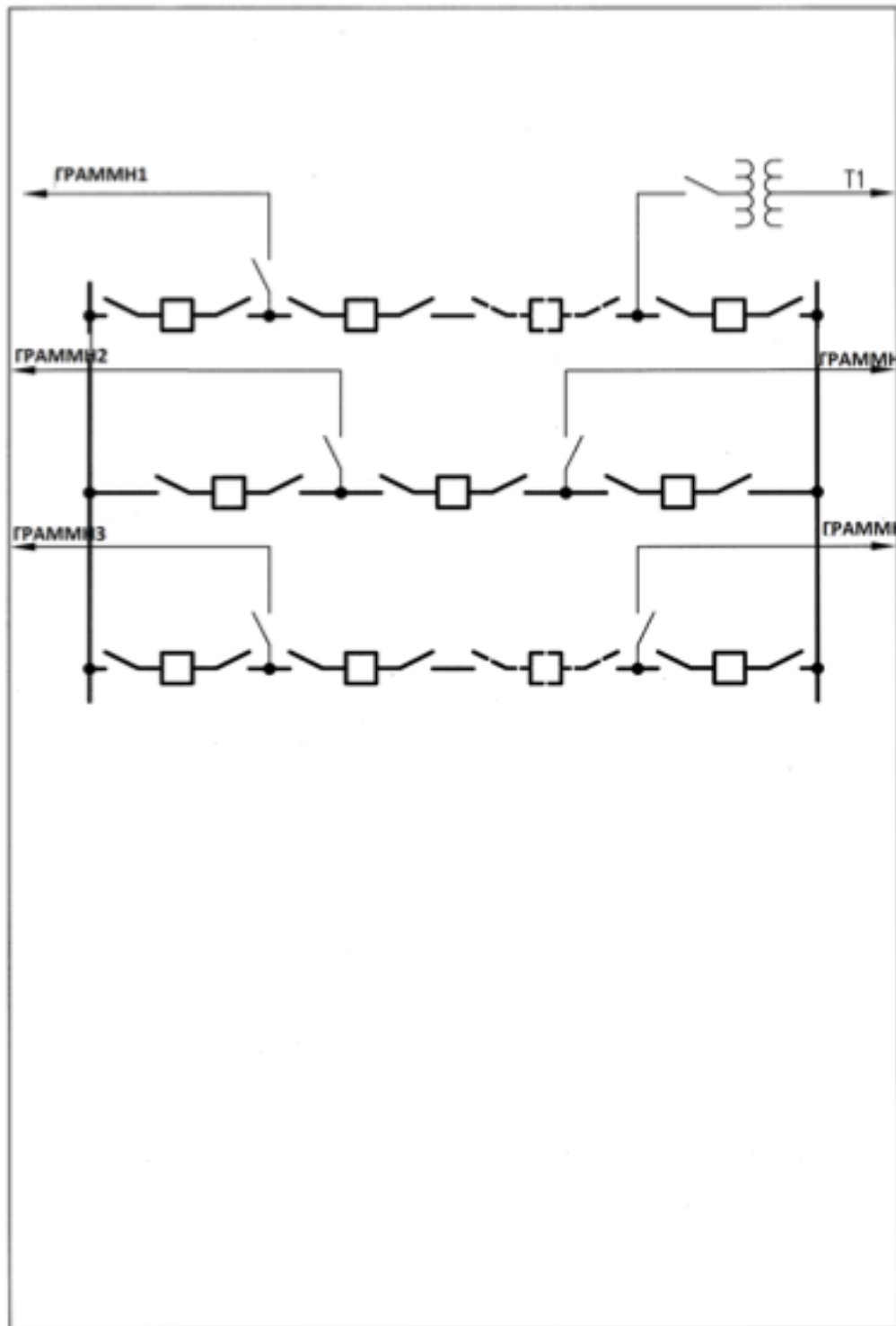


Σχήμα 5.9: Βασική διάταξη 1.5 διακόπτη

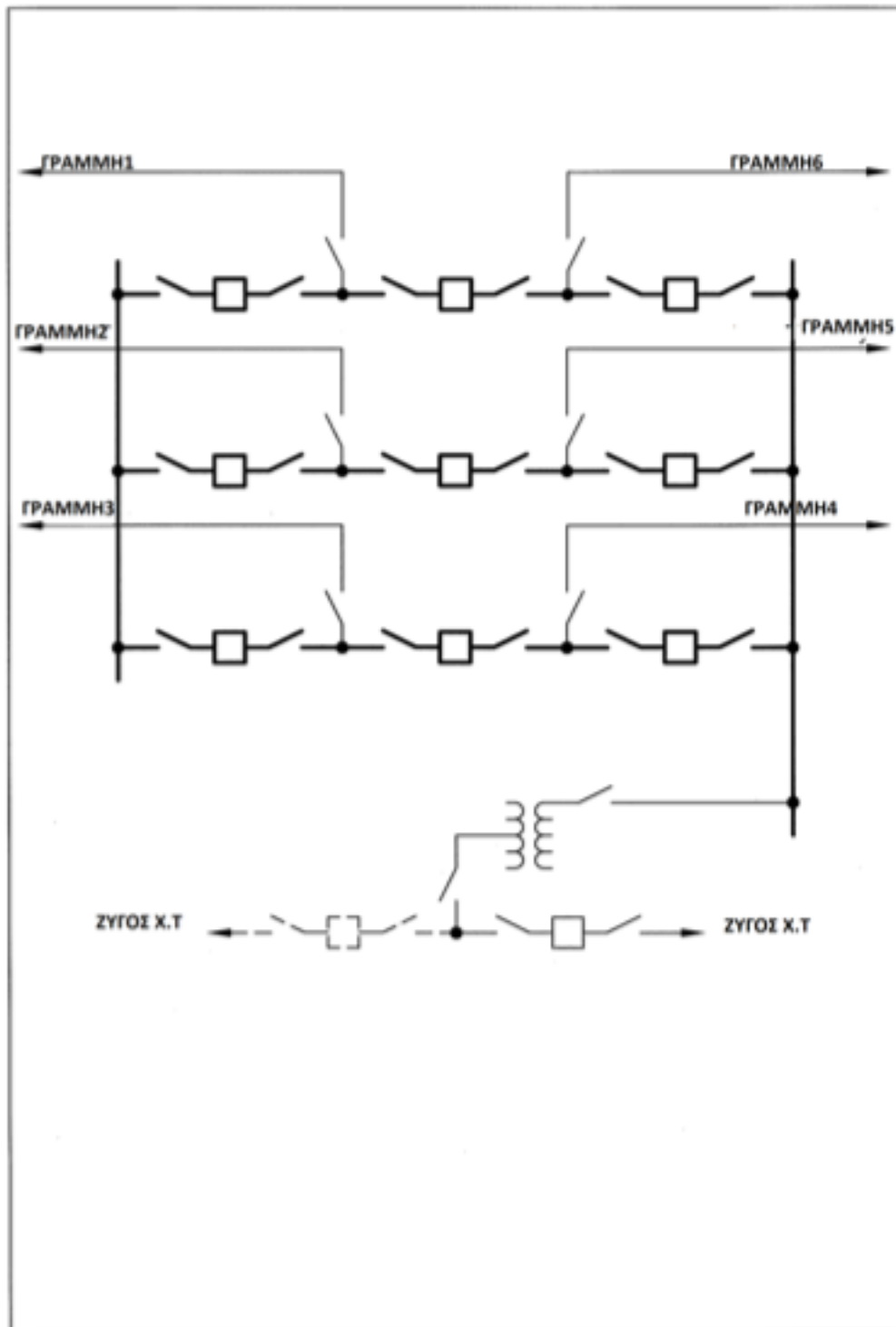
Παρακάτω φαίνονται ποικίλες διαφοροποιήσεις της διατάξεως 1.5 διακόπτη.



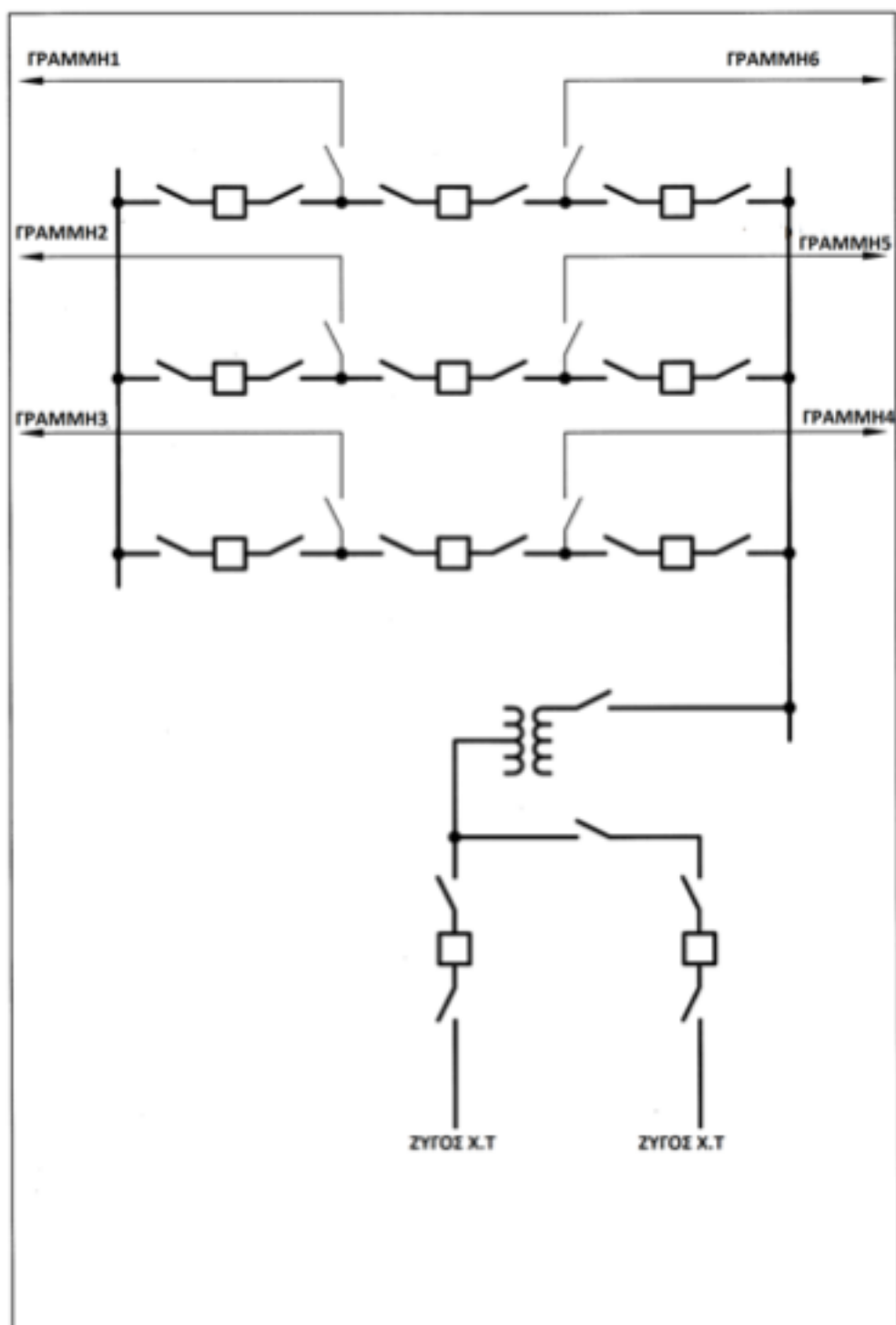
Σχήμα 5.10: Συμπυγμένη διάταξη 1.5 διακόπτη



Σχήμα 5.11: Διάταξη 1.5 διακόπτη με πρόβλεψη για μελλοντική σύνδεση δύο διακοπών σε σειρά



Σχήμα 5.12: Διάταξη 1.5 διακόπτη με αυτομετασχηματιστή συνδεδεμένο στον κύριο ζυγό.



Σχήμα 5.12Α: Διάταξη 1.5 διακόπτη με αυτομετασχηματιστή συνδεδεμένο σε κύριο ζυγό.

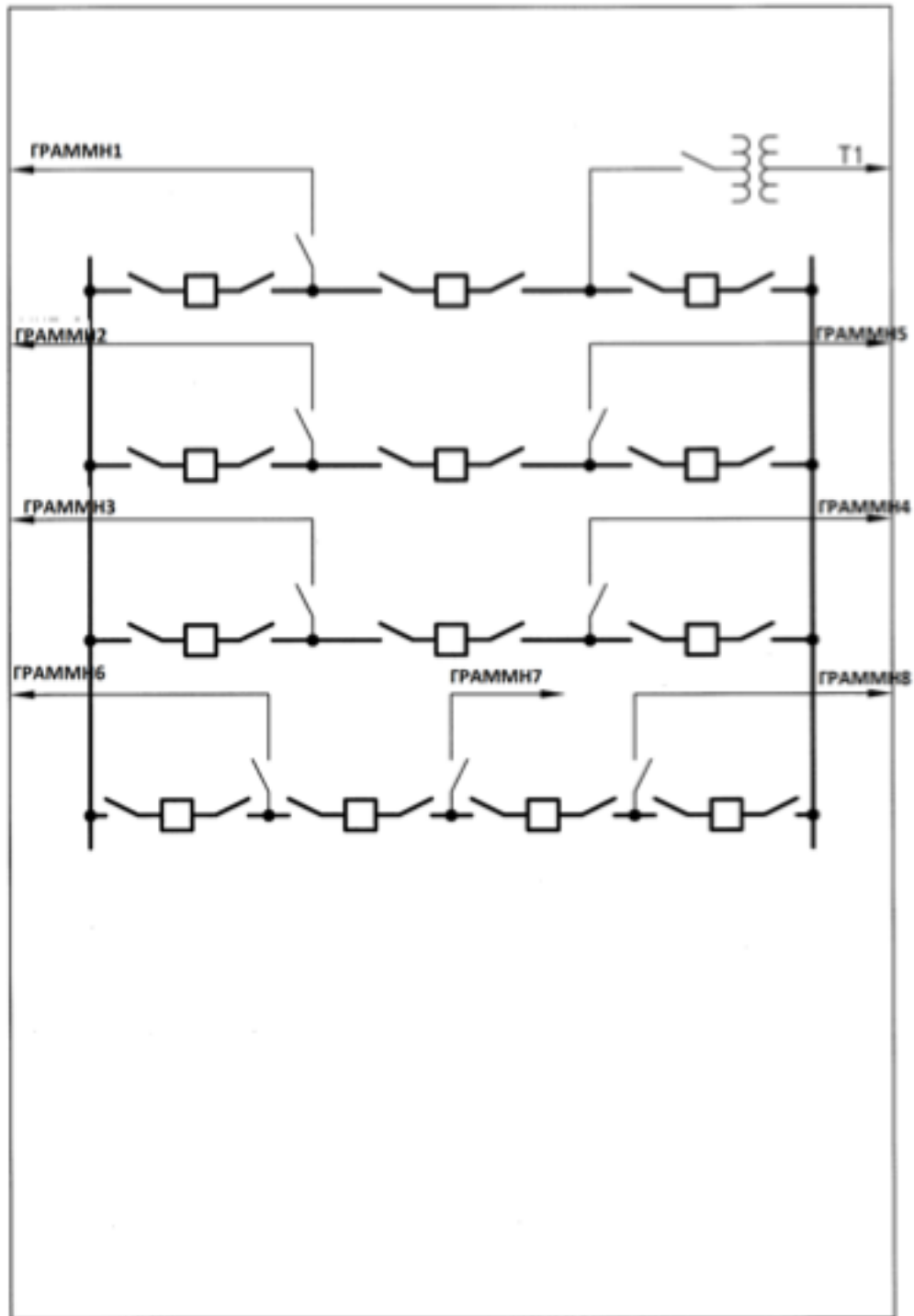
5.7 Διάταξη ενός και ενός τρίτου διακόπτη, $1 + \frac{1}{3}$ (Breaker and a third bus arrangement) [2]

Αυτή η διάταξη χρησιμοποιεί τέσσερις διακόπτες μεταξύ των κύριων ζυγών της και έχει δύο κοινούς διακόπτες. Η αξιοπιστία αυτής της διατάξεως είναι μικρότερη από εκείνης του 1.5 διακόπτη αλλά είναι πάλι καλύτερη από εκείνη του δακτυλιοειδή ζυγού. Ένα σφάλμα σε οποιονδήποτε από τους κοινούς διακόπτες οδηγεί σε απώλεια δύο γραμμών μεταφοράς ή μετασχηματιστών όπως και στην διάταξη 1.5 διακόπτη. Η διαφορά έγκειται στο ότι με τη διάταξη $1 + \frac{1}{3}$ διακόπτη, η πιθανότητα να συμβεί αυτό το δυσάρεστο ενδεχόμενο είναι δύο φορές μεγαλύτερη. Το σχήμα 5.13 απεικονίζει μια τέτοια διάταξη.

Αυτή η διάταξη πλεονεκτεί πάλι ως προς την ευελιξία και την αξιοπιστία σε σχέση με ένα δακτυλιοειδή ζυγό. Παρέχει τη δυνατότητα να απομονώνει έναν κύριο ζυγό για την διαδικασία της συντήρησης χωρίς να διακόπτει τη λειτουργία του καθώς επίσης και την απομόνωση διακοπών για συντήρηση χωρίς την διακοπή λειτουργίας στη γραμμή μεταφοράς ή στο μετασχηματιστή. Έχει διπλή τροφοδοσία σε κάθε γραμμή μεταφοράς ενώ ένα σφάλμα στο ζυγό πάλι δεν βγάζει εκτός λειτουργίας καμία γραμμή μεταφοράς ή μετασχηματιστή. Όλες οι αλλαγές γίνονται μέσω των αποζευκτών και έχει αισθητά μικρότερο κίνδυνο να απομονωθούν οι πηγές δικτύου μεταφοράς από το φορτίο.

Ενώ μειονεκτεί πάλι γιατί έχει μεγαλύτερο κόστος από ότι στη διάταξη δακτυλιοειδή ζυγού. Χρειάζονται $1 + \frac{1}{3}$ διακόπτη για κάθε αναχώρηση, ενώ χρησιμοποιούνται διαφορετικές φιλοσοφίες προστασίας και ελέγχου μέσα στο σταθμό. Θα πρέπει να αφαιρεθεί ένα τμήμα του ζυγού από τη λειτουργία για την επέκταση του ζυγού ή την ηλεκτρική σύνδεση κάποιου επιπλέον τμήματος στον υποσταθμό. Καθώς επίσης είναι και σε αυτή τη διάταξη δύσκολο να προστεθεί ένας δεύτερος διακόπτης σε σειρά με έναν από τους κοινούς διακό-

πτες εκτός εάν παρέχεται χώρος στον αρχικό σχεδιασμό του υποσταθμού. Τέλος ο κίνδυνος αποτυχίας ενός κοινού διακόπτη είναι διπλάσιος από την διάταξη 1.5 διακόπτη. Συνεπώς και αυτή η διάταξη είναι κατάλληλη για το σχεδιασμό ενός κεντρικού υποσταθμού μεταφοράς. Σε περιπτώσεις που η διάταξη 1.5 διακόπτη δεν είναι εφικτή είτε φυσικά, είτε περιβαλλοντικά ή οικονομικά, μια διάταξη $1 + \frac{1}{3}$ διακόπτη μπορεί να αποτελέσει μια αποδεκτή εναλλακτική.



Σχήμα 5.13: Συνδυασμένη διάταξη 1.5 και $1 + \frac{1}{2}$ διακόπτη

5.8 Διάταξη δυο ζυγών με δύο διακόπτες ανά αναχώρηση

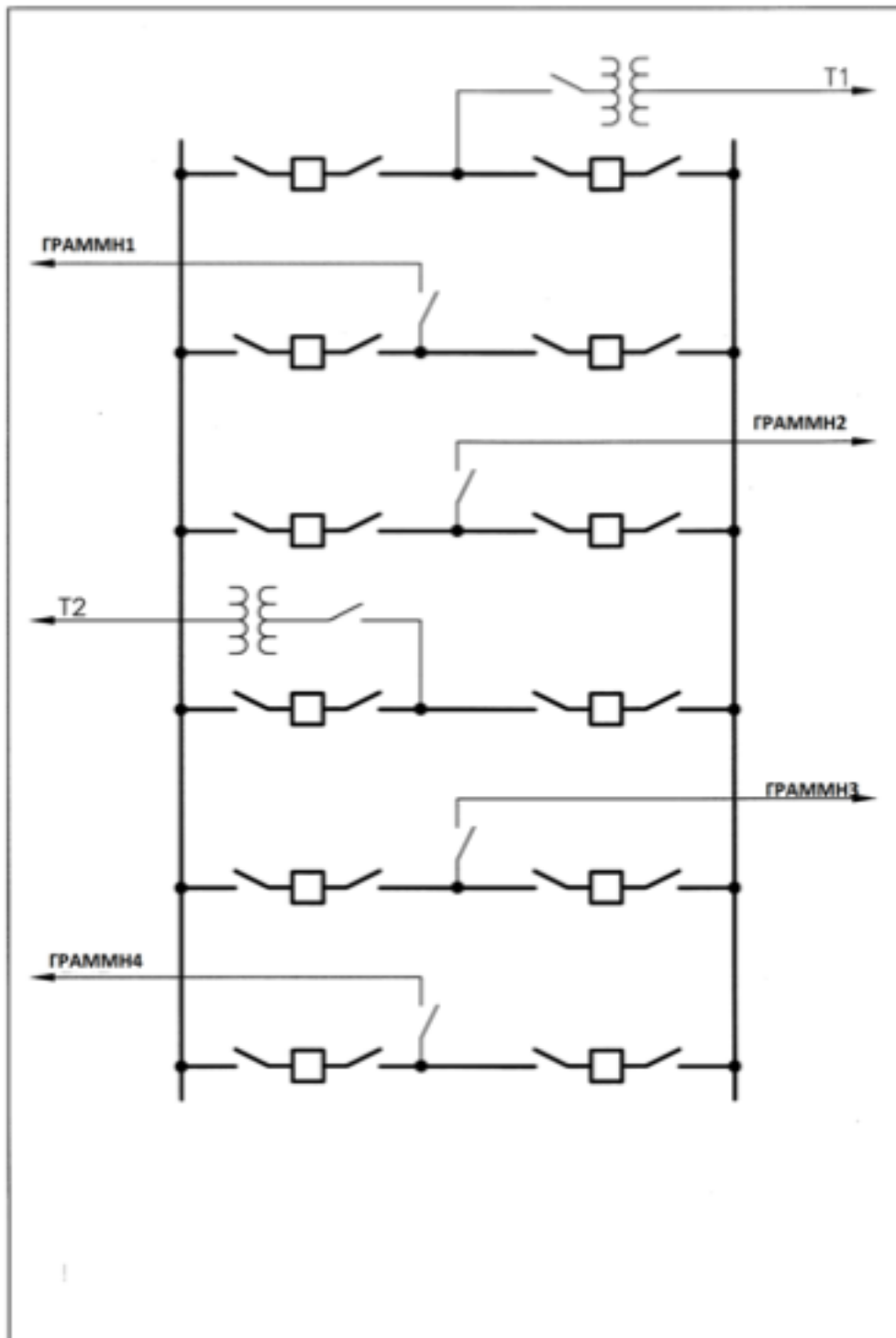
Αυτή η διάταξη χρησιμοποιείται όταν απαιτείται η απόλυτη ασφάλεια. Παρέχει την μεγαλύτερη ευελιξία και αξιοπιστία και έχει το μεγαλύτερο κόστος. Οι δύο ζυγοί τροφοδοτούνται κανονικά και σε κάθε τμήμα μεταξύ των κύριων ζυγών υπάρχουν δύο διακόπτες και μεταξύ των διακοπών υπάρχει μια γραμμή μεταφοράς ή ένας μετασχηματιστής όπως φαίνεται στο σχήμα 5.15. [20]

Σε αυτή τη διάταξη, κάθε διακόπτης μπορεί να βγει εκτός λειτουργίας χωρίς να διακόπτεται η ροή ισχύος σε κάθε γραμμή μεταφοράς ή σε μετασχηματιστή ή σε κύριο ζυγό. Ένα σφάλμα σε οποιοδήποτε από τους δύο ζυγούς δεν έχει άμεση επίπτωση στη ροή ισχύος στις γραμμές μεταφοράς διότι προκαλεί άνοιγμα όλων των προς τον ζυγό αυτό διακοπών χωρίς όμως να χάνεται η συνέχεια της τροφοδοτήσεως των γραμμών από τον άλλο ζυγό. Εξίσου σημαντικό είναι ότι ένα σφάλμα στον διακόπτη προκαλεί την απώλεια μόνο μιας γραμμής μεταφοράς ή ενός μετασχηματιστή. Με ένα σφάλμα στον ένα ζυγό σε περίπτωση σφάλματος γραμμής ανοίγουν δύο διακόπτες για την εκκαθάριση του σφάλματος. Η διάταξη εξάλλου μετατρέπεται σε διάταξη ισοδύναμη αυτής του διπλού ζυγού με ένα διακόπτη ανά αναχώρηση και αποκτά το πλεονέκτημα της ευελιξίας. Εάν κάθε αναχώρηση τροφοδοτείται μέσω του ενός μόνο διακόπτη ενώ ο άλλος παραμένει ανοικτός.

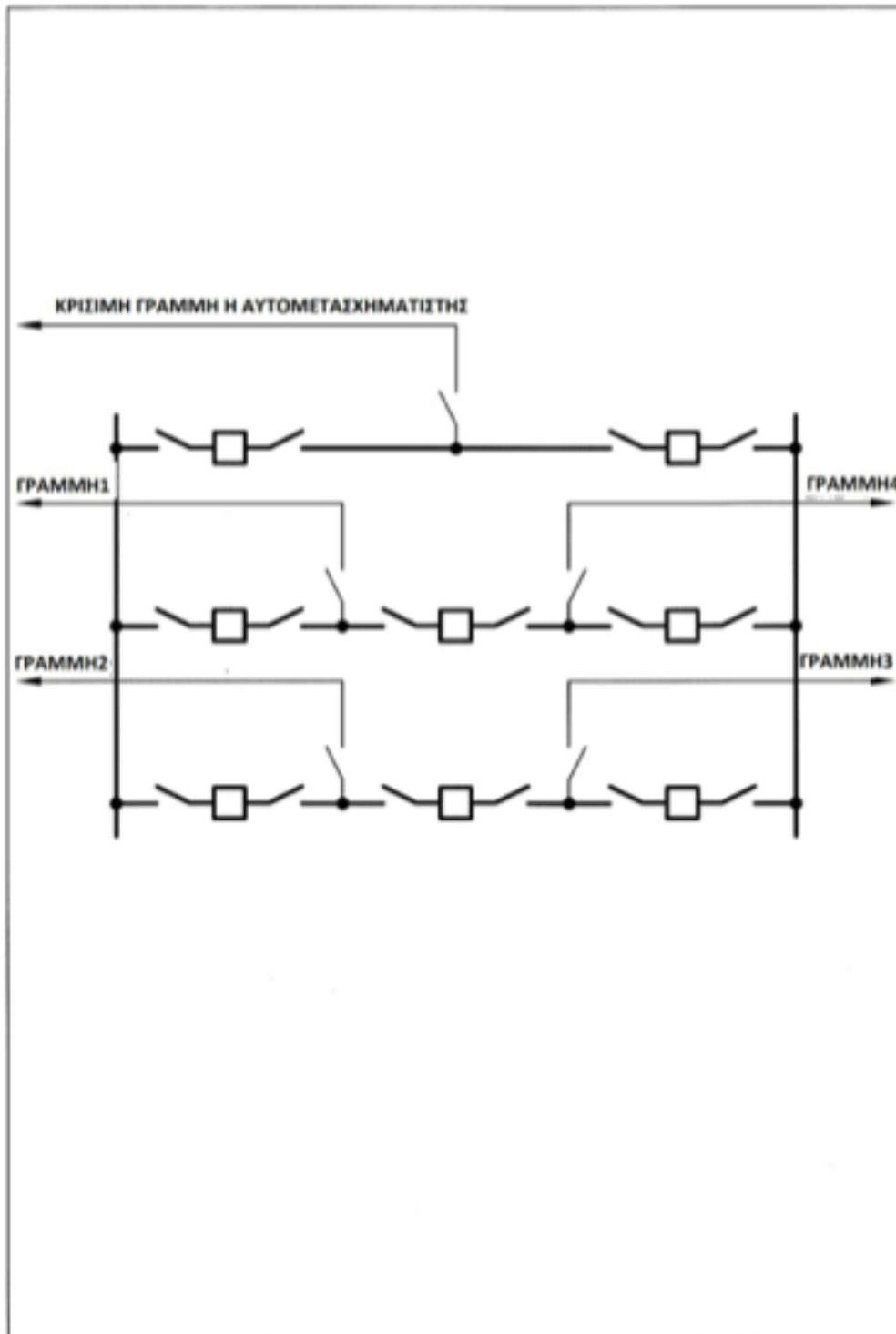
Η χρήση της διάταξης αυτής έχει περιοριστεί σε μεγάλους υποσταθμούς παραγωγής εξαιτίας του μεγάλου κόστους. Η επιπλέον αξιοπιστία σε αυτή τη διάταξη από ότι σε αυτήν του 1.5 διακόπτη συνήθως δεν δικαιολογείται για συμβατικούς υποσταθμούς μεταφοράς. Περιστασιακά μία διάταξη 1.5 διακόπτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν διάταξη δύο ζυγών με δύο διακόπτες ανά αναχώρηση για ένα αγωγό παραγωγής, κρίσιμη γραμμή μεταφοράς ή για μεγάλο αυτομετασχηματιστή που απαιτεί πρόσβαση σε έναν από τους κύριους ζυγούς.

Αυτή η διάταξη πλεονεκτεί γιατί έχουμε δύο διακόπτες ανά αναχώρηση και έχουμε μεγάλη ασφάλεια όταν και οι δύο διακόπτες είναι κλειστοί. Μεγάλη ευελιξία λειτουργίας και μεγάλη αξιοπιστία καθώς επίσης δυνατότητα να απομονώνει οποιονδήποτε κύριο ζυγό για τη διαδικασία της συντήρησης χωρίς να βγαίνει εκτός λειτουργίας ολοκληρωτικά. Επίσης έχουμε απομόνωση οποιουδήποτε διακόπτη για συντήρηση χωρίς να βγαίνει εκτός λειτουργίας μια γραμμή μεταφοράς ή ένας μετασχηματιστής. Καθώς υπάρχει διπλή τροφοδοσία σε κάθε γραμμή μεταφοράς ή σε κάθε μετασχηματιστή και δεν υπάρχει ανάγκη να τοποθετηθούν δύο διακόπτες σε σειρά ώστε να αποφευχθούν οι αρνητικές επιπτώσεις από ένα σφάλμα σε ένα διακόπτη. Όλες οι αλλαγές γίνονται με τους διακόπτες και υπάρχει πολύ μικρός κίνδυνος να απομονωθούν οι πηγές δικτύου μεταφοράς από το φορτίο. Τέλος έχει παρόμοιους τρόπους προστασίας και ελέγχου σε κάθε τμήμα.

Στα μειονεκτήματα της διατάξεως αυτής πρέπει να κατατάξουμε τον αυξημένο αριθμό διακοπών και μετασχηματιστών προστασίας και μετρήσεως, την περισσότερο πολύπλοκη προστασία αφού κάθε γραμμή μεταφοράς απαιτεί τη δική της δυναμική πηγή για αναμετάδοση. Επίσης το αυξημένο κόστος και τις αυξημένες απαιτήσεις συντηρήσεως διακοπών. Τέλος απαιτεί μεγαλύτερη έκταση από την διάταξη 1.5 διακόπτη και για την μελλοντική πιθανή επέκταση του υποσταθμού ή την ηλεκτρική σύνδεση κάποιου άλλου επιπλέον ζυγού απαιτείται η αφαίρεση και των δύο κεντρικών ζυγών από τη λειτουργία. Συνεπώς σε κανονικές συνθήκες μία διάταξη διπλού ζυγού με δύο διακόπτες είναι πολύ ακριβή για να θεωρηθεί κατάλληλη για ένα κεντρικό υποσταθμό Υ/Σ. Παρόλα αυτά υπάρχουν μερικές περιπτώσεις που η χρήση αυτής της διάταξη μπορεί να είναι συνετή για να απευθυνθεί σε πραγματικούς περιορισμούς εκτάσεων ή στην ανάγκη για πολύ μεγάλη αξιοπιστία.



Σχήμα 5.14: Διάταξη διπλού ζυγού με δύο διακόπτες ανά αναχώρηση.



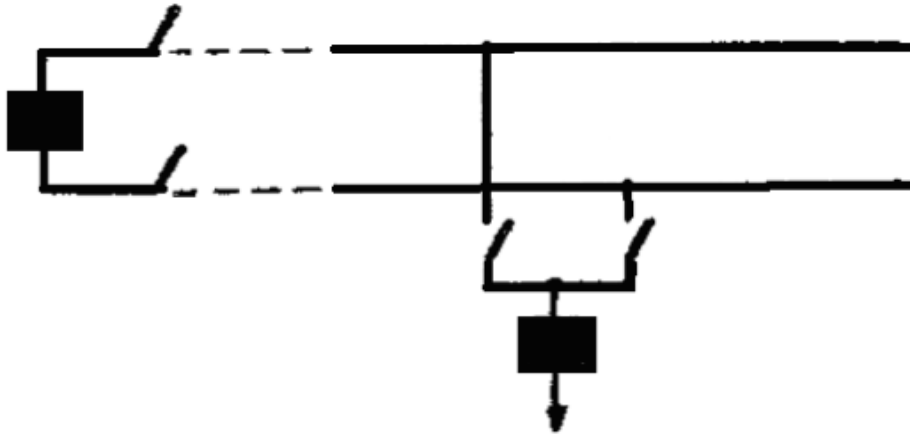
Σχήμα 5.15: Συνδυασμένη διάταξη διπλού ζυγού-διπλού διακόπτη και διάταξη 1.5 διακόπτη

5.9 Διάταξη διπλού ζυγού με έναν διακόπτη ανά αναχώρηση

Πρόκειται για τη διάταξη που φαίνεται στο σχήμα 5.16 και έχει υιοθετηθεί και στη ΔΕΗ. Αυτή αποτελείται από 2 ή 3 ζυγούς οι οποίοι μπορούν να παραλληλισθούν με ένα διακόπτη ζεύξεως ζυγών (coupler). Κάθε αναχώρηση έχει ένα διακόπτη και 2 ή 3 αποζεύκτες ανάλογα με τον αριθμό των ζυγών. Η διάταξη αυτή είναι απλή και έχει τη δυνατότητα να χωρίζει τον υποσταθμό στα δύο δημιουργώντας δύο ξεχωριστούς κόμβους του δικτύου. Μπορεί να έχει μια προστασία ζυγών και ένα διακόπτη για κάθε αναχώρηση. Η ύπαρξη του διακόπτη ζεύξεως ζυγών δίνει μεγάλη ευελιξία. Μειονεκτεί ως προς την ασφάλεια και αυτό γιατί σε περίπτωση σφάλματος ζυγών με το άνοιγμα του διακόπτη ζεύξεως χάνονται συνήθως οι μισές αναχωρήσεις ενώ ταυτόχρονα εξαρθώνεται επικίνδυνα το δίκτυο. Αντίθετα σε περίπτωση σφάλματος γραμμής αρκεί το άνοιγμα ενός διακόπτη του υποσταθμού. [18]

Εδώ πρέπει να προστεθεί ότι η ύπαρξη ενός τρίτου ζυγού δίνει μεγαλύτερη ευελιξία και επιτρέπει τις εργασίες συντηρήσεως με τους εναπομένοντες δύο ζυγούς υπό τάση, χωρίς δηλαδή να έχουμε μειωμένες δυνατότητες κατά την διάρκεια συντηρήσεως.

Σε υποσταθμούς με δύο μόνο ζυγούς, μεγαλύτερη ευελιξία ως προς τη συντήρηση, επιτυγχάνεται εάν κάθε ζυγός είναι χωρισμένος σε δύο ή περισσότερα κομμάτια είτε με αποζεύκτες είτε ακόμα και με διακόπτες. Συμπληρωματικά αναφέρεται ότι το πρόσθετο κόστος ενός τρίτου ζυγού δεν δικαιολογείται παρά μόνο σε υποσταθμούς με μεγάλο αριθμό αναχωρήσεων.



Σχήμα 5.16: Διάταξη δύο ζυγών με ένα διακόπτη ανά αναχώρηση

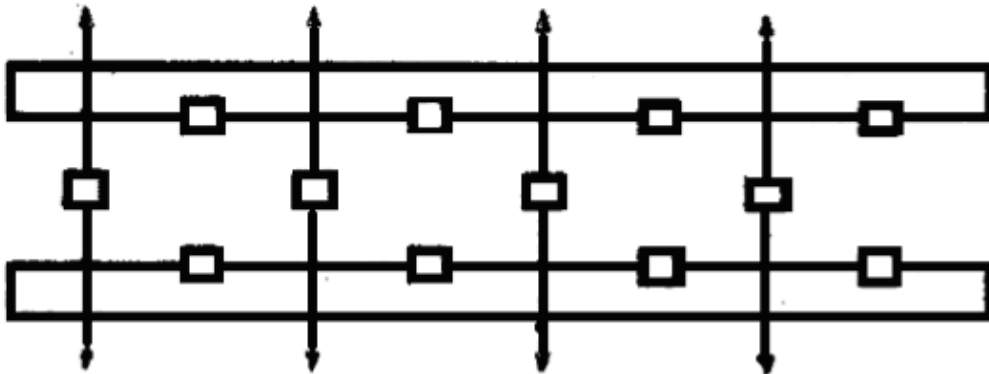
Παραπάνω αναφέρθηκαν οι πιο διαδεδομένες διατάξεις υποσταθμών υψηλής τάσης ενώ παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες λιγότερο διαδεδομένες που μπορεί να είναι και συνδυασμοί αυτών, ακόμα και υποπεριπτώσεις.

5.10 Διατάξεις με διπλούς βρόχους

Παραπάνω παρουσιάστηκε μία διάταξη πολύ δημοφιλής στις ΗΠΑ, η διάταξη του δακτυλιοειδή ζυγού ή η διάταξη απλού βρόχου. Αυτή η διάταξη δεν ικανοποιεί το κριτήριο της ευελιξίας. Η παρεχόμενη ασφάλεια είναι ικανοποιητική μόνο όταν όλοι οι διακόπτες είναι εν ενεργεία και κλειστοί. Σε περίπτωση που ένας διακόπτης συντηρείται, τότε κάθε σφάλμα μπορεί να αποκόψει τον υποσταθμό σε δύο μέρη χωρίς να υπάρχει δυνατότητα για ανακατανομή των αναχωρήσεων. Επίσης, για κάθε σφάλμα γραμμής έχουμε άνοιγμα δύο διακοπών του υποσταθμού. [18]

Για να αποφευχθούν τα μειονεκτήματα της διατάξεως με ένα βρόχο προτάθηκε η διάταξη που φαίνεται στο σχήμα 5.17 με δύο βρόχους. Η διάταξη επιτρέπει τη συντήρηση ή απομάκρυνση ενός διακόπτη χωρίς να μειώνεται η ασφάλεια της εκμεταλλεύσεως. Η διάταξη εξασφαλίζει μία κάποια ευελιξία πλην όμως έχει μεγάλο κόστος, ενώ είναι πολύπλοκη και έχει πολλές απαιτήσεις συντη-

ρήσεως. Πέρα των μειονεκτημάτων αυτών για ένα σφάλμα πρέπει να ανοίξουν 3 διακόπτες.

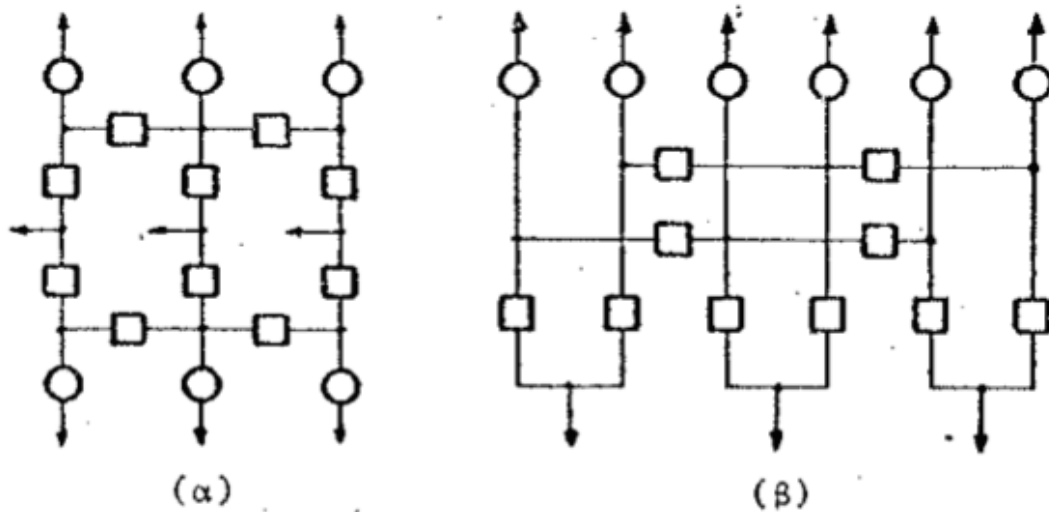


Σχήμα 5.17: Ζυγί με διάταξη διπλού βρόχου

5.11 Διάταξη με πολλαπλούς βρόχους

Τέτοιες διατάξεις έχουν αναπτυχθεί στον Καναδά. Στο σχήμα 5.18(α) φαίνεται η βασική διάταξη για την κατανόηση της λειτουργίας του υποσταθμού. Επειδή υπάρχουν ορισμένες δυσκολίες ως προς τις διελεύσεις των γραμμών μεταφοράς, η διάταξη στην πράξη λαμβάνει τη μορφή του σχήματος 5.18(β). [18]

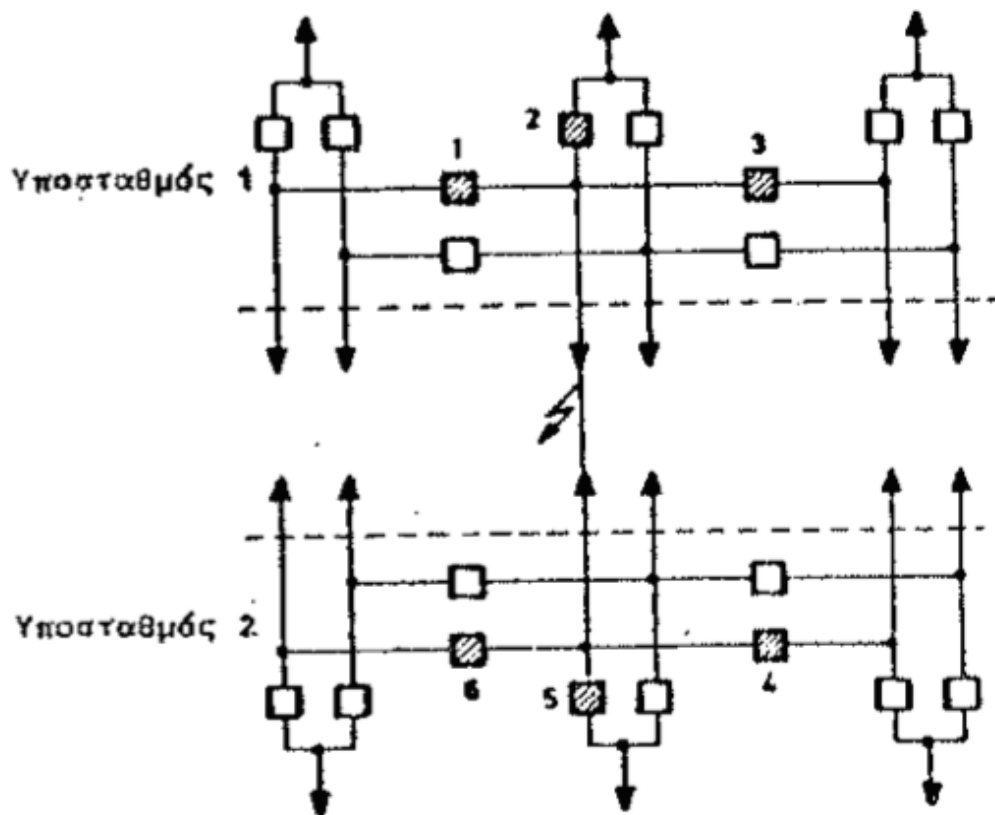
Η διάταξη είναι κατάλληλη όταν έχουμε να συνδέσουμε δύο μετασχηματιστές σε κάθε γραμμή αναχωρούσα από τον υποσταθμό. Σε περίπτωση σφάλματος ανοίγουν δύο ή τρεις διακόπτες για την εκκαθάρισή του όπως φαίνεται στο παράδειγμα του σχήματος 5.19. Η διάταξη ικανοποιεί το κριτήριο της ασφάλειας και παρουσιάζει μικρή ευελιξία. Οι χειρισμοί δεν είναι πάντα απλοί και εύκολοι και αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι είμαστε αναγκασμένοι να σχεδιάσουμε στο σχήμα 5.18 δύο φορές τον υποσταθμό για την καλύτερη κατανόηση της βασικής αρχής της διατάξεως.



Σχήμα 5.18: Διάταξη με πολλαπλούς βρόχους

- α) Βασικό σχήμα αρχής
- β) Πρακτική μορφή της διατάξεως

Παράδειγμα σφάλματος γραμμής σε διατάξεις πολλαπλών βρόχων:



Σχήμα 5.19: Διασύνδεση δύο υποσταθμών με πολλαπλούς βρόχους. Σφάλμα γραμμής. [18]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

“ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ”

6.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ένας Υ/Σ πρέπει να κατασκευάζεται έτσι ώστε όλα τα πιθανά σφάλματα να περιορίζονται:

- I. Έτσι ώστε η διαβάθμιση ρεύματος σφάλματος των γραμμών και του εξοπλισμού να μην ξεπερνά τα όρια.
- II. Έτσι ώστε να μην προκαλείται κανένας κίνδυνος στο προσωπικό και οι απαιτήσεις του κώδικα ασφαλείας να πληρούνται.
- III. Μέσα σε τέτοιο χρόνο ώστε η σταθερότητα του δικτύου να διατηρείται.
- IV. Με τέτοιο τρόπο ώστε το φορτίο και η παραγωγή να διατηρούνται σε ισορροπία.

Τα συστήματα προστασίας μπορούν να διαχωριστούν στις ακόλουθες ομάδες σύμφωνα με τα στοιχεία προστασίας:

- 1) Προστασία γραμμής.
- 2) Προστασία μετασχηματιστή.
- 3) Προστασία ζυγού διανομής.
- 4) Προστασία αποτυχίας διακόπτη.
- 5) Προστασία εξοπλισμού αντιστάθμισης.

ή ανάλογα με τον τύπο προστασίας:

- α) Προστασία βραχυκυκλώματος.
- β) Προστασία σφάλματος γείωσης.
- γ) Προστασία αρμονίας υποσταθμού.
- δ) Προστασία υπερφόρτισης.
- ε) Προστασία από υπερτάσεις.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την προστασία του ζυγού διανομής και συγκεκριμένα των παραπάνω διατάξεων που καθίσταται πολύ σημαντική για την ασφαλή λειτουργία του Υ/Σ.

Τα σφάλματα στους ζυγούς δεν είναι συχνά, αλλά αν συμβούν μπορεί να προκαλέσουν διακοπή της παροχής, αλλά και σημαντική απώλεια. Η προστασία των ζυγών θα πρέπει να προστατεύει όχι μόνο τους ίδιους, αλλά και τις διάφορες συσκευές που είναι συνδεδεμένες με αυτόν όπως διακόπτες, αποζεύκτες, μετασηματιστές κ.ο.κ [21]

Τα σφάλματα που συμβαίνουν στους ζυγούς μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1. Αποτυχία της απομόνωσης λόγω της φθοράς του υλικού
2. Αποτυχία λειτουργίας διακόπτη
3. Σφάλμα γείωσης λόγω της βλάβης του επιπλέον απομονωτή
4. Επιφανειακή εκκένωση λόγω των συνεχών υπερβολικών υπερτάσεων
5. Σφάλματα στη λειτουργία και στην συντήρηση ενός διακόπτη
6. Σεισμός και μηχανολογική καταστροφή
7. Ατυχήματα λόγω πτώσεων ξένων σωμάτων δίπλα στους ζυγούς
8. Επιφανειακή εκκένωση λόγω πολύ μολυσμένης απομονωτή

Τα σφάλματα στους ζυγούς έχει παρατηρηθεί ότι είναι σχετικά σπάνια συγκριτικά με αυτά στις γραμμές, υπολογίζεται να αποτελούν το 6-7% όλων των σφαλμάτων, ενώ αυτά των γραμμών υπολογίζονται πάνω από 60%. Στατιστικά στα σφάλματα των ζυγών δεν δημοσιεύονται ευρέως, αλλά μία σειρά από στατιστικά σφάλματα ζυγών μπορεί να δείξει τη σχετική συχνότητα των διαφορετικών ειδών σφαλμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα σφάλματα στους ζυγούς είναι σφάλματα γείωσης για κάθε αιτία. Είναι επίσης ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι ένας σχετικά μεγάλος αριθμός σφαλμάτων προκαλούνται από ανθρώπινα λάθη εξαιτίας κακού χειρισμού κατά την επισκευή ή την καθημερινή συντήρηση. Ο μεγαλύτερος αριθμός σφαλμάτων γίνονται εξαιτίας εκκενώσεων ή σπινθηρισμών και αποτυχίες απομόνωσης, που συχνά ξεκινούν λόγω κακών καιρικών συνθηκών. [22]

Η διαφορική προστασία παρέχει ευαίσθητη και γρήγορη, στα σφάλματα γείωσης, προστασία και γενικότερα προτείνεται για όλες τις διατάξεις. Στα σχήματα που δίνονται παρακάτω το κουτί με τις διακεκομμένες γραμμές εσωκλείει την ζώνη διαφορικής προστασίας του ζυγού, δηλ. την πρωταρχική ζώνη προστασίας. Με την προστασία που έχει να κάνει με τα συνδεδεμένα κυκλώματα παρέχεται συνήθως εφεδρεία. Ένα δεύτερο σχήμα διαφορικής προστασίας χρησιμοποιείται πολλές φορές για πολύ σημαντικούς ζυγούς και γενικά κατευθύνεται από απαιτήσεις πλεονασμού για εσωτερικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Γενικότερα οι ζυγοί σε σταθμούς διανομής προστατεύονται από λιγότερο πολύπλοκες προστασίες. [23]

Για κάθε μία από τις παραπάνω διατάξεις προτιμάται και ανάλογη με τα χαρακτηριστικά τους προστασία. Παρακάτω περιγράφεται η καθεμία αναλυτικά.

6.2 Απαιτήσεις προστασίας ζυγών [2]

Έχει γίνει σημαντική έρευνα από μηχανικούς προστασίας όσον αφορά στην προστασία των ζυγών. Εάν δεν χρησιμοποιείται αποκλειστική προστασία ζυγού, ο καθαρισμός των σφαλμάτων θα γίνεται από τις εφεδρικές ζώνες προστασίας των γραμμών που καταλήγουν στον ζυγό. Αυτό μπορεί να είναι ικανοποιητικό όσον αφορά την αξιοπιστία του καθαρισμού των σφαλμάτων, αλλά θα είναι γενικά πιο αργό και το σφάλμα θα αφήνεται να κάνει μεγαλύτερη ζημιά στη διάταξη του ζυγού και του γύρω εξοπλισμού από ό,τι στην περίπτωση γρήγορου καθαρισμού σφάλματος. Ο αργός καθαρισμός των σφαλμάτων συχνά προκαλεί προβλήματα στη μεταβατική ευστάθεια, αφού ο ζυγός είναι συνήθως κοινός σε διάφορες τερματικές γραμμές και η διακοπή λειτουργίας του ζυγού να οδηγήσει σε πολλαπλές διακοπές λειτουργίας των γραμμών. Επίσης, μπορεί να θέτει σε κίνδυνο το προσωπικό που εργάζεται στον Υ/Σ. Αυτό οδηγεί στο ότι η αποκλειστική προστασία των ζυγών μπορεί να είναι απαραίτητη, ακόμα και αν τα σφάλματα των ζυγών δεν είναι τόσο συχνά.

Από την άλλη πλευρά η αποκλειστική προστασία των ζυγών εμφανίζει την πιθανότητα της αποσύνδεσης του ζυγού, χωρίς να χρειάζεται, προκαλώντας διακοπή του συνδεδεμένου φορτίου και δημιουργώντας προβλήματα στην ευστάθεια του συστήματος. Τέτοιες μη απαραίτητες διακοπές, οι οποίες συχνά καλούνται «αποτυχίες ασφαλείας», μπορεί να οφείλονται σε σφάλματα των ηλεκτρονόμων ασφαλείας, στον κορεσμό των Μ/Σ οργάνων ή σε ανθρώπινα σφάλματα. Η πιθανότητα συνδυάζεται με το γεγονός ότι η συχνότητα των σφαλμάτων των ζυγών είναι μικρή και θεωρείται από πολλούς επιστήμονες επαρκής λόγος ώστε να μην χρησιμοποιηθεί ειδική προστασία ζυγών.

Αυτές οι απόψεις προκύπτουν από το γεγονός ότι τα σφάλματα στους ζυγούς μπορεί να είναι σπάνια αλλά μπορούν να προκαλέσουν σημαντική ζημιά και πιθανόν να καταστρέψουν έναν ολόκληρο Υ/Σ. Η επίπτωση ενός σφάλματος στο ζυγό θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια εκτεταμένη διακοπή σημαντικής

ισχύος στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, που θα ήταν ακριβή και στην επισκευή αλλά και στην εξαναγκασμένη τροποποίηση του συστήματος λειτουργίας. Σήμερα η ανάγκη για προστασία των ζυγών σε μεγάλους σταθμούς απαιτείται από επιστήμονες. Σε τελική ανάλυση και το σύστημα και οι διατάξεις των Υ/Σ είναι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη.

Οι απαιτήσεις στην προστασία των ζυγών είναι κυρίως δύο: η ταχύτητα και η ασφάλεια. Η μεγάλη ταχύτητα είναι απαραίτητη για να περιορίσει τη ζημιά που μπορεί να προκληθεί από το σφάλμα ενός ζυγού. Αυτό είναι κυρίως αληθές για ζυγούς Υψηλής Τάσης που έχουν την δυνατότητα να στηρίζουν πολύ μεγάλα ρεύματα σφαλμάτων. Η ασφάλεια είναι πολύ σημαντική για τους ηλεκτρονόμους των ζυγών, αφού πολλά κυκλώματα μπορούν να αποσυνδεθούν με την απόζευξη ενός ζυγού, με ένα πιθανό αριθμό διακοπών γραμμών, που εξαρτώνται από την διάταξη του Υ/Σ. Υπάρχουν διάφορες αιτίες αποτυχίας ασφαλείας των ηλεκτρονόμων των ζυγών. Αυτό περιλαμβάνει σφάλματα στα ρελέ κυκλωμάτων, έλλειψη κατάλληλης επιλεκτικότητας, λανθασμένες ρυθμίσεις του ηλεκτρονόμου, μηχανικό σοκ στον πίνακα ηλεκτρονόμων (για ηλεκτρομηχανικούς ηλεκτρονόμους) και σφάλματα συντήρησης από το προσωπικό. [22]

6.3 Προστασία διατάξεως ενός ζυγού

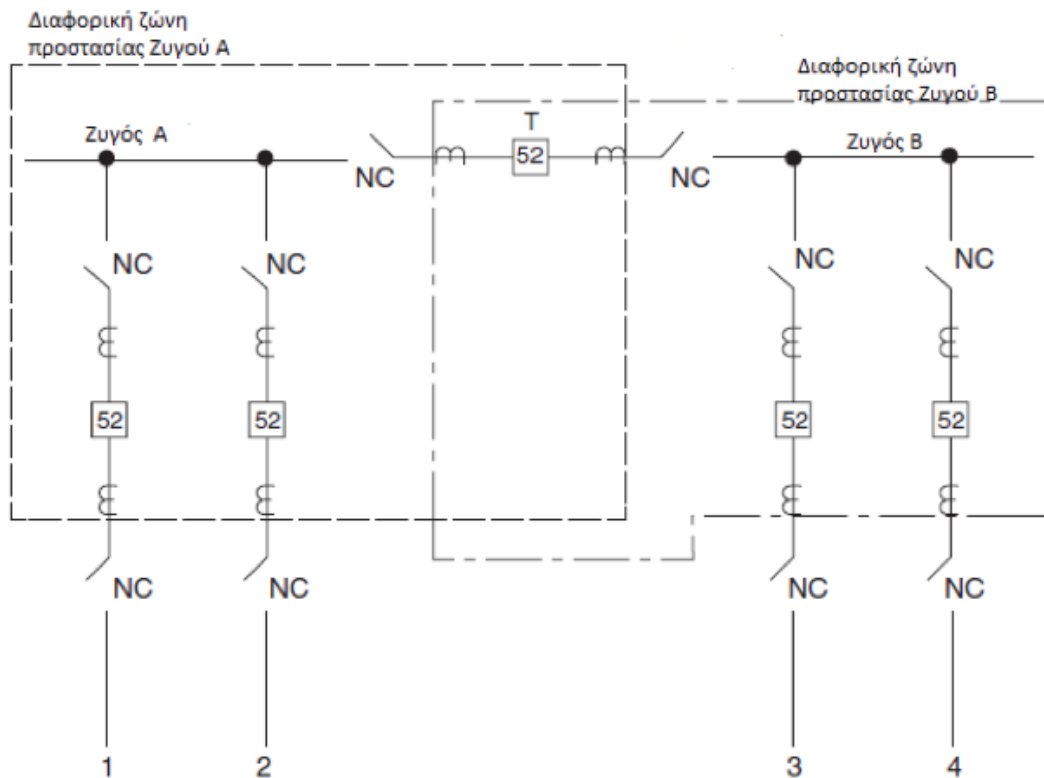
Όπως έχει ήδη αναφερθεί, αυτή η διάταξη είναι η πιο απλή, βασική, οικονομική και χρησιμοποιείται ευρέως, αν και προτιμάται σε Υ/Σ διανομής με χαμηλότερες τάσεις. Γι' αυτόν τον τύπο διάταξης είναι εύκολο να εφαρμοστεί διαφορική προστασία όσο υπάρχουν διαθέσιμοι Μ/Σ έντασης, με τη ζώνη προστασίας να περιλαμβάνει ολόκληρο το ζυγό, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.1.

Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι αυτή η διάταξη δεν έχει λειτουργική ευελιξία και όλα τα σφάλματα απαιτούν άνοιγμα όλων των κυκλωμάτων που είναι συνδεδε-

μένα με το ζυγό. Προβλήματα διακοπών ή η διαδικασία της συντήρησης προϋποθέτουν ότι το κύκλωμα θα βγει εκτός λειτουργίας. Παρόλ' αυτά η διαδικασία της συντήρησης δεν αποτελεί τόσο πρόβλημα, αν η συντήρηση σε ολόκληρο το κύκλωμα και η προστασία γίνουν ταυτόχρονα. Επίσης, μια σειρά από M/Σ τάσεως στο ζυγό μπορούν να παρέχουν τάση για την προστασία σε όλα τα κυκλώματα. [23]

6.4 Προστασία διάταξης τμηματοποιημένου ζυγού

Αυτή είναι μία επέκταση της διατάξεως ενός ζυγού όπως έχει αναφερθεί παραπάνω και χρησιμοποιείται όταν υπάρχει μεγάλος αριθμός κυκλωμάτων, κυρίως σε χαμηλότερες τάσεις. Αυτή παρέχει ευελιξία, όταν ο Y/Σ τροφοδοτείται από δύο ξεχωριστές πηγές ισχύος. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.2, κάθε πηγή παροχής συνδεδεμένη με τον κάθε ζυγό επιτρέπει τη λειτουργία με τον διακόπτη ζεύξεως (52T) είτε ανοιχτό, είτε κλειστό. Εάν ο ένας ζυγός παροχής χαθεί, όλα τα κυκλώματα μπορούν να τροφοδοτηθούν από τον άλλο με τον (52T) κλειστό. Απαιτούνται ξεχωριστές διαφορικές ζώνες προστασίας για κάθε ζυγό. Ένα σφάλμα σε μία ζώνη ζυγού επιτρέπει τη μερική εξυπηρέτηση στον Y/Σ από τον άλλο ζυγό. [23]



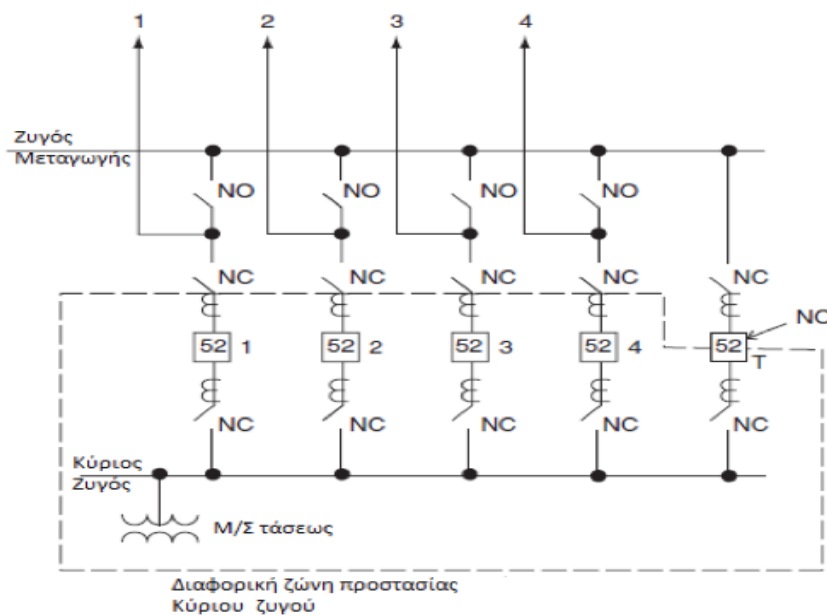
NC = Normally Closed = Κανονικά Κλειστός

Σχήμα 6.2: Τυπική Διάταξη τεσσάρων κυκλωμάτων με δύο διατάξεις ενός ζυγού συνδεδεμένες με ένα διακόπτη και η διαφορική ζώνη προστασίας του κάθε ζυγού.

6.5 Προστασία διάταξης κύριου ζυγού σε συνδυασμό με ζυγό μεταγωγής [2]

Με την προσθήκη του ζυγού μεταγωγής παρέχεται αυξημένη ευελιξία λειτουργίας όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3. Η κανονική λειτουργία είναι παρόμοια με αυτή του σχήματος 6.1, με όλες τις γραμμές να τροφοδοτούνται από τον κύριο ζυγό. Αυτός ο ζυγός προστατεύεται από μία διαφορική ζώνη προστασίας (διακεκομμένες γραμμές). Ένα σφάλμα στο ζυγό απαιτεί αποσύνδεση όλων των διακοπών, διακόπτοντας όλη την λειτουργία που είναι συνδεδεμένη με το ζυγό.

Κανονικά ο ζυγός μεταγωγής δεν φέρεται από ρεύμα. Για οποιοδήποτε πρόβλημα διακόπτη ή συντήρησης τα κυκλώματα συνδέονται στον ζυγό μεταγωγής κλείνοντας τον κανονικά ανοιχτό διακόπτη αλλά και κλείνοντας τον διακόπτη ζεύξεως (52T) για να συνεχίσει η λειτουργία. Μόνο μία γραμμή είναι συνδεδεμένη στον ζυγό μεταγωγής οποιαδήποτε στιγμή. Η προστασία που σχετίζεται με τον διακόπτη ζεύξεως πρέπει να είναι διαθέσιμη και ταιριαστή για την προστασία οποιουδήποτε κυκλώματος του κύριου ζυγού. Αυτό ίσως να απαιτεί διαφορετικές ρυθμίσεις, που πρέπει να γίνουν για κάθε κύκλωμα μετάδοσης ή λειτουργίας, με συμβιβασμένη προστασία για την περίοδο της λειτουργίας του ζυγού μεταγωγής. Αυτό είναι ένα μειονέκτημα από πλευράς προστασίας. Γενικότερα δεν είναι επιθυμητό να αλλάζουν ή να τροποποιούνται συστήματα προστασίας, γιατί η πιθανότητα ενός σφάλματος που μπορεί να προκαλέσει είναι μη προστασία ή κακή λειτουργία. Μία σειρά από Μ/Σ τάσεως στο ζυγό μπορούν να παρέχουν τάση σε όλη την προστασία των διαφόρων κυκλωμάτων.



NC = Normally Closed = Κανονικά Κλειστός

NO = Normally Open = Κανονικά ανοιχτός

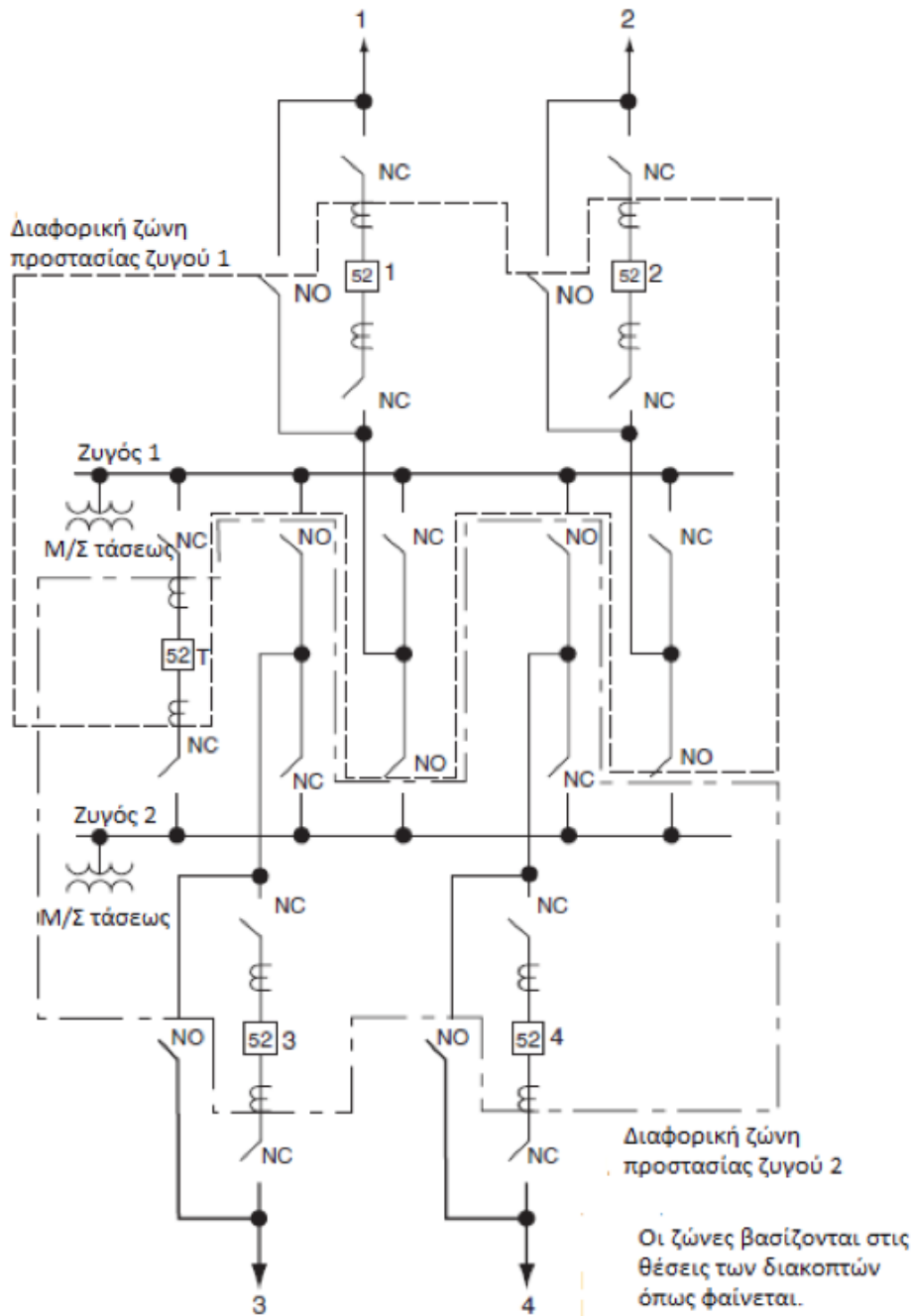
Σχήμα 6.3: Τυπική Διάταξη τεσσάρων κυκλωμάτων κύριου ζυγού με ζυγό μεταγωγής και η διαφορική ζώνη προστασίας.

6.6 Προστασία διάταξης διπλού ζυγού- ενός διακόπτη [2]

Η διάταξη, που φαίνεται στο σχήμα 6.4, παρέχει υψηλή ευελιξία στη λειτουργία του συστήματος. Οποιαδήποτε γραμμή μπορεί να τροφοδοτείται από οποιοδήποτε ζυγό, οι ζυγοί μπορούν να λειτουργούν μαζί, όπως φαίνεται, αλλά και ανεξάρτητα, και ένας ζυγός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ζυγός μεταγωγής εάν ένας διακόπτης γραμμής είναι εκτός λειτουργίας. Το μειονέκτημα αυτής είναι ότι απαιτεί πολύπλοκη προστασία: Διαφορική προστασία ζυγών και προστασία γραμμής ταυτόχρονα. Απαιτούνται δύο ζώνες διαφορικής προστασίας για τους ζυγούς. Στο σχήμα 6.4, οι γραμμές 1 και 2 φαίνονται συνδεδεμένες στον ζυγό 1, και οι γραμμές 3 και 4 στο ζυγό 2. Για αυτή τη λειτουργία οι διαφορικές ζώνες προστασίας περιγράφονται: διακεκομμένες γραμμές για τον ζυγό 1 και διακεκομμένες με τελείες για τον ζυγό 2.

Μ/Σ τάσης για προστασία απαιτούνται για κάθε ζυγό, όπως φαίνεται στο σχήμα. Παρόλ' αυτά, Μ/Σ τάσης στην πλευρά της γραμμής είναι προτιμότεροι για την αποφυγή της μεταγωγής εάν απαιτείται τάση για προστασία γραμμής.

Αυτή η διάταξη δεν χρησιμοποιείται ευρέως στις ΗΠΑ, αφενώς εξαιτίας της πολύπλοκης προστασίας, και αφετέρου επειδή δεν προτείνεται από αυτή την οπτική γωνία.



NC = Normally Closed = Κανονικά Κλειστός

NO = Normally Open = Κανονικά ανοιχτός

Σχήμα 6.4: Τυπική Διάταξη τεσσάρων κυκλωμάτων ενός διακόπτη-διπλού ζυγού και οι διαφορικές ζώνες προστασίας των ζυγών.

6.7 Προστασία διάταξης διπλού ζυγού- διπλού διακόπτη [2]

Αυτή είναι πολύ ευέλικτη διάταξη που απαιτεί δύο διακόπτες ανά αναχώρηση, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5. Όπως απεικονίζεται, κάθε ζυγός προστατεύεται από ξεχωριστές διαφορικές ζώνες. Η προστασία γραμμής γίνεται από παράλληλους Μ/Σ έντασης, και αυτό παρέχει προστασία για τη περιοχή του ζυγού μεταξύ των δύο ζωνών επικαλύπτοντας τους δύο διακόπτες. Η προστασία γραμμής λειτουργεί με το άνοιγμα και των δύο αποζευκτών.

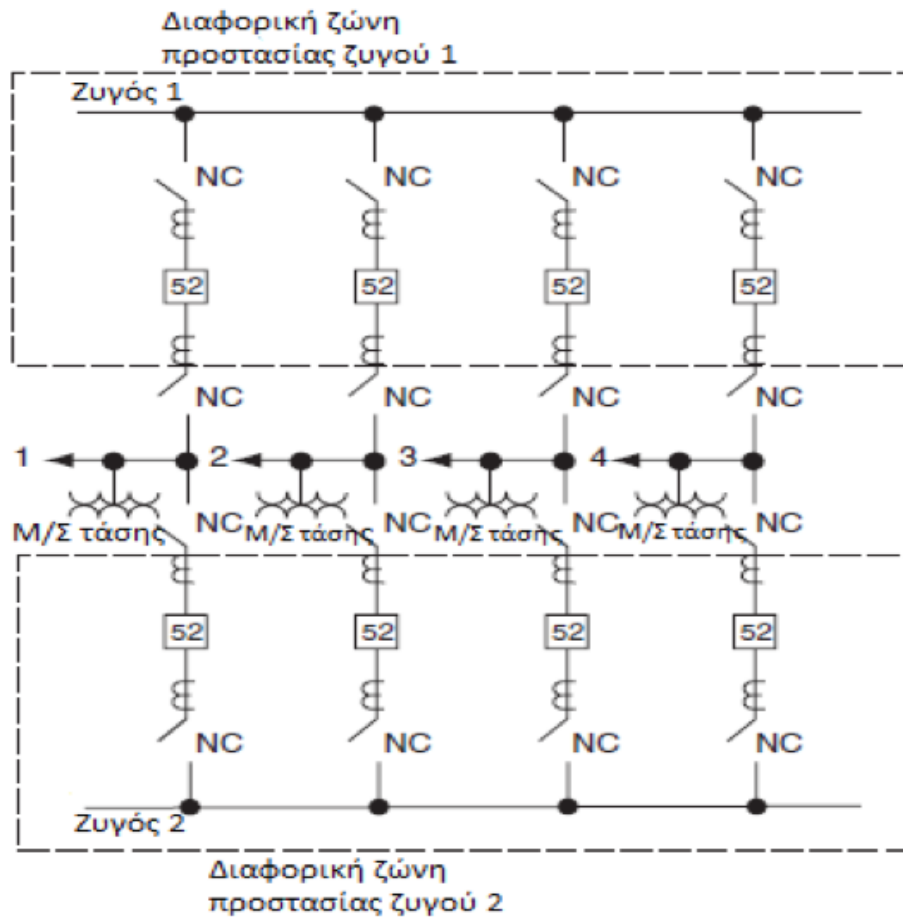
Με όλους τους αποζεύκτες κανονικά κλειστούς, όπως φαίνεται στο σχήμα, ένα σφάλμα σε οποιοδήποτε ζυγό δεν διακόπτει τη λειτουργία στις γραμμές. Όλη η μεταγωγή γίνεται με τους αποζεύκτες και οποιοσδήποτε ζυγός μπορεί να βγει εκτός λειτουργίας για συντήρηση.

Για την προστασία της τάσης γραμμής αν απαιτείται χρησιμοποιείται, είτε Μ/Σ τάσης, είτε Μ/Σ τάσης με πυκνωτή ζεύξης.

6.8 Προστασία διατάξεως δακτυλιοειδή ζυγού [2]

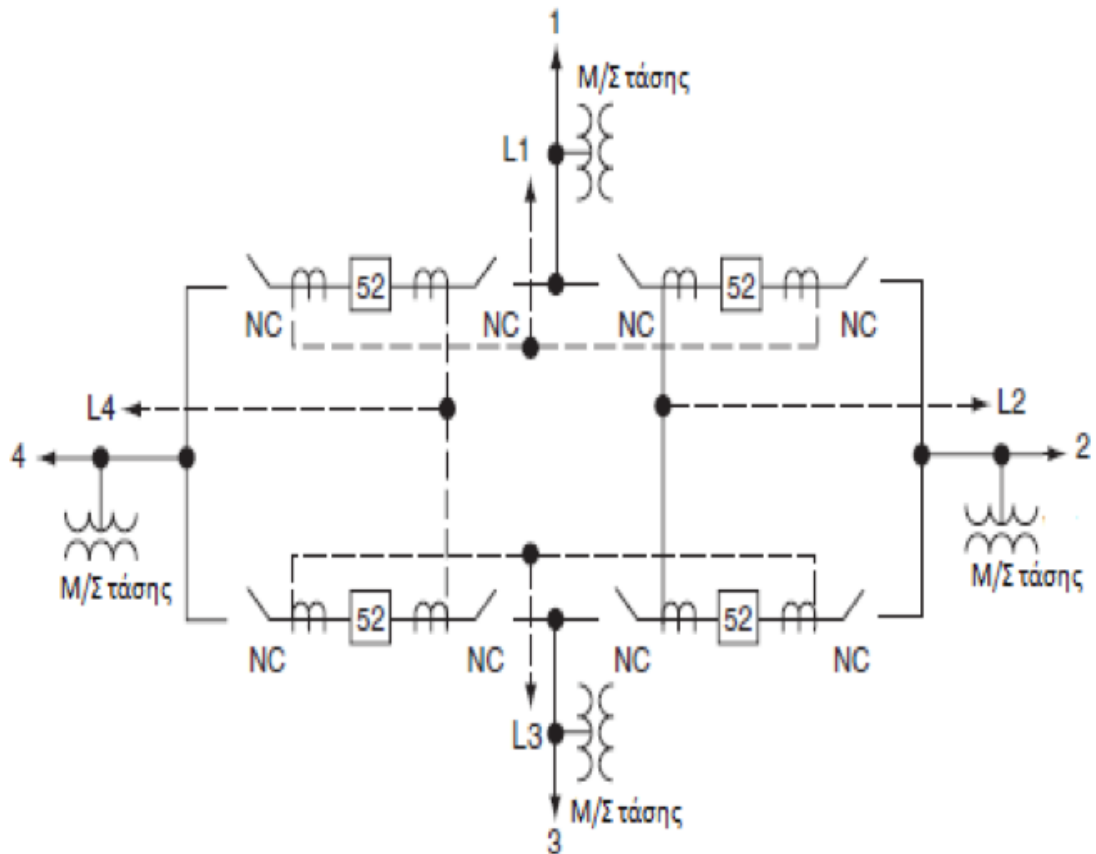
Αυτή η διάταξη όπως φαίνεται στο σχήμα 6.6 είναι πολύ κοινή, ιδιαιτέρως για υψηλές τάσεις. Με τον μικρότερο δυνατό αριθμό αποζευκτών επιτυγχάνεται μεγάλη ευελιξία. Κάθε αποζεύκτης εξυπηρετεί δύο γραμμές και πρέπει να ανοίξουν για σφάλματα σε οποιαδήποτε γραμμή. Το τμήμα του ζυγού μεταξύ των αποζευκτών γίνεται μέρος της γραμμής, έτσι ώστε η προστασία του ζυγού να μην είναι εφαρμόσιμη ή να απαιτείται. Η διασύνδεση των Μ/Σ ρεύματος για προστασία για κάθε γραμμή φαίνεται με διακεκομμένες γραμμές στο σχήμα 6.6, και τα σφάλματα στους ζυγούς πρέπει να ανοίξουν δύο αποζεύκτες. Εάν ο δακτύλιος είναι ανοιχτός για οποιοδήποτε λόγο, ένα σφάλμα σε μία γραμμή μπορεί να χωρίσει τις άλλες γραμμές και τον ζυγό.

Προστασία τάσης γραμμής, εάν απαιτείται επιτυγχάνεται από Μ/Σ τάσης ή ακόμα πιο συνηθισμένα, σε υψηλότερες τάσεις από Μ/Σ τάσης με πυκνωτή ζεύξης συνδεδεμένο σε κάθε γραμμή.



NC = Normally Closed = Κανονικά Κλειστός

Σχήμα 6.5: Τυπική Διάταξη τεσσάρων κυκλωμάτων διπλού ζυγού-διπλού διακόπτη και οι διαφορικές ζώνες προστασίας των ζυγών.



NC = Normally Closed = Κανονικά Κλειστός

Σχήμα 6.6: Τυπική Διάταξη τεσσάρων κυκλωμάτων δακτυλιοειδή ζυγού. Η διαφορική προστασία δεν εφαρμόζεται. Μέρη του ζυγού προστατεύονται ως τμήματα των γραμμών ή του συνδεδεμένου εξοπλισμού, όπως δείχνουν οι τελείες.

6.9 Προστασία διάταξης 1.5 διακόπτη [2]

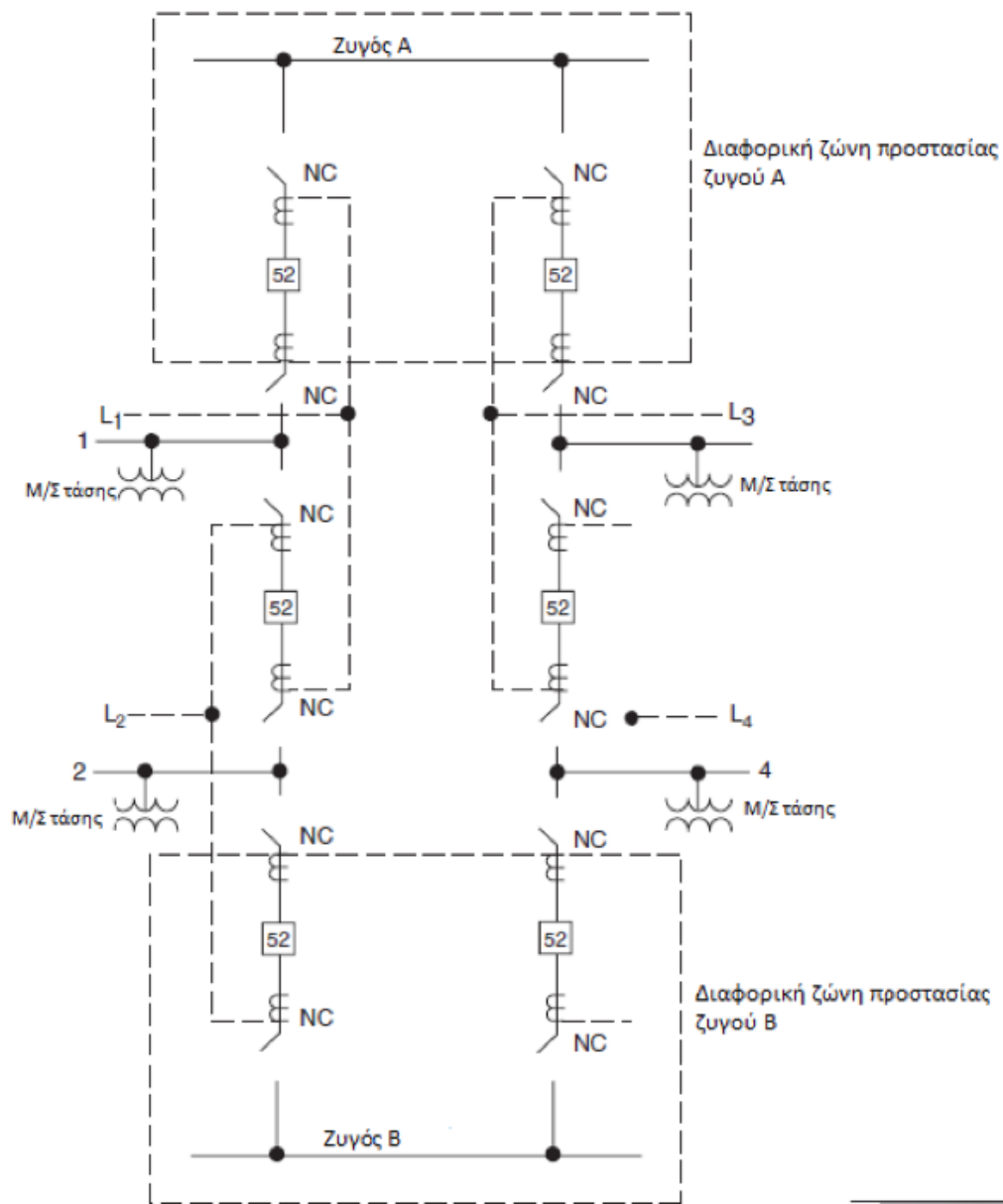
Αυτή η διάταξη, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.7, παρέχει μεγαλύτερη λειτουργική ευελιξία, αλλά απαιτεί περισσότερους διακόπτες από ότι στον δακτυλιοειδή ζυγό, όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω. Χρησιμοποιείται ευρέως και ιδιαίτερα για μεγαλύτερα πολυκυκλώματα, υψηλότερων τάσεων συστήματα. Δύο ζυγοί βρίσκονται σε λειτουργία και ο καθένας έχει ξεχωριστή ζώνη διαφορικής προστασίας. Κάθε γραμμή τροφοδοτείται και από τις δύο γραμμές μέσω δύο διακοπών. Ο κεντρικός διακόπτης εξυπηρετεί και τις δύο γραμμές.

Η διασύνδεση των Μ/Σ έντασης φαίνονται για κάθε γραμμή με διακεκομμένες γραμμές στο σχήμα 6.7. Για να έχουμε τάση στους ηλεκτρονόμους των γραμμών πρέπει να χρησιμοποιούνται Μ/Σ τάσης ή Μ/Σ τάσης με πυκνωτές ζεύξης. Σφάλματα στη γραμμή ανοίγουν δύο διακόπτες, αλλά δεν προκαλούν διακοπή λειτουργίας στις άλλες γραμμές, εάν όλες οι γραμμές είναι κανονικά κλειστές όπως φαίνεται και στο σχήμα.

6.10 Προστασία διάταξης ενός ζυγού σε συνδυασμό με μετασχηματιστή [2]

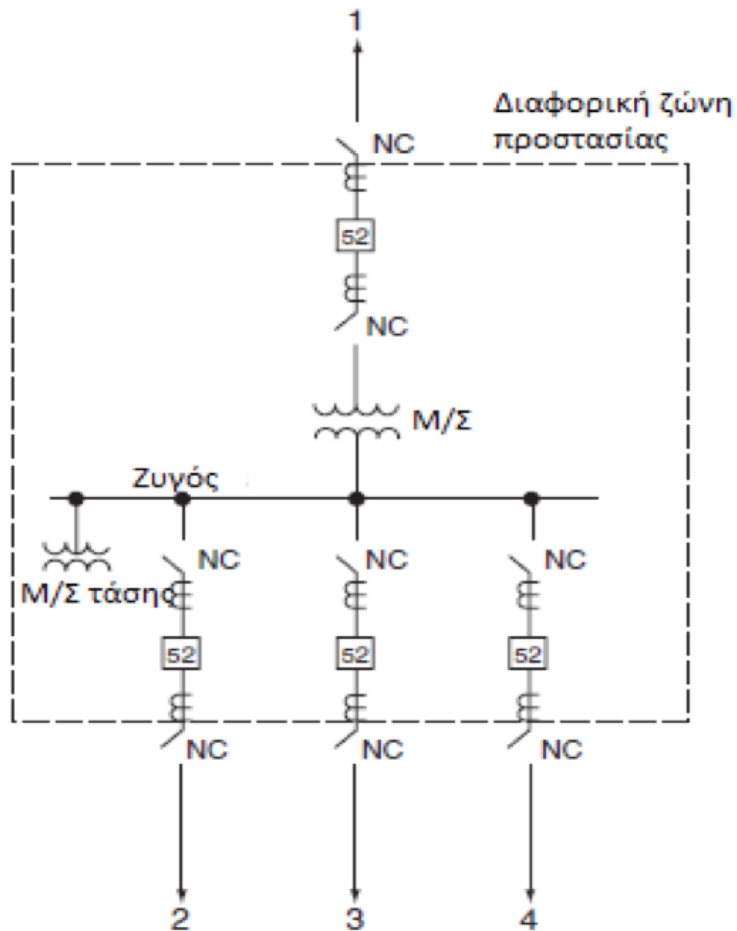
Η διάταξη του ενός ζυγού -ενός διακόπτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1 και με μία τράπεζα Μ/Σ ευθέως συνδεδεμένων στο ζυγό, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.8 προσφέρει το πλεονέκτημα του οικονομικού κέρδους από τους διακόπτες μεταξύ του Μ/Σ και του ζυγού. Αυτή η διάταξη είναι για μικρούς Υ/Σ, όπως διανομής, όπου υπάρχει μόνο ένας Μ/Σ να τροφοδοτεί ποικίλα κυκλώματα. Εδώ ένα σφάλμα, είτε στον Μ/Σ, είτε στον ζυγό απαιτεί να βγει όλος ο Υ/Σ εκτός λειτουργίας με ή χωρίς ενδιάμεσους διακόπτες.

Η διαφορική ζώνη προστασίας περιλαμβάνει και τον ζυγό και τον Μ/Σ, όπως φαίνεται στις διακεκομμένες γραμμές. Σε αυτές τις εφαρμογές πρέπει να χρησιμοποιούνται διαφορικοί ηλεκτρονόμοι Μ/Σ.



NC = Normally Closed = Κανονικά κλειστός

Σχήμα 6.7: Τυπική διάταξη τεσσάρων κυκλωμάτων ζυγού 1.5 διακόπτη και η διαφορική ζώνη προστασίας του ζυγού. Τα ενδιάμεσα τμήματα του ζυγού προστατεύονται ως τμήματα των γραμμών ή του συνδεδεμένου εξοπλισμού, όπως δείχνουν οι τελείες.



NC = Normally Closed = Κανονικά κλειστός

Σχήμα 6.8: Τυπική διάταξη τεσσάρων κυκλωμάτων ενός ζυγού με μετασχηματιστή και συνδυασμένη διαφορική ζώνη προστασίας ζυγού και μετασχηματιστή.

6.11 Μετασχηματιστές Μετρήσεων [2]

Εκτός από τους Μ/Σ ισχύος, που έχουν εξεταστεί μέχρι τώρα, αυτοί που χρησιμοποιούνται στην προστασία είναι οι Μ/Σ μετρήσεων που χρησιμεύουν μόνο για να υποβιβάζουν κατά ένα γνωστό λόγο μια τάση ή ένα ρεύμα που πρέπει να μετρηθούν. Ανάλογα με τον προορισμό τους, οι Μ/Σ μετρήσεων διακρίνονται σε μετασχηματιστές τάσης και μετασχηματιστές έντασης.

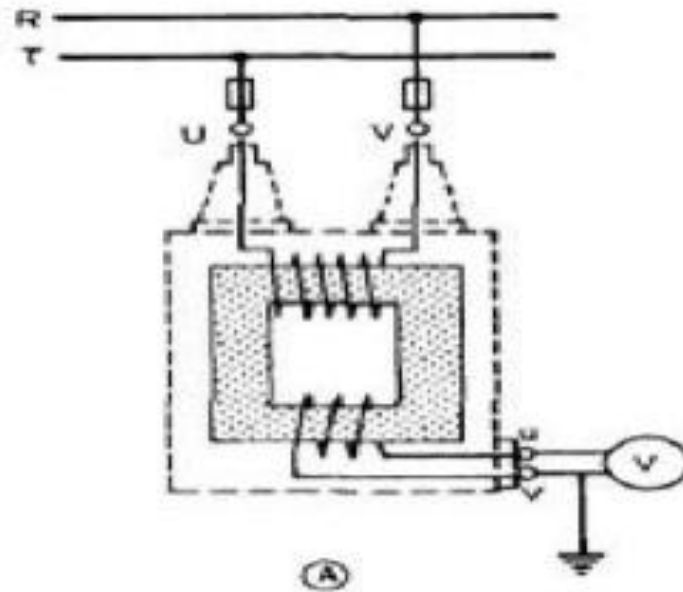
Μετασχηματιστές τάσης

Το πρωτεύον τύλιγμα συνδέεται στους ακροδέκτες της προς μέτρηση υψηλής τάσης ενώ στο δευτερεύον συνδέονται οι ακροδέκτες του βολτομέτρου, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.9. Οι Μ/Σ αυτοί εργάζονται με πολύ μικρό φορτίο, σχεδόν στο κενό διότι πρέπει να τροφοδοτήσουν μόνο το πολύ μικρό ρεύμα του βολτομέτρου που έχει πολύ μεγάλη αντίσταση. Πρέπει να διατηρούν αυστηρά σταθερή σχέση μεταφοράς σε όλη την κλίμακα της μέτρησης. Ένας ακροδέκτης χαμηλής τάσης γειώνεται και πάντα τοποθετούνται ασφάλειες στην σύνδεση πρωτεύοντος με την υψηλή τάση.

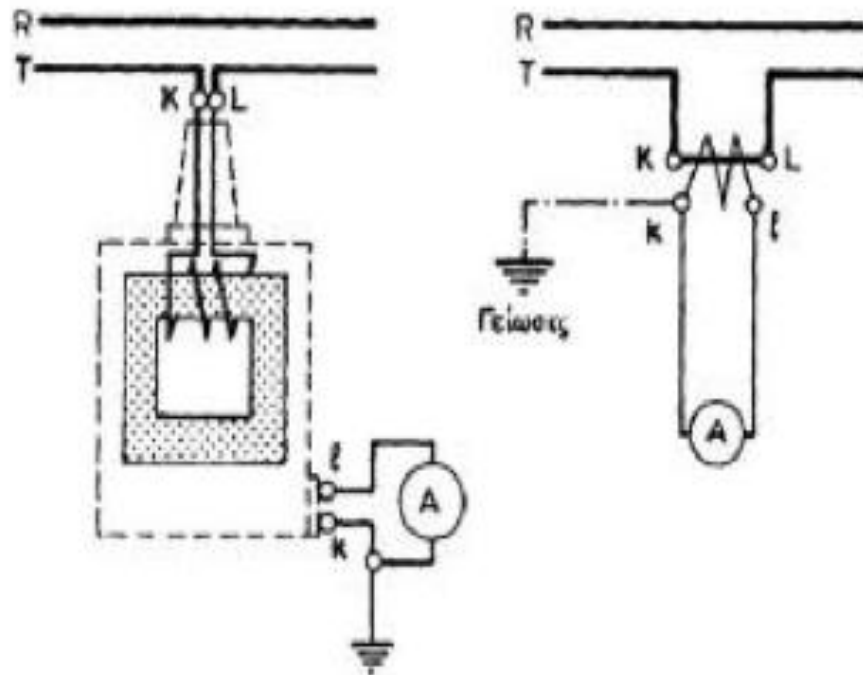
Μετασχηματιστές έντασης

Το πρωτεύον των μετασχηματιστών έντασης συνδέεται σε σειρά στο κύκλωμα του οποίου απαιτείται η μέτρηση της έντασης όπως φαίνεται στο σχήμα 6.10. Στο δεξί μέρος του σχήματος φαίνεται η συμβολική παράσταση του Μ/Σ έντασης. Η σύνθετη αντίσταση του πρωτεύοντος του Μ/Σ έντασης πρέπει να είναι πολύ μικρή, όπως είναι η αντίσταση ενός αμπερομέτρου συνεχούς ρεύματος, οπότε το πρωτεύον έχει λίγες σπείρες με διατομή ικανή να φέρει το προς μέτρηση ρεύμα. Σε περιπτώσεις μεγάλων υπερεντάσεων, το πρωτεύον αποτελείται μόνο από έναν αγωγό που φέρει το προς μέτρηση ρεύμα, και το δευτερεύον έχει την μορφή κυλινδρικού δακτυλίου ή αποτελείται από δύο μισά, που ανοίγουν όπως η αρπαγή μέσα από την οποία περνά ο αγωγός το ρεύμα του

οποίου πρέπει να μετρηθεί. Σε κάθε περίπτωση το δευτερεύον τύλιγμα ποτέ δεν πρέπει να μένει ανοιχτό, όταν το πρωτεύον διαρρέεται από ρεύμα, διότι στα άκρα του δευτερεύοντος δημιουργείται μεγάλη επικίνδυνη τάση.



Σχήμα 6.9: Συνδεσμολογία μονοφασικού Μ/Σ τάσης



Σχήμα 6.10: Συνδεσμολογία Μ/Σ έντασης

6.12 Διαφορική προστασία ζυγών [2]

Η ολοκληρωμένη διαφορική προστασία απαιτεί ότι όλα τα κυκλώματα που συνδέονται στο ζυγό συμπεριλαμβάνονται, επειδή συγκρίνεται το συνολικό ρεύμα που μπαίνει στην ζώνη προστασίας με το συνολικό ρεύμα που βγαίνει από αυτήν. Εκτός από ένα ζυγό δύο κυκλωμάτων, αυτό σημαίνει συγκρίσεις μεταξύ των διάφορων Μ/Σ έντασης που λειτουργούν σε διαφορετικά ενεργειακά επίπεδα και συχνά με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Η πιο κρίσιμη κατάσταση είναι το εξωτερικό σφάλμα ακριβώς έξω από τη διαφορική ζώνη προστασίας. Οι Μ/Σ έντασης σε αυτά τα κυκλώματα, όπου έχει γίνει το σφάλμα λαμβάνουν όλο το άθροισμα των ρευμάτων όλων των άλλων κυκλωμάτων. Επιπλέον, πρέπει να παραχθεί ένα δυναμικό μέγεθος υψηλού ρεύματος με αρκετή ακρίβεια, ώστε να ταιριάζει με τους άλλους Μ/Σ έντασης των δευτερευόντων κυκλωμάτων και να αποφύγει την κακή λειτουργία. Γι' αυτό η απόδοση του Μ/Σ έντασης είναι σημαντική. Οι ηλεκτρονόμοι και οι Μ/Σ έντασης είναι εξίσου σημαντικά μέλη μιας ομάδας, έτσι ώστε να παρέχουν γρήγορη και ευαίσθητη απόζευξη για όλα τα εσωτερικά σφάλματα, και επιπλέον στο να περιορίσουν όλα τα σφάλματα έξω από τη ζώνη διαφορικής προστασίας. Χρησιμοποιούνται δύο σημαντικές τεχνικές έτσι ώστε να αποφευχθούν πιθανά προβλήματα στην απόδοση των Μ/Σ: 1) πολυρυθμιζόμενο ρεύμα και 2) υψηλή τάση σύνθετης αντίστασης. Ένα τρίτο σύστημα περιλαμβάνει αερόψυκτους Μ/Σ ώστε να αποφύγει τη διέγερση του σιδηροπυρήνα και τα προβλήματα κορεσμού. Όλα είναι σε πρακτικό επίπεδο. Υπάρχουν με ποικίλα χαρακτηριστικά, που εξαρτώνται από το σχεδιασμό, και κάθε ένα έχει ειδικούς κανόνες εφαρμογής. Αυτά θα πρέπει να παρακολουθούνται προσωπικά, γιατί έχουν αναπτυχθεί ώστε να ξεπεραστούν τα ενδογενή ελαττώματα για τους συμβατικούς Μ/Σ έντασης και στα συμμετρικά και ασύμμετρα σφάλματα ρεύματος.

6.12.1 Διάταξη προστασίας πολυρυθμιζόμενου διαφορικού ρεύματος

Αυτή είναι η πιο ευέλικτη μέθοδος για γενικές εφαρμογές που χρησιμοποιούν συμβατικούς Μ/Σ έντασης, αλλά γενικότερα είναι πιο δύσκολο να εφαρμοστεί. Παρόλ' αυτά κάθε κατασκευαστής έχει αναπτύξει τις συνδέσεις και τα κριτήρια της εφαρμογής που απλοποιούν τη διαδικασία. Πολυρυθμιζόμενοι ηλεκτρονόμοι χρησιμοποιούνται με ένα ρυθμιζόμενο πηνίο συνδεδεμένο σε κάθε κύκλωμα, το οποίο είναι κυρίαρχη πηγή ρεύματος σφάλματος. Αγωγοί τροφοδοσίας και κυκλώματα με χαμηλή διανομή ρεύματος σφάλματος πρέπει να παραλληλιστούν. Όλοι οι Μ/Σ έντασης συνδέονται σε αστέρα και στα πολυρυθμιζόμενα πηνία, επειδή δεν υπάρχουν προβλήματα μετατόπισης φάσης με τους ζυγούς, εκτός από το παράδειγμα της παραπάνω διάταξης που φαίνεται στο σχήμα 6.8.

Αυτά τα σχήματα σχεδιάζονται ώστε να περιορίσουν σωστά τα βαριά σφάλματα ακριβώς έξω από την διαφορική ζώνη, με το μεγαλύτερο ρεύμα μετατόπισης, όσο οι Μ/Σ έντασης δεν επέρχονται σε κορεσμό για το μέγιστο συμμετρικό ρεύμα. Αυτό μπορεί να είναι χαμηλό. Επιπλέον, είναι σημαντικό και προτιμώμενο, ότι καμία άλλη συσκευή δεν θα συνδεθεί στα διαφορικά κυκλώματα. Τα ρυθμιζόμενα πηνία των διαφορικών ηλεκτρονόμων κανονικά έχουν σχετικά μικρή σύνθετη αντίσταση. Συνεπώς, η μεγαλύτερη ισχύς που μετριέται είναι συχνά αυτή από τους ακροδέκτες που συνδέουν τους Μ/Σ έντασης στους ηλεκτρονόμους. Αυτό μπορεί να κρατηθεί χαμηλό με τη χρήση μεγάλου καλωδίου, που είναι επίσης επιθυμητό να ελαχιστοποιήσει τη φυσική καταστροφή. Τυχαία διακοπή ή ένα άνοιγμα στο διαφορικό κύκλωμα μπορεί να οδηγήσει σε κακή λειτουργία και απώλεια σημαντικού μέρους του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι πολυρυθμιζόμενοι διαφορικοί ηλεκτρονόμοι των ζυγών δεν έχουν συντελεστή λήψης. Αυτά δεν απαιτούνται στις περισσότερες εφαρμογές. Για έναν κοινό συντελεστή μετασχηματισμού, ενός Μ/Σ έντασης κανονικά μπορεί να

αποκτηθεί από τους πολυάριθμους Μ/Σ έντασης στους ζυγούς. Αλλιώς, βοηθητικοί Μ/Σ έντασης απαιτούνται για αυτούς τους Μ/Σ που δεν ταιριάζουν. Όταν αυτοί χρησιμοποιούνται, είναι επιθυμητό να υποβιβάζουν το ρεύμα, εάν είναι δυνατόν, καθώς αυτό μειώνει το δευτερεύον φορτίο τους.

Οι ηλεκτρονόμοι υπάρχουν με μέχρι το πολύ έξι ρυθμιζόμενα κυκλώματα και μπορούν να έχουν είτε τυποποιημένα είτε ποικίλα ρυθμιζόμενα χαρακτηριστικά. Τυπικές ευαισθησίες για εσωτερικά σφάλματα είναι της τάξης των 0.15 A, με χρόνο λειτουργίας 50-100 ms.

6.12.2 Διάταξη προστασίας διαφορικής τάσης υψηλής εμπέδησης

Αυτή η διάταξη φορτώνει τους Μ/Σ έντασης με μεγάλη σύνθετη αντίσταση ώστε να αναγκάσει το διαφορικό ρεύμα σφάλματος μέσω των Μ/Σ αντί του ηλεκτρονόμου κινητού πηνίου. Οι βασικές αρχές απεικονίζονται στο σχήμα 6.11. Για ένα εξωτερικό σφάλμα, η μέγιστη τάση V_R που θα μπορούσε να εφαρμοστεί στο διαφορικό ηλεκτρονόμο Z_R , θα εφαρμοστεί εάν ο Μ/Σ έντασης στο εσφαλμένο κύκλωμα (1) είναι εντελώς κορεσμένος και οι άλλοι Μ/Σ έντασης (2 και 3) δεν έχουν κορεστεί. Αυτή είναι η χειρότερη περίπτωση, γιατί στην πράξη όλοι οι Μ/Σ συνήθως δεν επέρχονται στον κορεσμό με μικρά εξωτερικά σφάλματα ή έχουν διάφορες βαθμίδες κορεσμού για τα μεγάλα σφάλματα. Ένα εμπειρικό περιθώριο με ένα παράγοντα ασφαλείας παρέχεται από τον κατασκευαστή ώστε να τροποποιήσει τους μέγιστους υπολογισμούς τάσης για να ρυθμιστεί ο ηλεκτρονόμος. Αυτοί οι υπολογισμοί γίνονται και για τα μέγιστα συμμετρικά τριφασικά και φάσης προς γη σφάλματα. Τα ρεύματα σφάλματος είναι διαφορετικά και οι ακροδέκτες της αντίστασης R_L (μέγιστη για τα ποικίλα κυκλώματα) είναι R_L για τα τριφασικά σφάλματα και $2R_L$ για τα σφάλματα φάσης-γης.

Για εσωτερικά σφάλματα στο ζυγό, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.9, η υψηλή εμπέδηση Z_n του διαφορικού ηλεκτρονόμου του ζυγού αναγκάζει πολύ από το

δευτερεύον ρεύμα μέσω των σύνθετων αντιστάσεων μαγνήτισης. Επιπλέον, η τάση V_R θα είναι υψηλή ώστε να λειτουργήσει ο ηλεκτρονόμος και είναι ουσιαστικά η τάση ανοιχτού κυκλώματος των Μ/Σ έντασης. Ένα βαρίστορ ή παρόμοια συσκευή προστασίας μέσω της Z_R παρέχει προστασία στο κύκλωμα περιορίζοντας τις τάσεις σε ένα ασφαλές επίπεδο. Ένα συντονισμένο κύκλωμα παρέχει την μέγιστη ευαισθησία στην ονομαστική συχνότητα του συστήματος, και φίλτρα έξω από τις dc μεταβατικές συνιστώσες. Η εμπέδηση μεταξύ της επαφής και του ηλεκτρονόμου R_{LR} είναι αμελητέα σε σύγκριση με την υψηλής αξίας αντίσταση Z_R του ηλεκτρονόμου.

Το σχήμα προϋποθέτει ότι η ολική αντίσταση των Μ/Σ έντασης και των αγωγών στο σημείο διακλάδωσης ($R_S + R_L$) θα κρατηθεί χαμηλή. Επιπλέον, δακτυλιοειδείς ή τοροειδείς Μ/Σ έντασης, των οποίων η δευτερεύουσα εμπέδηση είναι πολύ μικρή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν, και θα πρέπει να είναι διασυνδεδεμένοι μαζί όσο πιο κοντά στην τοποθεσία των Μ/Σ έντασης· προτιμάται να ισαπέχουν, έτσι ώστε οι διάφορες τιμές της R_L να είναι σημαντικά ίσες και χαμηλές.

Όλοι οι Μ/Σ έντασης πρέπει να έχουν τον ίδιο λόγο μετασχηματισμού και λειτουργούν στα μέγιστα τυλίγματα. Δεν προτείνεται να λειτουργούν στις λήψεις Μ/Σ έντασης, αλλά εάν είναι απαραίτητο, τα τυλίγματα μεταξύ των λήψεων θα πρέπει να είναι εντελώς κατανεμημένα, και τα αχρησιμοποίητα και καλά απομονωμένα θα πρέπει να αποφεύγουν την υψηλή τάση διάσπασης από την επίπτωση του αυτομετασχηματιστή. Οι βοηθητικοί Μ/Σ έντασης δεν προτείνονται. Εάν απαιτούνται, θα πρέπει να γίνεται λεπτομερής ανάλυση και να εφαρμόζονται ειδικοί ηλεκτρονόμοι.

Οι διάφοροι περιορισμοί που περιγράφονται δεν είναι τόσο δύσκολο να συνδυαστούν με μοντέρνους Μ/Σ έντασης και κατάλληλο σχεδιασμό ζυγών, έτσι ώστε να είναι πολύ αποτελεσματικό και ευρέως διαδεδομένο σύστημα προστασίας ζυγών.

Τυπικοί χρόνοι λειτουργίας είναι της τάξης των 20-30 ms και εάν μία συμπληρωματική στιγμιαία μονάδα χρησιμοποιείται για υψηλά ρεύματα εσωτερικά σφάλματος, οι χρόνοι της τάξης 8-16 ms είναι διαθέσιμοι.

6.12.3 Διαφορική διάταξη προστασίας με αερόψυκτο μετασχηματιστή

Το μεγαλύτερο πρόβλημα στα διαφορικά σχήματα προστασίας προκαλείται από τον σιδηροπυρήνα των Μ/Σ έντασης, που απαιτούν ρεύμα μαγνητίσεως και έρχονται σε κορεσμό σε υψηλά ρεύματα σφάλματος. Με την εξάλειψη του σιδήρου στους Μ/Σ αυτό το πρόβλημα δεν θα υπάρχει, και θα υπάρχει ένα απλό γρήγορο και αξιόπιστο διαφορικό σχήμα προστασίας ζυγού. Αυτό είναι γνωστό ως γραμμικός διαφορικός συζεύκτης, και πολλοί από αυτούς είναι σε λειτουργία. Δεν έχει γίνει πολύ διάσημο, πρωταρχικά, επειδή οι συμβατικοί Μ/Σ έντασης δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αλλά ούτε οι γραμμικοί συζεύκτες Μ/Σ έντασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες εφαρμογές.

Εξωτερικά ο γραμμικός συζεύκτης είναι ο ίδιος με τον συμβατικό Μ/Σ έντασης με σιδηροπυρήνα και μπορεί να στηριχθεί σε ένα δακτύλιο ή συνδεδεμένος σαν σπειροειδής Μ/Σ έντασης στο πρωτεύον κύκλωμα. Λειτουργεί σαν αερόψυκτος αμοιβαίος επαγωγέας, όπου $V_{Sec} = I_{Pri} M V$, όπου το M έχει σχεδιαστεί να είναι 0.005Ω στα 60 Hz. Επιπλέον η δευτερεύουσα τάση των 5 V είναι για 1000 A στο πρωτεύον. Τα δευτερεύοντα του γραμμικού συζεύκτη για κάθε κύκλωμα στο ζυγό είναι όλα συνδεδεμένα σε σειρά και σε μία ευαίσθητη μονάδα ηλεκτρονόμου. Για ένα εξωτερικό σφάλμα ή φορτίο, το άθροισμα των τάσεων όλων των ρευμάτων που διέρχονται από το ζυγό είναι ίσο και αντίθετο με το άθροισμα των τάσεων που αναπτύσσονται από τα ρεύματα που διέρχονται εκτός του ζυγού. Επιπλέον, η τάση που εφαρμόζεται στον ηλεκτρονόμο είναι μηδενική όταν δεν υπάρχει λειτουργία.

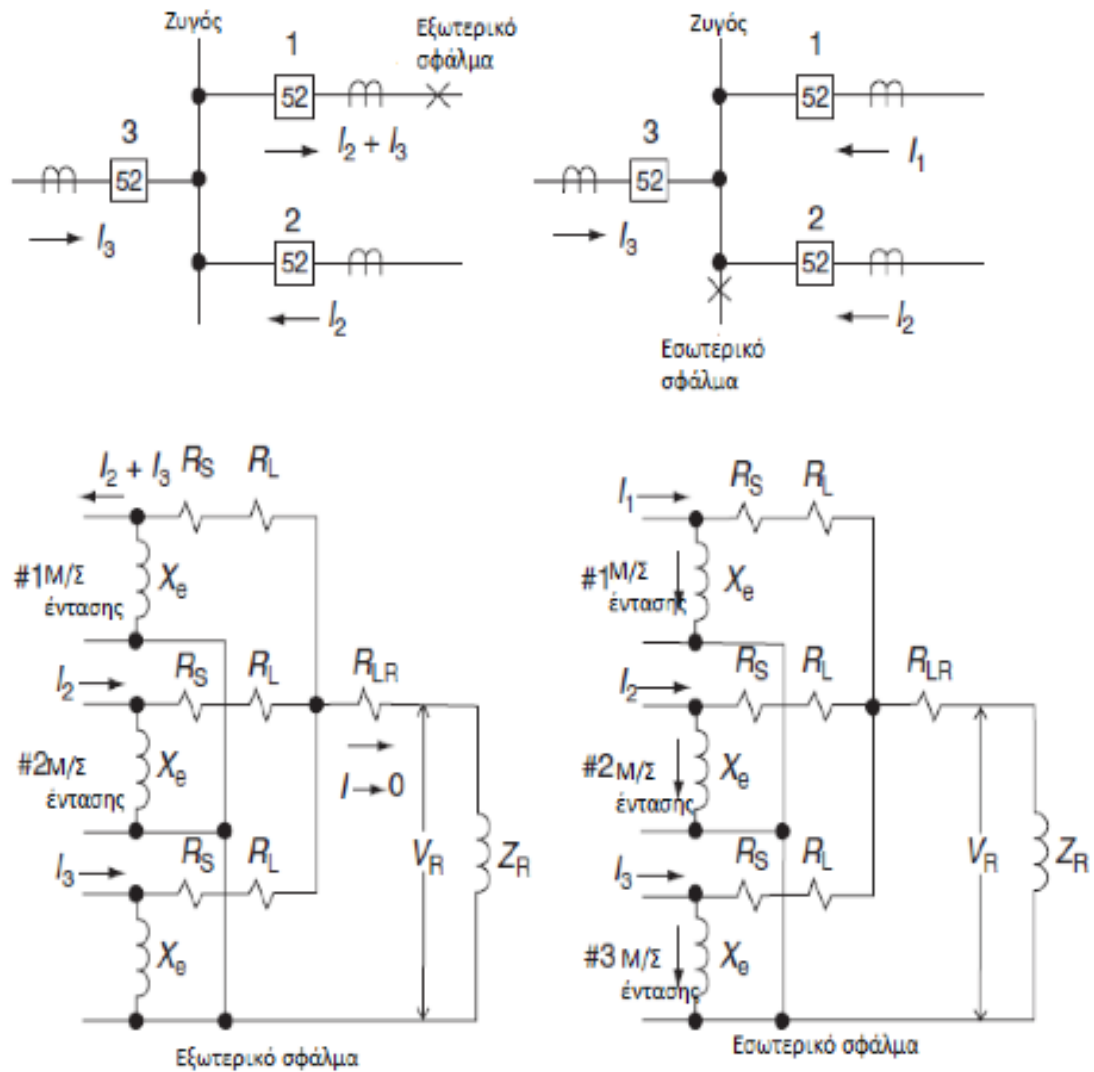
Για ένα εσωτερικό σφάλμα, με όλα τα ρεύματα που ρέουν στον ζυγό, οι δευτερεύουσες τάσεις του γραμμικού συζεύκτη προστίθενται ώστε να παρά-

γουν μία τάση λειτουργίας. Επιπλέον, το λειτουργικό ρεύμα του ηλεκτρονόμου I_R είναι:

$$I_R = \frac{V_{sec}}{Z_R + Z_C}$$

όπου το Z_R είναι η εμπέδηση του ηλεκτρονόμου πηνίου και Z_C είναι η δευτερεύουσα εμπέδηση του γραμμικού συζεύκτη. Τυπικές τιμές της Z_C είναι 2-20Ω για Z_R . Η εμπέδηση του αγωγού δεν είναι σημαντική με αυτές τις τιμές. Οι ηλεκτρονόμοι λειτουργούν από 2 μέχρι 50 mA για υψηλή ευαισθησία. Τυπικές τιμές είναι 16 ms και λιγότερο. Το σύστημα είναι αρκετά ευέλικτο επειδή τα δευτερεύοντα των γραμμικών συζευκτών δεν χρειάζεται να βραχυκυκλωθούν εάν ανοιχτοκυκλωθεί και κυκλώματα μπορούν να προστεθούν ή να αφαιρεθούν με τα λιγότερα προβλήματα. Με την αλλαγή του αριθμού των κυκλωμάτων επηρεάζεται η τιμή του αθροίσματος της Z_C , που βασικά είναι μετατόπιση από μία αντίστοιχη αλλαγή στο άθροισμα της V_{Sec} .

Εάν το πρωτεύον κύκλωμα υπόκειται σε μεγάλες συχνότητες, όπως συμβαίνει σε μεγάλους πυκνωτές, ίσως να απαιτούνται δευτερεύοντα αλεξικέραυνα. Οι γραμμικοί συζεύκτες πολύ αποτελεσματικά μετασχηματίζουν όλες τις συχνότητες.



Σχήμα 6.11: Λειτουργικές αρχές της διαφορικής τάσης υψηλής εμπέδησης του ζυγού.

6.12.4 Βαθμιαία διαφορική προστασία υψηλής εμπέδησης

Αυτός είναι ένας συνδυασμός του ποσοστού και των τεχνικών διαφορικής τάσης προστασίας υψηλής εμπέδησης που παρέχει χαμηλή ενέργεια και υψηλή ταχύτητα προστασίας στο ζυγό. Μπορεί να εφαρμοστεί με Μ/Σ έντασης με ποικίλα χαρακτηριστικά κορεσμού και λόγω μετασχηματισμού και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μαγνητο-οπτικούς μετατροπείς ρεύματος. Όταν χρησιμοποιείται με 5 A Μ/Σ, ειδικοί βοηθητικοί Μ/Σ απαιτούνται για κάθε κύκλωμα. Δίοδοι χωρίζουν τη θετική από την αρνητική ημιπερίοδο των Μ/Σ, αναπτύσσοντας ένα μονοκατευθυντικό ρεύμα ώστε να παρέχει ποσοστιαίο διαφορικό περιορισμό.

Για εσωτερικά σφάλματα, όλα τα ρεύματα στο σφάλμα παρέχουν υψηλή τάση, παρόμοια με αυτή που παράγεται στο διαφορικό σχήμα υψηλής εμπέδησης για λειτουργία. Για εξωτερικά σφάλματα, όταν τα ρεύματα στον ζυγό είναι ίσα με τα ρεύματα έξω από αυτόν, μία χαμηλή τάση υπάρχει ώστε να επιβραδύνει τη λειτουργία.

Η σωστή λειτουργία σιγουρεύεται όταν οι Μ/Σ έντασης επέρχονται σε κορεσμό επειδή παίρνει περίπου 2-3 ms για κάθε ημιπερίοδο για να συμβεί ο κορεσμός. Αυτό παρέχει αρκετό χρόνο για σωστή απόδοση.

6.13 Διάφορα άλλα διαφορικά συστήματα προστασίας ζυγών [2]

Άλλα συστήματα διαφορικής προστασίας, τα οποία είναι περιορισμένα στη χρήση, είναι ο διαφορικός χρόνος υπερεντάσεως, η κατευθυντική σύγκριση και τα συστήματα μερικής διαφορικής προστασίας, τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

6.13.1 Διαφορικός χρόνος υπερεντάσεως

Σε αυτή τη διάταξη όλα τα δευτερεύοντα των Μ/Σ έντασης είναι παράλληλα και συνδεδεμένα σε έναν ηλεκτρονόμο υπερεντάσεως αντίστροφου χρόνου (51). Δεν υπάρχει περιορισμός, έτσι ο ηλεκτρονόμος πρέπει να ρυθμιστεί πάνω από τη μέγιστη διαφορά ρεύματος μαγνήτισης των Μ/Σ έντασης για ένα εξωτερικό σφάλμα.

Τα αντίστροφα χαρακτηριστικά, που παρέχουν μεγάλους χρόνους για μικρά μεγέθη ρεύματος, είναι ένα πλεονέκτημα ώστε να ξεπεραστεί ο άνισος κορεσμός των Μ/Σ, ιδιαίτερα στην dc συνιστώσα. Επιπλέον, η dc σταθερά χρόνου πρέπει να είναι μικρή για αυτές τις εφαρμογές. Τυπικοί χρόνοι λειτουργίας για αυτά τα σχήματα είναι 15-20 κύκλοι (60 Hz) για εσωτερικά σφάλματα όπου το συνολικό σφάλμα ρεύματος προστίθεται στη λειτουργία του ηλεκτρονόμου. Αυτό παρέχει μία σχετικά οικονομική αλλά αργή και δύσκολη προστασία, ώστε να ρυθμιστεί με την ασφάλεια αλλά μόνο με την μεγάλη εμπειρία. Χρησιμοποιείται για μικρούς και χαμηλής τάσης ζυγούς.

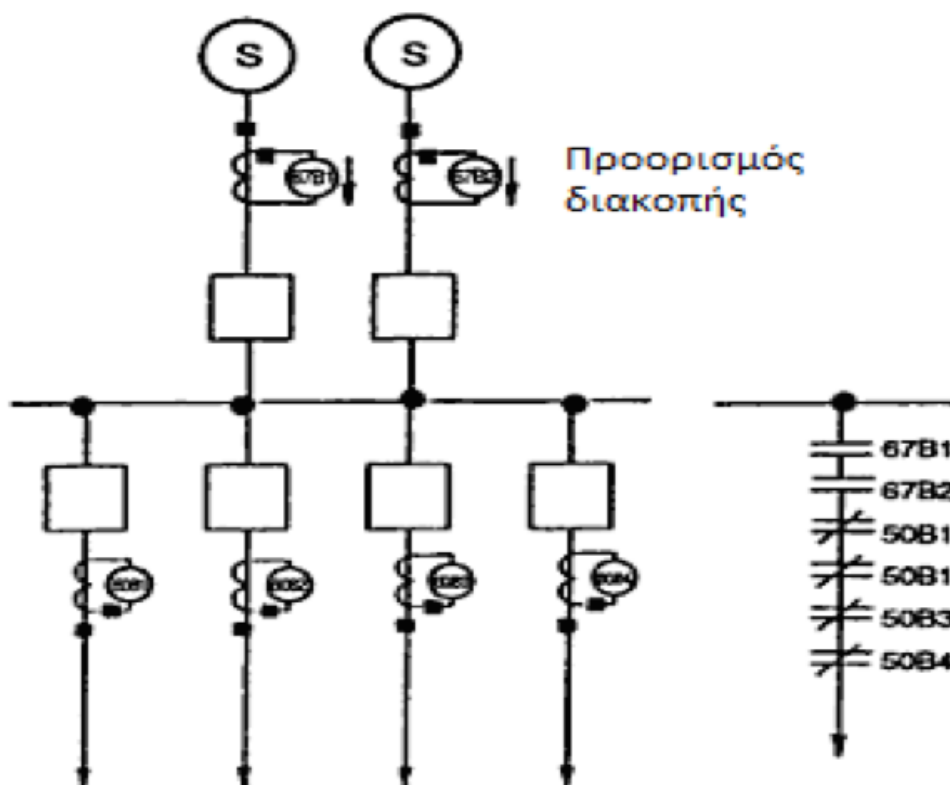
6.13.2 Κατευθυντική διαφορική σύγκριση

Μία κατευθυντική αισθητήρια μονάδα, είναι συνδεδεμένη σε κάθε κύκλωμα του ζυγού, προς τον ζυγό, με τις επαφές του διακόπτη σε σειρά. Για κανονική λειτουργία, μία ή περισσότερες επαφές ανοίγουν από το πέρασμα του φορτίου μέσα από τον ζυγό. Για εσωτερικά σφάλματα, όλες οι επαφές πρέπει να κλείσουν για να διακοπεί η λειτουργία του ζυγού. Κανονικά κλειστές επαφές είναι απαραίτητες για τα τροφοδοτικά κυκλώματα· χωρίς να τροφοδοτείται καθόλου το σφάλμα. [23]

Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.12, χρησιμοποιούνται ξεχωριστοί κατευθυντικοί ηλεκτρονόμοι υπερεντάσεως σε όλες τις πηγές και στιγμιαίους ηλεκτρονόμους ρεύματος σε όλους τους αγωγούς τροφοδοσίας. Οι κατευθυντικοί ηλεκτρο-

νόμοι κλείνουν τις επαφές όταν διέρχεται εσφαλμένη ισχύς. Οι πίσω επαφές των ηλεκτρονόμων υπερεντάσεως ανοίγουν όταν γίνεται εξωτερικό σφάλμα στον αγωγό τροφοδοσίας. Όλες οι επαφές είναι συνδεδεμένες σε σειρά, και όταν συμβεί το σφάλμα στο ζυγό το κύκλωμα απόζευξης ενεργοποιείται μέσω ενός χρονιστή. Μια χρονική καθυστέρηση τουλάχιστον τεσσάρων κύκλων θα επιτρέψει σε όλους τους ηλεκτρονόμους να αποφασίσουν σωστά την κατεύθυνση του σφάλματος και να προκαλέσουν τον συγχρονισμό των επαφών. [26]

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι η σχεδόν ολοκληρωμένη ανεξαρτησία της απόδοσης των Μ/Σ έντασης, των χαρακτηριστικών και των λόγων μετασχηματισμού. Τα μειονεκτήματα είναι το σχετικά μεγάλο κόστος επειδή απαιτούνται ηλεκτρονόμοι για κάθε κύκλωμα, μία πηγή τάσης και είναι δύσκολο να τοποθετηθούν οι επαφές σε σειρά. Δεν έχει μπει σε γενική χρήση τα τελευταία χρόνια.

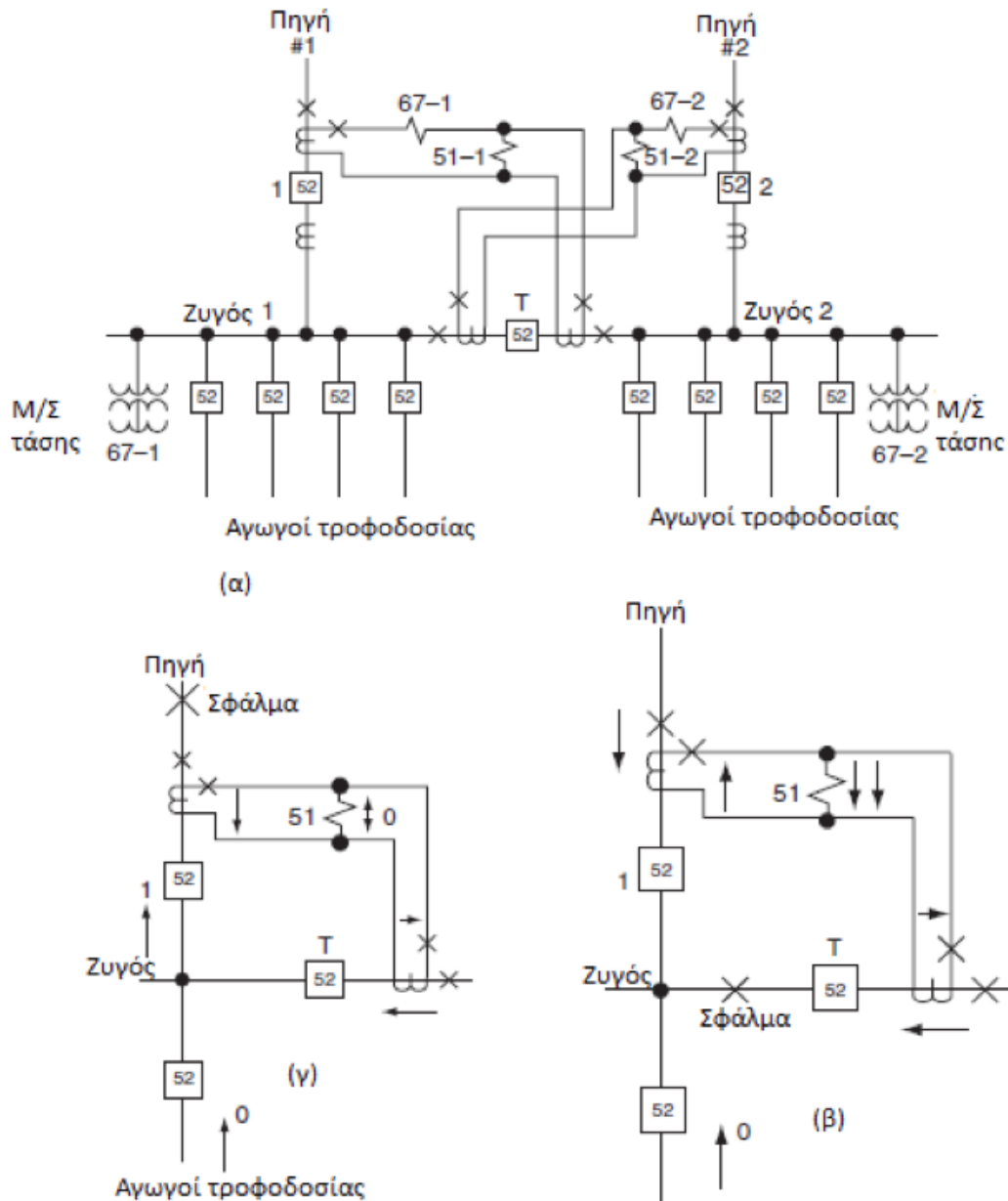


Σχήμα 6.12: Κατευθυντική διαφορική σύγκριση.

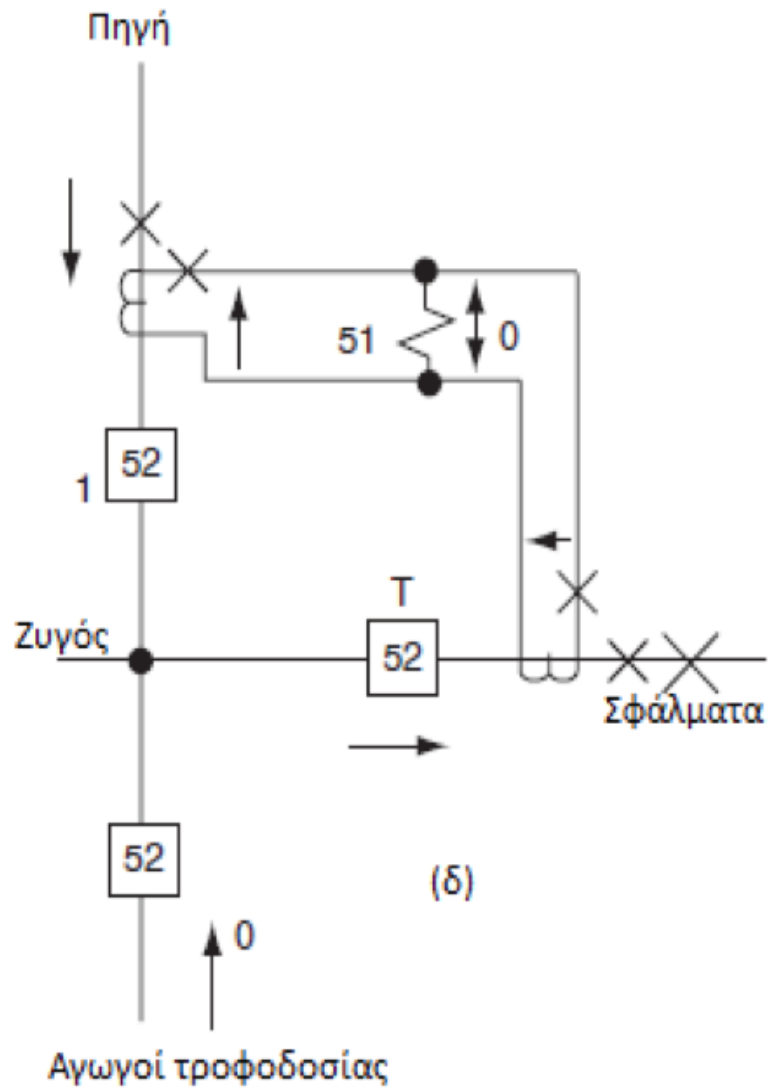
6.13.3 Μερική διαφορική προστασία

Αυτή η προστασία χρησιμοποιείται συχνά για να παρέχει προστασία για ζυγούς σε βιομηχανικούς και χαμηλότερης τάσης Υ/Σ διανομής. Εφαρμόζεται όπου υπάρχουν τροφοδοτικά κυκλώματα που παρέχουν ασήμαντο ρεύμα στα σφάλματα των ζυγών, και δεν έχουν αρκετούς ή κατάλληλους Μ/Σ έντασης για μια ολοκληρωμένη διαφορική προστασία. Ένα καλό παράδειγμα είναι οι αγωγοί τροφοδοσίας που παρέχουν μόνο στατικό ή επαγωγικό μηχανικό φορτίο και υπάρχει μεγάλη ποικιλία στις ονομαστικές ισχύς. Ένα τυπικός ζυγός αυτού του τύπου φαίνεται στο σχήμα 6.13. Οι Μ/Σ έντασης της εσφαλμένης πηγής κυκλωμάτων είναι παράλληλοι και συνδεδεμένοι σε ηλεκτρονόμους υπερεντάσεως αντίστροφου χρόνου. Όπως απεικονίζεται στο σχ. 6.13 β και δ, αμελητέο ρεύμα ρέει στους ηλεκτρονόμους 51 για εξωτερικά σφάλματα στις πηγές. Το συνολικό ρεύμα σφάλματος είναι διαθέσιμο για να λειτουργήσουν οι ηλεκτρονόμοι για το ζυγό και για σφάλματα έξω από τους αγωγούς τροφοδοσίας. Αυτό απαιτεί ότι οι ηλεκτρονόμοι 51 είναι συντονισμένοι χρονικά με την προστασία σε όλους τους αγωγούς τροφοδοσίας, ώστε να μην συμπεριλαμβάνεται στο διαφορικό. Η χρήση ενός ηλεκτρονόμου αντίστροφου χρόνου και αυτό το σχήμα παρέχουν ένα καλό συμβιβασμό για χαμηλής τάσης ζυγούς Υ/Σ.

Εάν χρησιμοποιηθούν στραγγαλιστικά πηνία στα τροφοδοτικά κυκλώματα, οι ηλεκτρονόμοι αποστάσεως (21) μπορούν να αντικαταστήσουν τους ηλεκτρονόμους 51. Οι ηλεκτρονόμοι 21 τίθενται, αλλά όχι απευθείας, στη χαμηλότερη επαγωγική εμπέδηση. Αυτό δεν απαιτεί συγκεκριμένες ρυθμίσεις για την προστασία των αγωγών τροφοδοσίας, και έτσι αποφεύγει την απαραίτητη χρονική καθυστέρηση στους ηλεκτρονόμους 51 ώστε να παρέχει ευαίσθητη και γρήγορη προστασία. Απαιτεί όμως ζυγούς τάσης για τους ηλεκτρονόμους αποστάσεως. [23]



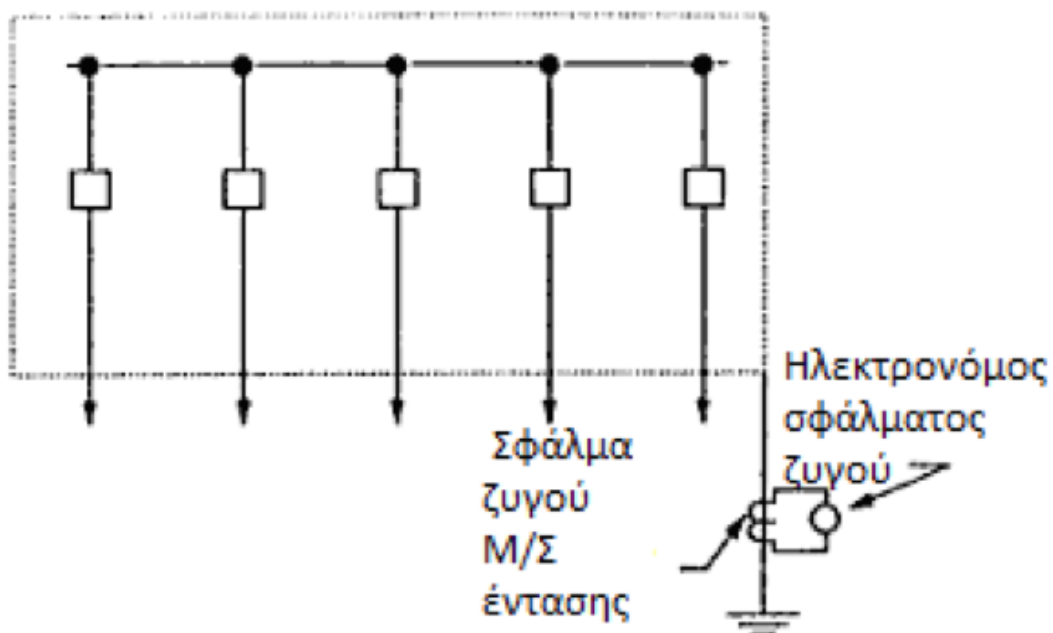
Σχήμα 6.13: Μερική διαφορική προστασία ζυγού και αγωγών τροφοδοσίας. α) Μονογραμμικό σχέδιο τυπικής διάταξη ζυγού β) Λειτουργία για σφάλματα στην πλευρά της πηγής. γ) Λειτουργία για σφάλματα στο ζυγό και στους αγωγούς τροφοδοσίας. (συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα).



Σχήμα 6.13: (συνέχεια) δ) Λειτουργία για παρακείμενα σφάλματα στο ζυγό.

6.14 Σφάλμα γείωσης στο ζυγό

Ο ζυγός και ο εξοπλισμός του Υ/Σ είναι απομονωμένοι από το έδαφος και είναι όλα συνδεδεμένα μαζί ώστε να γειωθούν σε ένα σημείο μέσω ενός ηλεκτρονόμου υπερεντάσεως. Ένα σφάλμα γείωσης, που περιλαμβάνει τη διασύνδεση, ωθεί το ρεύμα να περάσει μέσω του ηλεκτρονόμου, ώστε να αποσυνδέσει την προστατευόμενη περιοχή. Ένας ξεχωριστός ανιχνευτής βλάβης χρησιμοποιείται, ώστε να επιβλέπει τις διακοπές για επιπρόσθετη προστασία. Αυτός ο ηλεκτρονόμος λειτουργεί στο σύστημα ρεύματος και τάσης μηδενικής ακολουθίας. Αυτό το σχήμα βασικά δεν χρησιμοποιείται στις ΗΠΑ εξαιτίας του μεγάλου κόστους, των δυσκολιών στην κατασκευή και των δυσκολιών στην προστασία του προσωπικού. [23]



Σχήμα 6.14: Σφάλμα γείωσης στο ζυγό. [24]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

“ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΙΩΣΗΣ ”



7.1 Εισαγωγή - Η γείωση και ο ρόλος της [38]

Γείωση ονομάζεται η αγώγιμη σύνδεση ενός ακροδέκτη ηλεκτρικού κυκλώματος με το έδαφος ή άλλο αντικείμενο μηδενικού δυναμικού. Συνεπώς, οποιοδήποτε σημείο είναι συνδεδεμένο με τη γείωση, έχει δυναμικό ίσο με το μηδέν, δηλαδή $V_{\text{γειωμένο}}=0$. Συμβολίζεται με τρεις παράλληλες γραμμές, μία μεγαλύτερη και δύο μικρότερες άνισες.

Η γείωση μπορεί να προσφέρει ασφάλεια από την ηλεκτροπληξία, τα βραχυκυκλώματα και άλλες επικίνδυνες καταστάσεις που προκύπτουν από βλάβες σε συσκευές που διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα. Έτσι, έχει θεσπιστεί από το νόμο σε κάθε κτίριο η εγκατάσταση γείωσης και κυρίως στις πρίζες. Η γείωση

προστασίας εφαρμόζεται σε συσκευές με μεταλλικά μέρη και περιβλήματα, για να προστατέψουν το χρήστη από πιθανή διαρροή ρεύματος.

Επιπλέον, υπάρχουν και συσκευές που για να λειτουργήσουν σωστά χρειάζονται γείωση, οπότε η γείωση ονομάζεται λειτουργική γείωση. Σε αυτήν την περίπτωση, η λειτουργική γείωση διαρρέεται από ρεύμα· για αυτό το λόγο αν η ίδια συσκευή χρειάζεται λειτουργική γείωση και γείωση προστασίας, τότε η συσκευή γειώνεται διπλά και τα δύο σημεία γείωσης απέχουν μεταξύ τους αρκετά μέτρα. Η γείωση αποτελεί καταβόθρα φορτίου, πρακτικά άπειρου. Η σύνδεση με τη γείωση μπορεί να εξουδετερώσει οποιοδήποτε θετικό ή αρνητικό φορτίο, ενώ φορτίζει αγωγίμα αντικείμενα που βρίσκονται μέσα σε ηλεκτροστατικό πεδίο. Σημειωτέον ότι όλα τα σημεία που είναι γειωμένα συμπεριφέρονται σαν να συνδέονται μεταξύ τους, γιατί το δυναμικό σε κάθε γειωμένο σημείο είναι το ίδιο.

Η γείωση επιτυγχάνεται με ειδική εγκατάσταση στα θεμέλια ενός κτιρίου, γι' αυτό και ονομάζεται θεμελιακή γείωση. Από εκεί, ειδικά γυμνά και χοντρά καλώδια προσφέρουν αγωγήμη σύνδεση με τη γείωση στο υπόλοιπο κτίριο. Το καλώδιο της γείωσης είναι πολύ πιο χοντρό σε σχέση με τα καλώδια των φάσεων και του ουδέτερου, για να μειωθεί η ηλεκτρική αντίσταση όσο το δυνατόν περισσότερο, επειδή σε περίπτωση διαρροής του ηλεκτρικού ρεύματος αυτό θα διαφύγει κυρίως από τον αγωγό που εμφανίζει τη μικρότερη αντίσταση. Η γείωση υπάρχει και στα οχήματα, όπως τα αυτοκίνητα και τα αεροπλάνα. Η σύνδεση δε μπορεί να γίνει με το έδαφος, γιατί τα οχήματα κινούνται. Έτσι, η σύνδεση γίνεται στο μεταλλικό περίβλημα του οχήματος. Συνήθως αυτό είναι αρκετά μεγάλο, ώστε πρακτικά να μπορεί να εξουδετερώσει τυχόν φορτία που εμφανίζονται στα ηλεκτρικά τους κυκλώματα. Μερικές φορές η αποφόρτιση του περιβλήματος γίνεται εν μέρει με την επαφή με έναν επιβάτη, για παράδειγμα ένας επιβάτης αυτοκινήτου νιώθει έναν σπινθήρα όταν ακουμπά την πόρτα του αυτοκινήτου, που είναι μέρος του μεταλλικού περιβλήματος.

7.2 Ορισμοί – Βασικές έννοιες [38]

Για την καλύτερη κατανόηση των επόμενων παραγράφων και την εξοικίωση του αναγνώστη με όρους σχετικούς με την γείωση μιας κατασκευής, παρατίθενται ορισμένες βασικές έννοιες από το πρότυπο “*ANSI/IEEE Std 80-2000 (Revision of IEEE Std 80-1986)*”. Το πρότυπο αυτό αποτελεί τον πλέον ενημερωμένο οδηγό όσον αφορά τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ασφαλούς γείωσης σε υποσταθμό εναλλασσόμενης τάσης.

Πρωτεύον ηλεκτρόδιο γείωσης: Ένα ηλεκτρόδιο γείωσης ειδικά σχεδιασμένο για να εκτονώνει το ρεύμα σφάλματος στο έδαφος, σύμφωνα με έναν συγκεκριμένο τρόπο που επιβάλλεται κάθε φορά από τη σχεδίαση του συστήματος γείωσης.

Βοηθητικό ηλεκτρόδιο γείωσης: Ένα ηλεκτρόδιο γείωσης με συγκεκριμένες κατασκευαστικές και λειτουργικές προδιαγραφές. Ο κύριος ρόλος του μπορεί να είναι διαφορετικός από το να άγει το ρεύμα σφάλματος στη γη.

dc offset: Η διαφορά μεταξύ της συμμετρικής συνιστώσας του ρεύματος και του πραγματικού ρεύματος σφάλματος κατά τη διάρκεια μιας μεταβατικής κατάστασης του ηλεκτρικού συστήματος. Είναι μονής κατεύθυνσης και σταθερής πολικότητας -θετική ή αρνητική- ενώ βαθμιαία ελαττώνεται και τείνει σε μια προκαθορισμένη τιμή.

Συντελεστής εξασθένισης (D_f): Ένας συντελεστής προσαρμογής που χρησιμοποιείται, σε συνδυασμό με το ρεύμα σφάλματος προς γη, σε μελέτες για σχεδίαση ασφαλών γειώσεων. Καθορίζει την ισοδύναμη rms τιμή της ασύμμετρης συνιστώσας του ρεύματος για μια δεδομένη διάρκεια σφάλματος t_f , λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της αρχικής dc συνιστώσας και την εξασθένιση της κατά τη διάρκεια του σφάλματος.

Ενεργό μη συμμετρικό ρεύμα σφάλματος (I_F): Η rms τιμή της ασύμμετρης συνιστώσας του ρεύματος σφάλματος, ολοκληρωμένη στο χρονικό διάστημα της διάρκειας του σφάλματος.

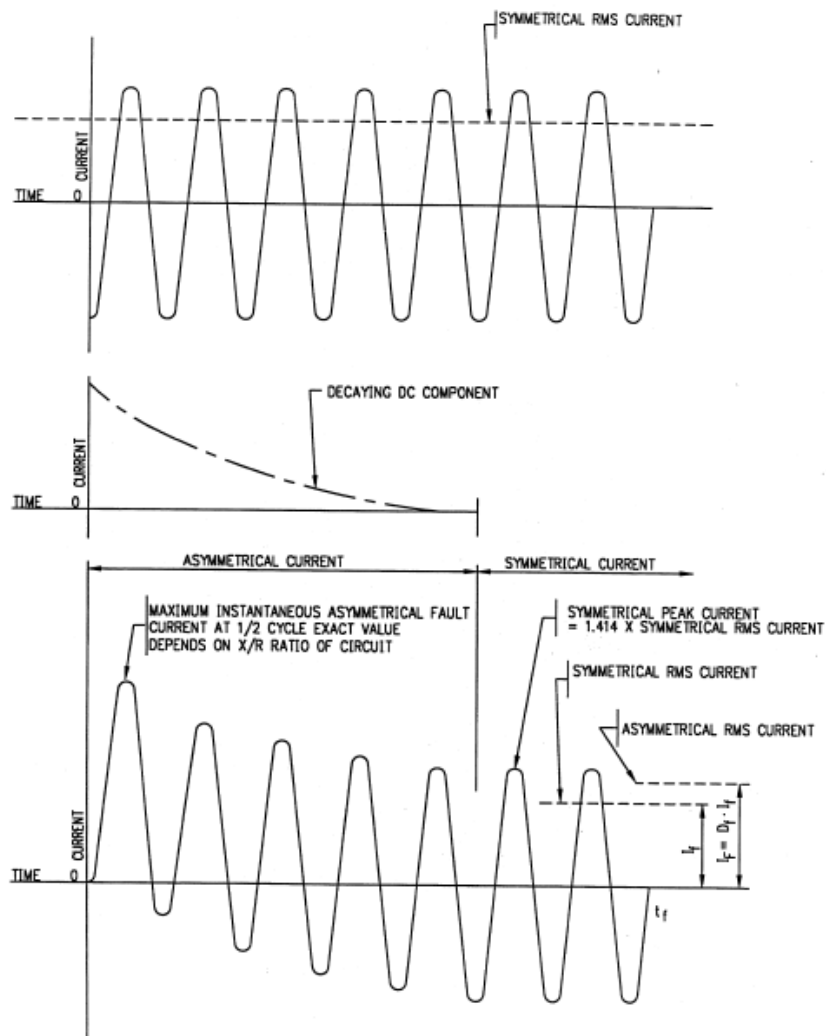
$$I_F = D_f \cdot I_f$$

όπου,

I_F το ενεργό μη συμμετρικό ρεύμα σε A

I_f rms τιμή του συμμετρικού ρεύματος σφάλματος σε A

D_f συντελεστής εξασθένησης



Σχήμα 7.1: Σχέση μεταξύ του πραγματικού ρεύματος σφάλματος και των μεγεθών I_F, I_f, D_f για διάρκεια σφάλματος t_f . [25]

Συντελεστής διαίρεσης ρεύματος σφάλματος (S_f): Ένας παράγοντας που αντιπροσωπεύει το αντίστροφο του λόγου του συμμετρικού ρεύματος σφάλματος προς το τμήμα του ρεύματος εκείνου που ρέει μεταξύ του πλέγματος γείωσης και της περιβάλλουσας γης.

$$S_f = \frac{I_g}{3I_o}$$

όπου,

S_f ο συντελεστής διαίρεσης ρεύματος σφάλματος

I_g το συμμετρικό rms ρεύμα του πλέγματος σε A

I_o το ρεύμα σφάλματος μηδενικής ακολουθίας σε A

Ρεύμα γης: Ένα ρεύμα που ρέει από ή προς τη γη ή ενός ισοδύναμου που παίζει το ρόλο της γης.

Ηλεκτρόδιο γείωσης: Ένας αγωγός ενσωματωμένος στο έδαφος με σκοπό να συλλέγει το ρεύμα γείωσης από τη γη ή να το οδηγεί σε αυτή.

Ανύψωση δυναμικού γης (GPR): Το μέγιστο ηλεκτρικό δυναμικό που δύναται το πλέγμα γείωσης ενός υποσταθμού να αποκτήσει, σε σχέση πάντα με ένα απομακρυσμένο σημείο που θεωρείται ότι είναι σε δυναμικό γης, δηλαδή μηδέν, ισούται με το μέγιστο ρεύμα του πλέγματος επί την αντίσταση του πλέγματος:

$$GPR = I_G \cdot R_g$$

Σε κανονικές συνθήκες, η τιμή του δυναμικού είναι κοντά στο μηδέν. Σε περίπτωση σφάλματος όμως προς γη, το τμήμα του ρεύματος που άγει το πλέγμα γείωσης ενός υποσταθμού προς τη γη, προκαλεί την ανύψωση του δυναμικού αυτού.

Πλέγμα γείωσης: Σύστημα οριζόντιων ηλεκτροδίων γείωσης, το οποίο αποτελείται από έναν αριθμό από διασυνδεδεμένους ‘γυμνούς’ αγωγούς, θαμμένους στο έδαφος. Σκοπός του είναι να παρέχει κοινή γείωση σε ηλεκτρικές συσκευές ή μεταλλικές κατασκευές, συνήθως σε ένα συγκεκριμένο σημείο.

Σύστημα γείωσης: Περιλαμβάνει όλες τις διασυνδεδεμένες εγκαταστάσεις γείωσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Μεγιστο ρεύμα πλέγματος (I_G): Ένας κατασκευαστικός όρος για το μέγιστο ρεύμα πλέγματος που ορίζεται ως εξής:

$$I_G = D_f \cdot I_g$$

όπου,

I_G το μέγιστο ρεύμα του πλέγματος σε A

D_f συντελεστής εξασθένησης για διάρκεια σφάλματος t_f , σε s

I_g rms τιμή του συμμετρικού ρεύματος πλέγματος σε A

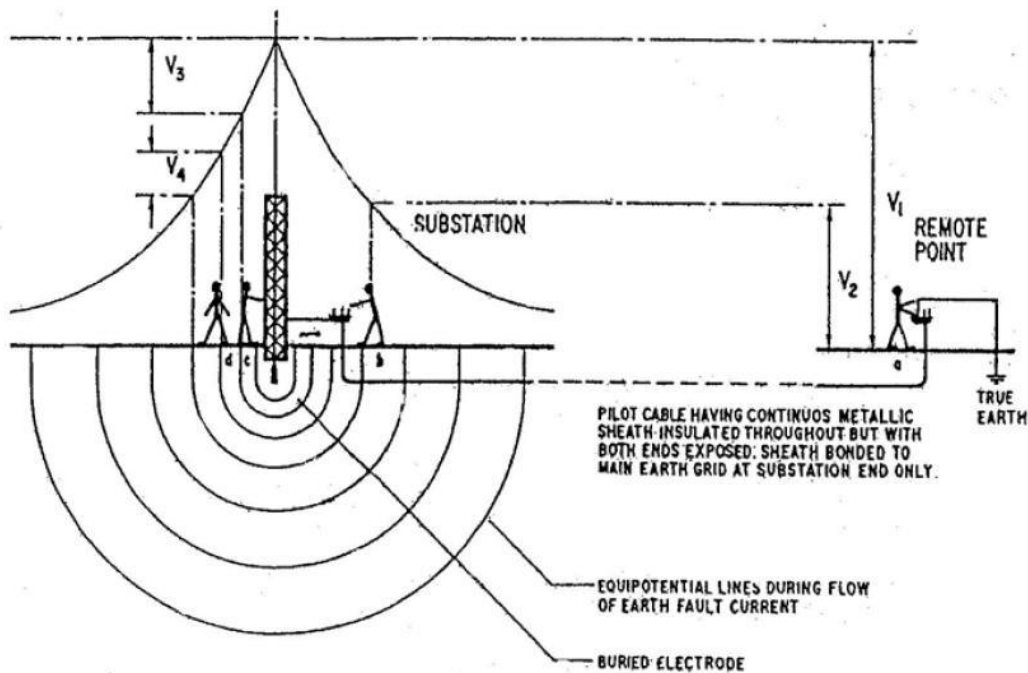
Τάση βρόχου: Η μέγιστη τάση επαφής μέσα σε ένα βρόχο του πλέγματος γείωσης.

Τάση επαφής από μέταλλο σε μέταλλο: Η διαφορά δυναμικού μεταξύ μεταλλικών αντικειμένων ή κατασκευών μέσα στο χώρο του υποσταθμού, που μπορούν να γεφυρωθούν με την άμεση επαφή χεριού χεριού ή χεριού-ποδιού.

Βηματική Τάση (E_{step}): Είναι η διαφορά που αναπτύσσεται μεταξύ των ποδιών ενός ανθρώπου στην επιφάνεια που στέκεται, θεωρώντας ότι έχουν άνοιγμα 1 μέτρο (m), και ο άνθρωπος δεν βρίσκεται σε επαφή με οποιοδήποτε γειωμένο αντικείμενο. Στο Σχήμα 7.2 το άτομο α χρησιμοποιείται για την επεξήγηση της βηματικής τάσης. Η διαφορά δυναμικού V_1 που ‘βλέπει’ το σώμα περιορίζεται από την τομή ανάμεσα στα δύο σημεία στη γη που απέχουν μεταξύ τους 1m. Εφόσον το δυναμικό στη γη είναι μεγαλύτερο στην περιοχή

που γειτονεύει με το ηλεκτρόδιο, συνεπάγεται ότι το μέγιστο βηματικό δυναμικό υπό συνθήκες σφάλματος προς γη θα προκύπτει όταν το άτομο έχει το ένα πόδι στην περιοχή της μέγιστης δυναμικής ανύψωσης και το άλλο πόδι κατά ένα βήμα προς τη γη.

Τάση επαφής (E_{touch}): Η διαφορά μεταξύ της ανύψωσης δυναμικού γης (GRP) και του δυναμικού της επιφάνειας στην οποία στέκεται ένα άτομο που παράλληλα έχει το χέρι του σε επαφή με μία γειωμένη κατασκευή. Στο Σχήμα 7.2 το άτομο b χρησιμοποιείται για την απεικόνιση της τάσης επαφής. Η διαφορά δυναμικού V_2 που 'βλέπει' το σώμα είναι το αποτέλεσμα επαφής ενός χεριού με τα δύο πόδια. Το υψηλότερο δυναμικό προκύπτει όταν υπάρχει μια μεταλλική δομή στην άκρη της περιοχής υψηλού δυναμικού και το άτομο στέκεται 1m μακριά και ακουμπά τη δομή αυτή. Ο κίνδυνος από αυτό τον τύπο της επαφής είναι μεγαλύτερος από τον κίνδυνο που σχετίζεται με τη βηματική τάση, γιατί η τάση τώρα εφαρμόζεται διαμέσου του σώματος και δύναται να επηρεάσει τους μύες της καρδιάς.



Σχήμα 7.2: Επεξήγηση βηματικής τάσης και τάσης επαφής. [25]

Υλικό επιφανείας: Ένα υλικό που τοποθετείται πάνω στο έδαφος, το οποίο μπορεί να αποτελείται από πέτρα, χαλίκια, άσφαλτο ή ακόμα και από τεχνητά υλικά, που ανάλογα με την ειδική του αντίσταση, μπορεί να επιδράσει σημαντικά στο ρεύμα που πρόκειται να διαρρεύσει στο ανθρώπινο σώμα, εξαιτίας τάσεων επαφής ή βηματικών τάσεων.

Συμμετρικό ρεύμα πλέγματος (I_g): Το μέρος εκείνο του συμμετρικού ρεύματος σφάλματος γης που ρέει μεταξύ του πλέγματος γείωσης και της περιβάλλουσας γης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$I_g = S_f \cdot I_f$$

όπου,

I_g η rms τιμή του συμμετρικού ρεύματος πλέγματος σε A

S_f ο συντελεστής διαίρεσης ρεύματος σφάλματος

I_f η rms τιμή του συμμετρικού ρεύματος σφάλματος γης σε A

Συμμετρικό ρεύμα σφάλματος γης: Η μέγιστη rms τιμή του ρεύματος σφάλματος τη στιγμή ακριβώς που ξεκινά το σφάλμα. Ως εκ τούτου αντιπροσωπεύει την rms τιμή της συμμετρικής συνιστώσας, κατά πρώτη ημιπερίοδο, της κυματομορφής του ρεύματος που αναπτύσσεται τη στιγμή του σφάλματος για χρόνο ίσο με το μηδέν. Για σφάλματα φάσης-γης εκφράζεται ως ακολούθως:

$$I_{f(0+)} = 3I_0''$$

όπου,

$I_{f(0+)}$ το αρχικό rms συμμετρικό ρεύμα σφάλματος

I_0'' η ενεργός τιμή του συμμετρικού ρεύματος μηδενικής ακολουθίας που εμφανίζεται τη στιγμή της έναρξης του σφάλματος και η οποία αναπαριστά τις υπομεταβατικές αντιδράσεις των περιστρεφόμενων μηχανών που συμβάλλουν στο σφάλμα.

Μεταφερόμενη τάση: Μια ιδιαίτερη περίπτωση τάσης επαφής κατά την οποία μια τάση μεταφέρεται μέσα ή έξω από τον υποσταθμό, από ή προς ένα σημείο εξωτερικά του χώρου του υποσταθμού.

Λόγος X/R: Ο λόγος της αντίδρασης προς την αντίσταση του συστήματος είναι ενδεικτικός του βαθμού εξασθένησης της dc συνιστώστας (dc offset). Ένας μεγάλος λόγος X/R αντιστοιχεί δηλαδή σε μεγάλη σταθερά χρόνου και σε αργό ρυθμό εξασθένησης.

7.3 Ασφάλεια στη γείωση - Το βασικό πρόβλημα [38]

Κατά γενικό κανόνα, μια ασφαλής σχεδίαση γείωσης έχει τους ακόλουθους δύο βασικούς στόχους:

Να παρέχει τρόπο να μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα στη γη κάτω από κανονικές αλλά και συνθήκες σφάλματος, χωρίς να ξεπερνάει τα όρια λειτουργίας και εξοπλισμού ή να επηρεάζει αρνητικά τη συνεχή ροή αυτών.

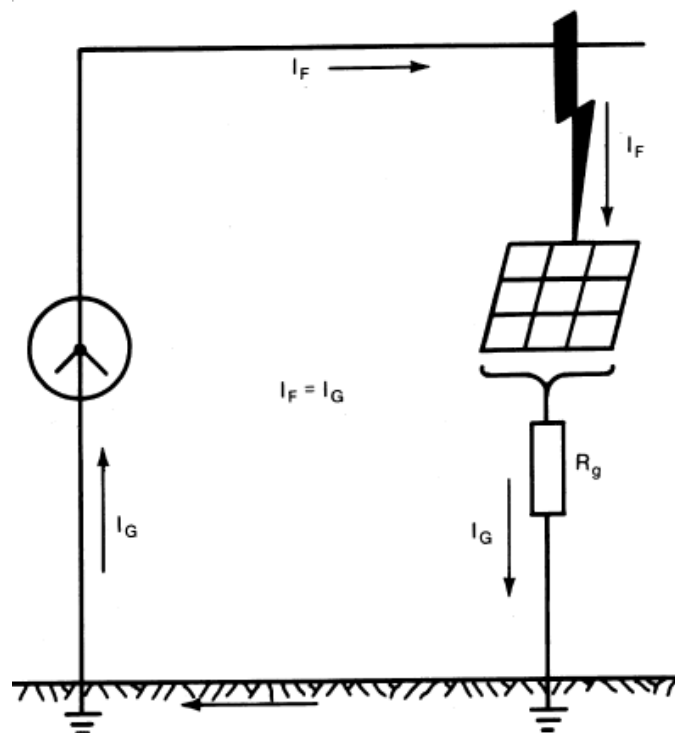
Να διασφαλίζει ότι ένα άτομο στην περιοχή μιας γειωμένης εγκατάστασης δεν είναι εκτεθειμένο σε κίνδυνο ηλεκτροπληξίας.

Έτσι μια πρακτική προσέγγιση για ασφαλή γείωση είναι κυρίως να ελεγχθεί η αλληλεπίδραση των δύο παρακάτω συστημάτων γείωσης:

Η σκόπιμη γείωση, που αποτελείται από ηλεκτρόδια γείωσης θαμμένα σε κάποιο βάθος κάτω από την επιφάνεια της γης.

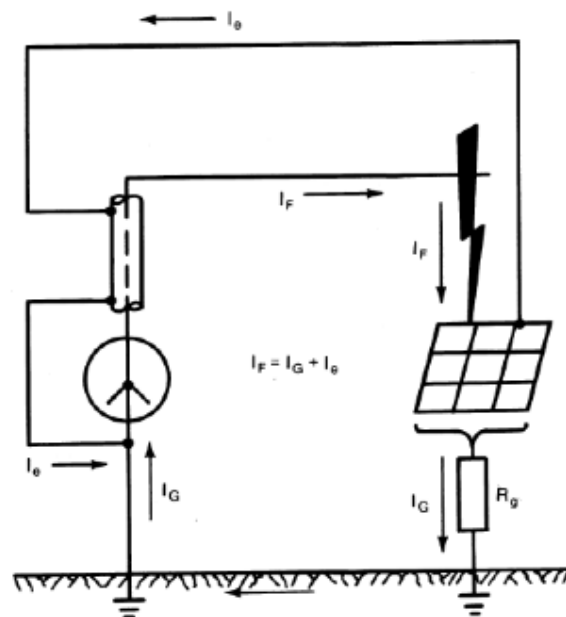
Η τυχαία γείωση, που επιτυγχάνεται προσωρινά από κάποιο άτομο το οποίο εκτίθεται σε μια διαφορά δυναμικού μέσα στον χώρο της γειωμένης εγκατάστασης.

Οι άνθρωποι συχνά πιστεύουν ότι μπορούν να αγγίξουν με ασφάλεια οποιοδήποτε γειωμένο αντικείμενο. Παρόλ' αυτά, μια χαμηλή τιμή της αντίστασης γείωσης του υποσταθμού δεν αποτελεί από μόνη της εγγύηση ασφαλείας. Δεν υπάρχει κάποια απλουστευμένη σχέση που να συνδέει την αντίσταση του συστήματος γείωσης στο σύνολο της με το μέγιστο ρεύμα σφάλματος, στο οποίο μπορεί να εκτεθεί ένα άτομο. Συνεπώς, ένας υποσταθμός σχετικά χαμηλής αντίστασης γείωσης μπορεί να είναι επικίνδυνος, ενώ την ίδια στιγμή κάποιος άλλος με πολύ μεγάλη αντίσταση να είναι ασφαλής ή να μπορεί να γίνει με προσεχτική σχεδίαση. Για παράδειγμα, αν ένας υποσταθμός τροφοδοτείται από εναέρια γραμμή χωρίς θωράκιση ή ουδέτερο αγωγό, τότε μια χαμηλή αντίσταση πλέγματος είναι απαραίτητη. Το περισσότερο ή και όλο το ρεύμα σφάλματος εισέρχεται στη γη προκαλώντας συχνά απότομη αύξηση του δυναμικού του εδάφους στον χώρο (βλέπε Σχ. 7.3(a)).



Σχήμα 7.3(a): Σφάλμα σε ένα τυπικό ορθογώνιο πλέγμα χωρίς ράβδους γείωσης [25]

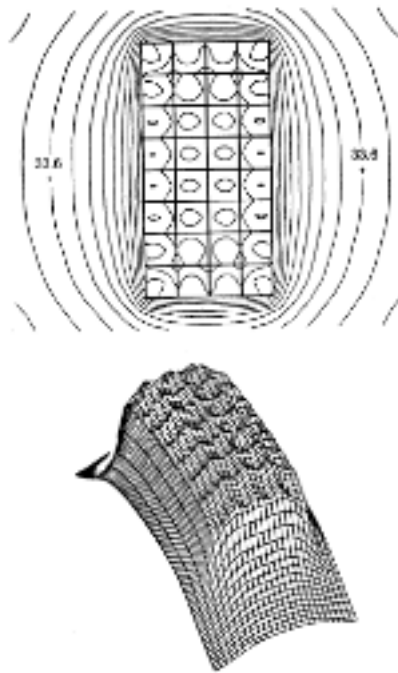
Εάν χρησιμοποιηθεί ένα καλώδιο θωράκισης, ένας αγωγός ουδετέρωσης κλπ, ένα μέρος του ρεύματος σφάλματος επιστρέφει διαμέσου αυτού του μεταλλικού αγωγού απευθείας στην πηγή. Εφόσον ο μεταλλικός αυτός ‘σύνδεσμος’ παρέχει έναν, χαμηλής εμπέδησης παράλληλο δρόμο επιστροφής στο κύκλωμα, η αύξηση του τοπικού δυναμικού του εδάφους είναι τελικά μικρότερου μεγέθους (βλέπε Σχ. 7.3 (b)). Σε κάθε περίπτωση, η επίδραση του μέρους του ρεύματος σφάλματος που εισέρχεται στη γη, μέσα στον χώρο του υποσταθμού, πρέπει να αναλύεται περαιτέρω. Εάν η γεωμετρία του πλέγματος, η τοποθεσία των ηλεκτροδίων γείωσης, τα χαρακτηριστικά του εδάφους της περιοχής και διάφοροι άλλοι παράγοντες συμβάλλουν στην υπερβολική αύξηση της διαφοράς δυναμικού στην επιφάνεια της γης, το σύστημα γείωσης μπορεί να είναι ανεπαρκές παρά την ικανότητα του να οδηγεί ρεύματα σφαλμάτων με πλάτη και διάρκειες που επιτρέπονται από τα προστατευτικά ρελέ.



Σχήμα 7.3(b): Σφάλμα σε ένα τυπικό ορθογώνιο πλέγμα γείωσης με ράβδους γείωσης. [25]

7.4 Συνθήκες κινδύνου [38]

Κατά τη διάρκεια τυπικών συνθηκών σφαλμάτων γείωσης, η ροή του ρεύματος προς τη γη θα προκαλέσει διαφορές δυναμικού μέσα και έξω από το χώρο του υποσταθμού. Για έναν τέτοιο υποσταθμό με απλό ορθογώνιο πλέγμα γείωσης σε ομογενές έδαφος το Σχ. 7.4, δείχνει αυτήν ακριβώς την επίδραση του ρεύματος.



Σχήμα 7.4: Ισοδυναμικές καμπύλες ενός τυπικού πλέγματος γείωσης με και χωρίς ράβδους γείωσης. [25]

Αν κατά τον σχεδιασμό δε ληφθούν οι κατάλληλες προφυλάξεις, οι μέγιστες διαφορές δυναμικού που μπορεί να εμφανιστούν κατά μήκος της επιφάνειας της γης, δύνανται να πάρουν τέτοια πλάτη σε περίπτωση ενός σφάλματος γείωσης, ικανά για να θέσουν σε κίνδυνο έναν άνθρωπο που βρίσκεται στην περιοχή. Επιπλέον, επικίνδυνες τάσεις μπορούν επίσης να αναπτυχθούν μεταξύ γειωμένων κατασκευών ή κουφομάτων εξοπλισμού και της παρακείμενης γης.

Συγκεκριμένα οι συνθήκες που καθιστούν πιθανό ένα ατύχημα από ηλεκτροπληξία είναι οι εξής:

- 1) Σχετικά υψηλό ρεύμα σφάλματος προς το έδαφος, σε σχέση με την έκταση του συστήματος γείωσης και την αντίσταση αυτού ως προς τη γη.
- 2) Ειδική αντίσταση του εδάφους και διανομή των ρευμάτων γης, τέτοια, ώστε να εμφανίζονται υψηλές κλίσεις δυναμικού σε διάφορα σημεία πάνω στην επιφάνεια της γης.
- 3) Παρουσία ενός ατόμου σε τέτοιο σημείο, χρόνο και θέση, έτσι ώστε να γεφυρώνει δύο σημεία με μεγάλη διαφορά δυναμικού.
- 4) Απουσία επαρκούς αντίστασης επαφής ή άλλης σε σειρά αντίστασης, με σκοπό να περιορίσει το ρεύμα διαμέσου του σώματος σε ασφαλή όρια υπό τις συνθήκες σφαλμάτων (1) έως (3).
- 5) Διάρκεια του σφάλματος και της σωματικής επαφής, και ως εκ τούτου, της ροής του ρεύματος μέσω του ανθρώπινου σώματος για χρόνο επαρκή ώστε να προκαλέσει βλάβη για τη δεδομένη ένταση του ρεύματος.

Η σχετική σπανιότητα των ατυχημάτων οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη χαμηλή πιθανότητα της σύμπτωσης, και ταυτόχρονα, όλων των δυσμενών συνθηκών που αναφέρονται παραπάνω.

Εάν ένα σύστημα για να προστατευθεί είναι εξ ολοκλήρου απομονωμένο ή προστατευμένο από εξωτερικούς μηχανισμούς σύζευξης, τότε δεν υπάρχει ανάγκη για σύστημα γείωσης για να επιτευχθεί ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα. Ωστόσο, τα περισσότερα πρακτικά συστήματα δεν είναι πάντα απομονωμένα, αλλά συνήθως υπάρχουν συνδέσεις με το εξωτερικό σύστημα. Έτσι,

όταν ένα φαινόμενο κεραυνού εμφανίζεται στη γειτονική του συστήματος περιοχή ή χτυπάει το σύστημα, τότε εμφανίζεται αύξηση του δυναμικού και μεταβατική ενέργεια μετεφέρεται μεταξύ του συστήματος και του εξωτερικού χώρου, το οποίο είναι και η πρωταρχική αιτία για υλικές ζημιές και τραυματισμούς.

Επιπλέον, εκεί που πέφτει ένας κεραυνός και σε απόσταση 500 περίπου μέτρων, η περιοχή φορτίζεται ηλεκτρικά πολύ έντονα και τα φορτία έχουν την ανάγκη να διαφύγουν τάχιστα, για να έρθει εξομάλυνση της κατανομής τους στο χώρο. Αν μέσα στην περιοχή αυτή βρίσκεται κτίριο με σύνδεση στο δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και έχει συνδεδεμένες συσκευές, οι οποίες είναι και γειωμένες, αυτές διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα μεγάλης έντασης και τα φορτία από τον κεραυνό διαφεύγουν από τη Γη, μέσω αυτών, στο δίκτυο της ηλεκτρικής παροχής. Το αποτέλεσμα είναι, πως οι γειωμένες ηλεκτρικές συσκευές καταστρέφονται από τη διέλευση του ρεύματος, ενώ οι μη γειωμένες και μη συνδεδεμένες με άλλες γειωμένες συσκευές διαφεύγουν τον κίνδυνο της καταστροφής. Για την αποφυγή όλων αυτών των συνεπειών λοιπόν προτείνεται η τοποθέτηση αντικεραυνικού εξοπλισμού στα κτίρια καθώς και η σχεδίαση και τοποθέτηση στο χώρο ενός αποτελεσματικού συστήματος γείωσης και αυτό γιατί έτσι το ρεύμα κεραυνού μπορεί να οδηγηθεί με ασφάλεια στο έδαφος και να μειώσει στο ελάχιστο τους προαναφερθέντες κινδύνους.

7.5 Προδιαγραφές συστήματος γείωσης [38]

Όπως ειπώθηκε, σκοπός της γείωσης είναι να εξασφαλίζει την ακεραιότητα του εξοπλισμού και τη συνέχεια της λειτουργίας του, σε περίπτωση εμφάνισης οποιουδήποτε σφάλματος, παρέχοντας διαδρομή απαγωγής του ρεύματος και εκτόνωσης του στη γη, καθώς και να προστατεύει από ηλεκτροπληξία άτομα που είτε δουλεύουν, είτε κινούνται στον περιβάλλοντα χώρο. Δηλαδή να μειώνει τις πιθανότητες ανάπτυξης επικίνδυνων βηματικών τάσεων επαφής, καθορίζοντας ένα δυναμικό αναφοράς.

Ένα επαρκώς μελετημένο και άρα αποτελεσματικό σύστημα γείωσης πρέπει λοιπόν να πληρεί τα παρακάτω κριτήρια:

- 1) Να παρέχει χαμηλή εμπέδηση για το κύμα του ρεύματος σφάλματος ώστε να έχει νόημα και να είναι αποτελεσματική η λειτουργία του συστήματος προστασίας
- 2) Να μειώνει τον κίνδυνο κατάρρευσης σημαντικών ηλεκτρικών συστημάτων και ηλεκτρονικού εξοπλισμού
- 3) Να μειώνει τον κίνδυνο ηλεκτροπληξίας για τους ανθρώπους
- 4) Να ελαχιστοποιεί το κόστος

Για να πληρούνται, ωστόσο, τα παραπάνω κριτήρια, υπάρχουν ορισμένοι βασικοί κανόνες που πρέπει στις περισσότερες, αν όχι σε όλες τις περιπτώσεις, να ακολουθούνται:

- 1) Το μέγεθος του συστήματος γείωσης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο ώστε να μειωθεί η μέγιστη αύξηση του δυναμικού, όταν εισέρχονται σε αυτό, απότομα ρεύματα.
- 2) Το κενό ανάμεσα στα ηλεκτρόδια γείωσης πρέπει να είναι προκαθορισμένο, έτσι ώστε η βηματική τάση που δημιουργείται να είναι μικρότερη από την τιμή ασφαλείας για το προσωπικό.
- 3) Ο αγωγός καθόδου πρέπει να συνδέεται με το σύστημα γείωσης σε τέτοιο σημείο, ώστε να μειώνεται η αύξηση του δυναμικού του εδάφους, για παράδειγμα στο μέσο του συστήματος γείωσης.
- 4) Για πολυστρωματικά εδάφη, το σύστημα γείωσης πρέπει να τοποθετείται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να εκμεταλλευτεί το τμήμα με τη χαμηλή ειδική αντίσταση του εδάφους και να μειώσει έτσι την αύξηση του δυναμικού του εδάφους όσο το δυνατόν περισσότερο.
- 5) Ο αποτελεσματικός λόγος του μήκους προς το εμβαδό πρέπει να ληφθεί επίσης υπόψιν, όταν κάποιος προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει το κόστος.

Τέλος, δεν μπορούν να μην αναφερθούν και οι παράγοντες που επηρεάζουν τη μεταβατική συμπεριφορά ενός συστήματος γείωσης, ανάλογα με τους οποίους το σύστημα μπορεί να κριθεί ή όχι κάθε φορά κατάλληλο· συνεπώς οφείλουν να εξεταστούν αναλυτικά. Αυτοί είναι:

- 1) Το σχήμα και οι διαστάσεις του συστήματος γείωσης καθώς και η ειδική αντίσταση του εδάφους που περιβάλλει αυτό
- 2) Η ανάπτυξη ή όχι του φαινομένου ιονισμού του εδάφους
- 3) Το σημείο στο οποίο εγχέται το ρεύμα σφάλματος
- 4) Η κυματομορφή αυτού του εγχεόμενου ρεύματος σφάλματος

7.6 Είδη γειώσεων [38]

Ανάλογα με τον τρόπο που χρησιμοποιούμε μια γείωση ή το σκοπό που κάθε φορά αυτή εξυπηρετεί, μπορούμε να διακρίνουμε τρεις κατηγορίες γειώσεων:

- 1) Τη γείωση λειτουργίας
- 2) Τη γείωση προστασίας
- 3) Τη γείωση ασφαλείας

1. Γείωση λειτουργίας: Είναι η γείωση εκείνη που ανήκει στο κύκλωμα λειτουργίας της εγκατάστασης. Τέτοιες γειώσεις είναι:

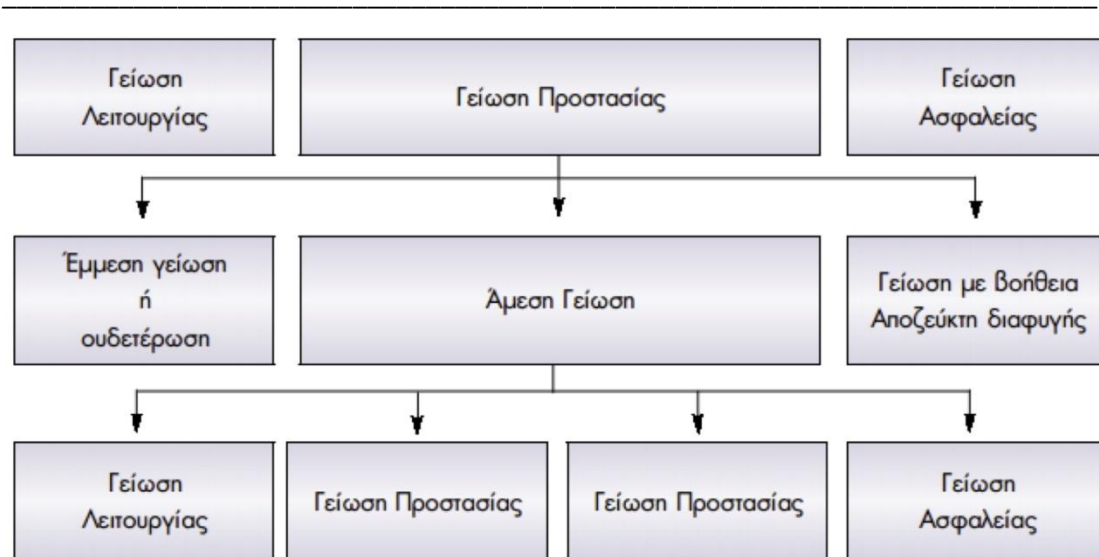
- A. Η γείωση του ουδέτερου κόμβου ενός μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης Δ/Y
- B. Η γείωση των σιδηροτροχιών ηλεκτρικού σιδηρόδρομου ή τροχιόδρομου (τραμ)
- C. Η γείωση του ουδέτερου αγωγού ενός δικτύου σε συγκεκριμένα διαστήματα

Όταν η γείωση λειτουργίας έχει επιπλέον ωμικές αντιστάσεις, αυτεπαγωγές ή και χωρητικές αντιδράσεις καλείται έμμεση, ενώ όταν περιλαμβάνει μόνο την αντίσταση γείωσης καλείται άμεση. Σε αυτή την κατηγορία των γειώσεων δεν περιλαμβάνονται οι ανοικτές γειώσεις, αυτές δηλαδή όπου στην γραμμή γείωσης παρεμβάλλεται σπινθηριστής ή ασφάλεια διάσπασης.

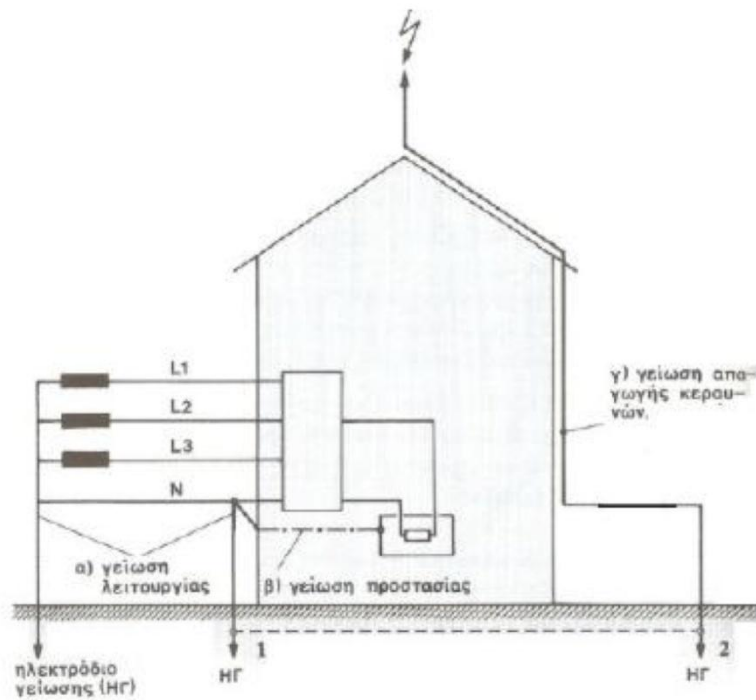
2. Γείωση προστασίας: Ονομάζεται η αγώγιμη σύνδεση μεταξύ όλων των μεταλλικών τμημάτων μιας εγκατάστασης που δεν ανήκει στο κύκλωμα λειτουργίας και πάνω στα οποία δεν θέλουμε να εμφανιστεί επικίνδυνη τάση. Τέτοιες γειώσεις πραγματοποιούνται σε κάθε ηλεκτρική εγκατάσταση για την προστασία των ανθρώπων από την παρουσία επικίνδυνης τάσης πάνω στα μεταλλικά μέρη των συσκευών που στην κανονική λειτουργία δεν θα είχαν τάση. Τέτοιου είδους γειώσεις δεν είναι ποτέ ανοικτές γειώσεις.

3. Γείωση ασφαλείας: Ονομάζεται και αλλιώς γείωση αντικεραυνικής προστασίας και είναι η γείωση ενός αγώγιμου τμήματος που χρησιμοποιείται για την προστασία κτιρίων, εκτεθειμένων μεταλλικών κατασκευών, καθώς και πυλώνων στήριξης γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας για τη διοχέτευση ρευμάτων προς τη γη που προέρχονται από κεραυνούς.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω και για καλύτερη κατανόηση της κατηγοριοποίησης των γειώσεων δίνεται στο Σχ. 7.5 ένα διάγραμμα που παρουσιάζει όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, ενώ στο Σχ. 7.6 φαίνονται πως εφαρμόζονται πρακτικά τα τρία είδη γειώσεων σε μία κατοικία.



Σχήμα 7.5: Κατηγοροποίηση γειώσεων



Σχήμα 7.6: Τα τρία είδη γειώσεων, λειτουργίας, προστασίας και γείωση του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας για απαγωγή των κεραυνών. [26]

Στην πράξη, τα τρία είδη γείωσης συνυπάρχουν πάντα στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις ενώ για να είναι αποδεκτή η εγκατάσταση της γείωσης, σαν γενικός κανόνας ισχύει ότι αυτή πρέπει να έχει συνολική τιμή μικρότερη του 1Ω .

Πέραν των παραπάνω τριών βασικών κατηγοριών γειώσεων υπάρχουν ακόμα δύο που αξίζει να αναφερθούν. Αυτές είναι η γείωση συστημάτων επεξεργασίας πληροφοριών και η γείωση υποσταθμών μέσης τάσης.

Γείωση συστημάτων επεξεργασίας πληροφοριών: Αφορά στις γειώσεις και στις ισοδυναμικές συνδέσεις των εγκαταστάσεων επεξεργασίας πληροφοριών, καθώς και εγκαταστάσεων παρόμοιων προς αυτές, στις οποίες απαιτείται η διασύνδεση των συσκευών που τις αποτελούν για λόγους μετάδοσης δεδομένων.

Τέτοιες εγκαταστάσεις επεξεργασίας πληροφοριών είναι για παράδειγμα:

- 1) συσκευές τηλεπικοινωνίας και μετάδοσης δεδομένων ηλεκτρονικών υπολογιστών ή άλλων εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν τη μετάδοση σημάτων με επιστροφή προς τη γη μέσω εσωτερικών ή εξωτερικών συνδέσεων του κτιρίου,
- 2) δίκτυα συνεχούς ρεύματος που εξυπηρετούν τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας πληροφοριών μέσα σ' ένα κτίριο,
- 3) συστήματα συναγερμού πυρκαγιάς ή διάρρηξης.

Γείωση υποσταθμών μέσης τάσης: Είναι η σύνδεση όλων των συσκευών, των πυλώνων, των ουδέτερων κόμβων των μετασχηματιστών, των εγκαταστάσεων, όλων των μεταλλικών περιβλημάτων, καθώς και της περιφραξής με το σύστημα γείωσης του υποσταθμού που συνήθως αποτελείται από πλέγμα θαμμένο στο έδαφος. Όσον αφορά τους γειωτές και αγωγούς, όπως ορίζει ο κανονισμός HD384-54 και πρέπει να ακολουθείται στην Ευρώπη, δεν προδιαγράφει υλικά και τρόπους εγκατάστασης, παρά μόνο απαιτήσεις και σημεία που πρέπει να προσεχθούν. Κάποια από αυτά είναι τα εξής:

- 1) Το βάθος στο οποίο πρέπει να βρίσκεται ο γειωτής πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 0,5m ώστε να έχουμε υγρό αγωγίμο έδαφος και να αποφεύγεται το πάγωμα του εδάφους που οδηγεί σε μεγάλη αντίσταση.

- 2) Απαιτείται μηχανική στιβαρότητα.
- 3) Ο συνδυασμός του εδάφους, του μετάλλου και των παρακείμενων θαμμένων αγωγών παίζει ρόλο καθώς ηλεκτροχημικές δράσεις και διάβρωση οδηγούν σε καταστροφή του γειωτή.
- 4) Να λαμβάνεται υπόψιν η θερμοκρασία και η υγρασία επειδή μειώνουν την αντίσταση γείωσης.
- 5) Η αντίσταση γείωσης για τους παραπάνω λόγους μπορεί να αλλάξει με τον χρόνο.
- 6) Επιτρέπεται η χρήση των σωλήνων ύδρευσης, όχι όμως σωλήνων άλλων μέσων π.χ. καυσίμων κλπ, σαν γειωτών.
- 7) Η ειδική αντίσταση του μετάλλου του γειωτή δεν παίζει ρόλο στην αντίσταση γείωσης, δηλαδή η αντίσταση αυτή δεν εξαρτάται από το υλικό του γειωτή.

7.7 Μέθοδοι γείωσης [38]

Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται 3 μέθοδοι γείωσης και είναι οι εξής:

Άμεση γείωση: Επιτυγχάνεται με απευθείας αγωγήμη σύνδεση στο σύστημα γείωσης είτε με ηλεκτρόδιο, είτε με πλέγμα γείωσης, πλάκα γείωσης κ.λπ.

Ουδετέρωση: Είναι η αγωγήμη σύνδεση με τον ουδέτερο ή με άλλο γειωμένο αγωγό φάσης του δικτύου.

Μέσω διακόπτη διαφυγής: Γίνεται αυτόματη απομόνωση του προβληματικού μέρους της εγκατάστασης. Διακρίνονται σε διακόπτες διαφυγής τάσης και έντασης.

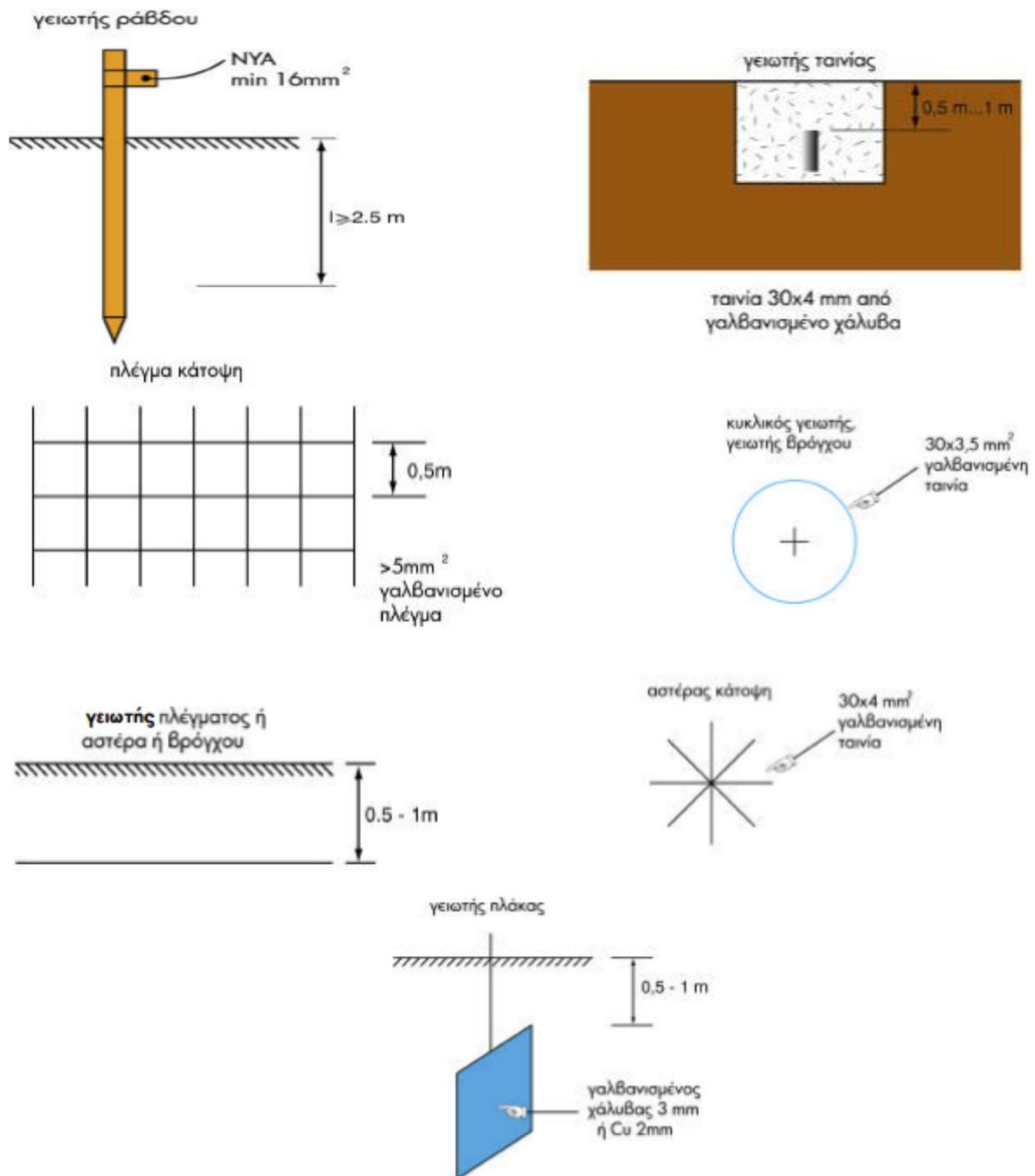
7.8 Τύποι και μορφές γειωτών [38]

Γειωτή καλούμε έναν αγωγό ή αγωγούς συγκεκριμένου γεωμετρικού σχήματος, ο οποίος ή οι οποίοι τοποθετούνται μέσα στο έδαφος, προκειμένου να εξασφαλίσουν την καλύτερη δυνατή επαφή με τη γη και κατά συνέπεια την αποτελεσματικότερη διάχυση του ρεύματος σφάλματος στη γη.

Οι κυριότεροι τύποι γειωτών είναι οι εξής:

- 1) Γειωτής ράβδου
- 2) Γειωτής ταινίας
- 3) Γειωτής πλάκας
- 4) Ακτινικός γειωτής ή αστέρας
- 5) Πλέγμα γείωσης
- 6) Κυκλικός γειωτής

Οι μορφές που έχουν αυτοί οι τύποι ηλεκτροδίων παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.7, ενώ στον Πίνακα 1 δίνονται οι ελάχιστες διαστάσεις που οφείλουν να έχουν τα ηλεκτρόδια γείωσης κατά το άρθρο 27 των Κ.Ε.Η.Ε (Κανονισμοί Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων).





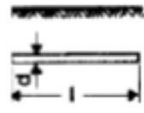
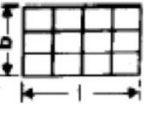
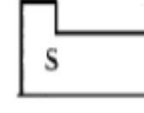
Σχήμα 7.7: Σχηματικές διατάξεις των κυριότερων γειωτών.

Κεφάλαιο 7: Συστήματα Γείωσης

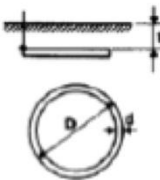
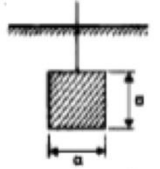
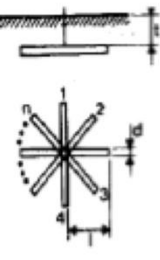
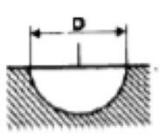
Μορφή Γειωτή	Υλικό		
	Χάλυβας γαλβανισμένος (με 70 μm στρώμα)	Χάλυβας επιχαλκωμένος	Χαλκός
Ταινία	100 mm ² ελάχιστο πάχος 3 mm	50 mm ² ελάχιστο πάχος 2 mm	50 mm ² ελάχιστο πάχος 2 mm
Ράβδος στρογγυλή	78 mm ² = 10 φ	50 mm ² ελάχιστο πάχος 2 mm	35 mm ²
Συρματόσχοινο	95 mm ² χονδρόκλωνο (δε χρησιμοποιείται)	50 mm ² χάλυβα 35 mm ² χαλκός	35 mm ² χονδρόκλωνο (ελάχιστο πάχος κλώνων 1,8 mm)
Σωλήνας για πασσαλογειώσεις	Ονομαστική διάμετρος 1'' (εσωτερική διάμετρος), ελάχιστο πάχος 2mm		Εσωτερική διάμετρος 20mm, ελάχιστο πάχος 2mm
Ράβδος L, U, T, I για πασσαλογειώσεις	Σύμφωνα με τη ΔΕΗ, 100 mm ² , ελάχιστο πάχος 3 mm	50 mm ² στρογγυλή ράβδος	Σύμφωνα με τη ΔΕΗ, 35 mm ² , ελάχιστο πάχος 3 mm
Πλάκα	Ελάχιστο πάχος 3 mm		Ελάχιστο πάχος 2 mm

Πίνακας 1: Ελάχιστες διατομές και πάχη γειωτών, κατά το άρθρο 27 των Κ.Ε.Η.Ε. [27]

Στον Πίνακα 2 δίνονται επίσης οι αντιστάσεις των παραπάνω τύπων γειωτών αλλά και άλλων που χρησιμοποιούνται συχνά σε ηλεκτρικές εγκαταστάσεις.

α/ α	Σχήμα	Γειωτής	Τύπος	Προσεγγιστικός τύπος
1		Πάσσαλος (πλάγια όψη)	$R_{A1} = \frac{\rho}{2\pi l_{eff}} \ln \frac{4l_{eff}}{d}$ $l_{eff} \approx 1-0,5m$	$R_A \approx \frac{\rho}{l_{eff}}$
2		Πολύγωνο πασσάλων $a \geq 1$ (κάτοψη)	$R_A \approx k \frac{1}{n} R_{A1}$ $a/l=3:n=5:k \approx 1,2$ R_{A1} = αντίσταση ενός πασσάλου	Μπορεί να τεθεί $k=(1...1,5)$ ειδικά για $n=10$ $k \approx 1,25$
3		Ταινία γείωσης ή επιφανειακός γειωτής, βάθος $h=0,5...1,0m$ (πλάγια όψη)	$R_A = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$	$R_A \approx \frac{2\rho}{l}$
4		Πλέγμα σε βάθος 0,5- 1,0m $D = \sqrt{\frac{4b \cdot l}{\pi}}$ (κάτοψη)	$R_A \approx \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{lg}$ lg = συνολικό μήκος αγωγού	$R_A \approx \frac{\rho}{2D}$
5		Θεμελιακή γείωση, $D = \sqrt{\frac{4}{\pi} S}$	-	$R_A = \frac{2\rho}{\pi D}$

Πίνακας 2: Αντιστάσεις γειωτών (1 από 2)

6		Κυκλικός γειωτής (κάτοψη)	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{8D}{d} \left(1 + \frac{\ln(2D)/l}{\ln(8D/d)} \right)$	$R_A = \frac{2\rho}{\pi D}$ (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	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,27td}$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,25td}$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,22td}$ $R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{l^2}{0,09td}$	-- -- -- --
9		Ημισφαιρικός γειωτής	$R = \frac{\rho}{\pi D}$ (3)	--
<p>(1) Για ακανόνιστους βρόγχους μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ισοδύναμη διάμετρος $D=0,33 \cdot U$ όπου U=το μήκος του αγωγού</p> <p>(2) Για πλάκες που δεν είναι τετράγωνες θέτουμε $\alpha = \sqrt{S}$ όπου S=επιφάνεια</p> <p>(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 $d = \sqrt{4 \cdot \frac{A}{\pi}}$, όπου A η διατομή του αγωγού.</p>				

Πίνακας 3: Αντιστάσεις γειωτών (2 από 2) [27]

Οι πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι γειωτών είναι ο ραβδοειδής, ο γειωτής πλάκας καθώς και ο γειωτής ταινίας. Ωστόσο, καθώς οι περισσότεροι βρίσκουν εφαρμογή όπου υπάρχουν ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, για αυτό κρίνεται σκόπιμο να γίνει παρακάτω μια σύντομη περιγραφή μερικών από τους γειωτές του Πίνακα 1.

Ραβδοειδής

Ράβδος κυκλικής διατομής ή διατομής σταυρού, διαφόρων μηκών. Καρφώνονται κατακόρυφα στο έδαφος. Το άνω μέρος της ράβδου (περίπου 25cm), μπαίνει συνήθως σε φρεάτιο έτσι ώστε το σημείο σύνδεσής της με τον αγωγό γείωσης να είναι επισκέψιμο. Η τιμή της αντίστασης της γείωσης μειώνεται όσο μεγαλώνει το μήκος της ράβδου, ενώ η διάμετρος της επιδρά ελάχιστα.

Ραβδοειδής γειωτής κυκλικής διατομής

Κατασκευάζεται από χάλυβα ηλεκτρολυτικά επιχαλκωμένο, με πάχος επιχάλκωσης τουλάχιστον 250μm, έτσι ώστε να εμπίνυται και στα πιο σκληρά εδάφη χωρίς να απογυμνώνεται η χαλύβδινη ψυχή, που θα έχει σαν αποτέλεσμα την γρήγορη διάβρωσή της. Ράβδοι με μικρότερο πάχος ηλεκτρολυτικής επιχάλκωσης ή επιχαλκωμένες μηχανικά με μανδύα χαλκού πρέπει να αποφεύγονται, οι μεν πρώτες για τον παραπάνω αναφερόμενο λόγο, οι δεύτερες διότι κατά την έμπηξη, ο χάλκινος μανδύας αποκολλάται και συγκεντρώνεται προς το άνω μέρος της ράβδου με αποτέλεσμα την αποκάλυψη της χαλύβδινης ψυχής και την γρήγορη διάβρωσή της. Οι συνήθεις διαστάσεις των ραβδοειδών γειωτών κυκλικής διατομής κυμαίνονται από 12 mm έως 23 mm σε διάμετρο και 1,2 m έως 3 m σε μήκος. Οι ράβδοι κυκλικής διατομής συνήθως φέρουν σπείρωμα στο άνω και κάτω άκρο, το οποίο πρέπει να δημιουργείται με διαμόρφωση και όχι με κοπή, αποφεύγοντας έτσι τον κίνδυνο αποκάλυψης της χαλύβδινης ψυχής της ράβδου με αποτέλεσμα την διάβρωσή της. Με το τρόπο αυτό, εφόσον οι συνθήκες το επιτρέπουν, οι ράβδοι μπορούν να επιμηκυνθούν στο διπλάσιο, τριπλάσιο, κ.ο.κ του μήκους των, με τη χρήση ορειχάλκινων συνδέσμων επιμήκυνσης (μούφες). Οι σύνδεσμοι αυτοί δεν επιτρέπεται να κατασκευάζονται από άλλο υλικό όπως Αλουμίνιο ή Χάλυβα, προκειμένου να έχουν την κατάλληλη μηχανική αντοχή στη διάβρωση και πολύ μικρή αντίσταση διαβάσεως του ρεύματος σφάλματος αντίστοιχα.

Ραβδοειδής γειωτής διατομής σταυρού

Κατασκευάζεται από χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο, με πάχος επιψευδαργύρωσης τουλάχιστον 50μm. Όσο πιο μεγάλο είναι το πάχος της επιψευδαργύρωσης του γειωτή, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του στην διάβρωση. Οι διαστάσεις του γειωτή είναι 5 cm διάμετρος και μήκη 1,5m , 2m και 2,5m. Το πάχος των ελασμάτων που δημιουργούν την σταυροειδή διατομή είναι 3mm.

Ο γειωτής πρέπει να φέρει στο άνω σημείο του, συγκολλημένο διάτρητο έλασμα για την προσαρμογή του αγωγού γείωσης.

Γειωτής πλάκας

Πλάκα διαφόρων διαστάσεων (ελάχιστο 500 x 500 x 2mm) από καθαρό ηλεκτρολυτικό χαλκό ή χάλυβα θερμά επιψευδαργυρωμένο ή μόλυβδο, με ελάχιστο πάχος 2mm. Τοποθετείται κατακόρυφα εντός του εδάφους σε βάθος τουλάχιστον 50cm. Η τιμή της αντίστασης της γείωσης μειώνεται όσο μεγαλώνουν οι διαστάσεις της πλάκας και όσο βαθύτερα τοποθετείται στο έδαφος.

Γειωτής ταινίας

Ταινία διαφόρων διαστάσεων από χαλκό ή θερμά επιψευδαργυρωμένο χάλυβα.

Τοποθετείται κάθετα σε μικρό βάθος μέσα στο έδαφος, περίπου 50 έως 70cm. Η τιμή της αντίστασης της γείωσης μειώνεται όσο μεγαλώνει το μήκος της ταινίας που βρίσκεται εντός του εδάφους. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί αγωγός κυκλικής διατομής, αλλά συνήθως λόγω της μικρότερης επιφάνειας επαφής του με το έδαφος, η μετρούμενη τιμή αντίστασης γείωσης κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα από την αντίστοιχη ταινία ισοδύναμου διατομής. Τέλος δεν συνιστάται η χρήση του συρματόσχοινου ως αντικατάσταση της

ταινίας, αν και το επιτρέπουν οι κανονισμοί Κ.Ε.Η.Ε. γιατί διαβρώνεται εύκολα. Γι' αυτό το λόγο δεν το συνιστούν οι κανονισμοί VDE100.

Ταινία χαλκού

Κατασκευάζεται από καθαρό ηλεκτρολυτικό χαλκό· οι δε διαστάσεις της είναι συνήθως 30 x 2 mm, 30 x 3 mm και 40 x 3 mm.

Ταινία χαλύβδινη θερμά επιψευδαργυρωμένη

Οι συνήθεις διαστάσεις της είναι 30 x 3,5mm και 40 x 4 mm με επιψευδαργύρωση 500 ή 300 gr/m².

Γειωτής πλέγματος

Πλέγμα από ταινίες ή αγωγός κυκλικής ή άλλης διατομής με τετραγωνικά ανοίγματα πλάτους 0,7 – 2m και τοποθετείται οριζόντια σε βάθος 0,5 – 1m. Τα ελάχιστα πάχη είναι όπως στους γειωτές ταινίας. Το πλεονέκτημα των γειωτών πλέγματος είναι ότι οι βηματικές τάσεις στο έδαφος πάνω από το πλέγμα είναι αμελητέες. Προφανώς, ανοίγματα μεγαλύτερα από 0,7m έχουν μεγαλύτερες βηματικές τάσεις από ότι πλέγματα με ανοίγματα 0,5m.

7.9 Συστήματα γείωσης [38]

Πολυγωνική διάταξη

Κατασκευάζεται από ραβδοειδείς γειωτές οι οποίοι τοποθετούνται στις κορυφές ισόπλευρου πολυγώνου συνήθως δε τριγώνου (τριγωνική γείωση). Οι ράβδοι συνδέονται μεταξύ τους με αγωγό γείωσης αναλόγου διατομής με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης (συνήθως 50 mm² Cu). Η απόσταση μεταξύ των ράβδων πρέπει να είναι τουλάχιστον 1,5 φορά του βάθους έμπηξης.

Πολλές φορές για λόγους έλλειψης χώρου ή ευκολίας, αντί της πολυγωνικής διάταξης, οι ράβδοι μπορούν να τοποθετηθούν σε ευθεία διάταξη, σε "Τ"

διάταξη, σε κυκλική διάταξη κ.λ.π. πάντα όμως θα πρέπει η απόσταση μεταξύ τους να είναι τουλάχιστον 1,5 φορά του βάθους έμπηξής των.

Γείωση με πλάκες

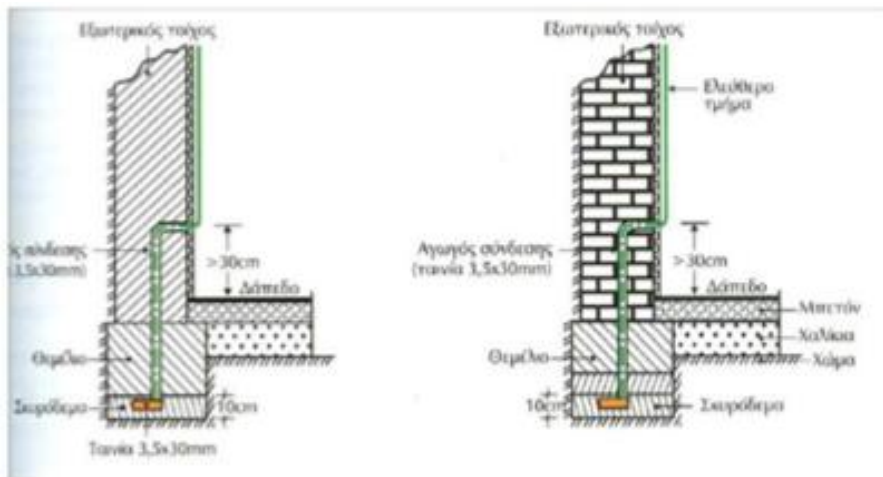
Κατασκευάζεται από πλάκες οι οποίες τοποθετούνται σε τυχαία διάταξη αρκεί η απόσταση μεταξύ τους να είναι τουλάχιστον 3 m. Οι πλάκες συνδέονται μεταξύ τους με αγωγό γείωσης αναλόγου διατομής με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης (συνήθως 50 mm² Cu).

Περιμετρική γείωση

Κατασκευάζεται από γειωτή ταινίας ο οποίος τοποθετείται σε όρυγμα βάθους 50cm έως 70cm συνήθως για να υπάρχει υγρό έδαφος περιμετρικά του κτιρίου, και σε απόσταση από το κτίριο περίπου 2m, διότι τα χώματα κοντά στο κτίριο συνήθως δεν είναι αγωγίμα (μπάζα).

Θεμελιακή γείωση

Κατασκευάζεται από γειωτή ταινίας και σπανιότερα από αγωγού κυκλικής διατομής, που τοποθετείται εντός των συνδετήριων δοκαριών των πεδίων ή στα περιμετρικά τοιχεία των θεμελίων του κτιρίου, σε μορφή κλειστού δακτυλίου. Για κτίρια μεγάλης περιμέτρου συνιστάται η τοποθέτηση εγκαρσίων ή διαμηκών τμημάτων ταινίας (πάντα εντός σκυροδέματος θεμελίων), έτσι ώστε κανένα σημείο του υπογείου να μην απέχει περισσότερο από 10 m από το γειωτή. Η τιμή της αντίστασης της γείωσης μειώνεται όσο μεγαλώνει το μήκος της ταινίας, όπως ακριβώς συμβαίνει και στην περίπτωση της περιμετρικής γείωσης με ταινία. Σύμφωνα με το άρθρο 27 των ΚΕΗΕ, η διατομή της ταινίας πρέπει να είναι τουλάχιστον 100mm² με ελάχιστο πάχος 3mm. Συνιστάται η τοποθέτηση χαλύβδινης θερμά επιψευδαργυρωμένης ταινίας και όχι χάλκινης, για την αποφυγή ηλεκτροχημικών διαβρώσεων με τον υπάρχοντα οπλισμό.



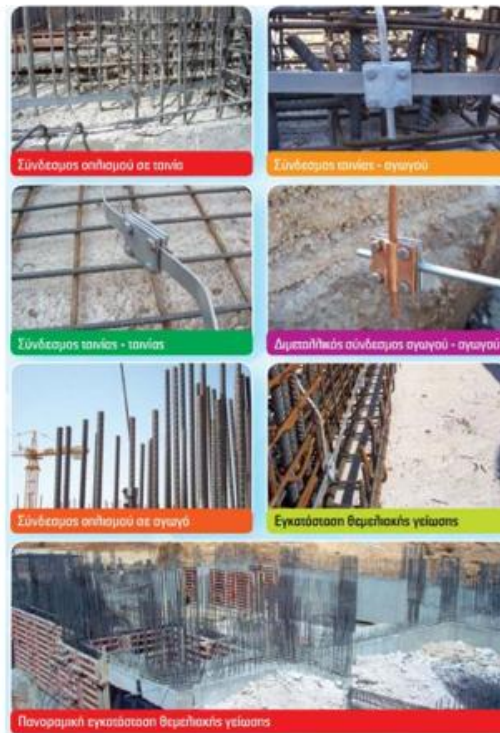
Σχήμα 7.8: Θεμελιακή γείωση [27]

Πλεονεκτήματα της θεμελιακής γείωσης

Η Θεμελιακή γείωση έναντι των συμβατικών τύπων γείωσης παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Χαμηλή τιμή αντίστασης γείωσης
- Αντοχή στο χρόνο – Μηχανική προστασία
- Εξάλειψη βηματικών τάσεων
- Αναμονές γείωσης σε οποιοδήποτε σημείο του εσωτερικού χώρου του κτιρίου προκειμένου να συνδεθούν άμεσα τα μεταλλικά μέρη μηχανημάτων, σωληνώσεων κλπ.
- Η εγκατάσταση της θεμελιακής γείωσης γίνεται σε ήδη υπάρχουσα εκσκαφή με αποτέλεσμα την ευκολία τοποθέτησής της, δίχως να απαιτείται ειδικός χώρος πράγμα που χρειάζεται για την τοποθέτηση συμβατικών τύπων γειωτών (ράβδοι, περιμετρική ταινία κλπ)

Για τους παραπάνω λόγους, η εγκατάσταση θεμελιακής γείωσης επιβάλλεται από τους κανονισμούς DIN 18015 Teil 1 και προτείνεται από τους ΚΕΗΕ για κάθε νεοαναγειρόμενο κτίριο. Στο Σχ. 7.9 φαίνεται μία βήμα προς βήμα τοποθέτηση θεμελιακής γείωσης, από πραγματική οικοδομή.



Σχήμα 7.9: Εγκατάσταση θεμελιακής γείωσης

Συνδυασμός γειώσεων

Η τιμή της αντίστασης εξαρτάται από το μήκος και την επιφάνεια του ηλεκτροδίου που έρχεται σε επαφή με το υπεδάφος. Πολλές φορές λόγω μεγάλης ειδικής αντίστασης του υπεδάφους (βραχώδες, ξηρή άμμος κ.λ.π.) αλλά και περιορισμένου διαθέσιμου για γείωση χώρου, απαιτείται να γίνει κάποιος συνδυασμός από τα παραπάνω είδη γείωσης τέτοιος, ώστε να πετυχαίνουμε "αύξηση" του μήκους του γειωτή χωρίς να απαιτείται επιπλέον χώρος.

Το συνηθέστερο παράδειγμα είναι της περιμετρικής γείωσης, η οποία συντάσσεται με ράβδους γείωσης κατά μήκος αυτής. Προσοχή πρέπει να δίδεται ώστε τα χρησιμοποιούμενα υλικά πρέπει να είναι του ίδιου ή συγγενών μετάλλων, έτσι ώστε να μην παρουσιάζονται φαινόμενα ηλεκτροχημικής διάβρωσης.

7.10 Βελτιωτικά υλικά γειώσεων [38]

Πολλές φορές κατά την κατασκευή ενός συστήματος γείωσης είναι απαραίτητη η χρήση βελτιωτικού υλικού. Οι λόγοι που οδηγούν στην απόφαση αυτή είναι οι παρακάτω:

- Μεγάλη ειδική αντίσταση του εδάφους
- Περιορισμένος χώρος εγκατάστασης
- Ιδιαίτερα διαβρωτικό έδαφος
- Ασταθείς καιρικές συνθήκες και αυξομειώσεις της ειδικής αντίστασης του εδάφους κατά την διάρκεια του έτους
- Μείωση του κόστους
- Συνδυασμός των παραπάνω

Εμπειρικά χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά που ενώ βελτιώνουν την τιμή της αντίστασης γείωσης πρόσκαιρα, με την πάροδο του χρόνου προκαλούν τελείως αντίθετα από τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η χρήση NaCl (χονδρό αλάτι) προς συγκράτηση διαβρώνει το ηλεκτρόδιο μεγάλωνοντας την αντίσταση διάχυσης, δηλαδή τη δυσκολία με την οποία διαχέεται το ρεύμα σφάλματος προς τη γη. Το βρόχινο νερό που θα διαπεράσει το έδαφος θα παρασύρει το αλάτι με αποτέλεσμα μετά από κάποια χρονική στιγμή να μην υφίσταται πια. Για τον τελευταίο λόγο δεν προτείνεται η λύση γαιάνθρακα. Η χρήση δε ρινισμάτων σιδήρου λόγω οξειδωσής των, προκαλεί με την πάροδο του χρόνου επίσης αρνητικά αποτελέσματα. Η χρήση του μπετονίτη είναι ακατάλληλη για περιόδους ξηρασίας διότι τότε συρικνώνεται και αποκολλάται από το ηλεκτρόδιο.

Ένα βελτιωτικό γειώσεων, το οποίο πετυχαίνει βελτίωση της αγωγιμότητας του εδάφους εκεί όπου η ειδική αντίστασή του είναι πολύ μεγάλη και οι απαιτήσεις για χαμηλή αντίσταση διαχύσεως είναι πολύ υψηλές, είναι το TERRAFILL™. Το TERRAFILL™, το οποίο αποτελείται από μια ουδέτερη ουσία αναμεμειγμένη με νερό, λόγω της πολύ χαμηλής ειδικής αντίστασής του,

που οφείλεται κυρίως στην ηλεκτρολυτική διεργασία του νερού και των ορυκτών αλάτων που περιέχει τα οποία ιονιζόμενα σχηματίζουν έναν ισχυρό ηλεκτρολύτη με PH 8 έως 10, δηλαδή συμπεριφέρεται ουδέτερα και όχι όξινα ώστε να υπάρχει ο κίνδυνος της διάβρωσης του ηλεκτροδίου, ο ηλεκτρολύτης αυτός δεν απορροφάται μιας και γίνεται μέρος του περιβάλλοντος εδάφους ενώ παράλληλα είναι φιλικός με το περιβάλλον. Ο ηλεκτρολύτης αυτός προσκολλάται σε οποιαδήποτε επιφάνεια εδάφους που το περιβάλλει πετυχαίνοντας έτσι τέλεια ηλεκτρική επαφή του γειωτή με αυτό. Εάν εκτεθεί άμεσα στην ακτινοβολία του ηλίου, τείνει να αυτοπροστατευθεί, εμποδίζοντας την εξάτμιση του περιεχόμενου νερού να προχωρήσει πέρα από την επιφάνειά του, σχηματίζοντας μία αδιαπέραστη μεμβράνη μερικών χιλιοστών του μέτρου, στην εκτεθειμένη στον ήλιο επιφάνειά του. Σειρά εκτεταμένων μετρήσεων και πειραμάτων σχετικά με την συμπεριφορά του TERRAFILL™, τεκμηριώνουν ότι η περιεκτικότητά του σε νερό μετά από μακρά περίοδο ξηρασίας, φθάνει μέχρι και 600% του όγκου του, ενώ παράλληλα μειώνει τη τιμή της αντίστασης της γείωσης μέχρι και 14 φορές.

7.11 Κρουστική σύνθετη αντίσταση γείωσης [38]

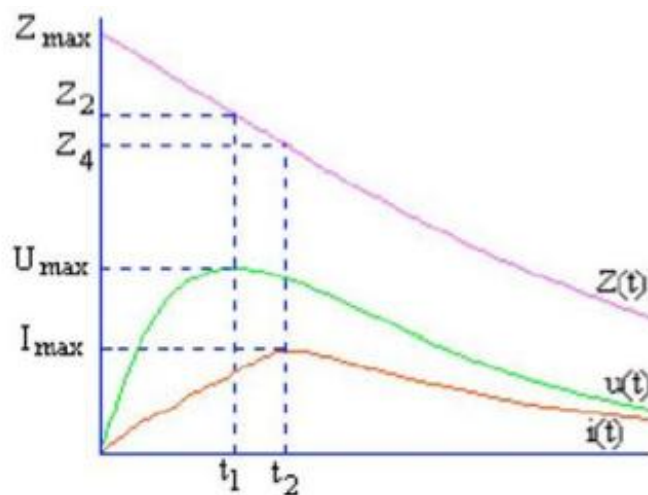
Κλείνοντας το κεφάλαιο των συστημάτων γείωσης, θα αναφερθούμε σε ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό μέγεθος αυτών, την κρουστική σύνθετη αντίσταση. Κατά την μεταβατική κατάσταση, το σύστημα γείωσης εμφανίζει μια εμπέδηση που είναι κατά πολύ μεγαλύτερη απ' ό τι στην μόνιμη κατάσταση. Αυτό συμβαίνει για τους εξής λόγους: [28]

- Η αντίδραση των αγωγών και των ακροδεκτών γίνεται μεγαλύτερη λόγω της μικρής διάρκειας του φαινομένου. Ως αποτέλεσμα αυτής της μικρής διάρκειας, είναι η ανάπτυξη υψηλών συχνοτήτων, που συνεπάγεται και αύξηση της εμπέδησης γείωσης.
- Η ελάττωση του χρόνου μετώπου του εγχεόμενου κρουστικού ρεύματος οδηγεί στη μείωση του ενεργού μήκους των μακριών αγωγών γείωσης.

- Η επίδραση του επιδερμικού φαινομένου(όπου το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει κυρίως στην επιφάνεια του αγωγού), αυξάνει την εμπέδηση των αγωγών γείωσης, λόγω της υψηλής συχνότητας που κυριαρχεί κατά το μεταβατικό φαινόμενο.
- Η μεγάλη τιμή του εγγεόμενου ρεύματος, ενδέχεται να ξηράνει το έδαφος και έτσι να αυξηθεί η ειδική αντίσταση του εδάφους.

Η κρουστική μεταβατική σύνθετη αντίσταση ενός συστήματος γείωσης ορίζεται ως ο λόγος της μεταβολής του δυναμικού του σημείου έγχυσης του ρεύματος ως προς την άπειρη γη, προς το εγγεόμενο ρεύμα και δίνεται απο τον παρακάτω τύπο:

Η κρουστική σύνθετη αντίσταση είναι ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μέγεθος· γι' αυτό το λόγο στο Σχήμα 7.10 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά σημεία των καμπυλών, τα οποία και χρησιμοποιούνται για τον ορισμό των παραμέτρων της κρουστικής σύνθετης αντίστασης.



Σχήμα 7.10: Προσδιορισμός παραμέτρων κρουστικής σύνθετης αντίστασης. [28,29]

Ο ορισμός των παραμέτρων της κρουστικής σύνθετης αντίστασης Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 μπορεί τώρα να προκύψει απο τις επόμενες τέσσερις σχέσεις:

- $Z_1 = \max\{z(t)\}$
- $Z_2 = \frac{u(t_1)}{i(t_1)}$
- $Z_3 = \frac{u(t_1)}{i(t_2)}$
- $Z_4 = \frac{u(t_2)}{i(t_2)}$

όπου,

Z_1 : Η μέγιστη τιμή του λόγου της τάσης προς το ρεύμα

Z_2 : Ο λόγος της μέγιστης τιμής της τάσης προς τη στιγμιαία τιμή του ρεύματος

Z_3 : Ο λόγος της μέγιστης τιμής της τάσης προς τη μέγιστη τιμή του ρεύματος

Z_4 : Ο λόγος της τάσης όταν το ρεύμα γίνεται μέγιστο, προς τη μέγιστη τιμή του ρεύματος

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι $Z_1 > Z_2 > Z_3 > Z_4$. Ανάλογα με την εφαρμογή επιλέγεται η παράμετρος που θα μετρηθεί κάθε φορά. Πολλές φορές προτιμάται η παράμετρος Z_3 λόγω της απλότητας της, ενώ στις περιπτώσεις εκείνες που το ρεύμα λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του πριν από το μέγιστο της, προτιμάται η παράμετρος Z_4 σύμφωνα με τον K. J. Nixon [30], την οποία και θεωρεί πιο κατάλληλη για να περιγράψει τη μεταβατική σύνθετη αντίσταση.

Η κρουστική σύνθετη αντίσταση μπορεί να καθοριστεί αν είναι γνωστή η τιμή του εγγεόμενου ρεύματος και η απόλυτη τάση στο σημείο έγχυσης του ρεύματος για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Επίσης κρίνεται απαραίτητο, οι μετρήσεις της τάσης και του ρεύματος να είναι συγχρονισμένες, διαφορετικά θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οποιεσδήποτε χρονικές καθυστερήσεις.

Είναι φανερό πως η μέγιστη τιμή της κρουστικής σύνθετης αντίστασης είναι μεγαλύτερη από την τιμή της αντίστασης στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας. Επομένως το ζητούμενο σε μία κατασκευή ενός συστήματος γείωσης δεν είναι η τιμή της αντίστασης στη μόνιμη κατάσταση αλλά η χρονική μεταβολή της κρουστικής σύνθετης αντίστασης για κάποιο χρονικό διάστημα και έως ότου καταλήξει στη τιμή της μόνιμης κατάστασης. Η αύξηση της αντίστασης του συστήματος γείωσης κατά τη μεταβατική κατάσταση χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, δεδομένου ότι μία μεγάλη τιμή της κατά το στάδιο αυτό (π.χ. κατά τη διάρκεια κεραυνικών εκκενώσεων) μπορεί να προκαλέσει βλάβη ή και κατάστροφη στην υπο προστασία εγκατάσταση. [29]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

“ ΚΑΛΩΔΙΑ - ΑΓΩΓΟΙ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ”

8.1. Εισαγωγικά [31]

Μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας με καλώδια συναντάται στην περίπτωση που το περιβάλλον δεν προσφέρεται για εναέρια μεταφορά ή όταν δεν μπορούν να στηριχθούν οι αγωγοί λόγω μεγάλων ανοιγμάτων. Οι καλωδιακές γραμμές είναι πολυδάπανες και παρουσιάζουν δυσκολία στη συντήρηση. Από την άλλη, τα καλώδια σε αντιδιαστολή με τους απλούς μονωμένους αγωγούς μπορούν να ενταφιασθούν ή να ποντισθούν, χωρίς αυτό να επηρεάζει αρνητικά τη λειτουργία τους. Το κόστος των υπόγειων γραμμών είναι πολλαπλάσιο του κόστους των εναέριων και δικαιολογείται μόνο όταν σημαντικοί λόγοι αισθητικής του περιβάλλοντος ή λόγοι ασφαλείας ή δυσχέρειες στην εξεύρεση ζωνών διέλευσης καθιστούν ανεπιθύμητη ή και ανέφικτη τη μεταφορά με εναέριες γραμμές. Τέτοιες συνθήκες συναντώνται στις πόλεις και γενικώς στις κατοικήσιμες περιοχές, για διάφορους λόγους σε κάθε περίπτωση. Ανάλογα με την τάση του δικτύου διακρίνουμε τα παρακάτω είδη καλωδίων:

- Καλώδια Χαμηλής Τάσης : $U_N < 1 \text{ kV}$
- Καλώδια Μέσης Τάσης : $1 \text{ kV} < U_N < 45 \text{ kV}$
- Καλώδια Υψηλής Τάσης : $U_N > 60 \text{ kV}$

8.2 Καλώδια Μέσης τάσης

8.2.1 Σύντομη Περιγραφή [36]

Τα καλώδια μέσης τάσης κατασκευάζονται και δοκιμάζονται βάσει διεθνών προδιαγραφών και είναι μονοπολικά ή πολυπολικά, με αγωγό πολύκλωνο,

κατασκευασμένο από χαλκό ή αλουμίνιο σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές IEC 60228. Στο σχήμα 8.1 παρουσιάζεται η μορφή των καλωδίων μέσης τάσης. Σε ειδικές περιπτώσεις κατασκευάζονται αγωγοί από συμπαγές αλουμίνιο. Η μόνωση τους είναι στις περισσότερες περιπτώσεις από XLPE, EPR, MIND (εμποτισμένο χαρτί). Πάνω και κάτω από τη μόνωση εφαρμόζονται ημιαγώγιμες στρώσεις οι οποίες εξωθούνται ταυτόχρονα με την μόνωση μέσω τριπλής κεφαλής ενώ η θωράκισή του είναι από ταινία ή σύρματα χαλκού και στρώσεις από θερμοπλαστικά υλικά για μηχανική προστασία. Πάνω από την εξωτερική ημιαγώγιμη στρώση εφαρμόζεται μεταλλική θωράκιση αποτελούμενη από ταινία χαλκού ή από συρματίδια χαλκού κατάλληλης διατομής. Η μεταλλική θωράκιση μπορεί να έχει διαμήκη ή ακτινική υδατοστεγανότητα. Η προστασία του καλωδίου από μηχανικές κακώσεις επιτυγχάνεται με τον οπλισμό αποτελούμενο από ατσαλοσύρματα ή σιδηροταινίες. Εάν τα καλώδια είναι μονοπολικά και προορίζονται για χρήση με εναλλασσόμενο ρεύμα τότε ο οπλισμός κατασκευάζεται με μη μαγνητικό υλικό (χαλκός, αλουμίνιο, ανοξείδωτο ατσάλι, κ.τ.λ.). Τα καλώδια μέσης τάσης διαθέτουν συνήθως μανδύα από PVC ή PE ή νεοπρένιο. Επίσης κατασκευάζονται και με ειδικές ιδιότητες ως προς την συμπεριφορά στην φωτιά όπως επιβράδυνση της μετάδοσης της φλόγας (flame retardant), χαμηλές ή μηδενικές εκπομπές τοξικών αερίων, μειωμένης εκπομπής καπνών (LSF, LS 0 H, κ.α.).



Σχήμα 8.1: Καλώδια Μέσης Τάσης

8.2.2 Σύνθεση των καλωδίων μέσης τάσης [31]

Τα καλώδια μέσης τάσης αποτελούνται από τα παρακάτω στοιχεία:

- Αγωγοί: Ένας ή τρεις αγωγοί φέρουν το ρεύμα του φορτίου. Είναι από αλουμίνιο ή χαλκό.
- Εξομαλυντικά (ημιαγωγία) στρώματα: Εφαρμόζονται πάνω σε αγωγούς με ανώμαλη επιφάνεια, επιφέροντας μείωση του ηλεκτρικού πεδίου και ανύψωση της διηλεκτρικής αντοχής.
- Μόνωση: Η μόνωση είναι συνήθως χαρτί εμποτισμένο με λάδι ή παχύρρευστη μάζα, PVC, PE, XLPE κ.α.
- Εξωτερικός γειωμένος αγωγός (ή μανδύας ή μεταλλικός μανδύας ή ηλεκτρική θωράκιση ή μεταλλική θωράκιση): Είναι σχετικά λεπτός και δε φέρει μεγάλα ρεύματα παρά μόνο σε περίπτωση σφαλμάτων.
- Ζώνη μηχανικής ενίσχυσης: Είναι περίβλημα από ατσάλινα σύρματα ή ταινίες.
- Εξωτερικό προστατευτικό στρώμα (ή εξωτερικός μανδύας): Προστατεύει από την υγρασία. Κατασκευάζεται από συνθετικό (PVC), μόλυβδο ή ίνες γιούτας με πίσσα. Ο μόλυβδος παίζει ταυτόχρονα το ρόλο του μανδύα.

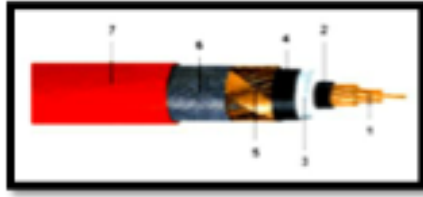
Τα καλώδια κατά την εγκατάσταση και λειτουργία τους συνοδεύονται συνήθως από τις παρακάτω διατάξεις:

Ακροκιβώτια: Χρησιμοποιούνται στα άκρα των καλωδίων για να αποφευχθούν εκεί υπερπηδήσεις και δημιουργία ηλεκτρικών τόξων.

Σύνδεσμοι ή μούφες: Χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση δύο καλωδίων, για διακλαδώσεις και σαν παγίδες υδροστατικής πίεσης.

Σύστημα επιβολής και ελέγχου πίεσης: Χρησιμοποιείται σε καλώδια με λάδι ή αέριο υπό πίεση.

Σύστημα κυκλοφορίας ψυκτικού υγρού: Χρησιμοποιείται όταν γίνεται ψύξη με βεβιασμένη κυκλοφορία νερού ή λαδιού.



Σχήμα 8.2: 1) Πολύκλωνος στρογγυλός αγωγός χαλκού (ή αλουμινίου), 2) Εσωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα XLPE, 3) Μόνωση XLPE, 4) Εξωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα XLPE, 5) Ηλεκτρική θωράκιση αποτελούμενη από σύρματα χαλκού τυλιγμένα ελικοειδώς (χάλκινη ταινία προαιρετική κατόπιν παραγγελίας), 6) Πλαστική ταινία (προαιρετική), 7) Εξωτερικός μανδύας PVC

8.3 Κατασκευαστικά στοιχεία για κάθε μέρος των καλωδίων μέσης τάσης [31]

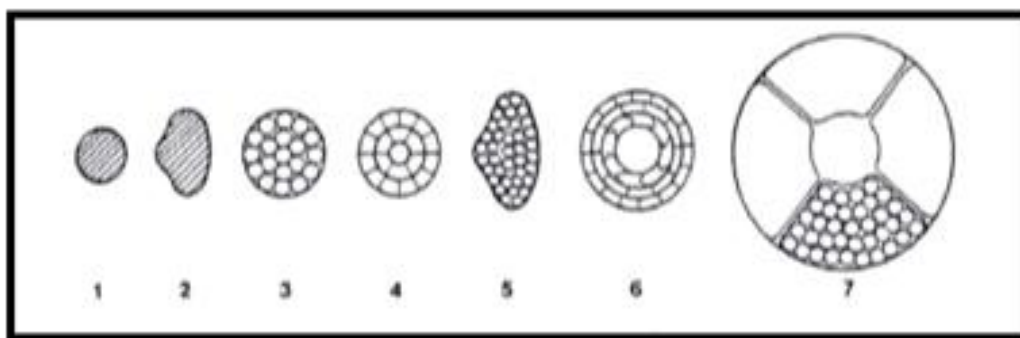
8.3.1. Αγωγοί

Υλικό: Οι αγωγοί των καλωδίων κατασκευάζονται από ηλεκτροτεχνικό χαλκό E-Cu ή ηλεκτροτεχνικό αλουμίνιο E-Al. Ο όρος ηλεκτροτεχνικός (E) δείχνει ότι πρόκειται για τεχνικό υλικό υψηλής αγωγιμότητας. Τα μέταλλα αυτά είναι κατεργασμένα θερμικά ώστε να είναι εύκαμπτα. Ο χαλκός έχει υψηλή αγωγιμότητα και όταν είναι σκληρής ολκήσεως, εμφανίζει μεγάλη μηχανική αντοχή. Βασικό τεχνικό μειονέκτημα είναι το βάρος του. Το αλουμίνιο είναι κατώτερο του χαλκού σε αγωγιμότητα και αντοχή, αλλά είναι φθηνότερο και πολύ ελαφρύτερο από το χαλκό.

Μειονέκτημά του είναι επίσης ότι δε συγκολλείται με μαλακή κόλληση χαμηλού σημείου τήξεως (π.χ. κασσιτεροκόλληση) και ότι διαβρώνεται ευκολότερα λόγω ηλεκτροχημικών δράσεων.

Διατομή: Η μορφή της διατομής μπορεί να είναι κυκλική ή να αποτελείται από κυκλικούς τομείς. Οι κυκλικές διατομές μπορεί να είναι συμπαγείς μέχρι 16mm^2 για E-Cu και 50mm^2 για E-A1. Για μεγαλύτερες διατομές οι αγωγοί γίνονται για λόγους ευκαμψίας πολύκλωνοι. Για πολυπολικά καλώδια μεγάλων διατομών, χρησιμοποιούνται διατομές κυκλικού τομέα. Αν σε πολύκλωνους αγωγούς επιβάλλουμε μια συμπίεση των συρματιδίων (συμπιεσμένοι αγωγοί), εξοικονομούμε όγκο μειώνοντας τη γεωμετρική διατομή του αγωγού. Πάνω από 35mm^2 πολύκλωνοι αγωγοί συμπιέζονται. Κοίλες και ελλειπτικές διατομές συναντώνται σε καλώδια με μόνωση χαρτιού - λαδιού και εξωτερικής πίεσης αντίστοιχα, για να κυκλοφορεί το λάδι και να μεταδίδεται καλύτερα η πίεση.

Σε μεγάλες διατομές μπορεί ο αγωγός κάθε φάσης να διαμοιρασθεί σε πολλούς παράλληλους αγωγούς, με διατομή μορφής κυκλικού τομέα, όπου οι τομείς είναι μεμονωμένοι μεταξύ τους και οι επιμέρους αγωγοί είναι συνεστραμμένοι. Έτσι, μειώνεται η αντίσταση στο εναλλασσόμενο ρεύμα σε σχέση με αγωγούς όπου δεν έχουμε μονωμένους τομείς. Αυτό προκύπτει λόγω του επιδερμικού φαινομένου.

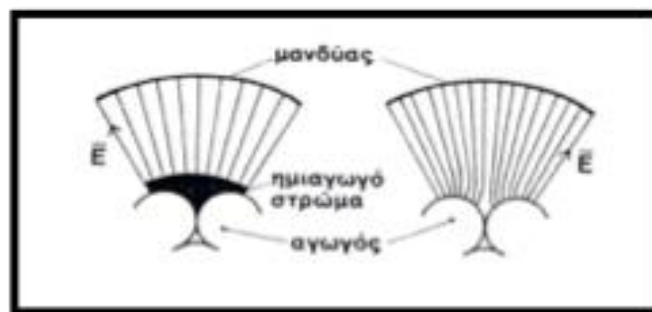


Σχήμα 8.3: 1) πλήρης στρογγυλή διατομή (r) 2) πλήρης κυκλικός τομέας (s) 3) πολύκλωνη στρογγυλή διατομή (rm) 4) πολύκλωνη στρογγυλή συμπιεσμένη διατομή (rm/v) 5) πολύκλωνος κυκλικός τομέας (sm) 6) πολύκλωνη στρογγυλή διατομή συμπιεσμένη με κανάλι ψύξης 7) διατομή με επιμέρους τομείς μονωμένους, για μείωση του επιδερμικού φαινομένου, με κανάλι ψύξης στο κέντρο.

8.3.2. Εξομαλυντικά (ημιαγώγιμα) στρώματα

Λόγω της ανωμαλίας που παρουσιάζει η επιφάνεια των πολύκλωνων αγωγών, η πεδιακή ένταση (kV/mm) στην επιφάνεια τους είναι αυξημένη σε σχέση με τους μονόκλωνους. Για να μειωθεί η πεδιακή ένταση στην επιφάνεια των πολύκλωνων αγωγών, τοποθετούνται στρώματα από ημιαγώγιμα υλικά (όπως χαρτί με γραφίτη ή πλαστικά με γραφίτη).

Τα ημιαγώγιμα αυτά στρώματα εξασφαλίζουν επίσης το να μη δημιουργούνται κενά μεταξύ αγωγού και μόνωσης, που θα οδηγούσαν σε ηλεκτρικές εκκενώσεις και βαθμιαία καταστροφή της μόνωσης. Τέλος τα στρώματα αυτά μειώνουν τη θερμική και μηχανική καταπόνηση της μόνωσης κατά τη διάρκεια βραχυκυκλωμάτων.



Σχήμα 8.4: Επίδραση των εξομαλυντικών στρωμάτων στη μορφή του ηλεκτρικού πεδίου ενός πολύκλωνου αγωγού.

8.3.3 Μόνωση

Το μονωτικό και το πάχος του προσδιορίζει την ηλεκτρική αντοχή του καλωδίου σε τάση, αλλά και την επιτρεπόμενη ένταση του ρεύματος φόρτισης του αγωγού, γιατί αυτή είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας στην οποία αντέχει το μονωτικό.

Το είδος της μόνωσης καθορίζει τόσο τη μέγιστη συνεχή όσο και την παροδικά επιτρεπόμενη θερμοκρασία. Η εκλογή της μόνωσης γίνεται ανάλογα με την εφαρμογή, λαμβάνοντας υπόψη τις ηλεκτρικές, θερμικές και μηχανικές ιδιότητες, καθώς και τη δυνατότητα εύκολης εγκατάστασης του καλωδίου, σε σχέση με την ευκαμψία του ή τη μηχανική αντοχή του.

Οι μονωτικές ιδιότητες στα καλώδια χαρακτηρίζονται κυρίως από τη διηλεκτρική αντοχή σε kV/mm, την ωμική αντίσταση του υλικού, το συντελεστή απωλειών και το μέγεθος των μικροεκκενώσεων (μη αυτοσυντηρούμενες εκκενώσεις στο διηλεκτρικό). Οι μικροεκκενώσεις προκαλούν βαθμιαία διάβρωση του υλικού και καταστροφή του.

Η μονωτική ικανότητα ενός καλωδίου δίνεται κατά VDE 0271 από τις ονομαστικές τάσεις του U_0 και U_N . Συγκεκριμένα, η ονομαστική τάση U_0 είναι η τάση μεταξύ αγωγού και γης (ή μεταξύ αγωγού και μεταλλικής επένδυσης του καλωδίου) ενώ η ονομαστική τάση U_N είναι η τάση μεταξύ αγωγών και φάσεων.

Τα βασικά μονωτικά που χρησιμοποιούνται στα καλώδια είναι θερμοπλαστικές ύλες, ελαστικές ύλες, χαρτί και χαρτί ποτισμένο με λάδι.

8.3.4 Μανδύας (ή μεταλλικός μανδύας ή μεταλλική θωράκιση ή ηλεκτρική θωράκιση)

Τα καλώδια μέσης τάσης περιβάλλονται από ένα γειωμένο αγωγό, σκοπός του οποίου είναι να απομονωθούν οι φέροντες τάση αγωγοί, έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να τεθούν υπό τάση τα περί το καλώδιο τμήματα της εγκατάστασης.

Επίσης μέσω των γειωμένων αγωγών ρέουν τα ρεύματα (τα χωρητικά ή των βραχυκυκλωμάτων) δια μέσου μικρής αντίστασης και κατά τρόπο ελεγχόμενο.

Ο αγωγός αυτός έχει συχνά και θέση προστατευτικού στρώματος κατά της εισβολής της υγρασίας ή άλλων χημικών επιδράσεων από έξω προς τη μόνωση.

Ο μεταλλικός μανδύας κατασκευάζεται από μόλυβδο ή αλουμίνιο. Στην τελευταία περίπτωση το καλώδιο αποκτά και μηχανική αντοχή έναντι εξωτερικών συνθηκών, την οποία δεν έχει ο μόλυβδος. Ο μόλυβδος είναι εύκαμπτος, δεν επιτρέπει τη διείσδυση υγρασίας και αντέχει σε χημικές επιδράσεις του εδάφους.

Μειονέκτημά του είναι ότι δεν αντέχει σε κραδασμούς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών. Το αλουμίνιο έχει αυξημένη αντοχή στους κραδασμούς, υψηλότερη μηχανική αντοχή και αγωγιμότητα. Επίσης, δεν είναι εύκαμπτο και είναι ευαίσθητο στη διάβρωση.

Σε καλώδια με πλαστικές μονώσεις, ο αγωγός γης είναι από συρματίδια χάλκινα πλεγμένα ή από ταινίες χάλκινες με πρόσθετες διασταυρούμενες ταινίες για τη βελτίωση της αγωγιμότητας σε όλες τις κατευθύνσεις.

Οι μεταλλικοί μανδύες των καλωδίων γειώνονται στο ένα τουλάχιστον άκρο τους, για να αποφευχθούν ηλεκτρικές διασπάσεις σε περίπτωση σφαλμάτων και για να μην υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης τάσης ως προς γη υπό κανονική λειτουργία. Η πιο συνηθισμένη πρακτική είναι οι μεταλλικοί μανδύες να γειώνονται και στα δύο άκρα τους και να βραχυκυκλώνονται.

Στην περίπτωση αυτή επάγονται δινορρέυματα στους μανδύες που προέρχονται από το πεδίο των ρευμάτων των φορτίων, δημιουργώντας έτσι πρόσθετες απώλειες μανδύα, που μπορούν να μειωθούν βάζοντας σύνθετες αντιστάσεις μεταξύ των μανδύων. Επίσης, χρησιμοποιείται και η τεχνική διασταύρωσης των μεταλλικών μανδύων (Cross Bonding), όπου ο μεταλλικός

μανδύας κάθε μονοπολικού καλωδίου χωρίζεται σε τρία μέρη (ή πολ/σια του τρία) που είναι μονωμένα μεταξύ τους με κατάλληλες μούφες.

Οι επιμέρους μανδύες βραχυκυκλώνονται χιαστί, ώστε να έχουμε αθροιστικά μηδενική ροή στους βρόχους που δημιουργούνται από τους μανδύες.

8.3.5. Ζώνη μηχανικής ενίσχυσης

Τα καλώδια μπορεί να καταπονούνται σε ειδικές περιπτώσεις μηχανικά και να καταστραφούν αν δεν έχουν κατάλληλη μηχανική ενίσχυση. Οι καταπονήσεις εμφανίζονται κυρίως κατά τη μεταφορά, την εγκατάσταση και λειτουργία:

- όταν τραβιέται το καλώδιο από μηχανές έλξης μέσα σε σωλήνες ή χαντάκια σε μεγάλα μήκη (>20m). Το καλώδιο για να περάσει μέσα από ένα σωλήνα χρειάζεται μία δύναμη εφελκυσμού ανάλογη με το μήκος, για να υπερνικηθεί η τριβή,
- όταν ποντίζεται στη θάλασσα σε μεγάλα βάθη,
- όταν αναρτάται σε μεγάλες αποστάσεις.

Σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να εξασφαλιστεί από τον κατασκευαστή, ότι το καλώδιο είναι κατάλληλο για τέτοιες καταπονήσεις. Συνήθως για καλώδια μόνιμης εγκατάστασης επιτυγχάνεται μηχανική προστασία με χαλύβδινες ταινίες ή με χαλύβδινα σύρματα σε καλώδια που ποντίζονται.

Οι χαλύβδινες ταινίες τοποθετούνται πάνω από το μανδύα, έχουν μερικά εκατοστά πλάτος, είναι τυλιγμένες αντίστροφα η μία ως προς την άλλη και επικαλύπτει η μία τα κενά της άλλης. Το πάχος τους εκλέγεται ανάλογα με τη διάμετρό του καλωδίου και είναι της τάξης του 0,1-1mm.

Τα καλώδια με πλαστική μόνωση και τα καλώδια με μανδύες από αλουμίνιο, σε αντιδιαστολή προς τα καλώδια με μόνωση χαρτιού, είναι συνήθως ανθεκτικά και ενισχύονται μόνο για την περίπτωση υψηλών καταπονήσεων.

Τέλος, μεταξύ της ενίσχυσης και του μολύβδινου εξωτερικού αγωγού τοποθετούνται στρώματα από πλαστικές ταινίες και ίνες με πίσσα, ώστε να μην πληγώνεται ο μανδύας του καλωδίου από τα χαλύβδινα σύρματα της ενίσχυσης.

8.3.6. Εξωτερικό προστατευτικό στρώμα (ή εξωτερικός μανδύας)

Το καλώδιο, ο μεταλλικός του μανδύας και η μηχανική ενίσχυση πρέπει να προστατευθούν κατά της διάβρωσης, κατά των χημικών επιδράσεων και κατά της διείδυσης υγρασίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται στρώματα από συνθετικά υλικά ή ίνες εμποτισμένες με πίσσα.

Σε καλώδια με μηχανική ενίσχυση υπάρχουν στρώματα προστατευτικά μεταξύ μεταλλικού μανδύα και μηχανικής ενίσχυσης και επιπρόσθετα στρώματα έξω από τη μηχανική ενίσχυση. Όσον αφορά την προστασία με ίνες εμποτισμένες με πίσσα, οι ίνες είναι φυτικές (γιούτα) ή υαλοίνες ή συνθετικές ίνες, ενώ μεταξύ τους συνήθως υπάρχουν πλαστικές ταινίες για να δημιουργούνται φράγματα στην υγρασία. Το καλώδιο στην περίπτωση αυτή επικαλύπτεται με σκόνη κιμωλία ή με τάλκ για να μην κολλάει πάνω στο τύμπανο που ευρίσκεται κατά τη μεταφορά του και επίσης για να μη δυσχεραίνεται η εγκατάστασή του.

Σε καλώδια με ηλεκτρική θωράκιση από αλουμίνιο ή χάλυβα γίνεται χρήση προστατευτικών στρωμάτων από PVC ή πολυαιθυλένιο. Οι μεταλλικοί μανδύες περιβάλλονται κατ' αρχήν με αυτοβουλκανιζόμενες, αυτοκόλλητες ταινίες μερικών mm πάχους και ακολούθως συμπιέζεται πάνω τους ένας μανδύας χωρίς ραφή, από PVC ή πολυαιθυλένιο, πάχους 4-6 mm.

Τα καλώδια ΜΤ μπορεί να είναι μονοπολικά (μονοφασικά) ή τριπολικά (τριφασικά). Στα μονοπολικά καλώδια κάθε μια φάση με τον μανδύα της είναι αυτόνομη, όπου τα τρία καλώδια που σχηματίζουν ένα τριφασικό σύστημα μπορεί να είναι συνεστραμμένα μεταξύ τους ή τρία καλώδια μπορεί να εγκαθίστανται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Η κατασκευή μονοπολικών συναντάται συνήθως στα πλαστικά καλώδια, όπου μια τριφασική κατασκευή θα οδηγούσε σε δυσκαμψία. Επίσης έχουμε το πλεονέκτημα ότι αν χαλάσει μια φάση αντικαθιστούμε μόνο αυτή τη φάση.

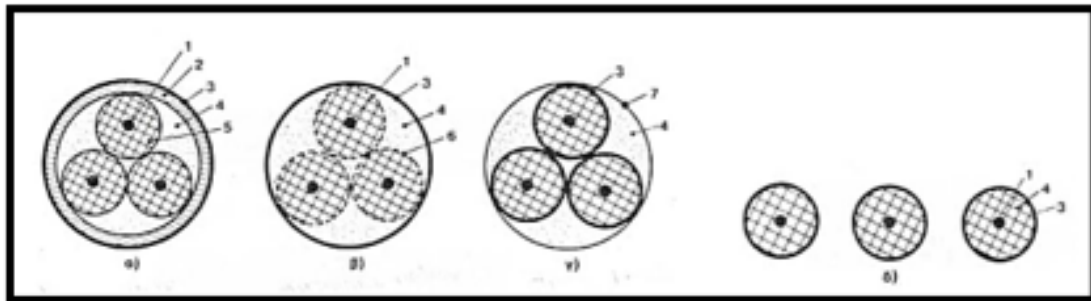
Τα τριπολικά καλώδια ΜΤ είναι δυνατό να έχουν έναν κοινό μανδύα ή τρεις μανδύες (ένα ανά φάση). Στην πρώτη περίπτωση πέρα από τη χωριστή μόνωση κάθε αγωγού υπάρχει και κοινή μόνωση, η οποία περιβάλλει και τους τρεις μονωμένους αγωγούς και επάνω στην οποία βρίσκεται ο κοινός μανδύας. Στα καλώδια τριών μανδύων κάθε αγωγός έχει τη δική του μόνωση και επάνω από αυτή το δικό του μανδύα. Ο τελευταίος τύπος προσφέρει καλύτερη κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του καλωδίου, η οποία σε συνδυασμό και με ορισμένα πλεονεκτήματα κατασκευής και λειτουργίας έχει συντελέσει στην εξάπλωση της χρησιμοποίησεως των καλωδίων τριών μανδύων κατά τα τελευταία χρόνια. Ενδιάμεσο τύπο αποτελούν τα καλώδια, τα οποία έχουν μεν κοινό μολύβδινο μανδύα, αλλά για την ομοιόμορφη κατανομή του πεδίου φέρουν επάνω από τη μόνωση κάθε φάσεως ένα λεπτό διάτρητο μεταλλικό διάφραγμα. Διακρίνουμε λοιπόν, ανάλογα με τη διάταξη της μόνωσης και του μανδύα τις εξής κατηγορίες :

- Περιζωμένα καλώδια
- Καλώδια ακτινικού πεδίου (Hochstadter)
- Καλώδια τριών μανδύων

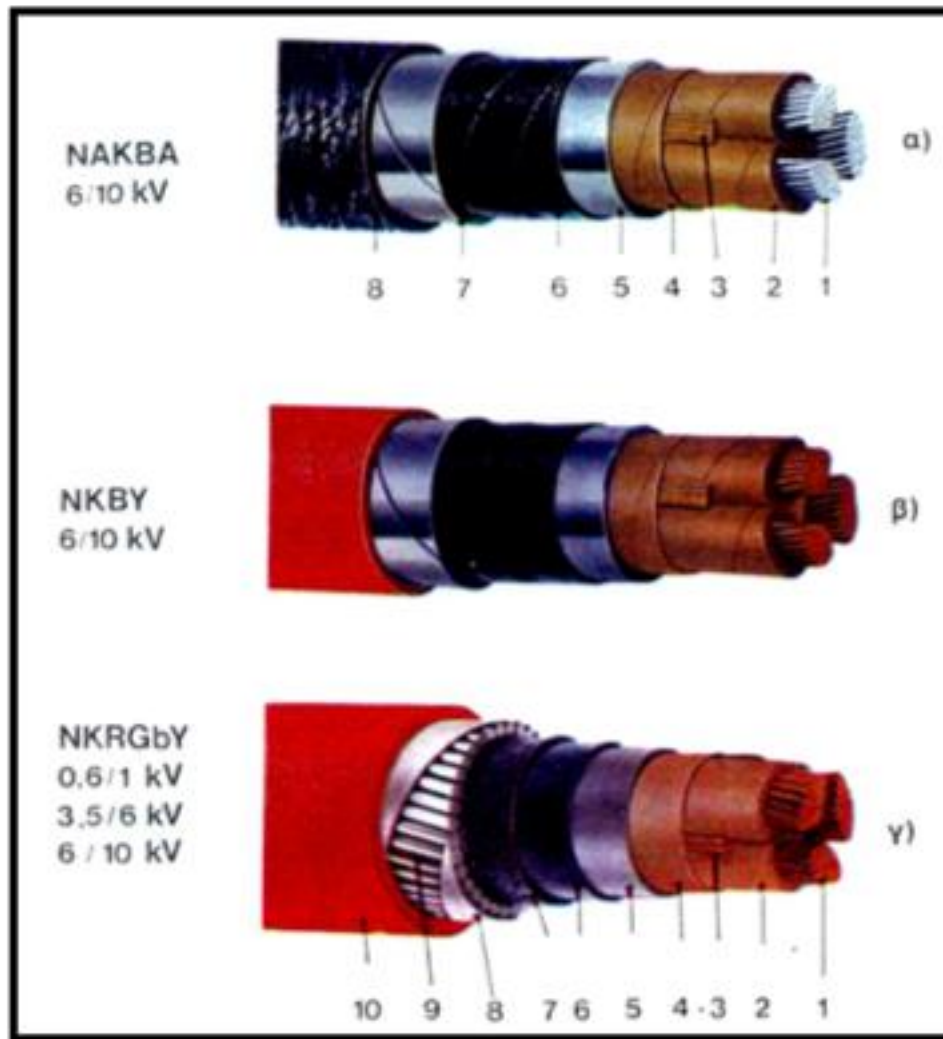
Οι παραπάνω κατηγορίες έχουν διαφορές στη μορφή του ηλεκτρικού πεδίου. Στα περιζωμένα καλώδια οι γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου δεν είναι όλες

κάθετες στη μόνωση. Η μόνωση όμως δεν έχει τη μέγιστη αντοχή της σε πεδία με διεύθυνση λοξή στην επιφάνεια της μόνωσης.

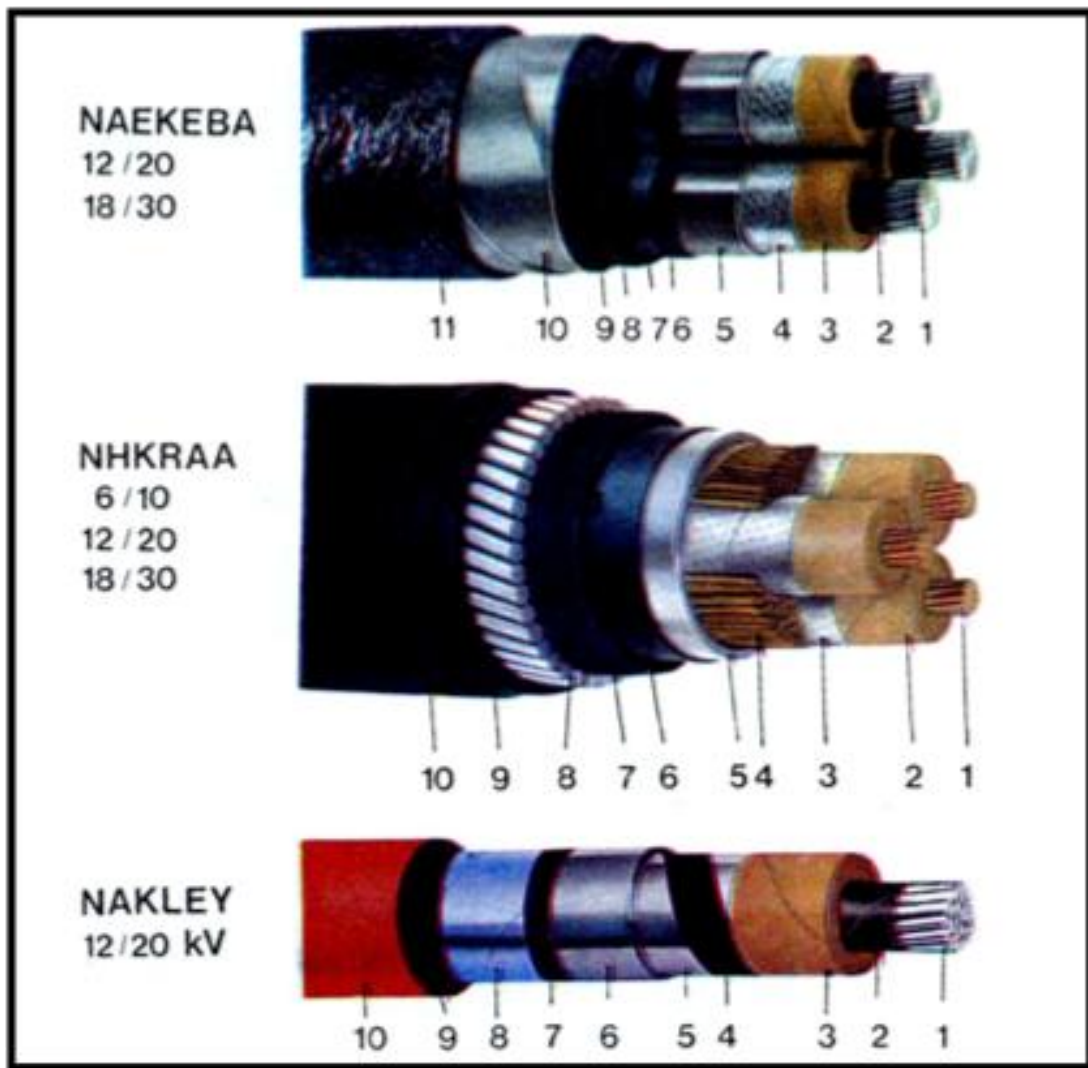
Για αυτό περιορίζεται η εφαρμογή των περιζωμένων καλωδίων σε τάσεις μέχρι 15 kV συνήθως. Αντίθετα, στα καλώδια τύπου Hochstadter τοποθετούμε σαν οδηγούς του ηλεκτρικού πεδίου λεπτά φύλλα αλουμινίου (φύλλα Hochstadter) και στα καλώδια τύπου τριών μανδυών το πεδίο γύρω από κάθε αγωγό είναι ακτινικό. Στην περίπτωση αυτή η μόνωση καταπονείται μόνο κατά την έννοια του πάχους της, η οποία είναι η κατεύθυνση της μέγιστης ηλεκτρικής αντοχής.



Σχήμα 8.5: α) καλώδιο περιζωμένο, β) καλώδιο με τρεις μανδύες από αλουμινοφύλλα (Hochstadter), γ) καλώδιο τριών μανδυών δ) τρία μονοπολικά καλώδια (1) αγωγός 2) περίζωμα από μόνωση 3) μανδύας 4) συμπληρωματική μόνωση 5) κυρίως μόνωση 6) φύλλα Hochstadter 7) προστατευτικό περίβλημα.)



Σχήμα 8.6: Καλώδια χαρτιού - μάζας περιζωμένα α) NAKBA 6/10kV: 1) αγωγός, 2) μόνωση χαρτί μάζας, 3) γέμισμα κενού, 4) περίζωμα (ζώνη) από μονωτικό, 5) μόλυβδος, 6) ταινίες προστατευτικές, 7) ενίσχυση με χαλύβδινες ταινίες β) NKBY 6/10kV: όπως στο α) αλλά με εξωτερικό προστατευτικό μανδύα PVC. γ) NKRGbY 0,6/1kV...6/10kV, καλώδια MT με μηχανική ενίσχυση: 1) αγωγός, 2) μόνωση, 3) γέμισμα, 4) ζώνη από μονωτικό, 5) μόλυβδος, 6,7) προστατευτικά στρώματα για να μην πληγώνεται ο μόλυβδος, 8) ταινία χαλύβδινη, 9) σύρματα χαλύβδινα, 10) προστατευτικός μανδύας από PVC



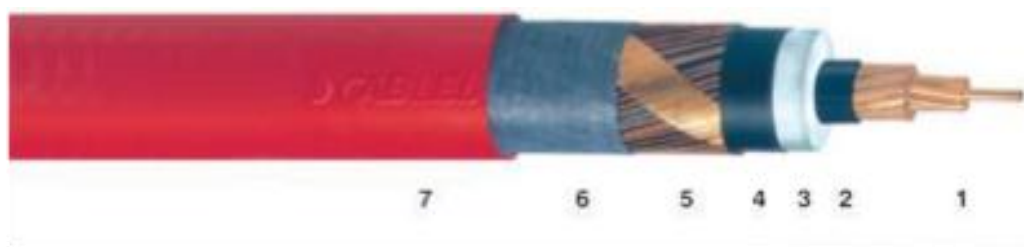
Σχήμα 8.7: Καλώδια ΜΤ ακτινικού πεδίου : α.) Καλώδιο τριών μανδυών NAEKEBA 12/20...18/30kV: 1) αγωγός 2) εξομαλυντικό ημιαγώγιμο στρώμα 3) μόνωση 4) ταινίες από αλουμίνιο 5) μόλυβδος 6,7,8,9) προστατευτικά στρώματα 10) ταινία χαλύβδινη 11) προστατευτικό στρώμα από εμπεποτισμένες ίνες β.) Καλώδιο Hochstadter NHKRAA: 1) αγωγός 2) μόνωση χαρτί-μάζα 3) φύλλα αλουμινίου (Hochstadter) 4) γέμιση 5) μόλυβδος 6,7) προστατευτικά στρώματα 8) ενίσχυση από χαλύβδινα σύρματα 9,10) διπλό προστατευτικό στρώμα από εμπεποτισμένες ίνες. γ.) Καλώδιο μονοπολικό NAKLEY 12/20kV: 1) αγωγός 2) εξομαλυντικό ημιαγώγιμο στρώμα 3) χαρτί-μάζα 4) ημιαγώγιμο χαρτί 5) ταινία συγκράτησης 6) μόλυβδος 7,8,9) προστατευτικά στρώματα από μάζα παχύρευστη με ταινίες πλαστικού 10) προστατευτικό στρώμα από PVC.

8.4. Είδη καλωδίων μέσης τάσης [37]

Τα καλώδια μέσης τάσης διακρίνονται σε:

- a) Μονοπολικό καλώδιο με χάλκινους αγωγούς
- b) Τριπολικό καλώδιο με χάλκινους αγωγούς
- c) Μονοπολικό καλώδιο με αγωγούς αλουμινίου
- d) Τριπολικό καλώδιο με αγωγούς αλουμινίου
- e) Οπλισμένο τριπολικό καλώδιο μέσης τάσης με μόνωση XLPE
- f) Εναέριο καλώδιο ισχύος με φέροντα αγωγό
- g) Υποβρύχιο Καλώδιο μέσης τάσης

A) ΜΟΝΟΠΟΛΙΚΟ ΚΑΛΩΔΙΟ ΜΕ ΧΑΛΚΙΝΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ



Σχήμα 8.8: Μονοπολικό καλώδιο με χάλκινους αγωγούς

Το συγκεκριμένο είδος καλωδίου είναι ένας πολύκλωνος στόργγυλος αγωγός από αλουμίνιου ή από χαλκό με εσωτερικό ημιαγωγικό στρώμα XLPE, με εξωτερικό ημιαγωγικό στρώμα XLPE ενώ και η μόνωση του είναι XLPE. Η ηλεκτρική θωράκιση αποτελείται από σύρματα χαλκού τυλιγμένα ελικοειδώς συγκρατούμενα από χάλκινη ταινία τυλιγμένη σε ανοιχτή ελίκωση ενώ ο εξωτερικός μανδύας είναι από PVC.

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΕ (mm²)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΣΕ (MM)	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΣΕ (KG/KM)	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΟΗΜ ΣΕ DC Ω/KM	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ (A) ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ (A) ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ
1×35/16	25,5	935	0,524	191	198
1×50/16	26,8	1080	0,387	225	238
1×70/16	28,5	1320	0,268	275	296
1×95/16	30,1	1600	0,193	328	361
1×120/16	31,8	1865	0,153	371	417
1×150/25	33,3	2230	0,124	415	473
1×185/25	35,2	2620	0,0991	467	543
1×240/25	37,7	3215	0,0754	539	641
1×300/25	40	3825	0,0601	605	735
1×400/35	43,3	4770	0,047	678	845

Πίνακας 1: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών

Β) ΤΡΙΠΟΛΙΚΟ ΚΑΛΩΔΙΟ ΜΕ ΧΑΛΚΙΝΟΥΣ ΑΓΩΓΟΥΣ



Σχήμα 8.9: Τριπολικό καλώδιο με χάλκινους αγωγούς

Το συγκεκριμένο είδος καλωδίου είναι ένας πολύκλωνος στρογγυλός αγωγός από αλουμίνιο ή από χαλκό με εσωτερικό ημιαγωγικό στρώμα XLPE, με εξωτερικό ημιαγωγικό στρώμα XLPE ενώ και η μόνωση του είναι XLPE. Η ηλεκτρική θωράκιση αποτελείται από σύρματα χαλκού τυλιγμένα ελικοειδώς συγκρατούμενα από χάλκινη ταινία τυλιγμένη σε ανοιχτή ελίκωση, τα γεμίσματα είναι από προπυλένιο ενώ ο εξωτερικός μανδύας είναι από PVC.

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΕ (mm²)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΣΕ (MM)	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΣΕ (KG/KM)	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΟΗΜ ΣΕ DC Ω/KM	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ (Α) ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ (Α) ΣΤΟ ΕΛΛΑΦΟΣ
3×35/16	52,9	2870	0,524	182	170
3×50/16	55,4	3365	0,387	216	204
3×70/16	58,9	4135	0,268	271	253
3×95/16	62,6	5060	0,193	325	304
3×120/16	66,1	5905	0,153	375	351
3×150/25	69,7	6940	0,124	426	398
3×185/25	73,6	8175	0,0991	487	455
3×240/25	79,2	10140	0,0754	568	531

Πίνακας 2: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών

Γ) ΜΟΝΟΠΟΛΙΚΟ ΚΑΛΩΔΙΟ ΜΕ ΑΓΩΓΟΥΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ



Σχήμα 8.10: Μονοπολικό καλώδιο με αγωγούς αλουμινίου

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΕ (mm²)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΣΕ (MM)	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΣΕ (KG/KM)	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΟΗΜ ΣΕ DC Ω/KM	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ (Α) ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ (Α) ΣΤΟ ΕΛΛΑΦΟΣ
1×35/16	25,5	725	0,868	148	154
1×50/16	26,8	785	0,641	175	184
1×70/16	28,5	895	0,443	214	230
1×95/16	30,1	1015	0,32	254	280
1×120/16	31,8	1135	0,235	290	324
1×150/25	33,3	1330	0,206	323	368
1×185/25	35,2	1485	0,164	364	424
1×240/25	37,7	1715	0,125	422	502
1×300/25	40	1950	0,1	476	577
1×400/35	43,3	2365	0,0778	540	673

Πίνακας 3: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών

Δ) ΤΡΙΠΟΛΙΚΟ ΚΑΛΩΔΙΟ ΜΕ ΑΓΩΓΟΥΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ



Σχήμα 8.11: Τριπολικό καλώδιο με αγωγούς αλουμινίου

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΣΕ (mm ²)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΣΕ (MM)	ΒΑΡΟΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΣΕ (KG/KM)	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΟΗΜ ΣΕ DC Ω/KM	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ (Α) ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΣΥΝΕΧΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗ ΣΕ (Α) ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ
3×35/16	52,9	2235	0,868	127	132
3×50/16	55,4	2475	0,641	150	158
3×70/16	58,9	2845	0,443	183	196
3×95/16	62,6	3310	0,32	217	236
3×120/16	66,1	3710	0,253	248	273
3×150/25	69,7	4240	0,206	278	309
3×185/25	73,6	4750	0,164	314	355
3×240/25	79,2	5630	0,125	364	415

Πίνακας 4: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών

Ε) ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΤΡΙΠΟΛΙΚΟ ΚΑΛΩΔΙΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΜΕ ΜΟΝΩΣΗ XLPE



Σχήμα 8.12: Οπλισμένο τριπολικό καλώδιο μέσης τάσης με μόνωση XLPE

Χρησιμοποιείται σε δίκτυα ενέργειας στα οποία μπορεί να αναπτυχθούν μεγάλες μηχανικές καταπονήσεις. Είναι κατάλληλο για εγκατάσταση στο έδαφος ή σε σωλήνες καλωδίων.

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά αυτού του καλωδίου είναι:

ΣΧΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	Κυκλικό
ΥΛΙΚΟ ΑΓΩΓΟΥ	Χαλκός
ΜΟΝΩΣΗ	ERP
ΕΥΚΑΜΨΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	Πολύκλωνος, κλάση 2
ΘΩΡΑΚΙΣΗ	Χαλκός
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΜΑΝΔΥΑΣ	PVC
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΜΑΝΔΥΑΣ	PVC
ΧΡΩΜΑ ΜΑΝΔΥΑ	Κόκκινο
ΧΩΡΙΣ ΜΟΛΥΒΙ	Ναι

Πίνακας 5: Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

<i>ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ mm²</i>	<i>ΣΕ</i>	<i>ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΕ ΜΜ</i>	<i>ΒΑΡΟΣ (ΚG/ΚΜ)</i>	<i>ΣΕ</i>	<i>ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ DC (ΩΗΜ/ΚΜ)</i>
16		44,7	3750		1,15
25		48	4050		0,727
35		49	4400		0,524
50		52	5050		0,387
70		55,5	5950		0,268
95		59,5	7050		0,193
120		63,2	8150		0,153
150		66,5	9230		0,124
185		70,5	10620		0,099
240		77,5	13650		0,075
300		82,5	15950		0,06
400		90,5	19200		0,047

Πίνακας 6: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών

F) ΕΝΑΕΡΙΟ ΚΑΛΩΔΙΟ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΦΕΡΟΝΤΑ ΑΓΩΓΟ



Σχήμα 8.13: Εναέριο καλώδιο ισχύος με φέροντα αγωγό

Καλώδιο ισχύος τριπολικό που αποτελείται από 3 μονοπολικά καλώδια συνεστραμμένα μαζί με τον φέροντα αγωγό σε τριγωνική διάταξη. Το συγκεκριμένο είδος καλωδίου χρησιμοποιείται σε δημόσια δίκτυα διανομής ενέργειας 12/20 kV. Είναι κατάλληλο για εναέρια εγκατάσταση.

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά αυτού του καλωδίου είναι:

ΣΧΗΜΑ ΑΓΩΓΟΥ	Κυκλικό
ΥΛΙΚΟ ΑΓΩΓΟΥ	Αλουμίνιο
ΜΟΝΩΣΗ	ERP
ΕΥΚΑΜΨΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	Πολύκλωνος, κλάση 2
ΘΩΡΑΚΙΣΗ	Ταινία αλουμινίου
ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΜΑΝΔΥΑΣ	PVC
ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΜΑΝΔΥΑΣ	PVC
ΧΡΩΜΑ ΜΑΝΔΥΑ	Μαύρο
ΧΩΡΙΣ ΜΟΛΥΒΙ	Ναι
ΦΟΡΕΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ	Συρματόσχοινο γαλβανισμένο

Πίνακας 7: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών του καλωδίου

ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΟΥ ΣΕ mm²	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΕ MM	ΒΑΡΟΣ ΣΕ (KG/KM	ΜΕΓΙΣΤΗ ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΣΕ DC (OHM/KM)	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΕΝΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ ΣΕ A
50	70	2810	0,641	182
150	86	4660	0,206	355

Πίνακας 8: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών

G) ΥΠΟΒΡΥΧΙΟ ΚΑΛΩΔΙΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ



Σχήμα 8.14: Υποβρύχιο καλώδιο μέσης τάσης

Το καλώδιο αυτό λειτουργεί με ονομαστική τάση μέχρι 36kV. Μπορεί να εγκατασταθεί σε όλους τους τύπους του θαλάσσιου βυθού όπως η άμμος, τα ιζήματα, τα πετρώματα και υφάλους. Το καλώδιο αυτό έχει σχεδιαστεί για την διασύνδεση υπεράκτιων ανεμογεννητριών μεταξύ τους. Άλλες εφαρμογές είναι υπεράκτιες εγκαταστάσεις για την παραγωγή πετρελαίου, ενώ ο συγκεκριμένος τύπος καλωδίου χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των νησιών.

Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά αυτού του καλωδίου είναι:

ΥΛΙΚΟ ΑΓΩΓΟΥ	Μονόκλωνος ή πολύκλωνος αγωγός χαλκού
ΜΟΝΩΣΗ	Τριπλά εξωθημένο XLPE
ΕΥΚΑΜΨΙΑ ΑΓΩΓΟΥ	Πολύκλωνος, κλάση 2
ΘΩΡΑΚΙΣΗ	Γαλβανισμένα χαλύβδινα σύρματα
ΓΕΜΙΣΜΑ: ΡΡ	Προπυλένιο
ΟΠΤΙΚΟ ΚΑΛΩΔΙΟ	Ναι μέχρι 48 ίντσες

Πίνακας 9: Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών του καλωδίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

“ ΚΑΛΩΔΙΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ ”

9.1 Σύντομη Περιγραφή [36]

Τα καλώδια υψηλής τάσης κατασκευάζονται βάσει διεθνών προδιαγραφών IEC, AEIC, BS, HD κ.α. και είναι μονοπολικά. Στο σχήμα 9.1 παρουσιάζεται η μορφή των καλωδίων υψηλής τάσης. Ο αγωγός τους κατασκευάζεται από χαλκό ή αλουμίνιο και είναι πολύκλωνος σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές IEC 60228. Σε ειδικές περιπτώσεις κατασκευάζονται αγωγοί από συμπαγές αλουμίνιο. Οι αγωγοί μεγάλης διατομής αποτελούνται από κυκλικούς τομείς. Οι διαστάσεις των αγωγών και η ηλεκτρική τους αντίσταση καθορίζονται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές. Οι αγωγοί μπορούν να κατασκευαστούν με διαμήκη υδατοστεγανότητα. Η μόνωση είναι συνήθως από XLPE ή EPR και η θωράκιση είναι από μεταλλικό υλικό ή στρώματα από μονωτικά υλικά για μηχανική προστασία. Πάνω και κάτω από τη μόνωση εφαρμόζεται ημιαγώγιμη στρώση και πάνω από την εξωτερική ημιαγώγιμη στρώση, θωράκιση αποτελούμενη από μολύβδινο μανδύα ή από συρματίδια χαλκού κατάλληλης διατομής. Η μεταλλική θωράκιση μπορεί να έχει διαμήκη ή ακτινική υδατοστεγανότητα. Η μόνωση και οι δύο ημιαγώγιμες στρώσεις εφαρμόζονται ταυτόχρονα μέσω τριπλής κεφαλής εξώθησης. Εάν ζητηθεί μηχανική προστασία, δεδομένου ότι τα καλώδια είναι μονοπολικά, ο οπλισμός θα είναι μη μαγνητικός, δηλαδή χαλκός, αλουμίνιο, ανοξείδωτο ατσάλι κ.τ.λ. Ο μανδύας είναι κατασκευασμένος από PVC ή από PE. Τα καλώδια αυτά κατασκευάζονται και με ειδικές ιδιότητες ως προς την συμπεριφορά στην φωτιά όπως επιβράδυνση της μετάδοσης της φλόγας (flame retardant), χαμηλές ή μηδενικές εκπομπές τοξικών αερίων, μειωμένης εκπομπής καπνών (LSF ,LS 0 H ,κ.α.)



Σχήμα 9.1: Καλώδια Υψηλής Τάσης

9.2 Καλώδια Υπερυψηλής Τάσης με Μεταλλική Περιέλιξη [31]

Εκτός από τα συνήθως χρησιμοποιούμενα εναέρια καλώδια υπερύψηλης τάσης, που είναι γυμνά (χωρίς μόνωση) και που είναι η κύρια αιτία της ηλεκτρομαγνητικής ρύπανσης, υπάρχουν και άλλα καλώδια, όπως αυτά της φωτογραφίας, τα οποία αντέχουν σε πολλές χιλιάδες Volts (π.χ. 30-40 kV, όπου $1 \text{ kV} = 1000 \text{ Volts}$), υψηλές θερμοκρασίες (90-150 Celsius) και τα οποία δεν συνεισφέρουν στην ηλεκτρομαγνητική ρύπανση και δεν χτυπιούνται από κεραυνούς, λόγω της μεταλλικής περιέλιξης (ουδέτερο) που έχουν γύρω τους και που δρα σαν "κλωβός Faraday".

Τα καλώδια αυτά δεν είναι τεχνολογικά νέα αλλά συνεχώς βελτιώνονται ώστε να αντέχουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες και ρεύματα. Το κόστος των καλωδίων αυτών είναι υψηλότερο από εκείνο των γυμνών καλωδίων αλλά μέσα στις πόλεις, όπου οι αποστάσεις είναι μικρές, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αντί για αυτά και προς όφελος της υγείας των κατοίκων.

Σε πολλές χώρες μεταξύ των οποίων και στην Ελλάδα (σε μικρή έκταση ή σε ειδικές περιπτώσεις) τα γυμνά εναέρια καλώδια αντικαθίστανται σταδιακά με καλώδια τέτοιου τύπου, που αντέχουν στον ήλιο. Αντιλαμβάνεστε τη σημασία της χρήσης τέτοιων καλωδίων για τη μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από δάση. Στην φωτογραφία παραπλεύρως βλέπετε τέτοιου τύπου υπόγεια καλώδια

μεταφοράς υπερύψηλης τάσης τοποθετημένα μέσα σε ένα τούνελ. Μια ακόμη πιο ασφαλής λύση αλλά όχι πάντοτε αναγκαία.



Σχήμα 9.2: Υπόγεια καλώδια μεταφοράς υπερύψηλης τάσης τοποθετημένα μέσα σε ένα τούνελ

Ο σχεδιασμός των καλωδίων αυτών και το είδος των υλικών από τα οποία φτιάχνονται δεν είναι μοναδικός. Για το λόγο αυτό, άλλα καλώδια από αυτά προσφέρουν επαρκή προστασία από ακτινοβολία και άλλα όχι. Σας υπενθυμίζω τα προβλήματα, που παρουσιάζονται στις τηλεφωνικές επικοινωνίες και στο Ιντερνέτ, όταν γραμμές του ΟΤΕ διασταυρώνονται με υπόγεια καλώδια της ΔΕΗ. Αν η ποιότητα των καλωδίων ήταν καλή τότε αυτό δεν θα έπρεπε να συμβαίνει. Σε τέτοιες περιπτώσεις, έχουμε "διαρροή" ακτινοβολίας, η οποία πηγάζει από το έδαφος και μάλιστα από σχετικά μικρό βάθος.

Γενικά, αν η ποιότητα των καλωδίων αυτού του τύπου δεν είναι καλή τότε στα ελαττωματικά σημεία της κατασκευής τους θα παρατηρούνται από καιρό σε καιρό "εκρήξεις" από σπινθήρες με αποτέλεσμα ολόκληρες πόλεις να πέφτουν στο σκοτάδι! Ο σωστός σχεδιασμός των καλωδίων περιορίζει τις απώλειές τους και αυξάνει τη διάρκεια ζωής τους.

Έχοντας εμπειρία από τον τρόπο που λειτουργούν τα πράγματα και την υπάρχουσα ανεπάρκεια στην Ελλάδα, αναμένεται στο μέλλον ότι η

ακτινοβολία από τα καλώδια υπερύψηλης ενέργειας θα προέρχεται από το έδαφος και όχι από τον αέρα.

Η εφαρμογή μιας τεχνολογίας έχει διάφορους κινδύνους και για το λόγο αυτό πρέπει να προκρίνονται σωστές αποφάσεις για βιώσιμες λύσεις σε ρεαλιστικό χρόνο μετά από συνεργασία με ειδικούς.

9.3. Γραμμές μεταφοράς (Γ.Μ.) & καλώδια Υ.Τ. [31]

9.3.1. Τυποποιημένα Είδη Εναέριων Γ.Μ.

Τα τυποποιημένα είδη εναέριων Γ.Μ. που χρησιμοποιούνται σήμερα στο σύστημα είναι τα εξής:

ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΑΣΗΣ (kV)	ΚΥΚΛΩΜΑ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ Γ.Μ.	ΑΡΙΘΜΟΣ & ΔΙΑΤΟΜΗ ΑΓΩΓΩΝ ΑΝΑ ΦΑΣΗ (ΤΥΠΟΣ ACSR)	
			(MCM)	(mm ²)
66	ΑΠΛΟ	E/66	1 x 336,4	1 x 170
150	ΑΠΛΟ	E/150	1 x 336,4	1 x 170
150	ΑΠΛΟ	B/150	1 x 636,0	1 x 322
150	ΔΠΛΟ	2B/150	1 x 636,0	1 x 322
400	ΑΠΛΟ	B'B'/400	2 x 954,0	2 x 483
400	ΔΠΛΟ	2B'B'/400	2 x 954,0	2 x 483
400	ΑΠΛΟ	B'B'B'/400	3 x 954,0	3 x 483

Πίνακας 1: Τυποποιημένα Είδη Εναέριων Γ.Μ.

Ο χαρακτηρισμός μιας γραμμής αφορά τον τύπο της γραμμής (ελαφρού ή βαρέος ή υπερβαρέος τύπου, E, B και B' αντίστοιχα), τον αριθμό των κυκλωμάτων (το 2 υποδηλώνει γραμμή διπλού κυκλώματος) ενώ το B'B' στον χαρακτηρισμό των γραμμών 400kV αναφέρεται στη χρησιμοποίηση 2 αγωγών, στερεωμένων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους ανά φάση (και κύκλωμα).

Όλοι οι αγωγοί είναι τύπου ACSR, οι διατομές των αγωγών μεταφοράς εκφράζονται σε mil circular mils (MCM) σύμφωνα με την αμερικανική τυποποίηση και αναφέρονται στην επιφάνεια του A1 της σύνθετης διατομής ACSR ($1 \text{ MCM} = 0,5067 \text{ mm}^2$).

Εντός του χρονικού ορίζοντα της παρούσας ΜΑΣΜ, προβλέπεται η αναβάθμιση αριθμού Γ.Μ. E/150, η οποία συνίσταται στην αντικατάσταση του αγωγού ACSR διατομής 170 mm^2 με οπλισμένο σύνθετο αγωγό αλουμινίου της ίδιας διατομής (χαρακτηρισμός γραμμής Z/150). Αυτός ο αγωγός «νέου τύπου» έχει, συγκριτικά με τον πρώτο, μικρότερο βάρος και αυξημένο θερμικό όριο (βλ. επόμενη παράγραφο) για τις ίδιες διαστάσεις. Η αναβάθμιση, επομένως, των Γ.Μ. E/150 σε Z/150 μπορεί να γίνει με χρήση των υφισταμένων πύργων (άρα αποφεύγονται οι εξαιρετικά χρονοβόρες διαδικασίες αδειοδοτήσεων, απαλλοτριώσεων κ.λ.π.) και τα βέλη κάμψης θα είναι ελαφρά μειωμένα. Η εφαρμογή αγωγών «νέου τύπου» δεν υποκαθιστά την ανάγκη για αναβάθμιση Γ.Μ. απλού κυκλώματος σε διπλό, διότι ο αγωγός αυτός, πέρα από την αντοχή σε μεγαλύτερη θερμική καταπόνηση, παρουσιάζει παρεμφερή ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (σύνθετη αντίσταση) με αυτόν που υποκαθιστά.

9.4. Θερμικό Όριο [31]

Η μέγιστη ικανότητα μεταφοράς ισχύος Γ.Μ. σε συνθήκες συνεχούς κανονικής λειτουργίας ώστε η θερμική καταπόνηση των αγωγών από το φαινόμενο Joule να μη δημιουργεί κίνδυνο μείωσης της μηχανικής τους αντοχής, καλείται θερμικό όριο της Γ.Μ. Ο πίνακας που ακολουθεί δίνει την τάξη μεγέθους του θερμικού ορίου υπό ονομαστική τάση σε MVA για τις γραμμές Υ.Τ. και Υ.Υ.Τ. που υπάρχουν στο σύστημα.

ΟΝΟΜ. ΤΑΣΗ (kV)	ΚΥΚΛΩΜΑ	ΧΑΡΑΚ/ΙΣ ΜΟΣ Γ.Μ.	ΑΡΙΘ.&ΔΙΑΤ. ΑΓΩΓΩΝ/ΦΑΣΗ (ΤΥΠΟΣ ACSR) (MCM)	ΘΕΡΜ. ΟΡΙΟ ΥΠΟ ΟΝΟΜ. ΣΥΝΘΗΚΕΣ (MVA)	ΘΕΡΜ. ΟΡΙΟ ΥΠΟ ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ (MVA)*
66	ΑΠΛΟ	E/66	1 x 336,4	60,5	36
150	ΑΠΛΟ	E/150	1 x 336,4	138	117
150	ΑΠΛΟ	B/150	1 x 636,0	202	169
150	ΔΠΛΟ	2B/150	1 x 636,0	2 x 202	2 x 169
400	ΑΠΛΟ	B'B'/400	2 x 954,0	1400	1100
400	ΔΠΛΟ	2B'B'/400	2 x 954,0	2 x 1400	2 x 1100
400	ΑΠΛΟ	B'B'B'/400	2 x 954,0	2000	1600

Πίνακας 2: Θερμικό Όριο Εναέριων Γ.Μ.

*Μείωση του ονομαστικού ορίου κατά 20% περίπου σε περίπτωση θερμοκρασίας περιβάλλοντος 40 °C και πλήρους άπνοιας

Το θερμικό όριο της Γ.Μ. Z/150 με οπλισμένο σύνθετο αγωγό αλουμινίου διατομής 170 mm² (βλ. προηγούμενη παράγραφο) εκτιμάται σε 240 MVA περίπου υπό ονομαστικές συνθήκες και σε 223 MVA περίπου υπό δυσμενείς συνθήκες. Στην αγορά υπάρχουν διαθέσιμοι αγωγοί «νέου τύπου» με θερμικό όριο μεγαλύτερο του πιο πάνω. Η χρησιμοποίησή τους όμως δεν αυξάνει δραστικά την ικανότητα μεταφοράς στο σύστημα λόγω:

- των περιορισμών που επιβάλλονται από τον υφιστάμενο εξοπλισμό 150 kV των Υ/Σ (αποζεύκτες, διακόπτες, ζυγοί κλπ.),
- της αύξησης των θερμικών απωλειών, αλλά και
- της αμελητέας συνεισφοράς στις παρατηρούμενες πτώσεις τάσης, δεδομένου ότι η επαγωγική αντίδραση δεν μειώνεται εφόσον χρησιμοποιούνται οι ίδιοι πυλώνες.

9.5 Είδη καλωδίων υψηλής τάσης [37]

Τα καλώδια υψηλής τάσης διακρίνονται σε:

α) Καλώδιο με μόνωση XLPE θωράκιση από κράμα μολύβδου και μανδύα PVC.



1. Πολύκλωνος στρόγγυλος αγωγός αλουμινίου ή χαλκού
2. Ημιαγώγιμη ταινία (προαιρετική)
3. Εσωτερικό ημιαγώγιμο στρώμα XLPE
4. Μόνωση XLPE
5. Εξωτερικό ημιαγώγιμο στρώμα XLPE
6. Γεμίσματα από προπυλένιο
7. Μολύβδινος μανδύας
8. Εξωτερικός μανδύας PVC ή PE

β) Καλώδιο με μόνωση XLPE θωράκιση από κράμα μολύβδου και μανδύα PVC.



1. Πολύκλωνος στρόγγυλος αγωγός αλουμινίου ή χαλκού
2. Ημιαγώγιμη ταινία (προαιρετική)
3. Εσωτερικό ημιαγώγιμο στρώμα XLPE
4. Μόνωση XLPE

5. Εξωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα XLPE
6. Ημιαγωγίμη ταινία
7. Μολύβδινος μανδύας
8. Εξωτερικός μανδύας PVC ή PE

ε) Καλώδιο με μόνωση XLPE θωράκιση από σύρματα χαλκού και μανδύα PVC.



- 1) Αγωγός πολύκλωνος
- 2) Εσωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα XLPE
- 3) Μόνωση XLPE
- 4) Εξωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα XLPE
- 5) Πλαστική ημιαγωγίμη ταινία διογκούμενη με το νερό. Για την κατασκευή που παρέχει προστασία από διαμήκη διείσδυση νερού
- 6) Ηλεκτρική θωράκιση αποτελούμενη από σύρματα χαλκού τυλιγμένα ελικοειδώς, συγκρατούμενα από χάλκινη ταινία τυλιγμένη σε ανοιχτή ελίκωση
- 7) Πλαστική ημιαγωγίμη ταινία διογκούμενη με το νερό. Για την κατασκευή που παρέχει προστασία από διαμήκη διείσδυση νερού
- 8) Ταινία αλουμινίου κολλημένη στον εξωτερικό μανδύα. Για την κατασκευή που παρέχει προστασία από διαμήκη διείσδυση του νερού
- 9) Εξωτερικός θερμοπλαστικός μανδύας PVC

9.6 Χαρακτηριστικά Καλωδιακών Γ.Μ. [31]

Στο σύστημα υπάρχουν οι παρακάτω τύποι υποβρυχίων καλωδίων Υ.Τ., η διαχείριση των οποίων ανήκει στην αρμοδιότητα του ΑΔΜΗΕ:

- Τριπολικά καλώδια 66kV, διατομής 300 mm² χαλκού, ισχύος 60 MVA
- Τριπολικά καλώδια 150kV, διατομής 240 mm² χαλκού, ισχύος 125 MVA
- Τριπολικά καλώδια 150kV, διατομής 310 mm² χαλκού, ισχύος 135 MVA
- Τριπολικά καλώδια 150kV, διατομής 630 mm² χαλκού, ισχύος 175 MVA
- Τριπολικά καλώδια 150kV, διατομής 400 mm² χαλκού, ισχύος 200 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 66kV, διατομής 150 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 35 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 250 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 175 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 300 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 125 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 300 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 145 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 300 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 175 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 400 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 175 MVA

Στο σύστημα υπάρχουν επίσης οι παρακάτω τύποι υπογείων καλωδίων 150kV για τη μεταφορά ισχύος κατά κύριο λόγο μέσα στις κατοικημένες περιοχές της Πρωτεύουσας και της Θεσσαλονίκης:

- Τριπολικά καλώδια 150kV, διατομής 310 mm² χαλκού, ισχύος 125 MVA
- Τριπολικά καλώδια 150kV, διατομής 400 mm² χαλκού, ισχύος 200 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 250 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 125 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 400 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 125 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 650 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 200 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 500 mm² χαλκού, τριφασικής ισχύος 200 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 600 mm² αλουμινίου, τριφασικής ισχύος 200 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 700 mm² αλουμινίου, τριφασικής ισχύος 200 MVA
- Μονοπολικά καλώδια 150kV, διατομής 800 mm² αλουμινίου, τριφασικής ισχύος 200 MVA

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό τη μελέτη και περιγραφή των τεχνολογιών των υποσταθμών υψηλής τάσης.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

- 1) Ο υποσταθμός Υ.Τ./Μ.Τ. είναι από μόνος του ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από μία ποικιλία ηλεκτρικών διατάξεων.
- 2) Ο σχεδιασμός και η μελέτη για τη χωροθέτηση του υποσταθμού, όπως και η σχεδιάση και επιλογή της διάταξης του υποσταθμού, απαιτεί πληθώρα παραμέτρων και κριτηρίων που πρέπει να ληφθούν υπόψιν.
- 3) Η συνεχής βελτίωση των τεχνολογιών του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού είναι σημαντική καθώς οδηγεί στην εξοικονόμηση χρημάτων, την αύξηση της αξιοπιστίας, της απόδοσης, της διάρκειας ζωής του συνολικού συστήματος και τη μείωση του οικολογικού αντίκτυπου.
- 4) Η επιλογή της διατάξης ενός υποσταθμού εξαρτάται κάθε φορά από τις απαιτήσεις που έχει ο κατασκευαστής για την λειτουργία του υποσταθμού. Επιπλέον, είναι καθαρά συνδυασμός απαιτήσεων και περιστάσεων επειδή πολλά από τα πλεονεκτήματα της μιας ισοσταθμίζονται από τα μειονεκτήματά της άλλης χωρίς τον αποκλεισμό κάποιων ως πλήρως αναξιόπιστων.
- 5) Οι βροχοειδείς διατάξεις δεν είναι εύκολα επεκτάσιμες. Είναι κυρίως κατάλληλες για εφαρμογές όπου η ασφάλεια είναι πολύ σημαντική και η διακοπή λειτουργίας για τη συντήρηση πρέπει να είναι ελάχιστη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δεληγιάννη, Β. (2013) «Περιγραφή Υποσταθμού Υ.Τ. Βιομηχανικού Καταναλωτή». Αθήνα, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική.
- [2] Μητροπούλου, Δ. (2010) «Συγκριτική Μελέτη Διατάξεων Υποσταθμών Μεταφοράς Υ.Τ/Μ.Τ και ΚΥΤ». Αθήνα, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική.
- [3] Τασούλας, Α. (2009) «Συντήρηση Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας». Αθήνα, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική.
- [4] Τραχανάς, Α. (2007) «Μελέτη των εναέριων δικτύων διανομής και αξιολόγηση της μηχανικής αντοχής των γραμμών διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας». Αθήνα, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική.
- [5] Κατερινοπούλου, Α., Κατσέλου, Χ., (2004) «Δείκτες Αξιοπιστίας Λειτουργίας των Υποσταθμών του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας». Αθήνα, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική.
- [6] Σκανδαλίδης Χ., Κεμίδης Π., Μπαργιώτας Δ., (2001): Βιομηχανικές εγκαταστάσεις - υποσταθμοί Α' και Β' Τεύχος, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο.
- [7] «The impact of new functionalities on substation design» (June 2009) TECHNICAL BROCHURE, No 244, ELECTRA 45
- [8] «GIS-State of the Art 2008» (June 2009) TECHNICAL BROCHURE, No 244, ELECTRA 51
- [9] Αλεξανδρής, Ι.Χ., Γεωργαντζής, Γ.Ι., Γκαγκαουδάκης, Ν.Γ. (1995) «ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ 400 kV ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΜΕ ΜΟΝΩΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΛΑΥΡΙΟ», Αθήνα.
- [10] ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ «ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ» ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ - ΕΙΔΗ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ. ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ, ΔΕΗ ΑΕ.

- [11] Μαρκόπουλος, Β. (2009) «Μέθοδοι υπολογισμού Του Κόστους Συντήρησης Υποσταθμών». Αθήνα, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική.
- [12] Βλάχας, Π., Καμπανός, Η., Χατζηπαυλίδου, Μ. (Ιούνιος 2000) «Εγχειρίδιο Προληπτικής Ηλεκτρολογικής Συντήρησης», Θεσσαλονίκη.
- [13] Μανέτα, Μ. (2009) «Μελέτη Υποσταθμού Μέσης Τάσης 20/0,4KV». Πάτρα, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών.
- [14] http://www.hellaskps.gr/min_requirements/docs/orig/PE3/ADPMeleton/PE-A4_3-0.doc, Μελέτες Ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων
- [15] Τσιτσάνης, Δ. (2004) «Χωροθέτηση Υποσταθμού 150/20 KV στη Χαλυβουργία Θεσσαλίας (Εργοστάσιο Ελάστρου)». Αθήνα, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική.
- [16] Μπαγιώκος Π. (2013) «Μελέτη και σχεδιασμός ηλεκτρονόμου σημάτων ασφαλιών και ψηφιακού μετρητή ενέργειας» Αθήνα, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική.
- [17] ΕΛΟΤ HD 637 S1 Εγκαταστάσεις ισχύος με ονομαστική τάση πάνω από 1 kV εναλλασσομένου ρεύματος. 20/4/2000.
- [18] Λεκατσάς, Ε. (1985) «Θέματα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας», Έκδοση ΔΕΗ, Αθήνα
- [19] «GENERAL GUIDELINES FOR THE DESIGN OF OUTDOOR AC SUBSTATIONS» CIGRE, Working Group 23.03, August 2000
- [20] «Substation Bus Arrangement Guideline Working Group Report» (April 4, 2006) Presented to the NEPOOL Reliability Committee.
- [21] Bakshi U.A, Bakshi, M.V. «Switchgear and Protection» Technical Publications Pune
- [22] Anderson, P.M. «Power System Protection» IEEE PRESS SERIES ON POWER ENGINEERING
- [23] Blackburn, J.L. (1997) «Protective Relaying: Principles and applications, Second Edition, Bothell: Washington.
- [24] Elmore, W.A. (2004) «Protective Relaying Theory and Applications» Second Edition, Revised and Expanded, N. York: Marcel Dekker.
- [25] ANSI/IEEE Std 80-2000, «IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding», 2000.

[26] Ντοκόπουλος, Ρ. (2005) «Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών σύμφωνα με το νέο κανονισμό ΕΛΟΤ HD 384» Αθήνα: Εκδόσεις Ζήτη.

[27] ΕΛΟΤ HD 384.5.54. ΓΕΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΓΩΓΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

[28] Gonos, I.F., Topalis, F.V. & Stathopoulos, I.A. (1999) «Transient impedance of grounding rods», 11th International Symposium on High Voltage Engineering, V. (12), pp 272-5.

[29] Γκόνοσ, Ι.Φ. (Ιούλιος-Αύγουστος 2003) «Μεταβατική συμπεριφορά συστημάτων γείωσης», Τεχνικά Χρονικά, Ηλεκτρονική διμηνιαία έκδοση, Τεύχος 1, σελ. 87-116.

[30] Nixon, K.J. (Ιούλιος 2006) «The Lightning Transient Behavior of a Driven Rod Earth Electrode in Multilayer Soil», Διδακτορική Διατριβή.

[31] Τσίχλης, Χ. (2012) «Αγωγοί και καλώδια για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας». Καβάλα, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Διπλωματική.

[32] Καραντώνη, Ε.Ι. (2012) «Μελέτη Ιδιωτικού Υποσταθμού ΜΤ-ΧΤ». Αθήνα, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική.

[33] Κυριαζής, Ι., Καμβύσης, Μ. (2014) «Μελέτη και Συντήρηση Υποσταθμού Υψηλής Τάσης». Αθήνα, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε., Α.Τ.Ε.Ι. Πειραιά, Διπλωματική.

[34] <http://www.dei.gr/> , ΔΕΗ Α.Ε

[35] <http://www.rae.gr/> , ΡΑΕ - ΡΥΘΜΙΚΗ ΑΡΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

[36] Μπέτση, Μ. (2012) «Πρόγραμμα Υπολογισμού Αποδεκτού Ύψους Γραμμής Δικτύου Μέσης Τάσης ανάλογα με την Θερμοκρασία - Μελέτη για ACSR 16 mm² και 35 mm² Κανονικής Επιφόρτισης». Αθήνα, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Η/Υ, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική.

[37] Καβούκης, Δ. (2015) «Τεχνικά Χαρακτηριστικά Στύλων Μέσης Τάσης». Καβάλα, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καβάλας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών, Τμήμα Ηλεκτρολογίας, Διπλωματική.

[38] Φασουλιώτης, Γ. (2014) «Μελέτη γείωσης σε υποσταθμό υψηλής τάσης». Πάτρα, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματική.