



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΣ

**Συγκριτική μελέτη διατάξεων Υποσταθμών Μεταφοράς
Υ.Τ/Μ.Τ και ΚΥΤ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δέσποινα Π. Μητροπούλου

Επιβλέπουσα : Σταυρούλα Καβατζά
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2010



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

**Συγκριτική μελέτη διατάξεων Υποσταθμών
Μεταφοράς Υ.Τ/Μ.Τ και ΚΥΤ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δέσποινα Π. Μητροπούλου

Επιβλέπουσα : Σταυρούλα Καβατζά
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15η Ιουλίου 2010.
Αθήνα, Ιούλιος 2010

Καβατζά Σταυρούλα Κορρές Γεώργιος
Λέκτορας Ε.Μ.Π Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π

Παπαθανασίου Σταύρος
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Δέσποινα Π. Μητροπούλου

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

Copyright © Δέσποινα Π. Μητροπούλου, 2010

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια περιγραφή των διατάξεων υποσταθμών μεταφοράς και μια προσπάθεια σύγκρισης αυτών με σκοπό την κατάλληλη επιλογή αυτών, ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε υποσταθμού.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος ηλεκτροδότησης της πάσης φύσεως καταναλωτών και γίνεται μια αναφορά στη βασική σκοπιμότητα και προορισμό ενός νέου υποσταθμού.

Στη συνέχεια στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, οι υποσταθμοί γενικότερα καθώς και γίνεται μια ανάλυση των διαφορών ειδών αυτών με ιδιαίτερη έμφαση στους υποσταθμούς μεταφοράς.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον βασικό εξοπλισμό ενός υποσταθμού μεταφοράς και επιπλέον γίνεται μια περιγραφή των μηχανημάτων εκείνων, των οποίων η συνεχής και η αδιάκοπη λειτουργία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη λειτουργία ενός υποσταθμού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τα κριτήρια σχεδίασης ενός υποσταθμού, ο τρόπος σχεδιασμού του και τι πρέπει να συμπεριληφθεί υπόψη για αυτόν. Καθώς και περιγράφονται τα κριτήρια επιλογής της διάταξης ενός υποσταθμού.

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

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

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται μία συγκριτική μελέτη των παραπάνω διατάξεων, ως προς διάφορους σημαντικούς παράγοντες που θα καθόριζαν την επιλογή τους, όπως κόστος, έκταση γης, αξιοπιστία κ.ο.κ Τέλος αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτήν.

Λέξεις κλειδιά: Διάταξη, Τύποι Διατάξεων Υποσταθμών, Αξιοπιστία Διατάξεων, Κριτήρια Επιλογής Διατάξεων Υποσταθμών, Σύγκριση Διατάξεων.

Abstract

The project focuses in the investigation of substation's configurations and in the comparison of them, by taking into account several factors that affect their choice in substations in transmission system.

In chapter one, we have a description of the transmission of electricity and a reference of the basic utility and destination of a new substation.

In chapter two there is a presentation of different kinds of substations, giving special emphasis to transmission substations.

In chapter three there is a reference in basic equipment of a transmission substation and a description of the components, whose continuous operation is important for the operation of the substation as a whole.

In chapter four we present the parameters of a substation's design and the standards of the selection of a substation's configuration.

In chapter five there is an analysis of all kind of configuration of transmission substations, with a reference in their method of operation and their advantages and disadvantages.

In chapter six different types of bus protection is presented for all kinds of configurations.

In chapter seven we have a comparison of the different configurations by several factors that affect their selection in each substation, such as reliability, cost, extent of ground etc. Finally we present the conclusions that come from the comparison above.

Keywords: Configuration, Types of Substation's Configuration, Reliability of Apparatus, Parameters of the selection of Substation's Configuration, Arrangement's Comparison.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην κ. Σταυρούλα Καβατζά, Λέκτορα του Ε.Μ.Π για την ανάθεση καθώς και για την καθοδήγησή της που ήταν σημαντική για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το κ. Γεωργαντζή Γεώργιο, διευθυντή του Συστήματος Μεταφοράς της Δ.Ε.Η. Α.Ε. καθώς και τον κ. Μαυρόματο Κωνσταντίνο και την κ. Αλεξοπούλου Παναγιώτα και για το ενδιαφέρον τους και τη βοήθεια τους, για τη συγγραφή και ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

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

Περιεχόμενα

Abstract.....	6
1. Εισαγωγή	12
2. Σύστημα μεταφοράς και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	14
2.1 Γενικά.....	14
2.2 Δομή συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας	15
2.3 Υποσταθμοί.....	18
2.3.1 Γενικά	18
2.3.2 Υποσταθμός διανομής.....	20
2.3.2.1 Υ/Σ Εναέριοι.....	20
2.3.2.2 Υ/Σ Επίγειοι	21
2.3.2.3 Υ/Σ Υπόγειοι.....	22
2.3.3 Υποσταθμός μεταφοράς	22
2.3.3.1 Υποσταθμοί ανυψώσεως τάσης 150kV/M.T.....	24
2.3.3.2 Υποσταθμοί Υποβιβασμού Τάσεως 150/20 kV.....	26
2.3.3.3 Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (Κ.Υ.Τ)	31
2.3.4 Εγκιβωτισμένοι Υποσταθμοί SF6 (GAS INSULATED SUBSTATION).....	33
2.3.4.1 Σύγκριση συμβατικών υποσταθμών και GIS.....	34
2.3.4.2 Κόστος Διάρκειας ζωής	35
2.3.4.3 Αξιοπιστία.....	36
2.3.4.4 Συντήρηση- Εποπτεία	37
2.3.4.5 Επιλογή υποσταθμού με μόνωση αερίου ανοιχτού ή κλειστού τύπου	37
3. Εξοπλισμός Υποσταθμού.....	39
3.1 Εισαγωγή.....	39
3.2 Μετασχηματιστής(M/Σ).....	39

3.3 Αυτομετασχηματιστής	43
3.4 Διακόπτες ισχύος.....	44
3.4.1 Αντιστάθμιση Άεργης Ισχύος.....	49
3.4.1.1 Γενικά.....	49
3.4.1.2 Χαρακτηριστικά Πυκνωτών και Πηνίων	51
3.5 Ζυγοί.....	53
3.5.1 Γενικά	53
3.5.2 Τύποι ζυγών.....	53
3.5.3 Δομή των Ζυγών.....	54
3.5.4 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά των Ζυγών	55
3.6 Αποζεύκτες.....	56
3.7 Αλεξικέραυνα.....	57
3.7.1 Κατασκευαστικά στοιχεία αλεξικεραυνών.....	58
3.8 Μονωτήρες.....	59
3.8.1 Μονωτήρες εξωτερικού χώρου	59
3.8.2 Μονωτήρες εσωτερικού χώρου	59
3.9 Κυματοπαγίδες- Σύστημα φερεσύχων	60
4 .Κριτήρια σχεδίασης και επιλογής διάταξης υποσταθμών	61
4.1 Κριτήρια σχεδίασης Υ/Σ.	61
4.2 Σχεδιασμός ενός Υποσταθμού	62
4.3 Επιλογή της τοποθεσίας του Υ/Σ.	66
4.4 Επιλογή διάταξης υποσταθμού	69
5.Τύποι διατάξεων υποσταθμών	72
5.1 Διάταξη ενός ζυγού	72
5.2 Διάταξη τμηματοποιημένου ζυγού.....	76
5.3 Διάταξη κεντρικού ζυγού με ζυγό μεταγωγής	78
5.4 Διάταξη με δακτυλιοειδή ζυγό	81

5.5 Διάταξη 1.5 διακόπτη (breaker and a half)	87
5.6 Διάταξη ενός και ενός τρίτου διακόπτη, $\underline{1 + \frac{1}{3}}$ (Breaker and a third bus arrangement).....	95
5.7 Διάταξη δυο ζυγών με δύο διακόπτες ανά αναχώρηση.	97
5.8 Διάταξη διπλού ζυγού με έναν διακόπτη ανά αναχώρηση	101
5.9 Διατάξεις με διπλούς βρόχους.....	102
5.10. Διάταξη με πολλαπλούς βρόχους.....	104
6. Προστασία διατάξεων.....	106
6.1 Εισαγωγή.....	106
6.2 Απαιτήσεις προστασίας ζυγών.	108
6.3 Προστασία διατάξεως ενός ζυγού.....	110
6.4 Προστασία διάταξης τμηματοποιημένου ζυγού.....	110
6.5 Προστασία διάταξης κύριου ζυγού σε συνδυασμό με ζυγό μεταγωγής.	112
6.6 Προστασία διάταξης διπλού ζυγού- ενός διακόπτη.	114
6.7 Προστασία διάταξης διπλού ζυγού-διπλού διακόπτη.	116
6.8 Προστασία διατάξεως δακτυλιοειδή ζυγού.....	116
6.9 Προστασία διάταξης 1.5 διακόπτη.....	119
6.10 Προστασία διάταξης ενός ζυγού σε συνδυασμό με μετασχηματιστή.....	119
6.11 Μετασχηματιστές Μετρήσεων.....	122
6.12 Διαφορική προστασία ζυγών.....	124
6.12.1 Διάταξη προστασίας πολυρυθμιζόμενου διαφορικού ρεύματος.	124
6.12.2 Διάταξη προστασίας διαφορικής τάσης υψηλής εμπέδησης.	126
6.12.3 Διαφορική διάταξη προστασίας με αερόψυκτο μετασχηματιστή.....	127
6.12.4 Βαθμιαία διαφορική προστασία υψηλής εμπέδησης.	130
6.13 Διάφορα άλλα διαφορικά συστήματα προστασίας ζυγών.	130
6.13.1 Διαφορικός χρόνος υπερεντάσεως.	131
6.13.2 Κατευθυντική διαφορική σύγκριση.....	131

6.13.3 Μερική διαφορική προστασία.....	133
6.14 Σφάλμα γείωσης στο ζυγό.....	136
7. Συγκριτική μελέτη των παραπάνω διατάξεων υποσταθμών.....	137
7.1 Σχετική σύγκριση κόστους διατάξεων υποσταθμών.....	137
7.2 Συγκριτική μελέτη διατάξεων ως προς την συνέχεια εξυπηρέτησης (service continuity).....	139
7.3 Σύγκριση διατάξεων ως προς την απαιτούμενη έκταση.....	141
7.4 Σύγκριση ως προς τη διάταξη φάσεων.....	142
7.5 Ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων επιλογής διατάξεως υποσταθμού.....	144
8. Συμπεράσματα.....	147
9. Βιβλιογραφία.....	149
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	151
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	152
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	154

1. Εισαγωγή

Οι Υποσταθμοί (Υ/Σ) υποβιβασμού τάσης από Υψηλή (150 kV) σε Μέση (20 kV) συνιστούν τα κομβικά σημεία μέσω των οποίων εγχέεται η ηλεκτρική ισχύς από το δίκτυο Υψηλής Τάσης (ΥΤ) στο δίκτυο Μέσης Τάσης 50(MT), που αποτελεί το δίκτυο πρωτεύουσας διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, από το οποίο τροφοδοτείται ακολούθως το δίκτυο Χαμηλής Τάσης (ΧΤ), που συνιστά τη δευτερεύουσα διανομή στα 230/400 V, το οποίο και εξυπηρετεί την πλειονότητα των τελικών καταναλωτών. Όπως είναι αυτονόητο το πλήθος των Υ/Σ 150/20 kV και το βήμα (η απόσταση μεταξύ γειτονικών Υ/Σ) εξαρτώνται από τη συνολική ζήτηση και τη γεωγραφική κατανομή της, δηλαδή την πυκνότητα του ηλεκτρικού φορτίου.

Βασική σκοπιμότητα και προορισμός ενός νέου Υ/Σ είναι η εξασφάλιση της επάρκειας και αξιοπιστίας ηλεκτροδότησης των πάσης φύσεως καταναλωτών (οικιακών, εμπορικών, βιομηχανικών, κλπ.) της περιοχής στην οποία εντάσσεται. Προκειμένου να εξασφαλίζεται ικανοποιητικό επίπεδο αξιοπιστίας ηλεκτροδότησης των καταναλωτών, πρέπει ανάλογα με το φορτίο που εξυπηρετεί κάθε Υ/Σ να επιλέγεται και η κατάλληλη διάταξη.

Γενικότερα ο σχεδιασμός και η λειτουργία ενός Υ/Σ εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από την ανάλυση της αξιοπιστίας του, η οποία κρίνεται απαραίτητη ανεξάρτητα από το μέγεθος και την πολυπλοκότητά του. Η τεχνολογική ανάπτυξη των τελευταίων χρόνων έκανε αναγκαία την πραγματοποίηση αυστηρότερων και συστηματικότερων ελέγχων της αξιοπιστίας των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας για την αδιάλειπτη παροχή ισχύος στο δίκτυο. Στην παρούσα εργασία διερευνούνται και περιγράφονται οι βασικές διατάξεις σχεδιασμού Υ/Σ Υψηλής Τάσης και Κ.Υ.Τ με σκοπό την

σύγκρισή τους καθώς και την καλύτερη επιλογή τους ανάλογα με τις ανάγκες σχεδιασμού κάθε Υ/Σ. Ένα από τα σημαντικότερα κριτήρια επιλογής τους είναι η ασφάλεια αλλά ακόμα περισσότερο η αξιοπιστία τους. Επίσης η καλύτερη επιλογής της διάταξης αφορά και τη χωροθέτηση του Υ/Σ, την έκταση γης που απαιτείται για την κάθε μία και αν παρέχεται ανάλογα με την περιοχή που προβλέπεται ο σχεδιασμός τους, όπως για παράδειγμα δυσκολίες που αντιμετωπίζονται στις αστικές περιοχές.

Στη συνέχεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται μια σύντομη περιγραφή των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και της δομής τους, ενώ περιγράφονται τα διάφορα είδη Υ/Σ και η κατηγοριοποίησή τους. Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται ο εξοπλισμός των Υ/Σ μεταφοράς και γίνεται περιγραφή των κατασκευαστικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών τους. Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα κριτήρια σχεδίασης ενός Υ/Σ και καθώς και τα κριτήρια της επιλογής της διάταξης αυτών, που αποτελεί και το κύριο μέρος αυτής της εργασίας. Στο Κεφάλαιο 5 γίνεται η μελέτη των πιο διαδεδομένων διατάξεων Υ/Σ καθώς και περιγραφή αυτών και μία σύγκριση μεταξύ τους. Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται μια ολοκληρωμένη συγκριτική μελέτη ως προς τα διάφορα κριτήρια επιλογής τους ενώ τελειώνοντας στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα σχετικά με το που προτιμώνται και ποιες είναι οι πιο κατάλληλες ανάλογα με τις απαιτήσεις.

Στο τέλος της παρούσας διπλωματικής εργασίας , παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για τη συγγραφή της. Επίσης περιλαμβάνεται ένα παράρτημα με μονογραμμικά διαγράμματα και ενός πίνακα επεξήγησης του συμβολισμού αυτών.

2. Σύστημα μεταφοράς και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

2.1 Γενικά

Το 1889 φτάνει το «ηλεκτρικό» στην Ελλάδα με το φωτισμό του ιστορικού κέντρου της Αθήνας. Από τότε, αρχίζουν σταδιακά να δημιουργούνται μικρές ιδιωτικές ή δημόσιες εταιρίες που παράγουν και διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία καλύπτει μόνο το φωτισμό και μάλιστα με ωράριο, με συνεχείς διακοπές και σε τιμές υψηλές σχετικά για τον μέσο Έλληνα (τρεις έως πέντε φορές ακριβότερες από τις τιμές που ίσχυαν στην Ευρώπη). Μέχρι την ίδρυση της Δ.Ε.Η., ηλεκτρικό ρεύμα είχαν μόνο οι πόλεις και κάποιες κωμοπόλεις. Από τους 11600 οικισμούς της χώρας το ρεύμα έφτανε μόνο σε 823. Τον Αύγουστο του 1950 ιδρύεται η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, με σκοπό τη χάραξη και εφαρμογή μιας εθνικής ενεργειακής πολιτικής, κατά την οποία θα γίνεται εντατική εκμετάλλευση των εγχώριων πόρων.

Η Δ.Ε.Η. Α.Ε. είναι σήμερα η μοναδική εταιρία διανομής στην Ελλάδα. Στην ιδιοκτησία της ανήκει επίσης και το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Τον Φεβρουάριο του 2001 ξεκίνησε η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, στα πλαίσια της ολοκλήρωσης της εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής αγοράς στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Οπότε συναντάται και είσοδος στην αγορά ανεξάρτητων παραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας, ανταγωνιστών της Δ.Ε.Η. Επίσης, 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 παραγωγή (της Δ.Ε.Η. Α.Ε και των ανεξάρτητων παραγωγών) με τον συμφερότερο τρόπο.

Στο διασυνδεδεμένο σύστημα και στα νησιά της Κρήτης και της Ρόδου λειτουργούν οκτώ λιγνιτικοί σταθμοί παραγωγής (περιλαμβανομένου του ατμοηλεκτρικού σταθμού Φλώρινας ισχύος 330 MW) , τέσσερις πετρελαϊκοί σταθμοί παραγωγής και δύο πετρελαϊκές μονάδες στον σταθμό παραγωγής που βρίσκεται στο Λαύριο, ένας σταθμός φυσικού αερίου στον Άγιο Γεώργιο Κερατσινίου, μία μονάδα συνδυασμένου κύκλου φυσικού αερίου στην Κομοτηνή και δύο στο Λαύριο, καθώς και 24 υδροηλεκτρικοί σταθμοί. Η ενέργεια που παράγεται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς χρησιμοποιείται σε περιόδους αιχμής φορτίου. Επιπρόσθετα, στα υπόλοιπα μη διασυνδεδεμένα νησιά λειτουργούν συνολικά 36 αυτόνομοι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί, 18 αιολικά πάρκα και 5 ηλιακοί (φωτοβολταϊκοί σταθμοί). Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών παραγωγής είναι 12069 MW. Η παραγόμενη ενέργεια μεταφέρεται στους μεγάλους βιομηχανικούς καταναλωτές και στο δίκτυο διανομής από όπου στην συνέχεια διανέμεται την ηπειρωτική χώρα.

Τη σπονδυλική στήλη του διασυνδεδεμένου συστήματος μεταφοράς αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 KV, που μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια , κυρίως από το ενεργειακό κέντρο παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας. Το σύστημα μεταφοράς διαθέτει επιπλέον γραμμές των 400 KV καθώς επίσης εναέριες, υπόγειες γραμμές και υποβρύχια καλώδια των 66 KV , που συνδέουν τα νησιά της δυτικής Ελλάδας, με το διασυνδεδεμένο σύστημα.

2.2 Δομή συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας

Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.) είναι το σύνολο των εγκαταστάσεων και μέσων, τα οποία χρησιμεύουν στην εξυπηρέτηση των αναγκών ενός συνόλου καταναλωτών σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο προορισμός ενός τέτοιου συστήματος είναι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε μια εξυπηρετούμενη περιοχή κατανάλωσης.

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 ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται στους σταθμούς

παραγωγής ενώ η μεταφορά της σε μεγάλες ποσότητες από τα εργοστάσια παραγωγής στις περιοχές κατανάλωσης γίνεται με τις γραμμές υψηλής (έως 220 KV) και υπερυψηλής (έως 500 kV) τάσης, οι οποίες μεταφέρουν την ενέργεια σε κεντρικά σημεία του δικτύου, τους υποσταθμούς, από όπου ξεκινούν τα δίκτυα διανομής μέσης τάσεως που διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές δια μέσου των υποσταθμών διανομής και των γραμμών χαμηλής τάσεως 380/220 V.

Αν και το μέγεθος των Σ.Η.Ε. διαφέρουν, υπάρχουν μεταξύ τους χαρακτηριστικά που είναι κοινά για τα περισσότερα από αυτά. Τα χρησιμοποιούμενα συστήματα είναι τριφασικά εναλλασσομένου ρεύματος, συχνότητας 50 ή 60 Hz, χρησιμοποιούνται όμως σε ειδικές περιπτώσεις και 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 γωνιακές τους αποκλίσεις 120° μεταξύ τους. Η ροή είναι συνεχής και κάνει την λειτουργία τους πολύ πιο ομαλή και αποδοτική. Πρέπει να εξασφαλίζονται και να ικανοποιούνται οι ακόλουθες απαιτήσεις σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας :

- Πρέπει να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση.
- Η ζήτηση πραγματικής και άεργου ισχύος μεταβάλλεται με τον χρόνο, και το σύστημα πρέπει να μπορεί να ικανοποιεί αυτή τη συνεχώς μεταβαλλόμενη ζήτηση.
- Η παρεχόμενη ενέργεια πρέπει να ικανοποιεί ορισμένους όρους ποιότητας.

Τρεις βασικοί παράγοντες συνιστούν την ποιότητα αυτή:

1. Σταθερή συχνότητα
 2. Σταθερή τάση
 3. Υψηλή αξιοπιστία τροφοδοτήσεως.
- Η ενέργεια πρέπει να παρέχεται με τα ελάχιστα οικονομικά και οικολογικά κόστη.

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας από απόψεως εκτάσεως μπορούν να διακριθούν σε “Εθνικά Συστήματα”, “Περιφερειακά Συστήματα” και “Ιδιωτικά Συστήματα” εφ’ όσον αντίστοιχα καλύπτουν το σύνολο μιας χώρας, το σύνολο μιας γεωγραφικής περιοχής, ή τις ανάγκες μεμονωμένου ιδιωτικού συγκροτήματος. 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.

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνεται στα εξής ειδικότερα συστήματα, δηλαδή το “Σύστημα Παραγωγής”, το “Σύστημα Διασυνδέσεως και Μεταφοράς”, το “Σύστημα Υπομεταφοράς” και 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 καταναλώσεως. Το Σύστημα Διανομής περιλαμβάνει τα δίκτυα διανομής μέσης και χαμηλής τάσης, στα οποία δίκτυα 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. 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 στο μέλλον. Από τις εν λειτουργία τάσεις μεταφοράς οι από 66 έως 220 kV αποτελούν τη βαθμίδα των υψηλών τάσεων (YT), από 275 έως και 500 kV τη βαθμίδα των υπερυψηλών

τάσεων (YYT) και οι άνω των 500 kV τη βαθμίδα των εξαιρετικά υψηλών τάσεων (EYT). Πρέπει να σημειωθεί ότι έχουμε κυρίως μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας με εναλλασσόμενο ρεύμα ενώ η μεταφορά με συνεχές είναι περιορισμένη.

Η ροή της ενέργειας μπορεί να κατευθυνθεί στις διάφορες γραμμές του δικτύου κατά τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή οικονομία λειτουργίας. Τα συστήματα μεταφοράς υπάρχει η τάση να έχουν διάταξη βροχοειδή. Πράγματι η δομή αυτή, σε αντίθεση με την ακτινική δομή των συστημάτων διανομής, επιτρέπει περισσότερους συνδυασμούς διαδρομών της ενέργειας και συνεπώς εξυπηρετεί καλύτερα τους σκοπούς του συστήματος μεταφοράς. Επειδή το σύστημα μεταφοράς μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ισχύος στο σύστημα είναι φυσικό τα συνιστώσα 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 και στη λειτουργία υπό ομαλές ή ανώμαλες συνθήκες του συστήματος μεταφοράς παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

2.3 Υποσταθμοί

2.3.1 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, οι οποίοι και αποτελούν κυρίως τους 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 να είναι 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. Στη παρούσα εργασία γίνεται μελέτη διατάξεων υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ και ΚΥΤ. Πιο συγκεκριμένα Υ/Σ μεταφοράς.

2.3.2 Υποσταθμός διανομής

Οι Υ/Σ διανομής κάνουν υποβιβασμό της τάσης. Πιο συγκεκριμένα υποβιβάζουν τη μέση τάση των 15 ή 20 KV στην τάση κατανάλωσης των 220/380 V.

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

2.3.2.1 Υ/Σ Εναέριοι

Ο τύπος των ΥΣ 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 ΥΣ 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 ΥΣ 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 ΥΣ.

Οι συσκευές μέσης τάσης στους εναέριους ΥΣ 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.

2.3.2.2 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 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 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 υπαίθρο.

2.3.2.3 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 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 ΥΣ 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.

Στην συγκεκριμένη εργασία πραγματοποιήσαμε τις διατάξεις Υ/Σ Υψηλής και Υπερυψηλής Τάσης και δεν θα αναφερθούμε διεξοδικά σε αυτούς και στον εξοπλισμό τους.

2.3.3 Υποσταθμός μεταφοράς

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 στη τάση μεταφοράς.

2. ΥΣ 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 150 kV / 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 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 φθινό τρόπο κατασκευής. Στους Υ/Σ αυτούς της Υψηλής-Υπερυψηλής Τάσης 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, καθώς η ρύπανση στα βιομηχανικά κέντρα και παράκτιες περιοχές και τέλος λόγοι αισθητικοί, 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, αποξέυκτες 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.

2.3.3.1 Υποσταθμοί ανυψώσεως τάσης 150kV/M.T

Ο Υ/Σ ανυψώσεως βρίσκεται κοντά στο σταθμό παραγωγής. Προορισμός του είναι η ανύψωση της τάσεως παραγωγής στη τάση μεταφοράς. Κοντά στο χώρο του ΥΣ ανυψώσεως βρίσκονται και οι εγκαταστάσεις για την εξασφάλιση των 6 kV, 3 kV και 220/380 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 τη 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:

- ΘΕΡΜΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ (Ατμοηλεκτρικοί, Νηζελοηλεκτρικοί :Ντήζελ , Αεριοστρόβιλοι, Πυρηνικοί)
- 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 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 ατμοστρόβιλοι, 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 ΥΣ ανυψώσεως είναι:

- Ο ΜΣ που ανυψώνει την τάση παραγωγής στη τάση μεταφοράς (συνήθως 15 ή 20 kV σε 150 ή 380 kV)
- Οι διακόπτες ισχύος και οι αποζεύκτες που χρειάζονται για τη διακοπή της ηλεκτρικής συνέχειας των γραμμών.
- Οι ζυγοί (μπάρες) για τη διακλάδωση των γραμμών
- Διάφορα βοηθητικά μηχανήματα (ΜΣ τάσεως και εντάσεως, αλεξικέραυνα κ.λπ.)

Η ισχύς των ΥΣ ανυψώσεως εξαρτάται από τη παραγόμενη ενέργεια στο σταθμό.

2.3.3.2 Υποσταθμοί Υποβιβασμού Τάσεως 150/20 kV

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 αντισυμβατική 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. Κατασκευάζουμε Υ/Σ 150/20 kV πρώτον για την προστασία του Δικτύου των γραμμών, δεύτερον επειδή η οικονομική εμβέλεια της μέσης τάσης των 20 KV είναι γύρω στα 70 Km και τρίτον όταν υπάρξει κάπου μια μεγάλη κατανάλωση π.χ. μια ηλεκτροβόρα βιομηχανία σε απόσταση έστω και μικρότερης των 70 Km από Υ/Σ που υπάρχει. Η εκλογή 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. Πάντως οι Υ/Σ γενικά στην Ελλάδα είναι υπαίθριου τύπου και βρίσκονται έξω από πόλεις γιατί αφενός μεν τα οικόπεδα εκεί είναι φθηνά, αφετέρου μειώνεται ο κίνδυνος για τους κατοίκους από τον Υ/Σ και από τις γραμμές υψηλής τάσης που φτάνουν μέχρι εκεί.

Οι Υ/Σ γενικά στην Ελλάδα είναι υπαίθριου τύπου με ένα Κτίριο Ελέγχου για να στεγάζονται τα μηχανήματα και τα όργανα που δεν επιτρέπεται να λειτουργούν στο ύπαιθρο. 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 ρελαί 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 καταγράφει τις τιμές των ρευμάτων σε τριφασικό και μονοφασικό προς γη βραχυκύκλωμα στο σημείο του Υ/Σ. Οι αναχωρήσεις των 20 KV αποτελούνται από ένα Διακόπτη 20 kV και από τρεις Α/Ζ 20 kV. Οι δύο Α/Ζ βρίσκονται εκατέρωθεν του Διακόπτη και ο τρίτος Α/Ζ δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης της αναχώρησης στους βοηθητικούς Ζυγούς των 20 kV.

Όλα τα υλικά του εξοπλισμού και τα βοηθητικά για τις μετρήσεις και τις τηλεπικοινωνίες στηρίζονται ή ενώνονται με ειδικές σιδερένιες κατασκευές που αποτελούνται από δικτύωματα 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 ρελαί προστασίας και τα βοηθητικά ρελαί, 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. Παρά ταύτα όμως 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 Ανατύξεως 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.
2. Οι Α/Ζ 150 kV πυλών Μ/Σ είναι πάντοτε ηλεκτροκίνητοι. Για τη θέση τους και την εκλογή τους ισχύει ότι και για την περίπτωση (1). Ο Α/Ζ αυτός αλληλοασφαλίζεται με το διακόπτη των 150 kV ώστε να μην μπορεί να ανοίξει αν πρώτα δεν ανοίξει ο διακόπτης των 150 kV.
3. Για την απόξευξη των Μ/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 Μ/Σ εγκαθίσταται διακόπτης 20 kV, 1200 Α, που ονομάζεται Κεντρικός Διακόπτης της πύλης του Μ/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 Μ/Σ

Εντάσεως που φέρουν στους πόλους τους. Για τους κεντρικούς διακόπτες οι σχέσεις των Μ/Σ Εντάσεως δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία μια 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 :

α. τα τρία αλεξικέραυνα στο δευτερεύον του Μ/Σ.

β. οι δύο Μ/Σ τάσεως 20-15 kV/ 100 V σε σύνδεση ανοικτού τριγώνου, που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις.

γ. 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.

δ. Ο Μ/Σ εσωτερικής υπηρεσίας 75 kVA για την τροφοδοσία των βοηθητικών φορτίων του Υ/Σ.

ε. Ο πυκνωτής ζεύξεως και η κυματοπαγίδα που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες (φερέσυχνα).

Στους Υ/Σ μεταφοράς διακρίνουμε τα κυκλώματα:

1. Υψηλής (150 kV) ή Υπερυψηλής (380 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 220/3 80 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. 220/380V. 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 2.1 (Υ/Σ Ρουφ).



Φωτογραφία 2.1 Υ/Σ Ρουφ (Πηγή Δ.Ε.Η. Α.Ε.)

2.3.3.3 Κέντρα Υπερυψηλής Τάσης (Κ.Υ.Τ)

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 KYT, τα οποία εξυπηρετούν παράλληλα και ανάγκες ανύψωσης τάσης από τις μονάδες παραγωγής προς το Σύστημα 400 kV.

Παρατηρείται ότι οι πρωτοποριακές προσπάθειες αναπτύξεως 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 εγκαταστάσεως του κόστους απωλειών και του κόστους συντηρήσεως της γραμμής. Η εκλογή μιας τάσεως μεταφοράς αποτελεί κυρίως θέμα αντισταθμίσεως 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 2.2 Κ.Υ.Τ Λάρισσας (Πηγή Δ.Ε.Η. Α.Ε.)

2.3.4 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 πολλοί μπορεί να θεώρησαν την συγκεκριμένη τεχνολογία έτοιμη και ώριμη, έχουν γίνει συνεχείς αλλαγές στον σχεδιασμό, στην κατασκευή και στη λειτουργία των GIS Υ/Σ.[18]

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.[19]

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 περιβαντολλογική 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 ευκολότερα εναρμονίζονται με τον περιβάλλοντα χώρο.[21]

2.3.4.1 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 του προσωπικού.
2. Το περίβλημα, η εξασφαλισμένη στεγανότητα του χώρου και η χρήση υψηλής ποιότητας αερίου SF6 προστατεύουν την μόνωση από περιβαλλοντικές επιδράσεις όπως ρύπανση, υψόμετρο, καιρικές συνθήκες κτλ.

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 οι Υ/Σ αυτοί έχουν μειωμένες ανάγκες συντήρησης (κύκλος συντήρησης περί τα 20 χρόνια).[22]

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 κατά πρότυπες εναλλάξιμες βαθμίδες (modular construction) γεγονός που δίνει μεγάλη ευελιξία στην σχεδίαση και την επέκταση των εγκαταστάσεων ενός Υ/Σ.

2.3.4.2 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.

2.3.4.3 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.

2.3.4.4 Συντήρηση- Εποπτεία

Έχει αποδειχθεί ότι η πολιτική συντήρησης, που βελτιώνει τη διαθεσιμότητα στους Υ/Σ GIS, είναι η συντήρηση που 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.

2.3.4.5 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, κύρια 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 κύρια 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.

3. Εξοπλισμός Υποσταθμού

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται τα διάφορα μηχανήματα που βρίσκονται εγκατεστημένα στους Υ/Σ μεταφοράς. Κατά την περιγραφή των μηχανημάτων θα δοθεί η ευκαιρία για κάτι περισσότερο από μια απλή περιγραφή και θα φανούν κάποια θεωρητικά στοιχεία που θα καταδείξουν τον προορισμό του μηχανήματος. Επειδή σε πολλά μηχανήματα (διακόπτες ισχύος, αποζεύκτες κ.λπ.) ο κάθε κατασκευαστής δίνει δικό του τρόπο κατασκευής του μηχανήματος, θα δοθούν αντιπροσωπευτικοί τύποι μηχανημάτων και πάνω σε αυτούς θα αναπτυχθεί ο τρόπος λειτουργίας τους.

3.2 Μετασχηματιστής(M/Σ)

Η σημαντικότερη ηλεκτρική μηχανή στον Υ/Σ είναι ο Μ/Σ. Ο Μ/Σ είναι μια ηλεκτρική μηχανή με σταθερά μέρη. Έχει δύο πηνία για κάθε φάση, τα οποία είναι μεταξύ τους ηλεκτρικά ανεξάρτητα και μαγνητικά συζευγμένα. Ο Μ/Σ χρησιμοποιείται για την ανύψωση ή τον υποβιβασμό της τάσης. Το τυλίγμα που τροφοδοτούμε το ονομάζουμε πρωτεύον και αυτό από το οποίο παίρνουμε την ηλεκτρική ενέργεια με μετασχηματισμένη τάση, το ονομάζουμε 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:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} = \kappa \quad (\kappa = \text{λόγος μετασχηματισμού})$$

Ο πυρήνας και τα τυλίγματα του Μ/Σ που περικλείουν τον πυρήνα τοποθετούνται μέσα στο δοχείο του Μ/Σ που γεμίζεται με λάδι. Το λάδι είναι ειδικό λάδι μετασχηματιστών. Μπορεί να είναι ορυκτέλαιο ή συνθετικό.

Τα κατασκευαστικά μέρη ενός Μ/Σ είναι:

- Το δοχείο του Μ/Σ που περικλείει τον πυρήνα, τα τυλίγματα και το λάδι του Μ/Σ.
- Οι μονωτήρες Υ.Τ. και Μ.Τ. που χρησιμεύουν για την ασφαλή διέλευση του ρεύματος Υ.Τ. Στο σχήμα φαίνονται οι μονωτήρες διέλευσης Μ/Σ για τάσεις 35 kV και 400 kV.
- Το δοχείο διαστολής που χρησιμεύει για να δέχεται την αύξηση του όγκου του λαδιού όταν τούτο θερμαίνεται κατά τη λειτουργία του Μ/Σ.
- Το ψυγείο του λαδιού που χρησιμεύει για την ψύξη του λαδιού. Όταν τα τυλίγματα του Μ/Σ διαρρέονται από ρεύμα εκλύεται, λόγω φαινομένου Joule, θερμότητα (απώλειες χαλκού). Επίσης θερμότητα εκλύεται και από τον πυρήνα, λόγω κυκλοφορίας μέσα σ' αυτόν δινορρευσμάτων (απώλειες σιδήρου). Πρέπει η εκλυόμενη θερμότητα να αποβάλλεται στο περιβάλλον για να μην πλησιάζει η θερμοκρασία του Μ/Σ σε επικίνδυνα όρια. Σε τούτο βοηθά το μονωτικό λάδι που χρησιμεύει και σαν ψυκτικό μέσο. Για την καλύτερη απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας τοποθετούνται εξωτερικά του δοχείου του Μ/Σ τα ψυγεία που διαθέτουν εκτεταμένες επιφάνειες εναλλαγής της θερμότητας.

Στους Μ/Σ μεγάλης ισχύος με λάδι η ψύξη του λαδιού στο ψυγείο διευκολύνεται ακόμη περισσότερο με την εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα χρησιμοποιώντας ανεμιστήρες. Παρακάτω φαίνεται μια φωτογραφία ενός Μ/Σ με μονωτικά λάδια.



Φωτογραφία 3.1 Μ/Σ με μονωτικά λάδια (Πηγή Δ.Ε.Η. Α.Ε.)

Οι ολόσωμοι τριφασικοί μετασχηματιστές ανάλογα με τη διάταξη του μαγνητικού κυκλώματος διαιρούνται σε δύο τύπους :

1. Τον τύπο κελύφους (ή μανδύα), στον οποίο το μαγνητικό κύκλωμα είναι κέλυφος που περιβάλλει το τύλιγμα και
2. Ο τύπος 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, είναι η ισχύς στους ακροδέκτες του δευτερεύοντος, φαίνεται στην πλάκα και εκφράζεται σε Kilovoltamperes (kVA).
3. Η ονομαστική πρωτεύουσα τάση είναι 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 είναι η τάση στους ακροδέκτες του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή υπό κενώ 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. Στον υπολογισμό αυτόν σιωπηρώς παραδεχόμαστε ότι η ισχύς του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος είναι η ίδια.

▪ *Παράλληλη λειτουργία μετασχηματιστών*

Δύο ή περισσότεροι μετασχηματιστές είναι συνδεδεμένοι παράλληλα όταν τόσο τα πρωτεύοντα όσο και τα δευτερεύοντα τυλίγματά τους είναι συνδεδεμένα παράλληλα. 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 λειτουργήσουν οι μετασχηματιστές εν παραλλήλω υπό ιδανικές συνθήκες, πρέπει να εκπληρούν τους εξής όρους:

1. Οι σχέσεις τάσεων γραμμών τους πρέπει να είναι οι ίδιες ή περίπου ίδιες
2. Οι ΜΣ πρέπει να έχουν την ίδια μετάθεση φάσεων μεταξύ τάσεων γραμμών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος
3. Η ακολουθία των φάσεων πρέπει 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.

Οι παραπάνω όροι έχουν γραφεί κατά σειρά σχετικής σπουδαιότητας.

- ***Τοπικά Μεγάθη Μετασχηματιστών Υποβιβασμού ΥΤ/ΜΤ***

Οι εγκαταστημένοι σήμερα Μ/Σ ΥΤ/ ΜΤ, εάν μεν είναι παλαιάς προελεύσεως έχουν ονομαστική μέση τάση 15,75KV ή 23KV (μόνο 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.

3.3 Αυτομετασχηματιστής

Ένας συνήθης 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.

3.4 Διακόπτες ισχύος

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

Το μέγεθος της ισχύος βραχυκυκλώσεως, 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 :

- α. Διακόπτες ελαίου
- β. Διακόπτες πτωχού ελαίου
- γ. Διακόπτες πεπιεσμένου αέρα
- δ. Διακόπτες εξαφθοριούχου θείου (SF₆)
- ε. Διακόπτες κενού.

▪ *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 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 3.2 διακοπών ελαίου (Πηγή Δ.Ε.Η. Α.Ε.)

2. Αυτόματι 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, π.χ. 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 άλωστε 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 3.3 Διακοπών 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 αποκαταστάσεως της διηλεκτρικής αντοχής μετά τη σβέση του τόξου. Το μέταλλο των επαφών, π.χ. βανάδιο, λαμβάνεται πρόνοια να έχει όσο το δυνατόν λιγότερες φυσσαλίδες 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.

3.4.1 Αντιστάθμιση Άεργης Ισχύος

3.4.1.1 Γενικά

Το πρόβλημα της διατήρησης 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 σχεδίασεως 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 εγχύσεως 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.

3.4.1.2 Χαρακτηριστικά Πυκνωτών και Πηγών

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 στη 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, συνδεόμενα μέσω των τριτευόντων τριγωνικών τυλιγμάτων των μετασχηματιστών ισχύος των υποσταθμών μετασχηματισμού 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 Y/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 ΜΤ στην παρούσα ΜΑΣΜ προγραμματίζεται για πρώτη φορά η εγκατάσταση πυκνωτών 150 kV σε ΚΥΤ του ΕΔΣΜ.

3.5 Ζυγοί

3.5.1 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, τοποθετούμενα 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, είτε εισερχόμενα είτε εξερχόμενα, συνδεδεμένα σε ένα κοινό ζυγό.

3.5.2 Τύποι ζυγών

Τα κύρια συνιστούμενα μέρη ενός εισερχόμενου ή εξερχόμενου κυκλώματος είναι οι γραμμές, οι κόμβοι, οι διακόπτες, μετασχηματιστές και 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.

3.5.3 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:

- Ελαστικότητα συνδυασμών διασυνδέσεως λειτουργίας.
- Αυξημένες δυνατότητες εκτελέσεως συντήρησης και επισκευών.
- Δυνατότητα κατανομής της συνδέσεως 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.
- Μείωση της στάθμης βραχυκυκλώσεως κάτω από ορισμένες συνθήκες όπου αυτό είναι απαραίτητο.
- Δυνατότητα αντικαταστάσεως 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 κατάλληλη δυνατότητα.

Όπως όμως είναι προφανές η πολυπλοκότητα του σχήματος των ζυγών αυξάνει, εκτός από το κόστος και την πιθανότητα βλάβης, πράγμα βέβαια 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 αντικατάστασής 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.

3.5.4 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά των Ζυγών

- 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.

- 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.

- 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 μπάρων, δηλαδή μεταξύ δύο σταθερών σφικτήρων πρέπει να τοποθετηθεί ελαστικός σφικτήρας και φυσικά στα ελεύθερα άκρα των μπάρων πάντοτε ολισθαίνοντες σφικτήρες.

3.6 Αποζεύκτες

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 ΑΖ για απομόνωση του μηχανήματος με κατάλληλο μονωτικό κοντάρι.

Σε περίπτωση σφάλματος θα λιώσει το εσωτερικό τηκτό της ασφάλειας και θα διακοπεί το κύκλωμα.



Φωτογραφία 3.4 αποζεύκτες (πηγή Δ.Ε.Η. ΑΕ.)

3.7 Αλεξικέραυνα

Τα ΑΞ 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 ΑΞ πρέπει να είναι σημαντικά χαμηλότερη από την αντίστοιχη αντοχή των μονώσεων του προστατευόμενου μηχανήματος. Η εκλογή της ονομαστικής κρουστικής εντάσεως των ΑΞ 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 ΑΞ 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 ΑΞ είναι η τάση στην οποία είναι υπολογισμένο να αντέχει αυτό συνέχεια. Όταν ο ουδέτερος είναι γειωμένος επιτρέπεται η χρήση ΑΞ που έχουν μικρότερη ονομαστική τάση από την ονομαστική πολική.

3. Τα ΑΞ πρέπει να διατηρούν τη μόνωσή τους σε υπερτάσεις βιομηχανικής συχνότητας.

3.7.1 Κατασκευαστικά στοιχεία αλεξικεραύνων

Τα χρησιμοποιούμενα στους υποσταθμούς ΑΞ 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 ΑΞ.

Τα ΑΞ πρέπει να έχουν τα κατάλληλα για κάθε περίπτωση χαρακτηριστικά για να ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στον προορισμό τους.

3.8 Μονωτήρες

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.

3.8.1 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) πολικής 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.

3.8.2 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.

3.9 Κυματοπαγίδες- Σύστημα φερεσύχων

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, ή δυο ή και ολόκληρο φάσμα υψηλών συχνοτήτων φερεσύχων. Η υψηλή συχνότητα επικοινωνίας φτάνει μέχρι την κυματοπαγίδα χωρίς να μπορεί να περάσει από αυτή. 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 και οδηγείται σε ειδική κατασκευή που μετατρέπεται σε ακουστική.

4 .Κριτήρια σχεδίασης και επιλογής διάταξης υποσταθμών

4.1 Κριτήρια σχεδίασης Υ/Σ.

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.[17]

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 της 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 εν 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 το άνοιγμα δύο συνολικώς 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. Λαμβανομένης υπόψη της πιθανότητας 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**

Στο γενικό επίπεδο που θεωρούμε εδώ τα πράγματα είναι δύσκολο να προσδιορίσει κανείς το κόστος ενός υποσταθμού επακριβώς. Θεωρούμε πάντως ότι το κόστος ενός υποσταθμού είναι ανάλογο του αριθμού των διακοπών αυτού. Σε ότι αφορά την αξιοπιστία πρέπει να παρατηρήσουμε ότι για να διατηρείται σε υψηλά επίπεδα 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

Αυτή η ενότητα δίνει χρήσιμες πληροφορίες για το σχεδιασμό των πρωταρχικών παραμέτρων και για 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.[15]

Το πρωταρχικό σημείο για τη διαδικασία του σχεδιασμού ενός Υ/Σ είναι ως ακολούθως:

α) Η ανάγκη για έναν νέο Υ/Σ να έχει επιδοκιμαστεί.

β) Το σύνολο των καθηκόντων του, του φορτίου και γενικά η τοποθεσία να έχει αποφασιστεί.

- **Γενική τοποθεσία**

Για την τοποθεσία ενός νέου Υ/Σ στο δίκτυο, διάφορες εναλλακτικές συχνά υπάρχουν. Το συνολικό κόστος αυτών θα πρέπει να υπολογίζεται. Το κόστος της κατασκευής νέων γραμμών μεταφοράς και η ενίσχυση των ήδη υπαρχόντων 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**

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 τόσο όσο οι επιλογές διατάξεων αντιστάθμισης θα πρέπει να επιλεγούν για μελλοντικές ανάγκες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διάρκεια ζωής ενός Υ/Σ μπορεί να είναι ανάμεσα 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, μία καλή εκτίμηση θεωρείται η πρόγνωση για 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, επανακατασκευή αυτών ή επέκταση διατάξεων ζυγών μπορεί να είναι πολύ δύσκολη και χρονοβόρα, εάν δεν έχει γίνει προηγούμενος σχεδιασμός γι'αυτά.

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:

- a) Επιλεκτικά.
- b) Έτσι ώστε η διαβάθμιση ρεύματος σφάλματος των γραμμών και του εξοπλισμού να μην ξεπερνά τα όρια.
- c) Έτσι ώστε να μην προκαλείται κανένας κίνδυνος στο προσωπικό και απαιτήσεις του κώδικα ασφαλείας να πληρούνται.
- d) Μέσα σε τέτοιο χρόνο ώστε η σταθερότητα του δικτύου να διατηρείται.
- e) Με τέτοιο τρόπο ώστε το φορτίο και η παραγωγή να διατηρούνται σε ισορροπία.

Για κάθε στοιχείο προστασίας παρέχεται εφεδρική προστασία συνήθως και 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:

- a) Προστασία βραχυκυκλώματος.
- b) Προστασία σφάλματος γείωσης.
- c) Προστασία αρμονίας υποσταθμού.
- d) Προστασία υπερφόρτισης.
- e) Προστασία από υπερτάσεις.

- f) 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, συμπεριλαμβανομένου τον συνολικό αριθμό των κυκλωμάτων, τον προορισμό των γραμμών και την ανάλογη ονομαστική ισχύ των μετασχηματιστών.

Τυπικά, σε ολόκληρη την περιοχή, το κλίμα και το ύψος είναι σχεδόν το ίδιο, αλλά τεχνικοί και περιβαντολλογικοί παράγοντες ποικίλουν.

Το πρώτο βήμα είναι να τοποθετηθούν 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 περιβαντολλογικές επιπτώσεις. Είναι σε πλεονεκτική θέση να τοποθετούνται Υ/Σ κοντά σε ήδη υπάρχοντες διαδρόμους γραμμών ή ακόμα σε σημεία διασταύρωσης. Μερικές φορές τέτοια σημεία απλά δεν υπάρχουν και η επιλογή θα περιοριστεί σε μέρη που έχουν μόνο κάποια από τα παραπάνω χαρακτηριστικά.

Όταν οι πιθανές τοποθεσίες έχουν προσδιοριστεί, γίνεται σε αυτές μια ανάλυση για όλους τους τεχνικούς και περιβαντολλογικούς παράγοντες για την κάθε μία, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους, πιθανών περιβαντολλογικών επιπτώσεων και τα προληπτικά ή διορθωτικά μέτρα που μπορούν να παρθούν ώστε να αποφευχθούν ή να μειωθούν. Αξίζει επίσης να συνεκτιμηθεί η κοινωνική αποδοχή του σχεδίου.

Αυτή η ανάλυση αποτελεί τα κριτήρια της επιλογής της πιο κατάλληλης τοποθεσίας, συμπεριλαμβανομένου και του μεγέθους της εφικτότητας και του κόστους κάθε

εναλλακτικής. Εάν δεν βρεθεί καμία κατάλληλη περιοχή τότε η διαδικασία επανεκινείται με άλλη γενική τοποθεσία.

- ***Περιβαντολογικοί παράγοντες στη σχεδίαση του Υ/Σ.***

Αυτός ο παράγοντας έχει το μεγαλύτερο αποτέλεσμα στην μείωση των πιθανών επιπτώσεων στο φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον, αφού πολλές από τις πιθανές επιπτώσεις ενός Υ/Σ, και κυρίως οι διαστάσεις αυτών των συνεπειών, εξαρτώνται από το αν η τοποθέτησή του αποφεύγει πιο ευαίσθητες περιοχές.

Μερικούς από τους παράγοντες που δίνονται παρακάτω είναι οι περιορισμοί συμπεριλαμβανομένου και την τεχνική οπτική γωνία. Αγνοώντας τους, δηλαδή χωρίς να λαμβάνονται υπόψη μπορεί να έχει μία έμμεση επίπτωση στην προστασία του περιβάλλοντος.

1. Έδαφος

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

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, συμπεριλαμβανομένου 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, την αποφυγή της παρεμβολής τους, και στις υπόγειες δεξαμενές, στην αποφυγή οποιαδήποτε ζημιάς του υπόγειο δικτύου.

3. Βλάστηση

Η τοποθέτησή του, αν είναι δυνατόν θα πρέπει να είναι σε περιοχές με χαμηλή αγροτική παραγωγικότητα ή ακαλλιέργητες εκτάσεις, στις οποίες η ήδη υπάρχουσα βλάστηση έχει μεγάλη οικολογική αξία.

4. Πανίδα

Η τοποθεσία θα πρέπει να επιλεγεί έτσι ώστε να αποφευχθούν περιοχές οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί σαν περιοχές προστασίας, λόγω των σημαντικών ζωικών κοινοτήτων, ιδίως προς εξαφάνιση.

5. Πληθυσμός και οικονομία

Όσο το περισσότερο δυνατό, ο Υ/Σ θα πρέπει να τοποθετείται σε σημεία μακριά από πολυπληθυσμικά 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

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

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, σαν αποτέλεσμα της τοποθέτησης του Υ/Σ στην περιοχή του μνημείου και επηρεάζοντάς το οπτικό τοπίο.

8. Υποδομή και άλλος εξοπλισμός

Θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η παρουσία άλλων υποδομών, όπως κεραίες 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 επιπλέον 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, παρ'όλα 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

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

- α) Το επίπεδο ικανοτήτων και εμπειρίας του λειτουργικού προσωπικού.
- β) Την μελλοντική επέκταση και ανάπτυξη του υποσταθμού.
- γ) Οικονομία στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης.
- δ) Τη διευκόλυνση μελλοντικών επεκτάσεων.
- ε) Επανάληψη των κυκλωμάτων δίνοντας εναλλακτικούς δρόμους παροχής.

στ) Το μέγεθος της ισχύος που μεταφέρεται.

ζ) Στρατηγική σημασία των κυκλωμάτων.

η) Τη συνεχή λειτουργία άλλων σημαντικών μερών του δικτύου.

θ) Την αξιοπιστία του υποσταθμού σαν σύνολο και των ξεχωριστών τμημάτων που τον αποτελούν.

ι) Τη πρότυπη τακτική του οργανισμού.

κ) Τις απαιτήσεις συντήρησης και τις τεχνικές.

λ) 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 είναι η λειτουργική ευελιξία, η ασφάλεια συστήματος, 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 περιορίσει 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:

ι) 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 διατάξεως έχουν σημαντική επίδραση στην αξιοπιστία και στην διαθεσιμότητα όπως υποχρεωτικές διακοπές και πτώσεις λειτουργίας. Μόνο υπολογισμοί μπορούν να δώσουν ακριβή αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει γιατί τα διαθέσιμα στατιστικά αποτυχίας είναι βασισμένα σε παλιότερες γεννήτριες και συσκευές και 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 την εκτίμηση της απόδοσης διαφορετικών διατάξεων υποσταθμών με σεβασμό 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 επιτρέπουν απλή και αποτελεσματική συντήρηση στην φυσιολογική λειτουργία του υποσταθμού αλλά και στην επιλογή των διαφορετικών ζυγών τροφοδοσίας καθώς και στις σχεδιασμένες διακοπές λειτουργίας για συντήρηση και επέκταση.

5. Τύποι διατάξεων υποσταθμών

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 μετασχηματιστές ισχύος, διακόπτες, αποζεύκτες, οι διαστάσεις και η τοποθεσία παρακείμενων γραμμών μεταφοράς μπορεί να ποικίλουν για να ταιριάζουν σε ατομικές απαιτήσεις. Παρ' όλα αυτά, η κατασκευή ενός νέου ή η επέκταση ενός υπάρχοντος υποσταθμού δε θα πρέπει να συμβιβάζει την προτιμώμενη οδηγία κατασκευής διατάξεως.

5.1 Διάταξη ενός ζυγού

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 η κάθε μετασχηματιστής είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένος με το ζυγό τροφοδοσίας μέσω ενός μόνο διακόπτη. Αυτή είναι η πιο απλή των διατάξεων στο σχεδιασμό και στην λειτουργία αλλά ταυτόχρονα είναι και η λιγότερο ευέλικτη και αξιόπιστη. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε στην κατασκευή υψηλής είτε χαμηλής τάσης διατάξεις 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 δηλαδή χρειάζεται το άνοιγμα του διακόπτη κατά τη διάρκεια της συντηρήσεως δηλαδή 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. Και αυτό μπορεί να ξεπεραστεί με την προσθήκη διακοπών αλλά παράλληλα μπορεί να μειώσει την αξιοπιστία των συστημάτων προστασίας. Επίσης θα πρέπει να αποφορτιστεί ολόκληρος ο σταθμός αν

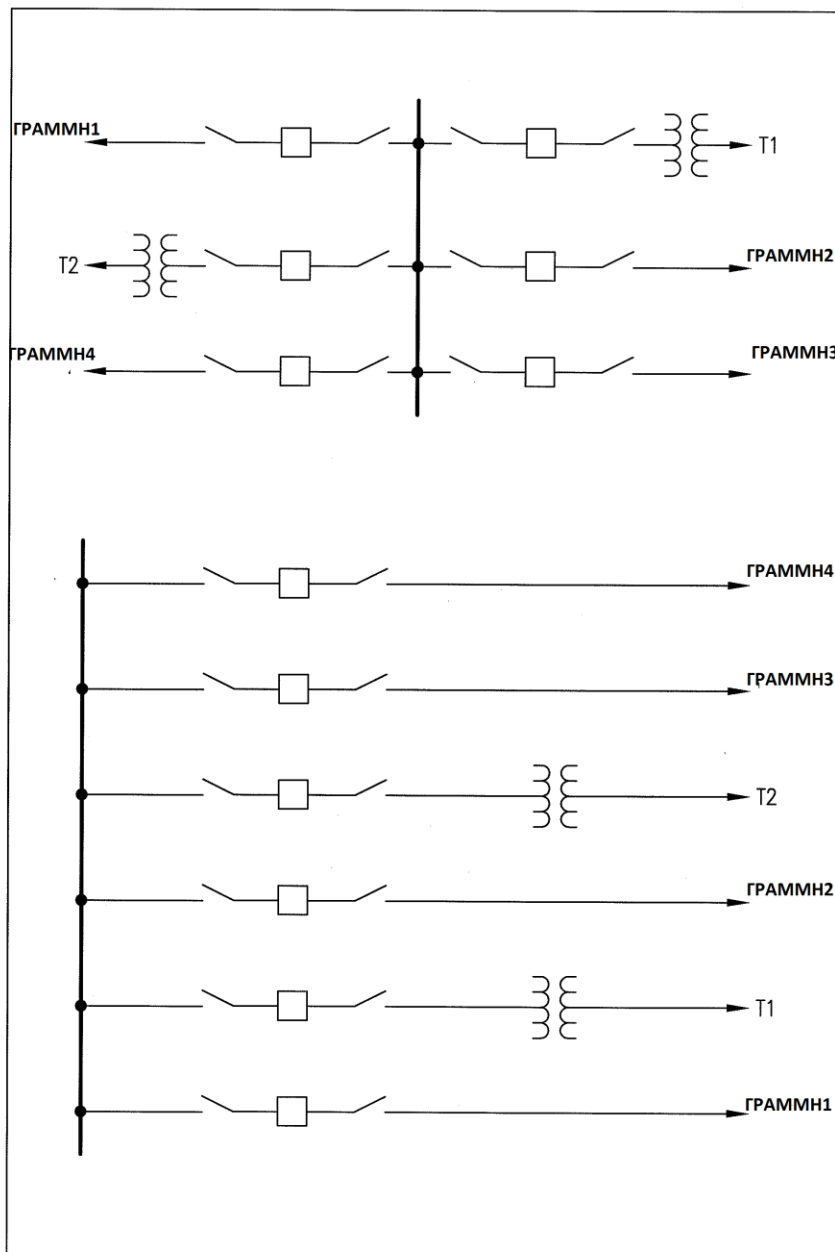
χρειαστεί να επεκτείνουμε το ζυγό τροφοδοσίας ή να προσθέσουμε επιπλέον γραμμές τροφοδοσίας ή μετασχηματιστές σε αυτόν.

Σε περίπτωση σφάλματος ζυγών ή αποτυχίας της λειτουργίας ενός διακόπτη, σε λανθασμένες συνθήκες θα έχει ως αποτέλεσμα να χάνεται ολόκληρο το δίκτυο. Αυτό με τη σειρά του έχει ως συνέπεια υπερφορτίσεις των γραμμών μεταφοράς ή του εξοπλισμού καθώς και ασυνήθιστες ροές ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο.

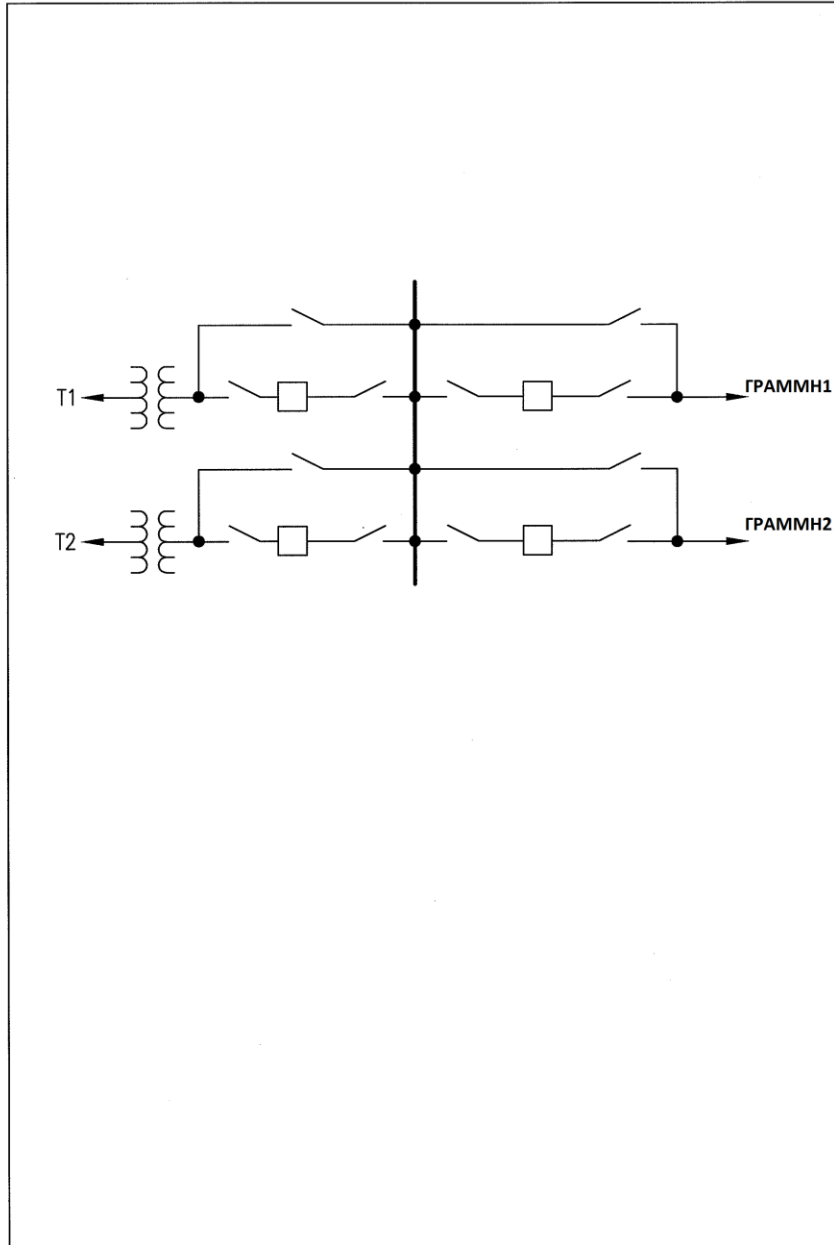
Σε σύστημα διανομής δεν προτείνεται αυτή η διάταξη χωρίς την επιπλέον τοποθέτηση παρακαμπτήριων διακοπών που παρέχουν τη δυνατότητα της διατήρησης λειτουργίας κάποιων άλλων διακοπών κατά τη διάρκεια συντηρήσεως του δικτύου, έτσι ώστε να μην έχουμε ολική απώλεια αυτού. Το σχήμα 5.2 απεικονίζει μια τέτοια διάταξη με επιπλέον παρακαμπτήριους διακόπτες. Αυτή η διάταξη παρόλα 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 η 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.



Σχ.5.1 Διάταξη ενός ζυγού



Σχ.5.2 Διάταξη ενός ζυγού με παρακαμπτήριους διακόπτες ή διακόπτες διακλάδωσης.

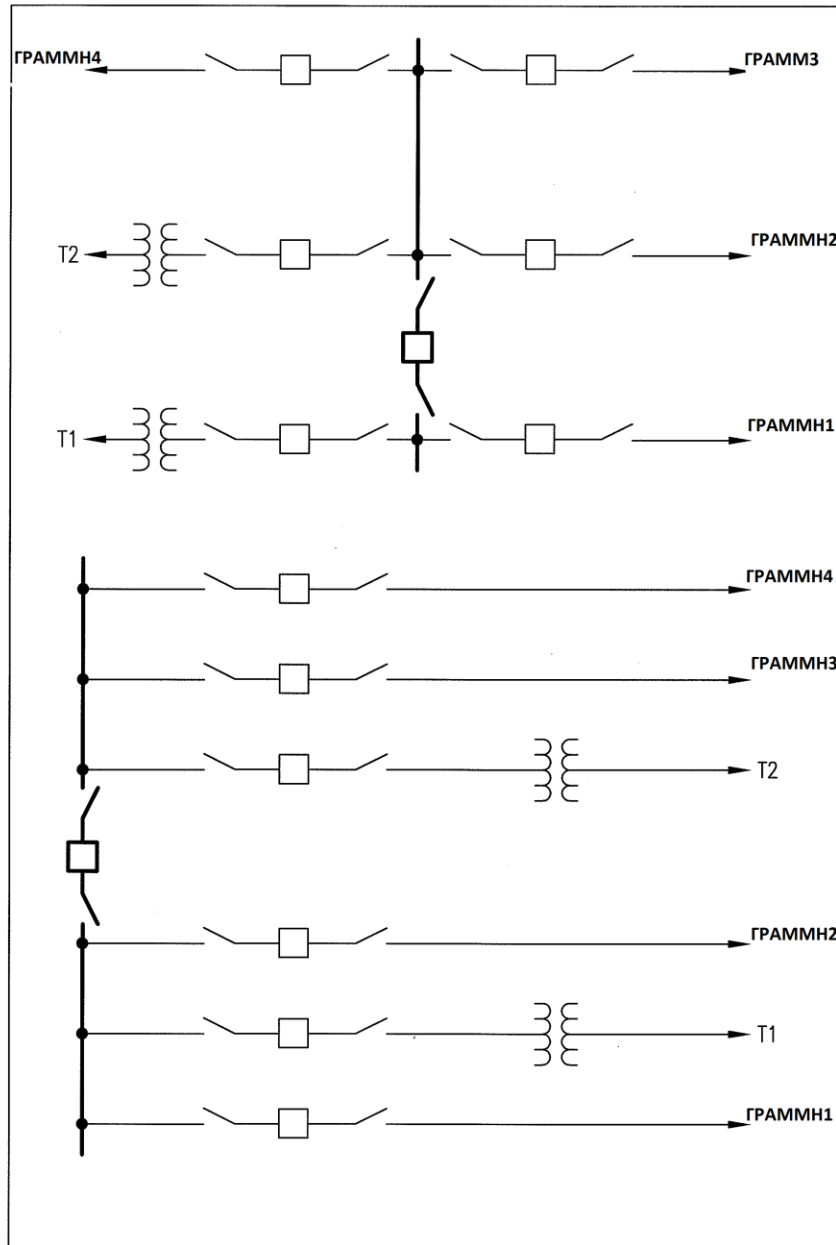
5.2 Διάταξη τμηματοποιημένου ζυγού

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 στο 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 υλοποίησή 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.



Σχ.5.3 Διάταξη ενός ζυγού με τμηματοποίηση διακόπτη.

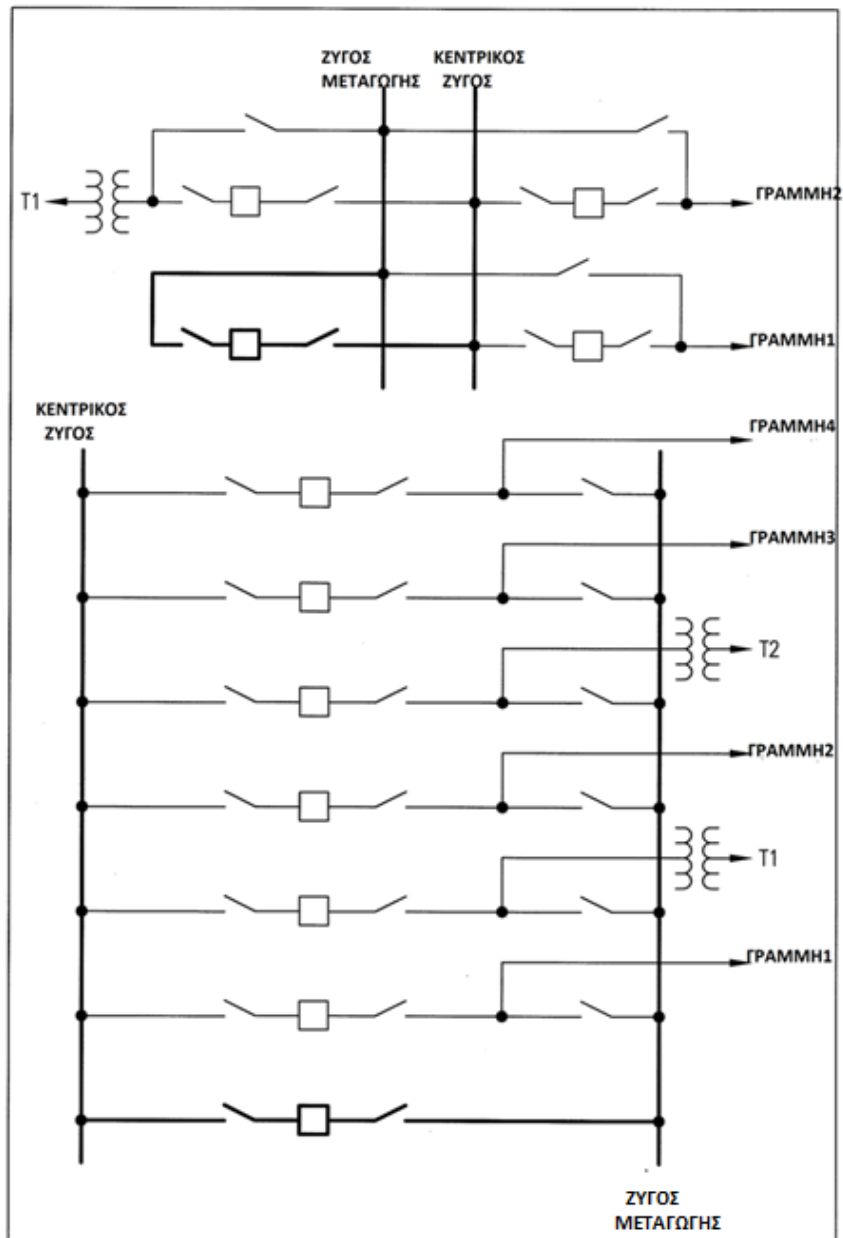
5.3 Διάταξη κεντρικού ζυγού με ζυγό μεταγωγής

Μία διάταξη κεντρικού ζυγού και μεταγωγής αποτελείται από δύο ανεξάρτητους ζυγούς ο ένας εκ των οποίων ο κύριος 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 που 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.

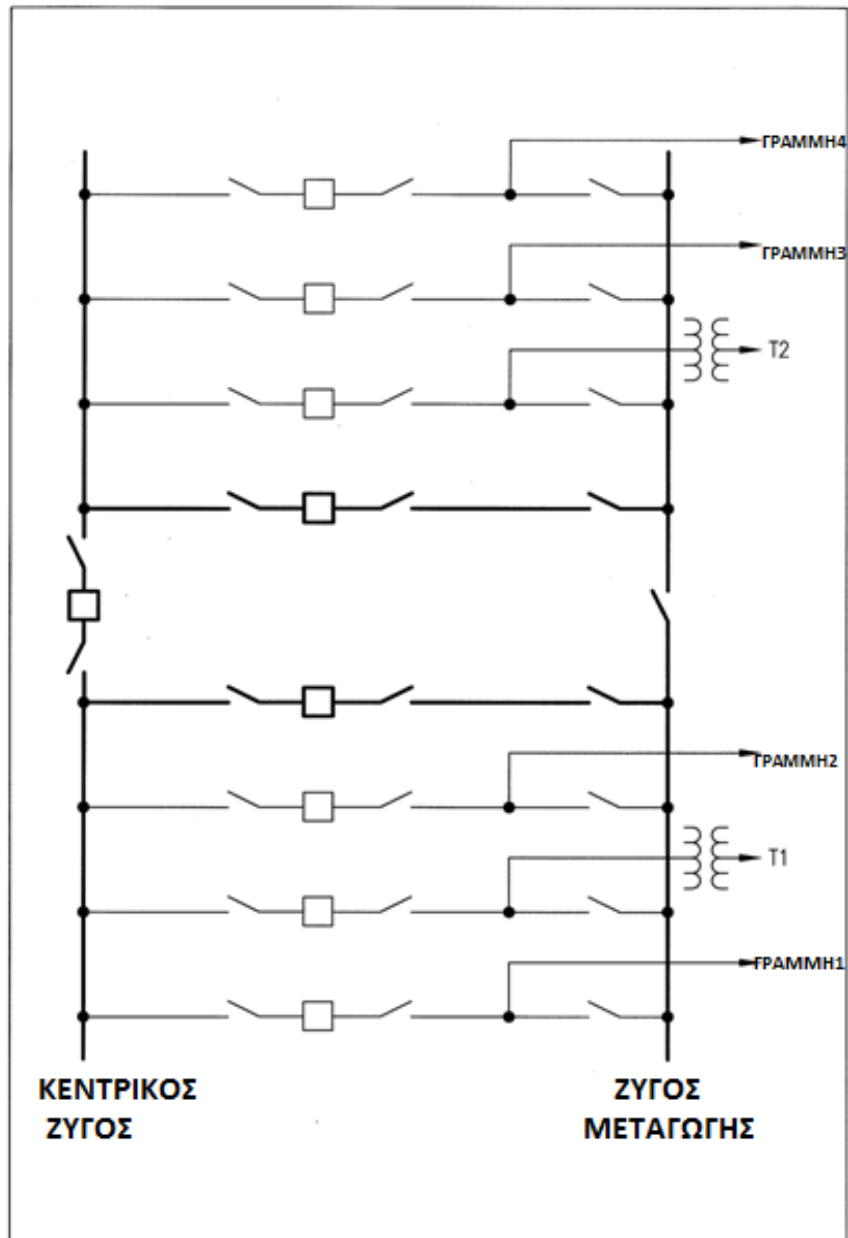
Το σχήμα 5.4 απεικονίζει απλοποιημένες μορφές αυτής της διάταξης. Όπως και στην διάταξη του ενός ζυγού είναι δυνατόν να ενσωματωθούν ένας ή περισσότεροι τμηματοποιημένοι διακόπτες για να παρέχουν επιπλέον ευελιξία και αξιοπιστία στη διάταξη. Το σχήμα 5.5 απεικονίζει μια τέτοια διάταξη ενός κεντρικού 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 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.



Σχ.5.4 Διάταξη κεντρικού ζυγού σε συνδυασμό με ζυγό μεταγωγής.



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

5.4 Διάταξη με δακτυλιοειδή ζυγό

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.

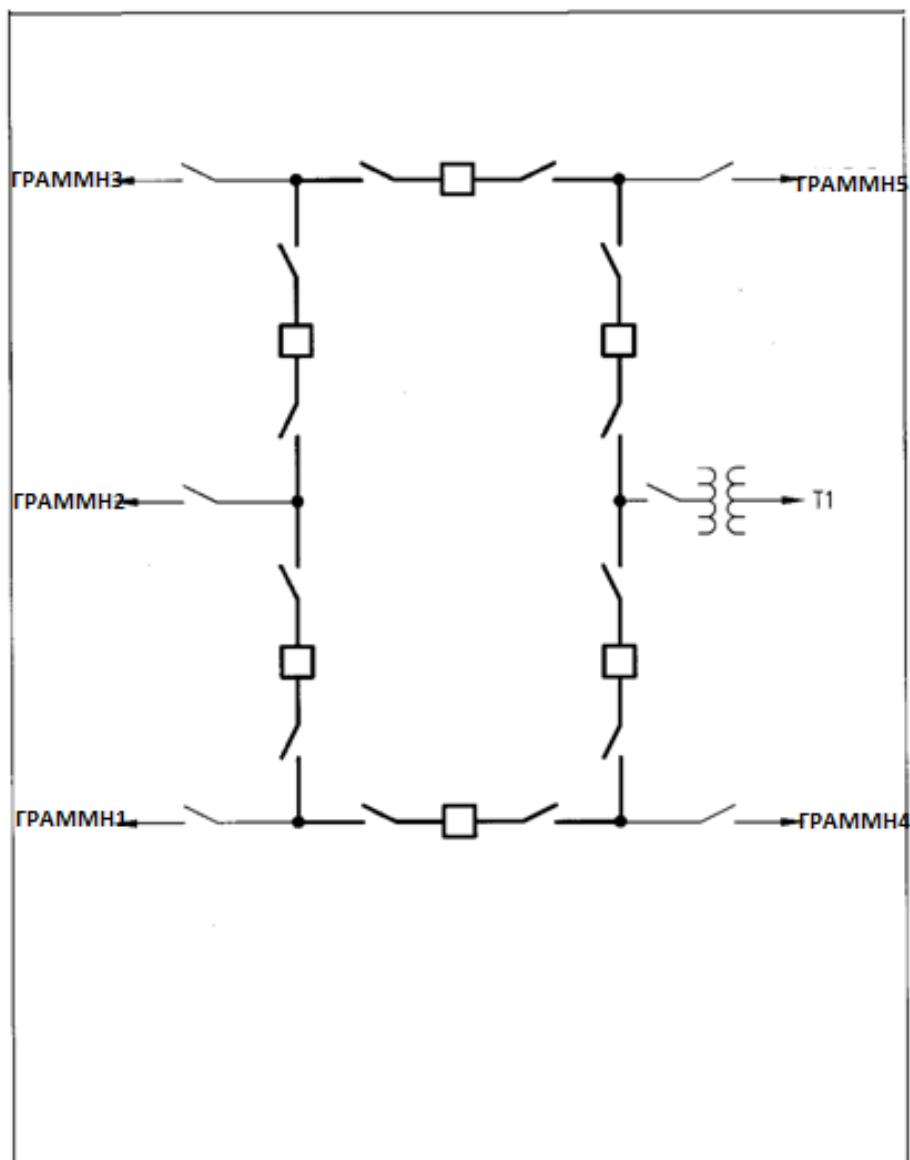
Η αξιοπιστία του συστήματος υποβαθμίζεται επίσης σημαντικά όταν δύο ή μία γραμμή μεταφοράς και ένας μετασχηματιστής βγαίνουν ταυτόχρονα εκτός λειτουργίας και για αυτό δεν θα πρέπει να μοιράζονται τον ίδιο διακόπτη. Η πιο κοινή περίπτωση συμβαίνει όποτε δύο γραμμές μεταφοράς τοποθετούνται σε κοινή διάταξη 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.

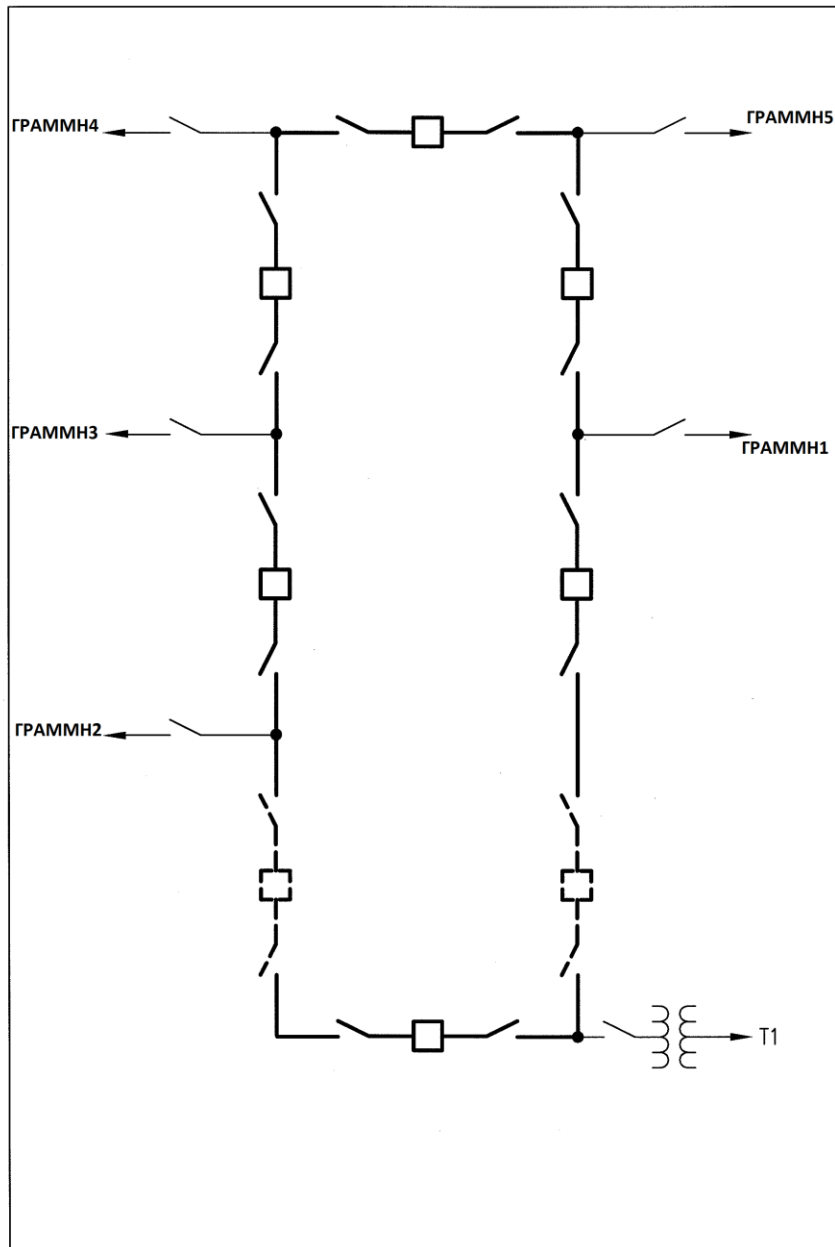
Η διάταξη του δακτυλοειδή ζυγού λοιπόν πλεονεκτεί όσον αφορά στην ευελιξία, στην λειτουργία και στην ευκολία της κατανόησης των ζωνών προστασίας και ελέγχου και

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.

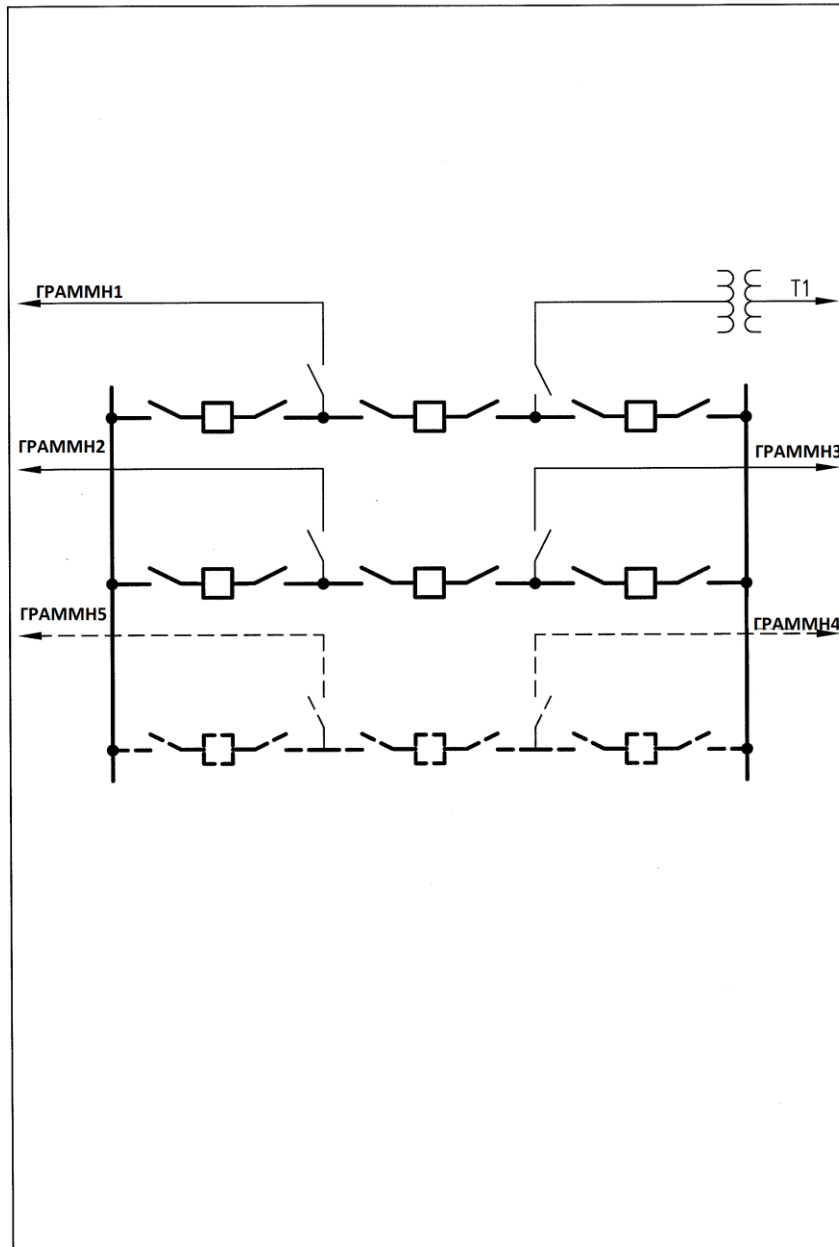
Εκεί που μειονεκτεί είναι στο ότι ο δακτυλιοειδής ζυγός μπορεί να διαχωριστεί, για σφάλματα σε δύο γραμμές μεταφοράς, σε μία κοινή διάταξη μετάδοσης ή για ένα σφάλμα σε μία γραμμή μεταφοράς ή σε ένα μετασχηματιστή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της συντήρησης αφήνοντας πιθανούς ανεπιθύμητους συνδυασμούς 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 δακτυλιοειδής 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.



Σχ.5.6 Διάταξη δακτυλιοειδή ζυγού.



Σχ.5.7 Διάταξη δακτυλιοειδή ζυγού με πρόβλεψη δύο διακοπών σε σειρά.



Σχ.5.8 Διάταξη δακτυλιοειδή ζυγού επεκτάσιμο σε διάταξη 1.5 διακόπτη.

5.5 Διάταξη 1.5 διακόπτη (breaker and a half)

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.

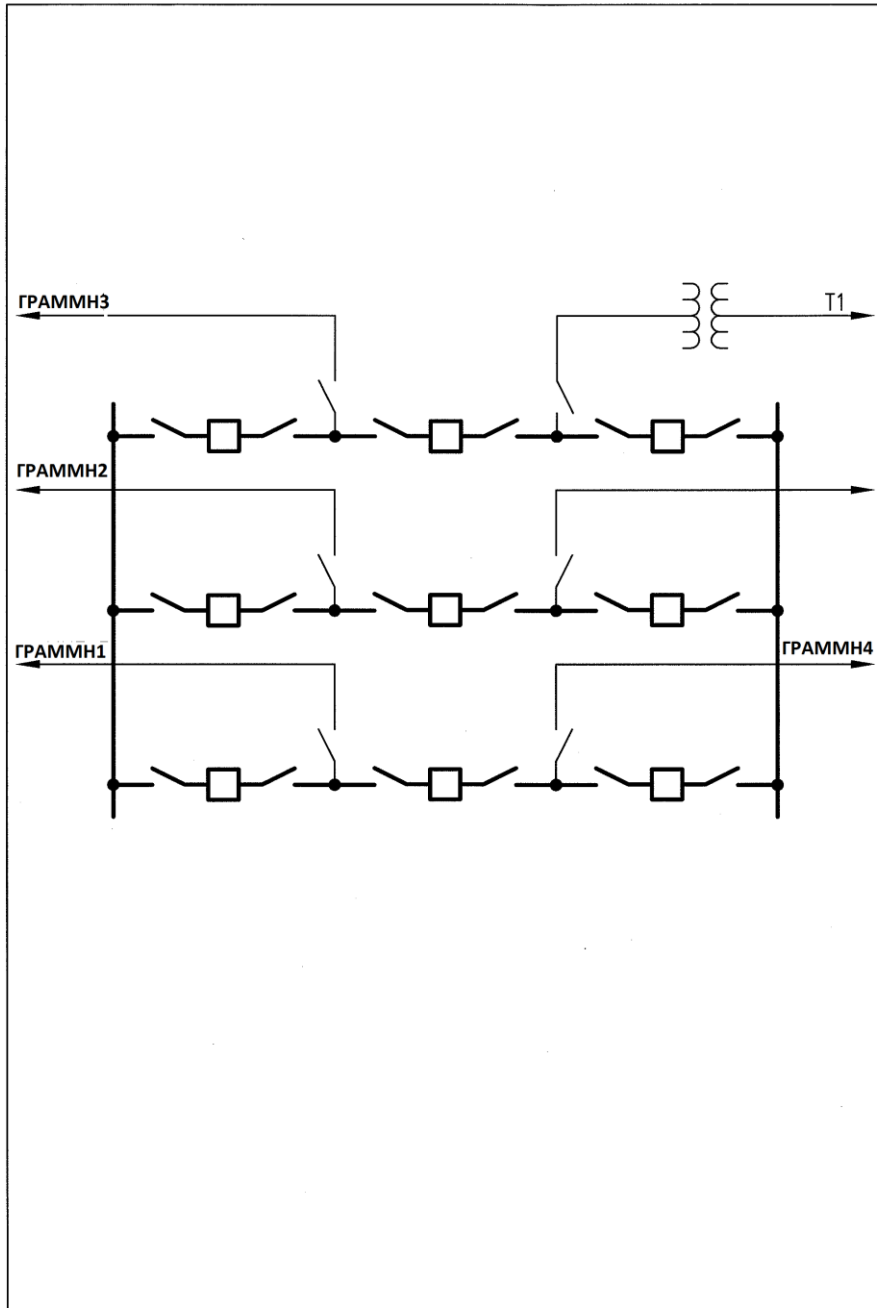
Σε αυτές τις τοποθεσίες όπου ο αριθμός των ηλεκτρικών διαδρομών είναι περιορισμένος και η πλειοψηφία των αναχωρήσεων πρέπει να βγει από τον υποσταθμό ακολουθώντας μία μοναδική διαδρομή θα πρέπει να προτιμούνται ποικιλίες της βασικής διάταξης του 1.5 διακόπτη. Το σχήμα 5.10 απεικονίζει μια τέτοια διάταξη 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 τον συνδυασμό 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 διακοπών στο κέντρο ή μοιραζόμενη θέση διακόπτη.

Το σχήμα 5.12 και 5.12A 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

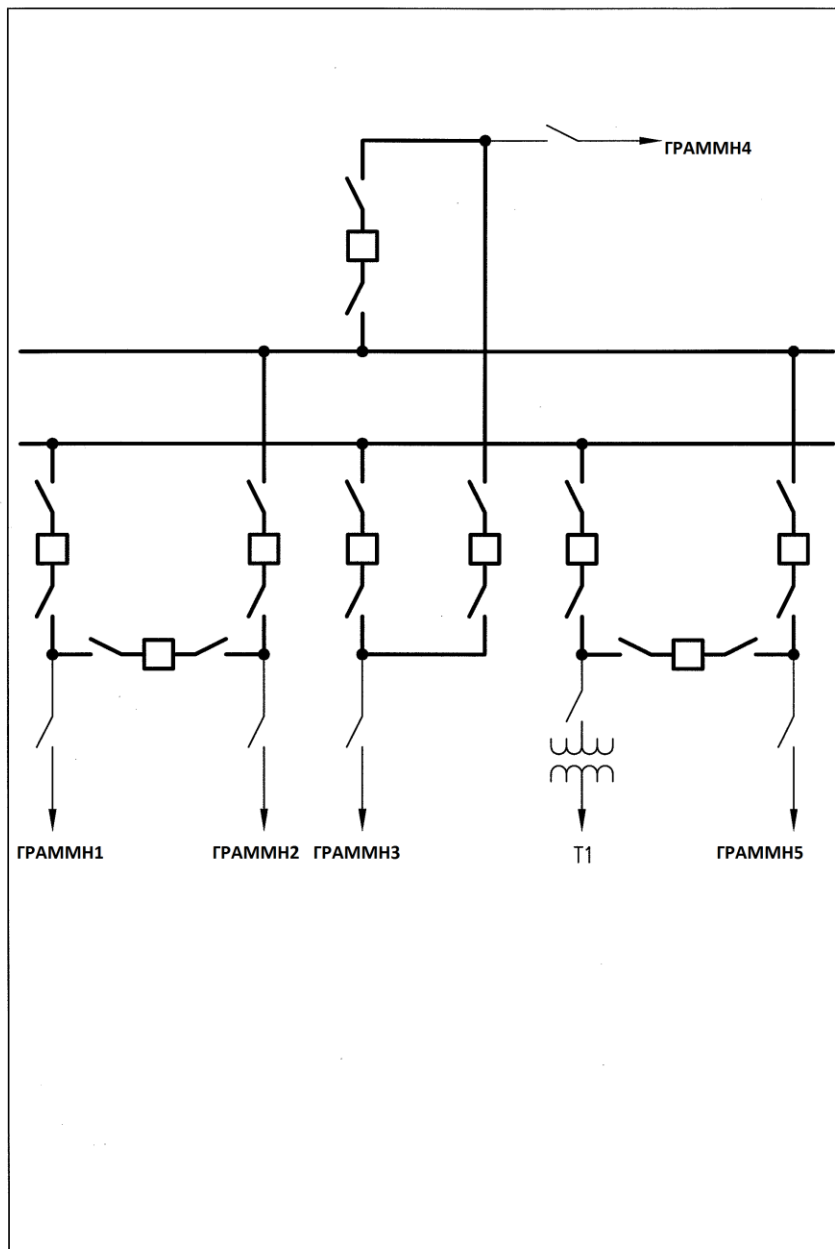
σημασία αυτό το επιπλέον κόστος. Είναι προτεινόμενο τέτοιες ηλεκτρικές συνδέσεις να μην επιτρέπονται.

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.

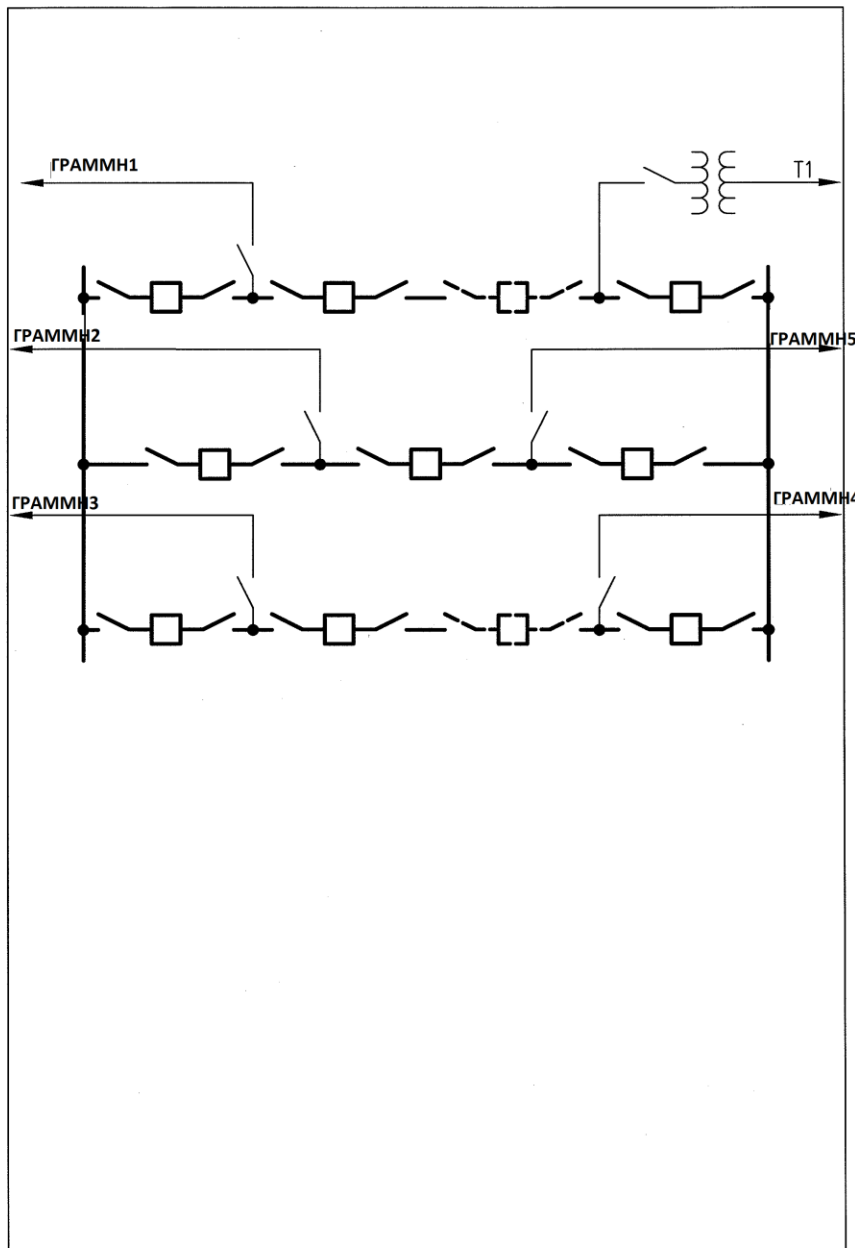


Σχ.5.9 Βασική διάταξη 1.5 διακόπτη

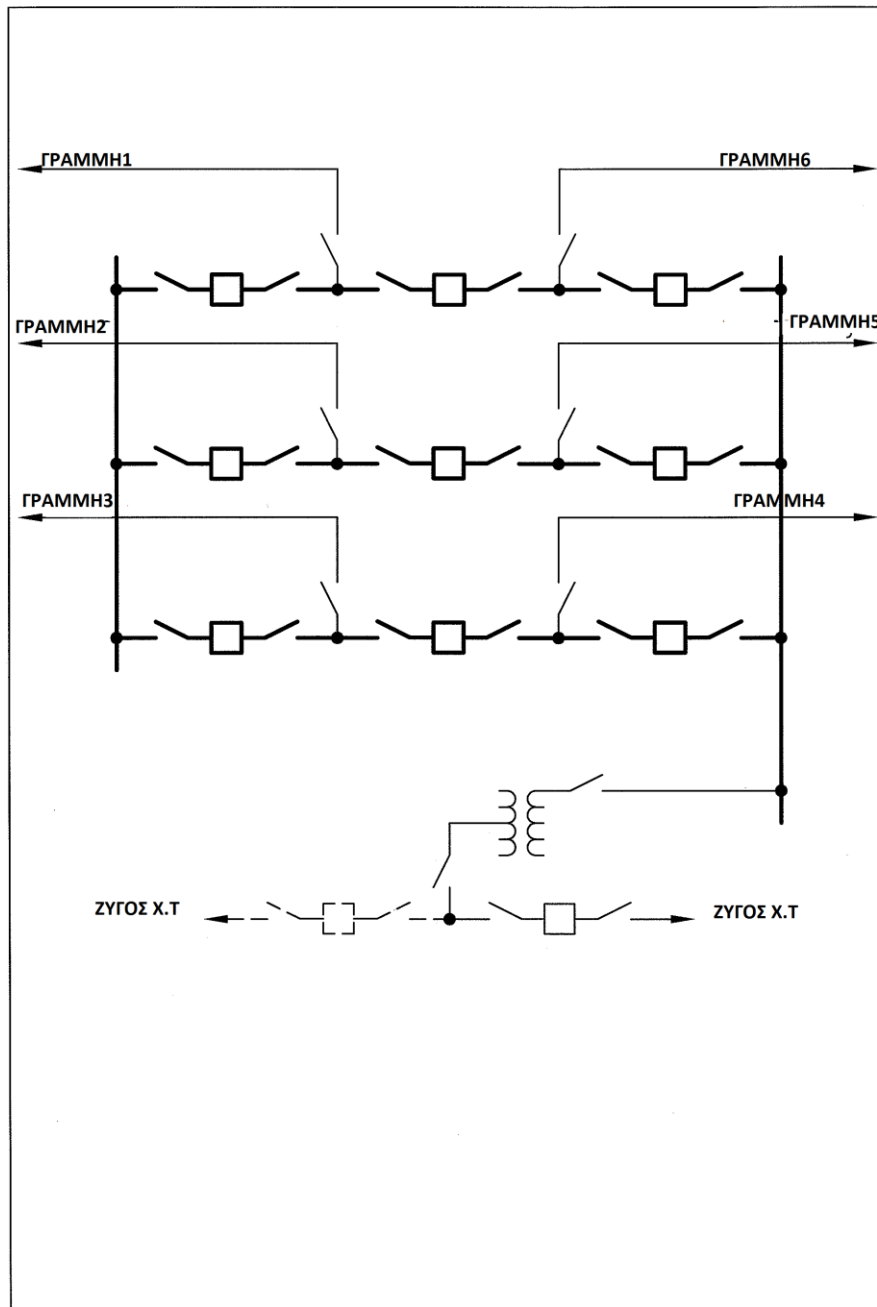
Παρακάτω φαίνονται ποικίλες διαφοροποιήσεις της διατάξεως 1.5 διακόπτη.



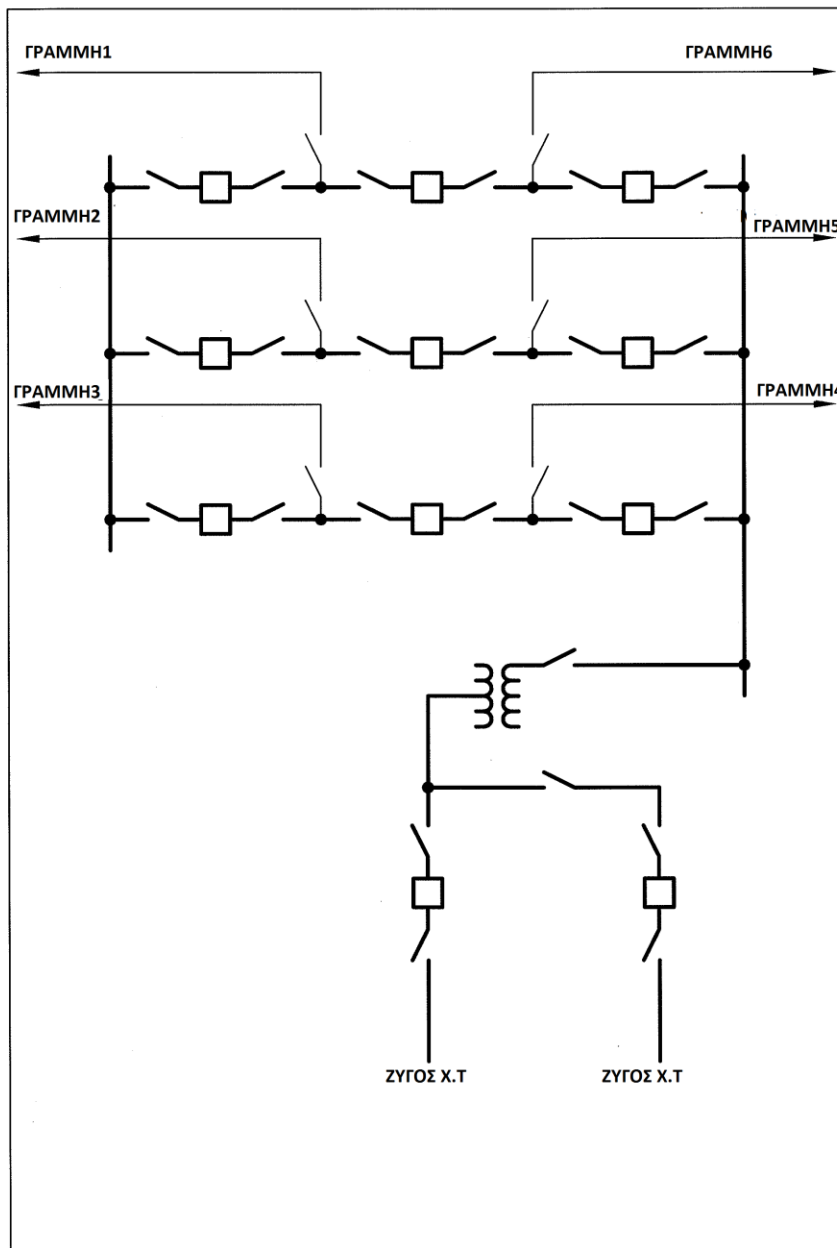
Σχ.5.10 Συμπυγμένη διάταξη 1.5 διακόπτη



Σχ.5.11 Διάταξη 1.5 διακόπτη με πρόβλεψη για μελλοντική σύνδεση δύο διακοπών σε σειρά.



Σχ.5.12 Διάταξη 1.5 διακόπτη με αυτομετασχηματιστή συνδεδεμένο στον κύριο ζυγό.



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

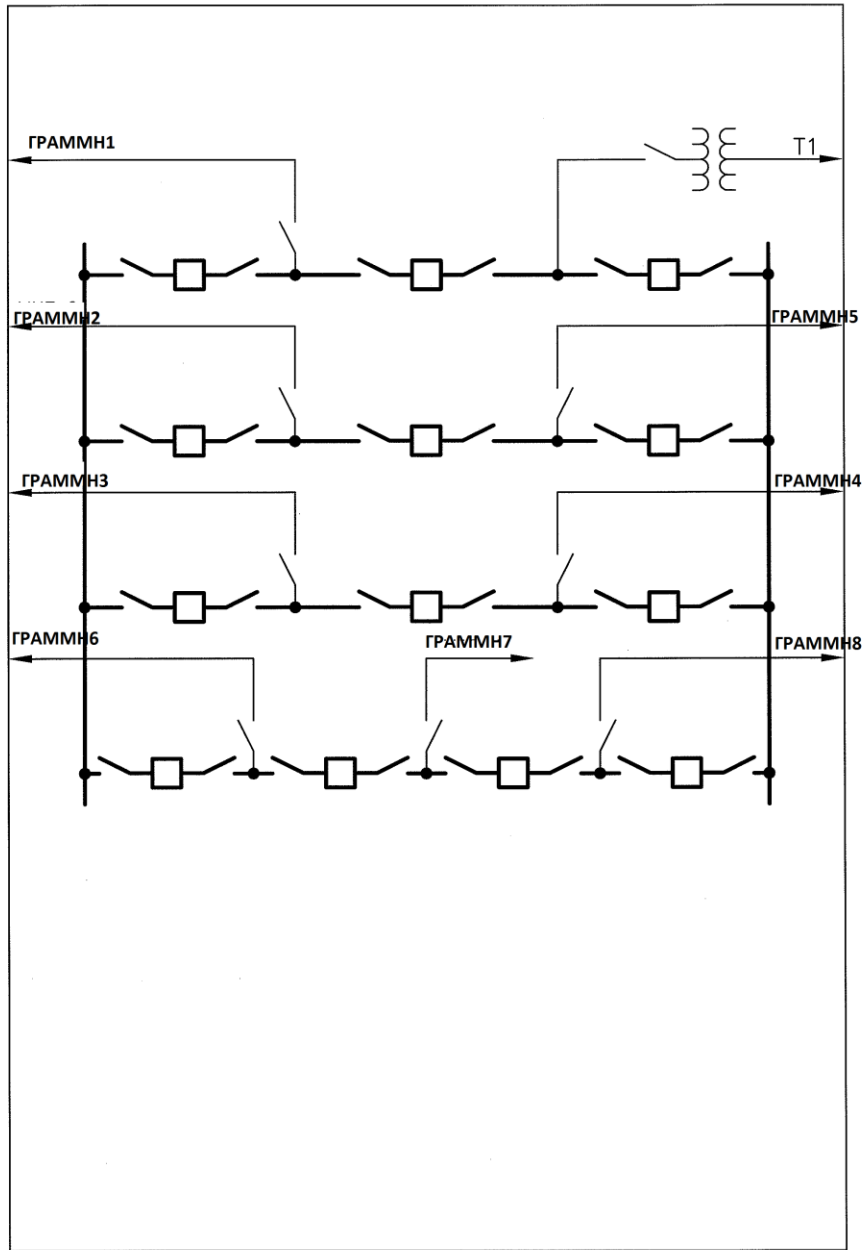
5.6 Διάταξη ενός και ενός τρίτου διακόπτη, $1 + \frac{1}{3}$ (Breaker and a third bus arrangement)

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 παρόλα αυτά 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 διακόπτες 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 περιβαντολλογικά ή οικονομικά, μια διάταξη $1 + \frac{1}{3}$ διακόπτη μπορεί να αποτελέσει μια αποδεκτή εναλλακτική.



Σχ.5.13 Συνδυασμένη διάταξη 1.5 και $1 + \frac{1}{3}$ διακόπτη.

5.7 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.[7]

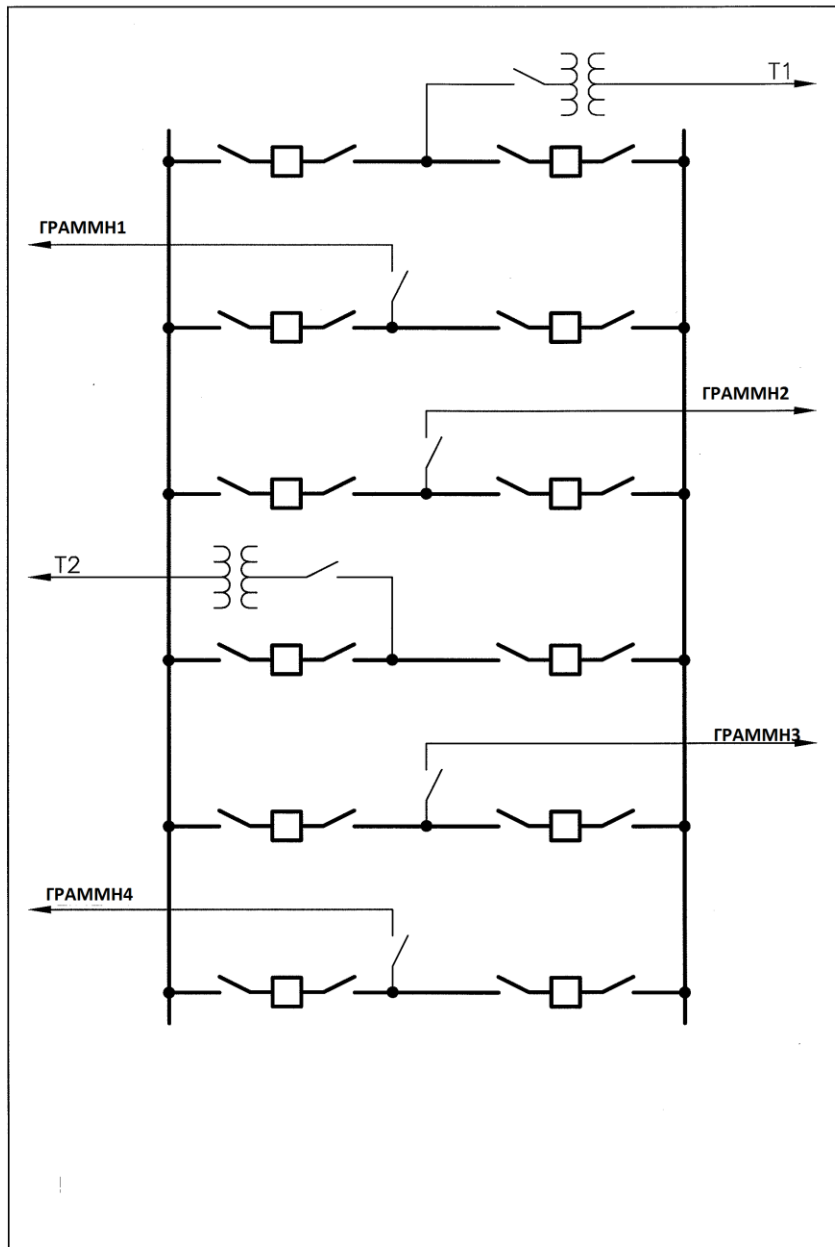
Σε αυτή τη διάταξη, κάθε διακόπτης μπορεί να βγει εκτός λειτουργίας χωρίς να διακόπτεται η ροή ισχύος σε κάθε γραμμή μεταφοράς και ή σε μετασχηματιστή ή σε κύριο ζυγό. Ένα σφάλμα σε οποιοδήποτε από τους δύο ζυγούς δεν έχει άμεση επίπτωση στη ροή ισχύος στις γραμμές μεταφοράς, διότι προκαλεί άνοιγμα όλων 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.

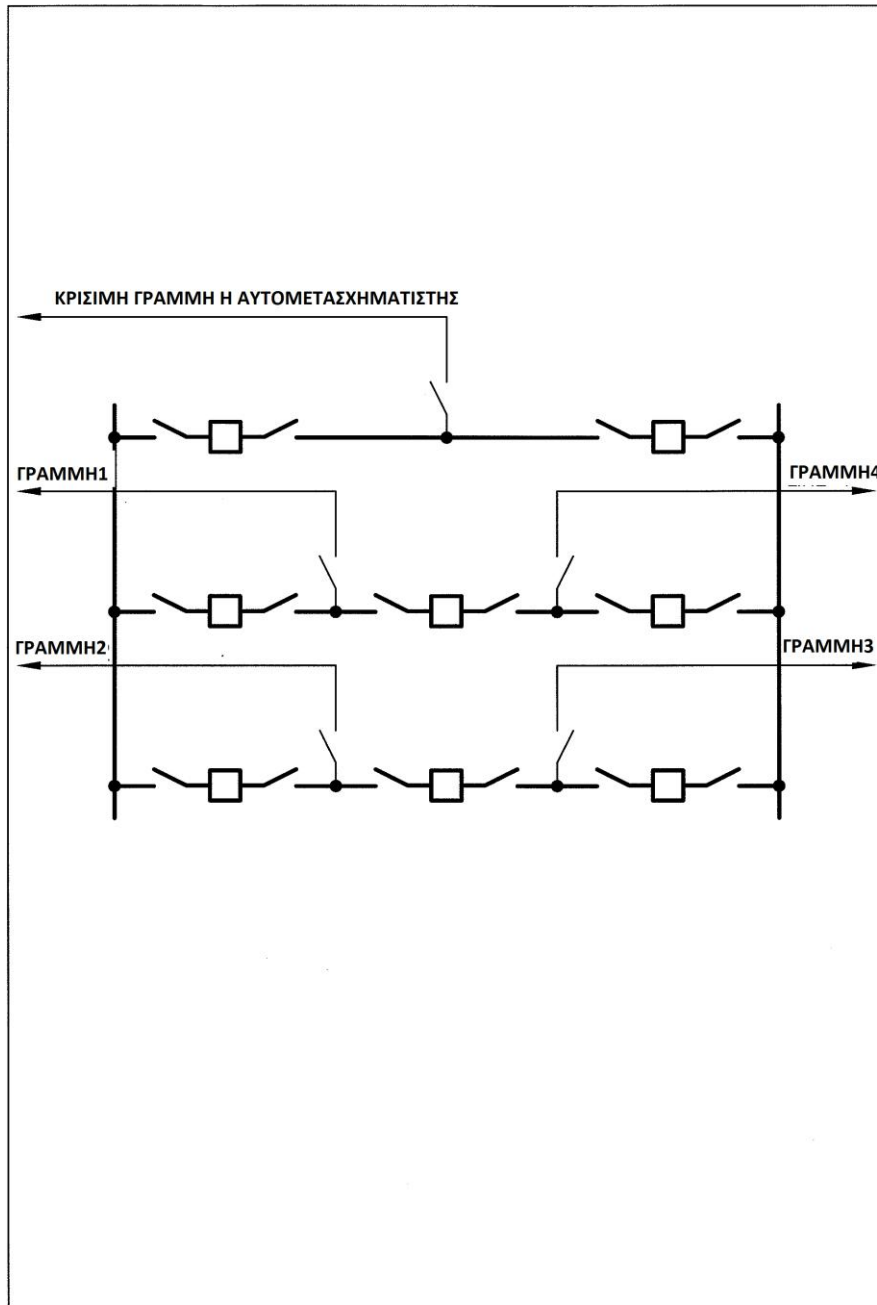
Αυτή η διάταξη πλεονεκτεί γιατί έχουμε δύο διακόπτες ανά αναχώρηση και έχουμε μεγάλη ασφάλεια όταν και οι δύο διακόπτες είναι κλειστοί. Μεγάλη ευελιξία

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.



Σχ.5.14 Διάταξη διπλού ζυγού με δύο διακόπτες ανά αναχώρηση.



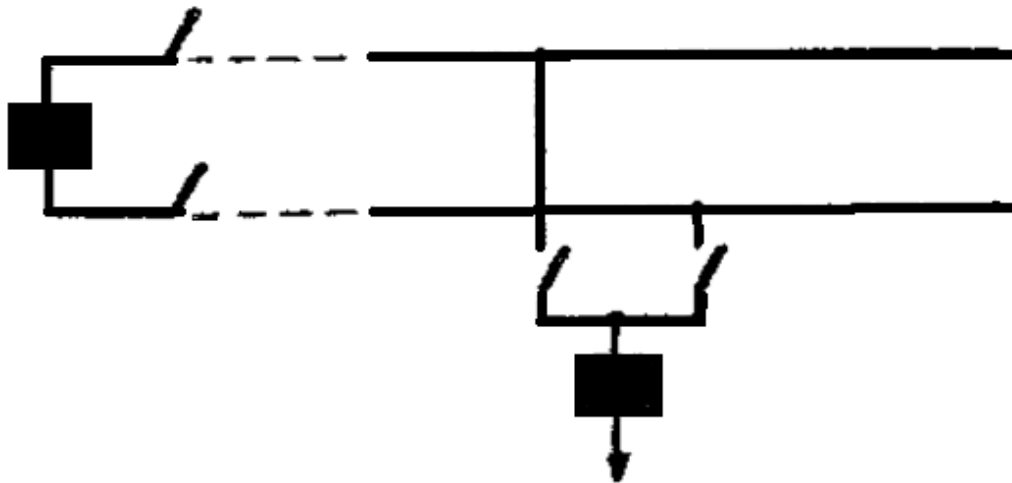
Σχ.5.15 Συνδυασμένη διάταξη διπλού ζυγού-διπλού διακόπτη και διάταξη 1.5 διακόπτη.

5.8 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 εξαρθρώνεται επικίνδυνα το δίκτυο. Αντίθετα σε περίπτωση σφάλματος γραμμής αρκεί το άνοιγμα ενός διακόπτη του υποσταθμού.[17]

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 κ με διακόπτες. Συμπληρωματικά αναφέρεται ότι το πρόσθετο κόστος ενός τρίτου ζυγού δεν δικαιολογείται παρά μόνο σε υποσταθμούς με μεγάλο αριθμό αναχωρήσεων.



Σχ.5.16 Διάταξη δύο ζυγών με ένα διακόπτη ανά αναχώρηση

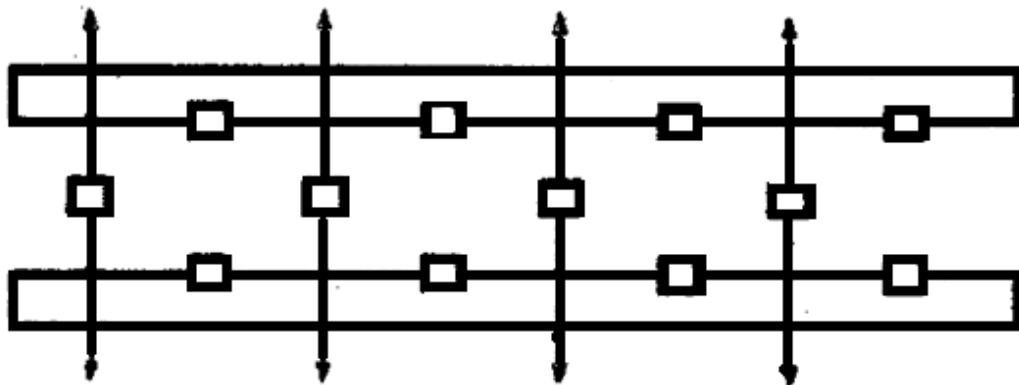
Παραπάνω αναφέρθηκαν οι πιο διαδεδομένες διατάξεις υποσταθμών υψηλής τάσης ενώ παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες λιγότερο διαδεδομένες που μπορεί να είναι και συνδυασμοί αυτών, ακόμα και υποπεριπτώσεις.

5.9 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.[17]

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

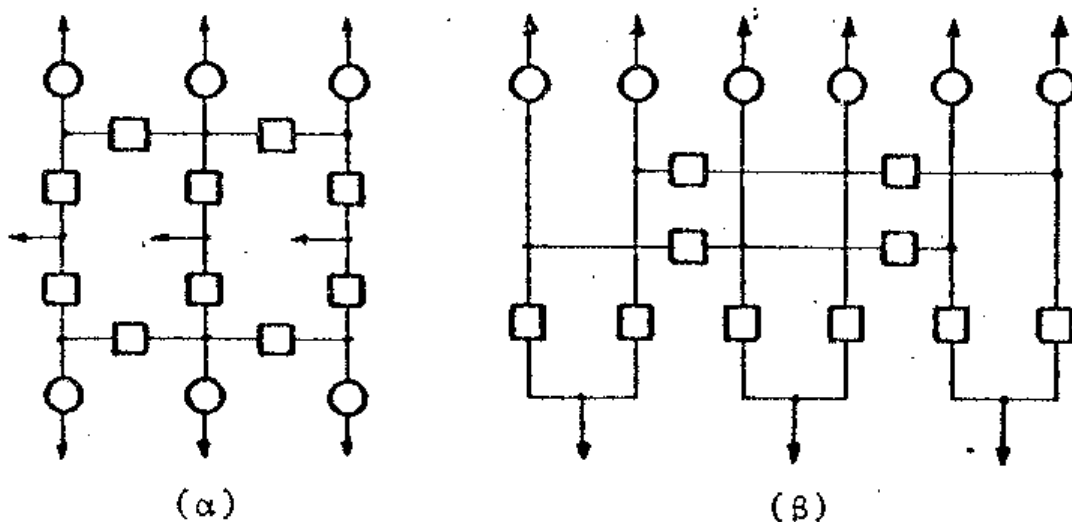


Σχ.5.17 Ζυγοί με διάταξη διπλού βρόχου.

5.10. Διάταξη με πολλαπλούς βρόχους

Τέτοιες διατάξεις έχουν αναπτυχθεί στον Καναδά. Στο σχήμα 5.18(α) φαίνεται η βασική διάταξη σε απλή για την κατανόηση της λειτουργίας του υποσταθμού μορφή. Επειδή υπάρχουν ορισμένες δυσκολίες ως προς τις διελεύσεις των γραμμών μεταφοράς, η διάταξη στην πράξη λαμβάνει τη μορφή του σχήματος 5.18(β).[17]

Η διάταξη είναι κατάλληλη όταν έχουμε να συνδέσουμε δύο μετασηματιστές 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.

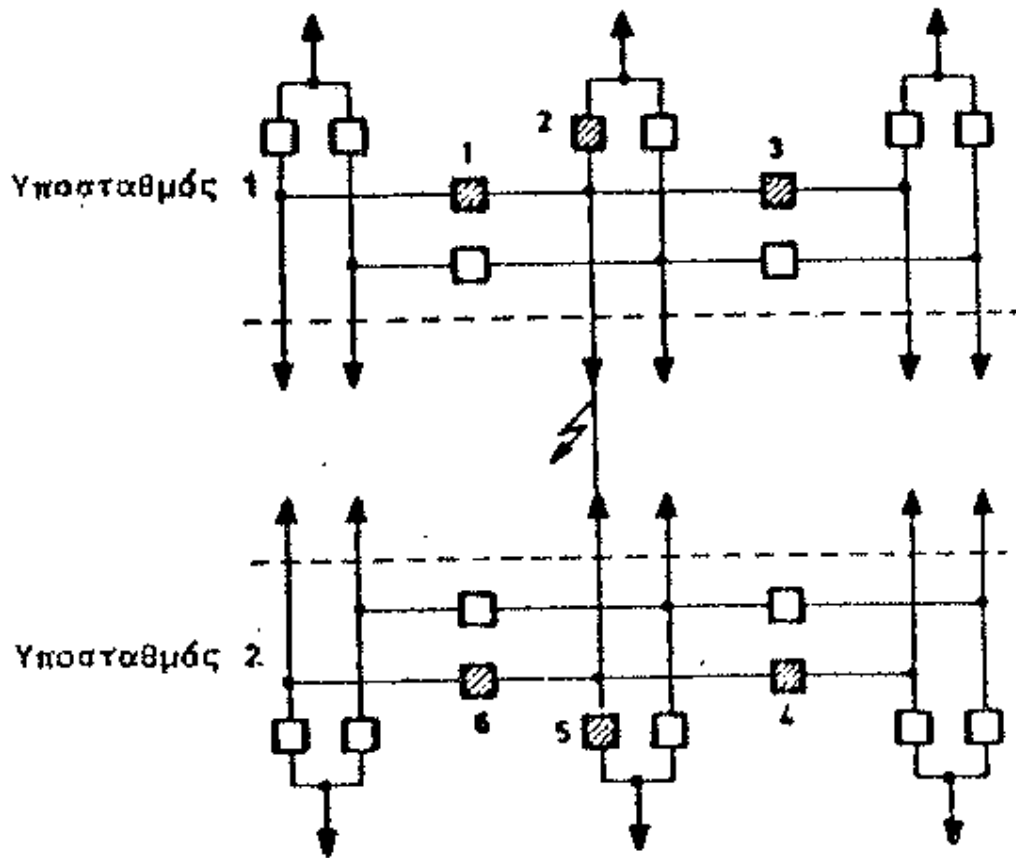


Σχ.5.18 Διάταξη με πολλαπλούς βρόχους.

α) Βασικό σχήμα αρχής

β) Πρακτική μορφή της διατάξεως

Παράδειγμα σφάλματος γραμμής σε διατάξεις πολλαπλών βρόχων:



Σχ.5.19 Διασύνδεση δύο υποσταθμών με πολλαπλούς βρόχους. Σφάλμα γραμμής.[17]

6. Προστασία διατάξεων

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:

- Προστασία γραμμής.
- Προστασία μετασχηματιστή.
- Προστασία ζυγού διανομής.
- Προστασία αποτυχίας διακόπτη.
- Προστασία εξοπλισμού αντιστάθμισης.

ή ανάλογα με το τύπο προστασίας:

- ✓ Προστασία βραχυκυκλώματος.
- ✓ Προστασία σφάλματος γείωσης.
- ✓ Προστασία αρμονίας υποσταθμού.
- ✓ Προστασία υπερφόρτισης.
- ✓ 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 τη 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, μετασχηματιστές κ.ο.κ [23]

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 μολυσμένου απομονωτή.

Τα σφάλματα στους ζυγούς έχει παρατηρηθεί να 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.[24]

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: 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.[25]

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.

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 ότι 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 δημιουργεί προβλήματα στην ευστάθεια του συστήματος. Τέτοιες μη απαραίτητες διακοπές, οι οποίες συχνά καλούνται «αποτυχίες ασφαλείας», μπορεί αν οφείλονται σε σφάλματα των ηλεκτρονόμων ασφαλείας, στο κορεσμό των Μ/Σ οργάνων, ή εξαιτίας ανθρώπινων σφαλμάτων. 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 διαδέχονται 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 την 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 απόξευση ενός ζυγού, με ένα πιθανό αριθμό διακοπών γραμμών, όπου εξαρτώνται από την διάταξη του Υ/Σ. Υπάρχουν διάφορες αιτίες αποτυχίας ασφαλείας των ηλεκτρονόμων των ζυγών. Αυτό περιλαμβάνει σφάλματα στα ρελαί κυκλωμάτων, έλλειψη κατάλληλης επιλεκτικότητας, λανθασμένες ρυθμίσεις του ηλεκτρονόμου, μηχανικό σοκ στον πίνακα ηλεκτρονόμων (για ηλεκτρομηχανικούς ηλεκτρονόμους) και σφάλματα συντήρησης από το προσωπικό.[24]

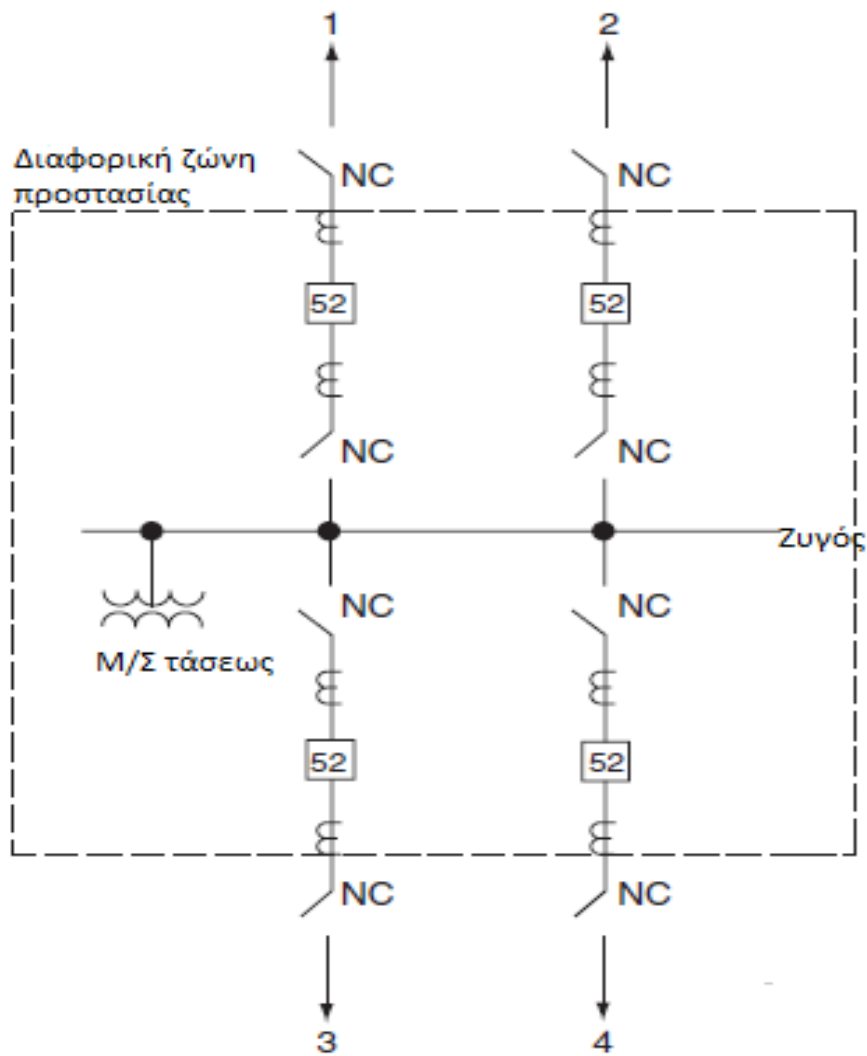
6.3 Προστασία διατάξεως ενός ζυγού.

Αυτή η διάταξη όπως έχει αναφερθεί είναι η πιο απλή, βασική, οικονομική και χρησιμοποιείται ευρέως, αν και προτιμάται σε Υ/Σ διανομής με χαμηλότερες τάσεις. Για αυτόν τον τύπο διάταξης είναι εύκολο να εφαρμοστεί διαφορετική 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 συνδεδεμένα με το ζυγό. Προβλήματα διακοπών ή η διαδικασία της συντήρησης προϋποθέτουν ότι το κύκλωμα θα βγει εκτός λειτουργίας. Παρόλα 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 Μ/Σ τάσεως στο ζυγό μπορούν να παρέχουν τάση για την προστασία σε όλα τα κυκλώματα.[25]

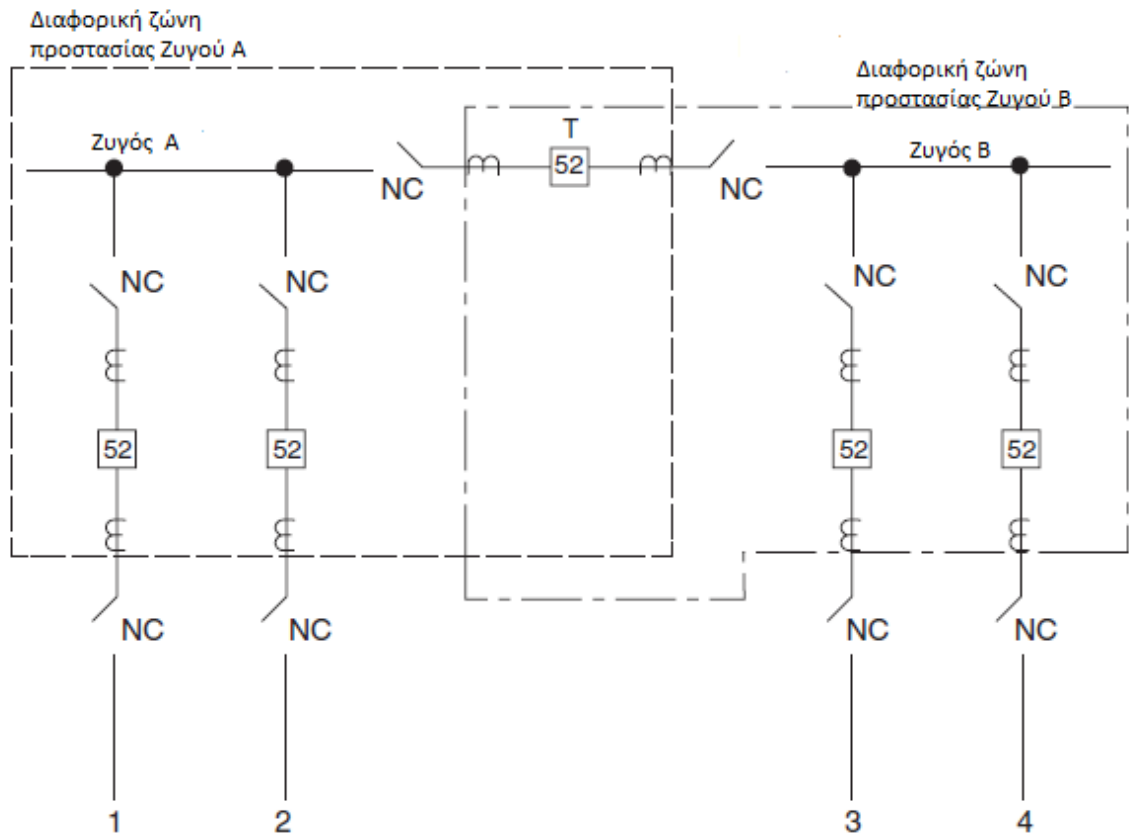
6.4 Προστασία διάταξης τμηματοποιημένου ζυγού

Αυτή είναι μία επέκταση της διατάξεως ενός ζυγού όπως έχει αναφερθεί παραπάνω και χρησιμοποιείται όταν υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός κυκλωμάτων, κυρίως σε χαμηλότερες τάσεις. Αυτή παρέχει ευελιξία όταν ο Υ/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 διαφορετικές ζώνες προστασίας για κάθε ζυγό. Ένα σφάλμα σε μία ζώνη ζυγού επιτρέπει την μερική εξυπηρέτηση στον Υ/Σ από τον άλλο ζυγό.[25]



NC = Normally closed, κανονικά κλειστός

Σχ. 6.1 Τυπική διάταξη ενός ζυγού τεσσάρων κυκλωμάτων ενός διακόπτη και η ζώνη διαφορικής προστασίας.



NC =Normally Closed = Κανονικά Κλειστός

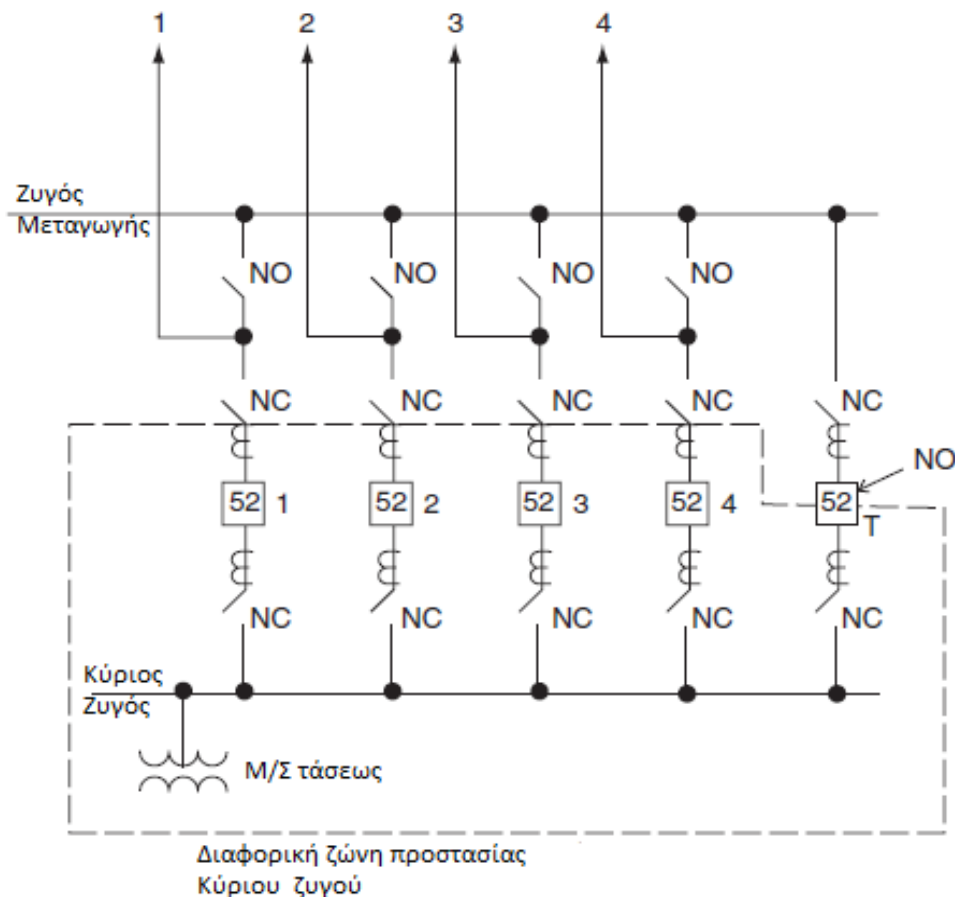
Σχ. 6.2 Τυπική Διάταξη τεσσάρων κυκλωμάτων με δύο διατάξεις ενός ζυγού συνδεδεμένες με ένα διακόπτη και η διαφορική ζώνη προστασίας του κάθε ζυγού.

6.5 Προστασία διάταξης κύριου ζυγού σε συνδυασμό με ζυγό μεταγωγής.

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 τη προστασία των διαφόρων κυκλωμάτων.



NC = Normally Closed = Κανονικά Κλειστός

NO = Normally Open =Κανονικά ανοιχτός

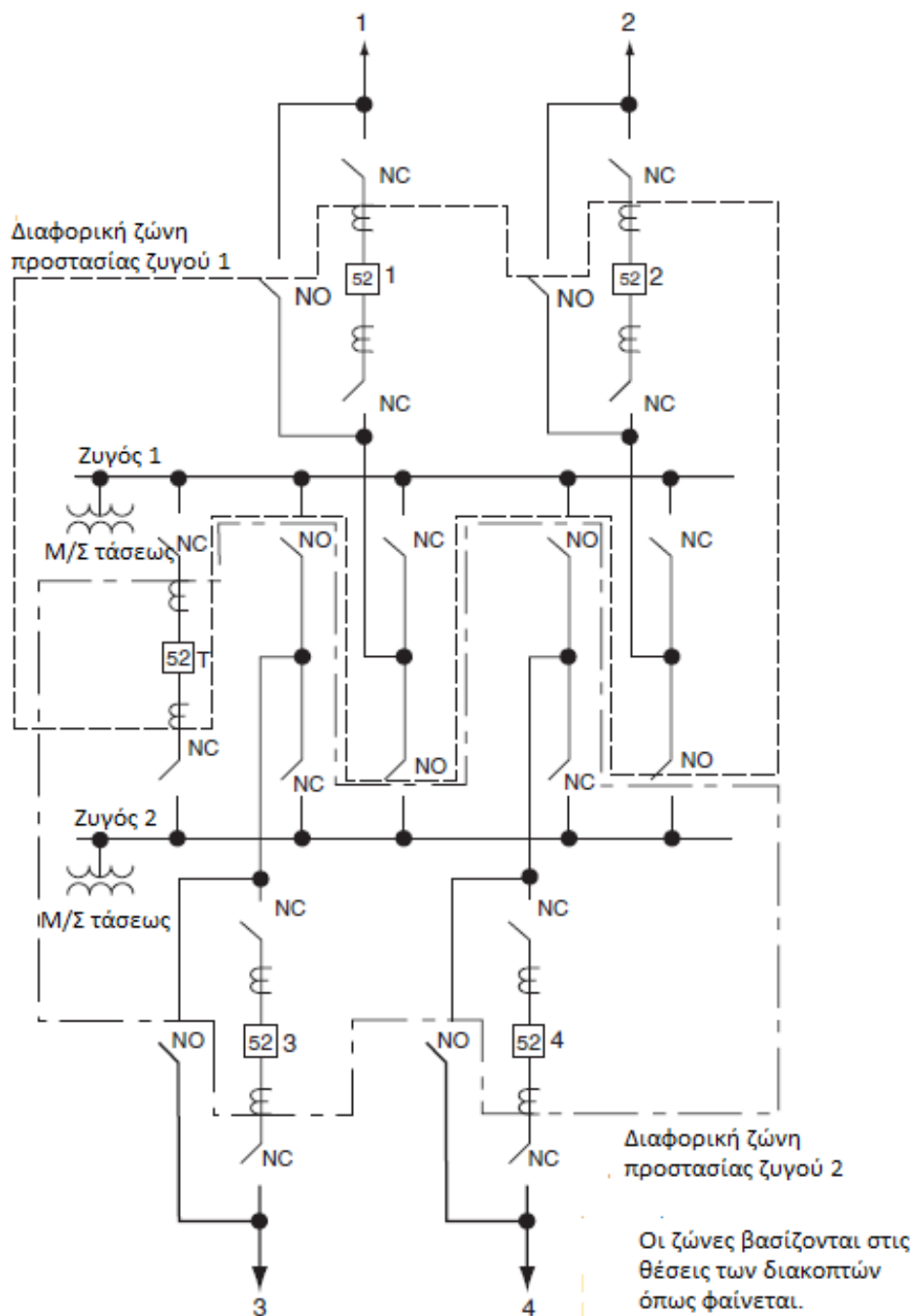
Σχ. 6.3 Τυπική Διάταξη τεσσάρων κυκλωμάτων κύριου ζυγού με ζυγό μεταγωγής και η διαφορική ζώνη προστασίας.

6.6 Προστασία διάταξης διπλού ζυγού- ενός διακόπτη.

Αυτή 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. Παρόλα 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, αρχικώς εξαιτίας της πολύπλοκης προστασίας, και δεν προτείνεται από αυτή την οπτική γωνία.



NC = Normally Closed = Κανονικά κλειστός

NO = Normally Open = Κανονικά Ανοιχτός

Σχ. 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.

Αυτή είναι πολύ ευέλικτη διάταξη που απαιτεί δύο διακόπτες ανά αναχώρηση όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5. Κάθε ζυγός προστατεύεται από ξεχωριστές διαφορικές ζώνες, όπως απεικονίζεται. 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.

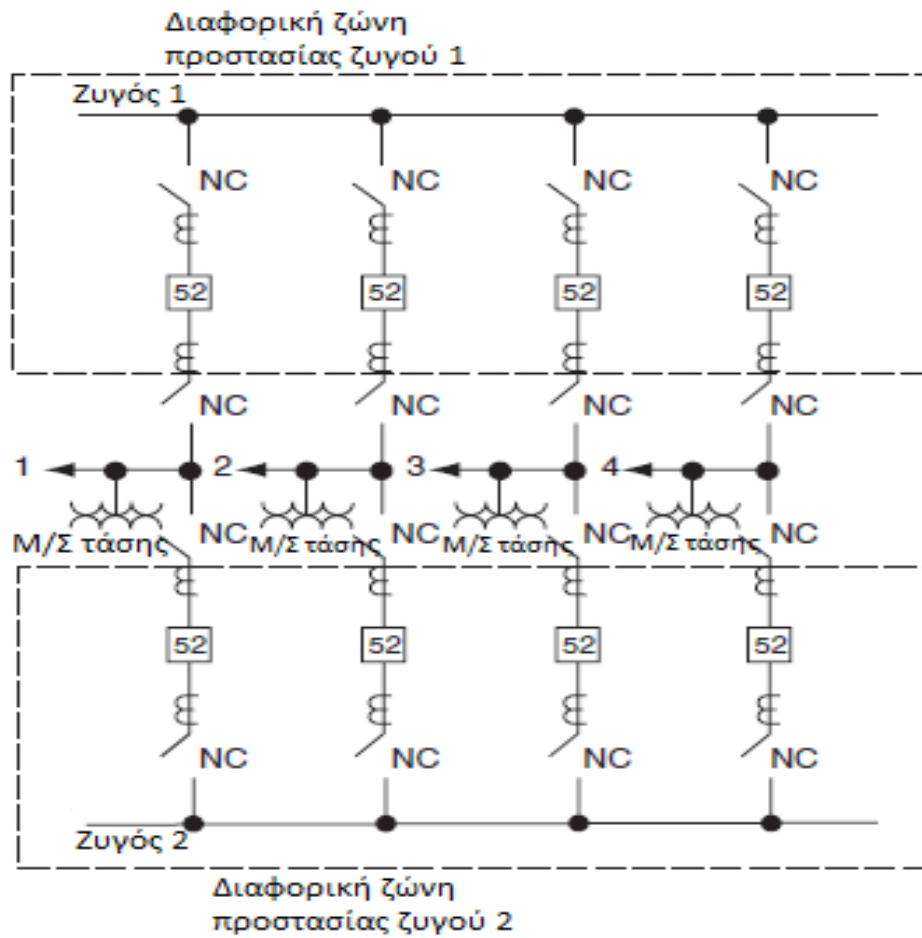
Με όλους τους αποζεύκτες κανονικά κλειστούς, όπως φαίνεται στο σχήμα, ένα σφάλμα σε οποιοδήποτε ζυγό δεν διακόπτει τη λειτουργία στις γραμμές. Όλη η μεταγωγή γίνεται με τους αποζεύκτες, και οποιοσδήποτε ζυγός μπορεί να βγει εκτός λειτουργίας για συντήρηση.

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.

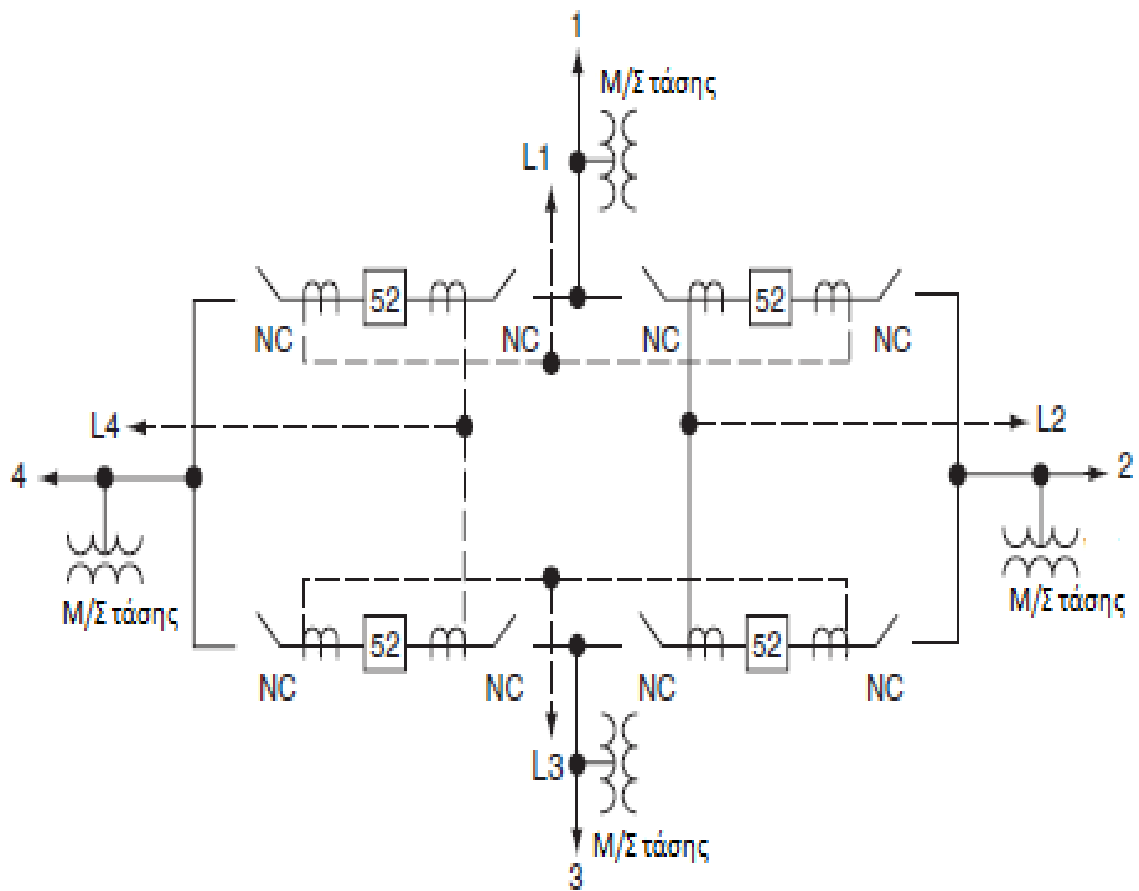
Αυτή η διάταξη όπως φαίνεται στο σχήμα 6.6 είναι πολύ κοινή, ιδιαιτέρως για υψηλές τάσεις. Με τον μικρότερο δυνατό αριθμό αποζευκτών επιτυγχάνεται μεγάλη ευελιξία. Κάθε αποζεύκτης εξυπηρετεί δύο γραμμές και πρέπει να ανοίξουν για σφάλματα σε οποιαδήποτε γραμμή. Το τμήμα του ζυγού μεταξύ των αποζευκτών 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

Σχ. 6.5 Τυπική διάταξη τεσσάρων κυκλωμάτων διπλού ζυγού-διπλού διακόπτη και οι διαφορικές ζώνες προστασίας των ζυγών.



NC = Normally Closed = Κανονικά κλειστός

Σχ. 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

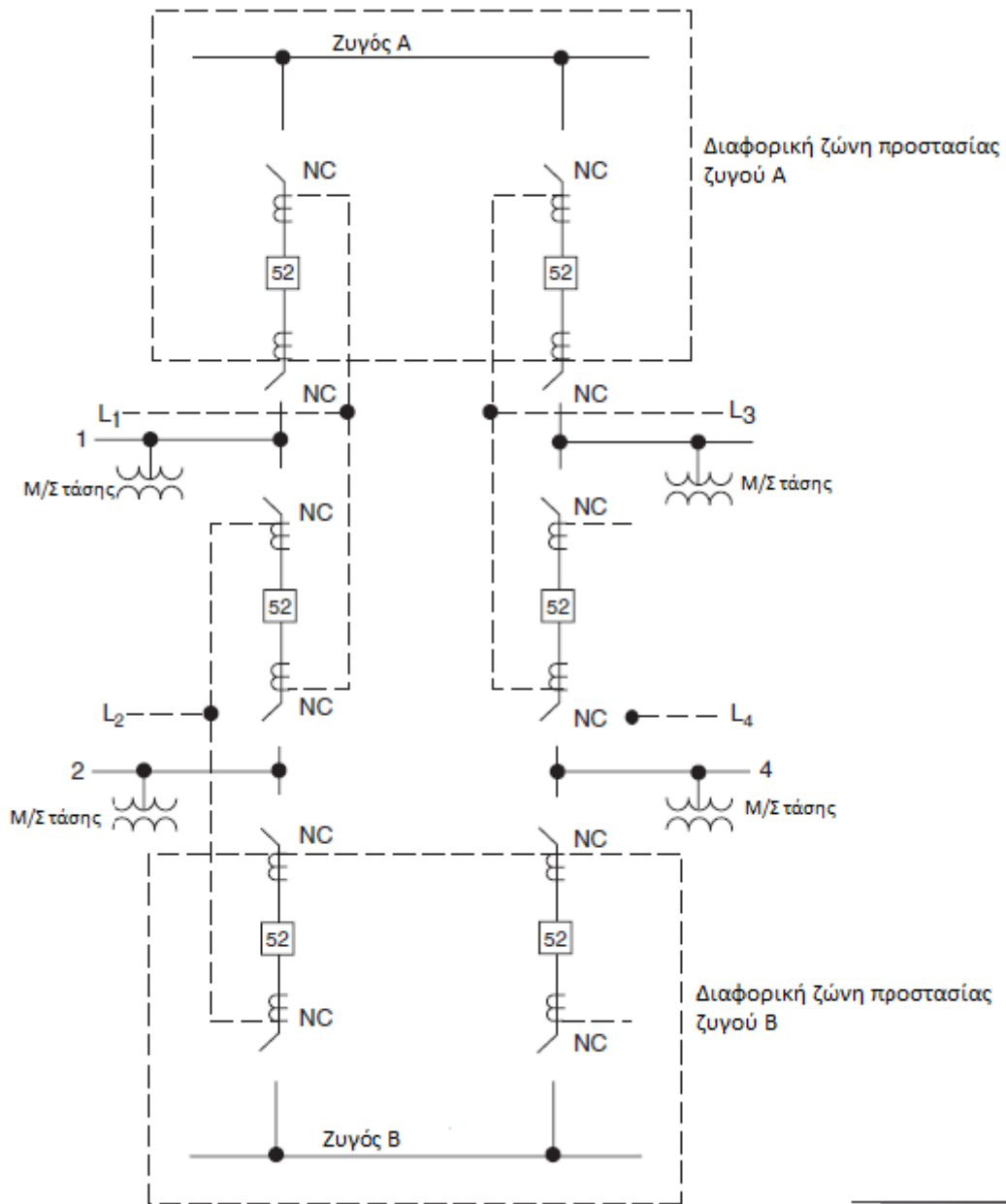
Αυτή η διάταξη, φαίνεται στο σχήμα 6.7, παρέχει μεγαλύτερη λειτουργική ευελιξία, αλλά απαιτεί περισσότερους διακόπτες από ότι στον δακτυλιοειδή ζυγό όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω. Χρησιμοποιείται ευρέως και ιδιαίτερα για μεγαλύτερα πολυκυκλώματα, υψηλότερων τάσεων συστήματα. Δύο ζυγοί σε λειτουργία 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.

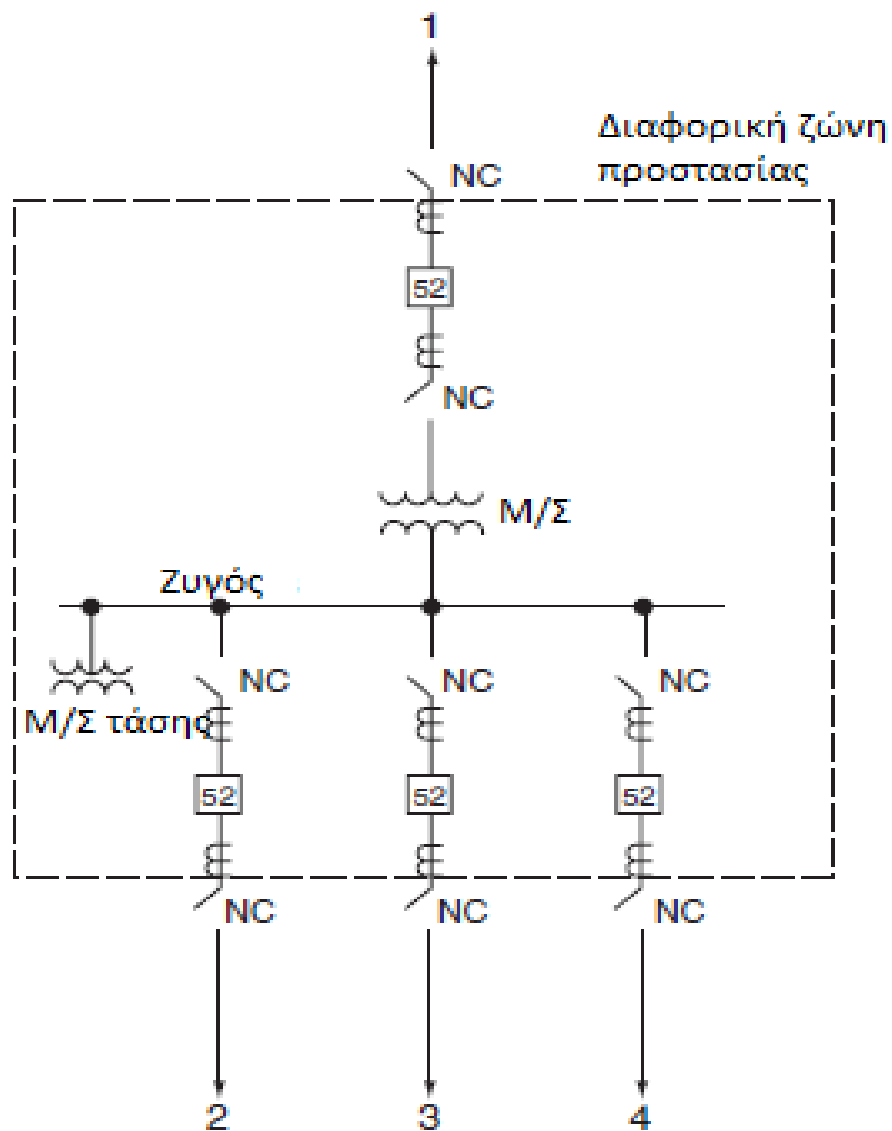
Αυτή είναι η διάταξη που έχει αναφερθεί παραπάνω του ενός ζυγού- ενός διακόπτη όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1, με μία τράπεζα Μ/Σ ευθέως συνδεδεμένων στο ζυγό όπως φαίνεται στο σχήμα 6.8. Το πλεονέκτημα είναι το οικονομικό κέρδος από τους διακόπτες μεταξύ του Μ/Σ και του ζυγού. Αυτή η διάταξη είναι για 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

Σχ. 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

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

6.11 Μετασχηματιστές Μετρήσεων

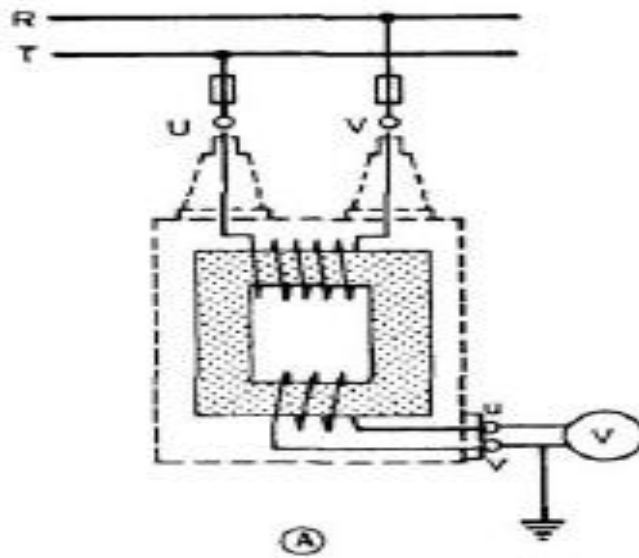
Εκτός από τους Μ/Σ ισχύος που έχουν εξεταστεί μέχρι τώρα αυτοί που χρησιμοποιούνται στην προστασία είναι οι Μ/Σ μετρήσεων που χρησιμεύουν μόνο για να υποβιβάζουν κατά ένα γνωστό λόγο μια τάση ή ένα ρεύμα που πρέπει να μετρηθούν. Ανάλογα με τον προορισμό τους οι Μ/Σ μετρήσεων διακρίνονται σε μετασχηματιστές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

Μετασχηματιστές τάσης

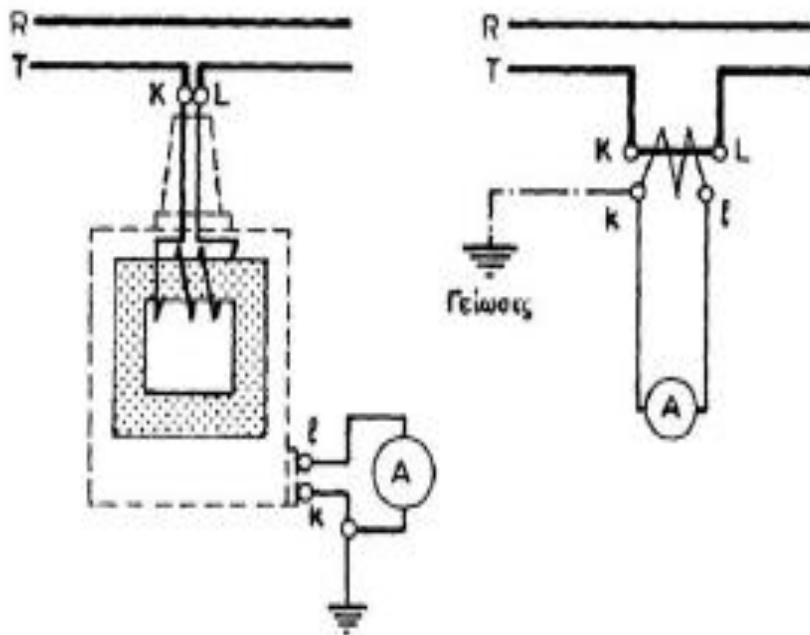
Το πρωτεύον τύλιγμα συνδέεται στους ακροδέκτες της προς μέτρηση υψηλής τάσης ενώ στο δευτερεύον συνδέονται οι ακροδέκτες του βολτομέτρου, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.9. Οι Μ/Σ αυτοί εργάζονται με πολύ μικρό φορτίο, σχεδόν στο κενό διότι πρέπει να τροφοδοτήσουν μόνο το πολύ μικρό ρεύμα του βολτομέτρου που 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 δεξιό 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 ο 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.



Σχ. 6.9 Συνδεσμολογία μονοφασικού Μ/Σ τάσης.



Σχ. 6.10 Συνδεσμολογία Μ/Σ έντασης.

6.12 Διαφορική προστασία ζυγών.

Η ολοκληρωμένη διαφορική προστασία απαιτεί ότι όλα τα κυκλώματα που συνδέονται στο ζυγό συμπεριλαμβάνονται, επειδή συγκρίνει 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. Για 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 ρύματος.

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.

Παρόλα 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 διάταξη 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, 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 στο κορεσμό με μικρά εξωτερικά σφάλματα η 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 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 προστασία 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

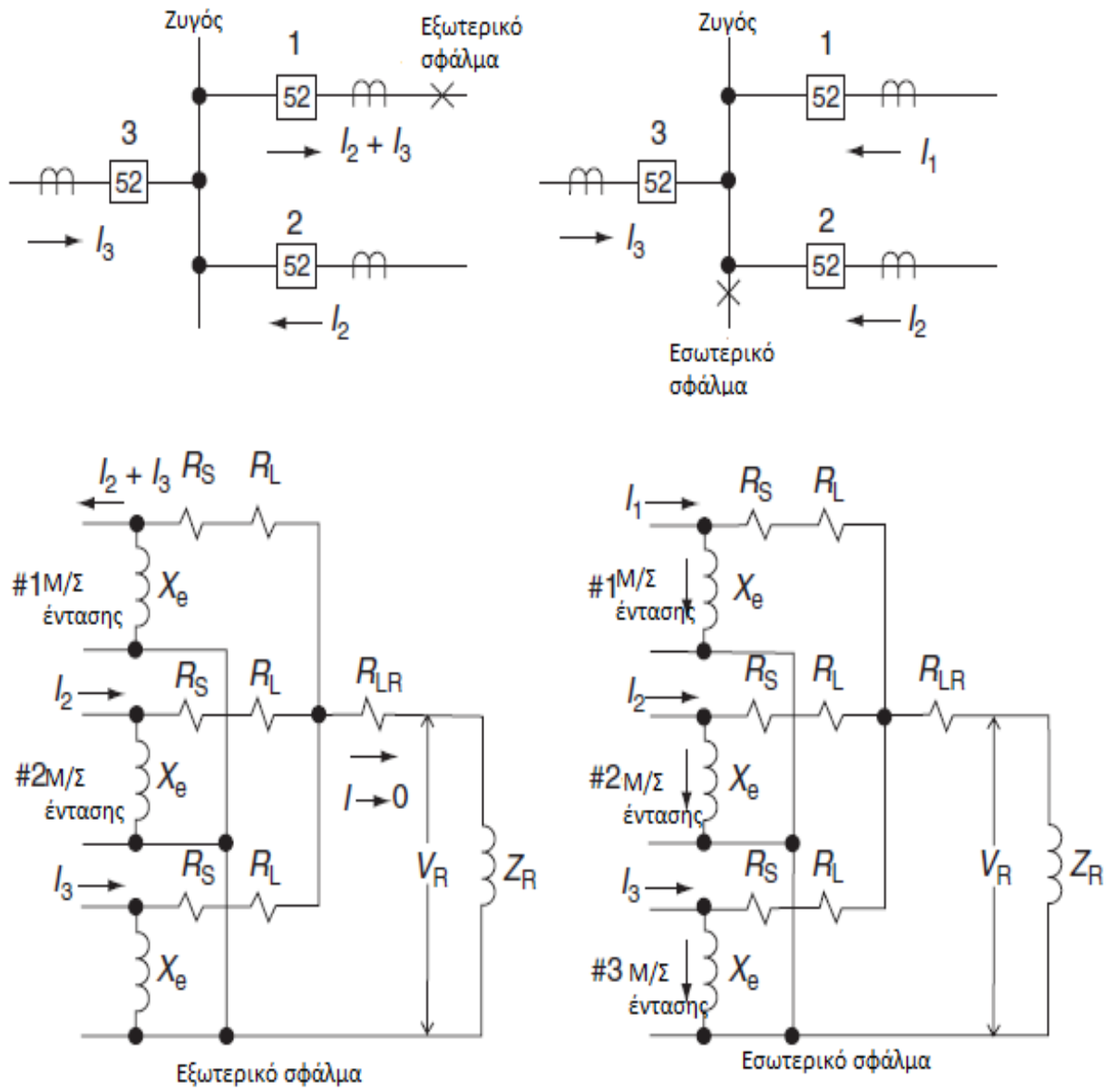
σπειροειδής Μ/Σ έντασης στο πρωτεύον κύκλωμα. Λειτουργεί σαν αερόφυκτος αμοιβαίος επαγωγέας, όπου $V_{Sec} = I_{Pri} M V$, όπου το Μ έχει σχεδιαστεί να είναι 0.005 Ω στα 60 Hz. Επιπλέον η δευτερεύουσα τάση των 5 V είναι για 1000 A στο πρωτεύον. Τα δευτερεύοντα του γραμμικού συζεύκτη για κάθε κύκλωμα 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 προσθέτονται ώστε να παράγουν 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 κα 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.



Σχ. 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, υψηλή ταχύτητα προστασίας στο ζυγό. Μπορεί να εφαρμοστεί με Μ/Σ έντασης με ποικίλα χαρακτηριστικά κορεσμού και λόγων 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.

Υπάρχουν διάφορα άλλα συστήματα διαφορικής προστασίας τα οποία είναι περιορισμένα στη χρήση. Αυτά είναι τα διαφορικός χρόνος υπερεντάσεως, κατευθυντική σύγκριση, και συστήματα μερικής διαφορικής προστασίας. Αυτά 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 χηματα είναι 15-20 κύκλοι (60 Hz) για εσωτερικά σφάλματα όπου το συνολικό σφάλμα ρεύματος προστίθεται για τη λειτουργία του ηλεκτρονόμου. Αυτό παρέχει μία σχετικά οικονομική αλλά αργή προστασία, αλλά και δύσκολη ώστε να ρυθμιστεί με την ασφάλεια αλλά μόνο με την μεγάλη εμπειρία. Χρησιμοποιείται για μικρους και χαμηλής τάσης ζυγούς.

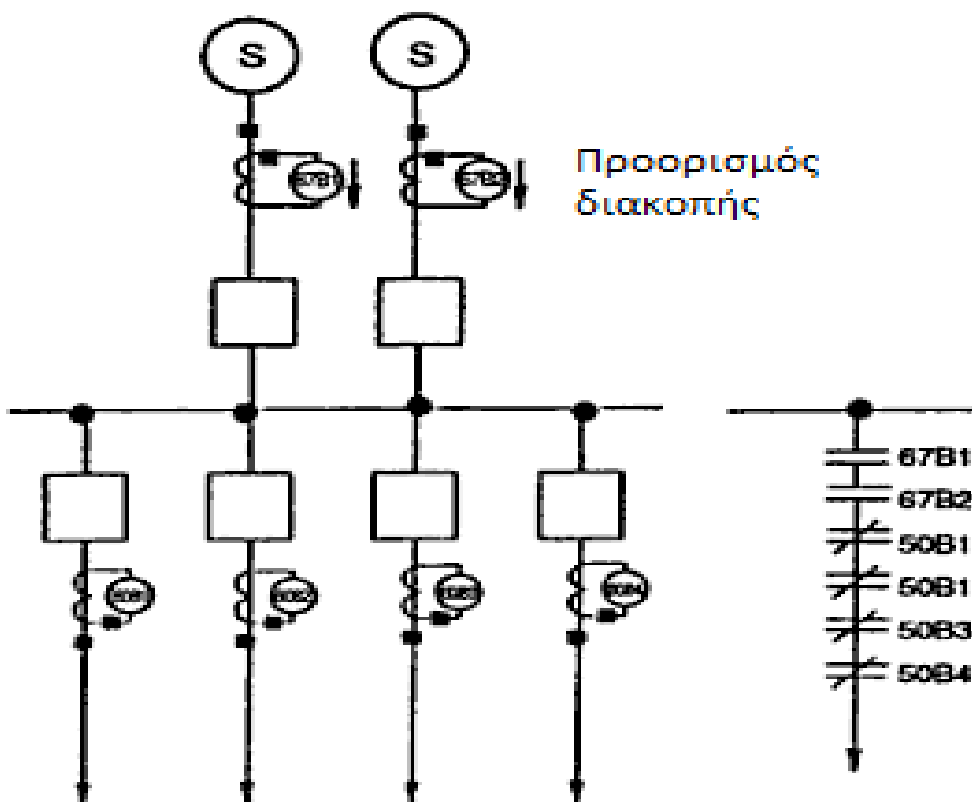
6.13.2 Κατευθυντική διαφορική σύγκριση.

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. Γι 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. [25]

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 ηλεκτρονόμοι 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 απαιτείται και είναι δύσκολο να τοποθετηθούν οι επαφές σε σειρά. Δεν έχει μπει σε γενική χρήση τα τελευταία χρόνια.

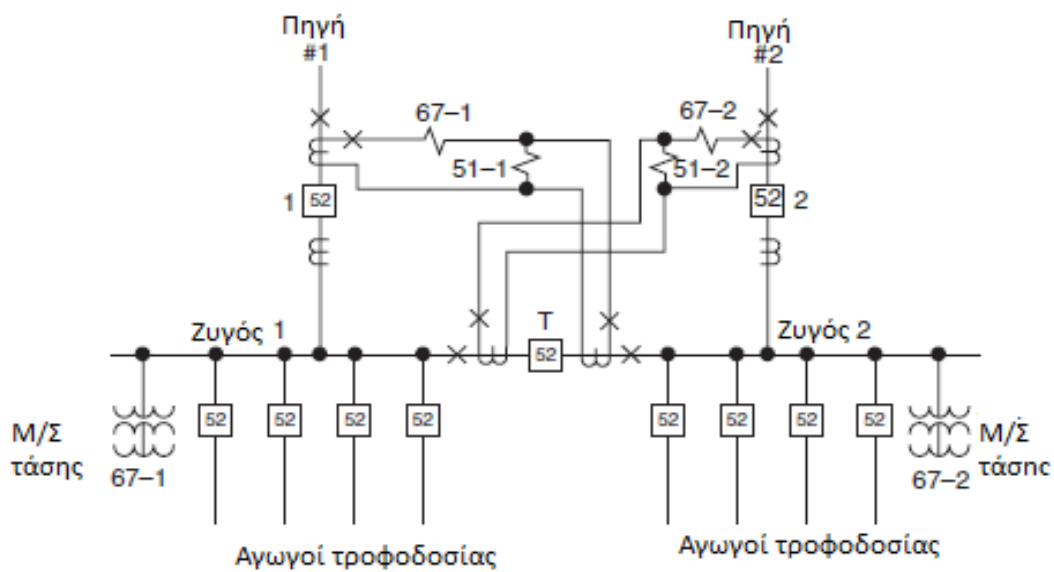


Σχ.6.12 Κατευθυντική διαφορική σύγκριση.

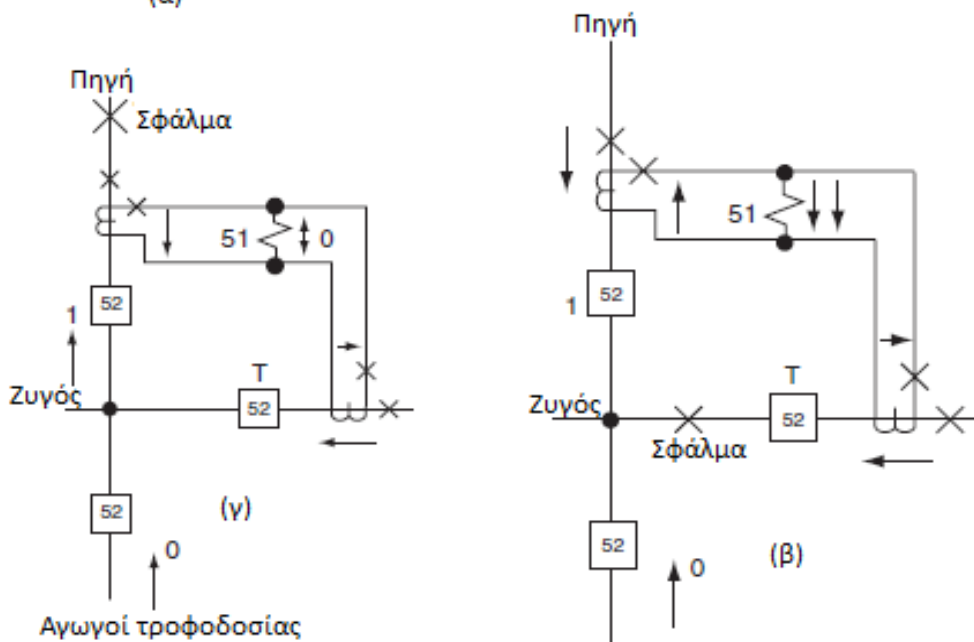
6.13.3 Μερική διαφορική προστασία.

Αυτή η προστασία χρησιμοποιείται συχνά για να παρέχει προστασία για ζυγούς σε βιομηχανικούς και χαμηλότερης τάσης Y/Σ διανομής. Εφαρμόζεται όπου υπάρχουν τροφοδοτικά κυκλώματα που παρέχουν ασήμαντο ρεύμα στα σφάλματα των ζυγών, και δεν έχουν αρκετούς ή κατάλληλους M/Σ έντασης για μια ολοκληρωμένη διαφορική προστασία. Ένα καλό παράδειγμα είναι αγωγοί τροφοδοσίας που παρέχουν μόνο στατικό ή επαγωγικό μηχανικό φορτίο και υπάρχει μεγάλη ποικιλία στις ονομαστικές ισχύεις. Ένα τυπικός ζυγός αυτού του τύπου φαίνεται στο σχήμα 6.13. Οι M/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 να μην συμπεριλαμβάνεται στο διαφορικό. Η χρήση ενός ηλεκτρονόμου αντίστροφου χρόνου και αυτό το σχήμα παρέχουν ένα καλό συμβιβασμό για χαμηλής τάσης ζυγούς Y/Σ.

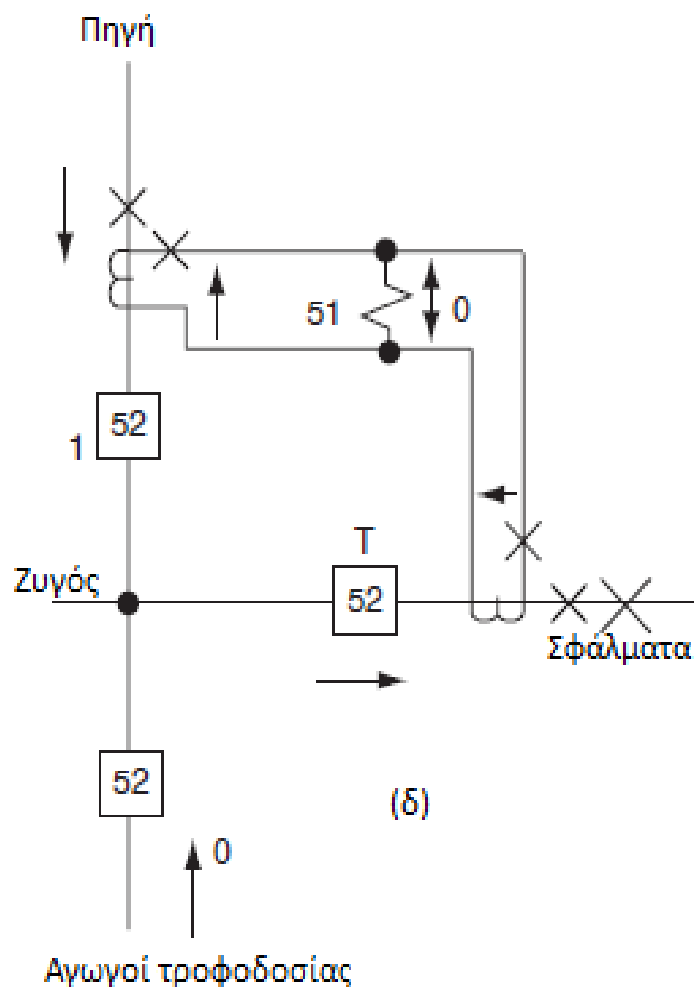
Εάν χρησιμοποιηθούν στραγγαλιστικά πηνία στα τροφοδοτικά κυκλώματα, οι ηλεκτρονόμοι αποστάσεως (21) μπορούν να αντικαταστήσουν τους ηλεκτρονόμους 51. Οι ηλεκτρονόμοι 21 τίθενται, αλλά όχι απευθείας στη χαμηλότερη επαγωγική εμπέδηση. Αυτό δεν απαιτεί συγκεκριμένες ρυθμίσεις για την προστασία των αγωγών 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.[25]



(α)



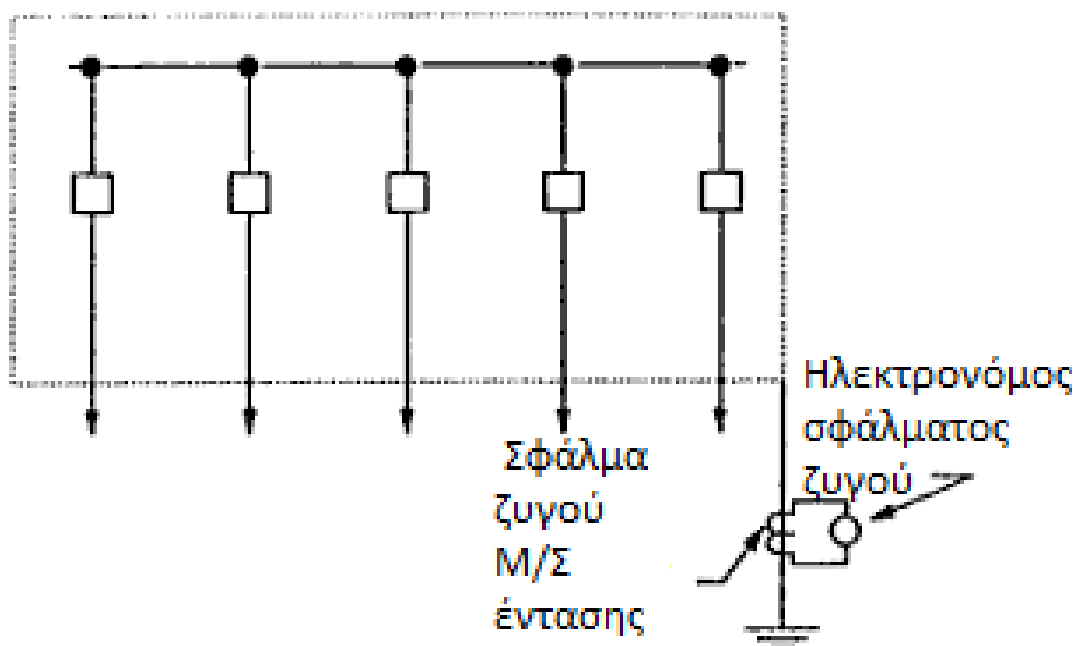
Σχ. 6.13 Μερική διαφορική προστασία ζυγού και αγωγών τροφοδοσίας. α) Μονογραμμικό σχέδιο τυπικής διάταξη ζυγού β) Λειτουργία για σφάλματα στην πλευρά της πηγής. γ) Λειτουργία για σφάλματα στο ζυγό και στους αγωγούς τροφοδοσίας. (συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα).



Σχ. 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 στις δυσκολίες στην προστασία του προσωπικού.[25]



Σχ. 6.14 Σφάλμα γείωσης στο ζυγό.[26]

7. Συγκριτική μελέτη των παραπάνω διατάξεων υποσταθμών.

7.1 Σχετική σύγκριση κόστους διατάξεων υποσταθμών.

Η επιλογή της κατάλληλης διάταξης υποσταθμού πρέπει να πληρεί όλες τις γνωστές ή προσδοκώμενες προϋποθέσεις για την αξιοπιστία, λειτουργικότητα και συντήρηση του υποσταθμού καθώς και μελλοντικές απαιτήσεις επέκτασης λαμβάνοντας υπόψη τα αναγνωρισμένα αποδεκτά απρόβλεπτα έξοδα και τους σχετικούς κινδύνους για το κύκλωμα μετάδοσης.[7]

Για να βοηθήσει στην σχετική αξιολόγηση ο παρακάτω πίνακας 1 παρέχει μια υψηλού επιπέδου σύγκριση κόστους των διάφορων διατάξεων υποσταθμών, εάν είναι απαραίτητο να διευθυνθεί μια οικονομική σύγκριση. Παρακάτω αναφέρονται οι έξι πιο διαδεδομένες διατάξεις διεθνώς.

Πίνακας 7.1: Σύγκριση κόστους διατάξεων υποσταθμών.[7]

Διάταξη ζυγών υποσταθμού.	Προσεγγιστική σχετική σύγκριση κόστους διατάξεων.
Ενός ζυγού	100%
Τμηματοποιημένου ζυγού	122%
Κεντρικού σε συνδυασμό με ζυγό μεταγωγής	176%
Δακτυλιοειδή ζυγού	156%
1.5 διακόπτη	158%
Διπλού ζυγού-διπλού διακόπτη	214%

Η σύγκριση βασίζεται στο κόστος για την εγκατάσταση ενός υπαίθριου υποσταθμού χαμηλής κατανάλωσης τεσσάρων κυκλωμάτων με διακόπτες ισχύος σε όλα τα κυκλώματα. Οι δαπάνες των μετασχηματιστών ισχύος καθώς και το κόστος εδάφους δεν συμπεριλαμβάνονται στην σύγκριση κόστους. Στα σχέδια που περιλαμβάνουν άλλες συσκευές προστασίας ή διαφορετικές ποσότητες κυκλωμάτων, τα σχετικά κόστη μπορεί να ποικίλουν από αυτά που αναφέρονται.

Στην πράξη το κόστος κατασκευής ενός υποσταθμού όσον αφορά την διάταξη σχετίζεται με την ποσότητα των συσκευών που το αποτελούν, όπως οι διακόπτες ή οι μετασχηματιστές καθώς και η έκταση γης που χρησιμοποιείται. Κατ'επέκταση όσο υπάρχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις για το μέγεθος του υποσταθμού τόσο μεγαλύτερο θα είναι το κόστος.

Επιπλέον τα παρακάτω θα πρέπει να συμπεριληφθούν όταν εκτιμάται το κόστος ενός υποσταθμού:

- α) Τις απώλειες στην μεταφορά και στην μετατροπή ισχύος.
- β) Τα συστήματα τηλεχειρισμού και επικοινωνίας.
- γ) Την αξιοπιστία και τα σχεδιαγράμματα των ζυγών τροφοδοσίας.
- δ) Οι υπολογισμοί των ρευμάτων βραχυκυκλώσεως και διαρροών ισχύος.

Στις μέρες μας δεν είναι εύκολο να αποκτήσεις νέες διόδους γραμμών και η διαθεσιμότητά τους μόνο μπορεί να τερματίσει την τοποθέτηση του υποσταθμού. Καθώς και με την αυτοματοποίηση των υποσταθμών το κόστος των συστημάτων τηλεχειρισμού και τηλεπικοινωνιών μεγαλώνει, αλλά δεν έχουν καθοριστική επίπτωση από την οπτική της τοποθεσίας.

7.2 Συγκριτική μελέτη διατάξεων ως προς την συνέχεια εξυπηρέτησης (service continuity).

Όταν επιλέγεται μία συγκεκριμένη διάταξη, μία από τις πρωταρχικές μελέτες είναι οι επιπτώσεις στη λειτουργία του εξοπλισμού εξαιτίας σφαλμάτων ή για τη διαδικασία της συντήρησης. Τέτοιες επιπτώσεις μπορεί να περιλαμβάνουν απώλεια τροφοδοτικού εξοπλισμού, απώλεια μετάδοσης, και απώλεια παροχής στους πελάτες.

Γενικότερα εάν συμβεί ένα σφάλμα σε μια γραμμή ή σε ένα μετασχηματιστή ή μπουν σε διαδικασία συντήρησης, η συνέχιση λειτουργίας δεν μπορεί να διατηρηθεί στο κύκλωμα που επηρεάζεται. Εκτός από αυτούς τους περιορισμούς, ένα μέτρο συνέχισης λειτουργίας μπορεί να διατηρηθεί.[15]

Αξιόπιστοι υπολογισμοί για τις διατάξεις είναι πολύπλοκοι και οι παρακάτω πληροφορίες δίνονται για να επιτρέψουν μια εκτίμηση διακοπών λειτουργίας για επισκευή ή για συντήρηση.

Μια εκτίμηση της συνέχισης λειτουργίας που μπορεί να επιτευχθεί στις διατάξεις έχει κατηγοριοποιηθεί και φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Κατηγορία 1: Δεν είναι απαραίτητη καμία διακοπή λειτουργίας στον υποσταθμό είτε για συντήρηση είτε σε περίπτωση σφάλματος.

Σημείωση: Η κατηγορία 1 δεν επιβάλλει καμία διακοπή λειτουργίας αλλά δεν παρέχει απαραίτητα μία ασφαλή παροχή (συνεχή παροχή) για μοναδιαία σφάλματα ακόμα και αν αυτά είναι περιορισμένα στο ζυγό ή στους διακόπτες.

Κατηγορία 2: Μικρή διακοπή λειτουργίας (το μέγιστο περίπου 4 ώρες) απαραίτητο να μεταφερθεί το φορτίο σε εναλλακτικό κύκλωμα για συντήρηση ή σε περίπτωση σφάλματος.

Κατηγορία 3: Απώλεια του κυκλώματος ή τμήματος μέχρι να ολοκληρωθεί η επισκευή.

Κατηγορία 4: Απώλεια υποσταθμού.

Σε περιπτώσεις όπου συμβαίνει ένα σφάλμα όταν η διαδικασία της συντήρησης είναι σε εξέλιξη σε έναν άλλο εξοπλισμό οι παραπάνω κατηγορίες δεν ισχύουν. Σε τέτοιες

περιπτώσεις, η πιθανότητα ενός ρήγματος στο δίκτυο αυξάνεται ραγδαία, κυρίως σε πολυγωνικές διατάξεις.

Πίνακας 7.2: service continuity [15]

Τύπος διάταξης	Κατηγορία συνέχισης λειτουργίας	
	Περιοχή διακοπών	Περιοχή ζυγού
Διάταξη ενός ζυγού	3	4
Διάταξη ενός ζυγού με τμηματοποίηση διακόπτη	3	3
Διάταξη διπλού ζυγού- διπλού διακόπτη	1 ή 2	1
Διάταξη κεντρικού ζυγού με ζυγό μεταγωγής	2 (βλ. σημείωση 1)	4
Διάταξη τμηματοποιημένου ζυγού	3	3
Διάταξη 1.5 διακόπτη	1 ή 2 (βλ. σημείωση 2)	1
Διάταξη $1 + \frac{1}{3}$ διακόπτη	1 ή 2	1
Βροχοειδείς διατάξεις	1 ή 2	Δεν εφαρμόζεται
Διάταξη δακτυλιοειδή ζυγού (απλού βρόχου)	1 ή 2	4
Διάταξη διπλού ζυγού-1.5 διακόπτη	1 ή 2 (βλ. σημείωση 2)	1
Διάταξη διπλού ζυγού- ενός διακόπτη ανά αναχώρηση	3	2

Σημείωση 1: Για να επιτευχθούν αυτές οι κατηγορίες θα πρέπει να συμπεριληφθεί ένας συζεύκτης ζυγών.

Σημείωση 2: Η κατηγορία 1 εφαρμόζεται για συνθήκες συντήρησης. Η κατηγορία 2 εφαρμόζεται για συνθήκες σφάλματος.

7.3 Σύγκριση διατάξεων ως προς την απαιτούμενη έκταση.

Κάθε μία από τις παραπάνω διατάξεις πέρα απαιτεί και συγκεκριμένη έκταση για την κατασκευή και τοποθέτησή της. Πολλές φορές δεν είναι δυνατή η χρησιμοποίηση μεγάλης έκτασης και αυτό αποτελεί ένα κριτήριο της διάταξης που θα επιλεγεί για το σχεδιασμό ενός νέου υποσταθμού.[4]

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας που αναφέρει σε κάθε διάταξη την απαιτούμενη έκταση.

Πίνακας 7.3 : Απαιτούμενη έκταση

Τύπος διάταξης	Απαιτούμενη έκταση
Διάταξη ενός ζυγού	Τη μικρότερη έκταση- λιγότερος εξοπλισμός
Διάταξη διπλού ζυγού- διπλού διακόπτη	Μεγαλύτερη έκταση- περισσότερες συσκευές και υλικά
Διάταξη κεντρικού ζυγού σε συνδυασμό με ζυγό μεταγωγής	Μικρή έκταση
Διάταξη διπλού ζυγού- ενός διακόπτη ανά αναχώρηση	Μεγαλύτερη έκταση- περισσότερες συσκευές και υλικά
Διάταξη δακτυλιοειδή ζυγού	Μέτρια έκταση- εξαρτάται από την μελλοντική επέκταση του αναπτυσσόμενου υποσταθμού
Διάταξη 1.5 διακόπτη	Μεγαλύτερη έκταση- περισσότερος εξοπλισμός. Η έκταση αυξάνεται σημαντικά σε επίπεδα υψηλών τάσεων

7.4 Σύγκριση ως προς τη διάταξη φάσεων.

Παρακάτω παρουσιάζονται δύο είδη τοποθέτησης φάσεων για τις παραπάνω διατάξεις Υ/Σ. Οι επιλογές αυτές αφορούν διατάξεις με παραπάνω από ένα ζυγό, διπλό ή τριπλό.[22]

Ομαδοποιημένη διάταξη φάσεων

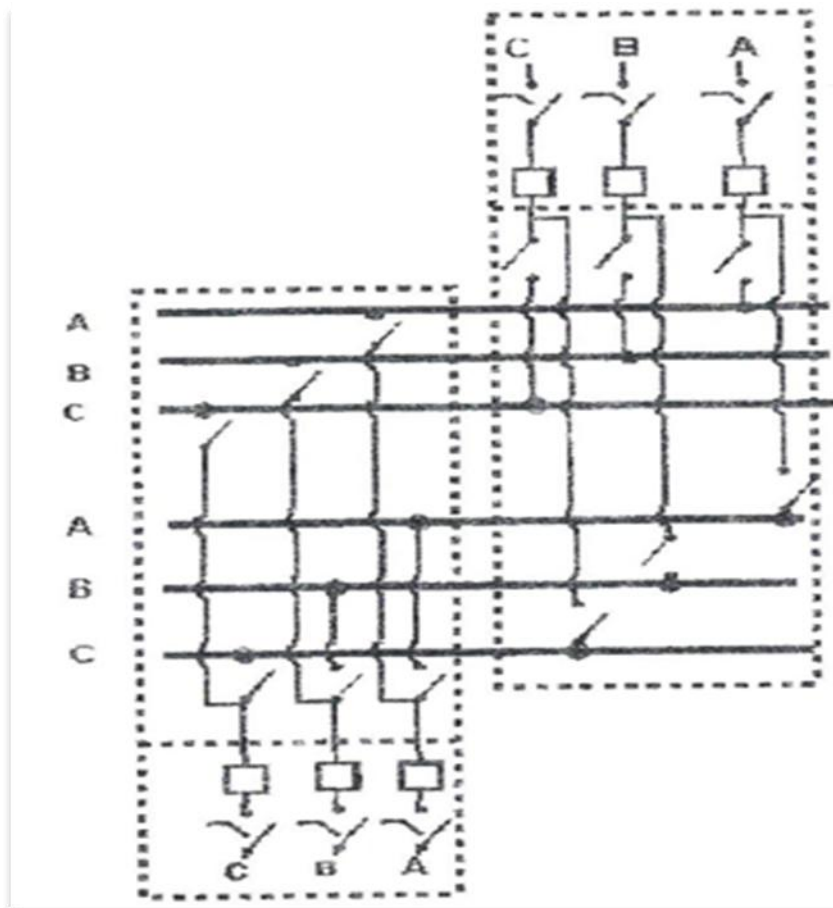
Στην διάταξη αυτή οι αγωγοί, οι ζυγοί και όλος εν γένει ο εξοπλισμός που ανήκει στο ίδιο τριφασικό κύκλωμα τοποθετούνται έτσι ώστε οι φάσεις να βρίσκονται η μία δίπλα στην άλλη.

Κάθε κυψέλη αναχώρησης γραμμής ή μετασχηματιστή, καταλαμβάνει χώρο δύο ορθογωνίων παραλληλογράμμων. Μέσα στο ένα ορθογώνιο βρίσκονται οι αποζεύκτες σύνδεσης προς τους ζυγούς, ενώ στο άλλο βρίσκονται ο διακόπτες, ο αποζεύκτης γραμμής και οι μετασχηματιστές τάσης και έντασης.

Η διάταξη αυτή είναι σαφής και αντιστοιχεί στην τριφασική απεικόνιση των μονογραμμικών διατάξεων έχει όμως τα εξής μειονεκτήματα:

- Γίνεται κακή εκμετάλλευση του χώρου στην περιοχή των ζυγών.
- Δεν μπορεί να συνδεθούν δύο αντιθέτως καταφθάνουσες στον Υ/Σ γραμμές απευθείας.

Η διάταξη αυτή απαιτεί 55 έως 65% μεγαλύτερη επιφάνεια από την μικτή διάταξη φάσεων που περιγράφεται παρακάτω.



Σχ.7.1 Ομαδοποιημένη διάταξη φάσεων

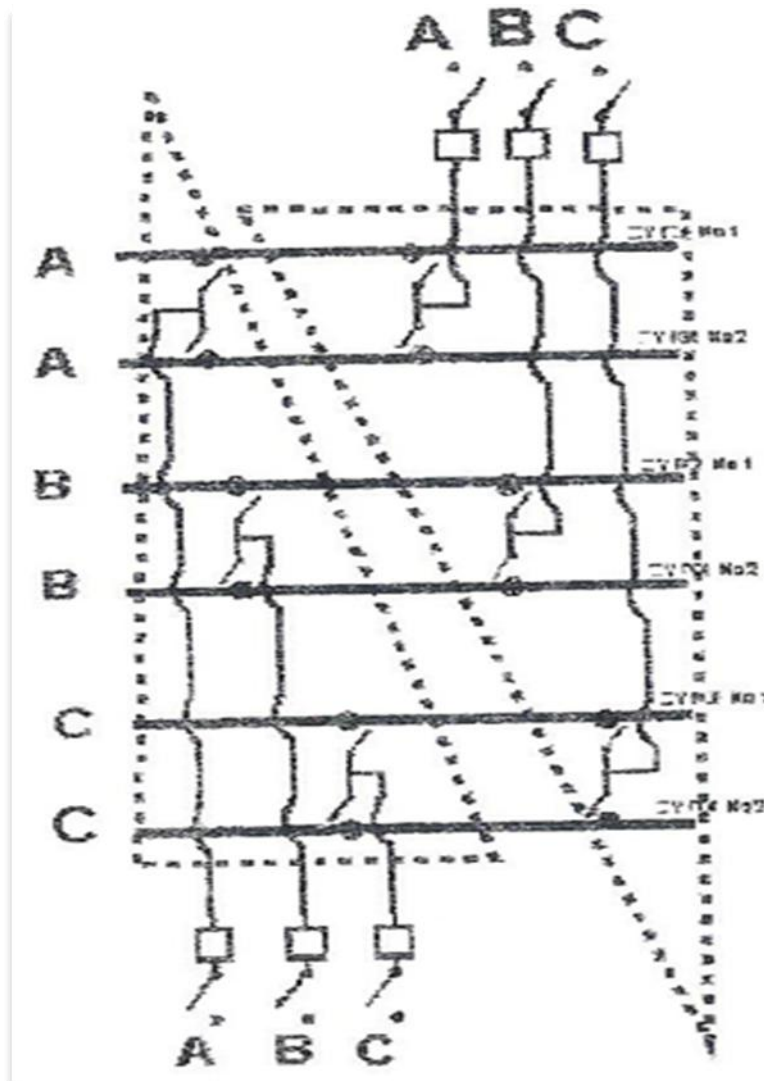
Μικτή διάταξη φάσεων

Η διάταξη αυτή εφαρμόζεται κυρίως στη Γαλλία, έχει υιοθετηθεί και στην Ελλάδα σαν το οικονομικότερο σύστημα διάταξης ζυγών και χρησιμοποιείται κυρίως στα ΚΥΤ.

Στην διάταξη αυτή οι φάσεις των ζυγών είναι τοποθετημένες ανάμεικτα, έτσι ώστε η φάση Α του ενός ζυγού να ακολουθείται από την φάση Α του δεύτερου ζυγού και από την φάση Α του τρίτου ζυγού κ.ο.κ, ανάλογα με τον αριθμό των ζυγών που αποτελείται η διάταξη.

Αυτή η διάταξη επιτρέπει την μείωση του απαιτούμενου μήκους ζυγού για κάθε κυψέλη και την σύνδεση δύο αναχωρήσεων (προς αντίθετες κατευθύνσεις) επί της ίδιας ευθείας, διότι ο απαιτούμενος για κάθε κυψέλη χώρος αποτελείται από ένα

ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, για τον εξοπλισμό της αναχώρησης (διακόπτη, αποζεύκτη γραμμής Μ/Σ τάσης και έντασης) και ένα τρίγωνο που περιλαμβάνει τους αποζεύκτες σύνδεσης με τους ζυγούς.



Σχ.7.2 Μικτή διάταξη φάσεων

7.5 Ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων επιλογής διατάξεως υποσταθμού.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι βαθμίδες τεσσάρων διαφορετικών κριτηρίων επιλογής διατάξεων υποσταθμών.[5]

Πίνακας 7.4: Σύγκριση πολλαπλών κριτηρίων [5]

Διατάξεις υποσταθμών	Κόστος	Αξιοπιστία	Ευελιξία	Περιβάλλον
Διπλοί ζυγοί με τμηματοποιημένους διακόπτες	1	10	9	2
Διπλοί ζυγοί	6	8	8	7
Δακτυλιοειδείς ζυγοί	4	5	6	3
1.5 διακόπτη	2	9	10	9
Ένας ζυγός με τμηματοποιημένους διακόπτες	9	3	3	9
Ένας ζυγός	8	1	1	9

Από μία ομάδα αρχικών διατάξεων υποσταθμών, ο σχεδιαστής αποκλείει αυτές που δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τους περιορισμούς του απαιτούμενου σχεδίου υποσταθμού και συμπύσσει την έρευνα σε μια ομάδα ευλογοφανών επιλογών. Αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας μια σειρά φίλτρων που περιέχουν εφευρετικούς κανόνες να περιορίζουν όλες τις ανέφικτες διατάξεις. Αυτή η διαδικασία φιλτραρίσματος αποτελείται από τέσσερα βασικά φίλτρα:

- Το φίλτρο τάσης περιορίζει διατάξεις μη εφαρμόσιμες σε ένα δοσμένο επίπεδο τάσης (για παράδειγμα διατάξεις ενός ζυγού δεν χρησιμοποιούνται στα 735 kV).
- Το φίλτρο εγκατάστασης μεγέθους περιορίζει διατάξεις ακατάλληλες για τον αριθμό των κυκλωμάτων και μετασχηματιστών που απαιτούνται.
- Το φίλτρο αξιοπιστίας περιορίζει τις διατάξεις που προκαλούν μη αποδεκτές συνέπειες για ειδικά πιστευτά γεγονότα.
- Το φίλτρο περιβαντολλογικού περιορισμού φροντίζει για το μέγεθος της έκτασης και της τοποθεσίας του υποσταθμού (εσωτερικά και εξωτερικά) .

Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας φιλτραρίσματος είναι μια ομάδα από εφικτές διατάξεις υποσταθμών. Αυτές οι διατάξεις είναι συνδυάζονται με άλλα τμήματα άλλων υποσταθμών και όλα μαζί αποτελούν το μονογραμμικό σχέδιο ολόκληρου του υποσταθμού. Προφανώς, εάν κάθε εφικτό τμήμα κάθε σύνθετης ομάδας συμπεριληφθεί, ο αριθμός ολόκληρου του σχεδίου του υποσταθμού θα γίνει σημαντικά μεγάλος. Επιπλέον η ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων χρησιμοποιείται να βαθμολογήσει πραγματοποιήσιμες εναλλακτικές από κάθε σύνθετη ομάδα έτσι ώστε να φτάσει σε ένα εφικτό αριθμό συνδυασμών. Ο παραπάνω πίνακας δίνει ένα συγκεκριμένο παράδειγμα των σχετικών βαθμίδων προσδιορισμένες στις ποικίλες διατάξεις υποσταθμών με σεβασμό σε κάθε κριτήριο. Η απόφαση αυτών των βαθμίδων είναι βασισμένη στην εμπειρία και έχει καθοριστεί μετά από προσφυγή σε ειδικούς.

8. Συμπεράσματα

Τέλος συμπεραίνουμε ότι η επιλογή της διατάξεως εξαρτάται κάθε φορά και από της απαιτήσεις που έχει ο κατασκευαστής για την λειτουργία του υποσταθμού. Γενικά οι διατάξεις ενός ζυγού είναι πιο κοινοί στην κατασκευή υποσταθμών Υψηλής και Μέσης Τάσης. Οι διατάξεις ενός ζυγού με ζυγό μεταφοράς αλλά και αυτές ενός ζυγού με εγκαταστάσεις συνδεδεμένες σαν ένα δακτύλιο υποσταθμών, έχουν ευελιξία αλλά περιορίζουν την ασφάλεια του συστήματος. Αυτές οι διατάξεις παρέχουν μικρή ασφάλεια απέναντι σε σφάλματα ζυγών ,μικρή ευελιξία στις μετατροπές και εκτενείς διακοπές λειτουργίας για τη συντήρηση ζυγών τροφοδοσίας αλλά και των διακοπών ζυγών τροφοδοσίας.

Οι διατάξεις δύο ή τριών ζυγών τροφοδοσίας προτείνονται για μεγάλους υποσταθμούς όπου η ασφάλεια είναι πολύ σημαντική. Αυτές είναι κυρίως κατάλληλες για υψηλά διασυνδεδεμένα δίκτυα ισχύος στα οποία η μετατροπή είναι απαραίτητη και πολυάριθμοι δρόμοι παροχής είναι διαθέσιμοι. Χρησιμοποιούνται επίσης σε διασπασμένα δίκτυα, όπου συνδέονται σε επείγουσες περιπτώσεις.

Τα κυκλώματα χάνονται κατά τη διάρκεια της συντήρησης και επισκευής των διακοπών και των οργάνων των μετασχηματιστών. Όταν μία παρακαμπτήρια εγκατάσταση χρησιμοποιείται όπως στο σχήμα 5.2, μόνιμη διασύνδεση του κυκλώματος μπορεί να παραμείνει κατά τη διάρκεια της περισσότερης ώρας της συντήρησης. Μπορεί επίσης να είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η παρακαμπτήρια σύνδεση μετά από πολλές συμπτώσεις αποτυχίας κατά τη διάρκεια της συντήρησης οι οποίες θα πρέπει να συμπεριληφθούν.

Οι διατάξεις διπλών ζυγών με διπλό διακόπτη ανά αναχώρηση καθώς και αυτές του 1.5 διακόπτη είναι κυρίως κατάλληλες για υποσταθμούς μεγάλης ισχύος, όπως αυτοί που είναι συνδεδεμένοι με σταθμούς παραγωγής και για δίκτυα με κυρίως ακτινικά κυκλώματα με μερικές βροχοειδείς συνδέσεις. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για να καλυφθούν όλα τα δυσάρεστα ενδεχόμενα διακοπών, οι διακόπτες και οι συνδεδεμένες διατάξεις θα πρέπει να είναι ικανές να χειριστούν το συνδυασμένο ρεύμα φορτίου των δύο κυκλωμάτων.

Οι βροχοειδείς διατάξεις είναι κυρίως κατάλληλες για εφαρμογές όπου απαιτείται η μέγιστη ασφάλεια απέναντι και η ελάχιστη διακοπή λειτουργίας στη συντήρηση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο εξοπλισμός στις δακτυλιοειδείς συνδέσεις του βρόχου θα πρέπει να είναι ικανός να φέρει ρεύμα φορτίου που μπορεί να συμβάλει σε οποιοδήποτε δυσάρεστο ενδεχόμενο στη μετατροπή και εναλλαγή. Επιπρόσθετα βροχοειδείς διατάξεις δεν είναι εύκολα επεκτάσιμες.

Όλες οι διατάξεις έχουν χρησιμοποιηθεί και πολλά από τα πλεονεκτήματα της μιας ισοσταθμίζονται από τα μειονεκτήματά της και η επιλογή είναι καθαρά συνδυασμός απαιτήσεων και περιστάσεων, χωρίς τον αποκλεισμό κάποιων ως πλήρως αναξιόπιστων. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η επιλογή κρίνεται από πολλαπλά κριτήρια με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα από τη περιγραφή και σύγκριση αυτών.

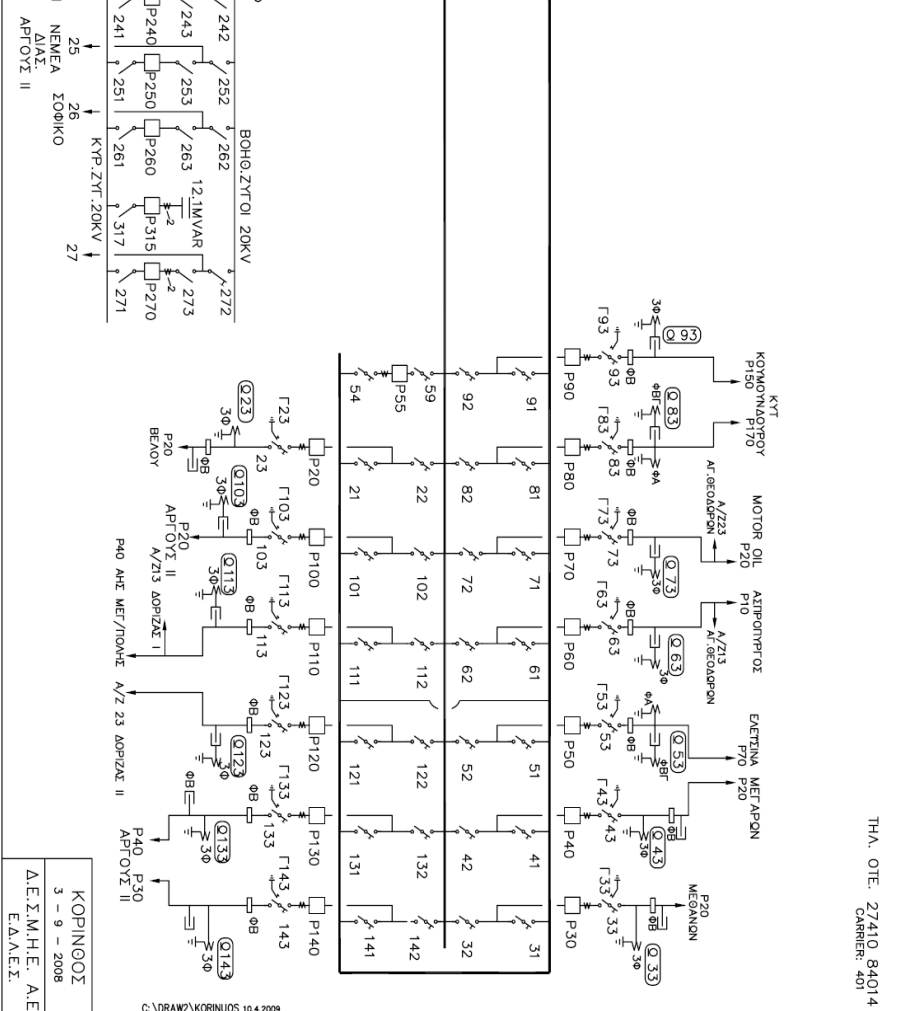
9. Βιβλιογραφία

1. « Δίκτυα-Σταθμοί, Παραγωγή, Μεταφορά, Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας », Φίλιππος Δημόπουλος, Τσαραμιάδης Παναγιώτης.
2. « Ανάλυση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας », Βασίλειος Κ. Παπαδιάς, Αθήνα 1993.
- 3.« Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας και Οικονομική Λειτουργία Συστήματος », Βασιλείου Κ. Παπαδιά, Αθήνα 1985.
4. « Electric Power Substations Engineering , Second Edition », John D.McDonald
5. «THE APPLICATION OF MULTI-CRITERIA ANALYSIS TO SUBSTATION DESIGN» IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No. 3, August 1998
6. Ευάγγελος Ν. Διαλυνάς, «Αξιοπιστία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας», Αθήνα 1996
7. «Substation Bus Arrangement Guideline Working Group Report» Presented to the NEPOOL Reliability Committee April 4, 2006.
8. Κ. Βουρνάς, Γ. Κονταξής , «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Αθήνα 2001
9. «Composite Reliability Evaluation Model for Different Types of Distribution Systems» IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, VOL. 18, NO. 2, MAY 2003
- 10.«500-kV AC Substation Design Criteria Summary of Industry Practices»
IEEE TRANSACTIONS ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS, VOL. PAS-88, NO. 6, JUNE 1969
11. «Substation Expansion, Reliability, and Transformer Loading Policy Analysis»
IEEE TRANSACTIONS ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS, VOL. PAS-88, NO. 8, AUGUST 1969
12. «Substation Reliability Evaluation Including Switching Actions with Redundant Components» IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No. 4, October 1997

13. «Reliability of Substation Configurations» Daniel Nack, Iowa State University, 2005
14. «Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας» Τόμος Ι, Παπαδόπουλος 1994
15. « GENERAL GUIDELINES FOR THE DESIGN OF OUTDOOR AC SUBSTATIONS» CIGRE, Working Group 23.03, August 2000
16. «QUESTIONNAIRE CONCERNING ASPECTS ON PLANNING, DESIGN, OPERATION AND MAINTENANCE OF FUTURE SUBSTATION» CIGRE, Working Group 23.01, August 2000
17. «Θέματα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας», Έκδοση ΔΕΗ, Αθήνα 1985
Ευάγγελος Λεκατσάς
18. «The impact of new functionalities on substation design» TECHNICAL BROCHURE, No 244-June 2009 ELECTRA 45
19. «GIS-State of the Art 2008» TECHNICAL BROCHURE, No 244-June 2009 ELECTRA 51
20. «Παραγωγή-Μεταφορά-Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας, Υποσταθμοί-Προστασία», Αθήνα, Κατοπόδης, Νιάρχος
21. «ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ 400 kV ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΜΕ ΜΟΝΩΣΗ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΟ ΛΑΥΡΙΟ» Αθήνα 1995, Ι.Χ Αλεξανδρή, Γ.Ι.Γεωργαντζής, Ν.Γ. Γκαγκαουδάκης
22. ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ « ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ» ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ- ΕΙΔΗ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ. ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ, ΔΕΗ ΑΕ.
23. «Switchgear and Protection» U.A Bakshi, M.V. Bakshi, Technical Publications Pune
24. « Power System Protection» P.M. Anderson, IEEE PRESS SERIES ON POWER ENGINEERING
25. «Protective Relaying: Principles and applications, Second Edition, J. Lewis Blackburn
26. «Protective Relaying Theory and Applications» Second Edition, Revised and Expanded, Walter A. Elmore

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

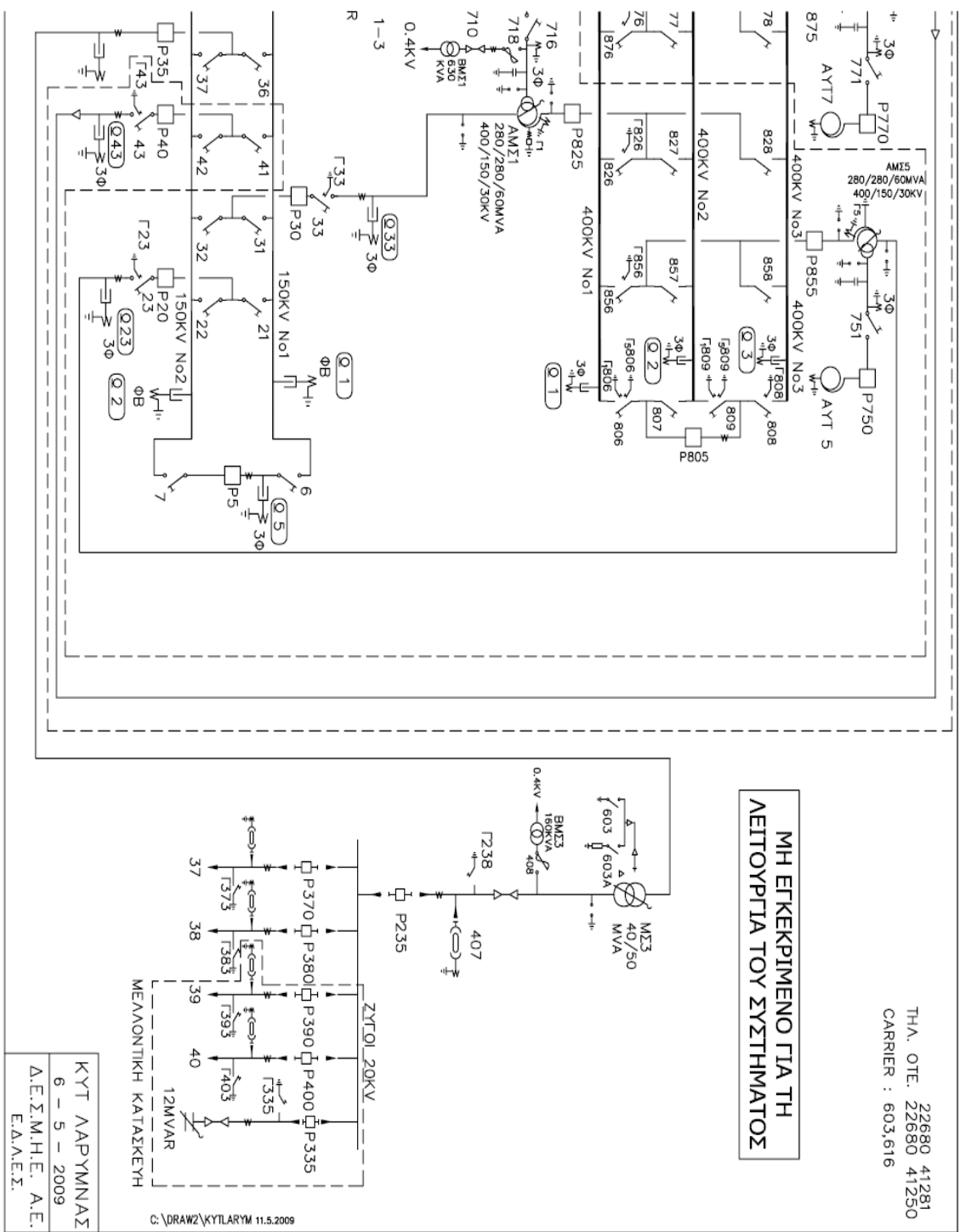
Παρατίθεται ένα παράρτημα με μονογραμμικά σχέδια του ελληνικού δικτύου, πιο συγκεκριμένα ένα μονογραμμικό του Υ/Σ Κορίνθου καθώς και ένα μονογραμμικό σχέδιο του Κ.Υ.Τ Λάρυμνας. Σε αυτά διακρίνουμε κάποιες από τις παραπάνω διατάξεις, όπως για παράδειγμα σε αυτή του Υ/Σ Κορίνθου στα 20 kV έχουμε κεντρικό ζυγό με ζυγό μεταγωγής, ενώ έχουμε διπλό ζυγό-διπλό διακόπτη στα 150 kV. Στο ΚΥΤ Λάρυμνας έχουμε τρεις ζυγούς με έναν διακόπτη ανά αναχώρηση.



THA. OTE: 27410_84014
CARRIER: 401

THA. OTE. 22680 41281
 Z2680 41230
 CARRIER : 603,616












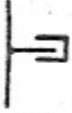

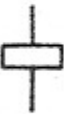




**ΜΗ ΕΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΓΙΑ ΤΗ
 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**



C:\DRAW2\KYTLARYM 11.5.2009

ΚΥΤ ΑΡΧΥΜΝΑΣ
 6 - 5 - 2009
 Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. Α.Ε.
 Ε.Α.Ε.Σ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΠΙΝΑΚΑΣ		ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ		ΓΡΑΦΙΚΩΝ	
ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ
	γεννητρια		A/Z μονοπολικός		γραμμή
	ζυγοί		ασφαλείαποζευκτης		M/Σ εντάσεως
	M/Σ ισχύος		M/Σ τάσεως		διακοπής ισχύος
	αλεξικεραυνο		A/Z τριπολικός χειροκίνητος		πυκνωτής ζευξέως
	A/Z τριπολικός ηλεκτροκίνητος		φίλτρο φερεσυχνών		M/Σ σε τρίγωνο
	γειώτης		M/Σ σε αστέρα		εμβόλο τεχνητού σφαλματος