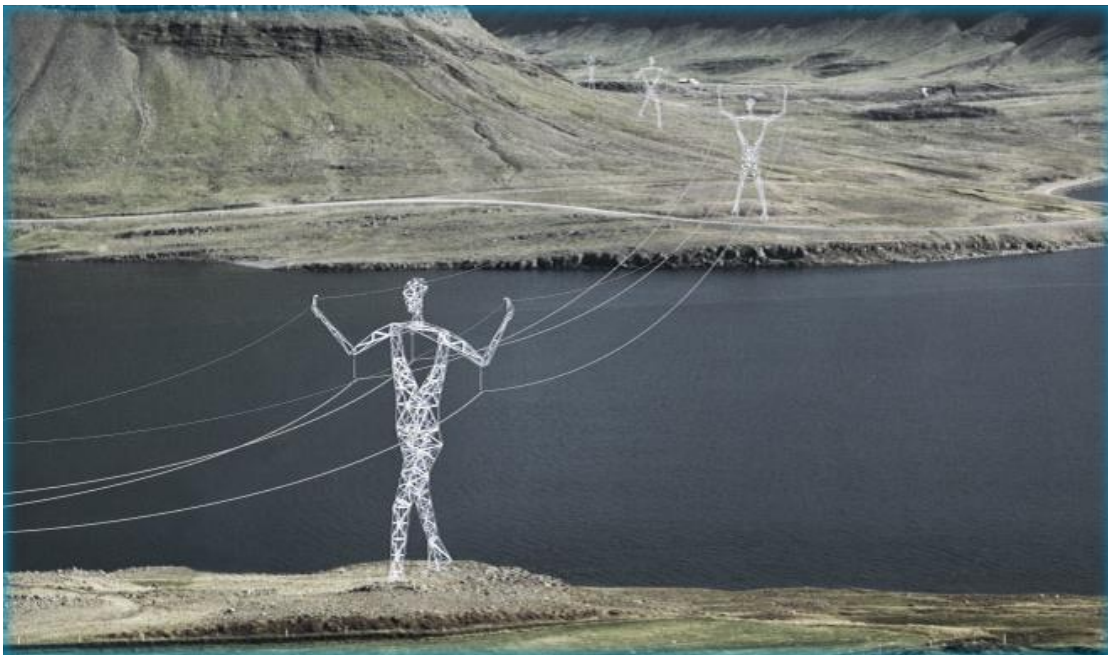


**Α.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

“ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”



Επιβλέπων καθηγητής : Δρ. Κωνσταντίνος Ψωμόπουλος Καθηγητής

Σπουδαστής : Οικονομίδης Ζαχαρίας

Α.Μ. : 34368

ΑΘΗΝΑ

Μάιος - 2016

Copyright © A.E.I. Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις Α.Ε.Ι. Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Κωνσταντίνο Ψωμόπουλο, για την υπομονή και την εμπιστοσύνη που επέδειξε προς το πρόσωπό μου κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας. Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς τους γονείς μου, για την αμέριστη οικονομική και ψυχολογική στήριξη στο στάδιο ολοκλήρωσης της συγκεκριμένης εργασίας

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	i
Περιεχόμενα	ii
Λίστα σχημάτων	iv
Λίστα πινάκων	vi
Λίστα εικόνων	vi
Περίληψη.....	vii
Summary	viii
1^ο Κεφάλαιο “ΕΙΣΑΓΩΓΗ”	1
2^ο Κεφάλαιο “ΒΑΣΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”	6
2.1 Εισαγωγή	6
2.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	8
2.3 Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	13
2.4 Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας	13
2.5 Φορτίο.....	17
2.6 Έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και δίκτυα νέας γενιάς.....	17
3^ο Κεφάλαιο “ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ”	21
3.1 Εισαγωγή	21
3.2 Κατηγορίες σφαλμάτων.....	21
3.3 Βραχυκυκλώματα	22
3.4 Σφάλματα που αφορούν ηλεκτρικούς κινητήρες	23
3.5 Υπερτάσεις	25
3.6 Σφάλματα εκκένωσης τόξου.....	26
3.7 Σειριακά σφάλματα	27
3.8 Σφάλματα που αφορούν μετασχηματιστές.....	27
3.9 Σφάλματα που αφορούν γεννήτριες	29
3.9.1 Σφάλματα στο στάτη μιας γεννήτριας.....	30
3.9.2 Σφάλματα στο δρομέα μιας γεννήτριας.....	30
4^ο Κεφάλαιο “ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ”	33
4.1 Εισαγωγή	33
4.2 Φιλοσοφίες προστασίας συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.....	34
4.2.1 Διατάξεις απόφασης – δράσης (ενεργητικές).....	35
4.2.2 Κατασταλτικές διατάξεις προστασίας (παθητικές)	37
4.3 Σημαντικές απαιτήσεις συστημάτων προστασίας	38
4.4 Ζώνες προστασίας	38
4.5 Πρωτεύουσα προστασία και προστασία υποστήριξης ή βοηθητική προστασία	40
4.5.1 Πρωτεύουσα προστασία.....	40
4.5.2 Προστασία υποστήριξης ή βοηθητική προστασία.....	41
4.6 Ορισμοί.....	42
4.7 Συντονισμός μόνωσης (insulation coordination).....	44
5^ο Κεφάλαιο “ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ”	48
5.1 Αρχή λειτουργίας των ηλεκτρονόμων προστασίας	48
5.2 Ηλεκτρομηχανικοί ηλεκτρονόμοι.....	50
5.2.1 Ηλεκτρονόμοι έλξης.....	51
5.2.2 Ηλεκτρονόμοι με κινούμενα πηνία	53

5.2.3	Επαγωγικοί ηλεκτρονόμοι.....	54
5.3	Ηλεκτρονόμοι σταθερής κατάστασης	56
5.3.1	Πλεονεκτήματα ηλεκτρονόμων σταθερής κατάστασης	57
5.3.2	Μειονεκτήματα ηλεκτρονόμων σταθερής κατάστασης	58
5.4	Ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι	58
5.4.1	Χαρακτηριστικά ψηφιακών ηλεκτρονόμων	59
5.4.2	Προσαρμοστική προστασία με τη βοήθεια ψηφιακών ηλεκτρονόμων	60
5.4.3	Τυπική αρχιτεκτονική ψηφιακών ηλεκτρονόμων	60
5.5	Ηλεκτρονόμοι υπερέντασης	62
5.6	Συντονισμός σκανδαλισμού ηλεκτρονόμων υπερέντασης (Coordination)	66
5.7	Ηλεκτρονόμοι προστασίας μετασχηματιστών.....	73
6^ο	Κεφάλαιο “ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ”	77
6.1	Προστασία γεννητριών.....	77
6.1.1	Προστασία του στάτη μιας γεννήτριας.....	79
6.1.2	Προστασία του δρομέα.....	83
6.1.3	Προστασία ενάντια σε σφάλματα που επιδρούν ταυτόχρονα σε στάτη και δρομέας γεννήτριας.....	84
6.2	Μετασχηματιστές τάσης και έντασης.....	86
6.2.1	Μετασχηματιστές τάσης.....	86
6.2.2	Σφάλματα Μ/Σ τάσης	88
6.2.3	Επιλογή ενός Μ/Σ τάσης	89
6.2.4	Μετασχηματιστής τάσης με πυκνωτή	90
6.3	Μετασχηματιστές έντασης	91
6.3.1	Σφάλματα στους μετασχηματιστές έντασης.....	93
6.4	Μονωτήρες	93
6.4.1	Είδη μονωτήρων ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης	95
6.4.2	Είδη μονωτήρων ανάλογα με τους χώρους χρήσης.....	95
6.4.3	Είδη μονωτήρων ανάλογα με το υλικό και σχήμα τους	96
6.4.4	Ιδιότητες μονωτήρων	99
6.4.5	Λειτουργίες μονωτήρων	100
6.4.6	Παράμετροι ενός μονωτήρα	101
6.5	Εξαθφοριούχο θείο (SF ₆).....	102
6.5.1	Σύγχρονες χρήσεις του εξαθφοριούχου θείου	104
6.6	Διακόπτες αυτόματης επαναφοράς (reclosers).....	106
6.6.1	Σημεία τοποθέτησης διακοπών αυτόματης επαναφοράς	109
6.7	Διακόπτες απομόνωσης (sectionalizers).....	110
7^ο	Κεφάλαιο “ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ”	114
	Βιβλιογραφία.....	116

Λίστα σχημάτων

Σχήμα 1 : Διάταξη συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας	7
Σχήμα 2 : Γραφική αναπαράσταση τύπων υπερτάσεων.....	26
Σχήμα 3 : Ζώνες προστασίας.....	39
Σχήμα 4 : Σχεδιάγραμμα αλληλοκάλυψης	39
Σχήμα 5: Διασαφήνιση Προστασίας Υποστήριξης για τη Γραμμή Μεταφοράς ΕF	42
Σχήμα 6 : Αέρας ως μονωτικό υλικό και διάστημα ερπυσμού.....	45
Σχήμα 7 : Βασική σύνδεση των Ηλεκτρονόμων Προστασίας.....	49
Σχήμα 8 : Ηλεκτρονόμος τύπου έλξης σπλισμού	51
Σχήμα 9 : Ηλεκτρονόμος τύπου σωληνοειδούς πηνίου.....	52
Σχήμα 10 : Επαγωγικός Ηλεκτρονόμος.....	55
Σχήμα 11 : Αναλυτικό διάγραμμα επαγωγικού ηλεκτρονόμου.....	56
Σχήμα 12 : Κύκλωμα Ηλεκτρονόμου Solid State	57
Σχήμα 13 : Αρχιτεκτονική Ψηφιακών Ηλεκτρονόμων	61
Σχήμα 14 : Λειτουργικό κύκλωμα ηλεκτρονόμου υπερέντασης.....	62
Σχήμα 15 : Διαγραμματική απεικόνιση λειτουργίας H/N ορισμένου ρεύματος	63
Σχήμα 16: Διαγραμματική απεικόνιση λειτουργίας H/N ορισμένου χρόνου.....	64
Σχήμα 17 : Διαγραμματική απεικόνιση λειτουργίας H/N αντίστροφου χρόνου	65
Σχήμα 18 : Αποκρίσεις H/N συναρτήσει ρεύματος και χρόνου	65
Σχήμα 19: Ανίχνευση σφάλματος από τρεις διατάξεις προστασίας.....	67
Σχήμα 20 : Γραμμικό διάγραμμα συντονισμού βάσει του ρεύματος	69
Σχήμα 21: Αρχή λειτουργίας λογικού συντονισμού H/N υπερέντασης.....	70
Σχήμα 22: Τυπικές χαρακτηριστικές χρόνου – ρεύματος για H/N υπερέντασης ανάστροφου χρόνου.....	72
Σχήμα 23: Ηλεκτρονόμος Buchholz.....	73
Σχήμα 24 : (α) Αρχικό διάγραμμα H/N Buchholz, (β) Μοντέρνος H/N Buchholz.....	74
Σχήμα 25 : (α) Αρχή λειτουργίας H/N αιφνίδιας πίεσης, (β) Σύγχρονος H/N αιφνίδιας πίεσης	75
Σχήμα 26 : Γενικό διάγραμμα προστασίας γεννήτριας	78
Σχήμα 27 : Σχηματική αναπαράσταση για διαφορική προστασία γεννητριών	81
Σχήμα 28 : Σχηματική παράσταση για εγκάρσια διαφορική προστασία γεννητριών	81
Σχήμα 29 : Ανιχνευτής θερμοκρασίας με R.T.Ds και επαγωγικό ηλεκτρονόμο.....	83
Σχήμα 30: Ανίχνευση βραχυκυκλώματος γης	84
Σχήμα 31 : Χαρακτηριστικά σύνθετης αντίστασης ηλεκτρονόμου mho για την ανακάλυψη της απώλειας πεδίου.	85
Σχήμα 32 : Ισοδύναμο κύκλωμα M/Σ τάσης.....	87
Σχήμα 33 : Απλουστευμένο Ισοδύναμο κύκλωμα M/Σ τάσης	87
Σχήμα 34 : Διανυσματικό διάγραμμα M/Σ τάσης	88
Σχήμα 35 : Συνδεσμολογία M/Σ τάσης-έντασης σε σύστημα 4 αγωγών/3 φάσεων Υ.Τ.	89
Σχήμα 36 : Ισοδύναμο κύκλωμα M/Σ τάσης με πυκνωτή.....	91
Σχήμα 37 : Ισοδύναμο κύκλωμα M/Σ έντασης	92
Σχήμα 38 : Απλουστευμένο Ισοδύναμο κύκλωμα M/Σ έντασης	92
Σχήμα 39 : Διανυσματικό διάγραμμα M/Σ έντασης.....	93
Σχήμα 40 : Μονωτήρας τύπου pin.....	96
Σχήμα 41 : Τυπικός cap and pin Μονωτήρας.....	97

Σχήμα 42 : Μονωτήρας διέλευσης	99
Σχήμα 43 : Αρχή λειτουργίας διακόπτη (GIS) για σβέση τόξου.....	104
Σχήμα 44 : Αλληλουχία λειτουργίας διακόπτη επαναφοράς σε περίπτωση μόνιμου σφάλματος	107
Σχήμα 45 : Διάταξη διακόπτη αυτόματης επαναφοράς του οίκου Merlin Gerin.....	108
Σχήμα 46 : Τομή διακόπτη ισχύος αυτόματου διακόπτη	109
Σχήμα 47: Διανομή μέσης τάσης με δυνατότητα απομόνωσης του καταναλωτή.....	111
Σχήμα 48 : Μπλοκ διάγραμμα διακόπτη απομόνωσης	112

Λίστα πινάκων

Πίνακας 2-1 : Τυποποιημένες τιμές τάσης διανομής	16
--	----

Λίστα εικόνων

Εικόνα 1 : Νυχτερινή άποψη Νέας Υόρκης	1
Εικόνα 2 : Ενεργειακές ανάγκες σύγχρονου κόσμου	2
Εικόνα 3 : Νυχτερινή άποψη Λονδίνου.....	2
Εικόνα 4 : Υποσταθμός δικτύου μεταφοράς	3
Εικόνα 5 : Συντήρηση γραμμών μεταφοράς	4
Εικόνα 6 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υδροδυναμικής ενέργειας	9
Εικόνα 7: παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ατμοστροβίλου	9
Εικόνα 8 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω πυρηνικής ενέργειας	9
Εικόνα 9 : Είδη δρομέα γεννήτριας.....	10
Εικόνα 10 : Διαφοροποίηση περιστροφικής ταχύτητας ανάλογα με το είδος των πόλων	10
Εικόνα 11 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή ενέργεια.....	11
Εικόνα 12 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία.....	11
Εικόνα 13 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την κινητική ενέργεια των κυμάτων	11
Εικόνα 14 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα.....	12
Εικόνα 15 : Πυρηνική σύντηξη	12
Εικόνα 16 : Διάταξη δικτύου διανομής	14
Εικόνα 17 : παράδειγμα έξυπνου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας	18
Εικόνα 18 : Διάγραμμα ροής ενέργειας στα έξυπνα δίκτυα.....	19
Εικόνα 19 : Αποτέλεσμα βραχυκυκλώματος σε πυλώνα Χ.Τ.	23
Εικόνα 20 : Αποτέλεσμα στην περιέλιξη ηλεκτρικού κινητήρα έπειτα από σφάλμα υπερθέρμανσης.....	24
Εικόνα 21 : Ρίψη κεραυνού σε γραμμή μεταφοράς Υ.Τ.	25
Εικόνα 22 : Σφάλματα μεταξύ αγωγών	27
Εικόνα 23 : Μοντέλο συστήματος απόφασης δράσης	36
Εικόνα 24 : Μονωτήρες διασύνδεσης μετασχηματιστή.....	46
Εικόνα 25 : Ηλεκτρονόμος Σταθερής Κατάστασης	57
Εικόνα 26: Μονωτήρας τύπου post σε γραμμή μεταφοράς	98
Εικόνα 27 : Μονωτήρας τύπου post σε Υ/Σ.....	98
Εικόνα 28 : Διακόπτες ισχύος υποσταθμών διανομής ηλεκτρικού ρεύματος / Εξωτερική εμφάνιση διακόπτη ισχύος σε βιομηχανική μονάδα	103
Εικόνα 29 Υποσταθμός με διακόπτες GIS με αέριο SF ₆ 145 kV σε στεγασμένο χώρο.....	103
Εικόνα 30 : Γραμμή μεταφοράς με μόνωση μίγματος SF ₆ σε υπόγεια σήραγγα	105
Εικόνα 31: Μετασχηματιστής ισχύος 1500 kVA με μόνωση SF ₆ 22kV / 390 V.....	105

Περίληψη

Στα πλαίσια του παρόντος εκπονήματος εξετάστηκαν και μελετήθηκαν οι διάφορες κατηγορίες και μέθοδοι προστασίας των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, η εύρυθμη και ποιοτική λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, στις μέρες αποτελεί μια επιτακτική ανάγκη, η οποία υλοποιείται με τη χρήση κατάλληλου εξοπλισμού. Ο συγκεκριμένος εξοπλισμός αποτελείται από ενεργά και παθητικά στελέχη, δηλαδή από μονάδες που δρουν κατά την παρουσίαση ενός σφάλματος και μονάδες που προφυλάγουν ή αποτρέπουν την εμφάνιση ενός σφάλματος. Ενεργά στελέχη μπορεί να θεωρηθούν οι ηλεκτρονόμοι, οι διακόπτες κ.λ.π., ενώ ως παθητικά μπορούν να θεωρηθούν οι μονωτήρες, τα αντικεραυνικά κ.ά.

Ο εξοπλισμός προστασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε στο σύνολο του δικτύου είτε, εξειδικευμένα, σε σημεία όπως η Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας, οι Μετασχηματιστές, οι Κινητήρες κ.λπ. Τέλος, σημαντική παράμετρο στον τομέα της προστασίας αποτελεί το κόστος, με αποτέλεσμα να δίδεται ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη τεχνικών και μεθόδων τηλεχειρισμού και συγκέντρωσης δεδομένων με σκοπό τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της παραγόμενης, μεταφερόμενης και διανεμόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς τους τελικούς αποδέκτες, δηλαδή τους καταναλωτές.

Λέξεις κλειδιά: Σ.Η.Ε., Παραγωγή, Μεταφορά, Διανομή, Φορτίο, Μέθοδοι προστασίας, Εξοπλισμός προστασίας, Ηλεκτρονόμοι, Διακόπτες, Μονωτήρες, Βλάβες, Σφάλματα, Υψηλή τάση, Μέση τάση,

Summary

Electric power networks are, in general, among the most complex yet most reliable systems engineered by man. However, these large interconnected systems often operate under high stresses because of the increasing demand for electric energy and the difficulty of improving the infrastructure due to economic and environmental constraints. The major challenges facing the electric power industry today include the need for balancing resource adequacy, safety, network reliability, stability, economics, environmental and other public objectives to optimize resources while satisfying the growing demand. This optimization must be performed with due consideration of such constraints as having to meet reliability criteria and stability margins.

The quality of electricity supplies is an important factor in the socio-economic development of any area. Approximately 75% of all customer hours lost are owing to faults on the distribution networks, and customers rightly expect a high level of security for their supply. Although this can be achieved by good distribution network design using proven equipment, it is also essential to provide suitable protection schemes and relay settings to ensure that faults are quickly disconnected to minimise outage times and improve the continuity of supplies to customers. The fundamentals of protective relays have remained the same for many years, but software, hardware and communications have experienced outstanding progress. That has been introduced in the protection systems as a whole, which has impacted positively the performance of relays and in particular in regards to reliability and speed of operation.

Keywords: Electric Power System, Protection, Power Generation, Transmission, Distribution, Burden, Protection methods, Protection Equipment, Relays, Switches, Insulators, Trips, Faults

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΕΙΣΑΓΩΓΗ”

Ακρογωνιαίος λίθος των σύγχρονων κοινωνιών είναι αδιαμφισβήτητα ο ηλεκτρισμός, υπό την έννοια της ηλεκτροδότησης. Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το θεμέλιο της οικονομίας και υποστηρίζει κάθε έκφανση της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η προοπτική της διαθέσιμης ηλεκτροδότησης πρέπει απαραίτητως να θεωρείται εξασφαλισμένη. Ως εκ τούτου μεγάλες προκλήσεις πρέπει να αντιμετωπιστούν προκειμένου η παραγόμενη, μεταφερόμενη και διανεμόμενη ενέργεια να καλύψει τις ανάγκες της ανθρωπότητας.



Εικόνα 1 : Νυχτερινή άποψη Νέας Υόρκης

Η παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται σταθερά με ρυθμό 3% ανά έτος, ποσοστό εντυπωσιακό εάν συγκριθεί με το ετήσιο ποσοστό αύξησης της ζήτησης σε πρωτογενή ενέργεια, που αγγίζει μόλις το 2%. Οι παράγοντες που οδηγούν σε αυτή την κλιμάκωση είναι ποικίλοι, με βασικούς την αύξηση του πληθυσμού και την επέκταση των προσδοκώμενων ορίων ζωής.



Εικόνα 2 : Ενεργειακές ανάγκες σύγχρονου κόσμου

Η διαδικασία της αστικοποίησης συνεχίζει να επιταχύνεται και αυξανόμενες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να μεταφερθούν στα μεγάλα αστικά κέντρα, συνήθως διανύοντας αρκετά μεγάλες αποστάσεις. Ταυτόχρονα, η πυκνότητα και η συνθετότητα των αστικών δικτύων ισχύος λαμβάνουν συνεχώς μεγαλύτερες διαστάσεις.



Εικόνα 3 : Νυχτερινή άποψη Λονδίνου

Αντισταθμιστικός παράγοντας επέκτασης της διάθεσης ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν οι υφιστάμενοι πόροι των ορυκτών καυσίμων, που ως γνωστόν συνεχώς ελαττώνονται, ενώ παραμένει ιδιαίτερα ακριβή η εξόρυξή τους. Προκειμένου να απαλλαγεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το πετρέλαιο, θα πρέπει να γίνει μια εξ' ολοκλήρου στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές πρωτογενούς ενέργειας, όπως η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική και τέλος η χημική, καθώς αποτέλεσμα αυτής της πορείας θα είναι σίγουρα η τροχοπέδη στην κλιματική αλλαγή και στην υπέρογκη εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα. Παράλληλα, η προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας (energy efficiency) των ηλεκτρικών δικτύων θα συμβάλλει με τη σειρά της στην περιβαλλοντολογική και κλιματική ισορροπία και στη διατήρηση του κόστους παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας σε λογικά επίπεδα. Τέλος, το ανερχόμενο διεθνές εμπόριο ενέργειας, βασιζόμενο στην απελευθέρωση των ενεργειακών αγορών απαιτεί πλέον την επένδυση στη μεταφορά της ενέργειας, σχηματίζοντας βιώσιμα δίκτυα ηλεκτροδότησης.



Εικόνα 4 : Υποσταθμός δικτύου μεταφοράς

Ως τρόπος με τον οποίο υλοποιείται η ηλεκτροδότηση στα ενδιαίτηματα του ανθρώπου ορίζονται τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Σύνθετα και αχανή, τα Σ.Η.Ε αποτελούν τη ραχοκοκαλιά των αστικών ή μή περιοχών του πλανήτη. Οι ατέρμονες ανάγκες της ανθρωπότητας, τόσο στις αναπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες, έχουν καταστήσει αναγκαία την απρόσκοπτη, αξιόπιστη και οικονομική διοχέτευση ενέργειας σε όλους τους διασυνδεδεμένους καταναλωτές. Βέβαια, προτεραιότητα κάθε Σ.Η.Ε. είναι η παροχή ενέργειας να επιτυγχάνεται με τη βέλτιστη ασφάλεια, πράγμα που προϋποθέτει τον ορθό σχεδιασμό του και τους κατάλληλους μηχανισμούς συντήρησής του.



Εικόνα 5 : Συντήρηση γραμμών μεταφοράς

Πρωταρχικός στόχος κάθε Σ.Η.Ε. είναι η οριακή κάλυψη της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Οι όροι «οριακή κάλυψη» και «δεδομένη χρονική στιγμή» αντικατοπτρίζουν τη φύση της ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, είναι αδύνατη η αποθήκευσή της, σε αντίθεση με άλλες μορφές ενέργειας, με σκοπό τη μελλοντική χρήση της, ενώ είναι εξαιρετικά ευμετάβλητη η ζήτησή της στη μονάδα του χρόνου, γεγονότα που καθιστούν απαιτητική τη διαχείρισή της.

Σημαντικά ποσά δαπανώνται για τα συστήματα προστασίας των δικτύων Ηλεκτρικής Ενέργειας (περίπου 5% του συνολικού κόστους του εξοπλισμού του συστήματος) και αποσκοπούν στην προστασία αυτού του εξοπλισμού, που είναι ιδιαίτερα ακριβός, και στην απρόσκοπτη τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια των καταναλωτών.

Βιβλιογραφία 1^ο Κεφαλαίου

- [1] Detlef Lucius, “Planning of Electric Power Distribution, Technical Principles”, Energy Management, Medium Voltage and Systems, Siemens AG Berlin and Munich, 2015.
- [2] John J. Grainger, William D. Stevenson, Jr., “Power System Analysis”, McGraw- Hill, Inc., 1994.
- [3] Εικόνα εξωφύλλου : http://naxos365.blogspot.gr/2012/09/blog-post_8821.html

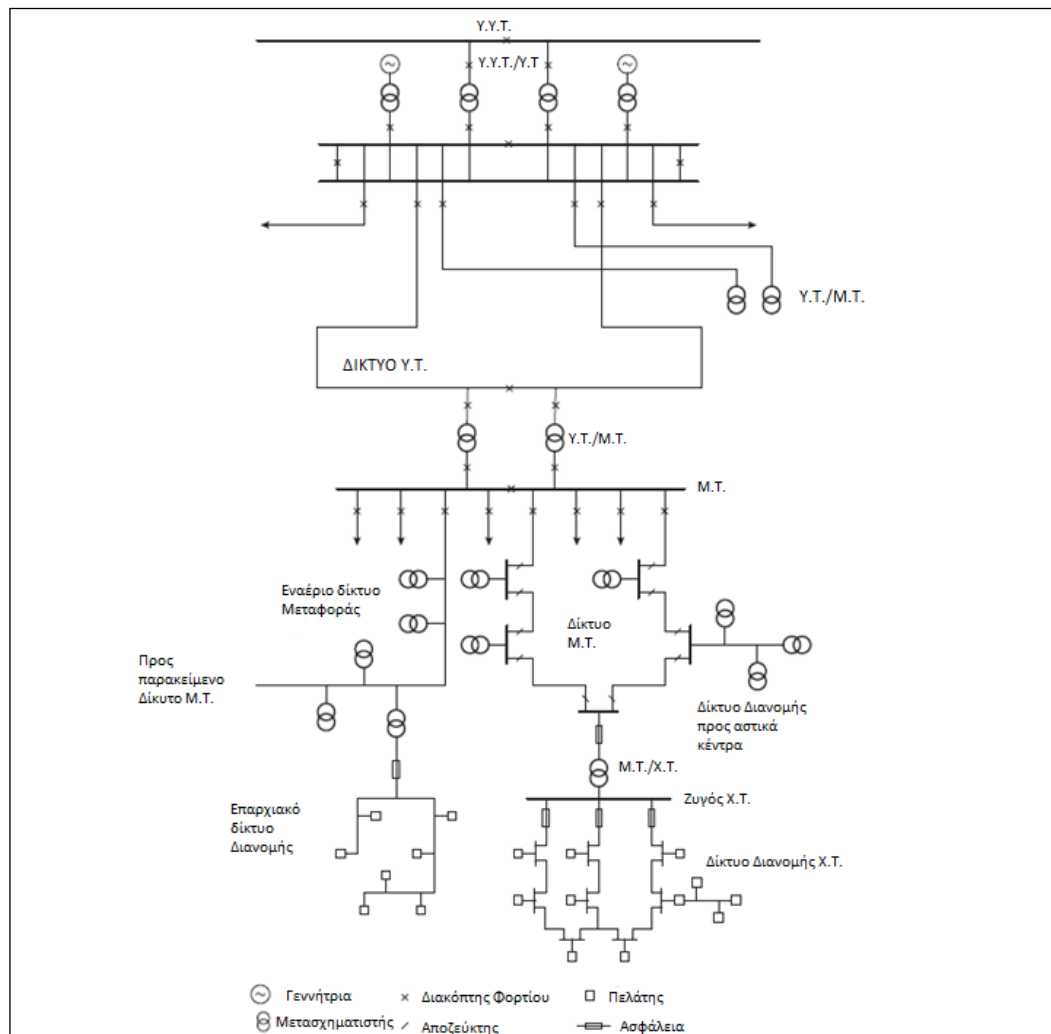
2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΒΑΣΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”

2.1 Εισαγωγή

Πρωταρχικός σκοπός κάθε Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι να ικανοποιήσει τη ζήτηση όλων των καταναλωτών του. Η παραγωγή ενέργειας διεξάγεται οπουδήποτε επιτυγχάνεται το ευνοϊκότερο συνολικό κόστος πώλησης. Το Σύστημα Μεταφοράς εξυπηρετεί στη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας στα κέντρα του φορτίου, ενώ με τη διανομή εξασφαλίζεται το γεγονός ότι και στον πιο απομακρυσμένο καταναλωτή θα παρέχεται ενέργεια, χρησιμοποιώντας κατάλληλα επίπεδα τάσης. Στην περίπτωση που απαιτείται η μεταφορά ιδιαίτερα μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, τότε επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα Υπέρ-Υψηλής Τάσης (Extra-High Voltage). Η τάση λειτουργίας σε τέτοιου είδους συστήματα υπερβαίνει τα 300 kV, με τυποποιημένες τιμές: 400, 500 και 765 kV. Τα συστήματα Υψηλής Τάσης μεταφέρουν ποσότητες ενέργειας σε μια συγκεκριμένη περιοχή και λειτουργούν είτε ως ένα διασυνδεδεμένο σύστημα ή διακριτό. Κάτω από το επίπεδο του δικτύου μεταφοράς μπορούν να υπάρχουν δύο ή τρία επίπεδα τάσης διανομής με σκοπό την τροφοδότηση ποικίλων καταναλωτών. Γενικότερα, τα συστήματα Υ.Τ και Μ.Τ. λειτουργούν ως ακτινωτά συστήματα. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η αμοιβαία σχέση των διαφόρων ειδών δικτύου. Τα δίκτυα Υ.Τ. τροφοδοτούνται από υποσταθμούς Υ.Υ.Τ ή Υ.Τ., οι οποίοι με τη σειρά τους τροφοδοτούνται

από γραμμές μεταφοράς Υ.Υ.Τ. Οι υποσταθμοί Υ.Τ. και Μ.Τ., συνδεδεμένοι στο δίκτυο Υ.Τ., τροφοδοτούν συγκεκριμένα δίκτυα Μ.Τ. Τα δίκτυα Υ.Τ και Μ.Τ. τροφοδοτούν άμεσα καταναλωτές μεγάλων φορτίων, αλλά η πλειοψηφία των καταναλωτών του συστήματος είναι συνδεδεμένοι στα δίκτυα Χαμηλής Τάσης, μέσω υποσταθμών διανομής Χ.Τ./Μ.Τ.



Σχήμα 1 : Διάταξη συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

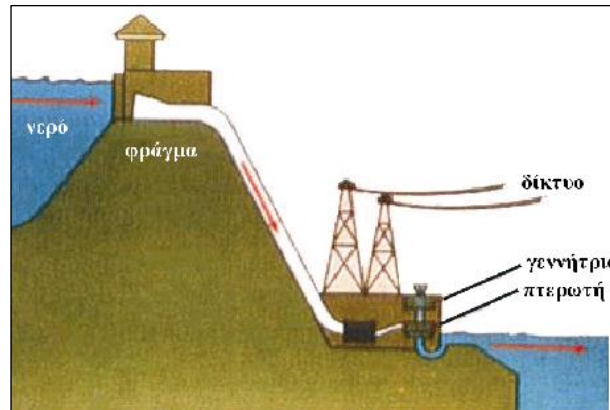
[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

2.2 Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

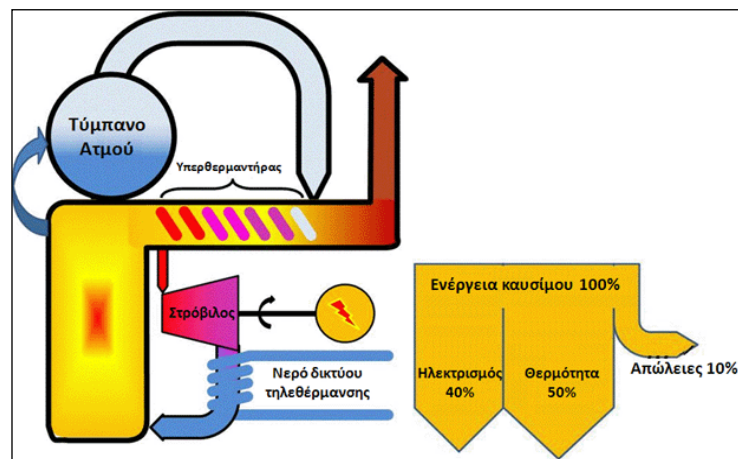
Θεμέλιο ενός Συστήματος Ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί η τριφασική γεννήτρια εναλλασσομένου ρεύματος, γνωστή ως σύγχρονη γεννήτρια ή εναλλακτήρας. Οι σύγχρονες γεννήτριες διαθέτουν δυο ταυτόχρονα περιστρεφόμενα πεδία. Το πρώτο πεδίο παράγεται από τον ρότορα, ο οποίος οδηγείται στη σύγχρονη ταχύτητα και τα τυλίγματα του διεγείρονται από ένα συνεχές ρεύμα. Το δεύτερο πεδίο παράγεται στα τυλίγματα του στάτη, καθώς αυτά διαρρέονται από ρεύματα εξ επαγωγής. Το ρεύμα διέγερσης του ρότορα παράγεται από κυκλώματα διέγερσης. Σε παλαιότερες μονάδες, για διέγερση χρησιμοποιούνταν γεννήτριες συνεχούς ρεύματος, οι λεγόμενες «διεγέρτριες», οι οποίες αρθρώνονταν στον ίδιο άξονα με την κύρια γεννήτρια και μέσω ψηκτρών παρείχαν το απαραίτητο συνεχές ρεύμα. Σε νεότερες μονάδες η διέγερση επιτυγχάνεται με συστοιχίες κυκλωμάτων ημιαγωγών, οι οποίες είναι πακτωμένες στην κύρια γεννήτρια, άρα περιστρέφονται μαζί της. Η συγκεκριμένη μέθοδος μετάδοσης του ρεύματος διέγερσης ονομάζεται brushless. Ο λειτουργικός ρόλος του κυκλώματος διέγερσης είναι να διατηρεί την τάση της γεννήτριας αλλά και να επιτελείται ο έλεγχος της παρεχόμενης προς τους καταναλωτές έργου ισχύος. Λόγω έλλειψης κάποιου κυκλώματος μετασχηματισμού, οι γεννήτριες συνήθως στους ακροδέκτες τους παράγουν υψηλή ισχύ σε υψηλές τάσεις, τυποποιημένων τιμών όπως για παράδειγμα 33kV, 3,3kV κλπ.

Η απαραίτητη για την περιστροφή της γεννήτριας, μηχανική ενέργεια, γνωστή ως πρωτογενής κινητήριος δύναμη, πηγάει συνήθως από υδραυλικούς στρόβιλους ή ατμοκίνητους στρόβιλους ή αεριοστρόβιλους, η ενέργεια των οποίων πηγάει από την καύση άνθρακα ή αερίου. Τέλος, χρησιμοποιείται συχνά και η πυρηνική ενέργεια ως μέσο παραγωγής ατμού, ενώ πιο συμβατικές μέθοδοι γενικότερα είναι οι αεριοστρόβιλοι και οι μηχανές εσωτερικής καύσης.

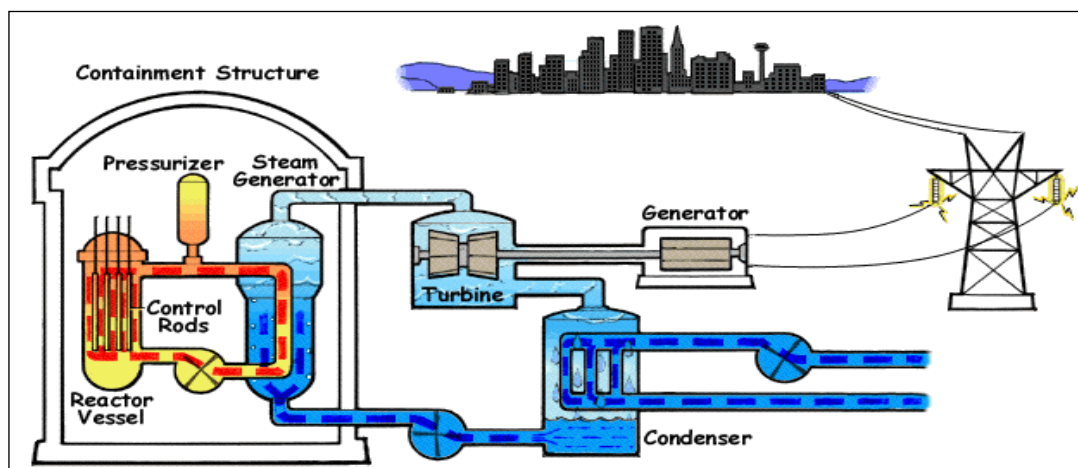
Πιο συγκεκριμένα οι ατμοστρόβιλοι λειτουργούν σε σχετικά υψηλές ταχύτητες των 3000 σ.α.λ. ή 1500 σ.α.λ., ενώ οι ηλεκτρικές γεννήτριες στις οποίες είναι προσαρμοσμένοι μπορεί να είναι κυλινδρικού δρομέα, συνήθως δύο πόλων (κατανεμημένων) για τις 3000 σ.α.λ. ή τεσσάρων πόλων για τη λειτουργία στους 1500 σ.α.λ. Από τη άλλη, οι υδραυλικοί στρόβιλοι και συγκεκριμένα εκείνοι που λειτουργούν σε χαμηλές πιέσεις, κατά συνέπεια λειτουργούν σε



Εικόνα 6 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υδροδυναμικής ενέργειας

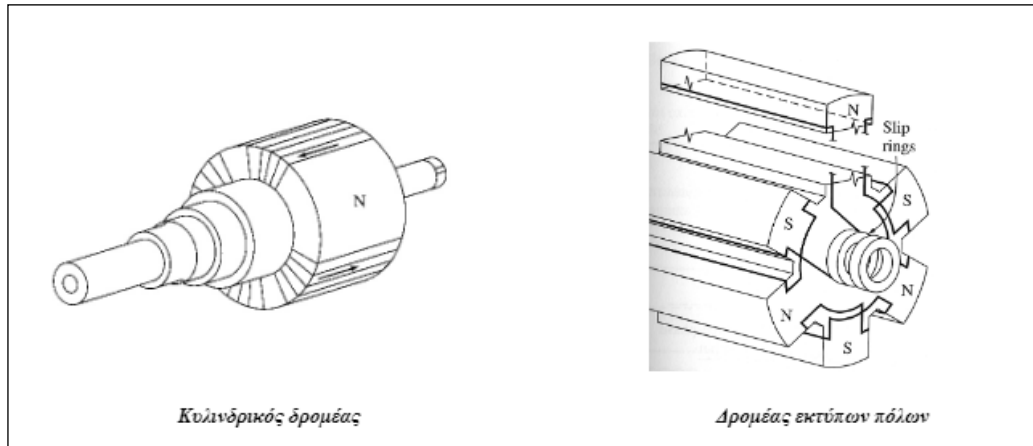


Εικόνα 7: παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ατμοστροβίλου

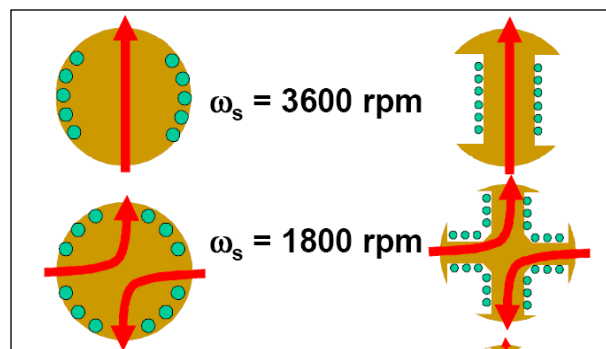


Εικόνα 8 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω πυρηνικής ενέργειας

χαμηλότερες ταχύτητες, ενώ οι γεννήτριες που συνοδεύουν, διαθέτουν δρομέα με πολλούς πόλους και προεξέχοντες (γεννήτρια εκτύπων πόλων).



Εικόνα 9 : Είδη δρομέα γεννήτριας



Εικόνα 10 : Διαφοροποίηση περιστροφικής ταχύτητας ανάλογα με το είδος των πόλων

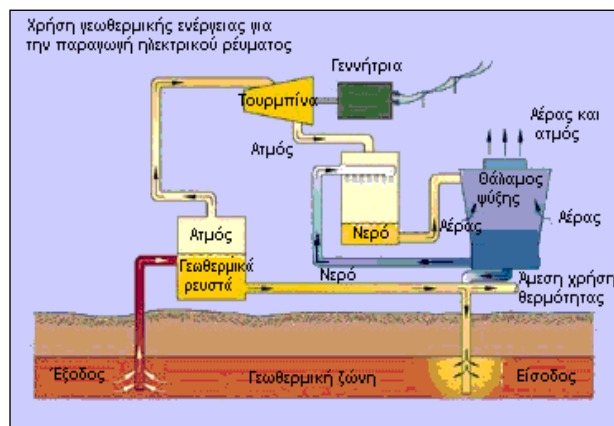
Συμπερασματικά, σε γεννήτριες θερμικών μηχανών χρησιμοποιούνται λίγοι πόλοι διότι το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος δύναται να περιστρέφεται σε υψηλές στροφές συναρτήσει της κατανάλωσης του καυσίμου, ενώ στην περίπτωση των υδραυλικών στροβίλων, η στήλη νερού που τους κινεί έχει σχετικά σταθερό γεωδαιτικό ύψος με αποτέλεσμα να περιστρέφονται με χαμηλή σχετικά ταχύτητα, οπότε και στις γεννήτριες που τους συνοδεύουν χρησιμοποιείται μικρός αριθμός πόλων.

Γενικά σε έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι διάφοροι τύποι γεννητριών και μηχανών που τις κινούν, χρησιμοποιούνται παράλληλα συνδεδεμένες στο ηλεκτρικό δίκτυο προς τους καταναλωτές προκειμένου να προσδώσουν την ζητούμενη ισχύ. Πιο ειδικά αναφέρεται ως σύνδεση σε κοινό ζυγό.

Από το πρίσμα της περιβαλλοντολογικής σκοπιμότητας και της διατήρησης των υπαρκτών ορυκτών κοιτασμάτων, πολλές εναλλακτικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν εφαρμογή προκειμένου να αξιοποιηθούν αιεφόροι και ανεκμετάλλευτες μορφές ενέργειας που πηγάζουν από τη φύση. Τέτοιου είδους πηγές είναι η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμία, η ενέργεια που εγκλωβίζουν οι θαλάσσιες μάζες (παλίρροια, κύματα) αλλά και η ενέργεια από βιομάζα.



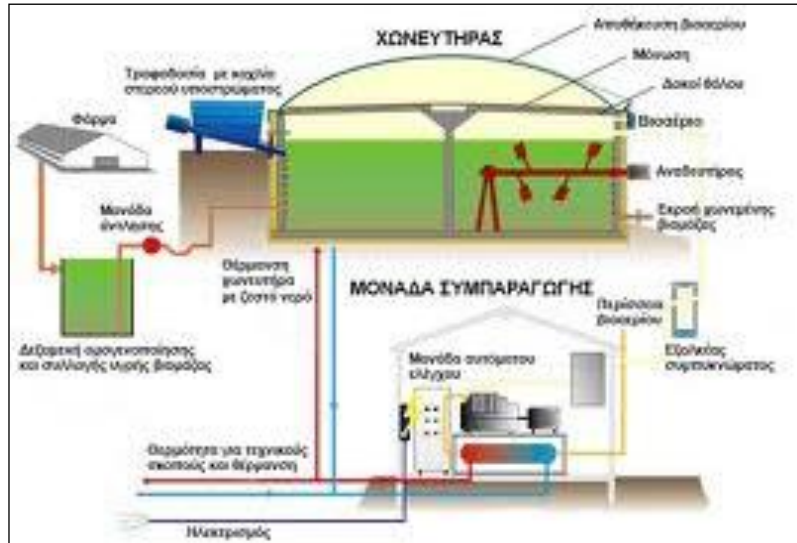
Εικόνα 11 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ηλιακή ενέργεια



Εικόνα 12 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία

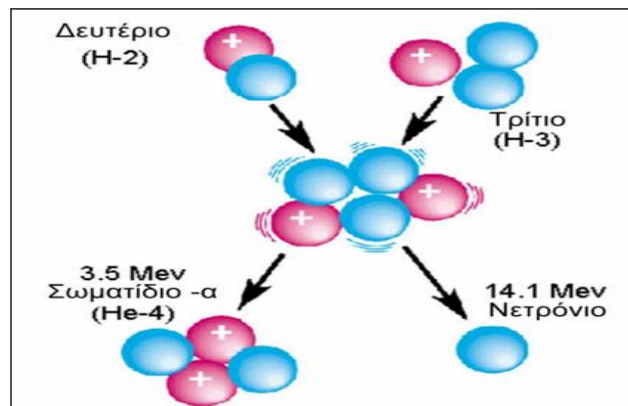


Εικόνα 13 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την κινητική ενέργεια των κυμάτων
[<http://energiakoi.com/kymatiki-energeia-paragei-afalatomeno-nero-kai-kymatismo/>]



Εικόνα 14 : Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα

Τέλος, μεγάλο κίνητρο αποτελεί η μαζική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργεια από τη χρήση πυρηνικής τεχνολογίας και συγκεκριμένα με τη μέθοδο της πυρηνικής σύντηξης.



Εικόνα 15 : Πυρηνική σύντηξη

[<https://www.pemptousia.gr/2011/06/piriniki-sintixi/>]

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η παραγόμενη από τη γεννήτρια ηλεκτρική ισχύς εξάγεται συνήθως σε υψηλή τάση με αποτέλεσμα να απαιτείται μετατροπή ώστε να γίνει η σύνδεσή της στον ζυγό. Τον συγκεκριμένο σκοπό υπηρετούν οι μετασχηματιστές. Ένας μετασχηματιστής μεταφέρει ισχύ από μια στάθμη ηλεκτρικής τάσης σε μια άλλη είτε υψηλότερη είτε χαμηλότερη με πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης. Η ισχύς που μεταφέρεται στο

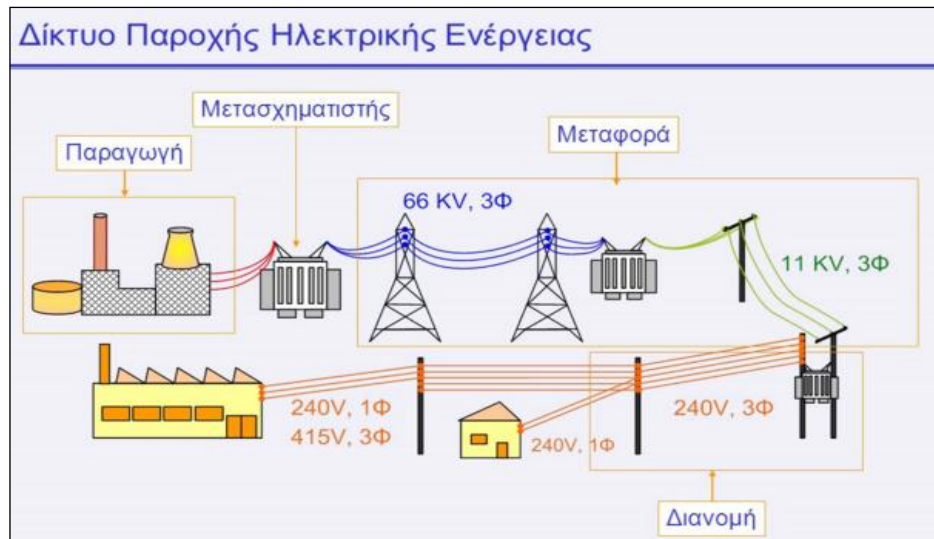
δευτερεύον κύκλωμα του μετασχηματιστή είναι σχεδόν η ίδια με αυτή που τροφοδοτείται στο πρωτεύον, πέραν βέβαια των θερμικών και μαγνητικών απωλειών εντός του μετασχηματιστή. Για παράδειγμα χρησιμοποιώντας έναν μετασχηματιστή ανύψωσης επιτυγχάνεται η μείωση των απωλειών της γραμμής μεταφοράς πράγμα το οποίο θέτει τη μεταφορά της ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις εφικτή. Απαιτήσεις μόνωσης και άλλα πρακτικά σχεδιαστικά εμπόδια περιορίζουν τις τυποποιημένες τιμές της παραγόμενης τάσης κάτω από τα 30kV. Άρα η χρήση μετασχηματιστών ανύψωσης στην έναρξη της γραμμής μεταφοράς είναι επιβεβλημένη, όπως και στο πέρας της προκειμένου η τάση να κατέλθει σε επίπεδα που το δίκτυο διανομής και του φορτίου μπορούν να διαχειριστούν. Ενδεικτικά η ονομαστική τιμή της τάσης σε ένα Σύστημα Ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μετασχηματιστεί ίσως και πέντε φορές ανάμεσα στη γεννήτρια και τον καταναλωτή.

2.3 Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ένα εναέριο σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας εξασφαλίζει ενέργεια από τις μονάδες παραγωγής προς το σύστημα διανομής, το οποίο με τη σειρά του τροφοδοτεί συνολικά το συνδεδεμένο φορτίο. Οι γραμμές μεταφοράς είναι διασυνδεδεμένες προκειμένου να διοχετεύεται ενέργεια από το ένα γειτονικό δίκτυο στο άλλο είτε σε κανονικές συνθήκες, είτε σε περιπτώσεις ανάγκης. Τυποποιημένες τιμές τάσης μεταφοράς έχουν καθιερωθεί σε Ευρώπη και Αμερική.

2.4 Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια αφού παραχθεί και μεταφερθεί στα κέντρα του φορτίου, διανέμεται στους καταναλωτές με τη συμβολή του δικτύου Διανομής. Αντικείμενο του συγκεκριμένου δικτύου είναι ο υποβιβασμός της τάσης από υπέρ-υψηλή ή υψηλή σε μέση μέσω των υποσταθμών. Έπειτα η ισχύς διανέμεται μέσω εναέριων γραμμών ή πιο σπάνια μέσω υπογείων καλωδίων σε τοπικούς υποσταθμούς, όπου υπάρχουν μετασχηματιστές οι οποίοι με τη σειρά τους υποβιβάζουν την τάση σε επίπεδα χαμηλής για την εξυπηρέτηση του κύριου όγκου των καταναλωτών, δηλαδή τους οικιακούς.



Εικόνα 16 : Διάταξη δικτύου διανομής

[<http://slideplayer.gr/slide/2023509>]

Το δίκτυο της Διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί υποσύνολο ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, όμως είναι εκείνο το κομμάτι που αλληλεπιδρά άμεσα με τον τελικό αποδέκτη που είναι ο καταναλωτής. Για αυτό το λόγο, ο σχεδιασμός και η μελέτη ενός συστήματος Διανομής πρέπει να υλοποιεί σημαντικούς σκοπούς, η πραγματοποίηση των οποίων χαρακτηρίζει το σύνολο του Σ.Η.Ε. Αυτοί είναι :

- Κάλυψη της ζήτησης του αυξανόμενου αριθμού καταναλωτών, τηρώντας την επιθυμητή ποιότητα.
- Παροχή αποτελεσματικής και αξιόπιστης τροφοδοσίας ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μεγιστοποίηση των επιδόσεων των επιμέρους συντελεστών του συστήματος.
- Ικανοποίηση με των αναγκών ανάπτυξης του συστήματος της διανομής με τα βέλτιστα οικονομικά μέσα.
- Ελαχιστοποίηση της κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας προς τους καταναλωτές μέσω της εφαρμογής της λύσεων που διατηρούν χαμηλά το κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης.

Ο σχεδιασμός του δικτύου Διανομής προκειμένου να καλύψει τη ζήτηση του φορτίου είναι αναγκαία συνθήκη αλλά όχι και ικανή. Η ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος (power quality) αποτελεί ένα σύνθετο κομμάτι για το οποίο απαιτείται η συμβολή όλων των υποσυνόλων που απαρτίζουν ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η ποιότητα της παρεχόμενης ισχύος ορίζεται από ηλεκτρικές παραμέτρους όπως η τάση, ο συντελεστής ισχύος, το επίπεδο των αρμονικών στο δίκτυο και η συχνότητα.

Οι απώλειες που αφορούν το σύστημα Διανομής είναι αναπόφευκτες συνέπειες κατά τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ του δικτύου των μετασχηματιστών και των καταναλωτών. Οι απώλειες ενέργειας ως γνωστόν δεν αποφέρουν έσοδα στους διαχειριστές του δικτύου και συχνά αποτελούν σημαντικό παράγοντα ελέγχου που λαμβάνεται υπόψη κατά την αξιολόγηση των στρατηγικών που έχουν επιλεγεί κατά το σχεδιασμό του δικτύου. Οι ενεργειακές απώλειες του συστήματος διανομής πρέπει να περιορίζονται κάτω από επίπεδα, τα οποία ορίζονται από διεθνή πρότυπα και κανονισμούς. Παράγοντες που επηρεάζουν τις ενεργειακές απώλειες είναι λειτουργικοί και τεχνικοί όπως η διαμόρφωση του δικτύου, τα χαρακτηριστικά του φορτίου, οι υποσταθμοί που τελούν υπό επισκευή κ.ά.

Τα κύρια εφαρμοσμένα συστήματα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας σύμφωνα με το επίπεδο της τάσης που διαχειρίζονται είναι της Ευρώπης και της Βορείου Αμερικής. Χαρακτηριστικά, τα επίπεδα τάσης που χρησιμοποιούνται μπορούν να διαχωριστούν σε πρωτεύοντα και δευτερεύοντα. Τα πρωτεύοντα επίπεδα τάσης αφορούν τιμές που εντάσσονται στο εύρος της Μέσης τάσης (MV) και τα δευτερεύοντα αφορούν τη Χαμηλή (LV). Η επιλογή της ονομαστικής τάσης καθορίζεται από τον τύπο, το μέγεθος του φορτίου, αλλά και την απόσταση αυτού από τους υποσταθμούς της Διανομής. Αναλυτικά έχουμε :

Πίνακας 2-1 : Τυποποιημένες τιμές τάσης διανομής

Τύπος τάσης	Βόρεια Αμερική	Ευρώπη
Τάση διανομής πρωτεύουσα (πολική)	4 – 35 kV	6.6 – 33 kV
Τάση διανομής δευτερεύουσα (πολική τριφασικού συστήματος)	208, 480, ή 600 V	380, 400, ή 416 V
Τάση διανομής δευτερεύουσα (φασική μονοφασικού συστήματος)	120/240, 277, ή 347 V	220, 230, ή 240 V

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνουμε πως τα επίπεδα τάσης στο ευρωπαϊκό σύστημα είναι υψηλότερα γεγονός που παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Πιο συγκεκριμένα :

- Πλεονεκτήματα : το σύστημα μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας δεδομένης της φυσικής του αντοχής σε τιμές έντασης ρεύματος. Συμπερασματικά, το σύστημα μπορεί να καλύψει ευρύτερες περιοχές άρα και περισσότερα φορτία. Τέλος λόγω των μεγάλων αποστάσεων που μπορεί διανύσει ένα τέτοιο σύστημα διανομής, απαιτούνται λιγότεροι υποσταθμοί.
- Μειονεκτήματα : λόγω του μεγάλου αριθμού καταναλωτών που τροφοδοτεί ένα τέτοιο σύστημα διανομής είναι πολλά τα σημεία στα οποία διακόπτεται προκειμένου να γίνει η σύνδεση με τον καταναλωτή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να κλονίζεται η αξιοπιστία και η στιβαρότητα του συστήματος. Άρα, κατά το σχεδιασμό του δικτύου διανομής πρέπει να γίνεται κατηγοριοποίηση των προς σύνδεση φορτίων προκειμένου να επιτυγχάνεται η διατήρηση των δυο αυτών απαραίτητων χαρακτηριστικών.

2.5 Φορτίο

Η μελέτη σχετικά με την πρόβλεψη φορτίου είναι μία από τις σημαντικότερες πτυχές του σχεδιασμού διότι τα φορτία αναπαριστούν τον τελικό στόχο της οντότητας ενός Σ.Η.Ε. δηλαδή τους καταναλωτές. Τα Σ.Η.Ε έχουν ως μοναδικό σκοπό να τροφοδοτούν τις ανάγκες των καταναλωτών με αποτέλεσμα η πρόβλεψη φορτίου να αποτελεί και το μηχανισμό αξιολόγησης μιας τέτοιου μεγέθους οικονομοτεχνικής επένδυσης. Ο σχεδιασμός των δικτύων Παραγωγής και η Μεταφοράς βασίζεται στη μακροπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου ενώ το δίκτυο Διανομής επηρεάζεται από τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη. Η δυσκολία της μελέτης της πρόβλεψης του φορτίου έγκειται σε εξαρτώμενες και αβέβαιες παραμέτρους που την επηρεάζουν, για παράδειγμα το πλήθος και το είδος των καταναλωτών που συνδέονται σε ένα Σ.Η.Ε ποικίλει αναλόγως με την τοπολογία και τη δεδομένη χρονική στιγμή.

2.6 Έξυπνα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και δίκτυα νέας γενιάς

Με σκοπό τη συμμόρφωση ενός σύγχρονου Σ.Η.Ε. στις τρέχουσες απαιτήσεις και προκλήσεις, ένα «έξυπνο» και ευέλικτο δίκτυο υποδομής, νέας γενιάς, αλλά και η ύπαρξη «έξυπνων» κτιρίων είναι στοιχειώδη. Οι συγκεκριμένοι στόχοι απαιτούν ένα θεμελιακό άλμα από την παραδοσιακή, ανεξάρτητης κατεύθυνσης ροή ενέργειας και επικοινωνίας, σε αμφίδρομη κατεύθυνσης ροής ισχύος . Βλέπε παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 17 : Παράδειγμα έξυπνου δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας

[<http://www.hitachi.com/environment/showcase/solution/energy/smartgrid.html>]

Στα παραδοσιακά Σ.Η.Ε, η παραγωγή ισχύος υπακούει τη ζήτηση του φορτίου, ενώ μελλοντικά θεωρείται πως θα ισχύει η αντίστροφη ροή ενέργειας, δηλαδή η κατανάλωση θα ακολουθεί τη διαθέσιμη παραγωγή ισχύος. Ένα χαρακτηριστικό, παράδειγμα τέτοιας φιλοσοφίας, είναι το ηλεκτρικό αυτοκίνητο, το οποίο μπορεί να επαναφορτίζεται ή και ακόμη να λειτουργεί κατά τη διάρκεια της νύχτας αντλώντας φθηνή, αιολική ενέργεια.

Τα δίκτυα διανομής και μεταφοράς του σήμερα και του αύριο πρέπει να εξελιχθούν σε κάθε έκφανση, ώστε να γεφυρώσουν τις αποστάσεις μεταξύ των περιοχών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας – π.χ. των υπεράκτιων αιολικών πάρκων – και των καταναλωτών. Οι αντικειμενικοί σκοποί των «έξυπνων» δικτύων σίγουρα ποικίλλουν και αποτελούν ιδιαίτερα φιλόδοξα και υψηλού επιστημονικού ενδιαφέροντος εκπονήματα. Αντί για υπερφορτίσεις, συμφορήσεις και συσκοτίσεις, τα «έξυπνα» δίκτυα υπόσχονται αξιοπιστία, βιωσιμότητα και αποτελεσματικότητα στην παροχή ισχύος. Η πληροφόρηση και τα επικοινωνιακά συστήματα εντός των πλαισίων του δικτύου θα διευρύνονται συστηματικά και ομογενοποιούνται. Ο Αυτοματισμός, η τηλεδιαχείριση αλλά και τα άρτια εξοπλισμένα δίκτυα θα αυξήσουν αισθητά τις πιθανότητες για τους προσδοκώμενους στόχους και ταυτόχρονα θα μειώσουν το κόστος και τον μόχθο μελέτης, κατασκευής και λειτουργίας των σύγχρονων Σ.Η.Ε.



Εικόνα 18 : Διάγραμμα ροής ενέργειας στα έξυπνα δίκτυα

[Mario Willims, “Power Engineering Guide 6.1th Edition” , Publics Pro , Siemens Energy Sector, 2011.]

Διανεμημένοι παραγωγοί ενέργειας και μονάδες συσσώρευσης θα συνδυαστούν σε εικονικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας με σκοπό να συμμετέχουν στην ανάπτυξη της αγοράς. Η ευπάθεια της ανεπάρκειας ισχύος θα αντιμετωπιστεί ραγδαία από «αυτό-θεραπευόμενα» δίκτυα που θα διαχειρίζονται και εφεδρικά θα αντισταθμίζουν τυχόντα σφάλματα σε τοπικό επίπεδο. Επιπλέον, οι καταναλωτές θα μετέχουν στη βιωσιμότητα του δικτύου ναί μεν ως τελικοί πελάτες, αλλά μέσω ενός ηλεκτρονικού διασυνδεδεμένου μετρητή, ο οποίος όχι μόνο θα ελέγχει αναλυτικότερα την καταγραφόμενη κατανάλωση αλλά θα συμβάλλει στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης του φορτίου από μεριάς του διαχειριστή του δικτύου. Με αυτόν τον απλό τρόπο θα αποφεύγονται οι αιχμές του φορτίου είτε λόγω της άμεσης και ολοκληρωμένης πληροφόρησης από μεριάς των καταναλωτών αλλά και με τη θέσπιση ευνοϊκότερων όρων στους καταναλωτές κατά τις περιόδους χαμηλής ζήτησης. Η προοπτική ενός «έξυπνου» Σ.Η.Ε. είναι δυσθεώρητη και περιλαμβάνει τη χρήση κτιρίων και οχημάτων συνδεδεμένων στενά με το δίκτυο ως ελεγχόμενοι καταναλωτές ισχύος, παραγωγούς ενέργειας και ακόμη και ως συσσωρευτές. Τέλος, η πληροφόρηση και οι τεχνολογίες επικοινωνίας σχηματίζουν κρίσιμους συνδέσμους μεταξύ των βασικών συνιστωσών ενός Σ.Η.Ε., με άλλα λόγια μεταξύ της παραγωγής, της μεταφοράς, της διανομής και των καταναλωτών. Τα «έξυπνα» δίκτυα (Smart Grids) θα δημιουργήσουν συνεχείς δομές, βελτιστοποιημένη διαδικασία παραγωγής ενέργειας και θα εξισορροπήσουν την κυμαινόμενη παραγόμενη ισχύ με την ίδια την κατανάλωση. Δεν αποτελεί τυχαίο γεγονός πως κολοσσοί εταιρείες του κλάδου δαπανούν μεγάλα ποσά στην Έρευνα και την Ανάπτυξη των «έξυπνων» δικτύων.

Βιβλιογραφία 2^ο Κεφαλαίου

- [1] George Anders, Alfredo Vaccaro, “Innovations in Power Systems Reliability”, Springer, 2011.
- [2] Mario Willims, “Power Engineering Guide 6.1th Edition” , Publics Pro , Siemens Energy Sector, 2011.
- [3] Stephen J. Chapman, “Ηλεκτρικές Μηχανές, 4^η Έκδοση”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2009.
- [4] Jack Casazza, Frank Delea, “Understanding Electric Power Systems”, A John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [5] Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.

3 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ”

3.1 Εισαγωγή

Τα χρήματα που επενδύονται στην παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, είναι τόσο μεγάλα, ώστε πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα όχι μόνο για την καλύτερη δυνατή απόδοση των διαφόρων συστημάτων, αλλά και για την προφύλαξή τους από διάφορα βραχυκυκλώματα. Όταν συμβαίνει ένα βραχυκύκλωμα, η καταστροφική ικανότητα της τεράστιας ενέργειας των συστημάτων ισχύος μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτες ζημιές στις διάφορες συσκευές του συστήματος. Με μία προσεκτική σχεδίαση τέτοια βραχυκυκλώματα μπορούν να γίνουν πολύ σπάνια, αλλά είναι αδύνατο να αποφευχθούν τελείως λόγω των κεραυνών και των ατυχημάτων.

Ανάμεσα στις κύριες αιτίες των σφαλμάτων είναι οι ηλεκτρικές εκκενώσεις λόγω κεραυνών, η καταστροφή της μόνωσης, οι βανδαλισμοί και πολλές φορές το ίδιο ο περιβάλλοντας χώρος του δικτύου (δέντρα, ζώα). Η πλειοψηφία των σφαλμάτων είναι μεταβατικής φύσεως και συχνά μπορούν να εκκαθαριστούν χωρίς την απώλεια της τροφοδοσίας ή τις συντομότερες δυνατές διακοπές ισχύος. Βέβαια, μόνιμα σφάλματα μπορούν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερα διαστήματα διακοπών.

3.2 Κατηγορίες σφαλμάτων

Ένα βασικό κριτήριο που οδηγεί στο διαχωρισμό των σφαλμάτων που προσβάλλουν τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι η χρονική διάρκεια και ο τρόπος αντιμετώπισής τους. Κατά αυτό τον τρόπο στις εναέριες γραμμές μεταφοράς όπου το κυρίαρχο μονωτικό υλικό είναι ο αέρας, του οποίου κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι είναι επαναδιατάξιμος, η απαλοιφή

ενός σφάλματος μπορεί να επιτευχθεί με την προσωρινή διακοπή της τάσης. Τέτοιου είδους σφάλματα μπορούν να θεωρηθούν παροδικά, κα μάλιστα στην περίπτωση που σβέση του παραγόμενου τόξου γίνει από μόνη της τότε θεωρούνται παροδικά αυτοσβενόμενα. Άλλα σφάλματα που οφείλονται κυρίως σε εξωγενή αίτια, απαιτείται για την εξάλειψή τους το χρονικό πλαίσιο ορισμένων δευτερολέπτων και ονομάζονται ημιμόνιμα. Συμπερασματικά, μόνιμα σφάλματα καλούνται εκείνα που προκειμένου να πάψουν να ισχύουν απαιτείται παρέμβαση από εξειδικευμένο προσωπικό.

Κριτήριο για τη διάκριση των σφαλμάτων σε ένα Σ.Η.Ε. συναποτελεί και ο αριθμός των φάσεων του τελευταίου που μετέχουν στην εκδήλωση του σφάλματος. Κατά αυτό τον τρόπο τα σφάλματα κατηγοριοποιούνται σε τριφασικά όταν εμπλέκονται και οι τρεις φάσεις, σε διφασικά όταν εμπλέκονται οι δυο φάσεις, σε διφασικά ως προς γη και τέλος μονοφασικά ως προς γη. Τέλος, υπάρχουν και τα εξελισσόμενα σφάλματα τα οποία ξεκινούν ως μονοφασικά ως προς γη και καταλήγουν στο να επηρεάζονται περισσότερες φάσεις.

Τα σφάλματα οφείλονται σε εξωτερικά και εσωτερικά αίτια. Τα εξωτερικά αίτια συνήθως επηρεάζουν τις εναέριες γραμμές μεταφοράς και τους εξωτερικού τύπου υποσταθμούς και έγκεινται σε σφάλματα από υπερτάσεις (κεραυνοί), από εξωτερικά αντικείμενα που εμπλέκονται στον εξοπλισμό του δικτύου, από ρυπαρούς μονωτήρες, από μηχανική επιφόρτιση των γραμμών (άνεμος, χιόνι). Όσον αφορά τα υπόγεια δίκτυα, βασική αιτία σφαλμάτων αποτελούν οι ενδεχόμενες σκαφτικές εργασίες που εκτελούνται κοντά σε αυτά. Τέλος, τα εσωτερικά σφάλματα αφορούν κυρίως σε καταστάσεις σφάλματος που αποτελούν απόρροια γήρανσης της μόνωσης, αδυναμίες εκ κατασκευής και αστοχίας υλικού. Τέτοιου είδους σφάλματα κυρίως θεωρούνται μόνιμα.

3.3 Βραχυκυκλώματα

Τα βραχυκυκλώματα μπορεί να δημιουργηθούν εσωτερικά ή εξωτερικά του εξοπλισμού των Σ.Η.Ε. από διάφορα αίτια. Ενδεχομένως, να οδηγούν στη μερική ή όχι καταστροφή του αλλά σίγουρα προκαλείται αλλοίωση στον εξοπλισμό αυτό. Στην πλειοψηφία τους τα βραχυκυκλώματα οφείλονται στην κατάρρευση της μόνωσης σε διάφορα αδύναμα σημεία του εξοπλισμού. Συνήθης λόγος της κατάρρευσης είναι το πλήγμα που προκαλείται στο

δίκτυο έπειτα από χειρισμό ενός διακόπτη ή τη δράση ενός κεραυνού επί του εξοπλισμού. Ακόμη, ανασταλτικός παράγοντας της μόνωσης είναι η υψηλή θερμοκρασία είτε λόγω των συνθηκών που επικρατούν είτε λόγω εσωτερικών μερικών εκκενώσεων. Τέλος, υπάρχει και η περίπτωση της ατυχούς ηλεκτρικής σύνδεσης μεταξύ δυο αγωγών είτε λόγω λανθασμένου χειρισμού είτε λόγω εξωγενούς παράγοντα.



Εικόνα 19 : Αποτέλεσμα βραχυκυκλώματος σε πύλώνα Χ.Τ.

[<http://www.enikos.gr/society/79139,Braxukyklwmata-logw-ygrasias.html>]

3.4 Σφάλματα που αφορούν ηλεκτρικούς κινητήρες

Τα σφάλματα που προκαλούνται στους ηλεκτρικούς κινητήρες συνήθως πηγάζουν από την υπερθέρμανση και τα μηχανικά πλήγματα που υφίστανται στα σημεία εφαρμογής τους. Και στις δυο αυτές περιπτώσεις συμβάλλουν γεγονότα όπως οι πολλαπλές εκκινήσεις, ο εκτεταμένος χρόνος εκκίνησης, η ελλιπής ψύξη αλλά και μηχανικά κωλύματα και του ηλεκτρικού και του μηχανικού μέρους τους.

Όταν ένα βραχυκύκλωμα λαμβάνει χώρα σε ένα σύστημα, οι κινητήρες συμπεριφέρονται σαν γεννήτριες με αποτέλεσμα να συμβάλουν στην ήδη υψηλή τιμή της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα λόγω του σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα, κατά την ύπαρξη ενός σφάλματος στο δίκτυο που μπορεί να προκληθεί υπόταση, ένας σύγχρονος κινητήρας εξαναγκάζεται να λάβει λιγότερη από την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ προκειμένου να οδηγήσει το μηχανικό του φορτίο. Η αδράνεια του κινητήρα αλλά και του φορτίου του δρουν

ως κινητήριος δύναμη και σε συνδυασμό με το μαγνητικό πεδίο της διέγερσης σταθερό, ο κινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια, δηλαδή αποδίδει ενέργεια προς το δίκτυο αντί να απορροφά.

Επίσης, ένας ηλεκτρικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα δύναται να συμβάλλει στο ρεύμα σφάλματος ενός βραχυκυκλώματος. Ειδικότερα, το ηλεκτρικό ρεύμα αυτό παράγεται από τη ροπή αδράνειας η οποία συνεχίζει να περιστρέφει τον κινητήρα και σε συνδυασμό με το μαγνητικό πεδίο που παράγεται εξ επαγωγής από το στάτη. Γενικότερα, δεν υπάρχει υπολογισμένη τιμή του ρεύματος που ένας σύγχρονος κινητήρας αποδίδει στο δίκτυο κατά την ύπαρξη ενός δικτυακού βραχυκυκλώματος, διότι το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τη διέγερση δεν διατηρείται σταθερό σε τέτοιες περιπτώσεις.

Όσον αφορά στους κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα, οι οποίοι λειτουργούν με τους δακτυλίους επί του ρότορά τους βραχυκυκλωμένους, επίσης συμβάλλουν ως γεννήτριες σε περίπτωση δικτυακού βραχυκυκλώματος κατά τρόπο όμοιο με εκείνο των κινητήρων βραχυκυκλωμένου δρομέα. Σε κάποιες περιπτώσεις, κινητήρες δακτυλιοφόρου δρομέα (wound rotor induction motors) μεγάλης ισχύος το φαινόμενο αυτό είναι θεωρείται αμελητέο διότι για τη λειτουργία τους χρησιμοποιούνται εξωτερικοί αντιστάτες, οι οποίοι απορροφούν το παραγόμενο ρεύμα.

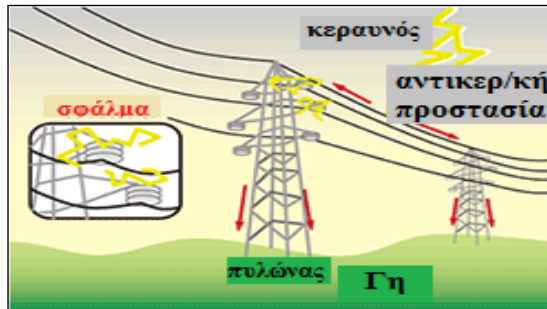


Εικόνα 20 : Αποτέλεσμα στην περιέλιξη ηλεκτρικού κινητήρα έπειτα από σφάλμα υπερθέρμανσης

[<http://kollarvill.hu/en/szolgalatasok/villanymotorok-javitasa>]

3.5 Υπερτάσεις

Υπάρχουν διαταραχές σε ένα δίκτυο που επηρεάζεται η ονομαστική τάση που ασκείται στο κύκλωμα. Αφύσικες τιμές της τάσης ενός δικτύου παρατηρούνται συνήθως σε περιπτώσεις όπως κρούση από κεραυνό,



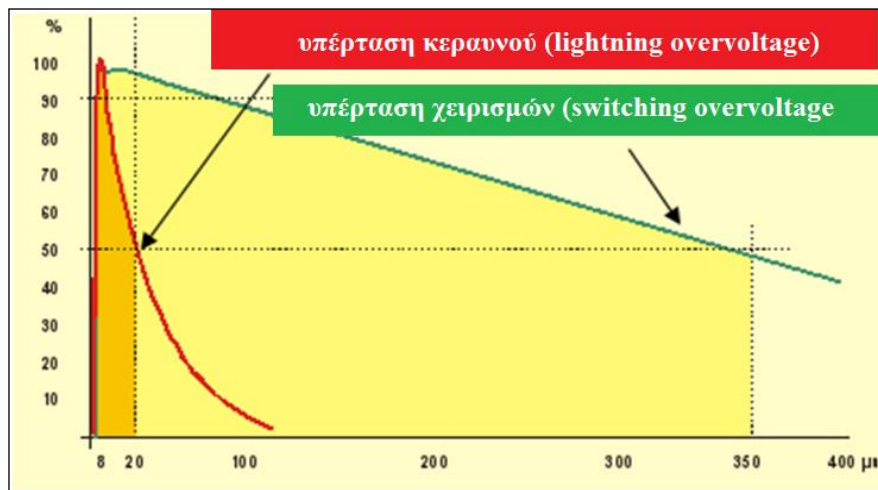
Εικόνα 21 : Ρίψη κεραυνού σε γραμμή μεταφοράς Υ.Τ.

[<http://www.citel.fr/en/origin-of-overvoltages.html>]

αλλά και από διάφορες διαταράξεις που προκαλούν καταστροφικά πλήγματα της τάσης λειτουργίας όπως οι ακόλουθες περιπτώσεις :

- Υπερτάσεις λόγω σφάλματος της μόνωσης που προκαλούνται σε ένα τριφασικό δίκτυο όταν ο αγωγό του ουδετέρου είναι αγείωτος ή γειώνεται μέσω σύνθετης αντίστασης.
- Υπερτάσεις σε γραμμές μεταφοράς μεγάλου μήκους, χωρίς την επίδραση φορτίου (φαινόμενο Ferranti). Πιο συγκεκριμένα, όταν μια γραμμή μεταφοράς μεγάλου μήκους ηλεκτρίζεται στο ένα από τα δυο άκρα της, δημιουργείται ένα σ συντονισμός ο οποίος εκφράζεται με τη μια κυματοειδούς μορφής τάση, η οποία αυξάνεται γραμμικά κατά το μήκος της γραμμής μεταφοράς
- Υπερτάσεις λόγω σιδηρομαγνητικού συντονισμού. Αυτό αποτελεί αποτέλεσμα ενός ειδικού συντονισμού που πραγματοποιείται όταν ένα κύκλωμα παρουσιάζει και χωρητική και επαγωγική συμπεριφορά. Βέβαια η χωρητική συμπεριφορά προέρχεται είτε από τοποθετημένους πυκνωτές είτε από το σχηματισμό της διάταξης πυκνωτή λόγω της μορφολογία ενός δικτύου. Τέλος, η επαγωγική συμπεριφορά προέρχεται από την παρουσία μαγνητικών κυκλωμάτων σε ένα δίκτυο (μετασχηματιστές) ή και επίσης λόγω της μορφολογίας του.

- Υπερτάσεις λόγω ξαφνικών αλλαγών στη δομή ενός δικτύου λόγω χειρισμών που εκτελέστηκαν είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα (switching overvoltage). Ειδικότερα, αυτού του είδους οι αλλαγές δημιουργούν πρόσφορο έδαφος σε μεταβατικά φαινόμενα, τα οποία με τη σειρά τους οδηγούν είτε στην υπέρταση είτε στη δημιουργία υψίσυχνης ακολουθίας ηλεκτρικών κυμάτων είτε, τέλος, σε ηλεκτρική αυτοσβενόμενη ταλάντωση του δικτύου.



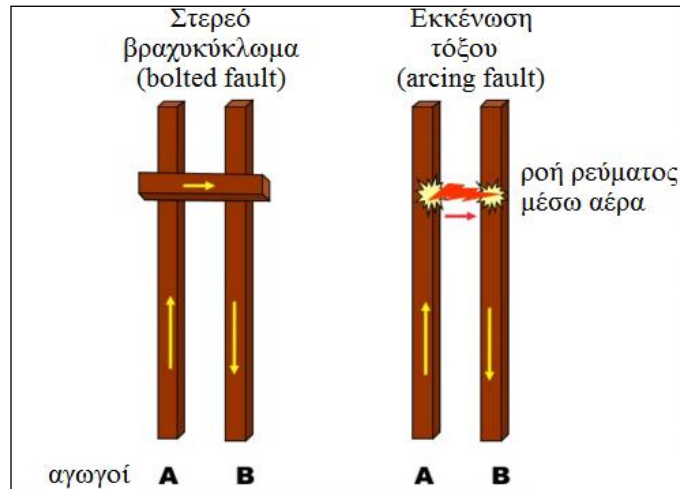
Σχήμα 2 : Γραφική αναπαράσταση τύπων υπερτάσεων

[http://www.satcomlimited.com/transparent_over_voltages.html]

3.6 Σφάλματα εκκένωσης τόξου

Πολλές φορές σε ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας και κυρίως στο κομμάτι της Μεταφοράς και της Διανομής παρατηρείται η εμφάνιση ηλεκτρικών εκκενώσεων είτε μεταξύ ενεργών αγωγών, είτε μεταξύ ενεργού αγωγού και γείωσης. Τα σφάλματα τόξου λοιπόν (arcing faults), παρουσιάζουν μικρότερα ρεύματα βραχυκυκλώσεως συγκριτικά με τα σφάλματα άμεσης βραχυκύκλωσης μεταξύ ενεργών αγωγών ή ενεργού αγωγού και γης (bolted faults), για το ίδιο σημείο του Σ.Η.Ε. Τα χαμηλά επίπεδα του ρεύματος που χαρακτηρίζει τα σφάλματα εκκένωσης τόξου οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι κατά τη διεξαγωγή του φαινομένου εκδηλώνεται υψηλή τιμή της σύνθετης αντίστασης με αποτέλεσμα να περιορίζεται συγκριτικά η τιμή του της έντασης του ρεύματος. Πιο συγκεκριμένα, επειδή τα εξαρτήματα του δικτύου έχουν σχεδιαστεί ώστε να αντέχουν στο ισχυρό πλήγμα των στερεών βραχυκυκλωμάτων, είτε θερμικό είτε μηχανικό, κατά την εκδήλωση των εκκενώσεων τόξου είναι δύσκολη η ανίχνευσή τους λόγω της περιορισμένης τιμής του

ρεύματος όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Τέλος, σφάλματα εκκένωσης τόξου με παρατεταμένη χρονική διάρκεια μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές σε ανθρώπους που αλληλεπιδρούν με το δίκτυο (χειριστές, καταναλωτές) αλλά και στον εξοπλισμό λόγω του φαινομένου του ιονισμού, δηλαδή τη σταδιακή εξαύλωση των υλικών.



Εικόνα 22 : Σφάλματα μεταξύ αγωγών

[<http://www.slideshare.net/complianceandsafety/electrical-hazards-by-cooper-bussmann>]

3.7 Σειριακά σφάλματα

Πιο συγκεκριμένα πρόκειται για σφάλματα αλληλουχίας των φάσεων σε ένα Σ.Η.Ε. με αποτέλεσμα να προκαλούνται σημαντικές ανισορροπίες στα μεγέθη του συστήματος. Μια ή περισσότερες φάσεις μπορεί να είναι ανοιχτοκυκλωμένες ή να υπάρχει ανισορροπία στη συνολική σύνθετη αντίσταση του συστήματος. Αυτού του είδους οι διαταραχές έχουν σαν αποτέλεσμα τη βλάβη σε συνδέσμους καλωδίων, σε πόλους διακοπών αλλά και στην ενεργοποίηση τηκτών ασφαλειών όπως και βλάβες σε γραμμές μεταφοράς.

3.8 Σφάλματα που αφορούν μετασχηματιστές

Επισφαλείς καταστάσεις για τους μετασχηματιστές που μετέχουν σε ένα δίκτυο αναπτύσσονται όταν οι τελευταίοι εμπλέκονται σε εξωτερικά ή εσωτερικά σφάλματα ή απλά υπερφορτίζονται με αποτέλεσμα να υπερθερμαίνονται. Πιο συγκεκριμένα, τα εξωτερικά σφάλματα αντιμετωπίζονται από εξοπλισμό που υπάγεται στην προστασία υποστήριξης, έννοια η οποία θα αναπτυχθεί σε επόμενο κεφάλαιο, λόγω χάρη ηλεκτρονόμους

υπερρεύματος, ασφάλειες κλπ. Αντιθέτως τα εσωτερικά σφάλματα υπάγονται στην πρωτεύουσα προστασία και μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες βραχυκυκλωμάτων.

Ομάδα (α) : Αφορά σε ηλεκτρικά βραχυκυκλώματα που επιφέρουν άμεσες σοβαρές καταστροφές, αλλά μπορούν να ανακαλυφθούν διότι προκαλούν ανισορροπίες στο ρεύμα ή την τάση του δικτύου. Τέτοια είναι:

- i. Βραχυκυκλώματα φάσης – γης ή φασικά βραχυκυκλώματα στην πλευρά χαμηλής ή υψηλής τάσης του μετασχηματιστή στους ακροδέκτες.
- ii. Βραχυκύκλωμα φάσης – γης ή φασικά βραχυκυκλώματα στις περιελίξεις χαμηλής ή υψηλής τάσης. υπερθέρμανση
- iii. Βραχυκυκλώματα μεταξύ των περιελίξεων υψηλής και χαμηλής τάσης.
- iv. Βραχυκυκλώματα γης στο τύλιγμα του τριτεύοντος ή βραχυκύκλωμα μεταξύ των περιελίξεων του.

Ομάδα (β) : Αφορά σε βραχυκυκλώματα που επιφέρουν αργές καταστροφές σε αρχικό επίπεδο. Δεν δημιουργούν ανισορροπίες και για αυτό το λόγο δεν είναι δυνατό να εντοπισθούν με έλεγχο στα άκρα των περιελίξεων. Με τη σειρά τους περιλαμβάνουν:

- i. Μια ελαττωματική ηλεκτρική σύνδεση των ενεργών αγωγών ή μερική καταστροφή του μονωτικού ελαίου με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ενός μικρού τόξου εντός αυτού.
- ii. Εσφαλμένη ψύξη που κατά συνέπεια οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας.
- iii. Μη επαρκής ποσότητα ελαίου ή εμποδιζόμενη κίνηση του ελαίου εντός του προκαθορισμένου χώρου εντός του μετασχηματιστή με συνέπεια την δημιουργία τοπικά πλέον υπέρθερμες περιελίξεις.
- iv. Στην περίπτωση παράλληλα διασυνδεδεμένων μετασχηματιστών, ανισόμορφη κατανομή του φορτίου που δημιουργεί υπερθέρμανση και κυκλοφορούντα ρεύματα μεταξύ των μετασχηματιστών.

Συμπερασματικά, τα βραχυκυκλώματα της ομάδας (α) απαιτούν άμεση εκκαθάριση για να αποφευχθούν οι μεγάλες καταστροφές, αλλά και να περιοριστεί ο χρόνος βύθισης της τάσης του συστήματος. Από την άλλη μεριά, τα βραχυκυκλώματα της ομάδας (β) παρόλο που στο

αρχικό τους στάδιο δεν είναι επικίνδυνα, απαιτείται ο γρήγορος εντοπισμός τους και η λήψη μέτρων, γιατί με την πάροδο του χρόνου μπορούν να αποβούν σοβαρά.

3.9 Σφάλματα που αφορούν γεννήτριες

Ανώμαλες συνθήκες που επηρεάζουν την ομαλή λειτουργία μιας γεννήτριας είναι οι παρακάτω:

- i. **Επιτάχυνση** . Όταν μια γεννήτρια χάσει το φορτίο που είναι σχεδιασμένη να υπηρετεί, επιταχύνεται. Όσον αφορά στα ατμοηλεκτρικά συστήματα είναι δυνατή η άμεση διακοπή της παροχής ατμού και η αποφυγή ενδεχόμενων καταστροφών. Από την άλλη μεριά, στα υδροηλεκτρικά συστήματα αυτό καθίσταται σχεδόν αδύνατο λόγω της μηχανικής και υδραυλικής αδράνειας με αποτέλεσμα να έχει παρατηρηθεί υπερτάχυνση έως και 150 % της κανονικής ταχύτητας.
- ii. **Λειτουργία ως κινητήρας**. Πολλές φορές λόγω λανθασμένου χειρισμού και φιλοσοφίας του σχεδιασμού του ηλεκτρικού δικτύου που πλαισιώνει τη γεννήτρια, μπορεί η τελευταία να λειτουργήσει ως κινητήρας είτε από στάση είτε κατά τη λειτουργία αυτής.
- iii. **Απώλεια του πεδίου**. Όταν μια γεννήτρια χάσει το πεδίο της, επιταχύνεται ελαφρά και δρα σαν μια επαγωγική γεννήτρια που δεν έχει τύλιγμα απόσβεσης. Σε αυτή την κατάσταση οι στροβιλογεννήτριες τείνουν να υπερθερμάνουν το δρομέα και τις σφήνες των αυλακιών, λόγω των μεγάλων ρευμάτων που επάγονται σε αυτά τα μέρη. Μερικές φορές μπορεί να προκληθεί τόξο μεταξύ των σφηνών των αυλακιών. Επίσης το ρεύμα μαγνήτισης που η γεννήτρια απορροφά από το σύστημα, μπορεί να υπερθερμάνει τον στάτη.
- iv. **Εσφαλμένη λειτουργία του ρυθμιστή τάσης**. Επειδή η εσφαλμένη λειτουργία του ρυθμιστή τάσης μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητη αποσύνδεση της γεννήτρια από το δίκτυο ή ζημιά στο δρομέα, είναι απαραίτητη η προστασία από ανάλογες καταστάσεις. Η πολύπλοκη κατασκευή των σύγχρονων ρυθμιστών τάσης έχει σαν πιο τρωτό σημείο σε περίπτωση βραχυκυκλώματος την εφαρμογή μέγιστου πεδίου, ενώ έχουμε κανονική φόρτιση. Μια τέτοια κατάσταση υπερθερμαίνει το δρομέα.

3.9.1 Σφάλματα στο στάτη μιας γεννήτριας

- i. **Διάσπαση μόνωσης.** Η διάσπαση της μόνωσης ενός ενεργού αγωγού του τυλίγματος μπορεί να οδηγήσει σε βραχυκύκλωμα μεταξύ αγωγών ή μεταξύ αγωγού και του σιδηροπυρήνα. Η διάσπαση της μόνωσης προκαλείται από υπέρταση ή υπερθέρμανση, καταστάσεις που με τη σειρά τους προκαλούνται από μη συμμετρικά ρεύματα, ελαττωματική ψύξη κ.ά. Επίσης καταστροφή της μόνωσης, πιθανά, προκαλούνται από τη μετακίνηση των αγωγών λόγω των δυνάμεων που αναπτύσσονται σε καταστάσεις βραχυκυκλωμάτων και αποσυγχρονισμού.
- ii. **Υπερθέρμανση του στάτη.** Οι κύριες αιτίες υπερθέρμανσης του στάτη προέρχονται από κακή ψύξη, υπερφόρτιση και βραχυκυκλώματα αγωγού με τον πυρήνα σιδήρου.
- iii. **Υπέρταση στο στάτη.** Εκτός από μεταβατικές υπερτάσεις χειρισμών και κεραυνών η υπέρταση μπορεί να οφείλεται σε επιτάχυνση του δρομέα ή να προκαλείται από ελαττωματικό ρυθμιστή τάσης. Σε σύγχρονες γεννήτριες, που χρησιμοποιούν τη μηχανική ενέργεια ατμοστροβίλων, ο ρυθμιστής τάσης (AVR) ενεργεί αρκετά γρήγορα, ώστε να προλαβαίνει σοβαρές υπερτάσεις, που οφείλονται στην επιτάχυνση της γεννήτριας όταν χάνει το φορτίο της ή στο ρεύμα φόρτισης των γραμμών. Σε υδροστροβίλους η επιτάχυνση είναι μεγαλύτερη, διότι απαιτείται περισσότερος χρόνος για το σταμάτημα της ροής του νερού στο στρόβιλο.

3.9.2 Σφάλματα στο δρομέα μιας γεννήτριας

Ζημιές στο τύλιγμα του δρομέα μπορούν να συμβούν από βραχυκυκλώματα γης ή ανοιχτοκυκλώματα. Επίσης ζημιές στα διάφορα τεμάχια που αποτελούν το δρομέα είναι πιθανό να συμβούν λόγω υπερθέρμανσης που προκαλείται από τα ασύμμετρα ρεύματα στο στάτη. Πιο αναλυτικά :

- i. **Βραχυκυκλώματα γης.** Αν το τύλιγμα του δρομέα είναι αγείοτο ένα βραχυκύκλωμα γης δεν προκαλεί διαταραχή, αλλά ένα δεύτερο βραχυκύκλωμα γης θα αυξήσει το ρεύμα σε ένα τμήμα του τυλίγματος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ασύμμετρης ροής διακένου. Όμως μια ασυμμετρία ροής προκαλεί σοβαρές ταλαντώσεις, που είναι ικανές να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές. Επίσης ένα δεύτερο βραχυκύκλωμα μπορεί να προκαλέσει τοπική θέρμανση και παραμόρφωση του δρομέα.

- ii. **Ανοιχτοκύκλωμα.** Το συγκεκριμένο φαινόμενο στο δρομέα είναι ιδιαίτερα σπάνιο αλλά όταν συμβεί απαιτείται τεταμένη προσοχή λόγω του επερχόμενου τόξου που θα ακολουθήσει.
- iii. **Ασυμμετρία στα ρεύματα του στάτη.** Οι λόγοι που οδηγούν στη συγκεκριμένη περίπτωση σφάλματος που δρα επί του δρομέα μπορούν να είναι ένα ανοιχτοκύκλωμα μια φάσης γραμμής, η αποτυχία κλεισίματος μιας επαφής διακόπτη ισχύος, ένα ασύμμετρο βραχυκύκλωμα κοντά στη γεννήτρια και κάποιο βραχυκύκλωμα στα τυλίγματα του στάτη.

Συμπερασματικά, προκειμένου να καταπολεμηθούν οι καταστροφικές συνέπειες των ποικίλων σφαλμάτων που ενδέχεται να συμβούν, ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας εξοπλίζεται με συστήματα προστασίας ενάντια στην υπερφόρτιση, τα βραχυκυκλώματα, τις υπερτάσεις αλλά και την ανάστροφη ροή ενέργειας. Επιπροσθέτως, το σύστημα ασφαλείας εξασφαλίζει τις σωστές δράσεις στο σωστό χρόνο ώστε να αποσβεστούν τα διάφορα σφάλματα και να διαφυλαχτούν οι στόχοι που καλείται ένα Σ.Η.Ε. να πραγματοποιήσει.

Βιβλιογραφία 3^ο Κεφαλαίου

- [1] Anthony J. Pansini, “Transmission line reliability and Security”, The Fairmont press Inc, 2004.
- [2] Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.
- [3] Nasser Tleis, “ Power Systems Modeling and Fault Analysis”, Newnes , 2007.

4 ^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ”

4.1 Εισαγωγή

Με την αυξανόμενη εξάρτηση σε ηλεκτροδότηση, τόσο οι αναπτυγμένες, όσο και οι αναπτυσσόμενες χώρες έχουν ανάγκη να διασφαλίσουν το επίπεδο της αξιοπιστίας, της ποιότητας και της ασφάλειας στην παρεχόμενη αυτή υπηρεσία προς τους καταναλωτές. Σίγουρο είναι πως η έννοια του κόστους διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο, παρόλα αυτά το κεφάλαιο « ασφάλεια» οφείλει να παραμένει ανεπηρέαστο, προκειμένου να επιτυγχάνει τους αντικειμενικούς σκοπούς του.

Άρρηκτα συνδεδεμένα με τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι ένας μεγάλος αριθμός βοηθητικών συστημάτων ώστε να ενισχυθεί η κάλυψη των προαπαιτούμενων σε ασφάλεια, αξιοπιστία και ποιότητα παρεχόμενης ενέργειας. Τα πιο σημαντικά από αυτά είναι τα Συστήματα Προστασίας (Protection Systems) τα οποία έχουν εγκατασταθεί με κύριο σκοπό, φυσικά την προστασία των χρηστών, την άρση των σφαλμάτων, που απαντώνται στα Σ.Η.Ε, αλλά και τον περιορισμό οποιασδήποτε καταστροφής στον εξοπλισμό. Άλλωστε γνωστό τρίπτυχο που διέπει κάθε ηλεκτρική εγκατάσταση με φθίνουσα σειρά σημασίας είναι «ασφάλεια του ανθρώπου, ασφάλεια του εξοπλισμού και διασφάλιση του σκοπού που υπηρετεί η εγκατάσταση». Η μέθοδος με την οποία πραγματοποιείται ο αντικειμενικός σκοπός ενός Συστήματος Προστασίας είναι ο Συντονισμός της Απομόνωσης (Insulation Coordination) ενός σφάλματος. Η ορθή ανάπτυξη του Συντονισμού Απομόνωσης σε ένα Σ.Η.Ε. είναι ζωτικής σημασίας ώστε η λειτουργία του συστήματος να ανταποκρίνεται στα επίπεδα ασφαλείας τόσο του εξοπλισμού, όσο και του προσωπικού λειτουργίας και των καταναλωτών. Αυτόματοι χειρισμοί, σε ελάχιστο χρόνο, απαιτούνται για την απομόνωση των σφαλμάτων στα δίκτυα και την ελαχιστοποίηση των καταστροφικών συνεπειών. Το κόστος μέσα από το πρίσμα των πλεονεκτημάτων των Συστημάτων προστασίας λαμβάνεται πάντα υπόψη με σκοπό την επίτευξη ισορροπίας μεταξύ κάλυψης των απαιτήσεων ενός βιώσιμου

Σ.Η.Ε και των υφιστάμενων οικονομικών πόρων. Τέλος η ελαχιστοποίηση του κόστους της τελικά μη διανεμόμενης ενέργειας προσλαμβάνει ιδιαίτερη μέριμνα από τους ιθύνοντες των Σ.Η.Ε.

Ένα Σύστημα Προστασίας, ενθυλακωμένο σε ένα ευρύτερο Σ.Η.Ε. υλοποιείται με την εγκατάσταση συγκεκριμένων συσκευών και εφαρμογών. Κύριο μέλημα αυτών αποτελεί η τήρηση συγκεκριμένων βασικών αρχών. Αναλυτικότερα, κατά την εμφάνιση ενός σφάλματος ή μιας γενικότερης αφύσικης λειτουργίας του συστήματος ηλεκτροδότησης, το Σύστημα Προστασίας οφείλει να το ανιχνεύει άμεσα με σκοπό την απομόνωση της πληγείσας περιοχής, ώστε να επιτρέπει την απρόσκοπτη λειτουργία του υπόλοιπου Σ.Η.Ε και να περιορίζει την πιθανή καταστροφή άλλου εξοπλισμού. Η επιλογή του εξοπλισμού που θα τεθεί σε «κατάσταση εκτός», λόγω εμπλοκής του σε κάποιο σφάλμα, πρέπει να περιορίζεται στην ελάχιστη δυνατή ποσότητα με αποτέλεσμα τη βιωσιμότητα του δικτύου. Η προστασία θα πρέπει να εφαρμόζεται σε τέτοιο επίπεδο ακρίβειας και ευαισθησίας ώστε όταν συμβεί ένα σφάλμα, ακόμη και υπό ελάχιστες συνθήκες σφάλματος, να υπάρχει το περιθώριο του να μη γίνουν χειρισμοί απομόνωσης του εξοπλισμού, στην περίπτωση που αυτός λειτουργεί στο πλήρες φορτίο του. Για παράδειγμα, το να δημιουργηθεί μια διακοπή ηλεκτροδότησης σε μια περιοχή, διότι ο μετασχηματιστής διανομής παρουσίασε υψηλή θερμοκρασία δεν θεωρείται επιτυχημένη διαδικασία του Συστήματος Προστασίας. Η ορθή λύση είναι αρχικά η μεταγωγή της ζήτησης του φορτίου σε έναν εφεδρικό μετασχηματιστή και έπειτα η απομόνωση του υπερθερμασμένου. Στο παράδειγμα αυτό επιδεικνύεται η άρρηκτη σχέση μεταξύ του Συστήματος προστασίας και του καθεαυτού Σ.Η.Ε., διότι το Σύστημα Προστασίας δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει αποτελεσματικά εάν δεν είχε προβλεφθεί στη μελέτη εγκατάστασης του Σ.Η.Ε εφεδρικός μετασχηματιστής. Επίσης, η ταχύτητα της προστασίας οφείλει να λειτουργεί σε τέτοια επίπεδα ώστε να αδρανοποιούνται τα σφάλματα άμεσα προκειμένου να ελαχιστοποιείται η ζημιά στις συνιστώσες του Σ.Η.Ε και να εξασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του. Τέλος, η εφεδρική προστασία εφαρμόζεται για την κάλυψη των αναγκών στα περισσότερα δίκτυα με σκοπό την αξιόπιστη λειτουργία του Συστήματος Προστασίας.

4.2 Φιλοσοφίες προστασίας συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας

Όλη η φιλοσοφία της σχεδίασης ενός ηλεκτρικού δικτύου βασίζεται σε μια αρχή: η παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας να γίνει με το ελάχιστο δυνατόν

κόστος. Αυτό απαιτεί κατάλληλη ισορροπία μεταξύ του αρχικού κεφαλαίου επένδυσης και του κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Καθώς δεν είναι οικονομική η σχεδίαση ενός συστήματος το οποίο θα μπορεί να αποφεύγει ή να αντιμετωπίζει όλες τις πιθανές βλάβες και σφάλματα, εφαρμόζεται η εναλλακτική λύση της υποστήριξής του από ένα σύστημα προστασίας που θα μπορεί να ανιχνεύει γρήγορα μη κανονικές καταστάσεις και θα οδηγεί στις κατάλληλες ενέργειες αντιμετώπισής του. Οι ενέργειες αυτές εξαρτώνται από το διαθέσιμο μέσο προστασίας και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στο σημείο όπου βρίσκεται.

Υπάρχουν δυο φιλοσοφίες προστασίας, που διαφοροποιούνται ως προς τον τύπο των μέσων προστασίας που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση. Αυτά τα μέσα (ή διατάξεις) προστασίας είναι τα εξής:

- Διατάξεις απόφασης – δράσης (ή ενεργητικές Διατάξεις)
- Κατασταλτικές διατάξεις προστασίας (ή Παθητικές)

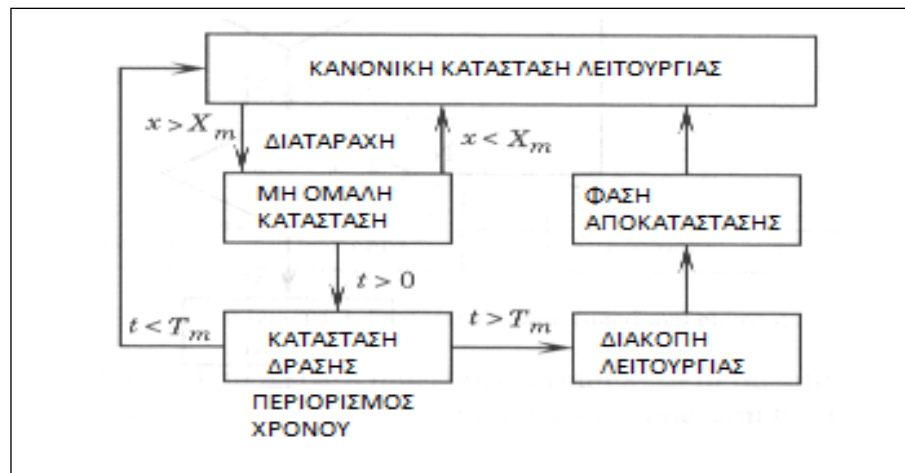
4.2.1 Διατάξεις απόφασης – δράσης (ενεργητικές)

Οι διατάξεις αυτές σχεδιάζονται ώστε να αναγνωρίζουν διάφορες επικίνδυνες καταστάσεις που εμφανίζονται στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας και να εκτελούν γρήγορα μια προκαθορισμένη απόφαση για την αντιμετώπισή τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο κίνδυνος σχετίζεται με κάποια διαταραχή της λειτουργίας του συστήματος, η οποία μπορεί να προκαλέσει καταστροφή σε ένα ή περισσότερα στοιχεία του. Έτσι, η απόφαση έγκειται στην απομόνωση του τμήματος εκείνου στο οποίο εμφανίζεται η διαταραχή, ώστε το υπόλοιπο σύστημα να μην επηρεάζεται από την διαταραχή.

Κατασταλτικές διατάξεις προστασίας (ή παθητικές διατάξεις). Οι διατάξεις αυτές αναγνωρίζουν διάφορες επικίνδυνες καταστάσεις σε ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας και ενεργοποιούνται ώστε να οδηγήσουν το σύστημα σε μια λιγότερο επικίνδυνη κατάσταση.

Όπως ειπώθηκε και παραπάνω, οι διατάξεις απόφασης – δράσης ανιχνεύουν κάποιο κίνδυνο, όπως π.χ. ένα βραχυκύκλωμα, και το εξαλείφουν. Ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας δεν είναι σχεδιασμένο να λειτουργεί υπό την παρουσία βραχυκυκλωμάτων και γι' αυτό το σύστημα προστασίας ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, απομονώνει γρήγορα το σημείο όπου υπάρχει το σφάλμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, μετά την απομόνωση του σφάλματος το αντίστοιχο τμήμα μπορεί να τεθεί εκ νέου σε λειτουργία.

Το σύστημα προστασίας πρέπει να λειτουργεί αξιόπιστα και γρήγορα (σε μερικά ms) για κάθε είδος διαταραχής, ώστε να προστατεύει κάθε στοιχείο του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας από πλήρη καταστροφή. Η λειτουργία ενός συστήματος προστασίας βασισμένο στην αρχή της απόφασης – δράσης παρουσιάζεται στο Σχήμα



Εικόνα 23 : Μοντέλο συστήματος απόφασης δράσης

[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

Κατάσταση κανονικής λειτουργίας είναι η κατάσταση κατά την οποία όλα τα μέρη που απαρτίζουν ένα Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας λειτουργούν στις ονομαστικές τους συνθήκες. Κατάσταση διαταραχής είναι η κατάσταση κατά την οποία εμφανίζεται μια διαταραχή (σφάλμα) σε κάποιο στοιχείο του συστήματος. Οι διαταραχές είναι συνήθως μεταβατικές στην φύση τους και γι’ αυτόν το λόγο το σύστημα προστασίας αναμένει λίγο χρόνο μήπως εξαλειφθεί η διαταραχή από μόνη της. Σε διαφορετική περίπτωση δίνει μια εντολή δράσης, η οποία εκτελεί κάποιες προκαθορισμένες ενέργειες και θέτει εκτός λειτουργίας το τμήμα που παρουσιάζει το σφάλμα. Η νέα κατάσταση ονομάζεται κατάσταση βλάβης. Καθώς η κατάσταση βλάβης είναι ανεπιθύμητη, ακολουθεί μία εντολή αποκατάστασης, για την επαναφορά του Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας στην κατάσταση

κανονικής λειτουργίας. Από το σχήμα είναι προφανές ότι, για να λειτουργήσει η προστασία και να απομονώσει ένα συγκεκριμένο στοιχείο του συστήματος, πρέπει να πληρούνται οι ακόλουθες δύο συνθήκες:

α) ο περιορισμός ανισότητας $x > X_m$ και

β) ο χρονικός περιορισμός $t > T_m$

4.2.2 Κατασταλτικές διατάξεις προστασίας (παθητικές)

Οι διατάξεις αυτές διαφέρουν από τις προηγούμενες, καθώς ενεργοποιούνται για να μεταβάλλουν τις συνθήκες που επικρατούν στα γειτονικά στοιχεία του εσφαλμένου τμήματος ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας. Τέτοιες διατάξεις μπορεί να είναι ψεκαστήρες νερού (sprinklers) για την αντιμετώπιση πυρκαγιάς, συστήματα ψύξης μηχανών και συσκευών, ανιχνευτές μεταβολών εντάσεων και τάσεων του εξοπλισμού κ.ά. Με την βοήθεια κατάλληλων αισθητήρων ανιχνεύουν τον κίνδυνο και είτε εφαρμόζουν άμεσα κατασταλτικά μέτρα, όπως πυρόσβεση ή διακοπή λειτουργίας της συσκευής είτε παρέχουν ένα προειδοποιητικό σήμα στον διαχειριστή του συστήματος, ο οποίος παίρνει την κατάλληλη απόφαση ανάλογα με την σοβαρότητα της διαταραχής. Τέλος, υπάρχουν διατάξεις αυτόματης απομόνωσης του εξοπλισμού όταν μια σειρά ενεργειών και συνθηκών δεν πραγματοποιούνται.

Οι παθητικές διατάξεις έχουν ιδιαίτερη σημασία στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας και κυρίως στους σταθμούς παραγωγής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα συστήματα ψύξης των πυρηνικών αντιδραστήρων, όπου η επικινδυνότητα των αντιδραστηρίων και το υψηλό τους κόστος επιβάλλουν ακριβά και ιδιαίτερα αξιόπιστα κατασταλτικά μέσα προστασίας.

4.3 Σημαντικές απαιτήσεις συστημάτων προστασίας

Η παραμετροποίηση κάθε Συστήματος Προστασίας θα πρέπει να διέπεται από συγκεκριμένα αξιώματα.

Αξιοπιστία: Η ικανότητα του Συστήματος Προστασίας να λειτουργεί ορθά. Αποτελείται από δυο αλληλοεξαρτώμενες συνιστώσες, την εξασφάλιση σωστού χειρισμού κατά την εμφάνιση ενός σφάλματος και την ασφάλεια που είναι η ικανότητα αποφυγής εσφαλμένων χειρισμών κατά τη διάρκεια ενός σφάλματος.

Ταχύτητα: Ορίζεται ως ο ελάχιστος χρόνος χειρισμού καταπολέμησης ενός σφάλματος με σκοπό την προστασία του εξοπλισμού αλλά και την ευστάθεια των σύγχρονων γεννητριών.

Επιλεκτικότητα: Διατήρηση της συνέχειας παροχής ισχύος προς τη ζήτηση διαμέσου της αποσύνδεσης του ελάχιστου απαιτητού τομέα του δικτύου προκειμένου να απομονωθεί το σφάλμα.

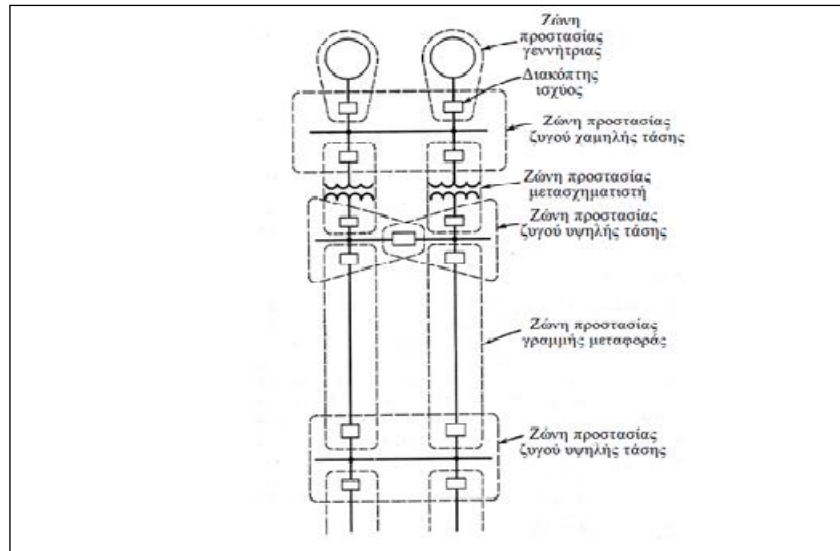
Ικανοποιητική ευαισθησία: ορίζεται ως το μικρότερο ρεύμα βραχυκύκλωσης που ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο, όταν το βραχυκύκλωμα συμβαίνει στη ζώνη προστασίας.

Κόστος: Μέγιστη προστασία στο χαμηλότερο δυνατό κόστος.

Εύλογο είναι το συμπέρασμα πως η εξασφάλιση της ταυτόχρονης εφαρμογής των παραπάνω παραδοχών αγγίζει τα όρια του αδύνατου, οπότε αναπόφευκτα αναζητείται ένας συμβιβασμός κατά την μελέτη, κατασκευή και λειτουργία του βέλτιστου Συστήματος Προστασίας.

4.4 Ζώνες προστασίας

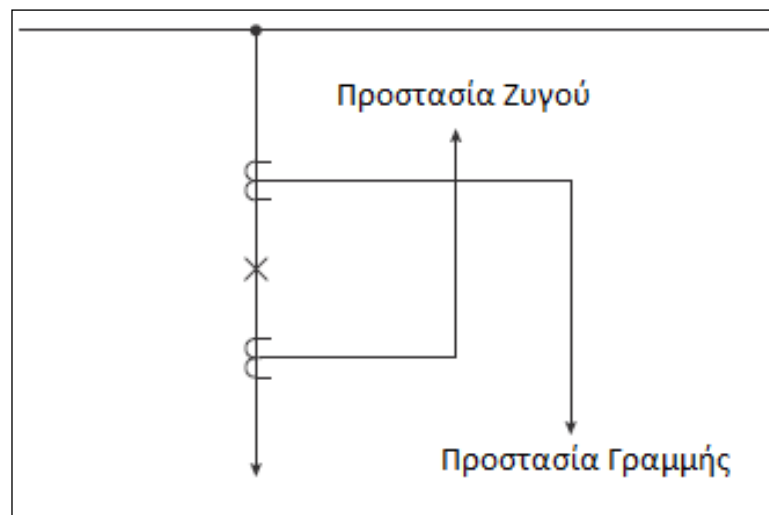
Η γενική φιλοσοφία για την χρήση των ηλεκτρονόμων είναι η διαίρεση του Σ.Η.Ε σε διακριτές ζώνες προστασίας, οι οποίες μπορούν να είναι ανεξάρτητα προστατευμένες και δυνητικά αποσυνδεδεμένες στην επέλευση ενός σφάλματος με σκοπό να επιτρέπουν την απρόσκοπτη λειτουργία του υπόλοιπου δικτύου. Ως σύνολο ένα Σ.Η.Ε. μπορεί να ομαδοποιηθεί σε ζώνες προστασίας, όπως γεννητριών, μετασχηματιστών, ομάδες γεννητριών, ομάδες μετασχηματιστών, κινητήρων, ζυγών και γραμμών μεταφοράς. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα Σύστημα Προστασίας με διαφορετικές ζώνες. Δόκιμο είναι να παρατηρηθεί, στο Σχήμα, πως αυτές οι ζώνες είναι αλληλοκαλυπτόμενες και σε ορισμένα σημεία καταδεικνύεται πως με την εμφάνιση ενός σφάλματος ενεργοποιούνται παραπάνω από ένας ηλεκτρονόμοι.



Σχήμα 3 : Ζώνες προστασίας

[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

Η αλληλοκάλυψη επιτυγχάνεται διασυνδέοντας τον εκάστοτε ηλεκτρονόμο προστασίας με τον κατάλληλο μετασχηματιστή έντασης όπως παρουσιάζεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 4 : Σχεδιάγραμμα αλληλοκάλυψης

[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

Εύλογο είναι το συμπέρασμα ότι για βραχυκυκλώματα στις περιοχές όπου δύο ζώνες προστασίας επικαλύπτονται, θα ενεργοποιηθούν περισσότεροι διακόπτες από όσους χρειάζονται για την αποσύνδεση της περιοχής του βραχυκυκλώματος. Αλλά, αν δεν υπάρχει επικάλυψη, ένα βραχυκύκλωμα μεταξύ δύο ζωνών δεν θα ενεργοποιήσει κανένα διακόπτη ισχύος. Η επικάλυψη είναι το μικρότερο κακό εκ των δύο. Εξ' άλλου η έκταση της επικάλυψης είναι σχετικά μικρή και η πιθανότητα να συμβεί βραχυκύκλωμα στην περιοχή όπου υφίσταται επικάλυψη, είναι μικρή. Επομένως, η λειτουργία περισσότερων διακοπών των απαραίτητων αποτελεί σπάνιο φαινόμενο.

Τέλος είναι εμφανές, ότι οι ζώνες προστασίας επικαλύπτονται γύρω από ένα διακόπτη ισχύος, επειδή για βραχυκυκλώματα εκτός περιοχών επικάλυψης, απαιτείται λειτουργία του ελάχιστου αριθμού διακοπών ισχύος.

4.5 Πρωτεύουσα προστασία και προστασία υποστήριξης ή βοηθητική προστασία

Όλα τα στοιχεία που απαρτίζουν ένα Σ.Η.Ε πρέπει να είναι ορθά σχεδιασμένα ώστε οι ηλεκτρονόμοι προστασίας να θέτονται σε λειτουργία μόνο κατά την περίπτωση σφάλματος. Ορισμένοι από αυτούς όντας σχεδιασμένοι υπό τη μέθοδο προστασίας μονάδος (Protection Unit), ενεργοποιούνται μόνο ενάντια σε σφάλματα εντός της αποκλειστικά δικής τους ζώνης. Άλλοι πάλι, έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν τα σφάλματα, τόσο στη δική τους δικαιοδοσία όσο και σε παρακείμενες ζώνες, οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως εφεδρείες στις ζώνες αυτές. Απόλυτος σκοπός πάντα αποτελεί η απομόνωση του εκάστοτε σφάλματος ακόμη και στην περίπτωση που η πρωτεύουσα προστασία αποτύχει να τεθεί εντός λειτουργίας. Για αυτό το λόγο, όποτε είναι δυνατό, κάθε στοιχείο του Σ.Η.Ε. πρέπει να ελέγχεται από ηλεκτρονόμους τόσο πρωτεύουσας προστασίας όσο και από βοηθητικής.

4.5.1 Πρωτεύουσα προστασία

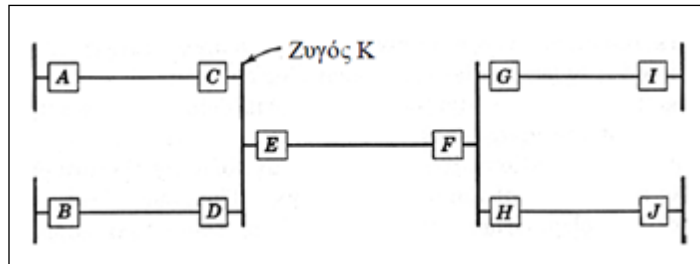
Ο εξοπλισμός της πρωτεύουσας προστασίας πρέπει να ενεργεί κάθε φορά που ανιχνεύεται ένα σφάλμα στο δίκτυο και να προστατεύει παραπάνω από μια συνιστώσα όπως για παράδειγμα τις ηλεκτρικές μηχανές, τις γραμμές μεταφοράς ή τους ζυγούς. Επίσης είναι δυνατόν μία συνιστώσα του δικτύου να προστατεύεται από ποικίλες συσκευές κύριας

προστασίας. Παρόλα αυτά δεν είναι αναγκαία η ταυτόχρονη δράση όλων των προστατευτικών συσκευών ενάντια στο ίδιο σφάλμα, ενώ θα πρέπει να σημειωθεί πως ο εξοπλισμός πρωτεύουσας προστασίας για ένα συγκεκριμένο στοιχείο δεν είναι απαραίτητα εγκατεστημένος στην ίδια τοποθεσία με το στοιχείο αλλά θα μπορούσε και σε έναν παρακείμενο υποσταθμό.

4.5.2 Προστασία υποστήριξης ή βοηθητική προστασία

Η προστασία υποστήριξης εγκαθίσταται με σκοπό τη λειτουργία στην περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο η πρωτεύουσα προστασία αποτύχει το στόχο της. Για να επιτευχθεί αυτό η βοηθητική προστασία διαθέτει ένα αισθητήριο στοιχείο, που ενδέχεται να διαφέρει από το αντίστοιχο της κύριας προστασίας, αλλά σίγουρα περιλαμβάνει ένα μηχανισμό χρονοκαθυστέρησης. Με αυτόν τον τρόπο επιβραδύνεται ο σκανδαλισμός του βοηθητικού ηλεκτρονόμου παρέχοντας το απαραίτητο χρονικό διάστημα να λειτουργήσει ή όχι ο κύριος. Ένας βοηθητικός ηλεκτρονόμος μπορεί να παρέχει προστασία σε διαφορετικά κομμάτια του δικτύου. Αντίστοιχα, ο ίδιος εξοπλισμός μπορεί να προστατεύεται από ένα πλήθος εφεδρικών ηλεκτρονόμων, ενώ είναι σύνηθες ένας ηλεκτρονόμος προστασίας να δρα ως κύρια προστασία σε κάποια κομμάτια του δικτύου ή ως βοηθητική. Τέλος, η προστασία υποστήριξης, χρησιμοποιείται μόνο για σφάλματα από βραχυκυκλώματα που είναι και τα πιο συχνά. Για άλλα είδη σφαλμάτων, η προστασία υποστήριξης δε συμφέρει οικονομικά.

Παράδειγμα : Προστασία υποστήριξης γραμμής μεταφοράς EF του Σχήματος 3-4. Η προστασία υποστήριξης για αυτή τη γραμμή ρυθμίζεται έτσι ώστε να «ανοίγει» τους διακόπτες A,B,I και J. Αν ο διακόπτης E δεν λειτουργήσει λόγω κάποιου βραχυκυκλώματος στη γραμμή EF, τότε λειτουργούν οι διακόπτες A και B. Οι διακόπτες A και B και τα συνδεδεμένα σε αυτούς συστήματα προστασίας, είναι τοπολογικά μακριά από τα συστήματα που δε λειτούργησαν και είναι απίθανο να επηρεασθούν από τα αίτια που έκαναν το διακόπτη E να μην λειτουργήσει, πράγμα που πιθανά θα συνέβαινε, αν οι διακόπτες C και D είχαν εκλεγεί για την προστασία υποστήριξης.



Σχήμα 5: Διασαφήνιση Προστασίας Υποστήριξης για τη Γραμμή Μεταφοράς EF

[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

Οι ηλεκτρονόμοι υποστήριξης στις θέσεις A,B και F παρέχουν προστασία υποστήριξης, αν συμβεί βραχυκύκλωμα ζυγού στο σταθμό K. Επίσης οι ηλεκτρονόμοι υποστήριξης στα A και F παρέχουν προστασία υποστήριξης για βραχυκυκλώματα στη γραμμή DB. Δηλαδή η ζώνη προστασίας υποστήριξης αρχίζει από κάποιο ηλεκτρονόμο υποστήριξης και επικαλύπτει τουλάχιστον κάθε γειτονικό στοιχείο του συστήματος.

Μία επίσης βασική εργασία της προστασίας υποστήριξης είναι να παρέχει πρωτεύουσα προστασία, όταν γίνεται συντήρηση ή επιδιόρθωση στην πρωτεύουσα προστασία. Όταν μία ομάδα ηλεκτρονόμων παρέχει προστασία υποστήριξης για μερικά γειτονικά στοιχεία του συστήματος, ο βραδύτερος ηλεκτρονόμος της πρωτεύουσας προστασίας προσδιορίζει τον απαραίτητο χρόνο καθυστέρησης των ηλεκτρονόμων υποστήριξης.

4.6 Ορισμοί

Υπάρχουν ορισμένες έννοιες και ορισμοί που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των ηλεκτρονόμων και των συστημάτων προστασίας και πρέπει να ορισθούν. Είναι οι κάτωθι:

- **Ροπή ή δύναμη λειτουργίας** (Operating Force or Torque): Αυτή που τείνει να κλείσει τις επαφές του ηλεκτρονόμου.

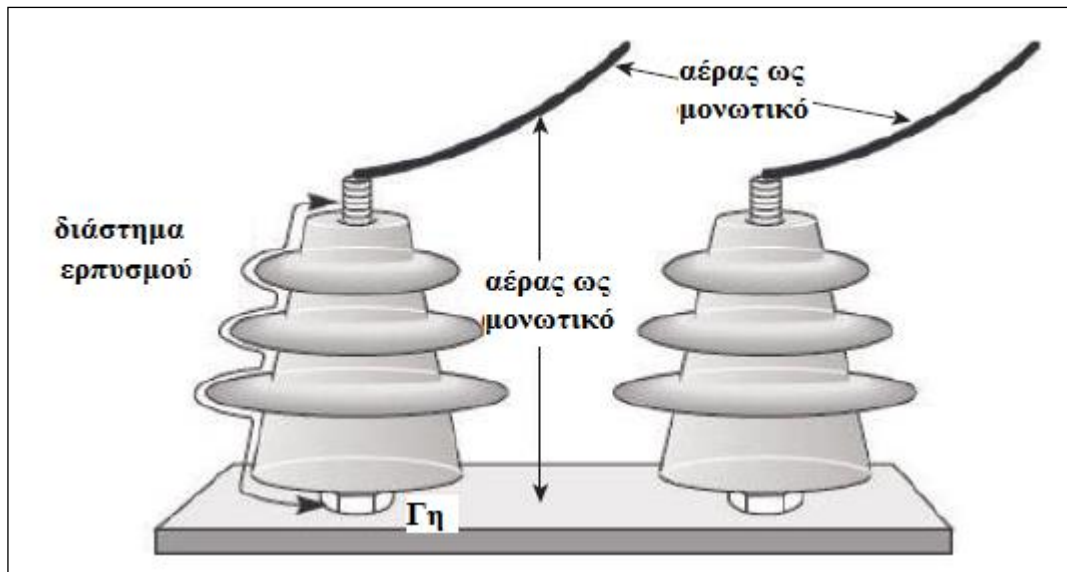
- **Ροπή ή δύναμη αναχαίτισης (Restraining Force or Torque):** Αυτή που ανθίσταται στη ροπή ή δύναμη λειτουργίας και εμποδίζει το κλείσιμο των επαφών του ηλεκτρονόμου.
- **Επίπεδο επιλογής (Pick-up level):** Η τιμή του ρεύματος ή τάσης που είναι το κατώφλι κάτω από το οποίο ο ηλεκτρονόμος ανοίγει τις επαφές του και επιστρέφει στην κανονική κατάσταση.
- **Επίπεδο επαναφοράς (Drop out or reset level):** Η τιμή του ρεύματος ή τάσης που είναι το κατώφλι κάτω από το οποίο ο ηλεκτρονόμος ανοίγει τις επαφές του και επιστρέφει στην κανονική κατάσταση.
- **Χαρακτηριστική του ηλεκτρονόμου στη μόνιμη κατάσταση (Characteristic):** Η γραφική παράσταση του επιπέδου επιλογής ή επαναφοράς. Σε μερικούς ηλεκτρονόμους αυτές οι δύο καμπύλες συμπίπτουν και τότε έχουμε τον τόπο μηδενικής ροπής.
- **Ηλεκτρονόμος ενίσχυσης (Reinforcing Relay):** Ένας ηλεκτρονόμος που ενεργοποιείται από τις επαφές του κύριου ηλεκτρονόμου και οι επαφές του, που είναι παράλληλες με αυτές του κυρίου ηλεκτρονόμου, τις βοηθούν στη μεταφορά του ρεύματος.
- **Ηλεκτρονόμος επισφράγισης (Seal-in Relay):** Είναι όμοιος με τον ηλεκτρονόμο ενίσχυσης αλλά είναι συνδεδεμένος έτσι, ώστε να διατηρεί κλειστές τις επαφές του, μέχρις ότου ένας διακόπτης που ενεργοποιείται με τη λειτουργία του διακόπτη ισχύος, διακόψει το κύκλωμά του.
- **Ηλεκτρονόμος υποστήριξης (Back-up Relay):** Ένας ηλεκτρονόμος που συνήθως λειτουργεί μετά από κάποια καθυστέρηση για να ενεργοποιήσει το διακόπτη ισχύος, όταν ο κανονικός ηλεκτρονόμος δεν λειτουργήσει.
- **Επιλεκτικότητα (Selectivity):** Η ικανότητα του ηλεκτρονόμου να διακρίνει ένα βραχυκύκλωμα στη ζώνη που εποπτεύει από ένα βραχυκύκλωμα σε άλλη ζώνη.
- **Συνέπεια (Consistency):** Η ακρίβεια με την οποία ένας ηλεκτρονόμος επαναλαμβάνει τα ηλεκτρικά ή χρονικά χαρακτηριστικά του.

- **Σημαία** (Flag or target): Ένα σήμα μηχανικό ή ηλεκτρικό που εμφανίζεται μετά τη λειτουργία του ηλεκτρονόμου για να διαπιστώνεται η λειτουργία του.
- **Χρόνος λειτουργίας** (Operating time): Ο χρόνος που παρέρχεται από τη στιγμή που θα επιτευχθεί το επίπεδο επιλογής μέχρις ότου ο ηλεκτρονόμος κλείσει τις επαφές του.
- **Επέκταση** (Reach): Το μακρύτερο σημείο στο οποίο επεκτείνεται η ζώνη προστασίας του ηλεκτρονόμου.

4.7 Συντονισμός μόνωσης (insulation coordination)

Με σκοπό τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας ενός Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας, η μελέτη του συντονισμού μόνωσης παρέχει τον καθορισμό των αναγκαίων και επαρκών χαρακτηριστικών της μόνωσης που επιλέγεται στα διάφορα μέρη του δικτύου. Η μόνωση που εφαρμόζεται στα σημεία του εξοπλισμού, όπου απαιτείται, έχει ως ρόλο την ανοχή στην κανονική τάση λειτουργίας του δικτύου αλλά και σε υπερτάσεις που προκαλούνται από διάφορα αίτια. Δυο παράμετροι πρέπει να αποσαφηνιστούν συναρτήσει των χαρακτηριστικών της μόνωσης, η επαναδιαταξιμότητα του μονωτικού υλικού και η τάση αντοχής του.

Πιο συγκεκριμένα, η επαναδιαταξιμότητα του μονωτικού υλικού αφορά στην ικανότητα του υλικού να αποτρέπει ή να ελαχιστοποιεί το φαινόμενο του ηλεκτρικού τόξου που δύναται να αναπτυχθεί σε περίπτωση υπερπήδησης της τάσης μεταξύ δυο αγωγών ή μεταξύ αγωγού και γης. Συνήθως τα υλικά που εμφανίζουν έντονα αυτό το χαρακτηριστικό είναι μονωτικά αέρια, τα οποία αναλόγως της πίεσης του περιβάλλοντος αλλά και της μοριακής τους σύστασης επιδεικνύουν αντοχή σε διάφορες στάθμες τάσης. Βέβαια, τα μονωτικά αέρια συνήθως χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με στερεά μονωτικά υλικά όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 6 : Αέρας ως μονωτικό υλικό και διάστημα ερπυσμού

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται η έννοια του διαστήματος ερπυσμού, το οποίο αποτελεί την κοντινότερη διαδρομή μεταξύ δυο αγωγών (ενεργών ή μη) στο οποία μπορούν να αναπτυχθούν τάσεις ερπυσμού και να προκύψει υπερπήδηση του στερεού μονωτικού, άρα να δημιουργηθεί για χρονικό διάστημα αγωγίμος δρόμος μεταξύ των δυο αγωγών με αποτέλεσμα την δημιουργία σφάλματος. Οι λόγοι που οδηγούν σε τάσεις ερπυσμού είναι συνήθως η γήρανση των στερεών μονωτικών υλικών αλλά και οι συνθήκες περιβάλλοντος όπως ρυπαρότητα της ατμόσφαιρας, υγρασία και άλλα. Όλες αυτές οι παράμετροι σε συνδυασμό με τις τυχόν υπερτάσεις που μπορεί να συμβούν σε ένα δίκτυο οδηγούν στην αστοχία της μόνωσης .

Εν συνεχεία, η τάση αντοχής αφορά κυρίως τα στερεά μονωτικά υλικά όπως αποστάτες μεταξύ μπαρών από ζυγούς τροφοδοσίας, μονωτήρες διασύνδεσης μετασχηματιστών κ.ά.



Εικόνα 24 : Μονωτήρες διασύνδεσης μετασχηματιστή

Γενικότερα, τα χαρακτηριστικά της μόνωσης και η απόσταση μεταξύ των ενεργών ή μη αγωγών καθορίζονται σε ένα σύστημα προκειμένου να επιτευχθεί η αντοχή του εκάστου Σ.Η.Ε. απέναντι στην ισχύ, τη συχνότητα, τη διακοπτική δραστηριότητα και τις κρουστικές τάσεις σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα. Για αυτό το λόγο τα αντικείμενα που συναποτελούν τον εξοπλισμό ενός Σ.Η.Ε. υπόκεινται σε δοκιμές τύπου και δοκιμές σειράς.

Βιβλιογραφία 4^ο Κεφαλαίου

- [1] Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.
- [2] Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.
- [3] Andrew R. Hileman, “Insulation Coordination for Power Systems”, CRC Press, 1999.
- [4] Anthony J. Pansini, “Transmission line reliability and Security”, The Fairmont press Inc, 2004.

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟΙ”

5.1 Αρχή λειτουργίας των ηλεκτρονόμων προστασίας

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση ενός Συστήματος Προστασίας κυρίως αποτελείται από διάφορα είδη ηλεκτρονόμων προστασίας. Ο ηλεκτρονόμος προστασίας είναι μία συσκευή που αφουγκράζεται την οποιαδήποτε αλλαγή στο σήμα που επιτηρεί, συνήθως από μια πηγή ρεύματος ή τάσης. Εάν το μέγεθος του εισερχόμενου σήματος βρεθεί εκτός των προκαθορισμένων ορίων, τότε ο ηλεκτρονόμος διεξάγει μια συγκεκριμένη λειτουργία, συνήθως αλλάζοντας κατάσταση στις ηλεκτρικές επαφές του. Για κάθε τύπο και θέση του βραχυκυκλώματος υπάρχει μία χαρακτηριστική διαφορά σε αυτές τις ποσότητες (ρεύμα ή τάση). Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλεκτρονόμων διαθέσιμοι, που ο καθένας σχεδιάστηκε για να αναγνωρίζει μία χαρακτηριστική διαφορά και να λειτουργεί αποκρινόμενος σε αυτή. Υπάρχουν πολύ περισσότερες διαφορές σε αυτές τις ποσότητες από ότι μπορεί κανείς να περιμένει. Οι διαφορές αυτές μπορεί να υπάρχουν σε ένα ή περισσότερα από τα πιο κάτω μεγέθη:

- Αρμονικές ή κυματομορφή.
- Μέτρο
- Συχνότητα
- Φασική γωνία
- Διάρκεια
- Ρυθμό μεταβολής
- Διεύθυνση ή διαδοχή των μεταβολών

άνοιγμα του διακόπτη ισχύος. Είναι απαραίτητο όμως οι επαφές να μην ανοίξουν πριν σταματήσει το ρεύμα διέγερσης γιατί καταστρέφονται. Αυτό επιτυγχάνεται ή με τη χρήση ειδικών επαφών ώστε να μην αναπηδούν ή με τη χρήση μαγνητικού πηνίου συγκράτησης ή με τη χρήση του βοηθητικού ηλεκτρονόμου επισφράγισης.

Το ιδανικό θα ήταν τα συστήματα προστασίας να προέβλεπαν και να εμπόδιζαν τα βραχυκυκλώματα, αλλά αυτό είναι αδύνατο γενικά, εκτός των περιπτώσεων εκείνων που η αρχική αιτία του βραχυκυκλώματος δημιουργεί κάποιο αποτέλεσμα, που μπορεί να θέσει σε λειτουργία έναν ηλεκτρονόμο προστασίας. Μόνον ένας ηλεκτρονόμος προστασίας υπάρχει αυτού του τύπου. Είναι ο ηλεκτρονόμος ανίχνευσης αερίων, που χρησιμοποιείται για την προστασία των μετασχηματιστών και λειτουργεί, όταν συσσωρεύονται αέρια λόγω της διάσπασης του λαδιού από υπερθέρμανση, που προκαλείται από κακή σύνδεση ή τη διάσπαση του μονωτικού.

5.2 Ηλεκτρομηχανικοί ηλεκτρονόμοι

Οι ηλεκτρονόμοι προστασίας μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με ποικίλα κριτήρια : τρόπος κατασκευής, αρχή λειτουργίας κ.λπ., γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα διάφοροι ηλεκτρονόμοι να ανήκουν ταυτόχρονα σε παραπάνω από μια κατηγορία αναλόγως το χρησιμοποιούμενο κριτήριο κάθε φορά.

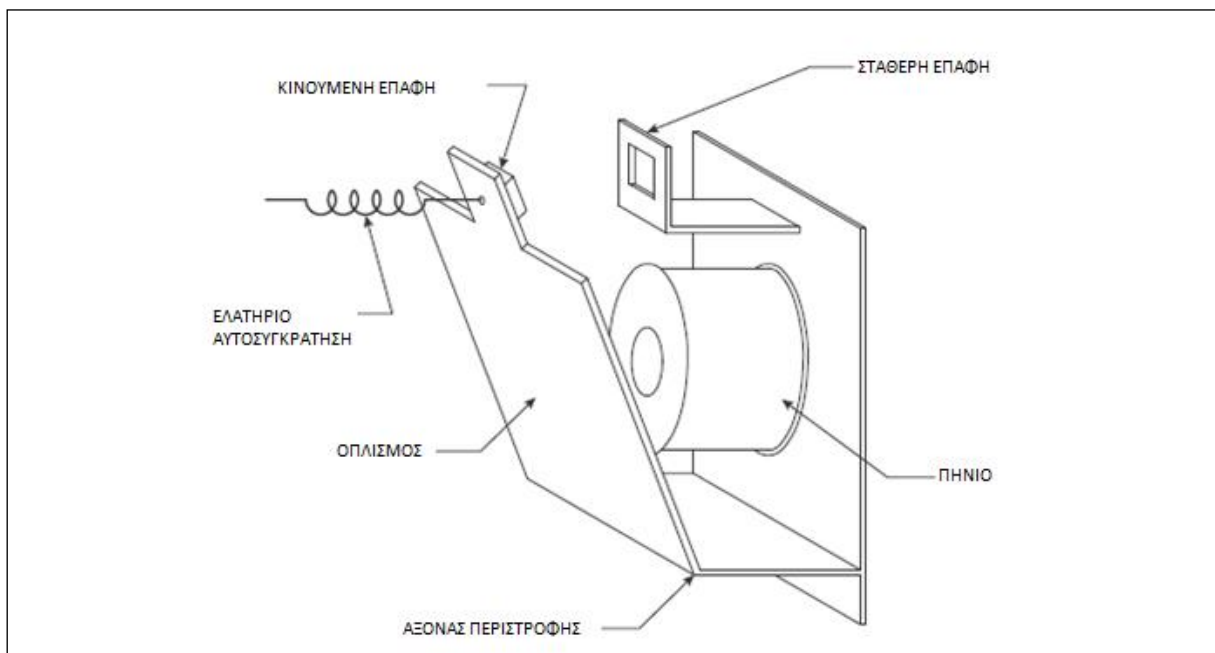
Οι ηλεκτρομηχανικοί ηλεκτρονόμοι κατασκευάζονται από ηλεκτρικές, μαγνητικές και μηχανικές συνιστώσες, διαθέτουν ένα πηνίο σκανδαλισμού και ποικίλες ηλεκτρικές επαφές. Χαρακτηριστικά του είναι η στιβαρότητα και η αξιοπιστία. Συχνά αναφέρονται και ως ηλεκτρομαγνητικοί ηλεκτρονόμοι λόγω του ότι η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο φαινόμενο μαγνήτισης. Τα κατασκευαστικά τους χαρακτηριστικά επιτρέπουν τον διαχωρισμό τους σε επιμέρους κατηγορίες.

5.2.1 Ηλεκτρονόμοι έλξης

Οι ηλεκτρονόμοι έλξης τροφοδοτούνται είτε με εναλλασσόμενο είτε με συνεχές ρεύμα, και η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην κίνηση ενός μεταλλικού στελέχους. Η κίνηση αυτή προκαλείται από την μαγνητική έλξη που δημιουργεί ένα φορτισμένο πηνίο. Στο συγκεκριμένο σημείο υφίσταται ένας διαχωρισμός εντός της συγκεκριμένης κατηγορίας.

- **Ηλεκτρονόμοι έλξης τύπου οπλισμού**

Όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 5.2-2 αποτελούνται, από μια μεταλλική μπάρα ή πλάκα η οποία συνδέεται με έναν στροφέα με ένα σταθερό σημείο, ώστε να περιστρέφεται όταν την έλκει μαγνητικά το πηνίο. Ο οπλισμός φέρει το κινούμενο μέρος της ηλεκτρικής επαφής η οποία ανοίγει ή κλείνει ηλεκτρικά, όπως φαίνεται και στο σχήμα, ανάλογα με τον σκανδαλισμό του πηνίου.

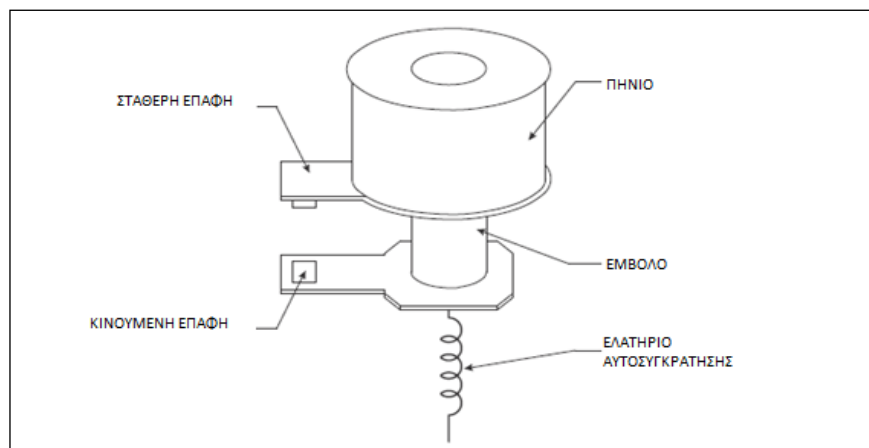


Σχήμα 8 : Ηλεκτρονόμος τύπου έλξης οπλισμού

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

- Ηλεκτρονόμοι έλξης τύπου εμβόλου ή τύπου σωληνοειδούς πηνίου

Ο συγκεκριμένος τύπος ηλεκτρονόμου παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.2-3 και η αρχή λειτουργίας του βασίζεται σε ένα έμβολο ή μεταλλική μπάρα τα οποία έλκονται αξονικά από το πεδίο του πηνίου κατά τη μαγνήτιση του τελευταίου. Κατά τη διεξαγωγή της συγκεκριμένης κίνησης, αλλάζουν κατάσταση και οι ηλεκτρικές επαφές του πηνίου.



Σχήμα 9 : Ηλεκτρονόμος τύπου σωληνοειδούς πηνίου

Αποδεικνύεται ότι η ελκτική δύναμη ισούται με τον παρακάτω τύπο :

$$K_1 I^2 - K_2$$

Εξίσωση 5.2.1-1

όπου K_1 είναι μία σταθερά η οποία εξαρτάται από τον αριθμό των σπειρών του πηνίου, το διάκενο που πρέπει να διανύσει το έμβολο όταν του ασκείται η ελκτική δύναμη, τη ένταση και τη μαγνητική αντίδραση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργείται. Το K_2 αποτελεί επίσης μια σταθερά που εξαρτάται από τη δύναμη του ελατηρίου επαναφοράς.

Γενικά οι ηλεκτρονόμοι έλξης δεν εμφανίζουν καθυστέρηση χρόνου ενεργοποίησης και για αυτό το λόγο γίνεται ευρεία χρήση τους σε εφαρμογές όπου απαιτείται στιγμιαίος χειρισμός.

5.2.2 Ηλεκτρονόμοι με κινούμενα πηνία

Η αρχή λειτουργίας των συγκεκριμένων ηλεκτρονόμων έγκειται στην περιστροφική κίνηση ενός μικρού πηνίου, είτε αιωρούμενου είτε αρθρωμένου σε περιστροφικό άξονα, με τη δυνατότητα να περιστρέφεται ανάμεσα στους πόλους ενός μόνιμου μαγνήτη. Το πηνίο συγκρατείται από δυο ελατήρια τα οποία εξυπηρετούν και τους αγωγούς που διοχετεύουν το ρεύμα ενεργοποίησης.

Η ασκούμενη ροπή στο πηνίο δίδεται από τον παρακάτω τύπο:

$$T = B l a N i$$

Εξίσωση 5.2.2-1

Όπου,

T = ροπή

B = πυκνότητα μαγνητικής ροής

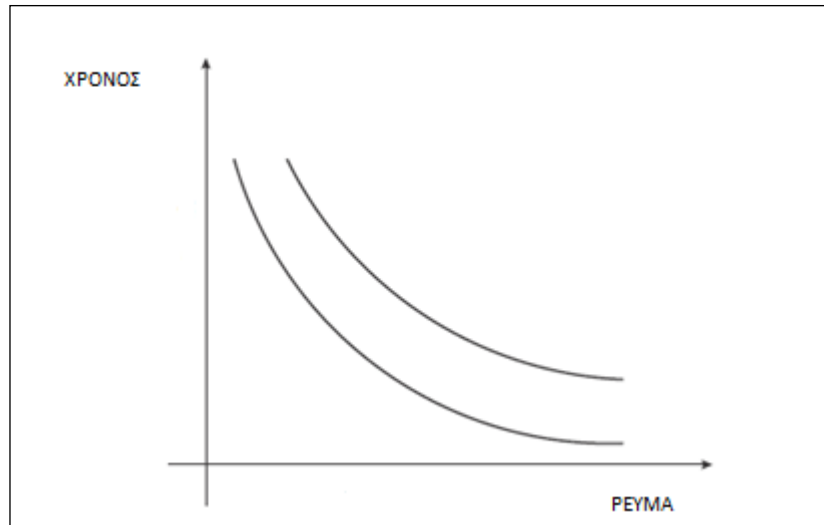
l = μήκος του πηνίου

a = διάμετρος του πηνίου

N = αριθμός σπειρών του πηνίου

i = ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο

Από τον παραπάνω τύπο συμπεραίνουμε πως η ροπή που αναπτύσσεται στο πηνίο είναι ανάλογη της έντασης του ρεύματος ενεργοποίησης. Η ταχύτητα της κίνησης ελέγχεται από την αποσβένουσα ενέργεια η οποία είναι ανάλογη της ροπής. Αυτό σημαίνει πως οι ηλεκτρονόμοι αυτού του τύπου παρουσιάζουν μια χαρακτηριστική ανάστροφου χρόνου που παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.2-2



Σχήμα 5.2-2 : Χαρακτηριστική αντίστροφου χρόνου

5.2.3 Επαγωγικοί ηλεκτρονόμοι

Ένας επαγωγικός ηλεκτρονόμος λειτουργεί αποκλειστικά με εναλλασσόμενο ρεύμα. Αποτελείται από ένα ηλεκτρομαγνητικό σύστημα που χειρίζεται έναν κινούμενο αγωγό κυρίως υπό τη μορφή δίσκου ή κυπέλου (cup). Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην αλληλεπίδραση δυο ηλεκτρομαγνητικών πεδίων με τα παρασιτικά ρεύματα Foucault τα οποία αναπτύσσονται εξ επαγωγής στο ρότορα. Αυτά τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, τα οποία από κοινού μετατοπίζονται κατά θέση και γωνία, παράγουν τη ροπή στρέψης, η οποία εκφράζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$T = K_1 \Phi_1 \Phi_2 \sin\theta$$

Εξίσωση 5.2.3-1

Όπου,

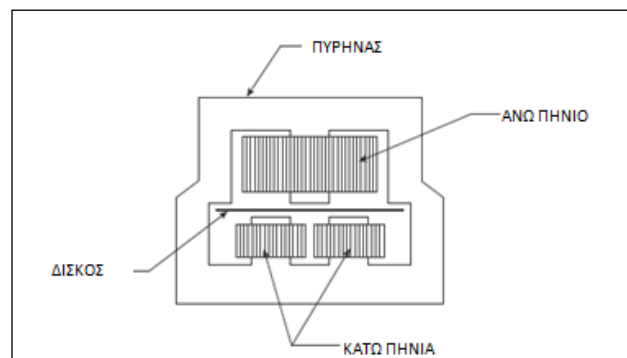
Φ_1, Φ_2 = οι αλληλεπιδρούμενες μαγνητικές ροές

θ = η διαφορά φάσης μεταξύ των δυο μαγνητικών ροών

Σημαντική παρατήρηση αποτελεί πως η ροπή λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της όταν τα δυο ηλεκτρομαγνητικά πεδία παρουσιάζουν διαφορά φάσης 90° και μηδενίζεται όταν είναι συμφασικά.

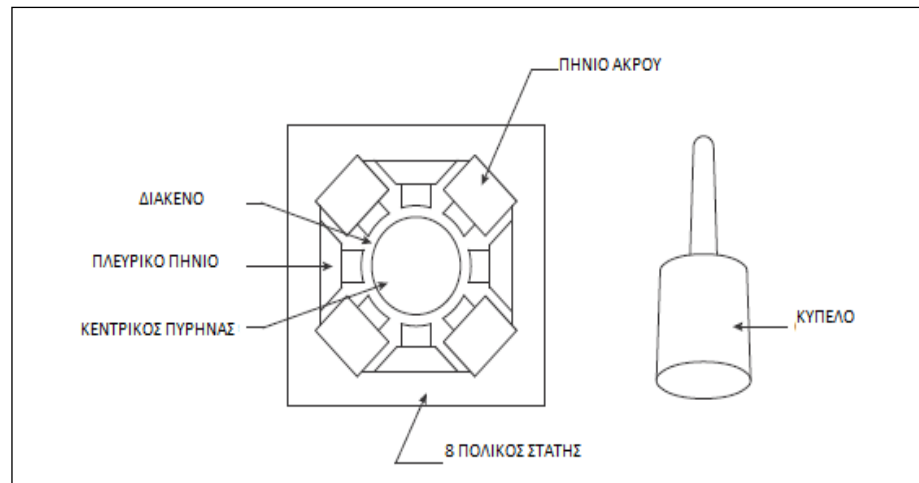
Γενικά, για οι επαγωγικοί ηλεκτρονόμοι που φέρουν δίσκο, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται χρονοκαθυστέρηση, ενώ αυτοί που φέρουν κύπελλο τοποθετούνται σε σημεία όπου απαιτούνται ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες.

Εικόνες για επαγωγικούς ηλεκτρονόμους:



Σχήμα 10 : Επαγωγικός Ηλεκτρονόμος

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]



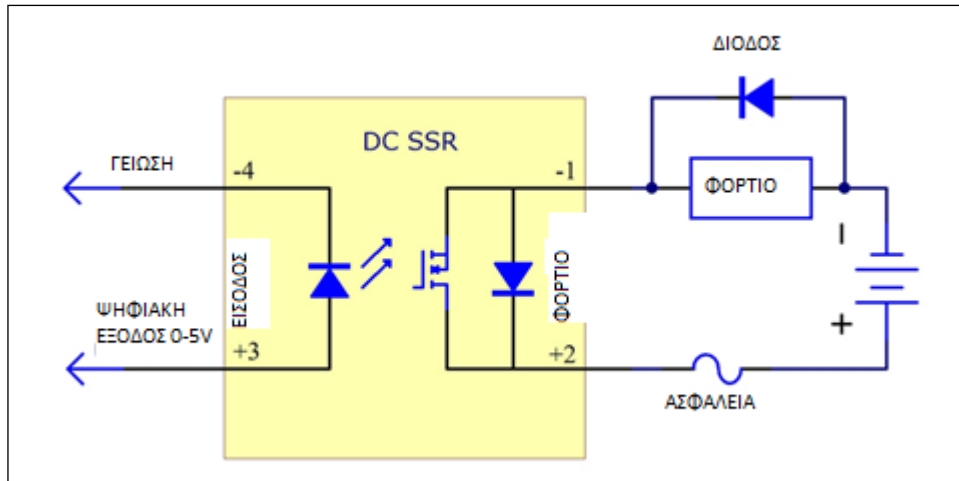
Σχήμα 11 : Αναλυτικό διάγραμμα επαγωγικού ηλεκτρονόμου

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

5.3 Ηλεκτρονόμοι σταθερής κατάστασης

Ο ηλεκτρονόμος σταθερής κατάστασης (Solid State Relay) είναι μια ηλεκτρονική διακοπτική συσκευή στην οποία ένα ασθενές σήμα μπορεί να ελέγξει ένα ισχυρότερο, παραδείγματος χάρη ένα φορτίο. Αποτελείται από ένα αισθητήριο που σκανδαλίζεται από ένα κατάλληλο εισερχόμενο σήμα ελέγχου, το οποίο με τη σειρά του θέτει σε λειτουργία τον SSR, χωρίς την κίνηση μηχανικών μερών. Ο συγκεκριμένος ηλεκτρονόμος μπορεί να οδηγεί είτε εναλλασσόμενη είτε συνεχή τάση στο φορτίο που είναι προκαθορισμένο να ελέγχει.

Το σήμα ελέγχου πρέπει να έρθει σε ζεύξη με το ελεγχόμενο κύκλωμα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η απομόνωση των δυο κυκλωμάτων. Για αυτό το λόγο πολλοί SSR χρησιμοποιούν οπτικό ζεύκτη. Πιο αναλυτικά, το ασθενές σήμα ελέγχου ενεργοποιεί μια φωτοδίοδο (LED) η οποία φωτοβολεί και ενεργοποιεί με τη σειρά της μια φωτο-ευαίσθητη δίοδο (photo-voltaic) η οποία σκανδαλίζει τελικά το ηλεκτρονικό ισχύος (Thyristor, MOSFET) που διαθέτει ο ηλεκτρονόμος σταθερής κατάστασης για να οδηγεί το φορτίο που είναι διασυνδεδεμένο στα άκρα του. Τέλος, η αρχή της διακοπτικής του λειτουργίας του βασίζεται σε αυτή του MOSFET ή του TRIAC αναλόγως τον κατασκευαστή.



Σχήμα 12 : Κύκλωμα Ηλεκτρονόμου Solid State

[http://www.phidgets.com/docs/Solid_State_Relay_Primer]



Εικόνα 25 : Ηλεκτρονόμος Σταθερής Κατάστασης

[<http://www.aliexpress.com/popular/solid-state-contactor.html>]

5.3.1 Πλεονεκτήματα ηλεκτρονόμων σταθερής κατάστασης

- i. Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του ηλεκτρονόμου σταθερής κατάστασης έναντι στους ηλεκτρομαγνητικούς ηλεκτρονόμους, είναι, ότι λόγω των υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένος, διακόπτει το ρεύμα του φορτίου αποκλειστικά και μόνο όταν αυτό έχει μηδενίσει. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό έχει σαν ιδιότητα την αποφυγή τόξων και συνθηκών σφάλματος κατά την απόζευξη του φορτίου, με αποτέλεσμα την καταλληλότητά τους σε περιβάλλοντα αντιαεκρηκτικού χαρακτήρα.
- ii. Οι ηλεκτρονόμοι σταθερής κατάστασης είναι σημαντικά ταχύτεροι από τους ηλεκτρομηχανολογικούς, διότι η ταχύτητα απόκρισής τους εξαρτάται αποκλειστικά

από το χρόνο που απαιτείται από μια μία φωτοδίοδο να ενεργοποιηθεί και να απενεργοποιηθεί, άρα της τάξεως από μsec έως msec .

- iii. Αυξημένη διάρκεια ζωής, ιδιαίτερα σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλος αριθμός ενεργοποιήσεων στη μονάδα του χρόνου, μιας και δεν διαθέτουν κινούμενα μέρη ώστε να φθαρούν.
- iv. Εντελώς σιωπηλή λειτουργία χωρίς την πιθανότητα αναπήδησης.
- v. Σημαντικά μικρότερο μέγεθος αναλογικά με έναν ηλεκτρομηχανολογικό ηλεκτρονόμο και δυνατότητα λειτουργίας σε επιβεβαυμένα περιβάλλοντα.

5.3.2 Μειονεκτήματα ηλεκτρονόμων σταθερής κατάστασης

- i. Δημιουργία συνιστωσών παραμόρφωσης κατά την ενεργοποίηση.
- ii. Αδυναμία πλήρους απομόνωσης (άπειρη ωμική αντίσταση) κατά την «ανοικτή» κατάσταση.
- iii. Πιθανότητα μετάβασης σε κατάσταση μόνιμης αγωγής έπειτα από σφάλμα υπερέντασης.
- iv. Πιθανότητα σκανδαλισμού από ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο, λόγω της ευαισθησίας που χαρακτηρίζει το κύκλωμα σκανδαλισμού του.

5.4 Ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι

Η αρχή λειτουργίας των ψηφιακών ηλεκτρονόμων βασίζεται στη δειγματοληψία των εισόδων και τον έλεγχο των εξόδων ώστε να προστατεύουν ή να ελέγχουν το επιτηρούμενο σύστημα. Πιο αναλυτικά, το ρεύμα και η τάση του Σ.Η.Ε. δεν επιτηρείται σε μόνιμη βάση, αλλά συλλέγεται ένα δείγμα περιοδικά. Έπειτα την απόκτηση των εισερχόμενων κυματομορφών, πραγματοποιούνται υπολογισμοί ώστε να μετατρέψουν τα στοιχειώδη δείγματα σε

πραγματική τιμή μέσω ενός προπαραμετροποιημένου αλγορίθμου. Με το σχηματισμό της οριστικής τιμής, διεξάγεται μια σύγκριση με μια τιμή αναφοράς που έχει προκαθοριστεί για το σύστημα. Το προϊόν της σύγκρισης είναι μια απόφαση που θα ενεργοποιήσει ή όχι τον ψηφιακό ηλεκτρονόμο με σκοπό πάντα την προστασία του Σ.Η.Ε. Ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο αλγόριθμο, το σχεδιασμό του Σ.Η.Ε και τις απαιτήσεις προστασίας του, η οριστική τιμή μπορεί να υπολογίζεται πολλαπλές φορές εντός ενός δειγματοληπτικού κύκλου ή εφάπαξ και να χρησιμοποιείται σε πολλαπλούς κύκλους. Συμπερασματικά, η αρχή λειτουργίας των ψηφιακών ηλεκτρονόμων προσεγγίζει αυτή των μικροελεγκτών. Για αυτό το λόγο διαθέτουν προγραμματιζόμενες φυσικές εισόδους και εξόδους, εκτεταμένα χαρακτηριστικά επικοινωνίας με άλλες συσκευές αλλά και οθόνες αλληλεπίδρασης με τον άνθρωπο (HMI).

5.4.1 Χαρακτηριστικά ψηφιακών ηλεκτρονόμων

Οι ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι είναι τεχνικά ανώτεροι από τους προαναφερθέντες συμβατικούς τύπους ηλεκτρονόμων. Τα γενικά τους χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

- i. Αξιοπιστία: ελαχιστοποίηση πιθανοτήτων λανθασμένων χειρισμών.
- ii. Δυνατότητα αυτό-διάγνωσης: Οι ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι έχουν την ικανότητα να διεξάγουν ελέγχους ορθής λειτουργίας στην καθαυτό λειτουργία τους. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση προγραμματιστικού μετρητή χρόνου ο οποίος επιτηρεί την ομαλή λειτουργία του επεξεργαστή του ψηφιακού ηλεκτρονόμου (WatchDog Timer). Σε περιπτώσεις που ο επιτηρητής ανιχνεύσει μη κανονική λειτουργία, ενεργοποιούνται τα παραμετροποιημένα σενάρια για τη συγκεκριμένη περίπτωση του ηλεκτρονόμου.
- iii. Καταγραφή συμβάντων: Οι συγκεκριμένοι ηλεκτρονόμοι μπορούν να παράγουν αρχείο συμβάντων, όπου υπάρχει η καταγραφή κάθε φοράς που ενεργοποιήθηκε ο εξοπλισμός προστασίας ή ακόμη την αποτυχία κάποιου υλικού του ηλεκτρονόμου όπως και την κατάσταση των σημάτων εισόδου. Τέλος, συλλέγουν και αποθηκεύουν όλους τους συναγερούς που εκδηλώθηκαν.

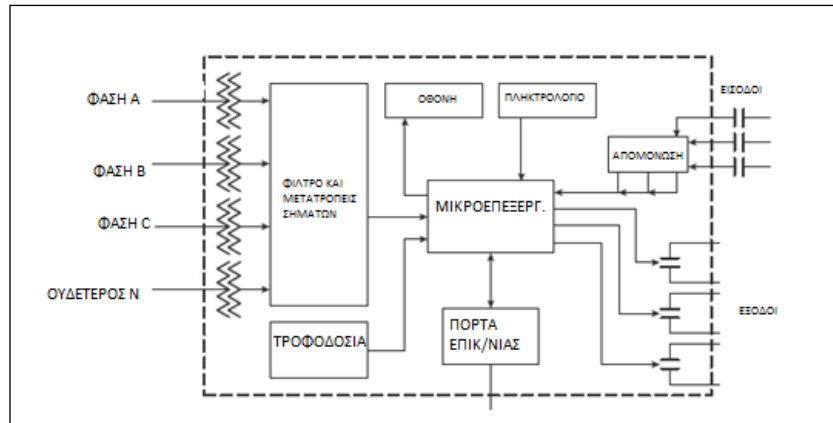
- iv. **Ενοποίηση των ψηφιακών συστημάτων (Integration of Digital Systems):** η υπάρχουσα τεχνολογία περιλαμβάνει πολλές ενέργειες που μπορούν να διεξαχθούν σε έναν υποσταθμό, όπως επικοινωνίες διαφόρων συσκευών, μετρήσεις και έλεγχος. Όλες αυτές οι λειτουργίες μπορούν να συγχωνευτούν σε μια ενιαία ψηφιακή βαθμίδα ώστε ο υποσταθμός να είναι ταχύτερα και πιο αξιόπιστα λειτουργικός. Παραδείγματος χάρη, σήμερα η έννοια των οπτικών ινών έχει εισχωρήσει ραγδαία στα δίκτυα επικοινωνίας των συσκευών που απαρτίζουν έναν υποσταθμό καταλύοντας τα προβλήματα ηλεκτρομαγνητικού θορύβου και παρεμβολών που χαρακτηρίζουν τους μεταλλικούς αγωγούς.

5.4.2 Προσαρμοστική προστασία με τη βοήθεια ψηφιακών ηλεκτρονόμων

Με τον προγραμματισμό και την ικανότητα επικοινωνίας των ψηφιακών συστημάτων, οι ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι μπορούν να παρέχουν προστασία προσαρμοσμένη στις επιταγές του εκάστοτε συστήματος. Αυτό το χαρακτηριστικό δίνει τη δυνατότητα στον ψηφιακό ηλεκτρονόμο να παραμετροποιηθεί ανάλογα με τις ισχύουσες κάθε χρονική στιγμή συνθήκες λειτουργίας του Σ.Η.Ε., ώστε η λειτουργία του να απεικονίζει όσο το δυνατόν πλησιέστερα τις πραγματικές συνθήκες σφάλματος. Οι αλγόριθμοι που υφίστανται πίσω από τους ψηφιακούς ηλεκτρονόμους είναι γραμμένοι συνήθως σε χαμηλού επιπέδου γλώσσες προγραμματισμού ώστε να διασφαλίζεται η ταχύτερη ανταπόκριση των επεξεργαστών τους, έναντι στις γλώσσες υψηλού επιπέδου όπως Fortran και Pascal όπου απαιτείται η μετάφραση του προγράμματος σε γλώσσα μηχανής.

5.4.3 Τυπική αρχιτεκτονική ψηφιακών ηλεκτρονόμων

Οι ψηφιακοί ηλεκτρονόμοι αποτελούνται από διακριτές μονάδες που εκτελούν σαφώς διαφορετικές λειτουργίες. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το μπλοκ διάγραμμα για ψηφιακούς ηλεκτρονόμους με τη χρήση τυποποιημένων μονάδων.



Σχήμα 13 : Αρχιτεκτονική Ψηφιακών Ηλεκτρονόμενων

[Vladimir Gurevich, “Digital Protective Relays”, CRC Press, 2010]

Οι βασικές μονάδες είναι οι εξής:

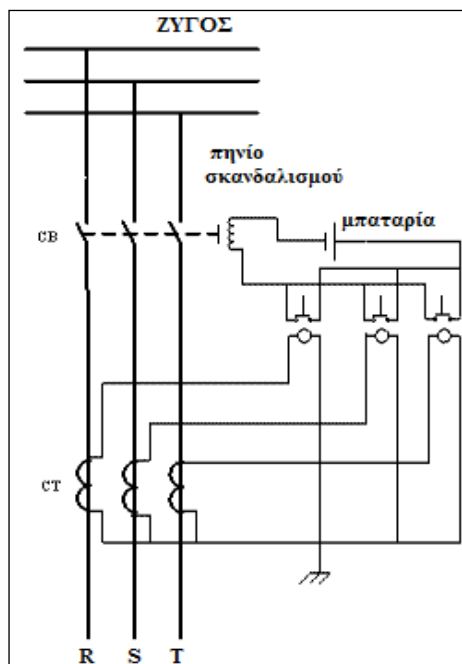
- i. **Μικροεπεξεργαστής:** υπεύθυνος για την κατεργασία των αλγορίθμων προστασίας. Περιλαμβάνει τη μονάδα μνήμης η οποία με τη σειρά της αποτελείται από δυο ειδών μνήμες, RAM και ROM. Όπως σε όλα τα υπολογιστικά συστήματα, η μνήμη RAM (μνήμη τυχαίας προσπέλασης) χρησιμοποιείται για τη διατήρηση των εισερχομένων δεδομένων που οδηγούνται στον επεξεργαστή όπως και για την σύνταξη και μετάφραση του αλγόριθμου προστασίας. Από την άλλη μεριά, η μνήμη ROM (μνήμη αποκλειστικά ανάγνωσης) χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του αλγορίθμου.
- ii. **Μονάδα εισόδων:** Τα αναλογικά σήματα από τις μετρήσεις που γίνονται στα διάφορα σημεία του υποσταθμού, συλλέγονται και κατευθύνονται προς τον μικροεπεξεργαστή αφού περάσουν από ορισμένα στάδια. Αρχικά, υπάρχουν αναλογικά φίλτρα τα οποία είναι ενεργά χαμηλοπερατά φίλτρα που εξαλείφουν οποιοδήποτε θόρυβο έχει επαχθεί στη γραμμή του σήματος. Έπειτα, υφίσταται η μονάδα εξομάλυνσης του σήματος, η οποία μετατρέπει το σήμα του μετασχηματιστή έντασης (CT) σε τυπικό σήμα συνεχούς ρεύματος. Τέλος, υπάρχει ένας μετατροπέας αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά που μετατρέπει το τυπικό συνεχές ρεύμα σε δυαδικό αριθμό ο οποίος μπορεί να αποσταλεί στον μικροεπεξεργαστή.
- iii. **Μονάδα εξόδων:** Καθορίζει την απόκριση των σημάτων εξόδου του επεξεργαστή και τα οδηγεί στα εξωτερικά στοιχεία που αυτά ελέγχουν. Ουσιαστικά πρόκειται για μια παλμογεννήτρια.

5.5 Ηλεκτρονόμοι υπερέντασης

Οι ηλεκτρονόμοι πέρα από το διαχωρισμό τους ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους αλλά και την αρχή λειτουργίας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και ανάλογα με το είδος της προστασίας που παρέχουν σε ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Κατά αυτό τον τρόπο, η αρχή λειτουργίας των ηλεκτρονόμων υπερέντασης έχει ως εξής :

Το ονομαστικό ρεύμα ενός ηλεκτρονόμου υπερέντασης αποτελεί μια σταθερή ή ρυθμίσιμη παράμετρο. Οι επαφές του ηλεκτρονόμου κλείνουν ηλεκτρικά μέχρι τη δημιουργία ενός σφάλματος κατά το οποίο ενεργοποιείται το διακοπτικό στοιχείο του ηλεκτρονόμου (Circuit Breaker). Η ανίχνευση του σφάλματος επιτυγχάνεται από μετρητικό μετασχηματιστή έντασης (Current Transformer), το δευτερεύον τύλιγμα του οποίου είναι συνδεδεμένο με τον μικροεπεξεργαστή του ηλεκτρονόμου, ο οποίος με τη σειρά του εκτελεί σύγκριση μεταξύ της τρέχουσας τιμής και του αρχικά ορισμένου μεγέθους του επιτρεπτού ρεύματος.



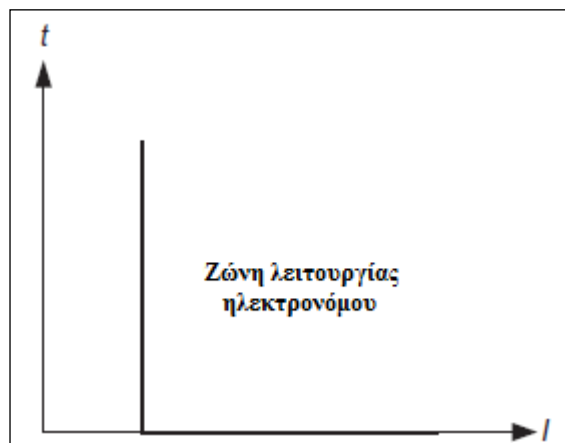
Σχήμα 14 : Λειτουργικό κύκλωμα ηλεκτρονόμου υπερέντασης

[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

Υπάρχουν τρεις τύποι ηλεκτρονόμων υπερέντασης σύμφωνα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες $f(I)=t$ τους. Έτσι έχουμε:

- **Ηλεκτρονόμοι προστασίας ορισμένου ρεύματος**

Στους συγκεκριμένους ηλεκτρονόμους, όταν η τιμή της έντασης του ρεύματος υπερβεί την τιμή που είχε αρχικά οριστεί ως κατώφλι, το διακοπτικό στοιχείο του ηλεκτρονόμου δρα ακαριαία όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Σχήμα 15 : Διαγραμματική απεικόνιση λειτουργίας H/N ορισμένου ρεύματος

Το επιθυμητό όριο του ρεύματος ρυθμίζεται ανάλογα με το σημείο του δικτύου που έχει τοποθετηθεί ο ηλεκτρονόμος. Για παράδειγμα, εάν ο ηλεκτρονόμος προστασίας έχει τοποθετηθεί στο τέλος μιας γραμμής μεταφοράς, η ρύθμιση του ρεύματος θα είναι σε χαμηλότερη τιμή συγκριτικά με το αν βρίσκεται στην αρχή της γραμμής. Αυτό οφείλεται στη σύνθετη αντίσταση που παρουσιάζει η γραμμή ανάντι και κατάντι. Το συγκεκριμένο είδος ηλεκτρονόμου προσφέρει χαμηλή ευαισθησία οπότε χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος που προστατεύει είναι μεγάλη, ώστε να μην ενεργοποιείται άσκοπα ο ηλεκτρονόμος υπερέντασης.

- **Ηλεκτρονόμοι προστασίας ορισμένου χρόνου**

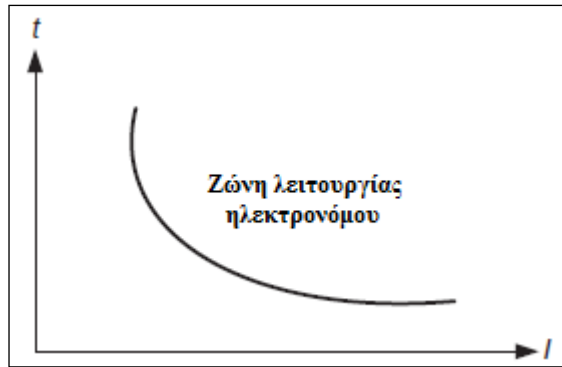
Οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης του συγκεκριμένου είδους διαθέτουν ως δεύτερη ρυθμιστική παράμετρο ένα εύρος χρόνου που είναι επιτρεπτή η μη ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου για ρεύμα μεγαλύτερο του ονομαστικού. Οι συγκεκριμένοι ηλεκτρονόμοι χρησιμοποιούνται σε σημεία του δικτύου όπου επιθυμείται η απομόνωση του σφάλματος. Πιο συγκεκριμένα, κατάμιτι μιας γραμμής, ο ηλεκτρονόμος πρέπει να δράσει σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα από ότι κατάντι της γραμμής. Συνήθως οι ηλεκτρονόμοι με την εκούσια χρονική καθυστέρηση δε χρησιμοποιούνται κοντά σε πηγές του δικτύου, διότι λόγω της χρονικής καθυστέρησης της ενεργοποίησής τους, μπορεί ένα σφαλματικό ρεύμα να μεγιστοποιηθεί λόγω της εγγύτητάς του με την πηγή.



Σχήμα 16: Διαγραμματική απεικόνιση λειτουργίας H/N ορισμένου χρόνου

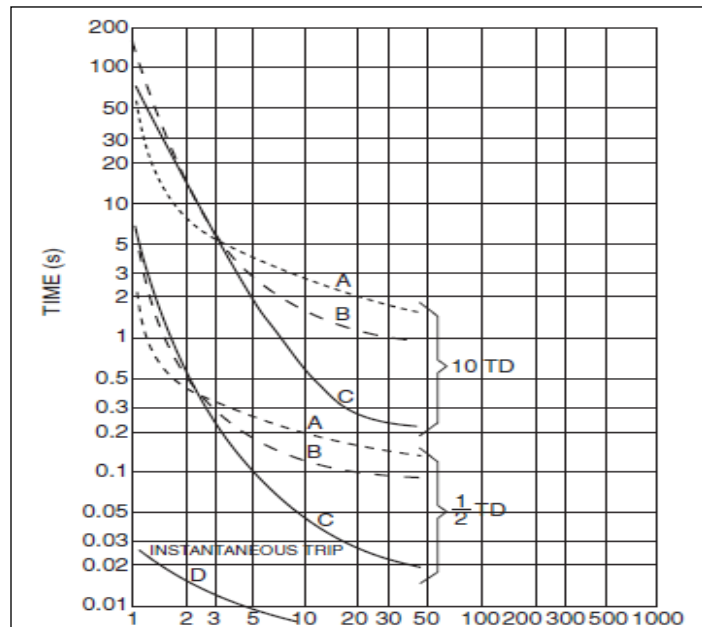
- **Ηλεκτρονόμοι προστασίας αντίστροφου χρόνου**

Οι συγκεκριμένοι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης δρουν ταχύτερα όσο η τρέχουσα τιμή του ρεύματος παίρνει τιμές μεγαλύτερες του ονομαστικού – επιτρεπτού.



Σχήμα 17 : Διαγραμματική απεικόνιση λειτουργίας H/N αντίστροφου χρόνου

Υπάρχουν ηλεκτρονόμοι αντίστροφου χρόνου με διάφορες αποκρίσεις μεταξύ ρεύματος και χρόνου όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 18 : Αποκρίσεις H/N συναρτήσει ρεύματος και χρόνου

Ο χρόνος απόκρισης τόσο των ηλεκτρονόμων υπερέντασης ορισμένου χρόνου, τόσο και των ηλεκτρονόμων υπερέντασης ανάστροφου χρόνου πρέπει να ρυθμιστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε ο ηλεκτρονόμος που βρίσκεται πιο κοντά στο σημείο του σφάλματος να ενεργοποιηθεί γρηγορότερα από κάποιον άλλο. Αυτό ονομάζεται ταξινόμηση του χρόνου απόκρισης (time grading). Η επιτυχής ενεργοποίηση δυο ηλεκτρονόμων στο ίδιο σημείο σφάλματος ονομάζεται διάκριση χρόνου και η χρονικές διαφορές είναι της τάξεως των 0,25 – 0,40 sec για τους ηλεκτρομαγνητικούς και στατικούς ηλεκτρονόμους και 0,20 sec για τους ψηφιακούς.

- **Ηλεκτρονόμοι αναχαίτισης τάσης**

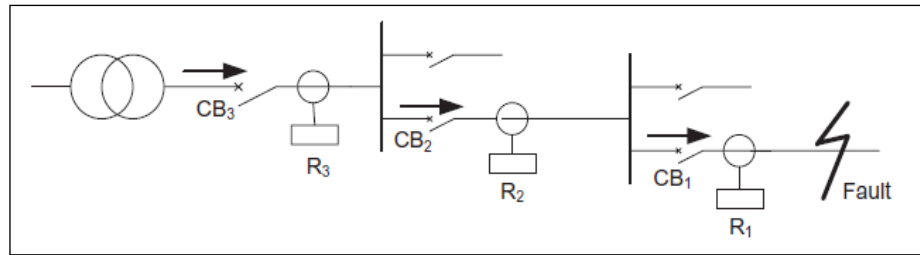
Η δράση των συγκεκριμένων ηλεκτρονόμων υπερέντασης συσχετίζεται άμεσα με την τιμή της τάσης του κυκλώματος. Ειδικότερα, κατά την επίδραση ενός σφάλματος, παρατηρείται μια πτώση της τάσης σε συνδυασμό με τη μείωση του ρεύματος, πράγμα που μπορεί να συμβεί σε απομονωμένες γεννήτριες για παράδειγμα. Σε αυτή την περίπτωση, ορίζεται το κατώφλι της τιμής του ρεύματος, κάτω από την οποία δραστηριοποιείται ο ηλεκτρονόμος, εφόσον και τιμή της τάσης έχει μειωθεί από το επιτρεπτό εύρος. Τέτοιου είδους ηλεκτρονόμοι δύσκολα συνεργάζονται με άλλους ηλεκτρονόμους υπερέντασης, διότι παρουσιάζουν μια αδράνεια στην υπερένταση, εφόσον από την αρχή λειτουργίας τους απαιτείται και η μείωση της τάσης προκειμένου να ενεργοποιηθούν.

5.6 Συντονισμός σκανδαλισμού ηλεκτρονόμων υπερέντασης (Coordination)

Ο συντονισμός των ηλεκτρονόμων υπερέντασης έγκειται στην απομόνωση του τομέα του δικτύου που τελεί υπό σφάλμα το συντομότερο δυνατό, αφήνοντας ανέπαφο το υπόλοιπο του δικτύου. Οι διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους βελτιστοποιείται ο συντονισμός των ηλεκτρονόμων αυτής της κατηγορίας παρουσιάζεται παρακάτω. Αυτοί μπορούν να είναι :

- **Συντονισμός βάσει του χρόνου**

οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης στα διάφορα σημεία του δικτύου χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς χρόνους καθυστέρησης απόκρισης. Όσο πιο κοντά στην πηγή βρίσκεται ο ηλεκτρονόμος, τόσο πιο μεγάλη απαιτείται να είναι η χρονοκαθυστέρησή του. Όπως παρουσιάζεται και στην παρακάτω εικόνα, το σφάλμα εντοπίζεται διαδοχικά από τις μονάδες προστασίας R_1 , R_2 και R_3 . Αυτό σημαίνει πως ο ηλεκτρονόμος R_1 δρα γρηγορότερα από τον ηλεκτρονόμο R_2 , ο οποίος με τη σειρά του δρα γρηγορότερα από τον ηλεκτρονόμο R_3 . Όταν το διακοπτικό στοιχείο CB_1 , το οποίο σχετίζεται με τον ηλεκτρονόμο R_1 , ενεργοποιηθεί και ανοίξει ηλεκτρικά τις επαφές του και έπειτα αρθεί το σφάλμα, οι μονάδες προστασίας R_2 και R_3 επιστρέφουν σε κατάσταση αναμονής.



Σχήμα 19: Ανίχνευση σφάλματος από τρεις διατάξεις προστασίας

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

Η διαφορά χρόνου (Δt) μεταξύ δυο πετυχημένων δράσεων μονάδων προστασίας ονομάζεται διάστημα συντονισμού (coordination interval) και υπολογίζεται ως εξής :

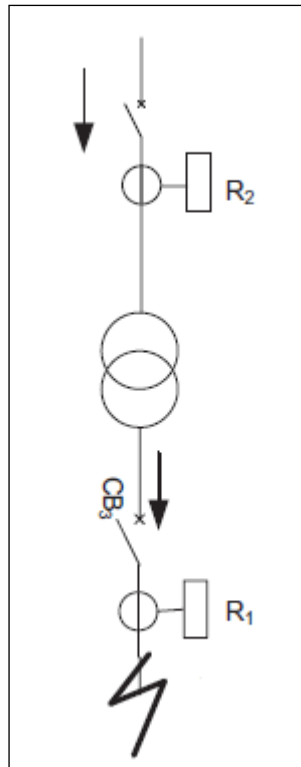
$$\Delta t = t_c + t_r + 2Dt + m$$

- Όπου t_c είναι το διάστημα χρόνου που απαιτείται για τη διακοπτική δράση κατάντι του διακόπτη ισχύος (CB) και αποτελείται από το χρόνο αντίδρασης του διακόπτη ισχύος και το χρόνο δημιουργίας τόξου κατά τη διακοπή.
- Όπου Dt είναι η ανοχή χρόνου.
- Όπου t_r είναι ο χρόνος αδράνειας επαναφοράς (overshoot time) του συστήματος ανάντι της μονάδας προστασίας.
- Όπου m είναι ένα χρονικό πλαίσιο ασφαλείας. Οι τιμές που λαμβάνει ο συγκεκριμένος χρόνος είναι τέτοιες ώστε να αποφεύγεται η απώλεια του συντονισμού (coordination) λόγω διαφόρων παραμέτρων. Τέτοιες μπορούν να είναι το χρονικό διάστημα της διακοπτικής δράσης, ο χρόνος αδράνειας κατά την επαναφορά του ηλεκτρονόμου (ο χρόνος αδράνειας θεωρείται αμελητέος για ψηφιακούς ηλεκτρονόμους), διάφορα σφάλματα που μπορεί να είναι ενεργά την συγκεκριμένη χρονική στιγμή, σφάλματα σε μετασχηματιστές έντασης αλλά και απόκλιση από τις χαρακτηριστικές καμπύλες λειτουργίας των ηλεκτρονόμων. Μια τυπική τιμή του χρονικού πλαισίου ασφαλείας είναι 110ms για διάστημα συντονισμού τα 0.3s.

Αυτού του είδους, ο συντονισμός έχει πλεονεκτήματα την απλότητα του σχεδιασμού και συνήθως εφαρμόζεται σε ακτινωτά μοντέλα δικτύων διανομής. Επίσης, ο συντονισμός βάσει του χρόνου προσφέρει αυτό-εφεδρία διότι σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, σε περίπτωση που αποτύχει ο ηλεκτρονόμος $R1$, ο ηλεκτρονόμος $R2$ ενεργοποιείται κατά χρονικό διάστημα Δt ύστερα.

- Συντονισμός βάσει της τιμής του ρεύματος

Αυτού του είδους ο συντονισμός βασίζεται στο αξίωμα ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του σφάλματος από την πηγή τόσο αποσβένεται το σφαλματικό ρεύμα που αναπτύσσεται στο κύκλωμα. Ο ηλεκτρονόμος τοποθετείται στο εναρκτήριο σημείο του εκάστοτε τομέα. Η παράμετρος - κατώφλι του ρεύματος που θα σημάνει την ενεργοποίηση του ηλεκτρονόμου τίθεται σε τιμή μικρότερη από το ελάχιστο ρεύμα βραχυκυκλώσεως που μπορεί να προκληθεί από ένα σφάλμα κατάντι της ζώνης προστασίας του ηλεκτρονόμου. Η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί προνομιούχα, σε περιπτώσεις που δυο γραμμές συνδέονται με μετασχηματιστή όπως απεικονίζεται παρακάτω. Αποτελεί απλό τρόπο, οικονομικό και με μηδαμινό χρόνο καθυστέρησης.



Σχήμα 20 : Γραμμικό διάγραμμα συντονισμού βάσει του ρεύματος

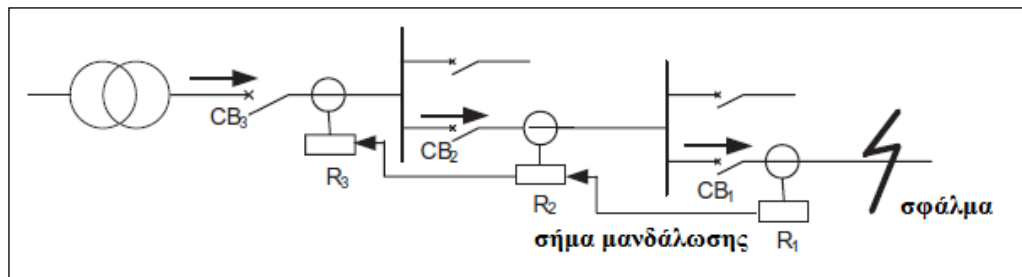
[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

Από την άλλη μεριά, ο συντονισμός βάσει του ρεύματος έχει και μειονεκτήματα όπως το γεγονός ότι η μονάδα προστασίας R_2 που βρίσκεται ανάντι του μετασχηματιστή δεν παρέχει εφεδρική προστασία σε περίπτωση που αποτύχει η μονάδα προστασίας R_1 . Ακόμη, πρακτικά σε δίκτυα Μέσης Τάσης, εκτός βέβαια σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν μετασχηματιστές, δεν υπάρχει αισθητή διαφορά στην τιμή του σφαλματικού ρεύματος ανάμεσα σε δυο κοντινούς τομείς, γεγονός που καθιστά αρκετά δύσκολο το συντονισμό και την παραμετροποίηση διαδοχικών ηλεκτρονόμων.

- **Λογικός συντονισμός**

Σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε για να επιλύσει τα αδιέξοδα τόσο του συντονισμού βάσει του χρόνου όσο και του συντονισμού βάσει του ρεύματος. Με αυτή τη μέθοδο, τα μεσοδιαστήματα μεταξύ δύο πετυχημένων ενεργοποιήσεων μονάδων προστασίας δεν είναι

απαραίτητο να υφίστανται. Επιπροσθέτως, η καθυστέρηση ενεργοποίησης του διακοπτικού στοιχείου που βρίσκεται πλησιέστερα στην πηγή μειώνεται συντριπτικά. Όταν συμβαίνει ένα σφάλμα σε ακτινωτής διάρθρωσης σύστημα, όπως φαίνεται στο σχήμα



Σχήμα 21: Αρχή λειτουργίας λογικού συντονισμού H/N υπερέντασης

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

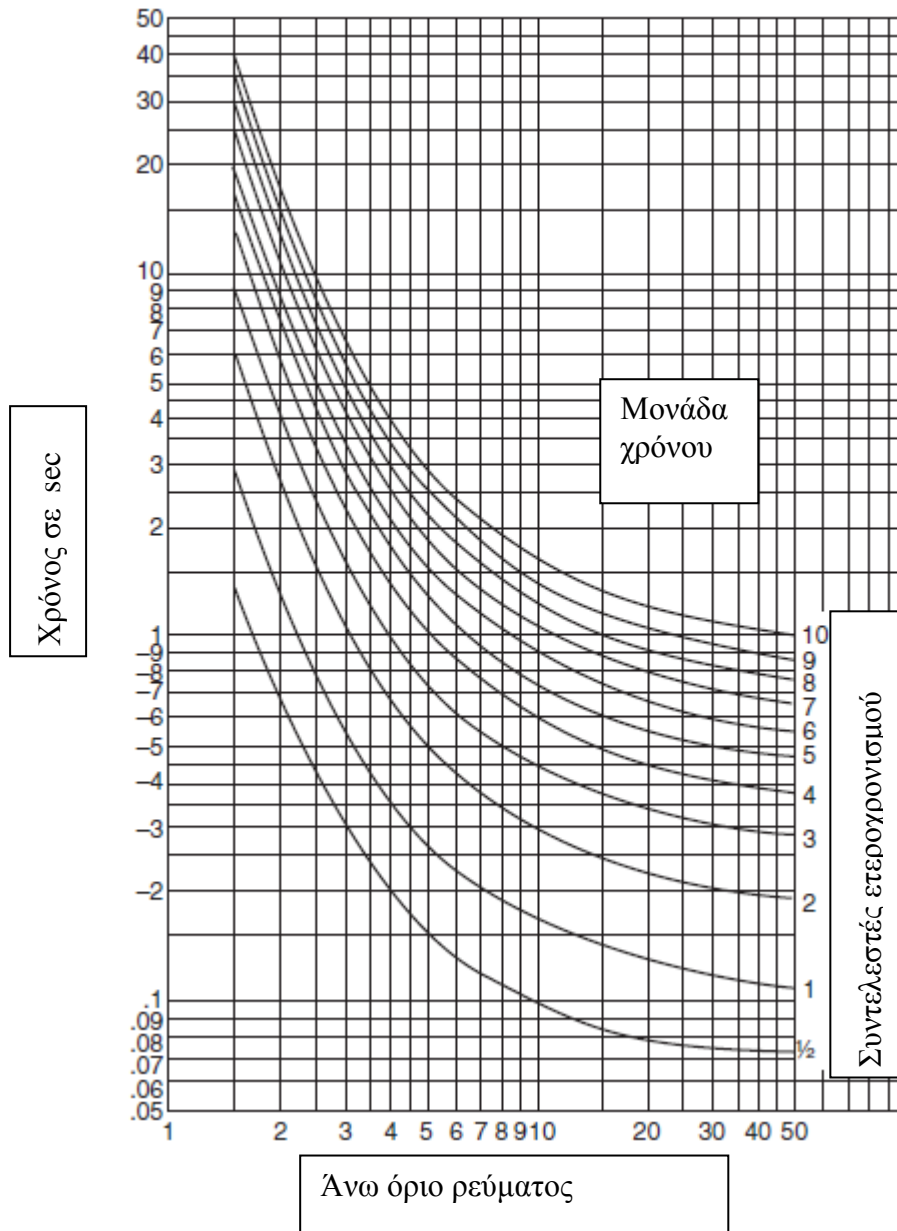
οι μονάδες προστασίας που βρίσκονται ανάντι από το σφάλμα (R_1, R_2, R_3) ενεργοποιούνται, ενώ εκείνες που θα βρίσκονταν ανάντι παραμένουν αδρανείς. Κάθε φορά που ενεργοποιείται και μια μονάδα προστασίας αποστέλλεται και ένα σήμα μανδάλωσης προς τη διαδοχική ανάντι μονάδα προστασίας προκειμένου να αυξηθεί ο χρόνος αντίδρασης του ηλεκτρονόμου. Όλη αυτή η διαδικασία έχει σαν σκοπό την απομόνωση αυστηρά του προβληματικού κλάδου. Μόνο το πλησιέστερο στο σφάλμα διακοπτικό στοιχείο ενεργοποιείται άμεσα αφού κατάντι του δεν υφίσταται άλλη μονάδα προστασίας ώστε να στείλει εντολή καθυστέρησης. Επομένως η μονάδα προστασίας R_1 εντέλει το διακοπτικό στοιχείο CB_1 και ταυτόχρονα αποστέλλει ένα σήμα χρονικής μανδάλωσης στην μονάδα προστασίας R_2 , η οποία με τη σειρά αναπαράγει το σήμα μανδάλωσης προς τη μονάδα προστασίας R_3 . Ο αρχικός σκανδαλισμός δίδεται από τη μονάδα προστασίας R_1 και προκαλείται μετά από χρόνο t_{R1} και η διάρκεια του σήματος μανδάλωσης ορίζεται ως το άθροισμα $t_{R1} + t_1$, όπου t_1 θεωρείται ως το άθροισμα χρόνου δράσης (άνοιγμα της ηλεκτρικής επαφής) και αποκατάστασης (σβέση του ηλεκτρικού τόξου που αναπτύσσεται) του διακοπτικού στοιχείου CB_1 . Κατά αυτό τον τρόπο, ένα το διακοπτικό στοιχείο CB_1 αποτύχει να ενεργοποιηθεί, η μονάδα προστασίας R_2 αναλαμβάνει δράση ως εφεδρεία μετά από χρονικό διάστημα $t_{R1} + t_1$. Εύλογο είναι το

συμπέρασμα πως όταν συμβεί ένα σφάλμα μεταξύ των διακοπτικών στοιχείων CB_1 και CB_2 , η μονάδα προστασίας R_2 ενεργοποιείται μετά από χρόνο t_{R2} .

Γενικότερα, για τη βελτιστοποίηση του λογικού συντονισμού απαιτείται επιπρόσθετη καλωδίωση για την εξασφάλιση μετάδοσης των σημάτων μανδάλωσης μεταξύ των μονάδων προστασίας. Για το λόγο αυτό, παρουσιάζεται μια υψηλή δυσκολία σε περιπτώσεις που τοπολογικά οι μονάδες προστασίας βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Συνήθης εφαρμογή απαντάται σε όμορες, επί του δικτύου, μονάδες προστασίας, ενώ στις περιπτώσεις της μεγαλύτερης απόστασης λύση δίνει ο συντονισμός βάσει του χρόνου μεταξύ των ζωνών προστασίας.

Καταληκτικά λοιπόν, η διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να γίνει επιτυχής διαλογή μιας μονάδας προστασίας, δηλαδή ενός ηλεκτρονόμου συγκριτικά με το σημείο τοποθέτησής του πηγάζει κυρίως από τις πληροφορίες που μεταφέρουν τα διαγράμματα χαρακτηριστικών καμπυλών των ηλεκτρονόμων.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές χρόνου – ρεύματος για ηλεκτρονόμους υπερέντασης ανάστροφου χρόνου. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από το συγκεκριμένο διάγραμμα είναι ο χρόνος επιτρεπόμενης διάρκειας του σφάλματος που καταλαμβάνει τον κάθετο άξονα και η επιτρεπτή διαφορά μεταξύ ρεύματος ομαλής λειτουργίας και του σφαλματικού. Τέλος, για διαφορετικούς ηλεκτρονόμους τοποθετημένους στο ίδιο δίκτυο, υπάρχουν διαφορετικές καμπύλες προκειμένου να επιτευχθεί η διαφορετική χρονική απόκριση για ουσιαστικά κοντινές τιμές σφαλματικού ρεύματος.



Σχήμα 22: Τυπικές χαρακτηριστικές χρόνου – ρεύματος για H/N υπερέντασης ανάστροφου χρόνου

5.7 Ηλεκτρονόμοι προστασίας μετασχηματιστών

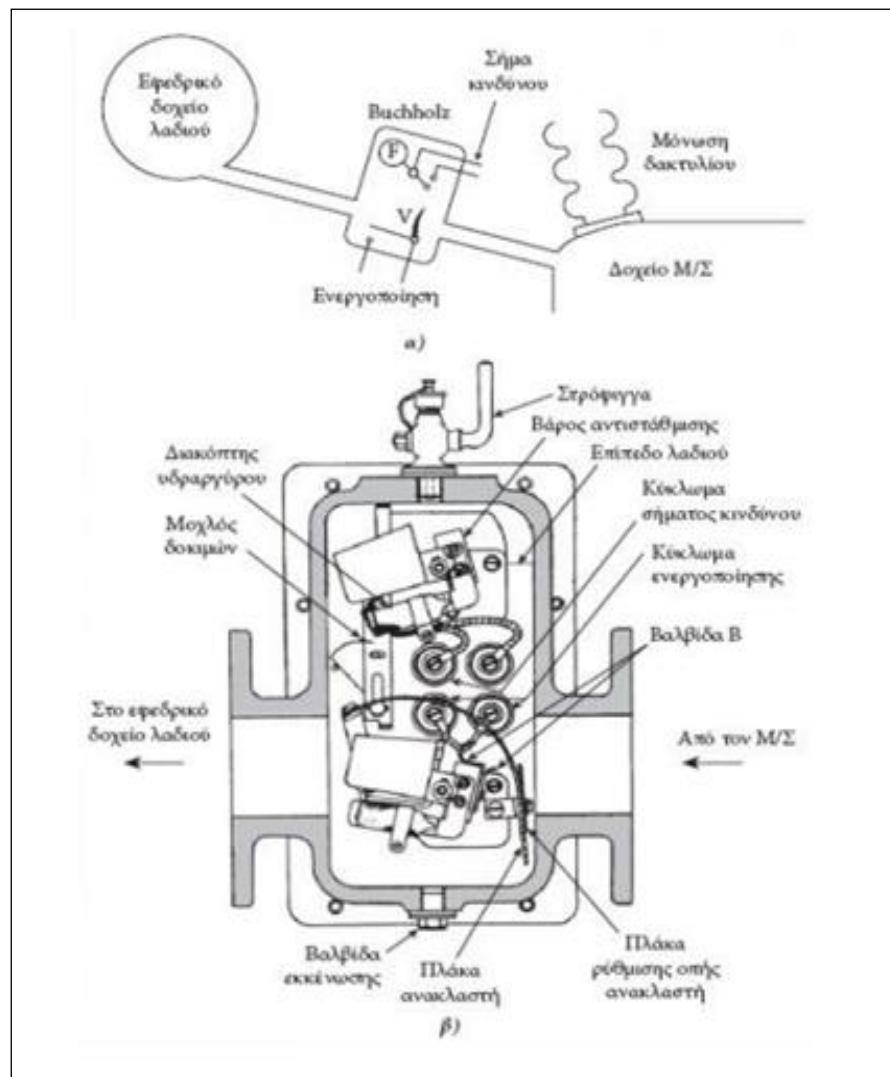
- **Ηλεκτρονόμοι αερίων**

Μικρή διάσπαση της μόνωσης του πυρήνα ή κακή σύνδεση δημιουργούν τοπική υπερθέρμανση, που στους 350°C προκαλεί διάσπαση του λαδιού σε εύφλεκτα αέρια, που συσσωρεύονται στο πάνω μέρος του μετασχηματιστή. Ο ηλεκτρονόμος Buchholz, που παρουσιάζεται στην Εικόνα θέτει σε λειτουργία ένα σήμα κινδύνου, όταν συσσωρευτεί ένα ορισμένο ποσό αερίων.

Μια ανάλυση αυτών των αερίων μπορεί να δείξει το είδος του βραχυκυκλώματος που τα προκάλεσε. Ο ηλεκτρονόμος Buchholz συνδέεται στο σωλήνα που οδηγεί στο δοχείο εφεδρικού λαδιού και ψύξης και ρυθμίζεται να ανακαλύπτει αέρια που παράγονται στο δοχείο του μετασχηματιστή. Ο σωλήνας αυτός σύνδεσης πρέπει να έχει μια μικρή κλίση για επιτευχθεί η αξιόπιστη λειτουργία. Καθώς το αέριο συγκεντρώνεται το επίπεδο λαδιού πέφτει και μαζί με αυτό μία φούσκα F, που κλείνει ένα διακόπτη υδραργύρου. Ο διακόπτης με τη σειρά του θέτει σε λειτουργία ένα σήμα κινδύνου. Στον ηλεκτρονόμο ανοιχτού δοχείου, που αποτελεί την μοντέρνα έκδοση του ηλεκτρονόμου Buchholz, καθώς το επίπεδο λαδιού πέφτει λόγω της συγκέντρωσης αερίου, το δοχείο παραμένει γεμάτο με λάδι και κλείνει τις επαφές. Αυτή η δύναμη είναι μεγαλύτερη από ότι στην περίπτωση της φούσκας και το κλείσιμο του διακόπτη πιο αξιόπιστο. Μέσω παραθύρων και μιας κλίμακας που υπάρχει σε αυτά μπορούμε να εξετάσουμε την ποσότητα των αερίων που συσσωρεύονται. Επίσης από μια στρόφιγγα μπορούμε να πάρουμε δείγμα από το αέριο και μέσω της ανάλυσής του να εξάγουμε συμπεράσματα για το αίτιο που το προκάλεσε.



Σχήμα 23: Ηλεκτρονόμος Buchholz



Σχήμα 24 : (α) Αρχικό διάγραμμα Η/Ν Buchholz, (β) Μοντέρνος Η/Ν Buchholz

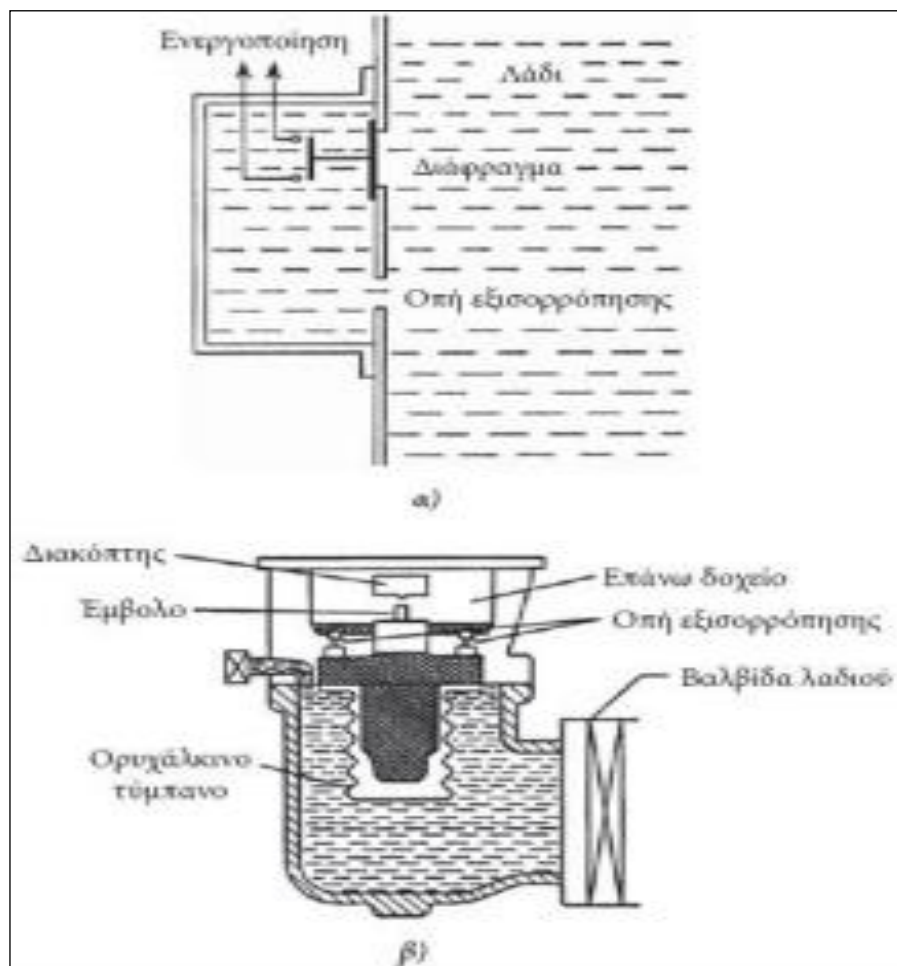
[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

- **Ηλεκτρονόμοι αιφνίδιας πίεσης**

Στους μετασχηματιστές που διαθέτουν στο άνω μέρος ένα στρώμα αερίου αντί για εφεδρικό δοχείο, αδυνατούμε να χρησιμοποιήσουμε τον ηλεκτρονόμο Buchholz. Για αυτό το λόγο γίνεται χρήση των ηλεκτρονόμων αιφνίδιας πίεσης. Οι τελευταίοι τοποθετούνται μέσα στη δεξαμενή λαδιού και λειτουργούν με το ρυθμό μεταβολής της πίεσης. Στο Σχήμα 3-15

παρουσιάζεται η αρχή λειτουργίας τους. Διαθέτουν ένα διάφραγμα πάνω στο οποίο ασκείται μια διαφορική πίεση λαδιού.

Μια μικρή οπή εξισώνει τις πιέσεις στις δυο πλευρές του διαφράγματος σε κανονικές συνθήκες και αναγκάζει τον ηλεκτρονόμο να αποκρίνεται στο ρυθμό μεταβολής της πίεσης και όχι στην ίδια την πίεση. Στο σύγχρονο ηλεκτρονόμο αιφνίδιας πίεσης, το διάφραγμα βρίσκεται σε ένα ορειχάλκινο τύμπανο γεμάτο με λάδι και το τύμπανο βρίσκεται με τη σειρά του μέσα στο λάδι του μετασχηματιστή. Κατά αυτό τον τρόπο, το διάφραγμα και ο διακόπτης βρίσκονται σε ένα συνθετικό λάδι που έχει επίπεδα χαρακτηριστικά ταχύτητας/θερμοκρασίας και παρέχει χαρακτηριστικά αντίστροφου χρόνου / αύξησης πίεσης, που εμποδίζουν τη λειτουργία όταν έχουμε μηχανικούς κραδασμούς.



Σχήμα 25 : (α) Αρχή λειτουργίας H/N αιφνίδιας πίεσης, (β) Σύγχρονος H/N αιφνίδιας πίεσης

[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

Βιβλιογραφία 5^ο Κεφαλαίου

- [1] L.G. Hewitson, Mark Brown, Ramesh Balakrishnan, “Power System Protection”, Elsevier, 2004.
- [2] Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.
- [3] René Peter Paul Smeets, “Handbook of Switchgears”, McGraw-Hill, 2007.

6^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

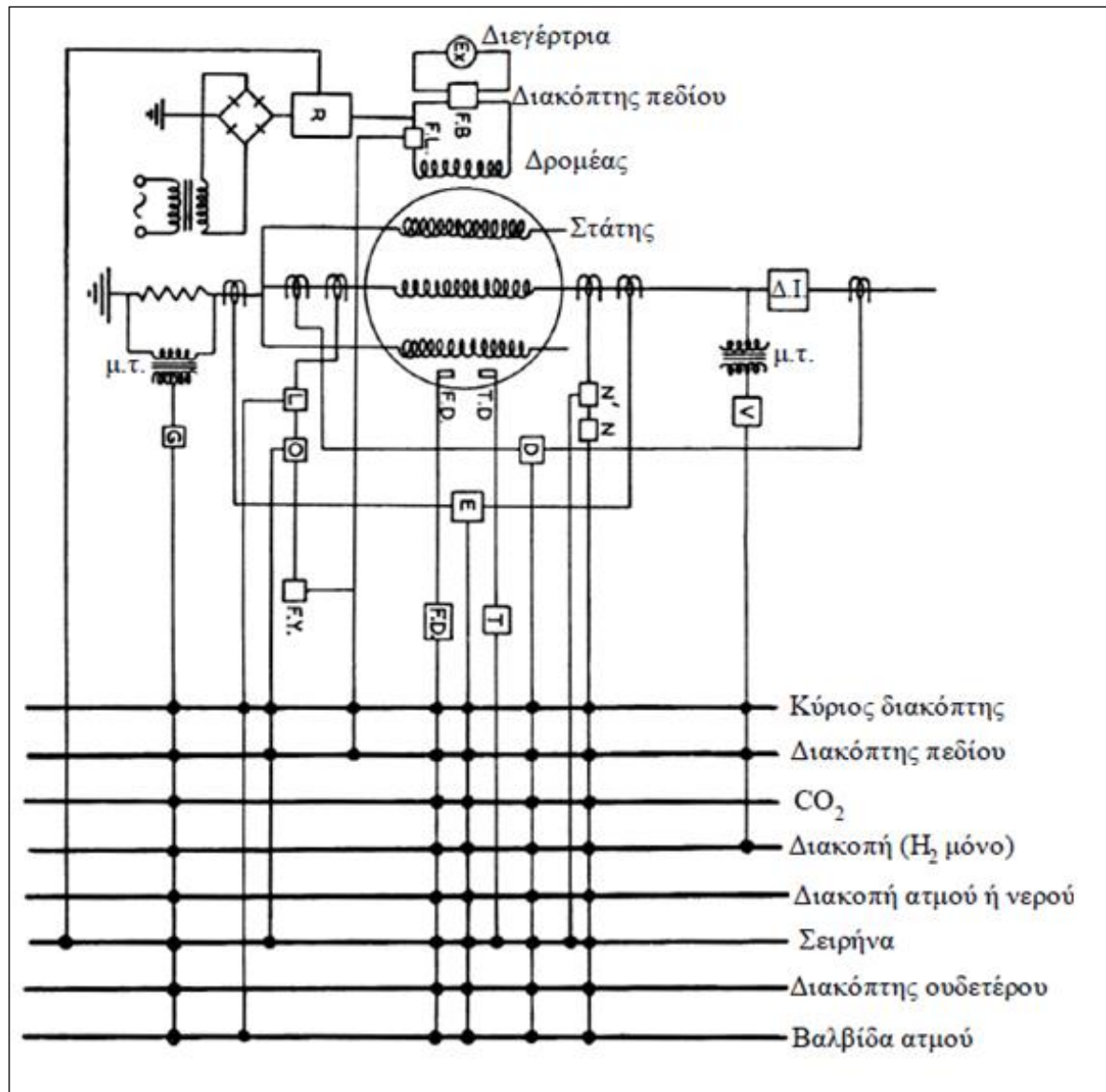
“ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ”

6.1 Προστασία γεννητριών

Οι γεννήτριες είναι οι πιο ακριβές συσκευές ενός ηλεκτρικού συστήματος και αντιμετωπίζουν πολύ συχνά κωλύματα σφαλμάτων. Η εκλογή του κατάλληλου συστήματος προστασίας είναι μεγάλης σημασίας διότι η ανεπιθύμητη λειτουργία αυτού επιφέρει σχεδόν όμοια αποτελέσματα με τη μη λειτουργία του. Απόδειξη του συγκεκριμένου γεγονότος είναι πως η μη αναγκαία αποσύνδεση μιας μεγάλης γεννήτριας επιφέρει αλληλουχιακά την υπερφόρτιση ή ακόμη και τον αποσυγχρονισμό και άλλων γεννητριών με αποτέλεσμα τη συνολική αποτυχία του δικτύου να ανταποκριθεί στη ζήτηση του φορτίου. Επιπροσθέτως, η μη κατάλληλη εκκαθάριση βραχυκυκλωμάτων δυνητικά οδηγεί σε σοβαρές ζημιές των γεννητριών.

Μια άλλη δυσκολία σχετικά με τη προστασία των γεννητριών είναι πως πολλές φορές δεν αρκεί το «άνοιγμα» ενός διακόπτη για την αντιμετώπιση του τυχόντος σφάλματος. Επί παραδείγματι, η γεννήτρια συνεχίζει να τροφοδοτεί ισχύ σε ένα βραχυκύκλωμα του τυλίγματος του στάτη, παρά την αποσύνδεση της, μέχρι ότου μηδενιστεί το πεδίο διέγερσης. Πολύ λίγες γεννήτριες έχουν ακόμα ένα ακόμα τριφασικό διακόπτη για την αποσύνδεση του τυλίγματος από τον ουδέτερο και τη διακοπή του δρόμου βραχυκυκλώματος. Εύλογο είναι λοιπόν το συμπέρασμα πως εκτός από τη λειτουργία του διακόπτη σύνδεσης, είναι απαραίτητος ο μηδενισμός του πεδίου, η διακοπή του ατμού, του νερού ή γενικότερα του καυσίμου που τροφοδοτεί τη συσκευή με μηχανική ενέργεια, ενώ σε μερικές περιπτώσεις επιβάλλεται η χρήση φρένου. Επιπλέον σε μερικές περιπτώσεις, διοχετεύεται στη γεννήτρια διοξείδιο του άνθρακα προκειμένου να σβηστούν πιθανά τόξα.

Το γενικό διάγραμμα προστασίας μιας γεννήτριας από τα διάφορα σφάλματα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, όπου και επεξηγούνται οι απεικονιζόμενες συσκευές.



Σχήμα 26 : Γενικό διάγραμμα προστασίας γεννήτριας

[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

Όπου,

- D = διαφορικός ηλεκτρονόμος
- E = ηλεκτρονόμος βραχυκυκλώματος γης
- O = ηλεκτρονόμος υπερέυματος (με έλεγχο τάσης) ή σύνθετης αγωγιμότητας (mho)
- L = ηλεκτρονόμος απώλειας φορτίου

- F = ηλεκτρονόμος απώλειας πεδίου
- $F.D$ = ανιχνευτής φωτιάς
- G = ηλεκτρονόμος υπέρτασης ουδέτερου
- R = ηλεκτρονόμος βραχυκυκλώματος γης στο δρομέα
- T = ηλεκτρονόμος θερμοκρασίας τυλίγματος στάτη

V = ηλεκτρονόμος υπέρτασης

6.1.1 Προστασία του στάτη μιας γεννήτριας

Επειδή ένα βραχυκύκλωμα γης δημιουργεί τόξο υψηλής θερμοκρασίας και έχει καταστροφικά αποτελέσματα (περίπτωση βραχυκύκλωσης αγωγού και πυρήνα), το ρεύμα βραχυκύκλωσης συνήθως περιορίζεται με τη χρησιμοποίηση σύνθετης αντίστασης στον ουδέτερο της γεννήτριας. Αυτή η σύνθετη αντίσταση μπορεί να είναι μια απλή ωμική αντίσταση, ένας μετασχηματιστής διανομής με ωμική αντίσταση για φορτίο, μια επαγωγή ή ένας μετασχηματιστής τάσης. Όταν το ρεύμα ουδέτερου περιορίζεται στα 250 A, απαιτούνται μεγάλης ταχύτητας ηλεκτρονόμοι και διακόπτες ώστε να αποφευχθούν οι μεγάλες ζημιές στον πυρήνα. Στην περίπτωση που το ρεύμα περιορίζεται σε λιγότερο από 5 A, μικρής ταχύτητας ηλεκτρονόμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Είναι γνωστό πως όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση του ουδέτερου, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα δημιουργίας ενός άλλου βραχυκυκλώματος στο τύλιγμα του στάτη. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι η δημιουργία υπέρτασης λόγω συντονισμού μεταξύ της χωρητικότητας που δημιουργεί ο στάτης με τη γη και της επαγωγής των άλλων συσκευών που συνδέονται με το στάτη.

Η αντίσταση ουδέτερου δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή:

$$R_n = \frac{10^6}{6\pi f C} \Omega$$

Εξίσωση 6.1.1-1

Όπου,

C είναι η χωρητικότητα του στάτη με τη γη ανά φάση σε μF

f είναι η συχνότητα του συστήματος

Σε σύγχρονες γεννήτριες χρησιμοποιείται στον ουδέτερο μετασχηματιστής διανομής με φορτίο ωμική αντίσταση . Αυτή η αντίσταση δεν πρέπει να ξεπερνά την τιμή:

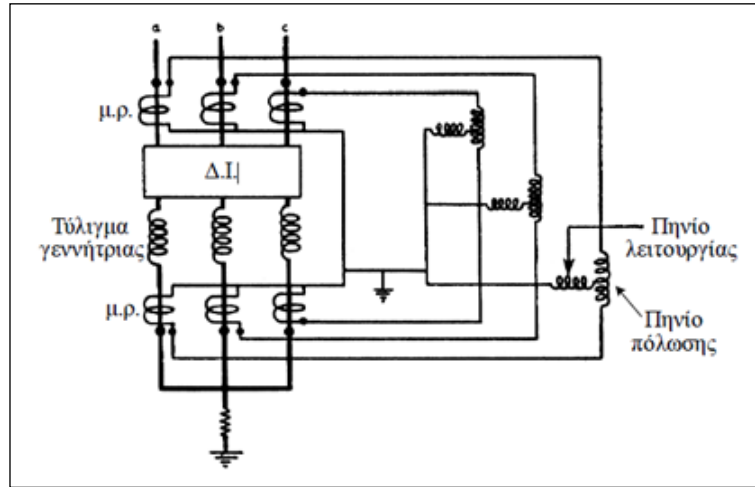
$$R_n = \frac{10^6}{6\pi f C N^2} \Omega$$

Εξίσωση 6.1.1-2

Όπου N είναι ο λόγος σπειρών του μετασχηματιστή. Αν το C είναι μεταβλητό ή άγνωστο πρέπει να χρησιμοποιείται μία τιμή σύνθετης αντίστασης με σκοπό να περιορίζει το ρεύμα μεταξύ 20 και 200 A.

Προστασία έναντι σε βραχυκυκλώματα στο στάτη μεταξύ φάσεων και γης

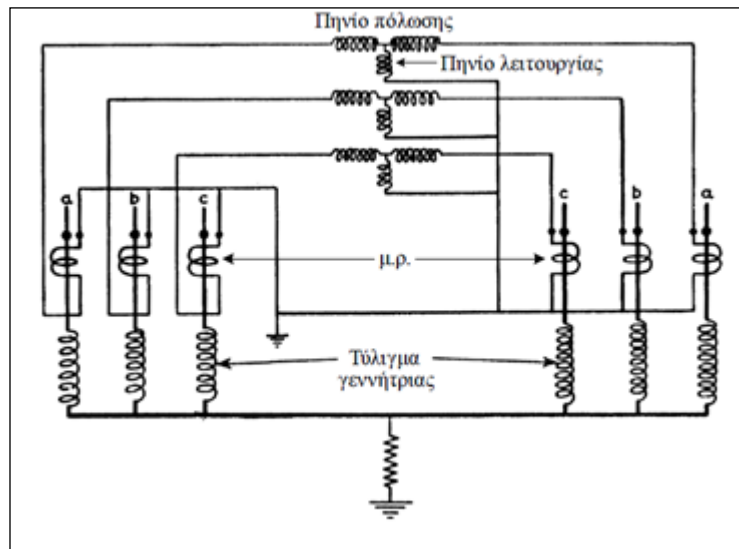
Σε ορισμένες περιπτώσεις, βραχυκυκλώματα μεταξύ αγωγών μπορούν να επιδιορθωθούν με αντικατάσταση των αγωγών, ενώ βραχυκυκλώματα μεταξύ αγωγού και σιδηρού πυρήνα μπορούν να λειώσουν και να συγκολληθούν μεταξύ τους τις ραβδώσεις του σιδήρου, οπότε απαιτείται αντικατάσταση του πυρήνα. Για να αποφύγουμε τέτοιου είδους καταστροφές, για γεννήτριες πάνω από 1MVA ισχύος, χρησιμοποιείται η διαφορική προστασία με ηλεκτρονόμους μεγάλης ταχύτητας που συγκρίνουν το ρεύμα στα δυο άκρα κάθε φασικού τυλίγματος όπως φαίνεται και στο Σχήμα



Σχήμα 27 : Σχηματική αναπαράσταση για διαφορική προστασία γεννητριών

[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

Αν υπάρχουν παράλληλα τυλίγματα της ίδιας φάσης που καταλήγουν σε διαφορετικούς ακροδέκτες, ένας άλλος ηλεκτρονόμος συγκρίνει τα δυο ρεύματα της ίδιας φάσης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα



Σχήμα 28 : Σχηματική παράσταση για εγκάρσια διαφορική προστασία γεννητριών

[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

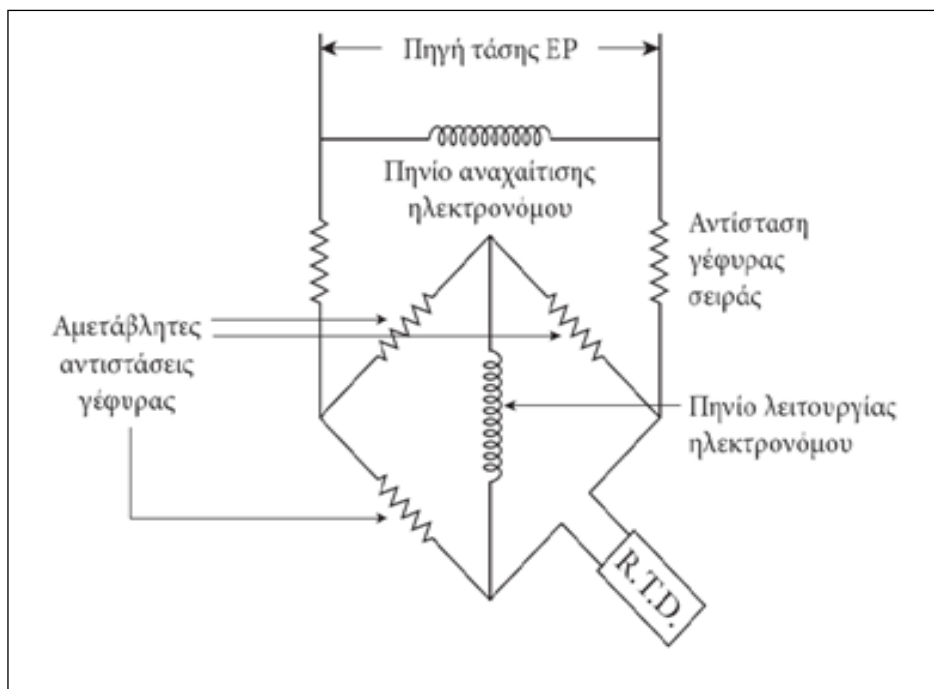
Με αυτό τον τρόπο παρέχεται και προστασία υποστήριξης και ανακαλύπτονται βραχυκυκλώματα μεταξύ των αγωγών της ίδιας φάσης.

Σε γεννήτριες μικρότερες του 1MVA ισχύος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρονόμοι υπερέντασης, οι οποίοι όμως πρέπει να ελέγχονται από στιγμιαίους ηλεκτρονόμους υπότασης. Αυτοί κάνουν τους ηλεκτρονόμους υπερέντασης ταχύτερους και πιο ευαίσθητους για πτώση τάσης κάτω του 50%, πράγμα που σημαίνει βραχυκύκλωμα στη γεννήτρια.

Επειδή το ρεύμα βραχυκυκλώσεως γης περιορίζεται όταν η γεννήτρια είναι γειωμένη, οι ηλεκτρονόμοι για βραχυκυκλώματα γης πρέπει να είναι πιο ευαίσθητοι από τους φασικούς ηλεκτρονόμους. Μη γειωμένες γεννήτριες είναι σπάνιες αλλά όταν υπάρχουν, ένα βραχυκύκλωμα γης του στάτη ανακαλύπτεται με ηλεκτροστατικούς ανιχνευτές γης, επειδή το ρεύμα βραχυκύκλωσης σε αυτή την περίπτωση είναι το μικρό χωρητικό ρεύμα που τροφοδοτούν οι υγιείς φάσεις.

Προστασία έναντι στην υπερθέρμανση του στάτη

Σε γεννήτριες ισχύος μεγαλύτερης των 2MVA, απαντώνται δυο μέθοδοι ανίχνευσης των συνθηκών που οδηγούν στην υπερθέρμανση. Η πρώτη μέθοδος έγκειται στη σύγκριση θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου του ψυκτικού μέσου, το οποίο μπορεί να είναι ο αέρας, το υδρογόνο ή και το νερό. Στην άλλη μέθοδο απαντώνται συσκευές των οποίων τα χαρακτηριστικά διαφοροποιούνται συναρτήσει της θερμοκρασίας. Τέτοιου είδους συσκευές είναι τα θερμοζεύγη (thermocouple), τα θερμίστορ (thermistors) και οι αντιστάσεις ανίχνευσης θερμοκρασίας (Resistance Temperature Detectors ή RTD). Στο Σχήμα παρουσιάζεται ένα τυπικό παράδειγμα γέφυρας που χρησιμοποιεί RTDs



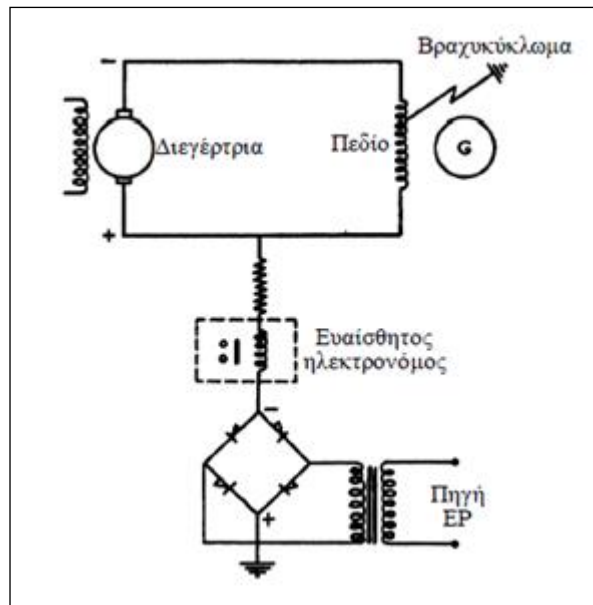
Σχήμα 29 : Ανιχνευτής θερμοκρασίας με R.T.Ds και επαγωγικό ηλεκτρονόμο

[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

6.1.2 Προστασία του δρομέα

Τα βραχυκυκλώματα, τα ανοιχτοκυκλώματα και η υπερθέρμανση είναι τα βασικά αίτια που οδηγούν σε σοβαρές βλάβες των δρομέων των γεννητριών. Στο Σχήμα 3-20 παρουσιάζεται μια σύγχρονη μέθοδος ανακάλυψης βραχυκυκλωμάτων γης στο δρομέα. Το κύκλωμα πεδίου πολώνεται από μια τάση συνεχούς ρεύματος, που εξαναγκάζει ένα ρεύμα να διαρρέυσει τον ηλεκτρονόμο, στην περίπτωση που συμβεί ένα βραχυκύκλωμα γης. Ο ηλεκτρονόμος που χρησιμοποιείται είναι ένας πολωμένος ηλεκτρονόμος κινητού σιδήρου, που ενεργοποιείται στο 150 % της τάσης πεδίου και επίσης διατηρεί την πλήρη τάση διέγερσης, όταν συμβεί ένα βραχυκύκλωμα κοντά στο ένα άκρο του τυλίγματος.

Τέλος, ο ηλεκτρονόμος που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ανοιχτοκυκλώματος είναι ο ίδιος που χρησιμοποιείται για την ανακάλυψη της απώλειας πεδίου.



Σχήμα 30: Ανίχνευση βραχυκυκλώματος γης

[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

6.1.3 Προστασία ενάντια σε σφάλματα που επιδρούν ταυτόχρονα σε στάτη και δρομέας γεννήτριας

Προστασία ενάντια στην επιτάχυνση

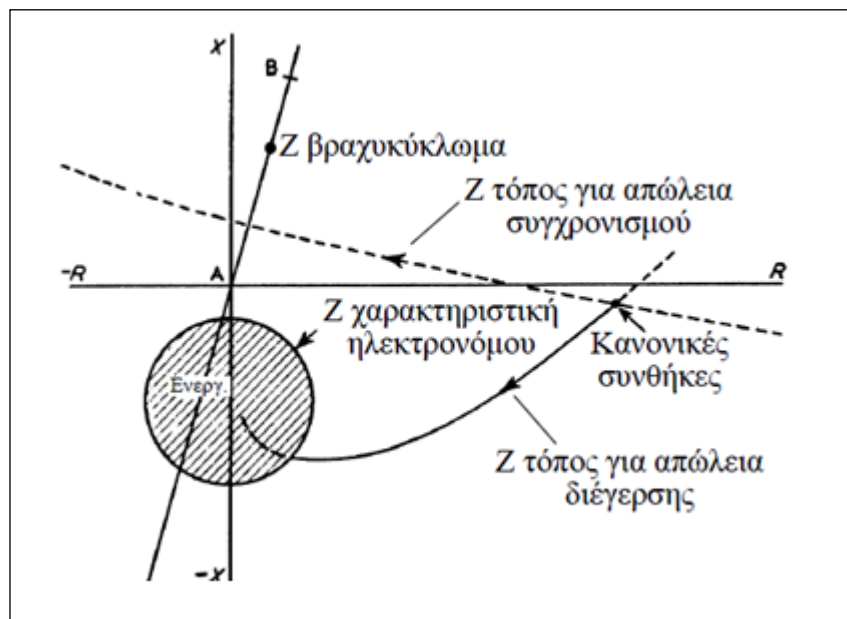
Οι υδροστρόβιλοι και οι ατμοστρόβιλοι προστατεύονται από μηχανικές συσκευές υπερτάχυνσης, αλλά λόγω βραδείας απόκρισης των υδροστροβίλων, συνήθως σε αυτούς χρησιμοποιούνται και ηλεκτρονόμοι υπερτάχυνσης. Σε μεγάλες μηχανές μερικές φορές χρησιμοποιούνται ηλεκτρονόμοι για την πρόληψη της υπερτάχυνσης. Στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρονόμος που διακόπτει την παροχή ατμού, τη στιγμή που η γωνία ισχύος έχει φθάσει στις 180°. Στην Αγγλία δε, χρησιμοποιείται ηλεκτρονόμος που δρα, όταν η έξοδος πραγματικής ισχύος της γεννήτριας είναι ελαττωμένη συναρτήσει με την πίεση του ατμού.

Προστασία ενάντια στη λειτουργία της γεννήτριας ως κινητήρας

Μερικές φορές η γεννήτρια μπορεί να μεταβεί στην κατάσταση λειτουργίας ως κινητήρας. Μια τέτοια κατάσταση διαπιστώνεται από βαττομετρικούς ηλεκτρονόμους που ενεργοποιούνται όταν η αντιστροφή της ισχύος έχει αγγίξει τα επίπεδα του 0,5%. Οι ηλεκτρονόμοι αυτοί συνήθως έχουν μια χρονική καθυστέρηση που κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα έως και μερικά λεπτά, ανάλογα το είδος του στροβίλου.

Προστασία ενάντια στην απώλεια του πεδίου

Η απώλεια πεδίου μπορεί να οφείλεται σε εσφαλμένη λειτουργία του διακόπτη πεδίου ή της διεγέρτριας. Ο πιο αξιόπιστος τρόπος για την ανίχνευση τέτοιων σφαλμάτων είναι η χρησιμοποίηση ηλεκτρονόμων σύνθετης αγωγιμότητας (mho) ή διεύθυνσης – σύνθετης αντίστασης, που τα χαρακτηριστικά τους βρίσκονται στην περιοχή αρνητικής σύνθετης αντίστασης. Ένας ηλεκτρονόμος με τα παραπάνω χαρακτηριστικά δεν ενεργοποιείται από άλλες διαταραχές της γεννήτριας, όπως φαίνεται και στο Σχήμα



Σχήμα 31 : Χαρακτηριστικά σύνθετης αντίστασης ηλεκτρονόμου mho για την ανακάλυψη της απώλειας πεδίου.

[Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.]

Προστασία ενάντια στην εσφαλμένη λειτουργία του ρυθμιστή τάσης

Για τη συγκεκριμένη προστασία χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρονόμος υπερρεύματος ΣΡ ορισμένου χρόνου, που τροφοδοτείται από ένα μετασχηματιστή συνεχούς ρεύματος στο κύκλωμα το δρομέα. Επειδή ο δρομέας δέχεται υπερρέματα και κατά τη διάρκεια βραχυκυκλωμάτων στο σύστημα, ο χρόνος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το χρόνο εκκαθάρισης των βραχυκυκλωμάτων στο σύστημα. Κατά αυτό τον τρόπο ο ηλεκτρονόμος λειτουργεί μόνο αν η κατάσταση υπερρεύματος στο δρομέα διατηρηθεί πέραν του χρόνου εκκαθάρισης και επαναφέρει τη διέγερση σε μια καθορισμένη τιμή.

6.2 Μετασχηματιστές τάσης και έντασης

Οι μετασχηματιστές τάσης ή έντασης μετρητικής εφαρμογής, είναι απαραίτητοι για την απομόνωση της προστασίας, του ελέγχου και του μετρητικού εξοπλισμού από τις υψηλές τάσεις ενός Σ.Η.Ε. Ακόμη τροφοδοτούν τον βοηθητικό εξοπλισμό με τις κατάλληλες στάθμες έντασης και τάσης, συνήθως στο εύρος 1 με 5 A για τα πηνία ρεύματος και 120V για τα πηνία τάσης. Η συμπεριφορά των μετασχηματιστών έντασης (CTs) και τάσης (VTs) κατά τη διάρκεια και έπειτα την ύπαρξη ενός σφάλματος είναι κριτικής σημασίας στην έννοια της ηλεκτρικής προστασίας, διότι μη ορθά σήματα προερχόμενα από τέτοιου είδους μετασχηματιστές κάλλιστα μπορούν να οδηγήσουν στην ανεπιτυχή λειτουργία των ηλεκτρονόμων ισχύος. Επιπροσθέτως, παράγοντες όπως η μεταβατική περίοδος και ο κορεσμός πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή ενός μετασχηματιστή μέτρησης.

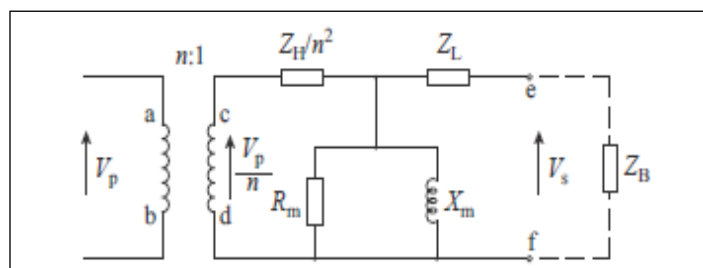
6.2.1 Μετασχηματιστές τάσης

Μεγάλη σημασία δίδεται στους μετασχηματιστές τάσης στο γεγονός ότι η τιμή της τάσης στο δευτερεύον τύλιγμα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβής, αναλογικά, με την τάση στο πρωτεύον. Για την επίτευξη της συγκεκριμένης αξίωσης, οι μετασχηματιστές τάσης είναι

σχεδιασμένοι κατά τέτοιο τρόπο ώστε η πτώση τάσης στα τυλίγματα να είναι μικρή και η πυκνότητα της μαγνητικής ροής στον πυρήνα να είναι κατώτερη του σημείου κόρου με αποτέλεσμα το ρεύμα μαγνήτισης να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Με αυτόν τον τρόπο η μαγνητική αντίδραση κρατείται πρακτικά σταθερή σε όλο το φάσμα της εναλλαγής της τάσης. Η τάση στο δευτερεύον τύλιγμα είναι συνήθως από 112 έως 120 V σε τιμές φασικής τάσης. Η πλειοψηφία των ηλεκτρονόμων προστασίας δέχονται ονομαστικές τιμές τάσης, για μετρούμενα μεγέθη, 120 ή 69 V, αναλόγως τον τρόπο συνδεσμολογίας (φασική ή πολική τάση).

Ισοδύναμο κύκλωμα

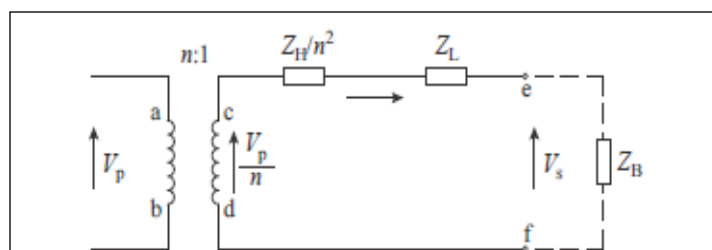
Οι μετασχηματιστές τάσης μπορούν να θεωρηθούν ως μικροί μετασχηματιστές ισχύος, οπότε το ισοδύναμο κύκλωμα τους δε διαφέρει από αυτό των τελευταίων, όπως αποδεικνύεται και στο Σχήμα



Σχήμα 32 : Ισοδύναμο κύκλωμα Μ/Σ τάσης

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

Ο κλάδος της μαγνήτισης μπορεί να αγνοηθεί και το ισοδύναμο κύκλωμα περιορίζεται στο παρακάτω σχήμα.

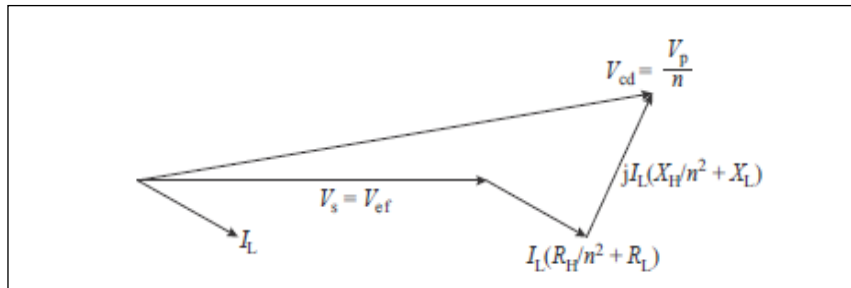


Σχήμα 33 : Απλουστευμένο Ισοδύναμο κύκλωμα Μ/Σ τάσης

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

Διανυσματικό διάγραμμα

Το διανυσματικό διάγραμμα για ένα μετασχηματιστή τάσης δίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 34 : Διανυσματικό διάγραμμα Μ/Σ τάσης

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

Το μήκος του διανύσματος που απεικονίζει την πτώση τάσης έχει μεγεθυνθεί για λόγους σαφήνειας. Η τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος V_s έπεται της τάσης V_p/n και είναι μικρότερη σε μέτρο. Παρά το γεγονός αυτό, το μέγιστο επιτρεπτό σφάλμα παραμένει σχετικά μικρό. Οι μετασχηματιστές τάσης διαθέτουν άριστη μεταβατική συμπεριφορά και με ακρίβεια αναπαράγουν οποιαδήποτε διακύμανση της τάσης του πρωτεύοντος τυλίγματός τους.

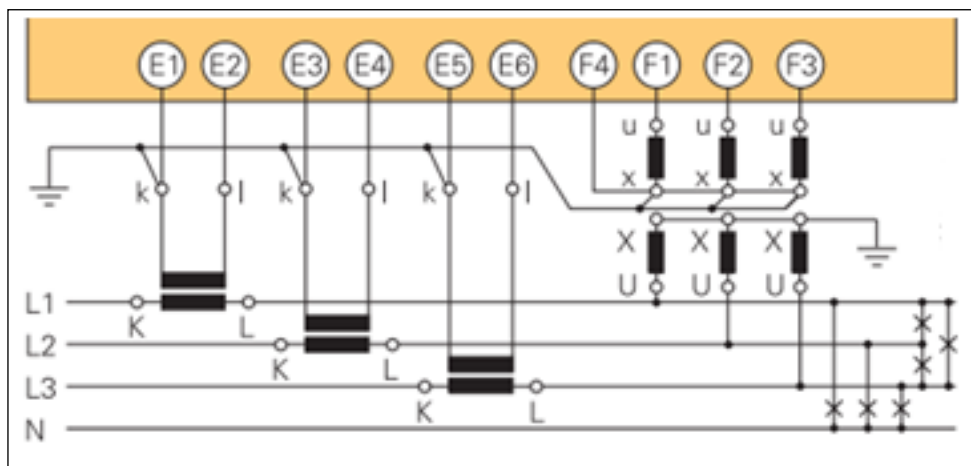
6.2.2 Σφάλματα Μ/Σ τάσης

Ένας μετασχηματιστής τάσης που χρησιμοποιείται ως μετρητικό όργανο, για παράδειγμα τιμολόγηση ή έλεγχος, πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή ακρίβεια, ιδίως για τις τιμές που προσεγγίζουν την ονομαστική τάση του Σ.Η.Ε. όπου τοποθετείται. Το σφάλμα μέτρησης θα πρέπει να περιορίζεται σε στενά όρια παρά το εξαιρετικά μεγάλο εύρος τιμών που λαμβάνει η τάση στο πρωτεύον υπό συνθήκες σφάλματος στο Σ.Η.Ε. Το αποδεκτό εύρος σφάλματος μέτρησης θα πρέπει να κυμαίνεται από 5% έως 173% της ονομαστικής τάσης του πρωτεύοντος για μετασχηματιστές τάσης συνδεδεμένους μεταξύ ενεργού αγωγού και γείωσης. Τέλος σημαντικό είναι να αναφερθούν οι παράγοντες από τους οποίους δημιουργούνται τα σφάλματα μέτρησης στους μετασχηματιστές τάσης. Τέτοιοι μπορεί να είναι η αλληλεπίδραση με διάφορους ηλεκτρονόμους, η επιβάρυνση που δέχονται τα τυλίγματα του δευτερεύοντος τυλίγματος όντας συνδεδεμένα ηλεκτρικά με κάποια φορτία

αλλά και το μεγάλο εύρος τιμών που λαμβάνει η τάση στο πρωτεύον τύλιγμα κατά την ύπαρξη συνθηκών σφάλματος στο Σ.Η.Ε. Οι παραπάνω λόγοι για την εμφάνιση σφάλματος μέτρησης μεταφράζονται στο διανυσματικό διάγραμμα ως διαφορά μέτρου και κατεύθυνσης των διανυσμάτων V_p / n και V_s .

6.2.3 Επιλογή ενός Μ/Σ τάσης

Οι μετασχηματιστές τάσης συνδέονται είτε μεταξύ ενεργών αγωγών, φάσεων και ουδέτερου, αλλά και μεταξύ ενεργών αγωγών και γείωσης. Στη δεύτερη περίπτωση, η πραγματοποίηση της συνδεσμολογίας γίνεται με μια ομάδα τριών μονοφασικών μονάδων που συνδέονται σε διάταξη αστέρα και μάλιστα ο κοινός κόμβος γειώνεται. Η προαναφερθείσα συνδεσμολογία χρησιμοποιείται σε υποσταθμούς άνω των 34,5 kV προκειμένου να μετράται η τάση και ο συντελεστής απόδοσης επιμέρους σε κάθε φάση. Βλ. Σχήμα



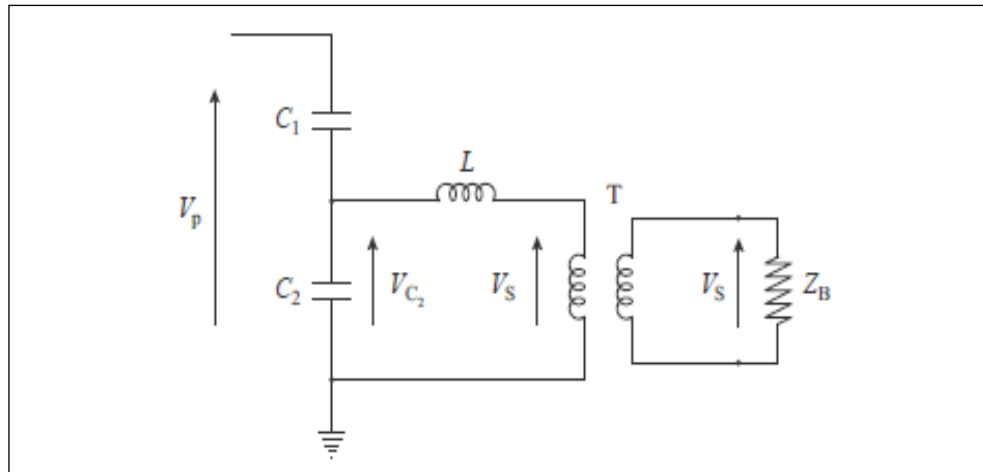
Σχήμα 35 : Συνδεσμολογία Μ/Σ τάσης-έντασης σε σύστημα 4 αγωγών/3 φάσεων Υ.Τ.

[Mario Willims, “Power Engineering Guide 6.1th Edition” , Publics Pro , Siemens Energy Sector, 2011.]

Η ονομαστική τάση του πρωτεύοντος τυλίγματος ενός μετασχηματιστή τάσης γενικά επιλέγεται λαμβάνοντας υπόψη την ονομαστική τάση απομόνωσης (kV) και την τάση που επικρατεί στο Σ.Η.Ε σε περιπτώσεις συντήρησης. Οι ονομαστικές τάσεις του δευτερεύοντος τυλίγματος είναι τυποποιημένες στα 115 V και 120 V. Προκειμένου να επιτευχθεί η επιλογή της ονομαστικής ισχύος ενός μετασχηματιστή τάσης συνήθως εκτελείται ο υπολογισμός του αθροίσματος φαινόμενης ισχύος των συσκευών που είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένες και επιβαρύνουν το δευτερεύον τύλιγμα. Τέλος λαμβάνεται υπόψη και η πτώση τάσης που επικρατεί στα καλώδια που συνδέουν το δευτερεύον τύλιγμα με τον ηλεκτρονόμο, ιδιαίτερος σε περιπτώσεις που η απόσταση μεταξύ των είναι μεγάλη.

6.2.4 Μετασχηματιστής τάσης με πυκνωτή

Γενικά, το μέγεθος ενός επαγωγικού μετασχηματιστή τάσης είναι ανάλογο με την ονομαστική τάση που δέχεται στο πρωτεύον τύλιγμά του. Για αυτό το λόγο το κόστος αυξάνεται όταν αυξάνεται το μέτρο της ονομαστικής τάσης. Μια εναλλακτική και πιο οικονομική λύση είναι η χρήση ενός χωρητικού μετασχηματιστή τάσης. Η συσκευή αυτή είναι ένας χωρητικός διαιρέτης τάσης και λειτουργεί ακριβώς όπως και ο ωμικός διαιρέτης τάσης, υποβιβάζοντας την τάση κρατώντας τα επίπεδα απόκλισης χαμηλά. Όπως παρουσιάζεται και στο ισοδύναμο κύκλωμα, για βελτιωμένη ακρίβεια χρησιμοποιείται ένας πυκνωτής κατάλληλος ώστε να επιτραπεί η σύνδεση του σε υψηλή τάση, και με τη βοήθεια του διαιρέτη, η τελευταία υποβιβάζεται και οδηγείται σε μετασχηματιστή τάσης, ο οποίος μπορεί να είναι οικονομικότερος από έναν αντίστοιχο με δυνατότητα σύνδεσης σε υψηλές τάσεις.



Σχήμα 36 : Ισοδύναμο κύκλωμα Μ/Σ τάσης με πυκνωτή

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

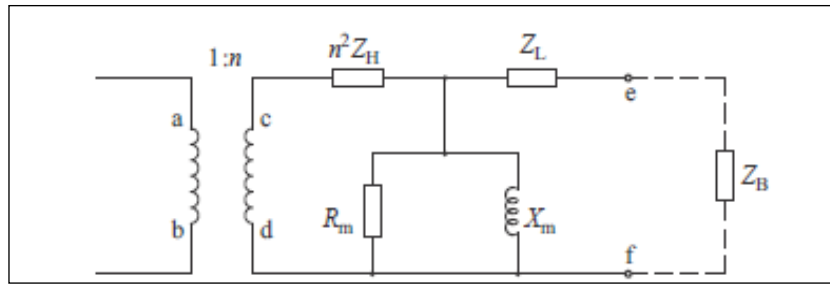
6.3 Μετασχηματιστές έντασης

Παρόλο που οι απαιτήσεις των επιδόσεων ενός μετασχηματιστή έντασης ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο της προστασίας του Σ.Η.Ε. , μόνο μετασχηματιστές έντασης υψηλού ποιοτικού επιπέδου πρέπει να χρησιμοποιούνται. Η κατάλληλη ακρίβεια ενός μετασχηματιστή έντασης είναι ιδιαίτερα σημαντική ώστε να διασφαλιστεί η πρόβλεψη λειτουργία του συστήματος προστασίας, κυρίως σε περιπτώσεις όπου τα άκρα του μετασχηματιστή έντασης συνδέονται ηλεκτρικά απευθείας στους ηλεκτρονόμους.

Οι μετασχηματιστές έντασης φτάνουν στο σημείο του κόρου σε περιπτώσεις υπερέντασης στον ενεργό αγωγό γύρω από τον οποίο τοποθετούνται ή ακόμη σε καταστάσεις επιβάρυνσης του τυλίγματός τους. Με γνώμονα την αποφυγή του συγκεκριμένου σφάλματος, πρέπει να εκτελείται λεπτομερής μελέτη για την επιλογή ενός μετασχηματιστή έντασης, ώστε ακόμη και όταν επικρατούν συνθήκες σφάλματος στον ενεργό αγωγό, η καμπύλη μαγνήτισης του να διατηρείται σε γραμμική αναλογία με αποτέλεσμα την αποστολή ακριβούς πληροφορίας στον ηλεκτρονόμο.

Ισοδύναμο κύκλωμα

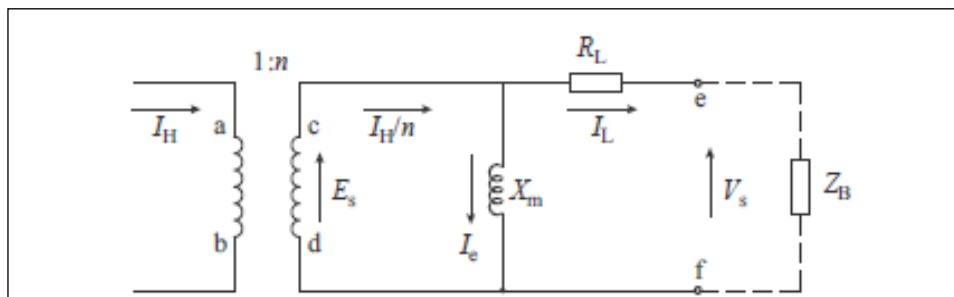
Η απόδοση του ισοδύναμου κυκλώματος δίδεται στο Σχήμα



Σχήμα 37 : Ισοδύναμο κύκλωμα Μ/Σ έντασης

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

όπου $n^2 Z_H$ η σύνθετη αντίσταση του πρωτεύοντος τυλίγματος, ανηγμένη στο δευτερεύον και Z_L η σύνθετη αντίσταση του δευτερεύοντος τυλίγματος. Τα R_m και X_m αναπαριστούν τις απώλειες και την διέγερση του πυρήνα. Το Σχήμα 6.3-1 μπορεί να περιοριστεί στο Σχήμα 6.3-2, όπου η σύνθετη αντίσταση Z_H μπορεί να αγνοηθεί αφού δεν επηρεάζει ούτε το ρεύμα I_H/n ούτε την τάση στα άκρα του X_m . Το ρεύμα που διαρρέει το X_m είναι το ρεύμα διέγερσης I_e .

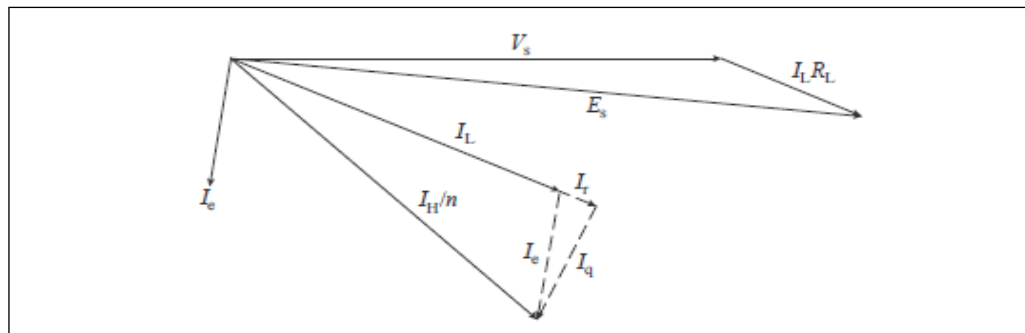


Σχήμα 38 : Απλουστευμένο Ισοδύναμο κύκλωμα Μ/Σ έντασης

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

Διανυσματικό διάγραμμα

Στο διανυσματικό διάγραμμα που παρουσιάζεται παρακάτω, το διάνυσμα της πτώσης τάσης έχει μεγεθυνθεί για λόγους σαφήνειας.



Σχήμα 39 : Διανυσματικό διάγραμμα Μ/Σ έντασης

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

Γενικά, η σύνθετη αντίσταση Z_L παρουσιάζει κυρίως ωμικό χαρακτήρα και το I_e έπεται της V_s κατά 90° με αποτέλεσμα το I_e να είναι η κύρια πηγή σφάλματος. Σημαντική παρατήρηση αποτελεί πως η επίδραση του I_e στο I_L , εξαναγκάζει το τελευταίο να έπεται και να είναι μικρότερου μέτρου του I_H/n , το οποίο με τη σειρά του αποτελεί το ρεύμα του πρωτεύοντος ανηγμένο στο δευτερεύον τύλιγμα.

6.3.1 Σφάλματα στους μετασχηματιστές έντασης

Οι αιτίες των σφαλμάτων στους μετασχηματιστές έντασης διαφοροποιούνται αρκετά από αυτές των μετασχηματιστών τάσης. Στην πραγματικότητα, η σύνθετη αντίσταση του πρωτεύοντος ενός μετασχηματιστή έντασης δεν επηρεάζει την ακρίβεια της μέτρησης και όπως ήδη αναφέρθηκε μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Τα σφάλματα μέτρησης πρωταρχικά πηγάζουν από το I_r , το οποίο όπως συμπεραίνεται και από το διανυσματικό διάγραμμα, αποτελεί το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων.

6.4 Μονωτήρες

Στο συγκεκριμένο τμήμα του εκπονήματος, περιγράφονται οι διάφοροι τύποι μονωτήρων, τόσο σε εναέριες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και σε υποσταθμούς διανομής.

Ως μονωτικά σώματα ή μονωτές χαρακτηρίζονται τα υλικά που, πρακτικά, δεν εμφανίζουν καθόλου ηλεκτρική αγωγιμότητα όταν εκτίθενται σε σχετικά ασθενή πεδία συνεχούς ρεύματος (συνήθως θεωρούνται ως χαμηλές οι τάσεις που δεν ξεπερνούν τα 1000V). Η μη δυνατότητα εκδήλωσης ουσιαστικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα παραπάνω σώματα έγκειται στο γεγονός ότι σε αυτά δεν υπάρχουν σε κάποια επαρκή ποσότητα ευκίνητοι φορείς ηλεκτρικού φορτίου, τέτοιοι που να επιτρέπουν τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος από το εσωτερικό τους (σε αντίθεση π.χ. με τα μέταλλα).

Στην πραγματικότητα, βέβαια, είναι πρακτικά αναπόφευκτη η ύπαρξη σε κάθε μονωτικό σώμα ενός κάποιου πλήθους προσμίξεων, ακαθαρσιών, διεγέρσεων ή διασπάσεων που δημιουργούν ένα μικρό αριθμό φορέων του ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό τους. Ωστόσο, ο γενικός κανόνας είναι πως, χάρη στην έλλειψη αξιόλογης ηλεκτρικής αγωγιμότητας, τα μονωτικά σώματα είναι κατάλληλα για να εμποδίζουν τη δημιουργία ηλεκτρικών ρευμάτων διαμέσου της μάζας τους και για να διατηρούν τις διαφορές δυναμικού στα διάφορα τμήματα των ηλεκτροτεχνικών διατάξεων και εγκαταστάσεων.

- i. **Πορσελάνη.** Είναι σύνθετη ύλη από αργίλιο, πυρίτιο και μαγνήσιο. Για να επιτευχθεί μείωση της επίδρασης του περιβάλλοντος, αύξηση της επιφανειακής αντίστασης και ομογενές ηλεκτρικό πεδίο στους μονωτήρες η πορώδεις επιφάνειά τους καλύπτεται με διηλεκτρικά υλικά κρυσταλλικής μορφής ελαττώνοντας έτσι τις απώλειες. Οι μονωτήρες από πορσελάνη είναι κατάλληλοι για χρησιμοποίηση σε σχετικά υψηλές τάσεις, αλλά σε χαμηλές συχνότητες.
- ii. **Γυαλί.** Το γυαλί έχει χαρακτηριστικά μονωτικού υλικού (σχετικά μεγάλη διηλεκτρική σταθερά και ειδική αντίσταση, όπως και μικρό θερμικό συντελεστή). Είναι μίγμα διαφόρων πυριτικών αλάτων (κυρίως του Na ή του K και του Ca), παρουσιάζεται με τη μέθοδο της σύντηξης λεπτής άμμου χαλαζία και CaCO_3 , Na_2CO_3 ή K_2CO_3 . Η οριακή του θερμοκρασία είναι άνω των 2000°C. Κατασκευάζεται σε λεπτά φύλλα πάχους μέχρι 10μm. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή μονωτήρων.
- iii. **Εποξειδική ρητίνη (Silicone Rubber).** Χρησιμοποιείται γιατί είναι φθηνότερη από την πορσελάνη και δεν παρουσιάζει τεχνικά προβλήματα στην κατασκευή μονωτήρων. Το μειονέκτημα της είναι ότι όταν υπόκειται σε ένα ηλεκτρικό πεδίο και υπό την επίρεια των ατμοσφαιρικών συνθηκών δημιουργείται μία αποσύνθεση και απελευθέρωση άνθρακα ιδιαίτερα κοντά στους σπλισμούς του μονωτήρα.

- iv. **Κεραμικά υψηλής συχνότητας.** Ανάλογα με την χρήση τους διακρίνονται σε μονωτήρες για υψηλής συχνότητας κεραίες, σε εξαρτήματα στηρίξεως, σε κεραμικά πυκνωτών και σε πορώδη κεραμικά. Σαν κεραμικό υψηλής συχνότητας χρησιμοποιείται ο στεατίτης.

6.4.1 Είδη μονωτήρων ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης

Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης οι μονωτήρες διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- i. **Αναρτήσεως.** Αυτοί χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανάρτηση των γραμμών μεταφοράς Υ.Τ. και αποτελούνται από μια ή δυο σειρές δισκοειδών μονωτήρων, διατεταγμένων σε μορφή αλύσου. Το πλήθος των δισκοειδών μονωτήρων σε μια διάταξη αλύσου εξαρτάται προφανώς από την τάση λειτουργίας της γραμμής και από τη διηλεκτρική αντοχή έκαστου δισκοειδούς μονωτήρα.
- ii. **Στηρίξεως.** Χρησιμοποιούνται για τη στήριξη των αγωγών υψηλής τάσης και διακρίνονται σε μονωτήρες μεταφοράς και μονωτήρες σταθμών.
- iii. **Μονωτήρες γραμμής.** Χρησιμοποιούνται στις γραμμές διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι 70kV.
- iv. **Μονωτήρες διελεύσεως.** Χρησιμοποιούνται στις θέσεις εξόδου των αγωγών από τους μετασχηματιστές

6.4.2 Είδη μονωτήρων ανάλογα με τους χώρους χρήσης

Οι τύποι των μονωτήρων που έχουμε, ανάλογα με τους χώρους χρήσης και κατ' επέκταση τον τρόπο σχεδίασής τους είναι οι εξής:

- i. **Τύπου ομίχλης.** Χρησιμοποιούνται σε περιοχές όπου επικρατούν συνθήκες έντονης ρύπανσης (συνήθως, κοντά σε βιομηχανικές ή παραθαλάσσιες περιοχές). Οι μονωτήρες αυτοί έχουν μεγάλο μήκος ερπυσμού και τέτοια διαμόρφωση της εξωτερικής

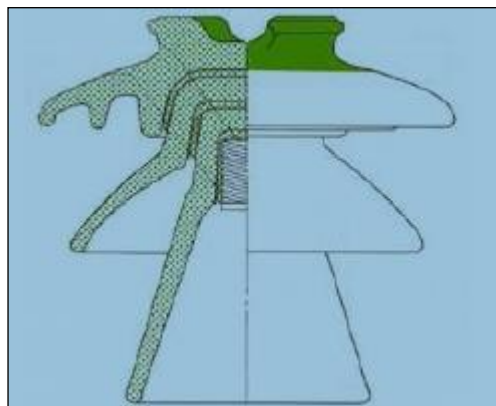
επιφάνειας, ώστε να παρέχεται η καλύτερη δυνατή προστασία έναντι επικάθισης ακαθαρσιών.

- ii. **Κανονικού τύπου.** Αυτοί χρησιμοποιούνται σε σύνηθες περιβάλλον και έχουν μικρότερο μήκος ερπυσμού.
- iii. **Εσωτερικού τύπου.** Οι μονωτήρες αυτοί χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους – κυρίως σε κλειστούς υποσταθμούς.

6.4.3 Είδη μονωτήρων ανάλογα με το υλικό και σχήμα τους

- i. Μονωτήρες πορσελάνης τύπου pin (porcelain pin type insulators).

Αυτός ο τύπος μονωτήρων χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τις τηλεφωνικές γραμμές και τα αλεξικέραυνα, ενώ στη συνέχεια τροποποιήθηκε για να χρησιμοποιηθεί στις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικές παραλλαγές του είναι ακόμα σε χρήση στα συστήματα μέσης τάσης. Ο μονωτήρας αυτός παρουσιάζεται στο Σχήμα

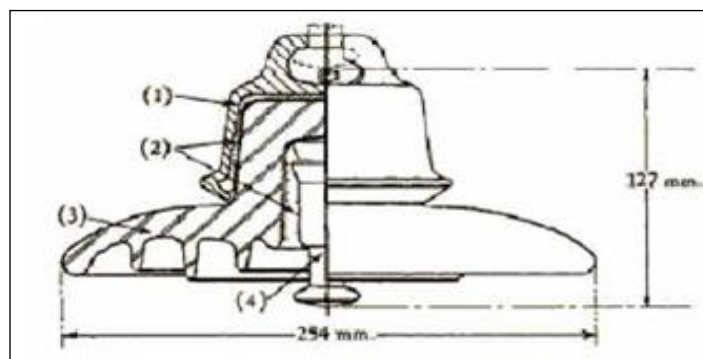


Σχήμα 40 : Μονωτήρας τύπου pin

- ii. Μονωτήρες τύπου cap & pin.

Αυτοί κατασκευάζονται από πορσελάνη ή γυαλί και είναι βασισμένοι στις ίδιες κατασκευαστικές αρχές με τους μονωτήρες τύπου pin. Ένας αριθμός τέτοιων μονάδων συνδέεται μέσω χαλύβδινων καλυμμάτων (caps) και πείρων (pins) σχηματίζοντας μια αλυσίδα μονωτήρων. Αυτές οι αλυσίδες χρησιμοποιούνται ως μονωτήρες ανάρτησης και στήριξης γραμμών μεταφοράς. Τα καλύμματα και ο πείρος είναι στερεωμένα στο γυάλινο ή πορσελάνινο δίσκο με τσιμέντο. Οι κωνικές μορφές των συναρμολογήσεων εξασφαλίζουν υψηλή μηχανική αντοχή κατά την άσκηση δυνάμεων εφελκυσμού. Στους μονωτήρες τύπου pin και τύπου cap & pin η συντομότερη απόσταση μεταξύ των μεταλλικών ηλεκτροδίων

μέσω της πορσελάνης ή του γυαλιού είναι λιγότερη από το 50% της συντομότερης απόστασης μεταξύ των ηλεκτροδίων μέσω του αέρα. Συνεπώς η πορσελάνη ή το γυαλί μπορεί να διατηρηθεί κατόπιν μεγάλης ηλεκτρικής καταπόνησης. Η διαδικασία κατασκευής των μονωτήρων υάλου περιλαμβάνει τη θερμική ψύξη, που εξασφαλίζει ότι οι γυάλινοι δίσκοι θρυμματίζονται σε περίπτωση διάτρησης, οπότε ο ελαττωματικός δίσκος είναι εμφανής.



Σχήμα 41 : Τυπικός cap and pin Μονωτήρας

Όπου,

- (1) : Γαλβανισμένη μεταλλική θήκη
- (2) : Σκυρόδεμα
- (3) : Πορσελάνη
- (4) : Μεταλλικός πείρος (pin)

iii. Μονωτήρες στήριξης (post type insulators)

Αυτοί οι μονωτήρες αποτελούνται από ένα συμπαγή κύλινδρο πορσελάνης με κυματοειδείς πτυχές, για να αυξάνεται το μήκος ερπυσμού, και από μεταλλικά ηλεκτρόδια σε κάθε άκρη. Οι μονωτήρες στήριξης έχουν μεγάλο μήκος. Χρησιμοποιούνται οριζόντια ή κάθετα για να στηρίξουν τον αγωγό υψηλής τάσης και τοποθετούνται στις βάσεις ή στους εγκάρσιους

βραχίονες των γραμμών μεταφοράς (line post insulators). Στους μονωτήρες αυτούς η συντομότερη απόσταση μέσω της πορσελάνης υπερβαίνει το 50% της συντομότερης απόστασης μέσω του αέρα μεταξύ των ηλεκτροδίων, οπότε δεν διαρρηγνύονται εύκολα. Μονωτήρες τύπου post απεικονίζονται στις Εικόνες



Εικόνα 26: Μονωτήρας τύπου post σε γραμμή μεταφοράς



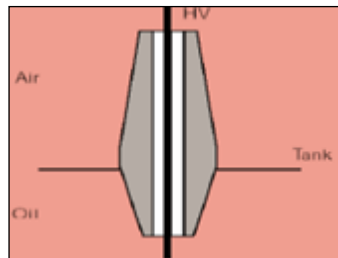
Εικόνα 27 : Μονωτήρας τύπου post σε Υ/Σ

iv. Μονωτήρες πορσελάνης μεγάλου μήκους (longrod insulators)

Οι μονωτήρες μεγάλου μήκους είναι παρόμοιοι με τους μονωτήρες στήριξης, αλλά είναι ελαφρύτεροι, λεπτότεροι και χρησιμοποιούνται ως μονωτήρες ανάρτησης.

v. Μονωτήρες διέλευσης (bushings).

Οι μονωτήρες αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για να μονώσουν τους αγωγούς των ακροδεκτών υψηλής τάσης κυρίως μετασχηματιστών ή άλλων διατάξεων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα



Σχήμα 42 : Μονωτήρας διέλευσης

6.4.4 Ιδιότητες μονωτήρων

Η αξιοπιστία είναι η σημαντικότερη ιδιότητα ενός μονωτήρα. Η μεγαλύτερη αστοχία σε έναν μονωτήρα γραμμής συμβαίνει όταν αυτός σπάσει μηχανικά και παρατηρηθεί πτώση αγωγού. Ωστόσο, ακόμα κι αν αυτό συμβεί, οι μονωτήρες στους γειτονικούς πυλώνες θα πρέπει να μπορούν όχι μόνο να αναλάβουν το επιπλέον φορτίο, αλλά και να αντέξουν τη μηχανική καταπόνηση που σχετίζεται με ένα τέτοιο γεγονός, ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα αποκατάστασης και το κόστος. Για να αποφύγουμε τέτοιου είδους διαδοχικά σφάλματα στη γραμμή, οι μονωτήρες πρέπει να είναι κατάλληλα σχεδιασμένοι. Επιπλέον, οι μηχανικές ιδιότητες των μονωτήρων αποκτούν ακόμη μεγαλύτερη σημασία σε περιοχές με υψηλή σεισμική δραστηριότητα.

Ένας δεύτερος ανεπιθύμητος τύπος αστοχίας είναι η υπερπήδηση (flashover), που μπορεί να προκληθεί από υπερτάσεις ή ρύπανση. Καθώς όμως οι μονωτήρες είναι πιο φτηνοί από όλα

σχεδόν τα υπόλοιπα στοιχεία του συστήματος ενέργειας, μερικές φορές είναι αποδεκτό να επιτρέπουμε επιφανειακές εκκενώσεις στο μονωτήρα, αν αυτό προστατεύει έναν πιο ακριβό εξοπλισμό από μια πολύ μεγάλη υπέρταση. Ο μονωτήρας πρέπει βέβαια σ' αυτήν την περίπτωση να ανθίσταται σε όλες τις αναμενόμενες υπερτάσεις που προκαλούνται από συνηθισμένους χειρισμούς. Γι' αυτού του είδους τις καταπονήσεις, το μήκος τόξου στο μονωτήρα είναι η πιο σημαντική παράμετρος. Από την άλλη, μια αστοχία λόγω υπερπήδησης που οφείλεται σε συνθήκες ρύπανσης σχετίζεται κυρίως με το μήκος ερπυσμού του μονωτήρα και τις επιφανειακές του ιδιότητες.

Με άλλα λόγια, τα πολυμερή υλικά φαίνεται να είναι ιδανικά για εξωτερικούς μονωτήρες. Όμως, οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι συχνά τέτοιες που οδηγούν στη διάβρωση της επιφάνειας του πολυμερούς. Κάτι τέτοιο οδηγεί στην απώλεια των άριστων επιφανειακών ιδιοτήτων. Οι διαβρωτικές διαδικασίες συμβάλλουν σε μια μη αναστρέψιμη και χρονικά εξαρτώμενη φθορά. Όλα τα πολυμερή αποσυντίθενται σε θερμοκρασία μερικών εκατοντάδων βαθμών, ενώ επίσης υπόκεινται σε φωτόλυση, δηλαδή σε καταστροφή των επιφανειακών χημικών τους δεσμών από την πρόσπτωση της υπεριώδους ακτινοβολίας και είναι πιθανό να αντιδράσουν κατά τη λειτουργία τους με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο, προκαλώντας επιφανειακές ηλεκτρικές εκκενώσεις. Το σημαντικότερο μειονέκτημα των πολυμερών πηγάζει από το γεγονός ότι το βασικό στοιχείο τους, ο άνθρακας, αποτελεί στις περισσότερες περιπτώσεις έναν καλό ηλεκτρικό αγωγό. Η πιθανή προσβολή της επιφάνειας, ιδιαίτερα από τις έρπουσες μερικές εκκενώσεις, αυξάνει τοπικά τη θερμοκρασία και δημιουργεί τελικά αγωγίμες επιφανειακές οδούς που είναι δυνατό να οδηγήσουν σε επιφανειακή διάσπαση και δημιουργία υψηλών θερμοκρασιών, οπότε τελικά καταστρέφεται ο μονωτήρας.

6.4.5 Λειτουργίες μονωτήρων

Όλοι οι μονωτήρες πρέπει να καλύπτουν ηλεκτρικές και μηχανικές λειτουργικές ανάγκες, οι οποίες συνήθως εμφανίζονται στο σχεδιαστή αντιφατικές απαιτήσεις. Ο πιο σημαντικός παράγοντας περιπλοκής είναι η αδυναμία δημιουργίας ενός μη αγωγίμου στοιχείου στην πράξη. Όλοι οι μονωτήρες έχουν εξωτερικές επιφάνειες που θα ρυπανθούν έως ένα βαθμό όσο χρησιμοποιούνται. Μέσω της ρύπανσης θα μεταφέρεται το ρεύμα διαρροής: το επιφανειακό στρώμα, ενός αντιπροσωπευτικά ρυπασμένου μονωτήρα, θα περιέχει αδρανή

ορυκτή ύλη, ηλεκτρικά αγώγιμη σκόνη, όπως άνθρακα ή οξειδία μετάλλου, διαλυτά άλατα στο νερό και υγρασία. Αυτό το στρώμα θα συμπεριφέρεται σαν ένας μεταβλητός, μη γραμμικός αντιστάτης, ασταθής στις περισσότερες περιπτώσεις στην εμφάνιση ηλεκτρικών πεδίων. Το ρεύμα διαρροής θα προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας, των ηλεκτροχημικών προϊόντων ηλεκτρόλυσης και των ηλεκτρικών μερικών εκκενώσεων. Οι δευτερογενείς επιπτώσεις μπορούν να ποικίλλουν από την ηλεκτροχημική διάβρωση μέχρι τη δημιουργία εκκενώσεων, οι όποιοι μπορεί να οδηγήσουν στην υπερπήδηση του μονωτήρα και το σχηματισμό ηλεκτρικού τόξου στο περιβάλλον μέσο.

Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι το ρεύμα διαρροής και οι επιπτώσεις του καθορίζουν το σχεδιασμό ενός μονωτήρα, ειδικά στις κατηγορίες των μονωτήρων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε εξωτερικούς χώρους, εκτεθειμένους σε ατμοσφαιρική υγρασία και ρύπανση.

6.4.6 Παράμετροι ενός μονωτήρα

Οι τρεις βασικές παράμετροι που καθορίζουν τον τρόπο κατασκευής ενός μονωτήρα αλλά και την απόδοση του είναι οι εξής:

- i. οι ιδιότητες των υλικών κατασκευής.
- ii. η ικανότητα τους να λειτουργούν κάτω από δυσμενείς καιρικές συνθήκες και σε περιβάλλον βιομηχανικής ρύπανσης.
- iii. το κόστος τους.

Τα τρία βασικά υλικά σε έναν μονωτήρα είναι το διηλεκτρικό, οι ακροδέκτες που συνδέουν το διηλεκτρικό με την υπόλοιπη μηχανολογική δομή και τα ενδιάμεσα υλικά στο εσωτερικό του μονωτήρα όπως τσιμέντο και λιπαντικά. Τα διηλεκτρικά, που είναι συνήθως πορσελάνη, γυαλί ή πολυμερή, απαιτείται να διατηρούν την εφαρμοσμένη διάφορα δυναμικού για αρκετές δεκαετίες χωρίς να αστοχήσουν. Θα πρέπει επίσης να ανθίστανται σε καταπονήσεις κρουστικών τάσεων που προκαλούνται από κεραυνούς ή χειρισμούς διακοπών του δικτύου χωρίς να διασπώνται. Επειδή οι επιφάνειες των διηλεκτρικών μπορούν να γίνουν ηλεκτρικά αγώγιμες εξαιτίας της υγρασίας και των επικαθίσεων είναι απαραίτητη μια διαχρονική ανθεκτικότητα στις επιφανειακές ηλεκτρικές εκκενώσεις, τα ηλεκτροχημικά προϊόντα και τη

διάβρωση. Τα διηλεκτρικά που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στους μονωτήρες είναι τα κεραμικά και τα πολυμερή.

[Μαρσέλος Α., “Υπολογισμός του ηλεκτρικού πεδίου σε μονωτήρες Υ/Τα με χρήση λογισμικού FEM”, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 2011.]

6.5 Εξαφοριούχο θείο (SF₆)

Τα συστήματα των διακοπών αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των υποσταθμών και συνδέουν ή αποσυνδέουν το κύκλωμα και τα όργανα παρακολούθησης. Μετά από έρευνες έγινε δυνατή η καθιέρωση διακοπών ισχύος πάνω από 420kV / 63 kA , με μόνωση αερίου SF₆ “ουδετέρας δεξαμενής” το δυναμικό της οποίας ισούται με την γη, (Gas Insulated Switchgear – GIS) για την διακοπή ρεύματος, που λειτουργούν είδη σε πολλά σημεία του κόσμου. Ενώ για τάσεις από 132 kV έως 400 kV υπάρχει μια τάση για σταδιακή αντικατάστασης των διακοπών ελαίου και αέρα με διακόπτες αερίου SF₆ “ενεργούς δεξαμενής” το δυναμικό της οποίας είναι ίσο με την τάση δικτύου . Οι υποσταθμοί αυτοί καταλαμβάνουν πλέον μικρότερο χώρο, αφού είναι συμπαγείς και έτσι μπορούν να τοποθετηθούν είτε μέσα σε στεγασμένο χώρο είτε σε εξωτερικό χώρο. Τα πλεονεκτήματα των διακοπών GIS έναντι αυτών με μόνωση αέρα είναι πολλά. Διότι αν τοποθετηθούν σε στεγασμένο χώρο απαιτούν πολύ μικρότερο. Αν τοποθετηθούν σε εξωτερικό χώρο η σκόνη , η υγρασία κ.α. δεν επηρεάζουν την λειτουργία τους και έχουμε χαμηλό κόστος συντήρησης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής ενώ τοποθετούνται σε όποιον χώρο υπάρχει ανάγκη.



Εικόνα 28 : Διακόπτες ισχύος υποσταθμών διανομής ηλεκτρικού ρεύματος / Εξωτερική εμφάνιση διακόπτη ισχύος σε βιομηχανική μονάδα

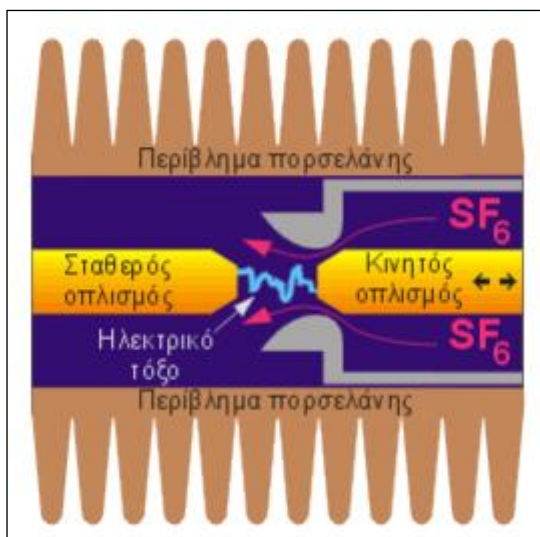


Εικόνα 29 Υποσταθμός με διακόπτες GIS με αέριο SF₆ 145 kV σε στεγασμένο χώρο

Το αέριο SF₆ σε κανονικές συνθήκες είναι μη τοξικό, άφλεκτο, χημικά αδρανές και σταθερό (δεν αποσυντίθεται στην αέρια φάση σε θερμοκρασίες μικρότερες από 500 °C). Λόγω της ηλεκτραρνητικότητάς του (ικανότητα να δεσμεύει ηλεκτρόνια) είναι άριστο

ηλεκτρομονωτικό υλικό σε εξαρτήματα διακοπών και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ακόμα και σε θερμοκρασίες αρκετά μεγαλύτερες από τους 21 °C . Η τάση διάσπασης του SF₆ είναι σχεδόν τρεις φορές μεγαλύτερη από αυτή του αέρα σε κανονικές συνθήκες πίεσης . Έχει τη δυνατότητα και ανασχηματίζεται πάλι μετά από διασπάσεις λόγω ηλεκτρικών εκκενώσεων ή τόξων. Τα περισσότερα παραπροϊόντα δεν υποβαθμίζουν την διηλεκτρική του αντοχή και μπορούν αφαιρεθούν σχετικά εύκολα με φιλτράρισμα. Κατά την διάρκεια των ηλεκτρικών τόξων, δεν παράγει κανέναν πολυμερισμό με άνθρακα ή άλλες αγωγίμες εναποθέσεις στον εξοπλισμό, είναι δε συμβατό με τα περισσότερα στερεά μονωτικά και αγωγίμα υλικά που χρησιμοποιούνται. Απαιτείται μεγάλη πίεση για να υγροποιηθεί στους 21°C και έτσι επιτρέπει να συμπιέζεται έως και 6 ατμόσφαιρες ώστε να καταφέρουμε τα μεγαλύτερα δυνατά αποτελέσματα σε μικρό όγκο εξοπλισμού. Υγροποιείται εύκολα με συμπίεση και αποθηκεύεται φιάλες αερίου ενώ η τιμή του είναι σχετικά χαμηλή.

Οι άριστες μονωτικές ιδιότητες του SF₆ και η ικανότητά του να σβήνει το ηλεκτρικό τόξο οφείλονται στην ισχυρή ηλεκτραρνητικότητά του αλλά και στο μέγεθος του μορίου του.

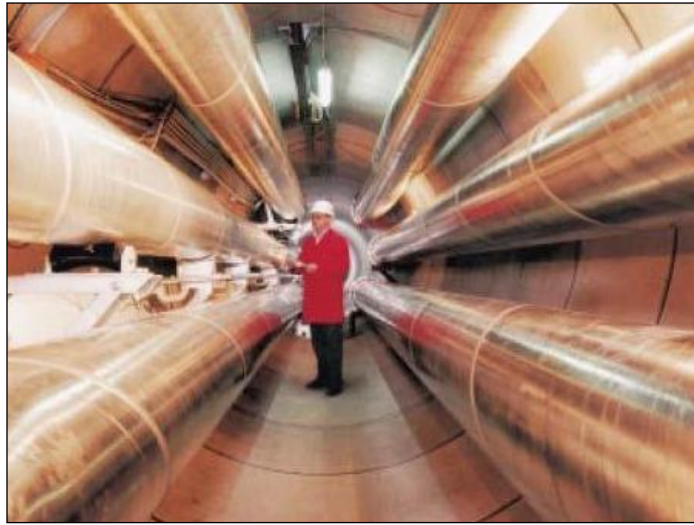


Σχήμα 43 : Αρχή λειτουργίας διακόπτη (GIS) για σβέση τόξου

6.5.1 Σύγχρονες χρήσεις του εξαθφοριούχου θείου

Η αυξανόμενη ζήτηση για συμπαγέστερο εξοπλισμό, οδήγησε στο να κατασκευαστούν γραμμές μεταφοράς υψηλών τάσεων (Gas Insulated Transmission Line -GITL) σε σωλήνες με μόνωση αερίου. Οι γραμμές αυτές που έχουν για μονωτικό SF₆ είναι κατάλληλες για πυκνοδομημένες βιομηχανικές περιοχές , υπόγειες σήραγγες μετρό και αλλού. Με τις γραμμές μεταφοράς GITL επιτυγχάνουμε την μεταφορά μεγαλύτερης ισχύος μέσα σε

κατοικημένες περιοχές ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μίγμα SF₆ αφού δεν απαιτείται η σβέση τόξου. Εικόνα



Εικόνα 30 : Γραμμή μεταφοράς με μόνωση μίγματος SF₆ σε υπόγεια σήραγγα

Μια ακόμα χρήση του SF₆ είναι ότι αντικαθιστά το λάδι στους μετασχηματιστές. Λόγω της εξαιρετικής απαγωγής θερμότητας, το ότι είναι άφλεκτο, μη τοξικό υλικό προτιμάται σαν μονωτικό στους μετασχηματιστές. Αυτοί οι μετασχηματιστές πλεονεκτούν έναντι των κλασικών αφού έχουν μικρότερο βάρος και επιπλέον έχουν χαμηλότερο επίπεδο θορύβου.



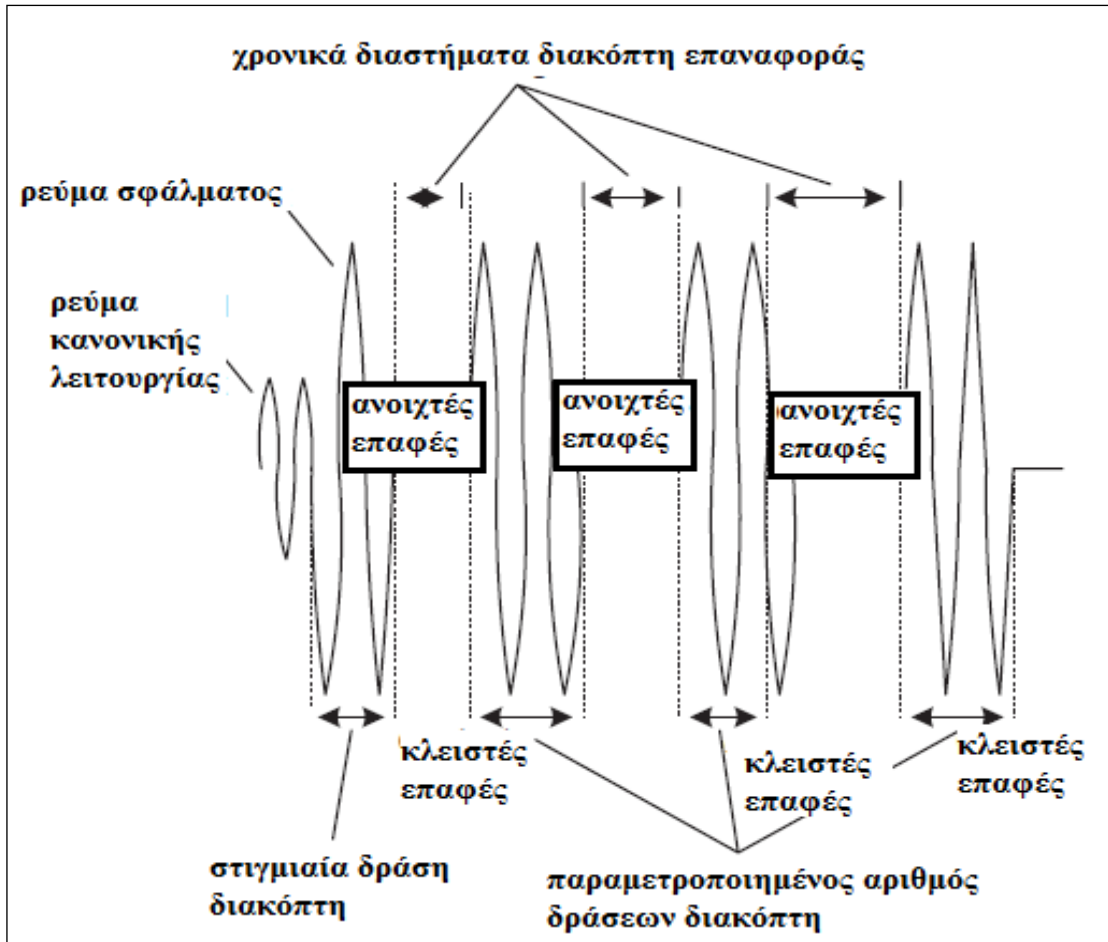
Εικόνα 31: Μετασχηματιστής ισχύος 1500 kVA με μόνωση SF₆ 22kV / 390 V

[Δημήτριος Ι. Γκίνης , “Εξειδικευμένες Χρήσεις και Εφαρμογές του Μονωτικού Αερίου SF₆”, ΗΜΜΥ ΕΜΠ, 2013.]

6.6 Διακόπτες αυτόματης επαναφοράς (reclosers)

Μελέτες έχουν καταδείξει πως τα περισσότερα σφάλματα που συμβαίνουν στις εναέριες γραμμές μεταφοράς είναι παροδικά και μπορούν να αρθούν χωρίς να απαιτείται η διακοπή τροφοδοσίας ισχύος στους καταναλωτές. Αυτό συναντάται ιδιαίτερα σε γραμμές μεταφοράς που πλήττονται συχνά από κεραυνοπτώσεις ή από στοιχεία του περιβάλλοντα χώρου (δέντρα, ζώα).

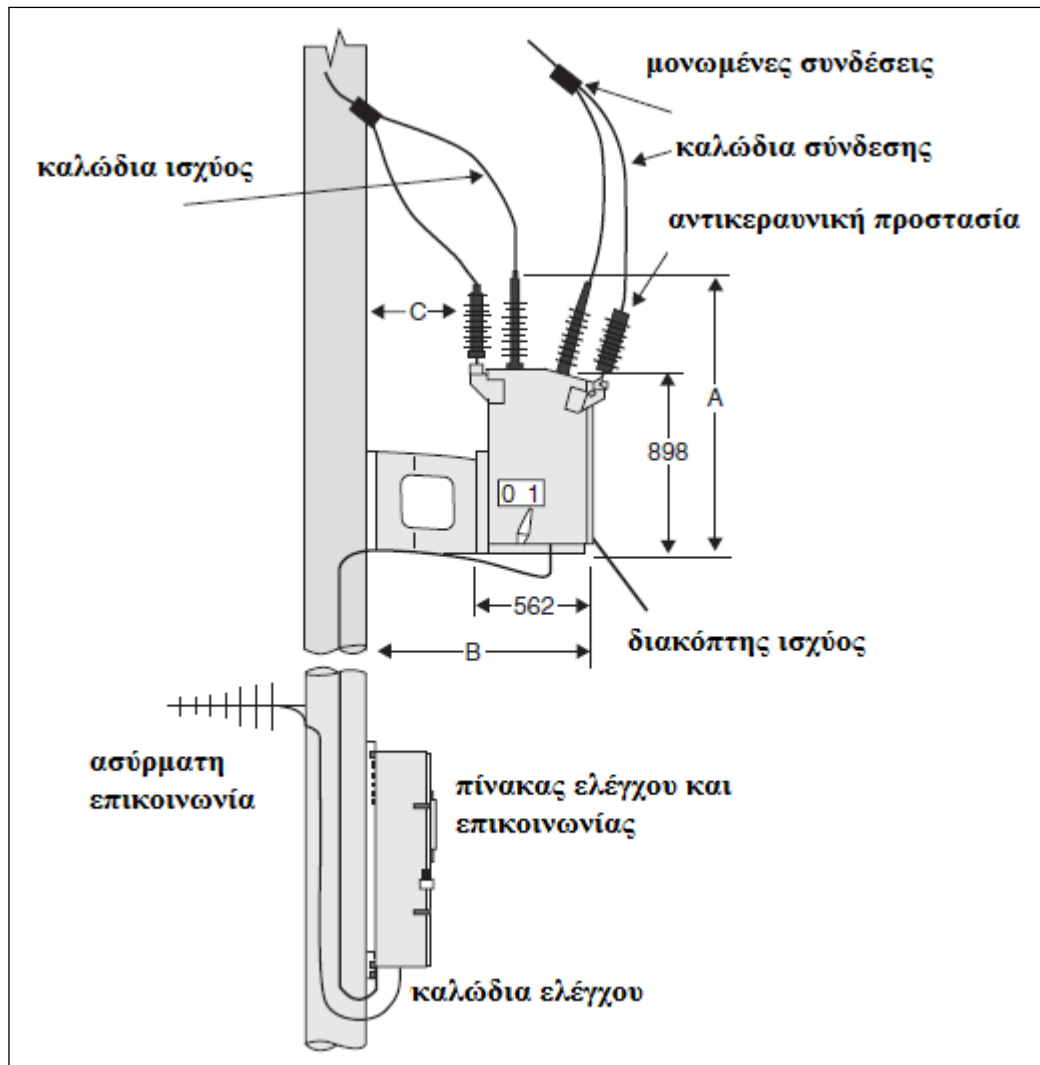
Η βασική αρχή λειτουργίας ενός διακόπτη αυτόματης επαναφοράς (recloser) είναι η ανίχνευση ενός σφάλματος και κατά συνέπεια διακοπή του κυκλώματος, δηλαδή το ηλεκτρικό «άνοιγμα» των επαφών του, αλλά η επαναφορά τους σε ηλεκτρικά «κλειστή» θέση μετά από παραμετροποιημένο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, η δράση ενός τέτοιου διακόπτη γίνεται αυτόματα, χωρίς την ανάγκη χειρισμού, ενώ μπορεί να επαναληφθεί πολλαπλές φορές μέχρι την εκκαθάριση του σφάλματος στην περιοχή εμβέλειας του διακόπτη. Έτσι, κατά το χρονικό διάστημα που οι επαφές του διακόπτη αυτόματης επαναφοράς βρίσκονται στην «ανοιχτή» θέση, το κύκλωμα δεν ηλεκτρίζεται και θεωρείται πως παύει το ισχύον σφάλμα, οπότε κατά τη μεταγωγή των επαφών του στη «κλειστή θέση» επιτυγχάνεται η εκκαθάριση του σφάλματος και η επανα- ηλεκτρίση του κυκλώματος. Βέβαια, στην περίπτωση που δεν επιτυγχάνεται η άρση του σφάλματος, έπειτα από δράσεις του διακόπτη επαναφοράς, εκείνος παύει να επιχειρεί περαιτέρω χειρισμό. Συνήθως, οι διάφοροι κατασκευαστές ορίζουν ως μέγιστο αριθμό αυτόματων δράσεων τις τέσσερις. Μετά το πέρας αυτών, ο διακόπτης μεταβαίνει σε κατάσταση κλειδώματος και απαιτείται εξωτερική εντολή για την επαναφορά των επαφών του στη «κλειστή» ηλεκτρικά θέση.



Σχήμα 44 : Αλληλουχία λειτουργίας διακόπτη επαναφοράς σε περίπτωση μόνιμου σφάλματος

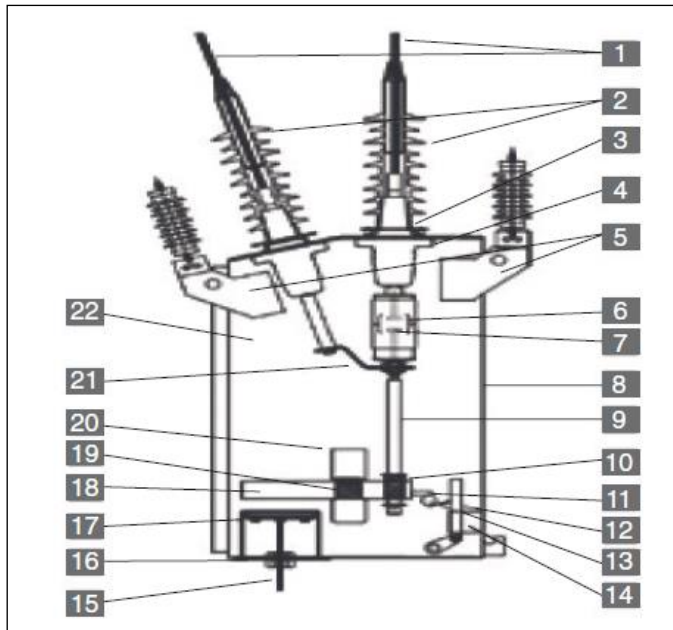
Γενικότερα, η αρχή που διέπει την επιλογή ενός διακόπτη αυτόματης επαναφοράς, όπως και κάθε συσκευή προστασίας, είναι ότι ο χρόνος δράσης του διακόπτη επαναφοράς πρέπει να είναι μικρότερος από οποιαδήποτε συσκευή προστασία που έχει τοποθετηθεί ανάντι, και μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο των συσκευών που είναι τοποθετημένες κατάντι

Τυπική διάταξη διακόπτη αυτόματης επαναφοράς, τοποθετημένου σε ξύλινο πυλώνα και συνοδευόμενου από πίνακα ελέγχου και επικοινωνίας :



Σχήμα 45 : Διάταξη διακόπτη αυτόματης επαναφοράς του οίκου Merlin Gerin

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]



Σχήμα 46 : Τομή διακόπτη ισχύος α
επαναφοράς

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, "Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

Όπου:

1. Μονωμένοι ακροδέκτες καλωδίων
2. Μονωτήρες στήριξης πολυμερούς υλικού
3. Δακτύλιοι
4. Μ/Σ έντασης
5. Αντικεραυνικοί προστασία
6. Διακόπτης κενού
7. Επαφές
8. Ανοξείδωτη δεξαμενή
9. Κινούμενη επαφή
10. Ελατήριο επαφής
11. Μανδάλωση
12. Οπλισμός μπάρας σφάλματος
13. Μπάρα σφάλματος
14. Πηνίο σφάλματος
15. Καλώδιο ελέγχου
16. Στυπιοθλήπτης
17. Διακόπτης απομόνωσης
18. Μηχανισμός σκανδαλισμού
19. Ελατήριο ανοίγματος επαφών
20. Πηνίο κλεισίματος επαφών
21. Ευλύγιστος βραχίονας σύνδεσης
22. Δεξαμενή μονωτικού αερίου

6.6.1 Σημεία τοποθέτησης διακοπών αυτόματης επαναφοράς

- i. Εναέριες γραμμές μεταφοράς εκτεθειμένες σε κεραυνούς

Μια ηλεκτρική καταιγίδα μπορεί να δημιουργήσει ιδιαίτερα υψηλές τιμές ρεύματος σε συνδυασμό με υψηλές τιμές δυναμικού με αποτέλεσμα να απαιτείται η χρήση μονάδων προστασίας με μικρούς χρόνους δράσης, της τάξεως των 75ms. Με την τοποθέτηση των αυτομάτων διακοπών επαναφοράς αποφεύγεται η χρήση τηκτών ασφαλειών για την προστασία από τα συγκεκριμένα φαινόμενα, πράγμα που οδηγεί στη μείωση του χρόνου αποκατάστασης της λειτουργίας της γραμμής και φυσικά στη μείωση του κόστους.

- ii. Απομακρυσμένες εγκαταστάσεις

Απομακρυσμένα ελεγχόμενοι διακόπτες αυτόματης επαναφοράς επιτρέπουν τη γρήγορη διακοπτική λειτουργία και την ταχεία αναδιαμόρφωση του δικτύου σύμφωνα με τις ανάγκες των καταναλωτών με κύριο χαρακτηριστικό την ταχύτητα απόδοσης του δικτύου μεταφοράς.

iii. Τροφοδοσία ακτινωτής διάταξης

Δίκτυα ακτινωτής διάταξης μεγάλου μήκους απαιτούν πολλαπλές συσκευές προστασίας ώστε να επιτευχθεί η προστασία επάλληλων ζωνών προστασίας. Γεγονός που εδράζεται στην συντονισμένη λειτουργία πολλαπλών διακοπών επαναφοράς προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα μικρών σφαλμάτων που δεν δύναται να γίνουν αντιληπτά από όμορες συσκευές προστασίας.

iv. Υποσταθμοί

Οι διακόπτες αυτόματης επαναφοράς προσφέρουν την πρωτεύουσα προστασία ενός συγκεκριμένου δικτύωματος.

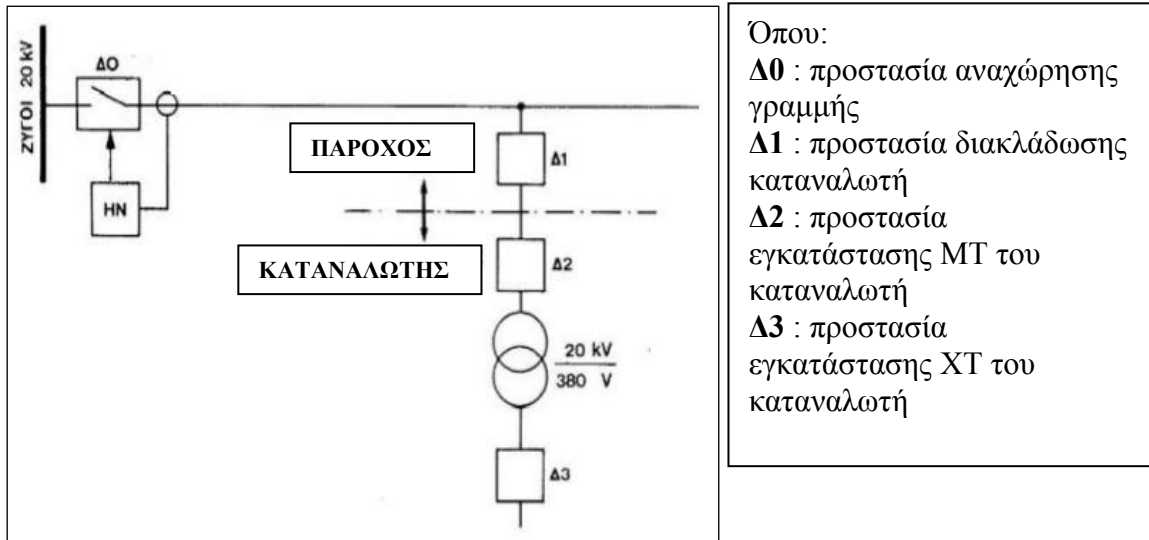
v. Εγκαταστάσεις συμπαραγωγής

Στις εγκαταστάσεις συμπαραγωγής χρησιμοποιούνται διακόπτες αυτόματης επαναφοράς στο σημείο διασύνδεσης της εγκατάστασης είτε με το φορτίο είτε με τον πάροχο ηλεκτρικής ενέργειας. Ο σκοπός τους είναι να συνδέουν ηλεκτρικά την εγκατάσταση μόνο όταν η παραγόμενη από αυτή ισχύς είναι συγχρονισμένη με τα πρότυπα του φορτίου αλλά και του παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι επιτυγχάνεται η ασφαλής λειτουργία του φορτίου αλλά και ο αποτελεσματικός διαμοιρασμός του.

6.7 Διακόπτες απομόνωσης (sectionalizers)

Στα σημεία τροφοδότησης των καταναλωτών ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας εγκαθιστά, πριν την εγκατάσταση του καταναλωτή, ένα μέσο προστασίας Δ1 της διακλάδωσης (Σχήμα). Το μέσο προστασίας είναι ρυθμισμένο ή επιλεγμένο έτσι ώστε σε περίπτωση σφαλμάτων στην εγκατάσταση του καταναλωτή να διακόπτεται η διακλάδωσή του πριν ανοίξει ο διακόπτης Δ0 στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Έτσι δεν ενοχλούνται οι υπόλοιποι καταναλωτές ΜΤ που είναι στην ίδια γραμμή, αν γίνει σφάλμα σε ένα από αυτούς. Το μέσο προστασίας Δ1 της παροχής που εγκαθιστά ο πάροχος ηλεκτρικής ενέργειας προσδιορίζεται από τον τύπο της παροχής και μπορεί να είναι: ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης ,

διακόπτης απομόνωσης (sectionalizer) , αυτόματος διακόπτης ισχύος με τους κατάλληλους Η/Ν και ασφάλειες σκόνης.



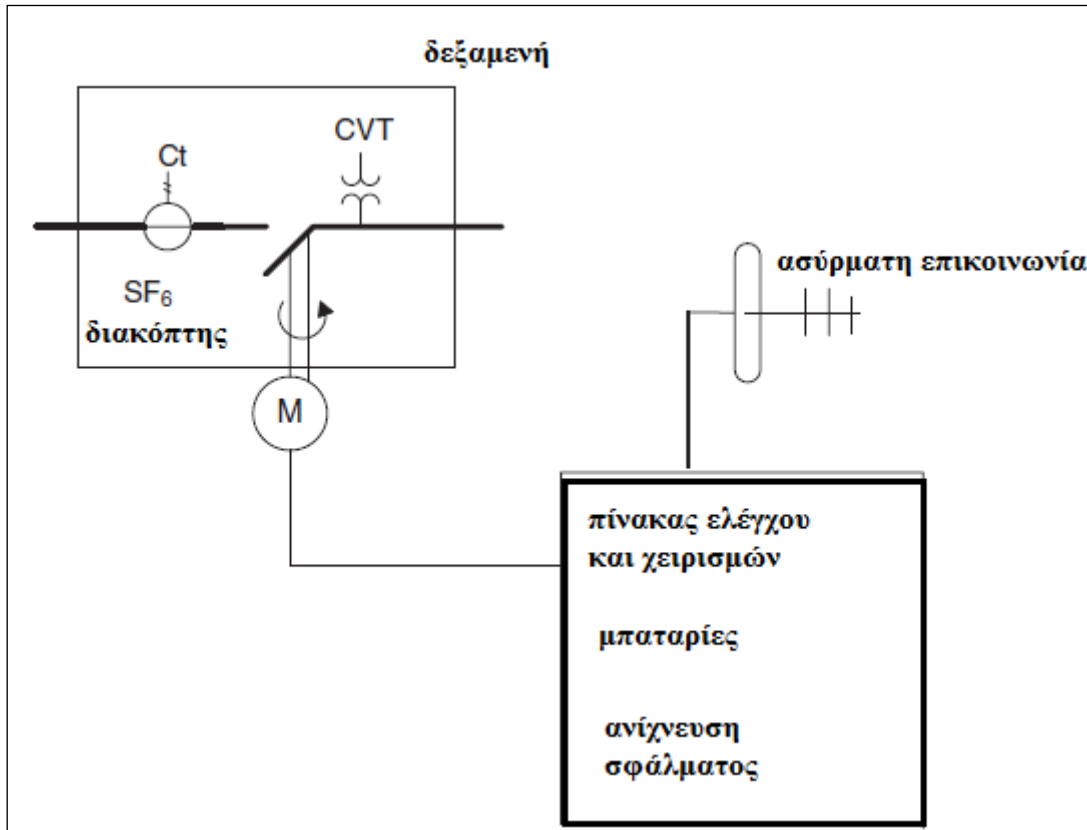
Σχήμα 47: Διανομή μέσης τάσης με δυνατότητα απομόνωσης του καταναλωτή

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

Οι διακόπτες απομόνωσης λειτουργούν σε σφάλματα που συμβαίνουν σε διακλαδώσεις δικτύων. Οι διακόπτες απομόνωσης Του παρόχου δεν διακόπτουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης διότι έχουν προδιαγραφές διακόπτη φορτίου, διεγείρονται όμως από το ρεύμα βραχυκύκλωσης και από τους κύκλους λειτουργίας (επαναφοράς) του διακόπτη ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Μετρούν με εσωτερικό μηχανισμό, αμέσως μόλις περάσει απ’ αυτούς το ρεύμα βραχυκύκλωσης, τους κύκλους λειτουργίας του διακόπτη ισχύος. Στον τελευταίο κύκλο ανοίγουν αφού ανοίξει ο Δ/Ι. Ακολούθως ο Δ/Ι κλείνει, μένει κλειστός, ενώ ο ΔΑ μένει ανοικτός. Σε παροχές ΜΤ μπορεί ο ΔΑ να ρυθμιστεί για να ανοίγει ήδη από τον πρώτο κύκλο, δηλαδή αμέσως μετά το άνοιγμα του διακόπτη ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Έτσι απομονώνεται ο καταναλωτής, ενώ ο Δ/Ι στην αναχώρηση της γραμμής παραμένει κλειστός. Η τροφοδότηση των λοιπών καταναλωτών ΜΤ υφίσταται μόνο τις διακοπές που προέρχονται από τους κύκλους λειτουργίας του Δ/Ι στην αναχώρηση. Πλεονέκτημα των ΔΑ έναντι των ασφαλειών είναι ότι δεν χρειάζονται αλλαγή, όπως οι ασφάλειες και έχουν πλήρη συνεργασία με το Δ/Ι στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Η επανάρξευξή τους γίνεται είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα αφού πρώτα βέβαια αποκατασταθεί

το σφάλμα από συνεργείο του παρόχου ηλεκτρικής ενέργειας. Στους ΔΑ μπορεί να υπάρχει και διάταξη δέσμευσης κατά τη ζεύξη Μ/Σ, δηλαδή να μη διεγείρονται με ρεύματα ζεύξης.

Ένα μπλοκ διάγραμμα παρουσιάζει τα βασικά στοιχεία που απαρτίζουν έναν αυτόματο διακόπτη απομόνωσης:



Σχήμα 48 : Μπλοκ διάγραμμα διακόπτη απομόνωσης

[Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.]

Βιβλιογραφία 6^ο Κεφαλαίου

- [1] Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.
- [2] Hennig Gremmel, Gerald Kopatsch, “Switchgear Manual 11th Edition”, Cornelsen Verlag Scriptor GmbH & Co. KG, Berlin , 2002
- [3] Μαρσέλος Α., “Υπολογισμός του ηλεκτρικού πεδίου σε μονωτήρες Υ/Τα με χρήση λογισμικού FEM”, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 2011.
- [4] Δημήτριος Ι. Γκίνης , “Εξειδικευμένες Χρήσεις και Εφαρμογές του Μονωτικού Αερίου SF₆”, HMMY EMPI, 2013.
- [5] Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.

7 ^οΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ”

Ένα Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας όχι μόνο πρέπει να ανταποκρίνεται στο παρόν του φορτίου που εξυπηρετεί, αλλά και να παρουσιάζει ευελιξία στη μελλοντική ζήτηση. Ένα Σ.Η.Ε. είναι σχεδιασμένο να παράσχει ηλεκτρική ενέργεια σε επαρκή ποσότητα με αποτέλεσμα να καλύψει την τρέχουσα και μελλοντική απαίτηση ισχύος σε μια ορισμένη περιοχή καταναλωτών σε μόνιμη βάση. Με στόχο την μέγιστη απόσβεση του κεφαλαίου που επενδύεται για τη δόμηση ενός τέτοιου συστήματος πρέπει η λειτουργία του να είναι απρόσκοπτη και ποιοτική, ενώ σε περιπτώσεις βλαβών, να είναι δυνατή η άμεση άρση τους.

Αρχικά, η βελτιστοποίηση του συστήματος προϋποθέτει την τοποθέτηση εξαρτημάτων που να εξασφαλίζεται η αδιάκοπη λειτουργία τους με τις ελάχιστες δυνατές απαιτήσεις σε συντήρηση και επισκευές ούτως ώστε να διατηρείται η συνέχεια στην υπηρεσία του καταναλωτή. Βέβαια, είναι λογικό πως κάτι τέτοιο έχει έντονο αντίκτυπο σε οικονομικά μεγέθη και πολλές φορές απαιτούνται ιδιαίτερες μέθοδοι προκειμένου να επιτευχθεί, π.χ. διαχωρισμός των καταναλωτών ανάλογα με την κοινωνική σημασία τους.

Εν συνεχεία, σημαντικός είναι ο σχεδιασμός κατά τον οποίο λαμβάνονται υπόψη πιθανά φαινόμενα και σφάλματα που μπορούν να οδηγήσουν σε χρονοβόρες διακοπές του συστήματος. Πολλές φορές η διαδικασία σχεδιασμού ενός Σ.Η.Ε. ή ακόμη και η διαχείριση ενός σφάλματος που λαμβάνει χώρα απαιτούν αρκετό χρόνο ώστε η επαναφορά του συστήματος να γίνει με τον πιο ασφαλή και στιβαρό τρόπο. Γενικά, η βασική ιδέα κατά τη διάρκεια διαταραχών του συστήματος να περιορίζεται και να απομονώνεται το σφαλματικό μέρος του δικτύου, έτσι ώστε το υπόλοιπο σύστημα να εξακολουθεί να διανέμει ενέργεια στις περιοχές που έχουν οριστεί. Ως εκ τούτου, ειδικός εξοπλισμός εγκαθίσταται με σκοπό την ανίχνευση τέτοιου είδους σφαλμάτων, τα οποία υπάρχει πιθανότητα να συμβούν σε διάφορους τομείς του δικτύου, την απομόνωση των ελαττωματικών περιοχών, ώστε η διακοπή της ισχύος να περιοριστεί τοπολογικά (insulation coordination). Ο συγκεκριμένος αυτός εξοπλισμός αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως Εξοπλισμός Προστασίας και στο σύνολό του υλοποιεί το Σύστημα Προστασίας ενός Σ.Η.Ε.

Ο ηλεκτρονόμος προστασίας αποτελεί κύριο στοιχείο του Εξοπλισμού Προστασίας και ο σκοπός του είναι να αποσυνδέει ηλεκτρικά το σφαλματικό μέρος του κυκλώματος. Αυτή του

η δράση διασφαλίζει ότι το υπόλοιπο κύκλωμα θα συνεχίζει να τροφοδοτείται με ισχύ άρα θα εξυπηρετεί τους σκοπούς του, ενώ περιορίζεται η ζημιά λόγω έλλειψης τροφοδοσία των σφαλματικών ρευμάτων που αναπτύσσονται. Έτσι, η χρήση του Εξοπλισμού Προστασίας είναι αναγκαία ώστε η ζητούμενη παραγόμενη, μεταφερόμενη και διανεμόμενη ενέργεια να διακόπτεται ή να αποκαθίσταται στους ελάχιστους δυνατούς χρόνους. Είναι εμφανές λοιπόν, πως η χρήση του Εξοπλισμού Προστασίας είναι ζωτικής σημασίας ώστε να ψαλιδίζονται οι επιδράσεις των σφαλμάτων, τα οποία μπορούν να θέσουν εκτός λειτουργία ακόμη και ένα εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Βασικές απαιτήσεις του Συστήματος Προστασίας είναι η διαφύλαξη του συνόλου του Σ.Η.Ε. προκειμένου να διατηρείται η απρόσκοπτη τροφοδοσία προς τους καταναλωτές. Ακόμη, σημαντικός στόχος αποτελεί η ελαχιστοποίηση των ζημιών και του κόστους αποκατάστασης. Τέλος και κυριότερο είναι να θεμελιώνεται η ασφάλεια των ανθρώπων, χειριστών και καταναλωτών που έρχονται σε διεπάφη με το Σ.Η.Ε. Όλες αυτές οι απαιτήσεις είναι αναγκαίες, όχι μόνο διότι εγγυώνται την έγκαιρη ανίχνευση και περιορισμό του σφάλματος αλλά και εξασφαλίζουν την μεθοδική και ταχεία απομάκρυνση του μη λειτουργικού εξοπλισμού κατά την εκδήλωση ενός σφάλματος.

Θεμελιώδεις όροι που συναντώνται στη βιβλιογραφία για την περιγραφή ενός Συστήματος προστασίας είναι η επιλεκτικότητα, δηλαδή ο εντοπισμός του σφαλματικού εξοπλισμού, η σταθερότητα, δηλαδή η αδυναμία ενός σφάλματος να επηρεάζει υγιή κομμάτια του δικτύου. Ακόμη, είναι η ευαισθησία της ανίχνευσης ακόμη και ελασσόνων σφαλμάτων πριν προλάβουν να αποβούν σε καταστροφικά και μη διαχειρίσιμα. Τέλος, η ταχύτητα και η ασφάλεια προσφέρουν ευρωστία και δυναμική στο σύστημα.

Η ακριβής προστασία δεν μπορεί να επιτευχθεί παρά μόνο με ορθές μετρήσεις που συλλέγονται από το σύνολο του Σ.Η.Ε. και αναπαριστούν τη συμπεριφορά του δικτύου και σε ομαλές συνθήκες αλλά και σε συνθήκες σφάλματος. Τα μεγέθη της τάσης και του ρεύματος αντικατοπτρίζουν τη βιωσιμότητα του δικτύου. Οι μετρήσεις διεξάγονται από μετασχηματιστές τάσης και έντασης οι οποίοι δίνουν εικόνα για τις παραμέτρους του δικτύου χωρίς να επηρεάζονται από τα σφάλματα που συμβαίνουν στο κύριο σώμα του δικτύου. Εν συνεχεία, οι μετρήσεις αυτές μετατρέπονται σε σήματα σκανδαλισμού των ηλεκτρονόμων, οι οποίοι με τη σειρά τους αποτελούν πλέον ολοκληρωμένα συστήματα ψηφιακής τεχνολογίας και συνάδουν στη βέλτιστη λειτουργία του Συστήματος Προστασίας.

Βιβλιογραφία

- [1] Detlef Lucius, “Planning of Electric Power Distribution, Technical Principles”, Energy Management, Medium Voltage and Systems, Siemens AG Berlin and Munich, 2015.
- [2] John J. Grainger, William D. Stevenson, Jr., “Power System Analysis”, McGraw- Hill, Inc., 1994.
- [3] George Anders, Alfredo Vaccaro, “Innovations in Power Systems Reliability”, Springer, 2011.
- [4] Mario Willims, “Power Engineering Guide 6.1th Edition” , Publics Pro , Siemens Energy Sector, 2011.
- [5] Stephen J. Chapman, “Ηλεκτρικές Μηχανές, 4^η Έκδοση”, Εκδόσεις Τζιόλα, 2009.
- [6] Jack Casazza, Frank Delea, “Understanding Electric Power Systems”, A John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [7] Νικόλαος Α. Βοβός, “Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Ζήτη, 2002.
- [8] Anthony J. Pansini, “Transmission line reliability and Security”, The Fairmont press Inc, 2004.
- [9] Nasser Tleis, “ Power Systems Modeling and Fault Analysis”, Newnes , 2007.
- [10] Abdelhay A. Sallam, O.P. Malik, “Electric Distribution Systems, John Wiley & Sons, 2011.
- [11] Andrew R. Hileman, “Insulation Coordination for Power Systems”, CRC Press, 1999.
- [12] L.G. Hewitson, Mark Brown, Ramesh Balakrishnan, “Power System Protection”, Elsevier, 2004.
- [13] René Peter Paul Smeets, “Handbook of Switchgears”, McGraw-Hill, 2007.

- [14] Hennig Gremmel, Gerald Kopatsch, “Switchgear Manual 11th Edition”, Cornelsen Verlag Scriptor GmbH & Co. KG, Berlin , 2002
- [15] Μαρσέλος Α., “Υπολογισμός του ηλεκτρικού πεδίου σε μονωτήρες Υ/Τα με χρήση λογισμικού FEM”, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, 2011.
- [16] Δημήτριος Ι. Γκίνης , “Εξειδικευμένες Χρήσεις και Εφαρμογές του Μονωτικού Αερίου SF₆”, ΗΜΜΥ ΕΜΠ, 2013.

ΑΘΗΝΑ

Μάιος - 2016

