



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1776

ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΣΩΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

ΜΑΡΚΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΑΜ: 6994

ΤΡΑΚΑΚΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ, ΑΜ: 7025

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2021

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα σφάλματα που δημιουργούνται στα δίκτυα μέσης τάσης μπορεί να είναι μεγάλης έκτασης και για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι μέσων προστασίας με σκοπό τον περιορισμό ή/και την αποφυγή τους. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται τα μέσα προστασίας που χρησιμοποιούνται σε δίκτυα μέσης τάσης. Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο όπου παρουσιάζονται και αναλύονται τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια, στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται τα είδη των σφαλμάτων που συναντούμε σε τέτοιου είδους δίκτυα, ενώ παρακάτω, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα μέσα προστασίας των δικτύων αυτών. Τέλος, στο κεφάλαιο πέντε παρατίθενται διάφορα παραδείγματα σφαλμάτων καθώς και των εκάστοτε χειρισμών που χρειάζονται.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	I
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	II
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	V
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	VI
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	VII
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	1
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	1
1.1 Αρχαία Χρόνια.....	1
1.2 17 ^{ος} αιώνας.....	2
1.3 Βιομηχανική Επανάσταση.....	2
1.4 Σύγχρονη Εποχή	4
1.5 Ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα	5
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	9
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	9
2.1 Περιγραφή Ελληνικού ΣΗΕ	9
2.2 Περιγραφή συστήματος Μεταφοράς και Διανομής.	12
2.3 Οι αδυναμίες του ηλεκτρικού δικτύου.....	15
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	19
ΕΙΔΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	19
3.1 Υπερταχεία μεταβατικά ή σφάλμα ανοικτού κυκλώματος	20
3.2 Μέσης ταχύτητας μεταβατικά φαινόμενα– βραχυκυκλώματα.....	21
3.2.1 Βραδέα μεταβατικά φαινόμενα – Μεταβατικά ευστάθεια	22
3.2.2 Μεταβατικά φαινόμενα λόγω λειτουργίας διακοπών	23
3.3 Συμμετρικά βραχυκυκλώματα.....	24
3.3.1 Σφάλμα Γραμμής - Γραμμής – Γραμμής.....	24
3.3.2 Συμμετρικά τριφασικά βραχυκυκλώματα στις σύγχρονες μηχανές 26	
3.3.3 Ασύμμετρα βραχυκυκλώματα	28

4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	31
4.1	Τυποποιημένες παροχές μέσης τάσης της ΔΕΗ	31
4.1.1	Παροχή τύπου A1 και A2	31
4.1.2	Παροχή τύπου B1 και B2	32
4.2	Απαγωγείς τάσεων	32
4.2.1	Πώς είναι κατασκευασμένοι οι απαγωγείς τάσης	34
4.3	Χαρακτηριστικά μεγέθη των απαγωγέων τάσεων	35
4.4	Αποζεύκτες, γειωτές	36
4.5	Ασφάλειες εκτόνωσης μέσης τάσης	38
4.5.1	Πως λειτουργεί μια ασφάλεια HRC.....	39
4.5.2	Χαρακτηριστικές απόξευξης των ασφαλειών HRC	41
4.6	Διακόπτες ισχύος	41
4.6.1	Τα μέρη του διακόπτη ισχύος.....	43
4.6.2	Διακόπτες ισχύος επί φορείου	45
4.6.3	Χαρακτηριστικά μεγέθη των διακοπτών ισχύος	47
4.6.4	Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπτών ισχύος SF6	48
4.6.5	Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπτών ισχύος πτωχού ελαίου 49	
4.7	Αποζεύκτες φορτίου.....	50
4.7.1	Σβέση τόξου με φύσημα αέρα στο διακόπτη φορτίου	51
4.7.2	Αποζεύκτης φορτίου με ασφάλειες HRC	51
4.8	Ηλεκτρονόμοι προστασίας.....	53
4.8.1	Επιλογική προστασία	54
4.8.2	Πώς είναι κατασκευασμένος ένας ηλεκτρονόμος προστασίας 55	
4.8.3	Ηλεκτρονόμος υπερέντασης αντίστροφου χρόνου	56
4.8.4	Ηλεκτρονόμος υπερέντασης σταθερού χρόνου.....	58
4.9	Μετασχηματιστές έντασης	59
4.9.1	Πυρήνας μέτρησης και πυρήνας προστασίας, συντελεστές κορεσμού	60
4.9.2	Σύνδεση μετασχηματιστών μέτρησης	62
4.9.3	Χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών έντασης.....	64
4.10	Μετασχηματιστές τάσης.....	65

4.10.1	Σύνδεση μετασχηματιστών τάσης	67
4.10.2	Χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών τάσης.....	69
4.11	Μετασχηματιστές ισχύος.....	71
4.11.1	Απώλειες χαλκού και σιδήρου	71
4.11.2	Διαφορική προστασία μετασχηματιστή ισχύος	72
4.11.3	Επιλεκτική συνεργασία μεταξύ των οργάνων προστασίας στις δύο πλευρές του μετασχηματιστή	73
4.11.4	Προστασία μετασχηματιστή ισχύος από υπερφόρτιση.....	75
4.11.5	Χαρακτηριστικά μεγέθη.....	78
4.11.6	Τάση βραχυκύκλωσης	79
4.11.7	Εγκατάσταση και ψύξη του μετασχηματιστή ισχύος	80
4.11.8	Συνδεσμολογία τυλιγμάτων του μετασχηματιστή ισχύος....	82
4.11.9	Πώς είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής με μόνωση λαδιού 85	
4.11.10	Πώς είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση χυτο-ρητίνης	88
4.11.11	Προστασία μετασχηματιστή λαδιού από εσωτερικά σφάλματα 91	
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	93
	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ	93
5.1	Κατηγορίες σφαλμάτων	93
5.2	Σφάλματα στα εναέρια δίκτυα	93
5.3	Σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα.....	95
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1	Η μπαταρία της Βαγδάτης	1
Εικόνα 1.2	Benjamin Franklin	3
Εικόνα1.3	Εναερίτης εν ώρα εργασίας	7
Εικόνα1.4	Ηλεκτροδότηση χωριού	8
Εικόνα 3.1	Σφάλμα ανοικτού κυκλώματος	21
Εικόνα 3.2	Μεταβατική τάση αποκατάστασης για βραχυκύκλωμα κοντά στον διακόπτη	23
Εικόνα3.4	Σφάλμα L-L-L	25
Εικόνα 3.5	Σφάλμα L-L-L-G	25
Σχήμα 3.6	Συμμετρικό βραχυκύκλωμα ζυγού	26
Εικόνα 3.9	Σφάλμα γραμμής - εδάφους	29
Εικόνα 3.10	Σφάλμα γραμμής προς γραμμή	30
Εικόνα 3.11	Σφάλμα γραμμής –γραμμής μέσω του εδάφους	30
Σχήμα 4.1	Τυποποιημένη μορφή κρουστικής τάσης	33
Εικόνα 4.2	Απαγωγείς τάσης σε εναέριο δίκτυο 20 kV	34
Σχήμα 4.3	Ισοδύναμο κύκλωμα για απαγωγέα τάσης SiC	34
Σχήμα 4.4	Ισοδύναμο κύκλωμα για απαγωγέα τάσης ZnO	35
Εικόνα 4.5	Τομή απαγωγέα τάσης με αντιστάσεις ZnO	35
Εικόνα 4.6	Αποζεύκτης ονομαστικής τάσης 24 kV με μαχαίρια	38
Εικόνα 4.7	Ασφάλεια εκτόνωσης πάνω σε στύλο Μ.Τ.	39
Εικόνα 4.8	Τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια ασφάλεια σκόνης ..	40
Εικόνα 4.9	Οι φάσεις κατά την σβέση του τόξου σε ρεύμα βραχυκυκλώματος στο πόλο ενός διακόπτη ισχύος SF6	42
Εικόνα 4.10	Τομή ενός διακόπτη ισχύος	42
Εικόνα4.11	Αρχή μηχανικής λειτουργίας διακόπτη ισχύος	42
Εικόνα4.12	Διακόπτης ισχύος SF6	44

Εικόνα4.13	Διακόπτης ισχύος επί φορείου	46
Εικόνα 4.15	Μοριακή δομή του αερίου SF6	49
Εικόνα4.16	Διάφοροι τύποι διακοπών φορτίων – αποζευκτών μέσης τάσης	50
Εικόνα4.17	Εξωτερική όψη κούφιου μονωτήρα και τομή μονωτήρα και αρχή λειτουργίας.....	51
Εικόνα4.18	Ψηφιακός ηλεκτρονόμος υπέρεντασης και σφάλματος προς γη	56
Εικόνα 4.19	μετασχηματιστής έντασης	65
Εικόνα 4.20	Μετασχηματιστής τάσης μονοπολικός και διπολικός	69
Εικόνα 4.21	Κουτί με ηλεκτρονόμους προστασίας.....	77
Εικόνα 4.22	ΜΣ λαδιού	85
Εικόνα 4.23	ΜΣ ξηρού τύπου.....	89

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1	Υδροηλεκτρικοί σταθμοί διασυνδεδεμένου συστήματος	17
Πίνακας 2-2	Θερμικοί σταθμοί διασυνδεδεμένου συστήματος.....	18
Πίνακας 4-1	Τυποποιημένες παροχές μέσης τάσης της ΔΕΗ	31
Πίνακας 4-2	Τεχνικά στοιχεία μετασχηματιστών λαδιού ονομαστικής τάσης 20/0,4 kV	71

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 4-1	Διαστάσεις σε mm ασφαλειοαποζεύκτη φορτίου ονομαστικής τάσης 24 kV	52
Σχήμα 4-2	Τα δύο βασικά είδη προστασίας: (α) πρωτογενής προστασία μιας τηκτής ασφάλειας, (β) πρωτογενής προστασία μιας αυτόματης ασφάλειας, (γ) δευτερογενής προστασία σε διακόπτη ισχύος.....	54

Σχήμα 4-3	Σμήνος καμπυλών αντιστρόφου χρόνου ηλεκτρονόμου υπερέντασης	57
Σχήμα 4-4	Χαρακτηριστική ρεύματος – χρόνου ηλεκτρονόμου σταθερού χρόνου Λειτουργικό διάγραμμα διακόπτη ισχύος με ηλεκτρονόμο σταθερού χρόνου	59
Σχήμα 4-5	Τομή μετασχηματιστή έντασης με δύο πυρήνες	61
Σχήμα 4-6	Χαρακτηριστικές κορεσμού των πυρήνων ενός μετασχηματιστή έντασης	61
Σχήμα 4-7	Λειτουργικό διάγραμμα μιας τυπικής κυψέλης με διακόπτη ισχύος και μετασχηματιστές έντασης για μέτρηση και προστασία	63
Σχήμα 4-8	Σύμβολα μονοπολικού μετασχηματιστή τάσης	66
Σχήμα 4-9	Σύμβολα διπολικού μετασχηματιστή τάσης	66
Σχήμα 4-10	Αρχή λειτουργίας διαφορικής προστασίας Μ/Σ	73
Σχήμα 4-11	Επιλεκτικότητα μεταξύ των ασφαλειών ΜΤ και του διακόπτη ισχύος Χ.Τ που χρησιμοποιούνται στην προστασία ενός μετασχηματιστή.	75
Σχήμα 4-12	Τοποθέτηση θερμιστόρων στα τυλίγματα χαμηλής τάσης..	76
Σχήμα 4-13	Αρχή λειτουργίας της προστασίας με θερμιστορες	77
Σχήμα 4-14	Τομή του δωματίου ενός Μ/Σ λαδιού	81
Σχήμα 4-15	Συμβολισμοί τριφασικού μετασχηματιστή:	84
Σχήμα 5-1	Το χρονικό διάγραμμα των επαναφορών του διακόπτη	95

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3-1	Διάφοροι τύποι σφαλμάτων συστήματος τροφοδοσίας....	19
Διάγραμμα 4-1	Λειτουργικό διάγραμμα κυψέλης μέτρησης	70
Διάγραμμα 4-2	Λειτουργικό διαγραμμα προστασίας ΜΣ με θερμιστορες	78
Διάγραμμα 4-3	Φόρτιση του μετασχηματιστή σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Αρχαία Χρόνια

Οι αρχαίοι πολιτισμοί γύρω από τη Μεσόγειο γνώριζαν ότι κάποια αντικείμενα, όπως ράβδοι από κεχριμπάρι, όταν τριφτούν με κάποιο κατάλληλο υλικό όπως, για παράδειγμα, το τρίχωμα της γάτας, έλκουν ελαφρά αντικείμενα, όπως τα πούπουλα. Ο Θαλής ο Μιλήσιος έκανε μια σειρά από παρατηρήσεις πάνω στο στατικό ηλεκτρισμό, γύρω στο 600 π.Χ., από τις οποίες πίστευε ότι η τριβή μετατρέπει (προσωρινά) το κεχριμπάρι σε ένα είδος μαγνήτη, σε αντιδιαστολή με κάποια ορυκτά, όπως ο μαγνητίτης, που είναι μόνιμοι μαγνήτες, χωρίς να χρειάζονται τριβή. Ο Θαλής είχε άδικο όσον αφορά στο ότι η έλξη των πούπουλων από το κεχριμπάρι γινόταν χάρη σε ένα μαγνητικό φαινόμενο, αλλά αργότερα η επιστήμη απέδειξε ότι πράγματι υπάρχει σύνδεση μεταξύ του μαγνητισμού και του ηλεκτρισμού. Σύμφωνα με μια αμφισβητούμενη θεωρία, οι Πάρθοι μπορεί να είχαν γνώση της ηλεκτρόλυσης, με βάση την ανακάλυψη, το 1936, της μπαταρίας της Βαγδάτης, η οποία μοιάζει με ένα γαλβανικό στοιχείο, αν και είναι αβέβαιο ότι το τεχνούργημα αυτό ήταν ηλεκτρικό στη φύση του.



Εικόνα 0.1 Η μπαταρία της Βαγδάτης

1.2 17^{ος} αιώνας

Το 1600 ο Άγγλος επιστήμονας Γουίλιαμ Γκίλμπερτ (William Gilbert) έκανε μια προσεκτική μελέτη πάνω στον ηλεκτρισμό και στον μαγνητισμό, διακρίνοντας τον στατικό ηλεκτρισμό που παράγεται από το τρίψιμο κεχριμπαριού από τον μαγνητισμό. Αυτός επινόησε τη νεολατινική λέξη «electricus», από την ελληνική λέξη «ήλεκτρον», που ήταν η αρχαία ελληνική λέξη για το κεχριμπάρι, για να αναφερθεί στην ιδιότητα έλξης μικρών ελαφρών αντικειμένων από άλλα, μετά από τριβή. Ο συσχετισμός αυτός «γέννησε» τις αγγλικές λέξεις «electric» και «electricity» [που μεταφέρθηκαν αργότερα, ως αντιδάνειο, και στην ελληνική με τις λέξεις «ηλεκτρικός» (επίθετο) και «ηλεκτρισμός» (ουσιαστικό)]. Αυτές οι (νέες τότε) αγγλικές λέξεις εμφανίστηκαν για πρώτη φορά σε έντυπη μορφή στο σύγγραμμα «Pseudodoxia Epidemica», του 1646, από τον Τόμας Μπράουν(Thomas Browne)

1.3 Βιομηχανική Επανάσταση

Τον 18ο αιώνα, ο Βενιαμίν Φραγκλίνος (Benjamin Franklin) έκανε εκτεταμένη έρευνα στον ηλεκτρισμό, πουλώντας τα υπάρχοντά του, για να χρηματοδοτήσει το έργο του. Τον Ιούνιο του 1752 πραγματοποίησε ένα πολύ φημισμένο πείραμα, δένοντας ένα μεταλλικό κλειδί στην ουρά ενός χαρταετού, που πέταξε σε ένα θυελλώδη ουρανό.

Η δημιουργία μιας αλληλουχίας σπινθήρων από το κλειδί ως το χέρι του, που κρατούσε το σκοινί του χαρταετού, απέδειξε ότι η αστραπή είναι όντως φυσικός (στατικός) ηλεκτρισμός. Επίσης εξήγησε τη φαινομενικά παράδοξη συμπεριφορά του δοχείου Λέιντεν (Leyden jar), μιας συσκευής που αποθήκευε, σχετικά, μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικού φορτίου.



Εικόνα 0.2 Benjamin Franklin

Το 1791, ο Λουίτζι Γκαλβάνι (Galvani published) δημοσίευσε την ανακάλυψή του για τον βιοηλεκτρισμό, επιδεικνύοντας ότι διαμέσου των νευρώνων μεταδίδονται ηλεκτρικά σήματα προς τους μύες. Η μπαταρία ή ηλεκτρική στήλη (voltaic pile) του Αλεσάντρο Βόλτα (Alessandro Volta), το 1800, που κατασκευάστηκε από εναλλασσόμενα ελάσματα ψευδαργύρου και χαλκού, προμήθευσε στους επιστήμονες μια πιο αξιόπιστη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας σε σχέση με τις ηλεκτροστατικές γεννήτριες (electrostatic generator) που χρησιμοποιούνταν προηγουμένως. Η αναγνώριση του ηλεκτρομαγνητισμού ως μιας ενότητας των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων, άρχισε από τους Χανς Κρίστιαν Έρστεντ (Hans Christian Ørsted) και Αντρέ Μαρί Αμπέρ (André-Marie Ampère) το 1819-1820. Ο Μάικλ Φαραντέι (Michael Faraday) εφηύρε τον ηλεκτρικό κινητήρα, το 1821, και ο Γκέοργκ Ωμ (Georg Ohm) ανέλυσε μαθηματικά το ηλεκτρικό κύκλωμα το 1827. Ο ηλεκτρισμός, ο μαγνητισμός και το φως συνδέθηκαν (πλέον) ανεπιφύλακτα από τον Τζέιμς Κλερκ Μάξγουελ (James Clerk Maxwell), ιδίως με την εργασία του «Περί των φυσικών δυναμικών γραμμών» (On Physical Lines of Force).

Ενώ στις αρχές του 19^{ου} αιώνα παρατηρήθηκε ταχεία πρόοδος στην ηλεκτρική επιστήμη, στα τέλη του 19^{ου} αιώνα παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη πρόοδος στην ηλεκτρική μηχανική. Άνθρωποι όπως ο Αλεξάντερ Γκράχαμ Μπελ (Alexander Graham Bell), ο Οττό Μπλάθυ (Ottó Bláthy), ο Τόμας Έντισον (Thomas Edison), ο Γαλιλέος Φερράρις (Galileo Ferraris), ο Όλιβερ Χέβισαϊντ (Oliver

Heaviside), ο Άνυος Τζέντλαϊκ (Ányos Jedlik), ο Ουίλιαμ Τόμσον (Lord Kelvin), ο Τσαρλς Άλγκερον Πάρσονς (Sir Charles Algernon Parsons), ο Βέρνερ φον Ζίμενς (Ernst Werner von Siemens), ο Τζόζεφ Σουάν (Joseph Swan), ο Νίκολα Τέσλα (Nikola Tesla) και ο Τζωρτζ Γουέστινγκχαουζ (George Westinghouse), μετετρεψαν τον ηλεκτρισμό από θέμα απλής επιστημονικής περιέργειας σε νευραλγικής σημασίας εργαλείο της σύγχρονης ζωής και την κινιτήρια δύναμη της Δεύτερης Βιομηχανικής Επανάστασης.

Το 1887, ο Χάινριχ Χερτζ (Heinrich Hertz) ανακάλυψαν ότι τα ηλεκτρόδια που φωτίζονται με υπεριώδες φως παράγουν ευκολότερα ηλεκτρικούς σπινθήρες.

1.4 Σύγχρονη Εποχή

Το 1905, ο Άλμπερτ Αϊνστάιν δημοσίευσε ένα φυλλάδιο που εξηγούσε πειραματικά δεδομένα από το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ως αποτέλεσμα της επίδρασης της ενέργειας του φωτός που μεταφέρεται σε διακριτά κβαντισμένα πακέτα, ενεργοποιώντας ηλεκτρόνια. Αυτή η ανακάλυψη οδήγησε την «κβαντική επανάσταση». Ο Αϊνστάϊν βραβεύθηκε με το Βραβείο Νόμπελ Φυσικής του 1921 για αυτήν την ανακάλυψη. Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο επίσης εμπλέκεται στα φωτοκύτταρα και στα φωτοβολταϊκά και με αυτές τις μορφές χρησιμοποιήθηκε συχνά σε εμπορικά αξιοποιήσιμες εφαρμογές.

Η πρώτη ηλεκτρονική συσκευή στερεάς κατάστασης ήταν ο «ανιχνευτής σύρμα γάτας», που χρησιμοποιήθηκε τη δεκαετία του 1900 σε δέκτες ραδιοσημάτων. Ένα μυστακοειδές σύρμα τοποθετούνταν σε ελαφρά επαφή με ένα στερεό κρύσταλλο (όπως ένας κρύσταλλος γερμανίου) με σκοπό να ανιχνευθεί ένα σήμα ραδιοκυμάτων με το φαινόμενο διασταύρωσης. Σε συστατικά στερεής κατάστασης το φαινόμενο επιβεβαιώνεται τόσο στερεά χημικά στοιχεία και ενώσεις που διαμορφώνονται ειδικά στο να εφαρμόζουν και να διακόπτουν την παροχή του έτσι παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Το ηλεκτρικό ρεύμα διαδίδεται με δυο κατανοητές μορφές: α) Με αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια και β) με θετικά φορτισμένα ηλεκτρονιακά κενά, που ονομάζονται «οπές». Αυτά τα φορτία και οι τρύπες είναι κατανοητά σε όρους κβαντικής φυσικής. Το δομικό υλικό αυτών είναι συχνά ένας κρυσταλλικός ημιαγωγός.

1.5 Ο ηλεκτρισμός στην Ελλάδα

Το 1889 φτάνει το "ηλεκτρικό" στην Ελλάδα. Η Γενική Εταιρεία Εργοληψιών, κατασκευάζει στην Αθήνα, στην οδό Αριστείδου, την πρώτη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Το πρώτο κτίριο που φωτίζεται είναι τα Ανάκτορα και πολύ σύντομα ο ηλεκτροφωτισμός επεκτείνεται στο ιστορικό κέντρο της Πρωτεύουσας. Τον ίδιο χρόνο η τουρκοκρατούμενη Θεσσαλονίκη θα δει κι αυτή το ηλεκτρικό φως καθώς Βελγική Εταιρία αναλαμβάνει απ' τις Τουρκικές αρχές το φωτισμό και την τροchioδρόμηση της Πόλης με την κατασκευή εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Δέκα χρόνια αργότερα οι πολυεθνικές εταιρίες ηλεκτρισμού κάνουν την εμφάνισή τους στην Ελλάδα. Η αμερικανική εταιρία Thomson-Houston με τη συμμετοχή της Εθνικής Τράπεζας θα ιδρύσει την Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρία που θα αναλάβει την ηλεκτροδότηση κι άλλων μεγάλων Ελληνικών πόλεων. Μέχρι το 1929 θα ηλεκτροδοτηθούν 250 πόλεις με πληθυσμό πάνω από 5.000 κατοίκους.

Στις πιο απόμακρες περιοχές, που ήταν ασύμφορο για τις μεγάλες εταιρίες να κατασκευάσουν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, την ηλεκτροδότηση αναλαμβάνουν ιδιώτες ή δημοτικές και κοινοτικές αρχές κατασκευάζοντας μικρά εργοστάσια.

Το 1950 υπήρχαν στη Ελλάδα 400 περίπου εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιούσαν ήταν το πετρέλαιο και ο γαιάνθρακας που φυσικά εισάγονταν από το εξωτερικό.

Η κατάτμηση αυτή της παραγωγής, σε συνδυασμό με τα εισαγόμενα καύσιμα, εξωθούσε την τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος στα ύψη (τριπλάσιες ή και πενταπλάσιες τιμές απ' αυτές που ίσχυαν στις Ευρωπαϊκές χώρες). Το ηλεκτρικό λοιπόν ήταν ένα αγαθό πολυτελείας, αν και τις περισσότερες φορές παρεχόταν με ωράριο και οι ξαφνικές διακοπές ήταν σύνηθες φαινόμενο.

Για να εξαπλωθεί η ηλεκτρική ενέργεια ομοιόμορφα σε όλη τη χώρα και για να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά τόσο στη βιομηχανία όσο και στην ύπαιθρο, έπρεπε να υπάρξουν οι εξής προϋποθέσεις:

- Αξιοποίηση των εγχώριων πλουτοπαραγωγικών πόρων, που απαιτούσε όμως τεράστιες επενδύσεις, οι οποίες δεν μπορούσαν να πραγματοποιηθούν από τους μεμονωμένους βιομηχάνους παραγωγής ενέργειας.
 - Ενοποίηση της παραγωγής σε ενιαίο διασυνδεδεμένο δίκτυο, ώστε τα φορτία να επιμερίζονται σε εθνική κλίμακα.
 - Ύπαρξη ενιαίου φορέα που θα επέτρεπε τον επιμερισμό του κόστους ανάμεσα στις κερδοφόρες και ζημιογόνες περιοχές.
- Τις προϋποθέσεις αυτές κάλυψε η ΔΕΗ με τον πλέον επιτυχή τρόπο.

Έτσι τον Αύγουστο του 1950 ιδρύεται η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, για να λειτουργήσει "χάριν του δημοσίου συμφέροντος" με σκοπό τη χάραξη και εφαρμογή μιας εθνικής ενεργειακής πολιτικής, η οποία μέσα από την εντατική εκμετάλλευση των εγχώριων πόρων, να κάνει το ηλεκτρικό ρεύμα κτήμα και δικαίωμα του κάθε Έλληνα πολίτη, στη φθηνότερη δυνατή τιμή.

Αμέσως με την ίδρυσή της, η ΔΕΗ στρέφεται προς την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας ενώ ξεκινά και η ενοποίηση των δικτύων σε ένα εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα. Τα πλούσια λιγνιτικά κοιτάσματα του ελληνικού υπεδάφους που είχαν νωρίτερα εντοπισθεί, άρχισαν να εξορύσσονται και να χρησιμοποιούνται ως καύσιμη ύλη στις λιγνιτικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής που δημιουργούσε. Παράλληλα, η Επιχείρηση ξεκίνησε την αξιοποίηση της δύναμης των υδάτων με την κατασκευή υδροηλεκτρικών σταθμών στα μεγάλα ποτάμια της χώρας.

Αρκετά νωρίς, το 1956, αποφασίστηκε η εξαγορά όλων των ιδιωτικών και δημοτικών επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να υπάρξει ένας ενιαίος φορέας διαχείρισης. Σιγά-σιγά, η ΔΕΗ εξαγόρασε όλες αυτές τις επιχειρήσεις και ενέταξε το προσωπικό τους στις τάξεις της.



Εικόνα0.3 Εναερίτης εν ώρα εργασίας

Σ' όλα αυτά τα χρόνια της παρουσίας της, αγωνίστηκε και πέτυχε την ενεργειακή αυτονομία της χώρας και έφερε σε πέρας το σπουδαίο έργο του εξηλεκτισμού της δημιουργώντας ταυτόχρονα το μεγαλύτερο μέρος της βαριάς ελληνικής βιομηχανίας.

Το ηλεκτρικό ρεύμα έφτασε με επάρκεια σε κάθε άκρη της ελληνικής γης. Από τα μικρά ακριτικά νησιά μας ως τους πιο απόμακρους οικισμούς της ορεινής Ελλάδας.

Επί του παρόντος, το 50% της συνολικής παραγωγής προέρχεται από καύση λιγνίτη, το 10% από πετρέλαιο, το 17% από φυσικό αέριο, το 10% από υδροηλεκτρικούς σταθμούς, το 6% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και το 7% από διασυνδέσεις.



Εικόνα0.4 Ηλεκτροδότηση χωριού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ως σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ) ορίζεται ένα σύνολο εγκαταστάσεων το οποίο αποτελείται από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, υποσταθμούς ανύψωσης τάσης, υποσταθμούς υποβιβασμού τάσης και γραμμές μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας (υπόγειες και υπέργειες)

Κύριος σκοπός ενός ΣΗΕ είναι να τροφοδοτεί όλους τους καταναλωτές όταν αυτοί το ζητήσουν, με αξιοπιστία και ασφάλεια, προσφέροντας τους ηλεκτρική ενέργεια στη χαμηλότερη δυνατή τιμή και με όσον το δυνατόν μικρότερο κόστος στο περιβάλλον.

2.1 Περιγραφή Ελληνικού ΣΗΕ

Όταν αναφερόμαστε στο ελληνικό ΣΗΕ, ουσιαστικά αναφερόμαστε στην Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), που ιδρύθηκε το 1950. Μέχρι το 2001 η ΔΕΗ κατείχε το μονοπώλιο στην ελληνική αγορά. Τότε απελευθερώθηκε η αγορά ενέργειας από μονοπωλιακή σε ανταγωνιστική βάση νόμου, ακολουθούμενη μιας τάσης που γεννήθηκε στις ΗΠΑ στα τέλη του προηγούμενου αιώνα. Η απελευθέρωση της αγοράς βοήθησε στην ανάπτυξη και εφαρμογή νέων τεχνολογιών παραγωγής ρεύματος (φωτοβολταϊκά, βιομάζα, γεωθερμία, αιολική ενέργεια).

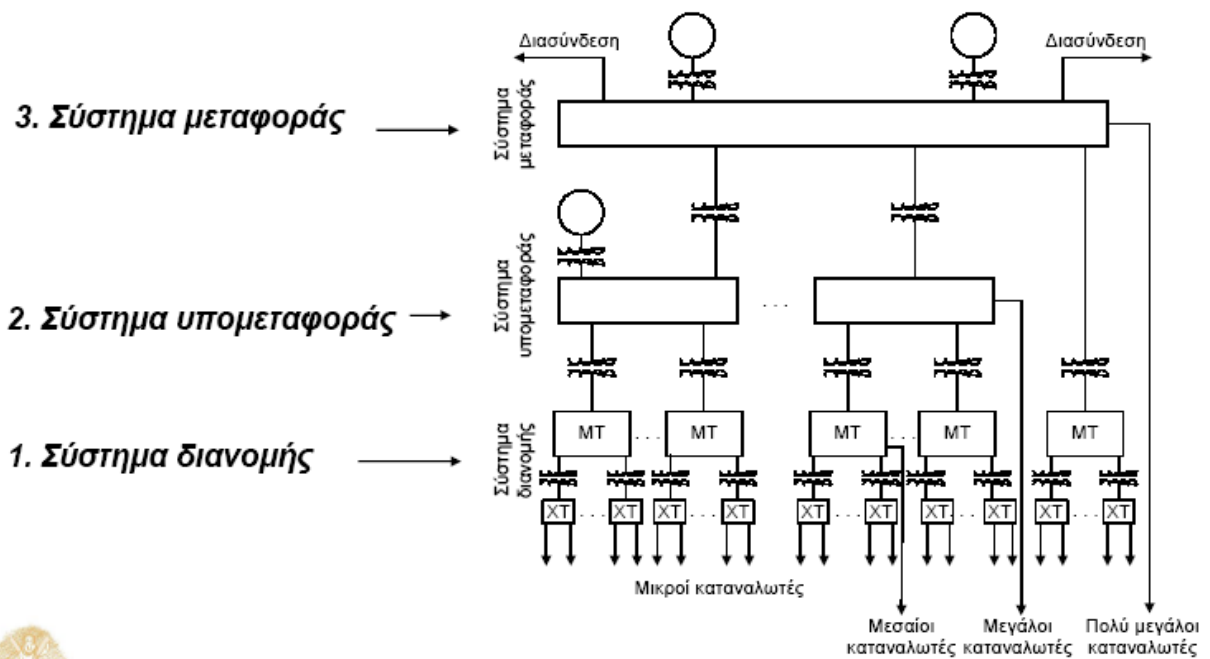
Σημαντική χρονική στιγμή για τη πορεία της παγκόσμιας ενεργειακής πολιτικής υπήρξε το 1997 όταν υπογράφηκε το Πρωτόκολλο του Κιότο. Το πρωτόκολλο αυτό υποχρέωνε τα βιομηχανικά ανεπτυγμένα κράτη να μειώσουν τις εκπομπές αερίων ρύπων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επίσης ορίζει συγκεκριμένο καταμερισμό ευθυνών ανά χώρα. Υπογράφηκε από 191 χώρες με τις ΗΠΑ όμως να μην συμπεριλαμβάνονται σε αυτές.

Συγκεκριμένα στο ελληνικό ΣΗΕ χρησιμοποιείται τριφασική εναλλασσόμενη τάση με συχνότητα 50 Hz. Το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλεκτρικής ισχύος παράγεται σε μεγάλους σταθμούς που βρίσκονται κοντά στις πρώτες ύλες (λιγνίτης) έπειτα μέσω του συστήματος μεταφοράς φτάνει στα κέντρα κατανάλωσης και τέλος μέσω του δικτύου διανομής ικανοποιεί τις ανάγκες όλων των καταναλωτών.

Στο ελληνικό ΣΗΕ η παραγόμενη ισχύς από τα μεγάλα θερμοηλεκτρικά και υδροηλεκτρικά εργοστάσια έχει επίπεδο τάσης μεταξύ 20-30 kV. Έπειτα η τάση αυτή ανυψώνεται στα 400 kV που είναι το επίπεδο του συστήματος μεταφοράς, έτσι ώστε η ροή ισχύος να φτάνει στους καταναλωτές με όσο το δυνατόν μειωμένες απώλειες. Κοντά στα αστικά κέντρα, η υπερυψηλή τάση υποβαθμίζεται σε σταθμούς υποβιβασμού τάσης στα 150 kV. Σε εκείνο το σημείο τροφοδοτεί καταναλωτές υψηλής τάσης (βιομηχανίες) και συνεχίζεται η μεταφορά ισχύος σε άλλους σταθμούς υποβιβασμού όπου η τάση πέφτει στα 20 kV (μέση τάση).

Ο ζυγός μέσης τάσης ενός τέτοιου υποσταθμού είναι στην ουσία η αρχή του δικτύου διανομής, από όπου αναχωρούν γραμμές μέσης τάσης προς τους κοντινότερους καταναλωτές του υποσταθμού. Στους κόμβους μέσης τάσης συνδέονται μετασχηματιστές διανομής που υποβαθμίζουν την τάση στα 400V τριφασική ή 230V μονοφασική (χαμηλή τάση). Από εκεί αναχωρούν οι γραμμές χαμηλής τάσης που τροφοδοτούν τους καταναλωτές (κατοικίες, μικρές βιοτεχνίες και εμπορικά καταστήματα). Όσες βιομηχανίες έχουν μεγάλες απαιτήσεις ισχύος (>250KVA) και συνδέονται απευθείας σε γραμμές μέσης τάσης.

Τα τελευταία χρόνια έχει δημιουργηθεί μια νέα τάση στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε αντίθεση με το παραδοσιακό μοντέλο με μεγάλες μονάδες παραγωγής, δημιουργούνται μικρότερες μονάδες οι οποίες συνδέονται απευθείας στο δίκτυο μέσης ή χαμηλής τάσης. Ουσιαστικά αποφεύγεται η χρήση του συστήματος μεταφοράς σε γραμμές υψηλής τάσης. Με το μοντέλο αυτό ικανοποιούνται οι ανάγκες των καταναλωτών τοπικά προσδίδοντας τους μια σχετική αυτάρκεια. Σε περίπτωση πλεονάζουσας παραγωγής υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής της ισχύος στο σύστημα μεταφοράς. Βασικό στοιχείο της διανεμημένης παραγωγής είναι η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).



Σχήμα 0.1 Η Δομή του ελληνικού ΣΗΕ

Τη διανομή και τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα έχουν αναλάβει εξολοκλήρου δημόσιοι φορείς, ενώ αντίθετα στον τομέα της παραγωγής ενέργειας εμπλέκονται πλέον και αρκετές ιδιωτικές εταιρείες.

Ύστερα από τον διαχωρισμό της ΔΕΗ Α.Ε. σχηματίστηκαν δυο εταιρείες οι οποίες είναι 100% θυγατρικές της. Ο ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. αποτελεί τον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας και ο ΑΔΜΗΕ Α.Ε. αποτελεί τον Ανεξάρτητο Διαχειριστή Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας. Η πρώτη εταιρεία ασχολείται με την ανάπτυξη, λειτουργία και συντήρηση του δικτύου διανομής ενέργειας ενώ η δεύτερη με την διαχείριση, λειτουργία και συντήρηση του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και όλων των διασυνδέσεών του.

Η ΔΕΗ περιλαμβάνει στο χαρτοφυλάκιο της, λιγνιτικούς, υδροηλεκτρικούς, πετρελαϊκούς σταθμούς, σταθμούς φυσικού αερίου όπως και μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Κατέχει περίπου το 75% της εγκατεστημένης ισχύος των θερμοηλεκτρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην ηπειρωτική Ελλάδα και είναι ο μεγαλύτερος προμηθευτής ενέργειας στην ελληνική αγορά.

Όσον αφορά την ηλεκτροπαραγωγή αυτή χωρίζεται σε δυο κατηγορίες ανάλογα με τις πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται αντίστοιχα. Έτσι έχουμε:

- Ηλεκτροπαραγωγή από Συμβατικά καύσιμα η οποία χρησιμοποιεί σαν πηγή ενέργειας ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα τα οποία βρίσκονται στο υπέδαφος. Βρίσκονται σε μικρά ή μεγαλύτερα βάθη και οι ποσότητες του είναι μη ανανεώσιμες (π.χ. θερμοηλεκτρικοί, ατμοηλεκτρικοί σταθμοί κ.τ.λ.)
- Ηλεκτροπαραγωγή από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας η οποία χρησιμοποιεί πηγές ενέργειας που είναι διαχρονικές και δεν έχουν πεπερασμένο απόθεμα όπως για παράδειγμα ο ήλιος (π.χ. φωτοβολταϊκά, αιολικά πάρκα).

Σύμφωνα με την ΡΑΕ γνωρίζουμε ότι η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα στη Δυτική Μακεδονία παράγεται περίπου το 50% της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως η συγκέντρωση των σταθμών παραγωγής στα βόρεια της Ελλάδας(π.χ. Δράμα, Δυτική Μακεδονία, Ελασσόνα) δημιουργεί μεγάλες απώλειες στη μεταφορά της ενέργειας στα κέντρα κατανάλωσης και διάφορα προβλήματα στη λειτουργία. Ο σχεδιασμός όμως των σταθμών στις περιοχές αυτές έγινε για τον λόγο ότι εκεί υπήρχαν μεγάλες ποσότητες λιγνίτη που αποτελεί και τη κύρια πηγή ενέργειας.

2.2 Περιγραφή συστήματος Μεταφοράς και Διανομής.

Σύμφωνα με την Μελέτη Ανάπτυξης (ΜΑΣΜ 2010-2014)[13] του ΔΕΣΜΗΕ στο ελληνικό σύστημα μεταφοράς υπάρχουν τα εξής επίπεδα υψηλής και υπερυψηλής τάσης με τις αντίστοιχες στάθμες βραχυκύκλωσης:

- Επίπεδο τάσης 66 kV: Η στάθμη βραχυκύκλωσης είναι 12 kA σε τάση 72,5 kV.
- Επίπεδο τάσης 150 kV: ο παλαιός εξοπλισμός αυτής της βαθμίδας τάσης είναι σχεδιασμένος με βάση μια στάθμη βραχυκύκλωσης ίση με 20 kA στα 170 kV. Για τον νέο εξοπλισμό αυτής της βαθμίδας που έχει ή πρόκειται να εγκατασταθεί στο Σύστημα προβλέπεται στάθμη βραχυκύκλωσης 31 kA, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κώδικα Διαχείρισης Συστήματος & ΣΗΕ.
- Επίπεδο τάσης 400 kV: Η στάθμη βραχυκύκλωσης είναι 40 kA σε τάση 420 kV.

Συγκεκριμένα το επίπεδο τάσης 400 kV ανήκει στη κατηγορία της υπερυψηλής τάσης (Υ.Υ.Τ.) και τα επίπεδα τάσεων των 150 kV και 66 kV ανήκουν στην κατηγορία της υψηλής τάσης (Υ.Τ.). Οι τάσεις που εμφανίζονται στη τελευταία κατηγορία δεν εμφανίζονται στο Σύστημα αλλά μόνο στο Δίκτυο.

Σύμφωνα πάλι με την ίδια μελέτη του ΔΕΣΜΗΕ στο σύστημα είναι συνδεδεμένοι οι παρακάτω υποσταθμοί 150 kV/MT:

- 202 Υ/Σ υποβιβασμού 150 kV/MT της ΔΕΗ
- Υ/Σ για την υποδοχή της ισχύος αιολικών πάρκων εκ των οποίων οι Υ/Σ Καρύστου, Λιβαδίου και Αργυρού εξυπηρετούν παράλληλα και φορτία διανομής (συμπεριλαμβάνονται στους παραπάνω 202 Υ/Σ υποβιβασμού της ΔΕΗ).
- Υ/Σ ανυψώσεως MT/150 kV στους ακόλουθους σταθμούς παραγωγής της ΔΕΗ:
 - ✓ Θερμοηλεκτρικοί σταθμοί (Κομοτηνής, Πτολεμαΐδας, Αλιβερίου, Μεγαλόπολης I και II, Αγ. Γεωργίου και Λαυρίου)
 - ✓ Υδροηλεκτρικοί σταθμοί (Θησαυρού, Πλατανόβρυσης, Άγρα, Εδεσσαίου, Πολυφύτου, Ασωμάτων, Μακροχωρίου, Σφηκιάς, Ν. Πλαστήρα, Γκιώνας, Πηγών Αώου, Λούρου, Πουρναρίου I και II, Καστρακίου, Κρεμαστών, Στράτου, Λάδωνα)
 - ✓ 2 Υ/Σ ανυψώσεως σε σταθμούς παραγωγής ανεξάρτητων παραγωγών (ΗΡΩΝ Θερμοηλεκτρική Α.Ε. και Αλουμίνιο Α.Ε.). Οι μονάδες παραγωγής των εν λόγω σταθμών συνδέονται στα 150 Kν μέσω Μ/Σ ανυψώσεως MT/150 Kν.
 - ✓ 35 Υ/Σ υποβιβασμού 150 kV/MT που εξυπηρετούν τις ανάγκες πελατών Υ.Τ.

Τέλος σύμφωνα με την ίδια μελέτη στο σύστημα υπάρχουν πέρα των εναέριων γραμμών:

- 232 km υπόγειων και υποβρύχιων καλωδίων 150 kV.
- 4 km υπόγειων καλωδίων 400 kV
- 13,5 km υποβρύχιων καλωδίων 66 kV
- 106 km εναέριας γραμμής και 160 km υποβρύχιου καλωδίου 400 kV συνεχούς ρεύματος για τη διασύνδεση με την Ιταλία.

- 212 km υπόγειων καλωδίων 150 kV για τη μεταφορά ισχύος εντός των πυκνοκατοικημένων περιοχών της Πρωτεύουσας και της Θεσσαλονίκης.

Όσον αφορά το ελληνικό Δίκτυο Διανομής ενέργειας αυτό έχει σύμφωνα με τα στοιχεία του 2013 μια έκταση συνολικού μήκους 236.000 km και περιλαμβάνει δυο μεγάλες κατηγορίες:

- Το δίκτυο διανομής μέσης τάσης των 20 kV το οποίο χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς της διανομής.
- Το δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (230/400 V) το οποίο χρησιμοποιείται για να μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους υποσταθμούς διανομής στους ίδιους τους καταναλωτές.

Το σύστημα διανομής έχει σαν βασικό εξοπλισμό τα ακόλουθα στοιχεία:

- Τις γραμμές διανομής οι οποίες διανέμουν την ενέργεια από το ένα σημείο στο άλλο.
- Τους μετασχηματιστές οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να αλλάξουν το μέγεθος της τάσης της μεταφερόμενης ενέργειας όταν αυτό είναι επιθυμητό.
- Τον εξοπλισμό ασφάλειας που χρησιμεύει για να παρέχει απρόσκοπτη λειτουργία ακόμα και σε περίπτωση που συμβεί κάποια βλάβη όπως και για να εγγυάται την ασφάλεια.
- Τον εξοπλισμό ρύθμισης της τάσης που είναι απαραίτητος για να διατηρεί το επίπεδο της τάσης μέσα στα καθορισμένα επιτρεπτά όρια καθώς το φορτίο δεν είναι σταθερό και αλλάζει.

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ τα βασικά μεγέθη του δικτύου διανομής για το έτος 2018 (δεν υπάρχουν πιο πρόσφατα) είναι:

Ποσοτικά μεγέθη του δικτύου διανομής (τέλος του έτους):

- **112.295 χλμ** δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.)
- **126.941 χλμ** δίκτυο Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.)

Συνολικά 239.236 χλμ. Δικτύου.

- **163.220 χλμ** Υποσταθμοί Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ)

- **989 χλμ** Δίκτυο Υψηλής Τάσης (Υ.Τ) εκ των οποίων **218 χλμ** στην Αττική **771 χλμ** στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.
- **240** Υποσταθμοί Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ)
- **7.543.107 Πελάτες** (11.660 ΜΤ & 7.531.447 ΧΤ)
- **43.194 GWH Καταναλώσεις Πελατών** (11.755 στη ΜΤ & 31.439 στη ΧΤ)

Κύρια οικονομικά μεγέθη του δικτύου Διανομής:

- Επενδύσεις (ετήσιες δαπάνες επενδύσεων) 149 εκ. €
- Εκμετάλλευση (ετήσιες λειτουργικές δαπάνες) 421 εκ. €
- Ετήσια έσοδα από χρήση δικτύου 711 εκ. €
- Πάγια δικτύων διανομής με αναπόσβεστη αξία 3,6 δις. €

2.3 Οι αδυναμίες του ηλεκτρικού δικτύου

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας υπάρχει αυτοματοποίηση στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας και στα συστήματα ελέγχου της, όμως δεν μπορούμε να πούμε ότι έφερε την επανάσταση στον τομέα αυτό όπως έχει γίνει σε άλλους τομείς της βιομηχανίας.

Όμως οι απαιτήσεις των ανθρώπων αλλάζουν και πολλαπλασιάζονται καθώς περνούν τα χρόνια κάτι το οποίο απαιτεί και τα συστήματά μας να μπορούν να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις αυτές. Έχουμε δηλαδή αρχίσει να αντιλαμβανόμαστε τις όποιες αδυναμίες του υπάρχοντος ηλεκτρικού δικτύου.

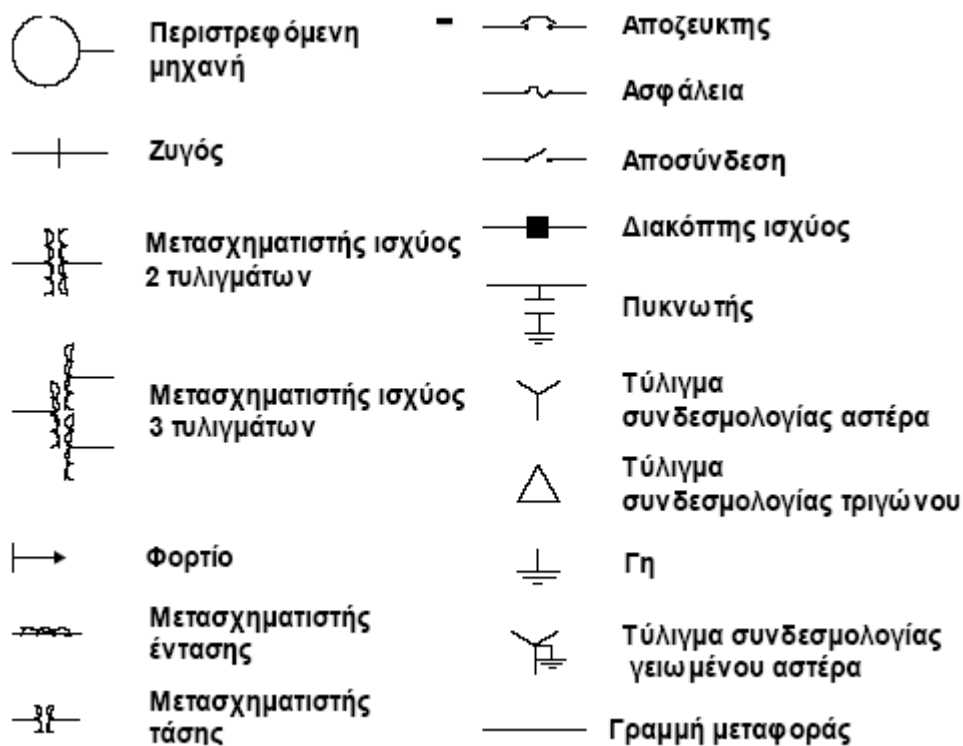
Ένα δίκτυο το οποίο είναι χτισμένο να λειτουργεί βασισμένο σε μεγάλους ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς χτισμένους σε στρατηγικά σημεία που πολλές φορές συνδέονται με συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης για να καλύπτουν την ηλεκτροδότηση μεγάλων περιοχών και έτσι διακινείται ένας τεράστιος όγκος πληροφορίας από και προς τα κέντρα παραγωγής με αποτέλεσμα η πληροφορία αυτή να φτάνει πολλές φορές με μεγάλη καθυστέρηση στον προορισμό καθιστώντας έτσι δύσκολη τη δυνατότητα που έχει το σύστημα να πραγματοποιεί έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα οι περισσότεροι σταθμοί έχουν σαν κύρια πηγή ενέργειας τον λιγνίτη κάτι που δημιουργεί και το πρόβλημα της επάρκειας του ορυκτού αυτού.

Επίσης μια άλλη αδυναμία του τρέχοντος δικτύου είναι το γεγονός της μονόπλευρης φύσης της επικοινωνίας και της ροής της ενέργειας. Έτσι ενέργεια μεταφέρεται μόνο από τον σταθμό που τη παράγει προς το δίκτυο και στη συνέχεια προς τον πελάτη με αποτέλεσμα ο τελευταίος να μην μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση του δικτύου εισάγοντας δικές του πηγές ενέργειας σε αυτό όπως ηλιακή ενέργεια ή αιολική ενέργεια από ιδιόκτητες εγκαταστάσεις. Αυτή η ανικανότητα του δικτύου να ενσωματώσει αυτές τις εναλλακτικές πηγές ενέργειας έχει επίσης και σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, η ρύπανση του οποίου αποτελεί ένα σοβαρό πρόβλημα στην εποχή μας.

Ένα άλλο πολύ μεγάλο πρόβλημα του τρέχοντος δικτύου είναι η αδυναμία που υπάρχει στην αποθήκευση της ηλεκτρικής ισχύος με σχετικά εύκολο τρόπο. Το δίκτυο για να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της επόμενης μέρας εφόσον δεν έχει αποθέματα ενέργειας πρέπει να κάνει μια σωστή εκτίμηση της ζήτησης ενέργειας της επόμενης μέρας. Αυτό είναι ένα σύνθετο πρόβλημα και η ζήτηση δεν μπορεί σχεδόν ποτέ να προβλεφθεί με απόλυτη ακρίβεια. Συνεπώς είτε θα παραχθεί περισσότερη ενέργεια από αυτή που πραγματικά χρειάζεται με αποτέλεσμα αυτή να μην χρησιμοποιείται πουθενά και να χάνεται, είτε θα έχουμε διακοπή ρεύματος (blackout) λόγω του ότι παράχθηκε τελικά λιγότερη ενέργεια από αυτή που τελικά ζητήθηκε την επόμενη μέρα.

Τέλος το γεγονός ότι το υπάρχον σύστημα εφόσον παρουσιαστεί κάποια βλάβη χρειάζεται τη φυσική παρέμβαση κάποιου χειριστή προκειμένου να αποκατασταθεί η λειτουργία του επιβαρύνει τη θέση του τρέχοντος ηλεκτρικού συστήματος,

Για όλους αυτούς τους λόγους φτάσαμε στην εποχή όπου το ηλεκτρικό δίκτυο πρέπει να επανασχεδιαστεί με έξυπνο τρόπο για να καλύψει τις σύγχρονες ανάγκες. Έτσι γεννιέται η ιδέα του Έξυπνου Ηλεκτρικού Δικτύου στο οποίο οι τεχνολογίες της επικοινωνίας και της πληροφορίας θα έχουν κεντρικό ρόλο στα επιμέρους στάδια από την παραγωγή μέχρι τη κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 0.2 Σύμβολα για την απεικόνιση συνιστωσών ενός ΣΗΕ

ΣΤΑΘΜΟΙ	ΜΟΝΑΔΕΣ	MW
Πολύφυτο	3	375
Κρεμαστά	4	437.2
Καστράκι	4	320
Πλαστήρα	3	129.9
Λάδονας	2	70
Άγρας	2	50
Εδεσσαίος	1	19
Λούρος	3	10.3
Πουρνάρι	6	333.6
Ασώματα	2	108
Σφηκιά	3	315
Στράτος	4	156.2
Γκιάνα	1	8.5
Πηγές Αώου	2	210
Μακροχώρι	3	10.8
Θησαυρός	3	300
Πλατανόβρυση	2	100
Μικροί ΥΗΣ	8	6.8
Σύνολο	56	2960.3

Πίνακας 0-1 Υδροηλεκτρικοί σταθμοί διασυνδεδεμένου συστήματος

ΣΤΑΘΜΟΙ	ΜΟΝΑΔΕΣ	MW	Τύπος Καυσίμου
Αγ. Γεώργιος	2	360	Φυσ. Αέριο
Αλιβέρι	4	380	Μαζούτ
Πτολεμαΐδα	4	620	Λιγνίτης
Καρδιά	4	1200	Λιγνίτης
Αγ. Δημήτριος	5	1587	Λιγνίτης
Μεγαλόπολη	4	850	Λιγνίτης
Λαύριο	4	1197	Μζ./Φ. Αέριο
ΛΙΠΤΟΛ	2	43	Λιγνίτης
Αμύνταιο	2	600	Λιγνίτης
Μελιτης-			
Αχλαδας	1	330	Λιγνίτης
Ζάκυνθος	1	27	Diesel
ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΚΡΗΤΗΣ			
Λινοπεράματα	12	192.8	Μζ./Diesel
Χανιά	6	328.4	Μζ./Diesel
ΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΡΟΔΟΥ			
Ρόδος	10	206	Μζ./Diesel
Σύνολο	60	7385.2	

Μζ: Μαζούτ

Πίνακας 0-2 Θερμικοί σταθμοί διασυνδεδεμένου συστήματος

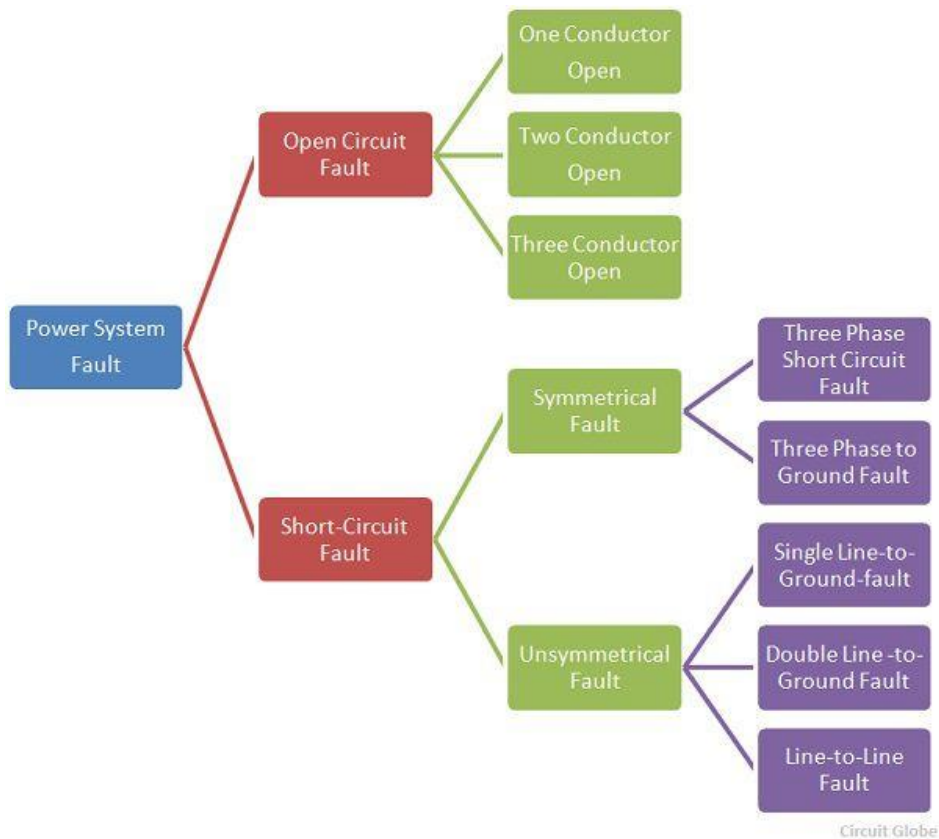
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΙΔΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Το σφάλμα στο σύστημα τροφοδοσίας ορίζεται ως το ελάττωμα του συστήματος ηλεκτρικού ρεύματος λόγω του οποίου το ρεύμα αποσπάται από την προβλεπόμενη διαδρομή. Το σφάλμα δημιουργεί την ανώμαλη κατάσταση που μειώνει τη δύναμη μόνωσης μεταξύ των αγωγών. Η μείωση της μόνωσης προκαλεί υπερβολική ζημιά στο σύστημα. Το σφάλμα στο σύστημα τροφοδοσίας κατηγοριοποιείται κυρίως σε δύο τύπους

- Σφάλμα ανοικτού κυκλώματος
- Σφάλμα βραχυκυκλώματος.

Οι διάφοροι τύποι σφαλμάτων συστήματος τροφοδοσίας εμφανίζονται παρακάτω στο **Διάγραμμα 0-1**.



Διάγραμμα 0-1 Διάφοροι τύποι σφαλμάτων συστήματος τροφοδοσίας

Οι βλάβες στο ηλεκτρικό σύστημα μπορεί να εμφανιστούν από τον αριθμό των φυσικών διαταραχών όπως κεραυνός, άνεμοι υψηλής ταχύτητας, σεισμοί κ.λπ. Μπορεί επίσης να συμβεί εξαιτίας κάποιων ατυχημάτων όπως η πτώση ενός δέντρου, η σύγκρουση οχημάτων, η στήριξη, η συντριβή του αεροπλάνου κλπ.

Οι αιτίες που προκαλούν σημαντικές διαταραχές στα ηλεκτρικά συστήματα είναι οι πτώσεις κεραυνών, οι διακοπτικές λειτουργίες και τα βραχυκυκλώματα (συμμετρικά και ασύμμετρα). Τις διαταραχές αυτές ανάλογα με τη διάρκειά τους μπορούμε να τις χωρίσουμε σε τρεις κατηγορίες.

3.1 Υπερταχέα μεταβατικά ή σφάλμα ανοικτού κυκλώματος

Αυτός ο τύπος μεταβατικών φαινομένων προκαλείται από πτώση κεραυνών στις γραμμές μεταφοράς και από απότομες αλλά προγραμματισμένες μεταβολές δικτύου, που οφείλονται σε διακοπτικές λειτουργίες. Η φύση αυτών των διαταραχών είναι τελείως ηλεκτρική και περιλαμβάνουν ουσιαστικά μόνο τις γραμμές μεταφοράς.

Η διαταραχή αυτού του τύπου προκαλεί ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, που διαδίδεται περίπου με την ταχύτητα του φωτός κατά μήκος των γραμμών και προκαλεί ανακλώμενα κύματα και υπερτάσεις στο τέλος των γραμμών. Η πλειοψηφία των ρευμάτων κεραυνών έχει τιμές μεταξύ 5 και 100 kA και διάρκεια από 20 μs για τα μεγάλα ρεύματα, σε μερικά ms, για τα μικρά ρεύματα.

Στην περίπτωση μιας γραμμής 144 Km, ένα κύμα διαταραχής που ταξιδεύει με 288.000 Km/s χρειάζεται μόνο ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου για να φτάσει στο τέλος της γραμμής και να επιστρέψει. Για αυτό τα φαινόμενα που συνδέονται με αυτά τα κύματα διαρκούν μόνο λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου. Η μεγάλη επαγωγική αντίσταση των μετασχηματιστών λειτουργεί σαν ανοικτοκύκλωμα γι' αυτές τις διαταραχές και τις εμποδίζει να φτάσουν τα τυλίγματα των γεννητριών. Η ανάκλαση όμως των κυμάτων στην αντίσταση των μετασχηματιστών δημιουργεί μεγάλη κυματική τάση, που μπορεί να καταστρέψει τη μόνωση των συσκευών υψηλής τάσης.

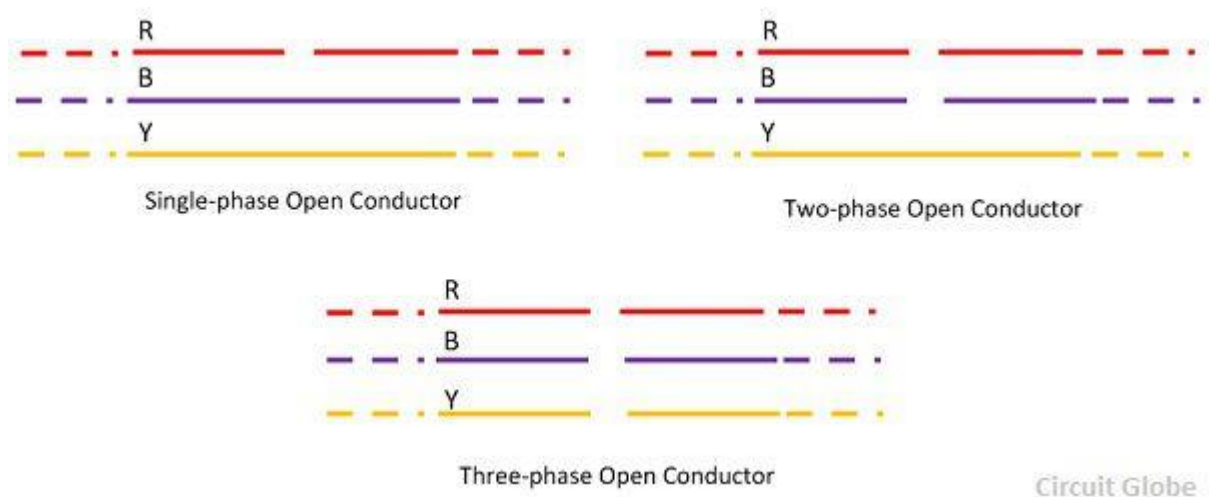
Τα κύματα αυτά είναι ηλεκτρικά φορτία που ταξιδεύουν και μπορούμε να τα διοχετεύσουμε στη γη με **εκτροπείς κυμάτων ή αλεξικέραυνα**, που δρουν σαν βαλβίδες ασφαλείας και δεν επιτρέπουν τη δημιουργία υψηλών κυματικών

τάσεων ικανών να καταστρέψουν τη μόνωση των συσκευών. Αν όμως, παρ' όλα τα προφυλακτικά μέτρα υπάρξει διάσπαση της μόνωσης σε κάποιο σημείο, εμφανίζεται βραχυκυκλώμα, που ανήκει στον επόμενο τύπο διαταραχών.

Το σφάλμα ανοικτού κυκλώματος προκύπτει κυρίως λόγω της αποτυχίας ενός ή δύο αγωγών. Το σφάλμα ανοικτού κυκλώματος λαμβάνει χώρα σε σειρά με τη γραμμή και γι 'αυτό καλείται επίσης το σφάλμα σειράς. Αυτοί οι τύποι σφαλμάτων επηρεάζουν την αξιοπιστία του συστήματος. Το σφάλμα ανοικτού κυκλώματος κατηγοριοποιείται ως

- Ανοικτό σφάλμα αγωγού
- Δύο αγωγοί Open Fault
- Τρεις αγωγοί Ανοικτό σφάλμα.

Το σφάλμα ανοικτού κυκλώματος εμφανίζεται στην παρακάτω **Εικόνα 0.1**.



Εικόνα 0.1 Σφάλμα ανοικτού κυκλώματος

3.2 Μέσης ταχύτητας μεταβατικά φαινόμενα– βραχυκυκλώματα

Σε αυτόν τον τύπο σφάλματος, οι αγωγοί σε διαφορετικές φάσεις έρχονται σε επαφή μεταξύ τους με μία γραμμή ισχύος, μετασχηματιστή ισχύος ή οποιοδήποτε άλλο στοιχείο κυκλώματος λόγω του οποίου η μεγάλη ροή ρεύματος σε μία ή δύο φάσεις του συστήματος. Το σφάλμα βραχυκυκλώματος χωρίζεται σε συμμετρική και ασύμμετρη βλάβη.

Σε αυτή την κατηγορία μεταβατικών φαινομένων ανήκουν οι διαταραχές που οφείλονται στις απότομες, ανώμαλες δομικές αλλαγές –βραχυκυκλώματα-στο σύστημα. Το άνοιγμα των διακοπών ισχύος απομονώνει το βραχυκυκλωμένο μέρος της γραμμής μεταφοράς από το υπόλοιπο σύστημα και διακόπτει τη ροή του ρεύματος στον ιονισμένο δρόμο, ώστε αυτός να απιονισθεί. Μετά από ένα χρονικό διάστημα περίπου 400 ms, ο απιονισμός ολοκληρώνεται και οι διακόπτες ισχύος ξανακλείνουν χωρίς αποκατάσταση του τόξου. Η εμπειρία αποδεικνύει ότι περίπου 70 με 80% των βραχυκυκλωμάτων γραμμών είναι παροδικού τύπου, της φύσης που μόλις περιγράφει.

Η φύση των βραχυκυκλωμάτων είναι τελείως ηλεκτρική και η μορφή τους καθορίζεται από τη μαγνητική αλληλεπίδραση των τυλιγμάτων των γεννητριών. Οι χρονικές σταθερές αυτών των τυλιγμάτων κυμαίνονται από μερικές δεκάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου για τα τυλίγματα **απόσβεσης** μέχρι μερικά δευτερόλεπτα για τα τυλίγματα **πεδίου**. Γι' αυτό, αυτές οι διαταραχές μελετώνται για ένα διάστημα μέχρι 100 ms μετά την έναρξη του βραχυκυκλώματος. Ένα βραχυκύκλωμα πάντα συνοδεύεται από ελάττωση της ισχύος στην έξοδο των γεννητριών και επειδή η ισχύς εισόδου παραμένει σταθερή (πριν λειτουργήσει το σύστημα ελέγχου του στροβίλου) η γεννήτρια επιταχύνεται. Αν το φαινόμενο αυτό διατηρηθεί, θα οδηγήσει σε μηχανικές ταλαντώσεις. Τα ρεύματα που ρέουν στα διάφορα μέρη ενός ηλεκτρικού δικτύου αμέσως μετά το βραχυκύκλωμα διαφέρουν πολύ από τα ρεύματα που ρέουν λίγους κύκλους αργότερα, δηλαδή λίγο πριν λειτουργήσουν οι διακόπτες ισχύος για να απομονώσουν τη βραχυκυκλωμένη γραμμή.

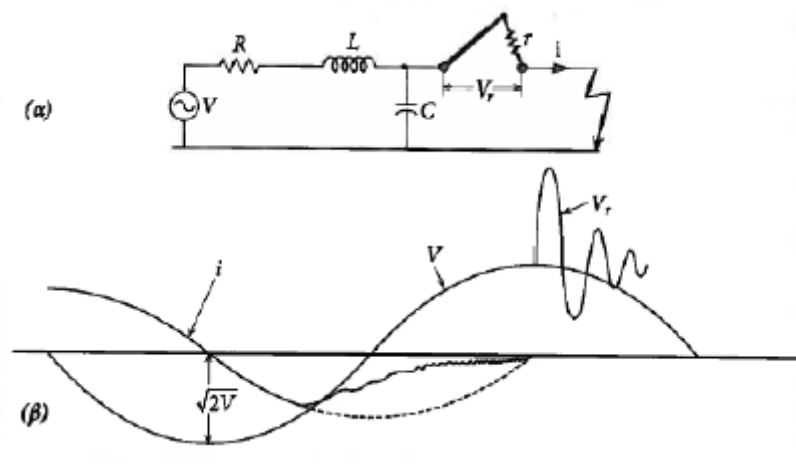
3.2.1 Βραδέα μεταβατικά φαινόμενα – Μεταβατικά ευστάθεια

Αν το βραχυκύκλωμα είναι σε μια ζωτικής σημασίας γραμμή, οδηγούμαστε στην πιο σοβαρή διαταραχή μεταβατικής κατάστασης, όπου το ηλεκτρικό σύστημα υποβάλλεται σε μηχανικές ταλαντώσεις των δρομέων των σύγχρονων μηχανών. Αυτές οι ηλεκτρομηχανικές ταλαντώσεις σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε αποσυγχρονισμό μερικών ή όλων των μηχανών. Τέτοια περιστατικά οδηγούν σε μερική ή ολική διακοπή της λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος και λέμε ότι το σύστημα έφτασε στο όριο μεταβατικής ευστάθειας. Η φύση των ταλαντώσεων των δρομέων είναι μηχανική. Κατά

συνέπεια η περίοδος ταλάντωσής τους είναι αρκετά μεγάλη και εξαρτάται από τον τρόπο ταλάντωσης. Για το λόγο αυτό μια μελέτη μεταβατικής ευστάθειας μπορεί να γίνεται για μια χρονική περίοδο 1-10 s.

3.2.2 Μεταβατικά φαινόμενα λόγω λειτουργίας διακοπών

Η πιο απλή μορφή ενός τέτοιου μεταβατικού φαινομένου είναι το κύμα που δημιουργείται κατά την ενεργοποίηση μιας γραμμής μεταφοράς. Το πλάτος του μετώπου του κύματος εξαρτάται από την τιμή της τάσης τη στιγμή που κλείνει ο διακόπτης. Η χειρότερη περίπτωση είναι το κλείσιμο να γίνει όταν η τάση είναι μέγιστη. Αν η τάση έχει ενεργό τιμή V , το μέτρο της θα είναι $\sqrt{2}V$ και μετά την ανάκλαση, η τάση στο άκρο της γραμμής θα φτάσει την τιμή $2\sqrt{2}V$. Επικίνδυνες υπερτάσεις μπορούν να δημιουργηθούν και κατά το άνοιγμα ενός διακόπτη και να οδηγήσουν σε αποτυχία της λειτουργίας του.



Εικόνα 0.2 Μεταβατική τάση αποκατάστασης για βραχυκύκλωμα κοντά στον διακόπτη

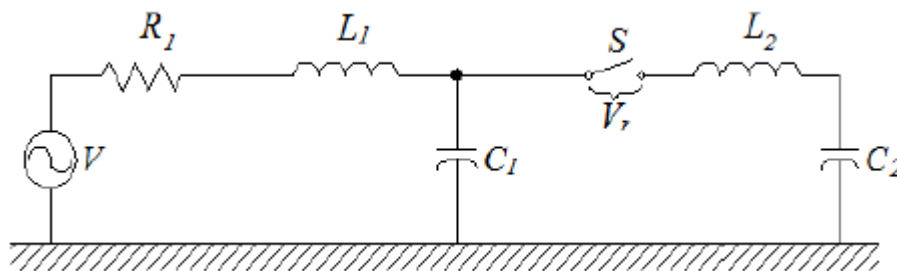
Για μικρό χρονικό διάστημα, αμέσως μετά τη διακοπή του ρεύματος βραχυκύκλωσης, η μεταβατική τάση αποκατάστασης Vr δίνεται από την σχέση: $2V(1 - \cos \omega t)$.

Αν το βραχυκύκλωμα δεν είναι κοντά στο διακόπτη, έχουμε την ανάπτυξη δύο ταλαντωτικών τάσεων με συχνότητες

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}} \quad \text{και} \quad \omega_2 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}$$

και η μεταβατική τάση αποκατάστασης είναι:

$$V_r = \sqrt{2}|V| \left(1 - \frac{L_1}{L_1+L_2} \cos \omega_1 t - \frac{L_2}{L_1+L_2} \cos \omega_2 t \right)$$



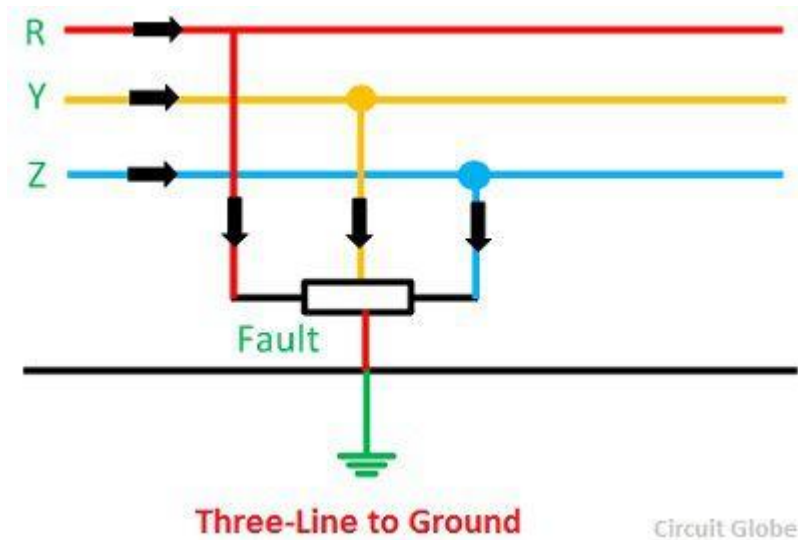
Σχήμα 0.3 Κύκλωμα για βραχυκύκλωμα μακριά από το διακόπτη

3.3 Συμμετρικά βραχυκυκλώματα

Τα ελαττώματα που αφορούν όλες τις τρεις φάσεις είναι γνωστό ως συμμετρικό σφάλμα. Αυτοί οι τύποι σφαλμάτων παραμένουν ισορροπημένοι ακόμα και μετά τη βλάβη. Τα συμμετρικά σφάλματα εμφανίζονται κυρίως στον τερματικό σταθμό των γεννητριών. Η βλάβη στο σύστημα μπορεί να προκύψει εξαιτίας της αντίστασης του τόξου μεταξύ των αγωγών ή λόγω της χαμηλότερης αντίστασης βάσης. Το συμμετρικό σφάλμα υποδιαιρείται σε σφάλμα γραμμής προς γραμμή προς γραμμή και τριφασικό σφάλμα αγωγού-εδάφους

3.3.1 Σφάλμα Γραμμής - Γραμμής – Γραμμής

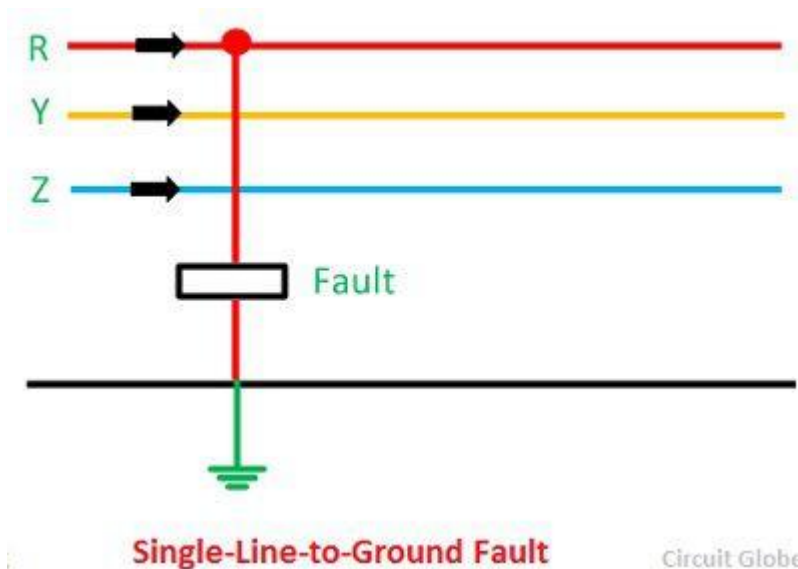
Αυτοί οι τύποι βλαβών είναι ισορροπημένοι, δηλ., το σύστημα παραμένει συμμετρικό ακόμα και μετά το σφάλμα. Το σφάλμα L-L-L εμφανίζεται σπάνια, αλλά είναι ο πιο σοβαρός τύπος σφάλματος που περιλαμβάνει το μεγαλύτερο ρεύμα. Αυτό το μεγάλο ρεύμα χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της διαβάθμισης του διακόπτη.



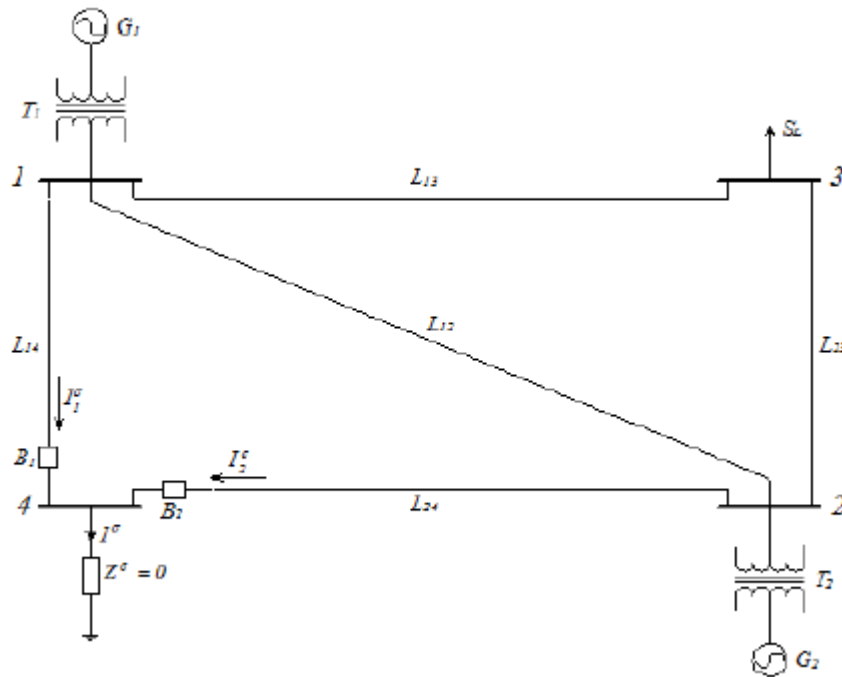
Εικόνα 0.4 Σφάλμα L-L-L

3.3.1.1 L - L - L - G (Τριφασική γραμμή στο σφάλμα γείωσης)

Η βλάβη της γραμμής τριών φάσεων έως τη γείωση περιλαμβάνει όλες τις τρεις φάσεις του συστήματος. Το σφάλμα L - L - L - G συμβαίνει μεταξύ των τριών φάσεων και της γείωσης του συστήματος. Η πιθανότητα εμφάνισης τέτοιου τύπου βλάβης είναι σχεδόν 2 έως 3%.



Εικόνα 0.5 Σφάλμα L-L-L-G



Σχήμα 0.6 Συμμετρικό βραχυκύκλωμα ζυγού

3.3.2 Συμμετρικά τριφασικά βραχυκυκλώματα στις σύγχρονες μηχανές

Το ρεύμα μιας σύγχρονης μηχανής αμέσως μετά το βραχυκύκλωμα, λίγο μετά και το ρεύμα βραχυκύκλωσης μόνιμης κατάστασης διαφέρουν σημαντικά, λόγω της επίδρασης του ρεύματος τυμπάνου στη ροή.

Έστω ότι η τάση έχει τη μορφή $\sqrt{2}V\sin(\omega t + \alpha)$, όπου t είναι μηδέν τη στιγμή που εφαρμόζουμε την τάση και το α καθορίζει το μέτρο της τάσης για $t=0$. Η διαφορική εξίσωση που περιγράφει αυτό το κύκλωμα είναι:

$$\sqrt{2} \cdot \sin(\omega t + \alpha) = Ri + L \frac{di}{dt}$$

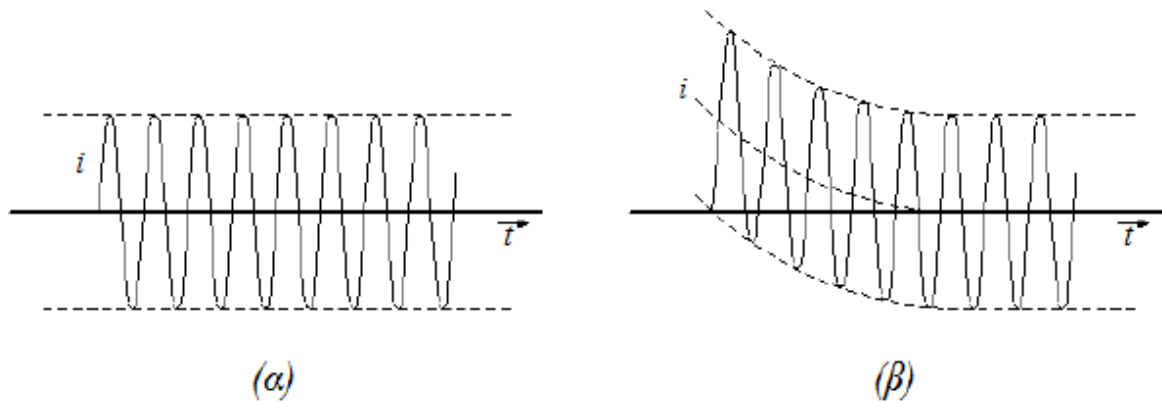
Η λύση της εξίσωσης αυτής είναι:

$$i = \frac{|V|\sqrt{2}}{|Z|} \left[\sin(\omega t + \alpha - \theta) - e^{-Rt/L} \sin(\alpha - \theta) \right]$$

Όπου

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad \text{και} \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{\omega L}{R} \right)$$

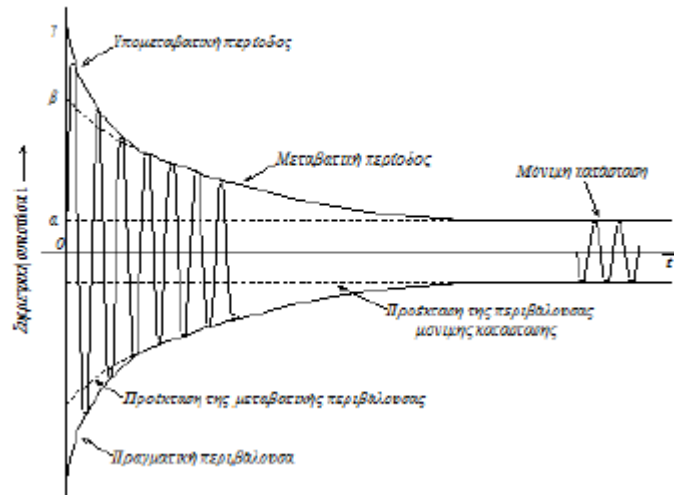
Ο ημιτονοειδής όρος είναι η τιμή του ρεύματος στη μόνιμη κατάσταση. Η **συνιστώσα συνεχούς ρεύματος** εμφανίζεται στη λύση για να ικανοποιήσει τη φυσική συνθήκη μηδενικού ρεύματος την στιγμή που εφαρμόζουμε την τάση. Σημειώνουμε, ότι η συνιστώσα συνεχούς ρεύματος δεν υπάρχει, αν κλείσουμε το διακόπτη σε τέτοιο σημείο της κυματομορφής της τάσης ώστε $\alpha - \theta = 0$ ή $\alpha - \theta = \pi$ και είναι μέγιστη για $\alpha - \theta = \pm \pi/2$.



Σχήμα 0.7 Κυματομορφές ρεύματος σε RL κύκλωμα για: α) $\alpha - \theta = 0$ β) $\alpha - \theta = \pi/2$

Το ρεύμα που ρέει σε ένα εναλλάκτη, όταν ξαφνικά βραχυκυκλώνεται, είναι παρόμοιο με το ρεύμα που διαρρέει ένα κύκλωμα RL σε σειρά, όταν ξαφνικά εφαρμόζουμε σε αυτό μια εναλλασσόμενη τάση αλλά υπάρχουν και αρκετές διαφορές, γιατί το ρεύμα τυμπάνου και το ρεύμα στα πηνία απόσβεσης επηρεάζουν το στρεφόμενο πεδίο.

Αν αφαιρέσουμε τη συνεχή συνιστώσα του ρεύματος από κάθε φάση, η κυματομορφή του ρεύματος βραχυκυκλώματος στους ακροδέκτες ενός αφόρτιστου εναλλακτήρα είναι η ακόλουθη :



Σχήμα 0.8 Κυματομορφή ρεύματος βραχυκύκλωσης εναλλακτήρα χωρίς τη συνιστώσα συνεχούς ρεύματος

Η ροή στο διάκενο μίας σύγχρονης μηχανής είναι πολύ μεγαλύτερη τη στιγμή του βραχυκυκλώματος από εκείνη που υπάρχει λίγους κύκλους αργότερα. Η μείωση της ροής προκαλείται από τη μαγνητεγερτική δύναμη του ρεύματος τυμπάνου και των ρευμάτων στα πηνία απόσβεσης (ονομάζεται αντίδραση του τυμπάνου). Η συνολική ροή στο διάκενο οφείλεται στο συνδυασμό της μαγνητεγερτικής δύναμης των ρευμάτων στα τυλίγματα πεδίου, τυμπάνου και πηνίων απόσβεσης. Καθώς μειώνεται η ροή διακένου, το ρεύμα τυμπάνου μειώνεται, γιατί το ρεύμα τυμπάνου οφείλεται στην τάση που προκαλείται από τη συνολική ροή διακένου.

3.3.3 Ασύμμετρα βραχυκυκλώματα

Τα περισσότερα σφάλματα που συμβαίνουν σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ασύμμετρα. Αυτά μπορούν να είναι ασύμμετρα στερεά βραχυκυκλώματα ή ασύμμετρα βραχυκυκλώματα δια μέσου αντιστάσεων ή ανοιχτοκυκλωμένοι αγωγοί.

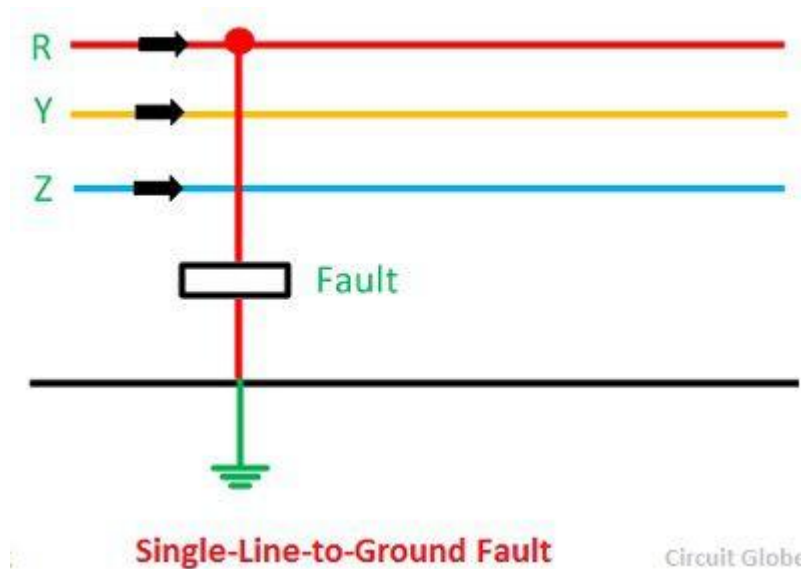
Το σφάλμα προκαλεί ασύμμετρο ρεύμα, το ρεύμα δηλαδή διαφέρει από το μέγεθος και τις φάσεις στις τρεις φάσεις του συστήματος ισχύος και είναι γνωστό ως ασυμμετρικό σφάλμα. Ορίζεται επίσης ως σφάλμα το οποίο περιλαμβάνει τη μία ή δύο φάσεις, όπως το σφάλμα L-G, L-L, L-L-G. Το ασύμμετρο κάνει το σύστημα ασύμμετρο. Κατατάσσεται κυρίως σε τρεις τύπους. Αυτοί είναι

- Ενιαία βλάβη γραμμής-εδάφους (L-G)
- Σφάλμα γραμμής-γραμμής (L-L)
- Διπλό σφάλμα γραμμής προς το έδαφος (L - L - G)

Το ασύμμετρο σφάλμα είναι οι πιο συνηθισμένοι τύποι σφαλμάτων που συμβαίνουν στο σύστημα τροφοδοσίας.

3.3.3.1 Μία ενιαία γείωση γραμμής προς γραμμή

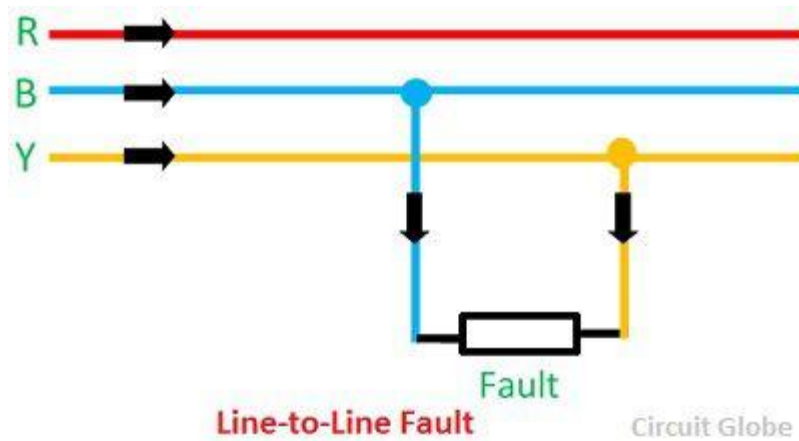
Η μόνη γραμμή σφάλματος γείωσης εμφανίζεται όταν αγωγός πέφτει στο έδαφος ή έρχεται σε επαφή με τον ουδέτερο αγωγό. Το 70-80% του σφάλματος στο σύστημα τροφοδοσίας είναι το ενιαίο σφάλμα γραμμής-εδάφους.



Εικόνα 0.9 Σφάλμα γραμμής - εδάφους

3.3.3.2 Σφάλμα γραμμής προς γραμμή

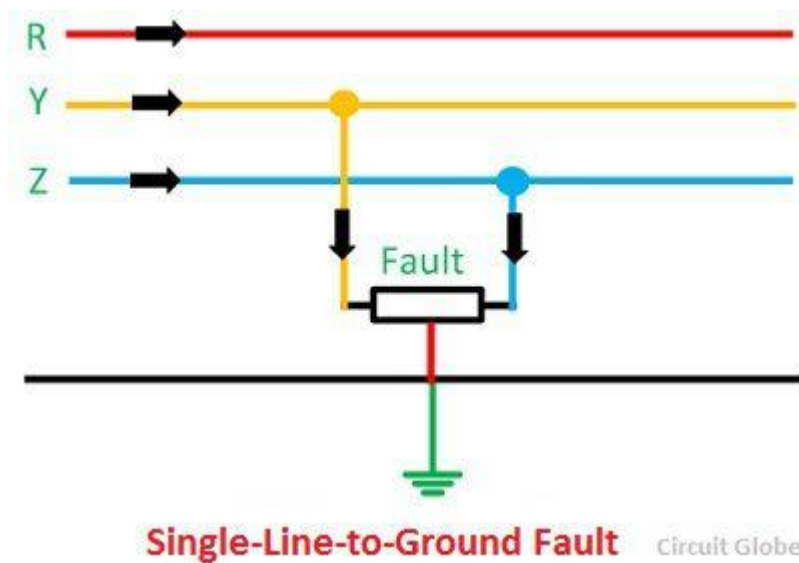
Ένα σφάλμα γραμμής σε γραμμή εμφανίζεται όταν δύοοι αγωγοί είναι βραχυκυκλωμένοι. Η κύρια αιτία αυτού του τύπου σφάλματος είναι ο βαρύς άνεμος. Ο βαρύς άνεμος ταλαντεύεται τους αγωγούς γραμμής που μπορεί να αγγίξουν μαζί και συνεπώς να προκαλέσουν βραχυκύκλωμα. Το ποσοστό αυτών των τύπων σφαλμάτων είναι περίπου 15 - 20%.



Εικόνα 0.10 Σφάλμα γραμμής προς γραμμή

3.3.3.3 Διπλό σφάλμα γραμμής εδάφους γραμμής

Σε διπλό σφάλμα γραμμής-εδάφους, οι δύο γραμμές έρχονται σε επαφή μεταξύ τους μαζί μέσω έδαφος. Η πιθανότητα τέτοιων τύπων βλαβών είναι σχεδόν 10%.



Εικόνα 0.11 Σφάλμα γραμμής -γραμμής μέσω του εδάφους

Το συμμετρικό και ασύμμετρο σφάλμα συμβαίνει κυρίως στον ακροδέκτη της γεννήτριας και το ανοικτό κύκλωμα και το σφάλμα βραχυκυκλώματος εμφανίζονται στη γραμμή μεταφοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΣΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

Στη μέση τάση εντάσσονται εγκαταστάσεις εναλλασσόμενου ρεύματος, με ονομαστική πολική τάση 1000 V και έως 35 kV τριφασικού συστήματος ή άνω των 1400 V και έως 50 kV ονομαστικής τάσης συνεχούς ρεύματος. Η τροφοδότηση ενός καταναλωτή γίνεται συνήθως από το δίκτυο μέσης τάσης αν ο καταναλωτής έχει προβλεπόμενη ισχύ μεγαλύτερη από 135 kVA. Ακόμα όμως και σε μικρότερες ισχύεις, η σύνδεση με την μέση τάση μπορεί να επιβάλλεται από τη ΔΕΗ για τεχνικούς λόγους ή αν συμφέρει οικονομικά λόγω τιμολογίου.

4.1 Τυποποιημένες παροχές μέσης τάσης της ΔΕΗ

Η ΔΕΗ έχει τυποποιήσει τέσσερις τύπους παροχών μέσης τάσης που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4-1 Τυποποιημένες παροχές μέσης τάσης της ΔΕΗ

Τύπος	Εγκατάσταση μέτρησης	Μέγιστη ισχύς μετασχηματιστή
A1	Εξωτερικά (υπαίθρια)	630 kVA
A2	Εξωτερικά (υπαίθρια)	Περιορισμένη μόνο από το δίκτυο μέσης τάσης
B1	Εσωτερικά (στεγασμένη)	1250 kVA
B2	Εσωτερικά (στεγασμένη)	Περιορισμένη μόνο από το δίκτυο μέσης τάσης

4.1.1 Παροχή τύπου A1 και A2

Η παροχή αυτή γίνεται από το εναέριο δίκτυο των 20 kV και είναι η απλούστερη σε διατάξεις. Τα μέσα που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ, δηλαδή ασφαλειοαποζεύκτης, μετασχηματιστής μέτρησης έντασης και τάσης είναι πάνω σε στύλο, δηλαδή

υπαίθρια. Οι μετρητές ενέργειας τοποθετούνται σε ειδικό ερμάριο. Από το στύλο αναχωρεί καλωδιακή γραμμή προς τον υποσταθμό του καταναλωτή, την οποία κατασκευάζει ο καταναλωτής. Η παροχή A1 ασφαλίζεται με ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης ονομαστικής έντασης 30 A. Η παροχή A2 διαφέρει από την A1 στο ότι χρησιμοποιεί διακόπτη απομόνωσης αντί ασφαλειοαποζεύκτη.

4.1.2 Παροχή τύπου B1 και B2

Η παροχή αυτή εγκαθίσταται σε καταναλωτές με αυξημένη ζήτηση ισχύος και η εγκατάσταση της ΔΕΗ είναι εσωτερικού τύπου. Ο καταναλωτής είναι υποχρεωμένος να διαθέσει στη ΔΕΗ ένα χώρο διαμορφωμένο σύμφωνα με την οδηγία της ΔΕΗ. Στο χώρο αυτό η ΔΕΗ εγκαθιστά έναν προκατασκευασμένο πίνακα 20 kV που περιλαμβάνει εκτός των διακοπών, τους μετασχηματιστές μέτρησης και τους μετρητές ενέργειας. Η σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ γίνεται κατά κανόνα ακτινικά, αν πρόκειται για εναέριο δίκτυο ή βροχοειδώς, αν πρόκειται για υπόγειο δίκτυο. Στη βροχοειδή σύνδεση έχουμε δύο καλώδια που οδεύουν από το δίκτυο της ΔΕΗ στον καταναλωτή. Το ένα καλώδιο της παροχής προέρχεται από τον προηγούμενο καταναλωτή και το άλλο καλώδιο της παροχής οδηγεί στον επόμενο καταναλωτή.

4.2 Απαγωγείς τάσεων

Οι υπερτάσεις στα δίκτυα μέσης τάσης είναι:

- **Εξωτερικές**, δηλαδή προέρχονται από ατμοσφαιρικές εκκενώσεις (κεραυνούς)
- **Εσωτερικές**, δηλαδή προέρχονται από το άνοιγμα ή κλείσιμο διακοπών που τροφοδοτούν επαγωγικά ή χωρητικά φορτία.

Στα δίκτυα 20 kV συναντάμε δύο είδη απαγωγέων τάσεων:

- **Σπινθηριστές ακίδων**. Τους συναντάμε συνήθως στους ακροδέκτες μέσης τάσης των μετασχηματιστών.
- **Απαγωγείς τάσεων** με μη γραμμικές αντιστάσεις.

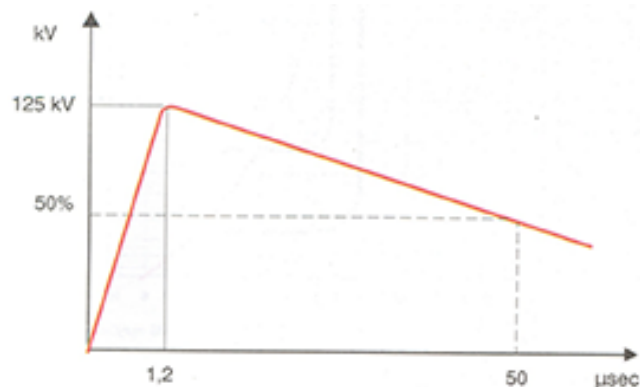
Για τα δίκτυα των 20 kV οι ονομαστικές τάσεις που χαρακτηρίζουν την αντοχή είναι:

- ενεργός τιμή 24kV για βιομηχανική συχνότητα 50Hz και χρόνο απεριόριστο.
- ενεργός τιμή 50 kV για βιομηχανική συχνότητα 50 Hz και χρόνο $t = 1s$.
- τιμή κορυφής 125 kV για κρουστική τάση μορφής 1,2/50 μs .

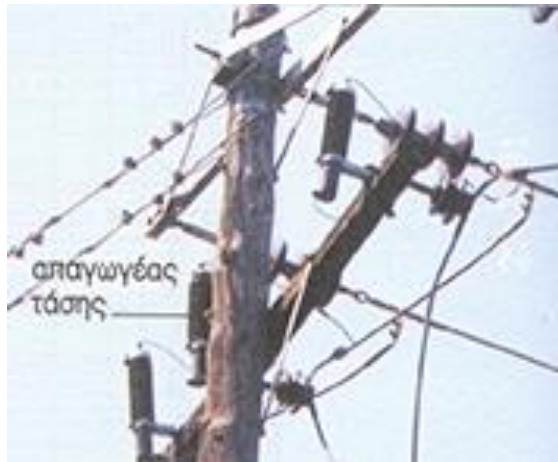
Η εγκατάσταση αντέχει σε διάφορα επίπεδα τάσεων, ανάλογα με τον χρόνο διάρκειας της τάσης. Σκοπός των απαγωγέων τάσης (surge arresters) είναι να μειώσουν τις υπερτάσεις σε επίπεδα που δεν υπερβαίνουν τις ονομαστικές τάσεις του εξοπλισμού.

Οι απαγωγείς τάσης συνδέονται μεταξύ φάσεων και γης. Όταν η τάση σε κάποια φάση ξεπεράσει κάποια όρια, αυτόματα δημιουργούν αγωγίμο δρόμο προς τη γη, απάγοντας έτσι την υπέρταση στη γείωση. Ο αγωγίμος αυτός δρόμος διαρκεί όσο διαρκεί η υπέρταση, δηλαδή συνήθως κάποια μs ($1\mu s = \text{ένα εκατομμυριοστό του δευτερολέπτου}$). Όταν τελειώσει η υπέρταση, ο απαγωγέας αυτόματα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση.

Εγκαθίστανται κοντά στις παροχές των εναέριων γραμμών, ώστε να προστατεύουν την εγκατάσταση από ατμοσφαιρικές υπερτάσεις που εμφανίζονται πάνω στις γραμμές από πτώση κεραυνών. Για λόγους ασφαλείας, το ηλεκτρόδιο γείωσης των απαγωγέων είναι διαφορετικό από τις άλλες γειώσεις του υποσταθμού.



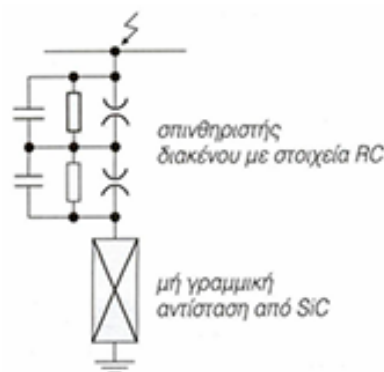
Σχήμα 4.1 Τυποποιημένη μορφή κρουστικής τάσης



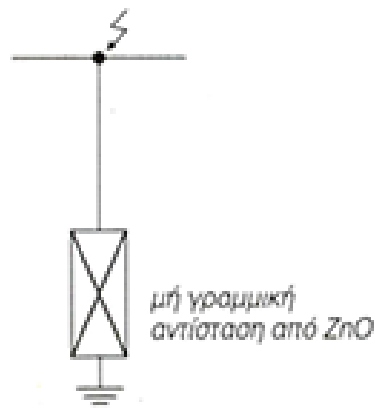
Εικόνα 4.2 Απαγωγείς τάσης σε εναέριο δίκτυο 20 kV

4.2.1 Πώς είναι κατασκευασμένοι οι απαγωγείς τάσης

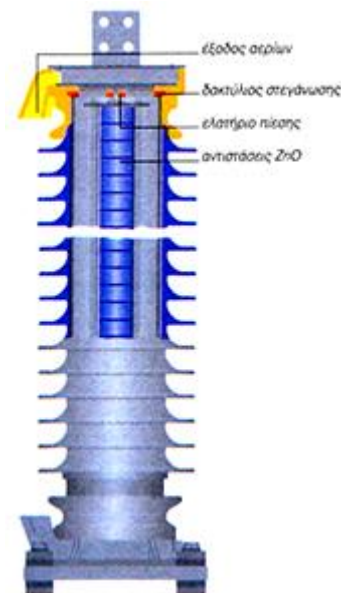
Βασικό μέγεθος για τη σωστή επιλογή των απαγωγέων τάσεων είναι η ηλεκτρική αντοχή της εγκατάστασης (BIL = Basic Insulation Level). Η αντοχή σε κρουστική τάση για τα δίκτυα 20 kV είναι 125 kV. Οι απαγωγείς τάσης είναι μη γραμμικές αντιστάσεις που φροντίζουν η τάση να μένει κάτω από μια ορισμένη τιμή, την τάση προστασίας. Οι απαγωγείς τάσης αποτελούνται από ένα σπινθηριστή (διάκενο αέρα) σε σειρά με μη γραμμικές αντιστάσεις από ανθρακικό πυρίτιο (SiC). Υπάρχουν και απαγωγείς τάσεων με αντιστάσεις από οξειδίο του ψευδαργύρου (ZnO) που δεν χρειάζονται σπινθηριστή, διότι παρουσιάζουν πιο έντονη μη γραμμικότητα από τις αντιστάσεις του ανθρακικού πυριτίου. Αυτοί δεν χρειάζονται σπινθηριστή, γιατί το ρεύμα στην τάση των 20 kV είναι ασήμαντο.



Σχήμα 4.3 Ισοδύναμο κύκλωμα για απαγωγέα τάσης SiC



Σχήμα 4.4 Ισοδύναμο κύκλωμα για απαγωγή τάσης ZnO



Εικόνα 4.5 Τομή απαγωγέα τάσης με αντιστάσεις ZnO

4.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη των απαγωγέων τάσεων

Χαρακτηριστικά μεγέθη των απαγωγέων τάσης είναι:

- **Τάση αφής (Spark-over voltage).** Είναι η τάση που ενεργοποιούνται οι απαγωγείς. Οι κανονισμοί ορίζουν δύο τιμές τάσης αφής:
 - σε ενεργό τιμή για βιομηχανική συχνότητα 50 Hz
 - σε τιμή κορυφής για κρουστική τάση 1.2/50 μ s

Για απαγωγείς δικτύων 20 kV οι τιμές αυτές είναι 38 kV και 79 kV αντίστοιχα.

- **Τάση σβέσης (rated voltage).** Είναι η τάση στην οποία απενεργοποιούνται (σβήνουν) με βεβαιότητα οι απαγωγείς. Για τα δίκτυα των 20 kV η τάση αυτή είναι τα 24 kV.
- **Ονομαστικό κρουστικό ρεύμα (Rated discharge current).** Είναι η κορυφή του κρουστικού ρεύματος σε kA στο οποίο μπορεί να αντέξει επανειλημμένα ο απαγωγέας. Αυτό είναι 5 kA ή 10 kA και απαγωγείς δικτύων 20 kV. Σε πολύ κεραυνόπληκτες περιοχές (> 20 κεραυνοί ανά έτος και τετραγωνικό χιλιόμετρο) επιλέγονται απαγωγείς των 10 kA.
- **Αντοχή σε κρουστικά ρεύματα (Impulse with-stand current).** Οι κανονισμοί ορίζουν τιμές αντοχής για κρουστικά ρεύματα:
 - βραχείας διάρκειας 4/10 μs
 - μακράς διάρκειας 2000 μs

Για απαγωγείς δικτύων 20 kV οι τιμές αυτές είναι 100 kA και 250 A αντίστοιχα.

- **Παραμένουσα τάση (Residual voltage).** Είναι η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του απαγωγέα όταν περνά το κρουστικό ρεύμα. Δίνεται συνήθως για το ονομαστικό κρουστικό ρεύμα (5 kA ή 10 kA) και επιπρόσθετα και για άλλα ρεύματα.

Ρεύματα πάνω από την αντοχή των απαγωγέων μπορεί να οδηγήσουν σε έκρηξη του απαγωγέα και βραχυκύκλωμα του δικτύου.

4.4 Αποζεύκτες, γειωτές

Οι αποζεύκτες και οι γειωτές είναι διακόπτες που ανοίγουν ένα κύκλωμα υπό ελάχιστο φορτίο και με ελάχιστη τάση. Δηλαδή πρέπει να τους χειριζόμαστε χωρίς ρεύμα ή τάση στους πόλους του. Γι' αυτό ονομάζονται και διακόπτες χωρίς φορτίο (off-load switch). Χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν ορατές διακοπές στα κυκλώματα μέσης τάσης. Έτσι είμαστε σίγουροι ότι το κύκλωμα είναι απομονωμένο και μπορούμε να αρχίσουμε τις εργασίες σε αυτό. Γι' αυτό ονομάζονται και απομονωτές (isolator switch). Ο αποζεύκτης αποτελείται από:

1. Δύο μονωτήρες σε κάθε πόλο
2. Τους ακροδέκτες σύνδεσης στην κορυφή των μονωτήρων
3. Τις κινητές επαφές που μοιάζουν με μαχαίρια
4. Το σιδερένιο άξονα που με την περιστροφή του δίνει κίνηση στα μαχαίρια
5. Ράβδους από μονωτικό υλικό που συνδέουν τον άξονα με τα μαχαίρια

Οι αποζεύκτες πρέπει να αντέχουν:

- Σε κλειστή θέση τα ρεύματα σφαλμάτων
- Σε ανοικτή θέση τις υπερτάσεις του δικτύου

Σήμερα, επειδή η διαφορά τιμής είναι μικρή, χρησιμοποιούμε διακόπτες φορτίου αντί αποζευκτών. Έτσι απλοποιούνται οι χειρισμοί – μανδάλωσης για την απομόνωση ενός κυκλώματος. Οι γειωτές (earth switch) είναι πρακτικά αποζεύκτες με τη διαφορά ότι η μια τους πλευρά συνδέεται πάντα στη γείωση. Χρησιμοποιούνται:

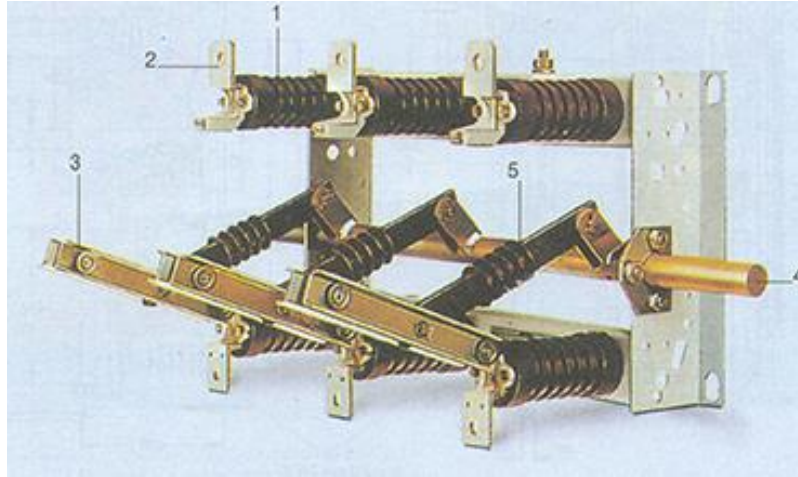
- Για να μηδενίσουν τα ηλεκτρικά φορτία που παραμένουν στα κυκλώματα μέσης τάσης και οφείλονται στους παρασιτικούς πυκνωτές που υπάρχουν κυρίως στα καλώδια.
- Για να γειώσουν το τμήμα του δικτύου στο οποίο θα εργαστούμε (συντήρηση ή επιδιόρθωση)

Για να ξεκινήσουμε τις εργασίες επισκευής ή συντήρησης σε κυκλώματα μέσης τάσης πρέπει να κάνουμε με τη σειρά τις παρακάτω ενέργειες:

- Να διακόψουμε το κύκλωμα με τη βοήθεια του διακόπτη φορτίου ή του διακόπτη ισχύος.
- Να σιγουρευτούμε ότι είναι απομονωμένο, π.χ. ελέγχοντας από το παράθυρο της κυψέλης τα μαχαίρια του αποζεύκτη.
- Να το κλειδώσουμε στη θέση απομονωμένο.
- Να γειώσουμε το κύκλωμα όπου θα εργαστούμε.

Τελειώνοντας τις εργασίες πρέπει να κάνουμε με τη σειρά τις παρακάτω ενέργειες:

- Να επαναφέρουμε το γειωτή στην ανοιχτή θέση.
- Να κλείσουμε τους διακόπτες με την αντίστροφη σειρά που τους ανοίξαμε, δηλαδή πρώτα τον αποζεύκτη και μετά τον διακόπτη.



Εικόνα 4.6 Αποζεύκτης ονομαστικής τάσης 24 kV με μαχαίρια

4.5 Ασφάλειες εκτόνωσης μέσης τάσης

Τις ασφάλειες εκτόνωσης τις συναντάμε στα σημεία διακλαδώσεων των εναέριων δικτύων της ΔΕΗ. Αποτελούνται από ένα κοίλο μονωτικό σωλήνα διαμέτρου 2-3 cm και μήκους 30-35 cm (**Εικόνα 4.7**) το εσωτερικό του οποίου είναι καλυμμένο με βορικό οξύ. Στο εσωτερικό του σωλήνα υπάρχει ένας αγωγός, το τηκτό, τανυσμένος με ελατήριο.

Σε περίπτωση υπέρτασης, το τηκτό τήκεται (λιώνει), δημιουργείται τόξο στο εσωτερικό του σωλήνα, το οποίο παράγει υδρατμούς που βοηθούν στη σβέση του τόξου.



Εικόνα 4.7 Ασφάλεια εκτόνωσης πάνω σε στύλο Μ.Τ.

4.5.1 Πως λειτουργεί μια ασφάλεια HRC

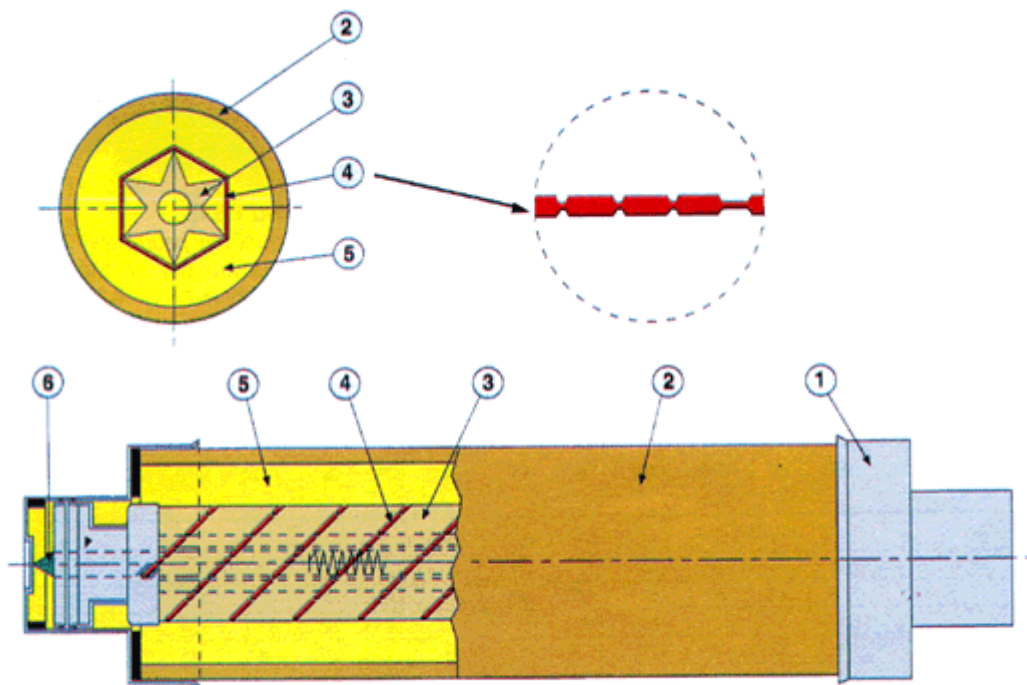
Οι ασφάλειες σκόνης έχουν ένα πυρήνα από κεραμικό υλικό (3), πάνω στο οποίο είναι τυλιγμένο σε μορφή σπείρας το τηκτό (4). Το τηκτό είναι από κράμα αργύρου για να έχει όσο γίνεται μικρότερη αντίσταση. Ο τυλιγμένος αγωγός βρίσκεται σε σκόνη χαλαζία (5). Το εξωτερικό περίβλημα είναι από πορσελάνη (2). Όταν το ρεύμα ξεπεράσει μία κρίσιμη τιμή I , τότε τήκεται ο αγωγός σε ένα ή περισσότερα σημεία, με αποτέλεσμα η ενέργεια που εκλύει το τόξο να απορροφάται από τη χαλαζιακή άμμο που λιώνει και μετατρέπεται σε πορσελάνη. Η αντίσταση που παρεμβάλλεται στο δρόμο του βραχυκυκλώματος είναι τεράστια και το ρεύμα βραχυκυκλώματος περιορίζεται προτού φτάσει στη μέγιστη τιμή του (κορυφή).

Αυτό έχει ως συνέπεια, πέρα από την διακοπή του σφάλματος, και το σημαντικό περιορισμό της κορυφής του ρεύματος βραχυκυκλώματος, που σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να δημιουργήσει δυναμικές και θερμικές καταπονήσεις στον εξοπλισμό του υποσταθμού. Οι ασφάλειες HRC διαθέτουν και ένα δείκτη λειτουργίας (6) που συγκρατείται με ελατήριο. Όταν η ασφάλεια λειτουργήσει

το ελατήριο απελευθερώνεται και ο δείκτης εξέρχεται από το σώμα της ασφάλειας. Η λειτουργία του δείκτη είναι διπλή:

1. δείχνει ότι η ασφάλεια έχει λειτουργήσει και συνεπώς πρέπει να αντικατασταθεί
2. χτυπά με δύναμη την άκρη ενός πλαστικού μοχλού που με τη βοήθεια ενός μηχανισμού δίνει εντολή απόζευξης στο διακόπτη φορτίου.

Επειδή οι ασφάλειες σκόνης έχουν την ικανότητα να περιορίζουν το ρεύμα βραχυκυκλώματος, ονομάζονται και ασφάλειες υψηλής ικανότητας διακοπής (HRC = High Rupturing Capacity)



Τα μέρη μια ασφάλειας HRC

Εικόνα 4.8 Τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια ασφάλεια σκόνης

1. Επαφές
2. Εξωτερικός σωλήνας από πορσελάνη
3. Πυρήνας από κεραμικό υλικό
4. Τηκτό στοιχείο
5. Χαλαζιακή άμμος
6. Δείκτης λειτουργίας

4.5.2 Χαρακτηριστικές απόζευξης των ασφαλειών HRC

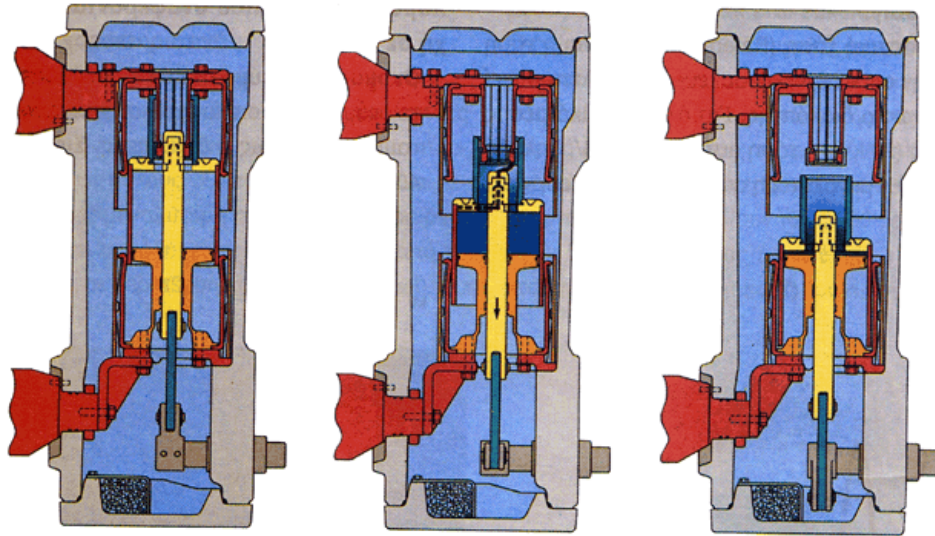
Για να μπορέσουμε να επιλέξουμε σωστά την ασφάλεια που θα χρησιμοποιήσουμε σε ένα δίκτυο, θα πρέπει να γνωρίζουμε το χρόνο που χρειάζεται η ασφάλεια να διακόψει το σφάλμα. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για τις ασφάλειες που συναντάμε στην πλευρά μέσης τάσης του μετασχηματιστή ισχύος, διότι θα πρέπει να συνεργαστούν με τις ασφάλειες (ή το διακόπτη ισχύος) που υπάρχουν στην πλευρά χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή.

4.6 Διακόπτες ισχύος

Οι διακόπτες ισχύος (circuit-breaker) ανοίγουν και κλείνουν το κύκλωμα σε οποιαδήποτε συνθήκες λειτουργίας, δηλ. τόσο σε κανονικές συνθήκες όσο και σε βραχυκύκλωμα. Τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν είναι πάνω από 7 kA, δηλαδή, όσο το αναμενόμενο ρεύμα βραχυκυκλώματος στο δίκτυο μέσης τάσης στην Ελλάδα. Ο διακόπτης ισχύος είναι σε θέση να αντέξει, αμέσως μετά τη σβέση του τόξου, στην επιβαλλόμενη τάση του δικτύου. Οι διακόπτες ισχύος, ανάλογα με το ρευστό που χρησιμοποιείται για τη σβέση του τόξου χωρίζονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες:

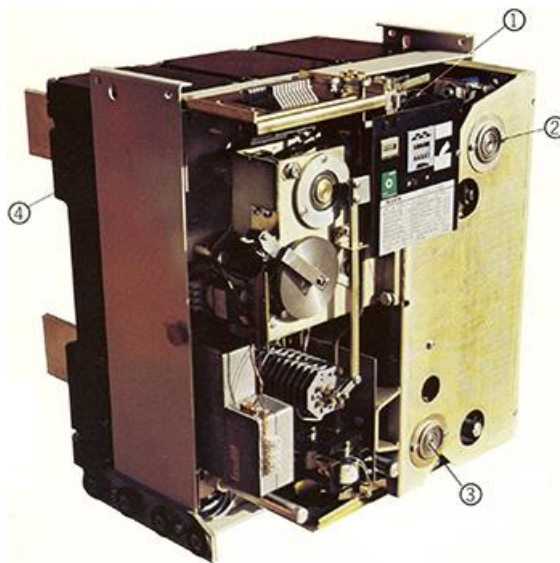
- Πτωχού ελαίου (oil-minimum)
- Εξα-φθοριούχου θείου (SF6) (προφέρεται ες εφ σιξ)
- Κενού (vacuum)

Στις δεκαετίες 1970-1990 κυριάρχησε ο διακόπτης πτωχού ελαίου (ονομάστηκε έτσι σε αντιδιαστολή με τους προηγούμενους διακόπτες ισχύος που χρησιμοποιούσαν πολλαπλάσιες ποσότητες λαδιού). Στην τελευταία δεκαετία αντικαταστάθηκε από το διακόπτη ισχύος με SF6. Το αέριο SF6 είναι ένα αδρανές αέριο με άριστες μονωτικές ιδιότητες που βρίσκεται μέσα στους πόλους του διακόπτη ισχύος. Οι διακόπτες ισχύος με κενό χρησιμοποιούν σαν μονωτικό το κενό, δηλαδή την έλλειψη οποιουδήποτε αερίου. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι το απόλυτο κενό είναι το τέλειο μονωτικό.

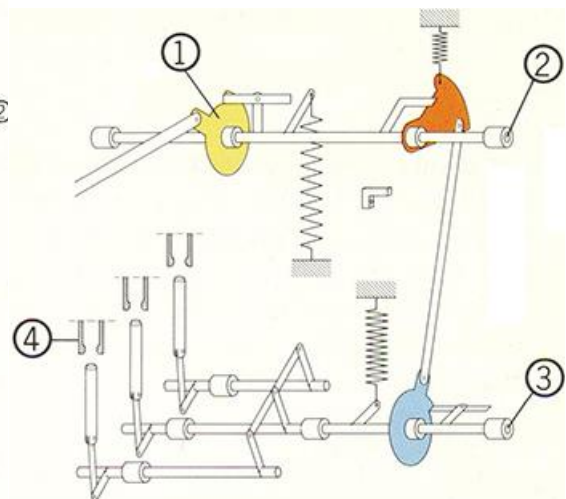


Εικόνα 4.9 Οι φάσεις κατά την σβέση του τόξου σε ρεύμα βραχυκυκλώματος στο πόλο ενός διακόπτη ισχύος SF6

Η ΔΕΗ έχει υπολογίσει για το διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο μέσης τάσης της χώρας μας, την τιμή του αναμενόμενου βραχυκυκλώματος σε 7 kA. Στον υπολογισμό αυτό συμμετέχουν όλες τις γεννήτριες, οι αντιστάσεις των γραμμών μεταφοράς και πολλές άλλες παράμετροι. Πολλές φορές το συναντάμε και σαν ισχύ συμμετρικού βραχυκυκλώματος στη μέση τάση $S = 250 \text{ MVA}$. Αυτό προκύπτει από τον γνωστό τύπο $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I = 1,73 \cdot (20 \text{ kV}) \cdot (7 \text{ kA}) \approx 250 \text{ MVA}$



Εικόνα 4.10 Τομή ενός διακόπτη ισχύος



Εικόνα 4.11 Αρχή μηχανικής λειτουργίας διακόπτη ισχύος

4.6.1 Τα μέρη του διακόπτη ισχύος

Ανεξάρτητα από το μονωτικό μέσο (λάδι, SF₆, κενό) που χρησιμοποιείται για τη σβέση του τόξου και το εργοστάσιο κατασκευής τους, όλοι οι διακόπτες ισχύος αποτελούνται από τα ίδια μέρη. Στην **Εικόνα4.12** βλέπουμε ένα διακόπτη ισχύος SF₆ ονομαστικής τάσης 24 kV και ονομαστικού ρεύματος 400 A. Στην εικόνα έχουν σημειωθεί με αριθμούς από το 1 ως το 10 τα μέρη του διακόπτη ισχύος που ενδιαφέρουν άμεσα το συντηρητή του υποσταθμού. Στον πίνακα αναλύονται οι αριθμοί που υπάρχουν στην εικόνα. Εκτός από τα μέρη του διακόπτη ισχύος που φαίνονται στην εικόνα, υπάρχουν μια σειρά από εξαρτήματα που αποτελούν το μηχανισμό λειτουργίας του διακόπτη ισχύος και τα οποία περιγράφονται παρακάτω:

- Ο μηχανισμός λειτουργίας του διακόπτη ισχύος βασίζεται σε δύο ελατήρια που αποθηκεύουν μηχανική ενέργεια, όταν τανυστούν (τεντωθούν). Τα δύο ελατήρια είναι:
 - το ελατήριο κλεισίματος
 - το ελατήριο ανοίγματος

Τα δύο ελατήρια ξεχωρίζουν από το μέγεθός τους. Το ελατήριο κλεισίματος είναι μεγαλύτερο και, συνεπώς, ισχυρότερο από το ελατήριο ανοίγματος, επειδή το ελατήριο κλεισίματος τανύζει το ελατήριο ανοίγματος. Η απελευθέρωση και των δύο ελατηρίων δίνει κίνηση στον ίδιο άξονα. Στον άξονα αυτό συνδέονται με μοχλούς από μονωτικό υλικό, οι κινητές επαφές του διακόπτη ισχύος. Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος περιστρέφει τον άξονα, έτσι ώστε οι κινητές επαφές να έλθουν σε επαφή με τις ακίνητες επαφές και ο διακόπτης κλείνει.

Η απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος περιστρέφει τον άξονα κατά την αντίθετη φορά, ώστε οι κινητές επαφές να απομακρυνθούν από τις ακίνητες επαφές και ο διακόπτης ανοίγει.

Η λειτουργία του αυτόματου διακόπτη ξεκινά με την τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος. Η τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος μπορεί να γίνει:

- Χειροκίνητα με ένα μοχλό (μανιβέλα) (2)
- Ηλεκτρικά με τη βοήθεια ενός μικρού ηλεκτρικού κινητήρα που λειτουργεί με ΣΡ ή ΕΡ

Το ελατήριο κλεισίματος, αφού τανυθεί, αυτοσυγκρατείται. Απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος μπορεί να γίνει:

- Χειροκίνητα με το κουμπί κλεισίματος (4)
- Ηλεκτρικά στέλνοντας ρεύμα στο πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη κλεισίματος (closing solenoid)

Η απελευθέρωση του ελατηρίου κλεισίματος τανύζει το ελατήριο ανοίγματος που αυτοσυγκρατείται. Η απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος μπορεί να γίνει:

- Χειροκίνητα με το κουμπί ανοίγματος (3)
- Ηλεκτρικά στέλνοντας ρεύμα στο πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη ανοίγματος (opening solenoid, shunt release, trip coil)



Εικόνα4.12 Διακόπτης ισχύος SF6

1	<i>Ηλεκτρονόμος υπερέντασης</i>	<i>Overcurrent release</i>
2	<i>Μοχλός για τη μηχανική τάνυση του ελατηρίου κλεισίματος</i>	<i>Shaft for manual closing spring charging</i>
3	<i>Κουμπί ανοίγματος</i>	<i>Opening knob</i>
4	<i>Κουμπί κλεισίματος</i>	<i>Closing knob</i>
5	<i>Ένδειξη ότι το ελατήριο κλεισίματος είναι: - τανυσμένο (κίτρινο) - ατάνυστο (λευκό)</i>	<i>Signal for closing springs - charged (yellow) and discharged (white)</i>
6	<i>Συσκευή μπλοκαρίσματος και ένδειξης της πίεσης του αερίου SF6</i>	<i>Device for locking and signalling the state of SF6 gas</i>
7	<i>Ένδειξη ανοικτός / κλειστός διακόπτης ισχύος</i>	<i>Circuit-breaker open/closed signalling device</i>
8	<i>Ακροδέκτες μέσης τάσης</i>	<i>Medium voltage terminals</i>
9	<i>Μετασχηματιστές έντασης για τον υπερέντασης</i>	<i>HN Current sensor for overcurrent releases</i>
10	<i>Πόλος διακόπτη ισχύος</i>	<i>Circuit-breaker pole</i>

4.6.2 Διακόπτες ισχύος επί φορείου

Τους διακόπτες ισχύος επί φορείου τους συναντάμε και με το όνομα συρόμενοι ή συρταρωτοί. Όπως φαίνεται στην **Εικόνα4.13** ,ο διακόπτης ισχύος πτωχού ελαίου είναι τοποθετημένος σε φορείο με ρόδες. Κάθε πόλος του διακόπτη περιλαμβάνει δύο βυσματωτές επαφές που του επιτρέπουν να συνδέεται και να αποσυνδέεται από το κύριο κύκλωμα. Μετά το άνοιγμα (opening) του διακόπτη ισχύος μπορούμε να τον τραβήξουμε και να δημιουργήσουμε έτσι μια ικανή

απόσταση (περίπου 20 cm). Η απόσταση αυτή θεωρείται απόσταση ασφαλείας για τη δημιουργία απομόνωσης. Έτσι οι κυψέλες μέσης τάσης που φιλοξενούν τους διακόπτες ισχύος επί φορείου δε χρειάζεται να περιλαμβάνουν διακόπτη απομόνωσης (αποζεύκτη), τόσο στην πλευρά των ζυγών όσο και στην πλευρά του καλωδίου. Το κόστος του διακόπτη αυτού σε συνδυασμό με την αντίστοιχη κυψέλη που θα τον φιλοξενήσει, είναι αρκετά υψηλότερο από το συνδυασμό του σταθερού διακόπτη ισχύος και του αποζεύκτη φορτίου. Έτσι τον συναντάμε στα πρωτογενή δίκτυα διανομής μέσης τάσης, δηλαδή στους κεντρικούς υποσταθμούς της ΔΕΗ ή στους σταθμούς παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας.



Εικόνα 4.13 Διακόπτης ισχύος επί φορείου

4.6.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη των διακοπών ισχύος

Στα φυλλάδια των κατασκευαστών υλικών μέσης τάσης (διακόπτες ισχύος, μετασχηματιστές ισχύος και μέτρησης, καλώδια κ.ά.) συναντάμε μια σειρά από έννοιες που χαρακτηρίζουν τις δυνατότητες αλλά και την αντοχή του υλικού. Η γνώση των εννοιών αυτών είναι καθοριστική στο μελετητή για να κάνει τη σωστή επιλογή των υλικών. Στο συντηρητή ηλεκτρολόγο, η γνώση των εννοιών αυτών είναι απαραίτητη για τη σωστή και ασφαλή λειτουργία του υποσταθμού αλλά και της ίδιας του της ζωής. Τις έννοιες (=χαρακτηριστικά) αυτές τις χωρίζουμε σε δύο κατηγορίες:

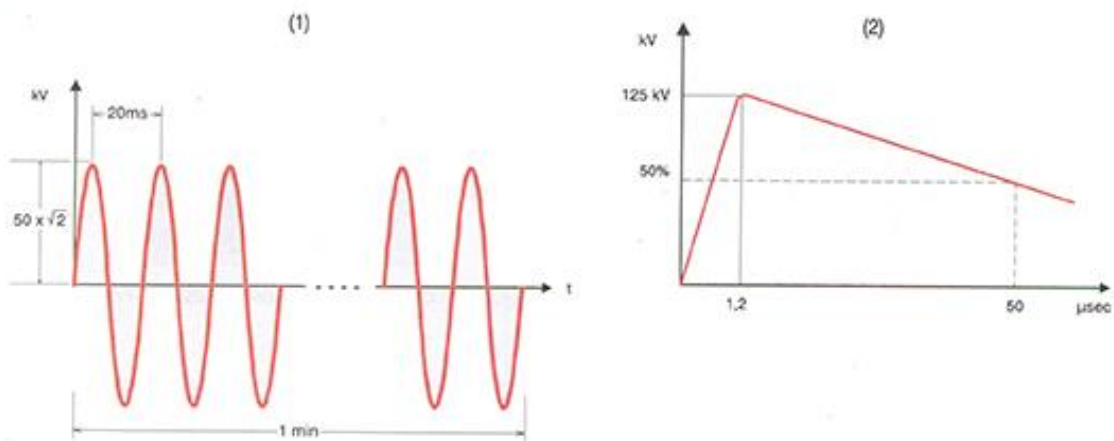
- σε αυτές που αναφέρονται στην αντοχή της μόνωσης (αντοχή τάσης), και
- σε αυτές που αναφέρονται στην αντοχή στη διέλευση του ρεύματος.

4.6.3.1 Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντοχή σε τάση

- **Ονομαστική τάση (Rated voltage)** είναι η τάση για την οποία έχει κατασκευαστεί να λειτουργεί συνεχώς ο διακόπτης ισχύος. Για όλα τα υλικά μέσης τάσης (20 kV) η τάση αυτή είναι 24 kV, δηλαδή είναι 20% μεγαλύτερη από την τάση λειτουργίας.
- **Αντοχή σε εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50 HZ (Withstand voltage at 50 HZ)** είναι η τάση στη οποία αντέχει ο διακόπτης ισχύος για χρόνο 1 min. Με την τάση αυτή δοκιμάζεται στο εργοστάσιο κατασκευής του κάθε πίνακας μέσης τάσης, γι' αυτό και λέγεται δοκιμή σειράς. Για όλα σχεδόν τα υλικά μέσης τάσης, η τάση δοκιμής είναι 50 kV.
- **Αντοχή σε κρουστική τάση (Impulse ithstand voltage)** είναι η κρουστική τάση (παρόμοια με την τάση που δημιουργεί ένας κεραυνός). Με την τάση αυτή δοκιμάζεται σε ειδικά εργαστήρια ένας πρότυπος διακόπτης ισχύος, γι' αυτό και λέγεται δοκιμή τύπου. Για όλα σχεδόν τα υλικά μέσης τάσης, η τιμή της κρουστικής τάσης είναι 125 kV.

4.6.3.2 Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στην αντοχή σε ρεύμα

- **Ονομαστικό ρεύμα (Rated normal current)** είναι το ρεύμα για το οποίο έχει κατασκευαστεί να λειτουργεί συνεχώς ο διακόπτης ισχύος. Συνήθως είναι 400 A και πάνω.
- **Ονομαστικό ρεύμα απόξευξης σε βραχυκύκλωμα (Rated breaking capacity)** είναι το ρεύμα του βραχυκυκλώματος που μπορεί να ανοίξει ο διακόπτης ισχύος με ασφάλεια, δηλαδή χωρίς να καταστραφεί. Συνήθως είναι 8 kA και πάνω. Το ρεύμα αυτό πρέπει να το αντέξει για τουλάχιστον 3 s, δηλαδή όσο χρόνο θα χρειαστούν οι διάφορες προστασίες για να δώσουν την εντολή απόξευξης. Αν η προστασία δε δουλέψει και το ρεύμα βραχυκυκλώματος ξεπεράσει τα 3 s τότε το σίγουρο είναι ότι ο διακόπτης ισχύος θα καταστραφεί δημιουργώντας μεγάλες υλικές ζημιές και ίσως ανθρώπινες απώλειες.
- **Ονομαστικό ρεύμα ζεύξης σε βραχυκύκλωμα (Making breaking capacity)** είναι το ρεύμα που μπορεί να κλείσει με ασφάλεια ο διακόπτης ισχύος, στην περίπτωση που κλείνει σε βραχυκύκλωμα. Συνήθως είναι από 20 kA και πάνω.



Σχήμα 4.14 (1) Εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 50Hz ενεργούς τιμής 50kV
(2) Κρουστική τάση 1,2/50 μ s

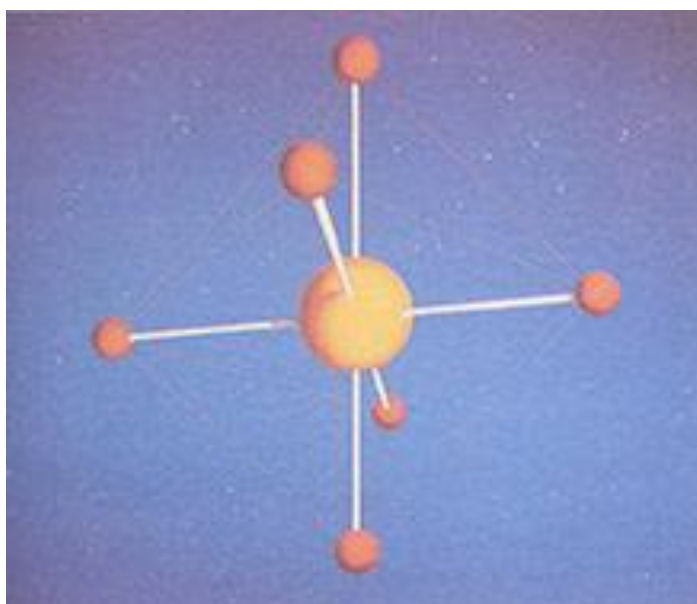
4.6.4 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος SF6

Ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο στους διακόπτες ισχύος SF6 είναι η πίεση του αερίου SF6 που υπάρχει μέσα στους πόλους. Η πίεση του αερίου είναι περίπου 0,5 bar μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική πίεση. Αν και οι πόλοι είναι

σφραγισμένοι από το εργοστάσιο, σε περίπτωση που έχουμε διαρροή του αερίου σε κάποιον από τους τρεις πόλους, τότε ο διακόπτης ισχύος θα αστοχήσει στην επόμενη εντολή διακοπής και αυτό μπορεί να είναι μοιραίο. Συνήθως οι διακόπτες ισχύος SF₆ είναι εφοδιασμένοι με ειδικό μηχανισμό που ελέγχει την πίεση του αερίου. Σε περίπτωση ελαττωμένης πίεσης σε κάποιον από τους πόλους δίδεται ένδειξη και ταυτόχρονα μπλοκάρεται το κλείσιμο του διακόπτη ισχύος.

4.6.5 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διακοπών ισχύος πτωχού ελαίου

Ιδιαίτερα κρίσιμο στοιχείο στους διακόπτες ισχύος πτωχού ελαίου είναι ο έλεγχος της στάθμης και η ποιότητα του μονωτικού λαδιού που υπάρχει στους πόλους. Αυτό γίνεται εύκολα, διότι οι μπουκάλες των πόλων είναι από διαφανές υλικό (πλεξιγκλάς ενισχυμένο με υαλόνημα) και έτσι εύκολα μπορούμε να ελέγχουμε τη στάθμη. Η συμπλήρωση με ειδικό λάδι γίνεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η ποιότητα του λαδιού ελέγχεται συνήθως οπτικά βλέποντας το χρώμα του. Αντικατάσταση στο λάδι πρέπει να γίνεται μετά από έναν αριθμό κανονικών χειρισμών (συνήθως 500 χειρισμοί). Οι διακόπτες ισχύος θα πρέπει να επιθεωρούνται μετά από κάθε διακοπή βραχυκυκλώματος.

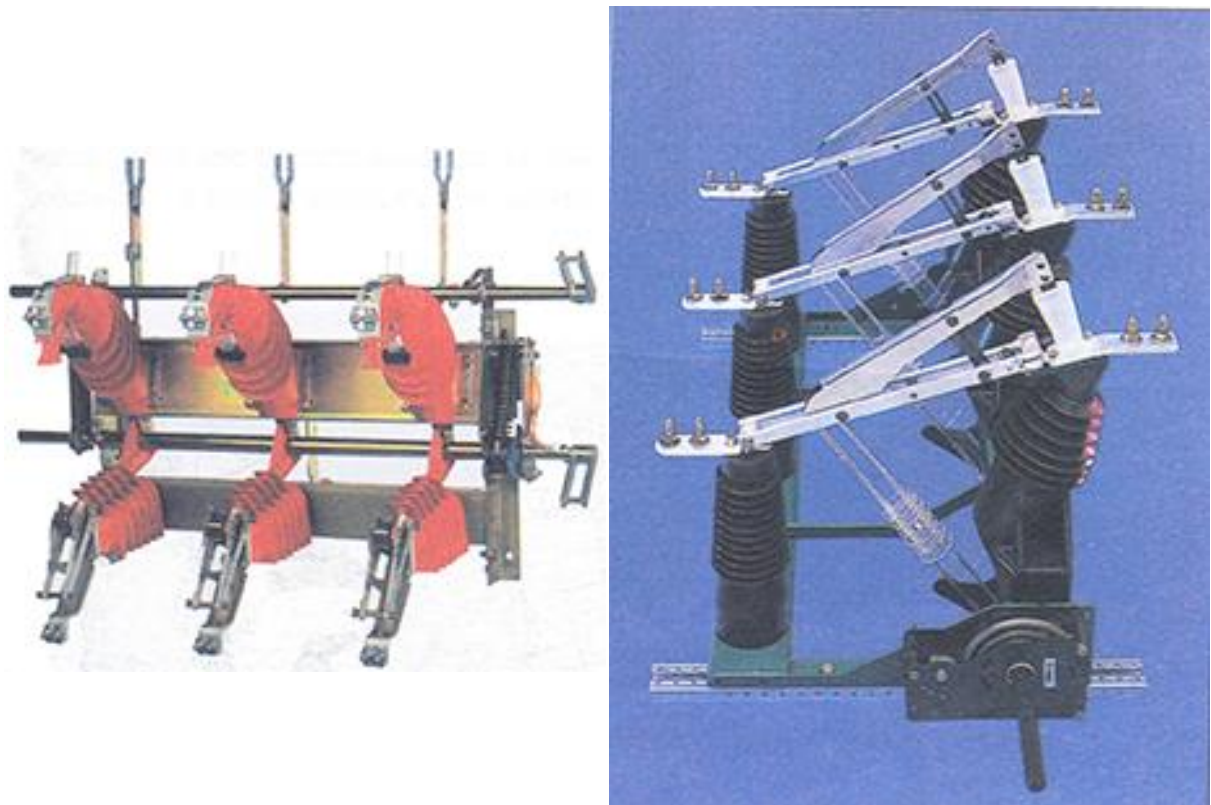


Εικόνα 4.15 Μοριακή δομή του αερίου SF₆

4.7 Αποζεύκτες φορτίου

Οι διακόπτες φορτίου είναι κατασκευασμένοι για να διακόπτουν με ασφάλεια ρεύματα μέχρι το ονομαστικό τους ρεύμα (συνήθως 400 A). Έτσι δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διακοπή σφαλμάτων, δηλαδή ρεύμα βραχυκυκλώματος που φθάνει τα 7 kA, όπως συμβαίνει με τους διακόπτες ισχύος.

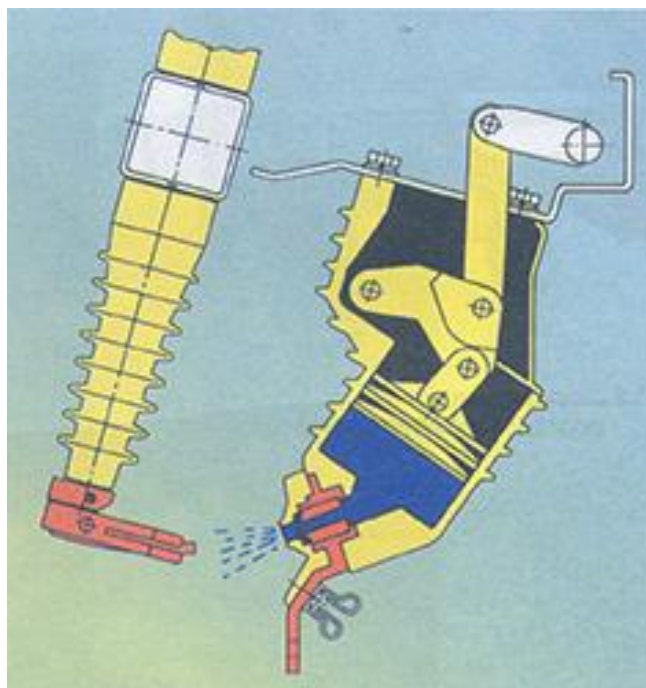
Ο μηχανισμός λειτουργίας για το κλείσιμο και το άνοιγμα ενός διακόπτη φορτίου είναι παρόμοιος με το μηχανισμό λειτουργίας του διακόπτη ισχύος. Κατά κανόνα, οι διακόπτες φορτίου, λειτουργούν και ως αποζεύκτες (απομονωτές), ώστε να μας επιτρέπουν να εργαστούμε με ασφάλεια στο κύκλωμα μετά τη διακοπή του. Στην περίπτωση αυτή ονομάζονται διακόπτες φορτίου - αποζεύκτες ή απλά αποζεύκτες φορτίου.



Εικόνα 4.16 Διάφοροι τύποι διακοπών φορτίων – αποζευκτών μέσης τάσης

4.7.1 Σβέση τόξου με φύσημα αέρα στο διακόπτη φορτίου

Τη χρονική στιγμή της αποχώρησης των επαφών ενός διακόπτη δημιουργείται ένα ηλεκτρικό τόξο. Η ασφαλής σβέση του τόξου αποτελεί το πλέον κρίσιμο σημείο στη λειτουργία ενός διακόπτη φορτίου. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τον ειδικό μονωτήρα που υπάρχει σε κάθε πόλο του διακόπτη φορτίου που χρησιμοποιεί την τεχνική του φυσήματος αέρα για τη σβέση του τόξου. Ο μονωτήρας είναι κούφιος και το εσωτερικό του σχηματίζει ένα κύλινδρο. Μέσα στον κύλινδρο υπάρχει ένα έμβολο, που παίρνει κίνηση από τον κύριο άξονα του διακόπτη, με τη βοήθεια ενός μηχανισμού μοχλών από μονωτικό υλικό. Με το άνοιγμα του διακόπτη, αρχίζει η συμπίεση του αέρα με τη βοήθεια του εμβόλου. Ο αέρος αυτός εξέρχεται από ειδικά ακροφύσια που υπάρχουν στην ακίνητη επαφή. Η κίνηση του εμβόλου συγχρονίζεται με την κίνηση των κύριων επαφών του διακόπτη, ώστε η παροχή του αέρα να είναι πολύ δυνατή, τη στιγμή που αποχωρίζονται οι επαφές και το ηλεκτρικό τόξο είναι πολύ έντονο. Ο δυνατός αέρας βοηθά στη διάχυση του τόξου και την ταυτόχρονη ψύξη του, με αποτέλεσμα να σβήνει γρήγορα.



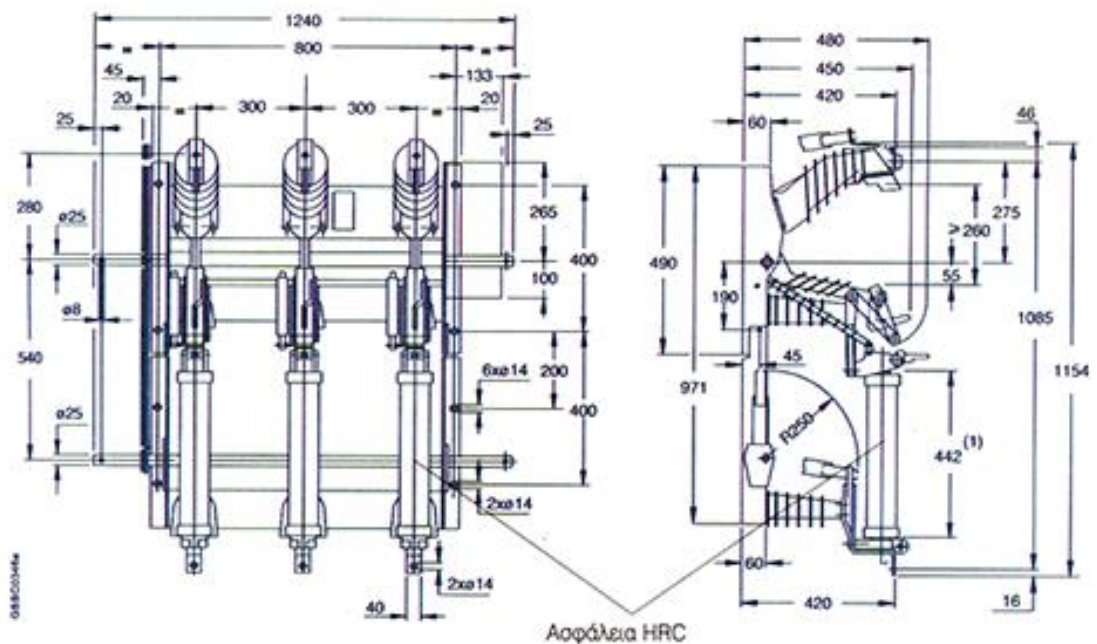
Εικόνα4.17 Εξωτερική όψη κούφιου μονωτήρα και τομή μονωτήρα και αρχή λειτουργίας

4.7.2 Αποξεύκτης φορτίου με ασφάλειες HRC

Ο Αποζεύκτης φορτίου από μόνος του - επειδή δεν έχει την ικανότητα να διακόψει το ρεύμα βραχυκυκλώματος - δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο προστασίας. Σε συνδυασμό όμως με ασφάλειες HRC μπορεί να λειτουργήσει ως μέσο προστασίας των καλωδίων ή του μετασχηματιστή ισχύος. Ο συνδυασμός αυτός ονομάζεται και ασφαλειο-διακόπτης φορτίου ή ασφαλειο-αποζεύκτης φορτίου (Fuse-Disconnecter switch).

Τον συναντάμε κατά κανόνα ως μέσο προστασίας μετασχηματιστών μέχρι 630 kV A. Σε περίπτωση σφάλματος (βραχυκυκλώματος) τήκεται κάποια από τις τρεις ασφάλειες και απελευθερώνεται ο δείκτης λειτουργίας της (striker). Ο δείκτης κτυπά με δύναμη ένα μηχανισμό από μοχλούς που καταλήγει στην απελευθέρωση του ελατηρίου ανοίγματος και στο αυτόματο άνοιγμα του διακόπτη φορτίου.

Ο διακόπτης φορτίου ανοίγει χωρίς να διακόπτει το ρεύμα σφάλματος, το οποίο έχει ήδη διακοπεί από την τηκτή ασφάλεια. Για να μπορέσει να ξαναλειτουργήσει η εγκατάστασή μας, πρέπει να αντικαταστήσουμε και τις τρεις ασφάλειες με νέες, διότι το ρεύμα σφάλματος μπορεί να έχει αλλοιώσει το τηκτό και σε κάποια άλλη φάση.



Σχήμα 4-1 Διαστάσεις σε mm ασφαλειοαποζεύκτη φορτίου ονομαστικής τάσης 24 kV

4.8 Ηλεκτρονόμοι προστασίας

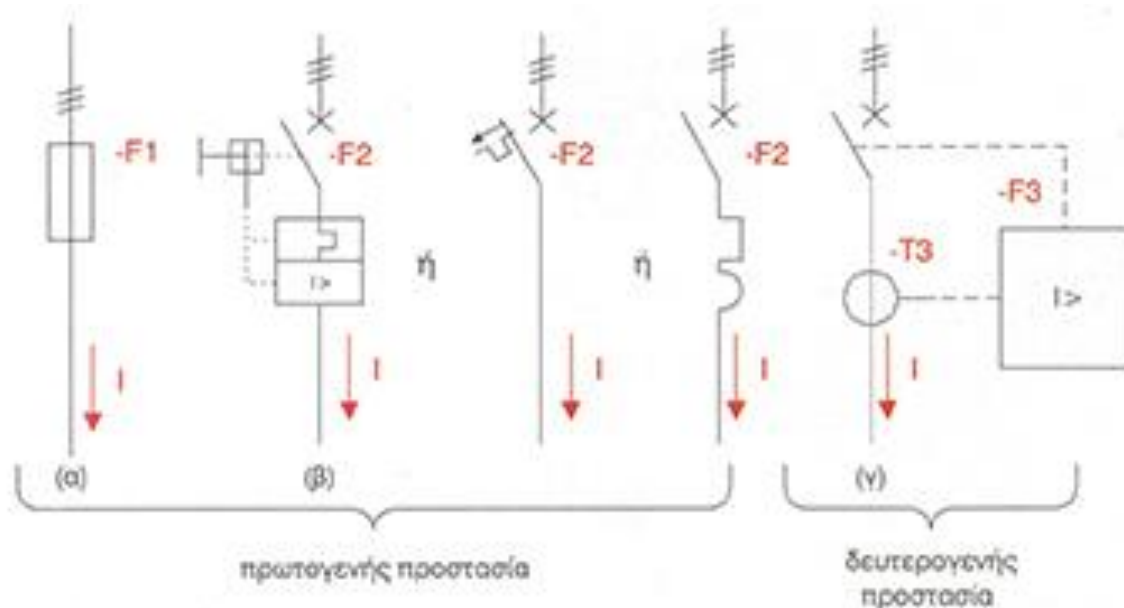
Οι ηλεκτρονόμοι προστασίας (H/N) είναι συσκευές που έχουν σκοπό τη συνεχή επιτήρηση ενός ηλεκτρικού μεγέθους (συνήθως ρεύμα) σε ένα τμήμα της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Αν το μέγεθος ξεφύγει από τα όρια επιτήρησης, τότε αυτόματα δίνουν τις απαραίτητες εντολές (συνήθως εντολή ανοίγματος), με σκοπό να αποτρέψουν τις συνέπειες στον εξοπλισμό.

Στη χαμηλή τάση έχουμε γνωρίσει τα θερμικά και μαγνητικά στοιχεία που υπάρχουν στις αυτόματες ασφάλειες που χρησιμοποιούμε για να ασφαλίσουμε τις γραμμές των ηλεκτρικών πινάκων. Τα στοιχεία αυτά είναι πρακτικά ηλεκτρονόμοι προστασίας, διότι από μέσα τους διέρχεται το ρεύμα της γραμμής που πρέπει να επιτηρούν. Η προστασία αυτή ονομάζεται πρωτογενής προστασία (primary protection), διότι το ρεύμα που διέρχεται μέσα από τον ηλεκτρονόμο είναι το ίδιο το ρεύμα της γραμμής.

Στα δίκτυα των 20 kV, το πρωτογενές ρεύμα δεν είναι δυνατόν να περάσει μέσα από τα όργανα προστασίας, γι' αυτό μετασχηματίζεται με τη βοήθεια των μετασχηματιστών έντασης. Έτσι μέσα από τον ηλεκτρονόμο διέρχεται το πολύ μικρότερο ρεύμα του δευτερεύοντος τυλίγματος, γι' αυτό και ονομάζεται δευτερογενής προστασία (secondary protection).

Υπάρχουν δεκάδες διαφορετικοί τύποι ηλεκτρονόμων προστασίας. Παρακάτω αναφέρονται οι πιο συνηθισμένοι στα δίκτυα καταναλωτών μέσης τάσης.

- H/N υπερέντασης (Overcurrent relay)
- H/N έλλειψης τάσης (Undervoltage relay)
- H/N σφάλματος προς γη (Ground overcurrent relay)
- H/N διαφορικής προστασίας (Differential protection relay)



Σχήμα 4-2 Τα δύο βασικά είδη προστασίας: (α) πρωτογενής προστασία μιας τηκτής ασφάλειας, (β) πρωτογενής προστασία μιας αυτόματης ασφάλειας, (γ) δευτερογενής προστασία σε διακόπτη ισχύος

4.8.1 Επιλογική προστασία

Ένας υποσταθμός 20/0,4 kV αποτελείται από τα βασικά στοιχεία προστασίας $F1$, $F2$, $F3$ σε σειρά ξεκινώντας από την πλευρά της μέσης τάσης και πηγαίνοντας προς τη χαμηλή. Σε περίπτωση σφάλματος στο τέλος της γραμμής, όλα τα στοιχεία προστασίας διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα. Επομένως πρέπει να εξασφαλιστεί, ότι από τα τρία στοιχεία προστασίας θα ανοίξει μόνο το $F3$. Έτσι θα μείνει χωρίς τάση μόνο το κομμάτι της εγκατάστασης που είναι μετά το $F3$. Σε αντίθετη περίπτωση, π.χ. αν άνοιγε πρώτος ο διακόπτης $F2$ ή $F1$, τότε θα έβγαινε εκτός λειτουργίας ένα πολύ μεγαλύτερο μέρος της εγκατάστασης. Λέγοντας επιλογική προστασία ή επιλεκτική συνεργασία εννοούμε ότι:

- το όργανο προστασίας που είναι πλησιέστερο στο σφάλμα πρέπει να διακόπτει πρώτο
- σε περίπτωση αστοχίας θα πρέπει να διακόψει το αμέσως επόμενο όργανο προστασίας κ.ο.κ.

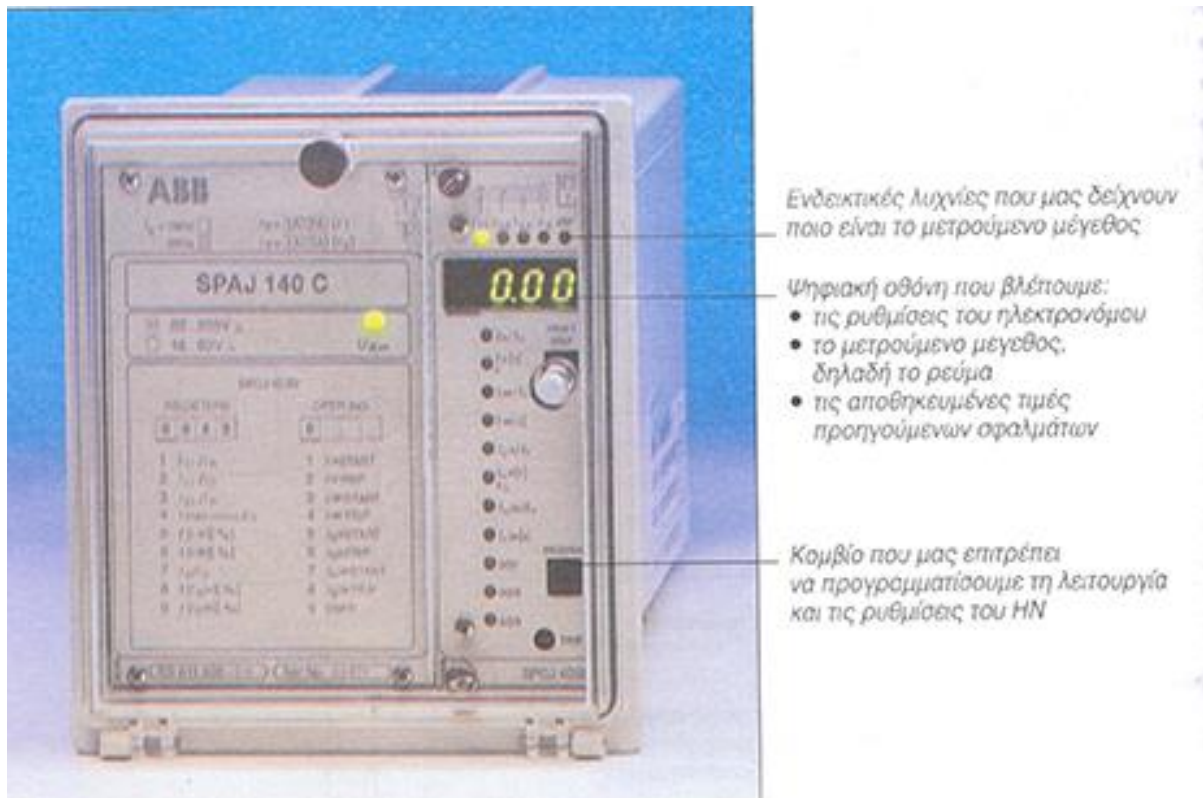
Για να λειτουργήσει ένα μέσο προστασίας γρηγορότερα από ότι ένα άλλο, εφ' όσον διαρρέονται και τα δύο από το ίδιο ρεύμα, πρέπει ο χρόνος αντίδρασης

του πρώτου να είναι μικρότερος απ' ότι ο χρόνος του δεύτερου για το ίδιο ρεύμα. Η χρονική διαφορά πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,4s. Η μελέτη της επιλογικής προστασίας γίνεται πάνω σε διπλό λογαριθμικό χαρτί, στο οποίο σχεδιάζουμε με ακρίβεια τις χαρακτηριστικές απόζευξης, όλων των οργάνων προστασίας που βρίσκονται στη διαδρομή του σφάλματος. Πρέπει η καμπύλη του F3 να είναι κάτω από την καμπύλη του F2, και η καμπύλη του F2 να είναι κάτω από την καμπύλη του F1. Τη μελέτη αυτή δεν την κάνει ο παροχέας μέσης τάσης (δηλαδή η ΔΕΗ), που σας ορίζει σε ποια περιοχή πρέπει να ρυθμίσετε τους ηλεκτρονόμους του υποσταθμού σας, ώστε σε περίπτωση σφάλματος στον υποσταθμό, να μη δημιουργήσετε πρόβλημα και σε άλλους καταναλωτές.

4.8.2 Πώς είναι κατασκευασμένος ένας ηλεκτρονόμος προστασίας

Μέχρι τη δεκαετία του 1950 οι ηλεκτρονόμοι ήταν ηλεκτρομαγνητομηχανικοί. Αποτελούνταν από μηχανικά μέρη (γρανάζια, ελατήρια, βραχίονες κλπ), τα οποία συνεργάζονταν με ηλεκτρομαγνήτες που διεγείρονταν από το δευτερεύον ρεύμα των μετασχηματιστών έντασης. Η έξοδός τους ήταν μια σειρά από βοηθητικές επαφές που έκλειναν και έδιναν έτσι την εντολή να ανοίξει ο διακόπτης ισχύος.

Από τη δεκαετία του 1960 οι ηλεκτρονόμοι αυτοί άρχισαν να αντικαθίστανται με ηλεκτρονικούς. Αποτελούνταν από ηλεκτρονικά στοιχεία στερεάς κατάστασης, δηλαδή τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα. Με την πρόοδο των ψηφιακών ηλεκτρονικών οι ηλεκτρονικοί ηλεκτρονόμοι έγιναν πολύ έξυπνοι, δηλαδή συνδυάζουν πολλές λειτουργίες και πολλές ρυθμίσεις. Σήμερα οι ηλεκτρονόμοι είναι εξ' ολοκλήρου ψηφιακές συσκευές, οι οποίες περιέχουν τουλάχιστον ένα μικροεπεξεργαστή που αναλαμβάνει το σύνολο των συμβατικών λειτουργιών του ηλεκτρονόμου προστασίας. Παράλληλα ο μικρο-επεξεργαστής, μπορεί να επικοινωνεί με συστήματα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (SCADA), κάτι που είναι πολύ σημαντικό στα πολύπλοκα ηλεκτρικά δίκτυα που υπάρχουν σήμερα.



Εικόνα 4.18 Ψηφιακός ηλεκτρονόμος υπερέντασης και σφάλματος προς γη

4.8.3 Ηλεκτρονόμος υπερέντασης αντίστροφου χρόνου

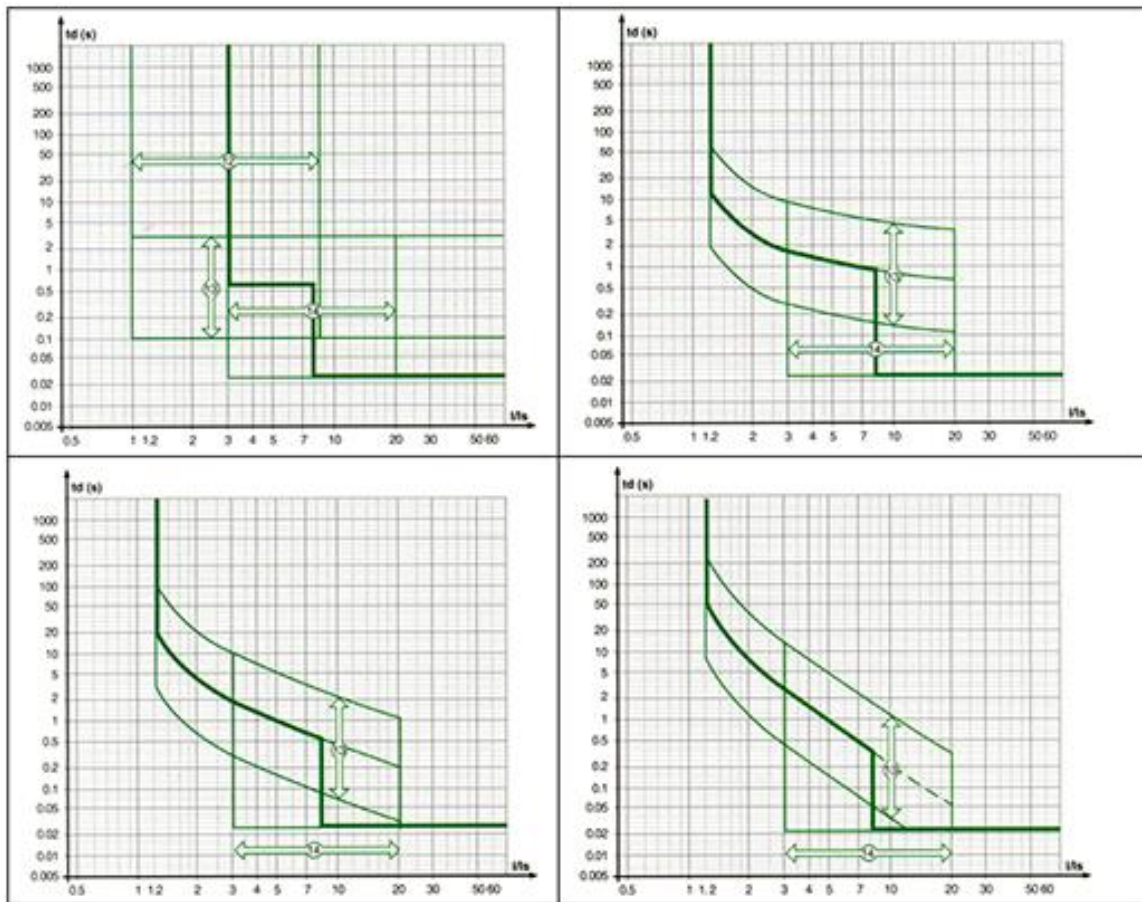
Ο ηλεκτρονόμος υπερέντασης σταθερού χρόνου έχει το μειονέκτημα, ότι ανεξάρτητα από την τιμή του ρεύματος (εφόσον είναι $< I_2$), περιμένει τον ίδιο χρόνο πριν δώσει την εντολή απόζευξης. Αυτό μπορεί να είναι μοιραίο για εναέρια δίκτυα ή υπόγεια καλώδια. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούμε τους ηλεκτρονόμους αντίστροφου χρόνου, δηλαδή όσο αυξάνεται το ρεύμα τόσο μειώνεται ο χρόνος διέγερσης. Κατά τ' άλλα ισχύουν αυτά που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο για τον ηλεκτρονόμο σταθερού χρόνου. Για να μπορούμε να ρυθμίσουμε τους Η/Ν που υπάρχουν σε ένα εκτεταμένο ηλεκτρικό δίκτυο ώστε να συνεργάζονται σωστά, δηλαδή το στοιχείο προστασίας που είναι πλησιέστερα στο σφάλμα να ανοίγει πρώτο, χρησιμοποιούμε ηλεκτρονόμο υπερέντασης:

- **πολύ αντίστροφου χρόνου** (very inverse time - delay)
- **υπερβολικά αντίστροφου χρόνου** (extremely inverse time - delay)

Η διαφορά των δύο αυτών ηλεκτρονόμων από τον ηλεκτρονόμο αντίστροφου χρόνου είναι στην κλίση χαρακτηριστικών καμπυλών, που είναι πολύ πιο απότομες.

Σήμερα, οι κατασκευαστές ηλεκτρονόμων διαθέτουν στην αγορά ένα μοντέλο ηλεκτρονόμου υπερέντασης που προγραμματίζεται και μας επιτρέπει:

- να επιλέξουμε τον τρόπο λειτουργίας δηλαδή σταθερού, αντιστρόφου κλπ χρόνου
- την καμπύλη λειτουργίας από ένα σμήνος καμπυλών
- τις ρυθμίσεις $I>$, $I>>$, $t>$, $t>>$ κ.ά.



Σχήμα 4-3 Σμήνος καμπυλών αντιστρόφου χρόνου ηλεκτρονόμου υπερέντασης

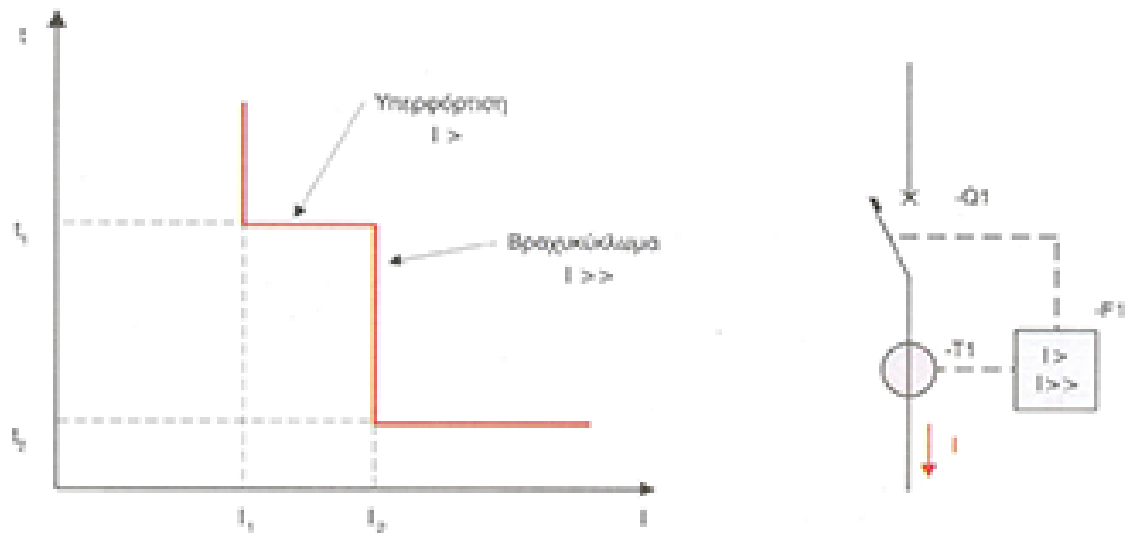
4.8.4 Ηλεκτρονόμος υπερέντασης σταθερού χρόνου

Ο ηλεκτρονόμος αυτός περιλαμβάνει για κάθε φάση δύο στοιχεία που είναι τα εξής:

- Στοιχείο υπερφόρτισης (overload operation) με σταθερή χρονική καθυστέρηση, δηλαδή αν το ρεύμα κάποιας φάσης υπερβεί το όριο I_1 αλλά όχι το όριο I_2 , θα υπάρξει διέγερση και, ανεξάρτητα από την τιμή του ρεύματος, μετά την παρέλευση του σταθερού χρόνου t_1 , ο ηλεκτρονόμος θα δώσει εντολή να ανοίξει ο διακόπτης ισχύος.
- Στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας (instantaneous operation), δηλαδή αν το ρεύμα υπερβεί το όριο I_2 , θα υπάρξει διέγερση και αμέσως θα δώσει εντολή να ανοίξει ο διακόπτης ισχύος.

Συνήθως ο ηλεκτρονόμος είναι εφοδιασμένος και με στοιχείο σφάλματος προς γη, δηλαδή ελέγχει αν το άθροισμα των τριών ρευμάτων είναι μηδέν. Σε περίπτωση σφάλματος κάποιας φάσης προς τη γη, το άθροισμα των τριών ρευμάτων παύει να είναι μηδέν και ο ηλεκτρονόμος διεγείρεται αμέσως. Ο τρόπος λειτουργίας του ηλεκτρονόμου παριστάνεται με τη βοήθεια της χαρακτηριστικής ρεύματος – χρόνου, που μοιάζει με σκαλοπάτι. Ο οριζόντιος άξονας είναι βαθμολογημένος με το λόγο I/I_n ($I_n = 5 \text{ A}$) και ο κάθετος άξονας είναι βαθμολογημένος σε s. Οι ρυθμίσεις (set points) σε αυτό τον ηλεκτρονόμο είναι οι παρακάτω τρεις:

- ρύθμιση του ρεύματος I_1
- ρύθμιση του ρεύματος I_2
- ρύθμιση του χρόνου t_1



Σχήμα 4-4 Χαρακτηριστική ρεύματος – χρόνου ηλεκτρονόμου σταθερού χρόνου
Λειτουργικό διάγραμμα διακόπτη ισχύος με ηλεκτρονόμο σταθερού χρόνου

Πολλές φορές το στοιχείο σφάλματος προς γη, τροφοδοτείται από το δευτερεύον ενός 4ου διαφορικού μετασχηματιστή έντασης. Ο μετασχηματιστής αυτός αποτελείται από ένα στρογγυλό μαγνητικό πυρήνα, μέσα από τον οποίο διέρχονται τα καλώδια 20 kV και τριών φάσεων, δηλαδή οι αγωγοί των καλωδίων λειτουργούν σαν πρωτεύον τύλιγμα. Σε περίπτωση σφάλματος προς τη γη, το άθροισμα των ρευμάτων των τριών φάσεων παύει να είναι μηδέν, με αποτέλεσμα στο δευτερεύον τύλιγμα να εμφανίζεται ρεύμα. Σημειώνουμε ότι, η λειτουργία του διαφορικού μετασχηματιστή είναι ακριβώς ίδια με τη λειτουργία του διαφορικού μετασχηματιστή που υπάρχει στους διακόπτες διαφυγής έντασης (αντι-ηλεκτροπληξιακούς διακόπτες) που συναντάμε στους οικιακούς ηλεκτρικούς πίνακες 230/400 V.

4.9 Μετασχηματιστές έντασης

Οι μετασχηματιστές έντασης (current transformers) αποτελούνται από ένα πρωτεύον και ένα ή περισσότερα (συνήθως δύο) δευτερεύοντα τυλίγματα. Το πρωτεύον χαρακτηρίζεται με τα γράμματα P1, P2 και τα δευτερεύοντα με τα γράμματα S1, S2. Αν ο μετασχηματιστής διαθέτει περισσότερα του ενός δευτερεύοντα, τότε χρησιμοποιούμε τα γράμματα 1S1, 1S2, για το πρώτο, τα γράμματα 2S1, 2S2 για το δεύτερο κ.ο.κ.. Το ένα δευτερεύον τύλιγμα χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση με ονομαστικό ρεύμα 5 A (σπάνια 1 A) των οργάνων μέτρησης όπως:

- A-μετρα
- kW-μετρα (μετρητές ισχύος)
- kWh-μετρα (μετρητές ενέργειας)

Το άλλο δευτερεύον τύλιγμα χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση με ονομαστικό ρεύμα 5 A (σπάνια των 1 A) των ηλεκτρονόμων προστασίας, όπως:

- Ηλεκτρονόμος έντασης
- Ηλεκτρονόμος διαρροής προς γη
- Άλλοι τύποι ηλεκτρονόμων

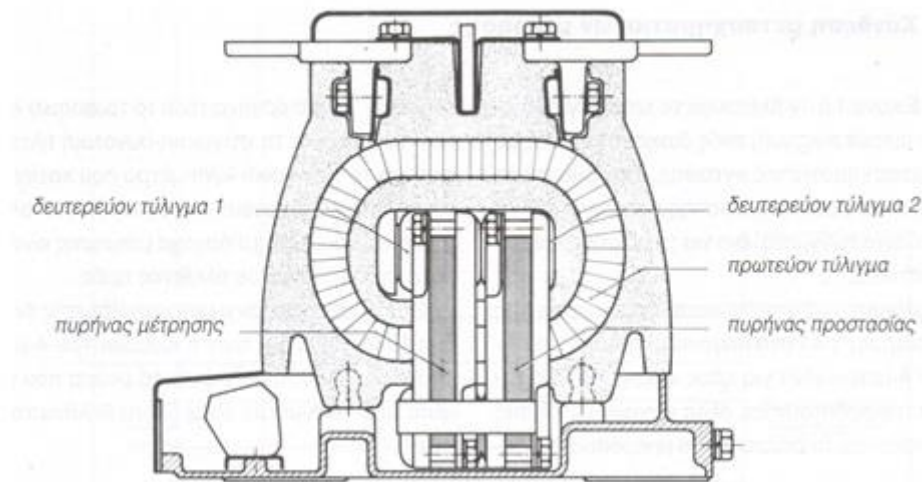
4.9.1 Πυρήνας μέτρησης και πυρήνας προστασίας, συντελεστές κορεσμού

Στην Σχήμα 4-5 βλέπουμε την τομή ενός μετασχηματιστή έντασης με δύο διαφορετικούς πυρήνες, ένα για μέτρηση και ένα για προστασία. Ο πυρήνας για τη μέτρηση είναι κατασκευασμένος από ειδικό κράμα σιδήρου, ώστε να εμφανίζει όσο γίνεται μικρότερο συντελεστή κορεσμού (saturation factor), έτσι ώστε και με μικρές υπερεντάσεις στο πρωτεύον, το ρεύμα στο δευτερεύον περιορίζεται. Έτσι οι συσκευές μέτρησης δεν καταστρέφονται.

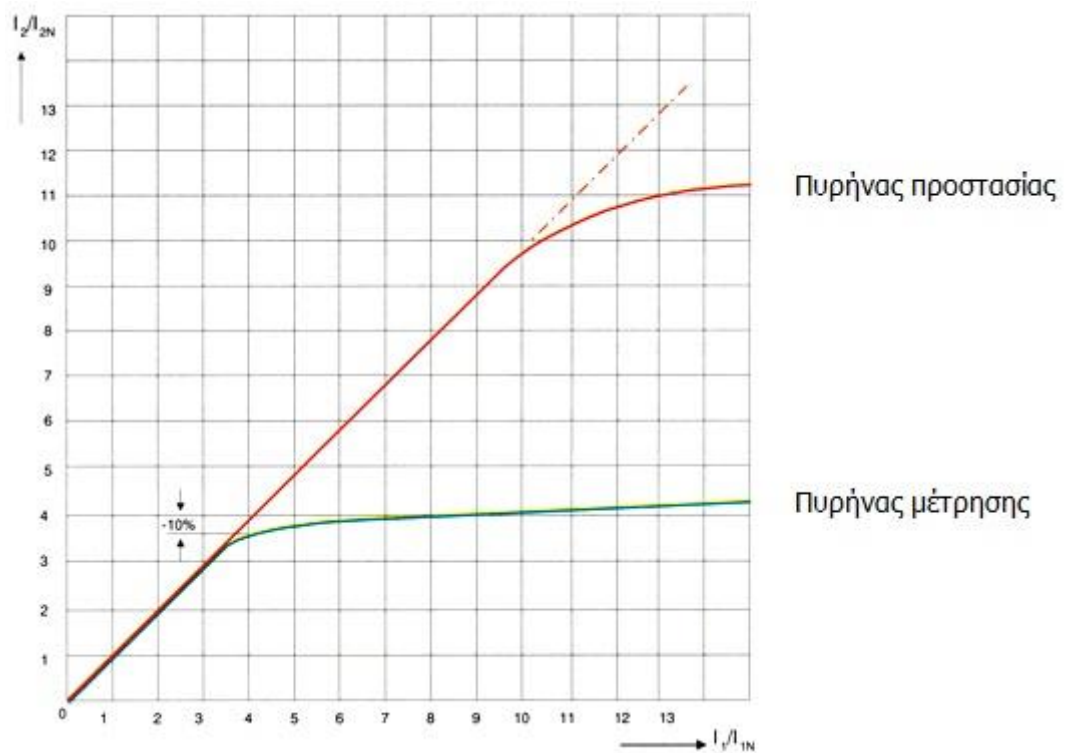
Για να το καταλάβουμε καλύτερα, χρησιμοποιούμε τις καμπύλες απόκρισης του μετασχηματιστή έντασης. Ο οριζόντιος άξονας είναι βαθμολογημένος με το λόγο I_1/I_{1N} του πρωτεύοντος, ενώ ο κάθετος άξονας είναι βαθμολογημένος με το λόγο I_2/I_{2N} του δευτερεύοντος. Οι καμπύλες απόκρισης μας δείχνουν τη συμπεριφορά του μετασχηματιστή σε συνθήκες υπερέντασης στο πρωτεύον. Βλέπουμε ότι για το λόγο $I_1/I_{1N} = 4$ (δηλ. για ρεύμα πρωτεύοντος 4 φορές μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα), ο λόγος I_2/I_{2N} γίνεται 3,6 αντί του αναμενόμενου 4, δηλαδή έχουμε ένα σφάλμα $4,0 - 3,6 = 0,4$. Κάνοντας αναγωγή του σφάλματος 0,4 στην τιμή 4 το σφάλμα είναι 10%. Το σφάλμα αυτό μεγαλώνει όσο μεγαλώνει ο λόγος I_1/I_{1N} , με αποτέλεσμα το ρεύμα στο δευτερεύον να περιορίζεται και έτσι δεν καταστρέφονται οι συσκευές μέτρησης.

Ο πυρήνας για την προστασία είναι κατασκευασμένος από διαφορετικό κράμα σιδήρου, ώστε να εμφανίζει όσο γίνεται μεγαλύτερο συντελεστή κορεσμού ($F_s > 10$). Το ρεύμα του δευτερεύοντος αυξάνεται ανάλογα με το ρεύμα του

πρωτεύοντος και περιορίζεται μόνο όταν τα ρεύματα είναι πολύ μεγάλα, π.χ. βραχυκύκλωμα. Έτσι ο ηλεκτρονόμος προστασίας παρακολουθεί σωστά το ρεύμα του δικτύου για να επέμβει, όταν χρειαστεί.



Σχήμα 4-5 Τομή μετασχηματιστή έντασης με δύο πυρήνες



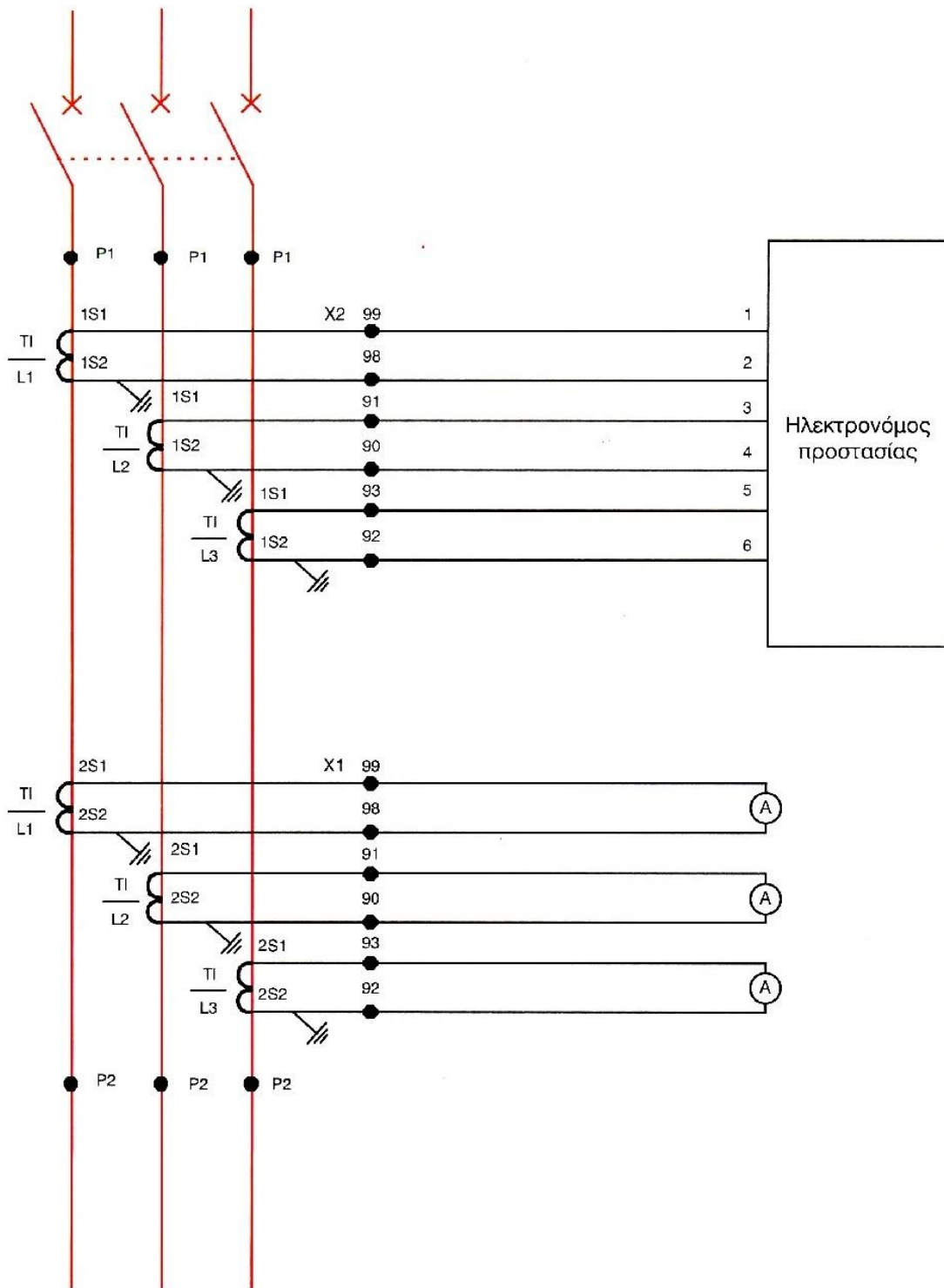
Σχήμα 4-6 Χαρακτηριστικές κορεσμού των πυρήνων ενός μετασχηματιστή έντασης

4.9.2 Σύνδεση μετασχηματιστών μέτρησης

Στο παρακάτω Σχήμα 4-7 βλέπουμε το λειτουργικό διάγραμμα (circuit diagram) ενός διακόπτη ισχύος με τρεις μετασχηματιστές έντασης. Σε κάθε φάση υπάρχει ένας μετασχηματιστής έντασης με δύο δευτερεύοντα τυλίγματα, ένα για τη μέτρηση και ένα για προστασία.

Τα τυλίγματα μέτρησης καταλήγουν μέσω της κλεμμοσειράς X1 στα όργανα μέτρησης που είναι, τρία Α-μετρα (ένα για κάθε φάση). Τα ίδια τυλίγματα τροφοδοτούν και άλλα όργανα μέτρησης όπως τα kW-μετρα, kWh-μετρα κ.ά.. Σημειώνουμε ότι τα όργανα που μετρούν ισχύ και ενέργεια χρειάζονται εκτός του ρεύματος της κάθε φάσης και την αντίστοιχη φασική τάση. Τα τυλίγματα προστασίας καταλήγουν μέσω της κλεμμοσειράς X2 στον ηλεκτρονόμο προστασίας. Ο ηλεκτρονόμος ελέγχει συνεχώς την τιμή του ρεύματος σε κάθε φάση και, αν ξεπεράσει την τιμή που τον έχουμε ρυθμίσει για περισσότερο χρόνο από αυτό που επίσης έχουμε ρυθμίσει, τότε δίνει εντολή (trip) στο πηνίο ανοίγματος και ο διακόπτης ισχύος ανοίγει.

Αν το δευτερεύον του μετασχηματιστή έντασης μείνει ανοικτό, τότε στα άκρα του δημιουργείται επικίνδυνη υπέρταση. Οι κλεμμοσειρές X1, X2 που χρησιμοποιούμε για τη σύνδεση των μετασχηματιστών έντασης είναι ειδικές κλέμμες, που μας επιτρέπουν να βραχυκυκλώνουμε τα δευτερεύοντα τυλίγματα των μετασχηματιστών. Αυτό γίνεται όταν θέλουμε να απομονώσουμε τα όργανα μέτρησης / προστασίας για να τα ελέγξουμε ή να τα ρυθμίσουμε.



Σχήμα 4-7 Λειτουργικό διάγραμμα μιας τυπικής κυψέλης με διακόπτη ισχύος και μετασχηματιστές έντασης για μέτρηση και προστασία

4.9.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών έντασης

Τα χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών έντασης είναι:

- Ονομαστική τάση, π.χ. $U_n = 20/24 \text{ KV}$
- Ονομαστική ισχύς ή φορτίο (rated burden), π.χ. $S_n = 5, 10, 15, 30, 45, 60, 90 \text{ VA}$. Οι κατασκευαστές δίνουν το φορτίο σε συνδυασμό με την κλάση ακρίβειας.
- Κλάση ακρίβειας (cl) για το τύλιγμα μέτρησης είναι από 0.2 έως 3%, εφόσον το φορτίο σε VA, δεν υπερβαίνει το ονομαστικό.
- Κλάσεις ακρίβειας (class) για το τύλιγμα προστασίας είναι το % σφάλμα, το γράμμα P και το πολλαπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος που αντιστοιχεί το σφάλμα. Π.χ. 5P15 σημαίνει σφάλμα 5% στο δεκαπενταπλάσιο του ονομαστικού.
- Ονομαστικό ρεύμα πρωτεύοντος $I_{1n} = 5$ έως 3000 A.
- Ονομαστικό ρεύμα δευτερεύοντος $I_{2n} = 25 \text{ A}$ ή 1 A. Η τιμή του 1 A προτιμάται όταν η απόσταση του μετασχηματιστή από τα όργανα μέτρησης / προστασίας είναι μεγάλη ($L > 50\text{m}$).
- Αντοχή σε ρεύμα βραχείας διάρκειας I_{th} σε kA. Είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος που αντέχει ο μετασχηματιστής για χρόνο $t = 1\text{s}$. Συνήθως είναι 20 έως 60 φορές το ονομαστικό ρεύμα I_{1n} .

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, το σώμα των μετασχηματιστών έντασης είναι κατασκευασμένο από χυτορητίνη (cast-resin). Το πρωτεύον τύλιγμα αποτελείται συνήθως από μία ή δύο σπείρες χοντρού χάλκινου αγωγού, στις άκρες του οποίου, συγκολλούνται οι ακροδέκτες μέσης τάσης (P1, P2) που καταλήγουν σε σπειρώματα M12. Το πρωτεύον τύλιγμα διέρχεται από τους πυρήνες μέτρησης και προστασίας, πάνω στους οποίους είναι τοποθετημένα τα δευτερεύοντα τυλίγματα.



Εικόνα 4.19 μετασχηματιστής έντασης

4.10 Μετασχηματιστές τάσης

Οι μετασχηματιστές τάσης (voltage transformers) αποτελούνται από ένα πρωτεύον και ένα ή δύο δευτερεύοντα τυλίγματα. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

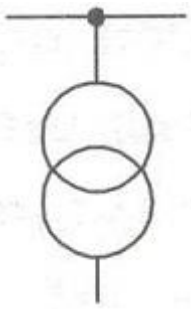
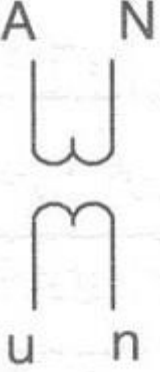

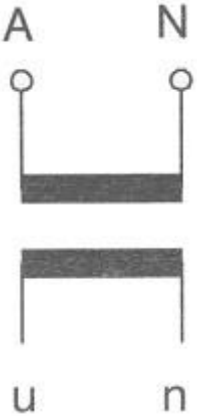
- Μονοπολικοί, οι οποίοι μετράνε την τάση μεταξύ μιας φάσης και της γης, δηλαδή τη φασική τάση. Το πρωτεύον τύλιγμα χαρακτηρίζεται με τα γράμματα A, N και το δευτερεύον τύλιγμα με τα γράμματα a, n.
- Διπολικοί, οι οποίοι μετράνε την τάση μεταξύ δύο φάσεων, δηλαδή την πολική τάση. Το πρωτεύον τύλιγμα χαρακτηρίζεται με τα γράμματα A, B και το δευτερεύον τύλιγμα με τα γράμματα a, b.

Το ένα δευτερεύον τύλιγμα χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση με ονομαστική τάση 100 V (ή $100 / \sqrt{3}$ των οργάνων μέτρησης όπως:

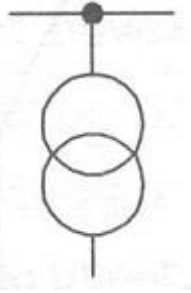
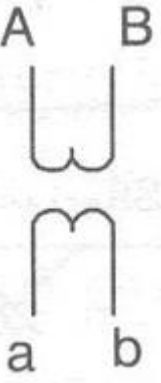
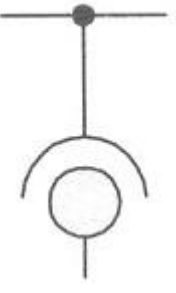
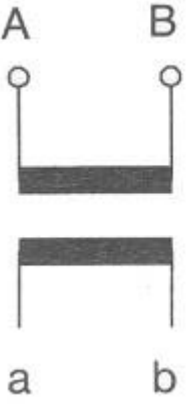
- V-μετρα
- kW-μετρα (μετρητές ισχύος)
- kV A-μετρα (μετρητές άεργου ισχύος)
- kWh- μετρα (μετρητές ενέργειας)
- κ.ά.

ή οργάνων προστασίας όπως:

- ηλεκτρονόμος υπέρτασης (over-voltage relays)
- ηλεκτρονόμος υπότασης (under-voltage relays)
- ηλεκτρονόμος σφάλματος προς γη
- κ.ά.

			
μονογραμμικό κατά IEC	με ακροδέκτες κατά IEC	μονογραμμικό (παλαιό)	με ακροδέκτες (παλαιό)

Σχήμα 4-8 Σύμβολα μονοπολικού μετασχηματιστή τάσης

			
μονογραμμικό κατά IEC	με ακροδέκτες κατά IEC	μονογραμμικό (παλαιό)	με ακροδέκτες (παλαιό)

Σχήμα 4-9 Σύμβολα διπολικού μετασχηματιστή τάσης

4.10.1 Σύνδεση μετασχηματιστών τάσης

Τα χαρακτηριστικά των μετασχηματιστών τάσης είναι: Ονομαστική τάση, π.χ. $U_n = 20/24$ kV Ονομαστική ισχύς ή φορτίο (ratedburden) π.χ. $S_n=30$ έως 300 VA. Οι κατασκευαστές δίνουν φορτίο σε συνδυασμό με την κλάση ακριβείας Κλάση ακριβείας (class), η οποία είναι από 0.2 έως 3%, εφόσον το φορτίο σε VA, δεν υπερβαίνει το ονομαστικό Ονομαστική τάση πρωτεύοντος $U_{1n} = 20$ kV για διπολικούς ή $20 / \sqrt{3}$ για μονοπολικούς. Ονομαστική τάση δευτερεύοντος $U_{2n} = 100$ V για διπολικούς ή $100/ \sqrt{3}$ για μονοπολικούς. Σπάνια συναντάμε την τιμή 110 V αντί των 100 V. Μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύς S_{max} σε VA. Συνήθως είναι 10 φορές το S_n .

Διευκρινίζουμε ότι η ονομαστική ισχύς είναι η τάση 100 επί το ρεύμα στο δευτερεύον. Μπορεί να γίνει υπέρβαση της ονομαστικής S_n μέχρι S_{max} , π.χ. όταν ο μετασχηματιστής τροφοδοτεί φορτία και όχι μόνο όργανα αλλά η κλάση ακριβείας μεγαλώνει. Για ένα τυπικό μετασχηματιστή τάσης 30 VA class 0.2 έχουμε:

S σε VA	30	50	100	250
Class	0.2	0.5	1.0	3.0

Μετασχηματιστές (Μονοπολικός) 50/60 Hz				
ονομαστική τάση (kV)	24			
τάση πρωτεύοντος (kV)	10 / $\sqrt{3}$	15-20 / $\sqrt{3}$	20 / $\sqrt{3}$	
τάση δευτερεύοντος (V)	100 / $\sqrt{3}$			
μέγιστη ισχύς (VA)	250	250	250	

κλάση ακριβείας	0.5	0.5	0.5	0.5
ονομαστική ισχύς πρωτεύοντος για μονοπολικούς (VA)	30	30		30
ονομαστική ισχύς πρωτεύοντος για διπολικούς (VA)			30-50	

Μετασχηματιστές (Διπολικός) 50/60 Hz			
ονομαστική τάση (kV)	24		
τάση πρωτεύοντος (kV)	10	15	20
τάση δευτερεύοντος (V)	100		
μέγιστη ισχύς (VA)	500		
κλάση ακριβείας	0.5		
ονομαστική ισχύς πρωτεύοντος για μονοπολικούς (VA)	50		

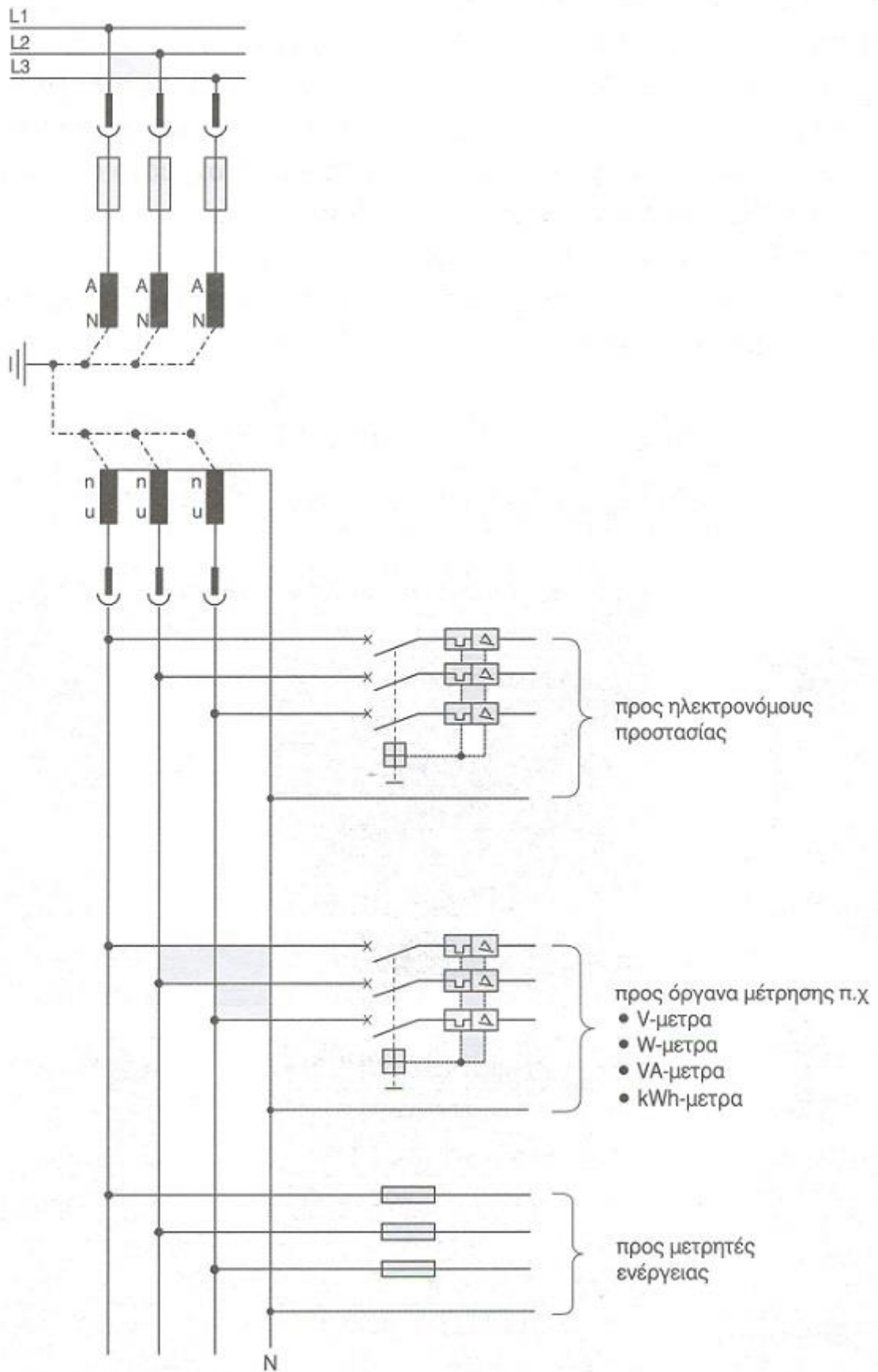
Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, το σώμα των μετασχηματιστών τάσης είναι κατασκευασμένο από χυτορητίνη (cast-resin). Εύκολα μπορούμε να διακρίνουμε αν ο μετασχηματιστής τάσης είναι μονοπολικός ή διπολικός. Συνήθως προτιμάμε τους διπολικούς μετασχηματιστές, διότι με δύο μόνο μετασχηματιστές μπορούμε να μετρήσουμε ένα τριφασικό σύστημα. Αν αντίθετα χρησιμοποιήσουμε μονοπολικούς μετασχηματιστές θα χρειαζόμαστε τρεις.



Εικόνα 4.20 Μετασχηματιστής τάσης μονοπολικός και διπολικός

4.10.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη των μετασχηματιστών τάσης

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε το λειτουργικό διάγραμμα μιας κυψέλης μέτρησης με τρεις μονοφασικούς μετασχηματιστές τάσης. Το δευτερεύον τροφοδοτεί με ξεχωριστές γραμμές τα όργανα μέτρησης και τα όργανα προστασίας. Οι γραμμές ασφαλίζονται με μικροαυτόματους διακόπτες ή τηκτές ασφάλειες.



Διάγραμμα 4-1

Λειτουργικό διάγραμμα κυψέλης μέτρησης

4.11 Μετασχηματιστές ισχύος

4.11.1 Απώλειες χαλκού και σιδήρου

Οι απώλειες στο εσωτερικό του Μ/Σ χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Μαγνητικές απώλειες
- Ηλεκτρικές απώλειες

Οι μαγνητικές απώλειες οφείλονται στη μαγνητική υστέρηση και τα δινορρέυματα που εμφανίζονται στο σιδερένιο πυρήνα του Μ/Σ. Γι' αυτό ονομάζονται και απώλειες σιδήρου (P_{Fe}) ή απώλειες κενού, διότι υπάρχουν όσο ο Μ/Σ είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο μέσης τάσης, ανεξάρτητα από το φορτίο που υπάρχει στην πλευρά της χαμηλής τάσης.

Οι ωμικές αντιστάσεις στα χάλκινα τυλίγματα της μέσης και της χαμηλής τάσης του Μ/Σ δημιουργούν ηλεκτρικές απώλειες που αυξάνονται με το τετράγωνο του ρεύματος ($P_{Cu} = R \cdot I^2$). Οι απώλειες αυτές ονομάζονται και απώλειες χαλκού και είναι συνάρτηση του φορτίου, δηλαδή, όταν ο Μ/Σ λειτουργεί εν κενώ είναι μηδενικές ενώ σε πλήρες φορτίο φθάνουν στη μέγιστη τιμή τους. Το σύνολο των απωλειών χαλκού και σιδήρου φθάνει για μικρούς Μ/Σ μέχρι το 5% και για μεγάλους μέχρι το 2.5% του ονομαστικού φορτίου.

Πίνακας 4-2 Τεχνικά στοιχεία μετασχηματιστών λαδιού ονομαστικής τάσης 20/0,4 kV

Ισχύς ΜΣ Sn (kVA)	Απώλειες κενού P _{Fe}	Απώλειες φορτίου P _{cu}	Ονομαστική τάση βραχυκύκλωσης uk
25	115	700	4,0
50	190	1050	4,0
75	260	1420	4,0
100	320	1750	4,0
150	435	2250	4,0
200	550	2850	4,0

250	650	3250	4,0(6,0)
400	930	4600	4,0(6,0)
500	1100	5500	4,0(6,0)
630	1300	6500	4,0(6,0)
750	1430	7600	6,0
1000	1650	10500	6,0
1250	1900	13500	6,0
1600	2550	18100	6,0

4.11.2 Διαφορική προστασία μετασχηματιστή ισχύος

Στη διαφορική προστασία γίνεται σύγκριση των ανηγμένων ρευμάτων, πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Για να γίνει αυτό χρειαζόμαστε από τρεις M/Σ έντασης στη μέση και χαμηλή τάση αντίστοιχα. Τα δευτερεύοντα των έξι M/Σ καταλήγουν στο διαφορικό H/N, που ελέγχει ότι τα ανηγμένα εισερχόμενα ρεύματα είναι ίσα με τα εξερχόμενα ρεύματα. Αν η διαφορά των δύο ρευμάτων (απ' όπου και το όνομα διαφορικός H/N) ξεπερνά ένα όριο, π.χ. 100 mA, τότε ο H/N δίνει εντολή απόζευξης στο διακόπτη ισχύος στην πλευρά μέσης τάσης.

Η διαφορική προστασία έχει το πλεονέκτημα ότι περιορίζει τη ζημιά στο ελάχιστο, σε σχέση με την προστασία του H/N Buchholz. Επειδή όμως είναι μια σχετικά ακριβή προστασία τη συναντάμε σε πολύ μεγάλους M/Σ (πάνω από 1600 kV A).

Αξίζει να σημειώσουμε ότι, η διαφορική προστασία θυμίζει το γνωστό Δ.Δ.Ε. (διακόπτη διαρροής έντασης) που συναντάμε στους ηλεκτρικούς πίνακες των Ε.Η.Ε. Ο Δ.Δ.Ε. συγκρίνει το ρεύμα της φάσης με το ρεύμα του ουδετέρου (για

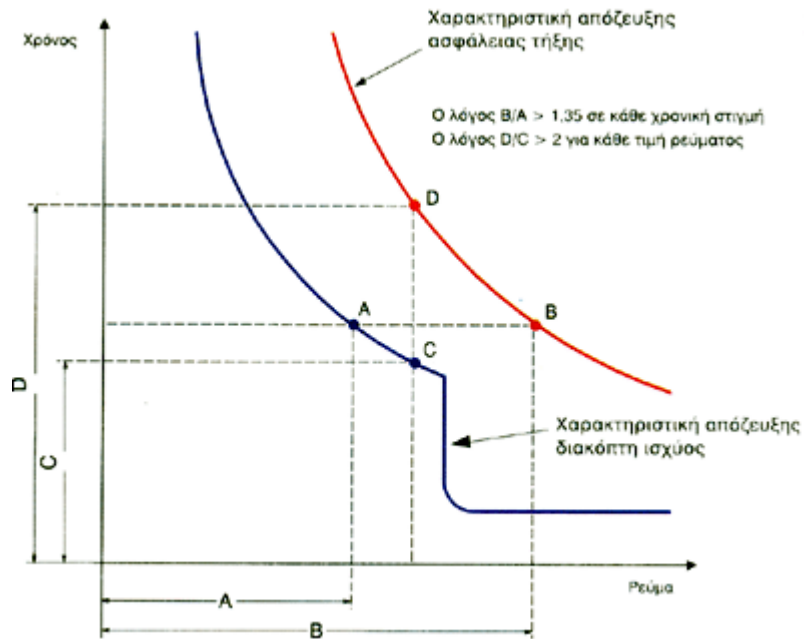
- τη χαρακτηριστική απόζευξης της ασφάλειας μέσης τάσης (κόκκινη καμπύλη)
- τη χαρακτηριστική απόζευξης του διακόπτη ισχύος χαμηλής τάσης (μπλέ καμπύλη)

Ο οριζοντιος άξονας είναι βαθμολογημένος σε kA ενώ ο κατακόρυφος σε s.

Και οι δύο χαρακτηριστικές έχουν την ιδιότητα του αντίστροφου χρόνου, δηλαδή όσο μεγαλώνει το ρεύμα τόσο ελαττώνεται ο χρόνος απόζευξης, Η χαρακτηριστική της ασφάλειας είναι μια συνεχής καμπύλη ενώ η χαρακτηριστική του αυτόματου διακόπτη έχει ένα απότομο σκαλοπάτι που οφείλεται στη λειτουργία του μαγνητικού στοιχείου.

Για να πετύχουμε την επιλεκτική συνεργασία πρέπει να ισχύουν τα παρακάτω:

- Όλα τα σημεία της καμπύλης της ασφάλειας να είναι πάνω και δεξιά από την καμπύλη του αυτόματου διακόπτη.
- Αν φέρουμε μια οριζόντια ευθεία, που κόβει τις καμπύλες του αυτόματου διακόπτη και της ασφάλειας στα σημεία A και B αντίστοιχα, πρέπει $B/A > 1,35$, δηλαδή, αν το ρεύμα στο σημείο A είναι 1000 A, το ρεύμα στο σημείο B της ασφάλειας να είναι τουλάχιστον 1350 A.
- Αν φέρουμε μια κάθετη ευθεία που κόβει τις καμπύλες του αυτόματου διακόπτη και της ασφάλειας στα σημεία C και D αντίστοιχα, πρέπει $D/C > 2$, δηλαδή, αν ο χρόνος στο σημείο C είναι 1,5s ο χρόνος στο σημείο D της ασφάλειας να είναι τουλάχιστον 3,0s.



Σχήμα 4-11 Επιλεκτικότητα μεταξύ των ασφαλειών MT και του διακόπτη ισχύος Χ.Τ που χρησιμοποιούνται στην προστασία ενός μετασχηματιστή.

4.11.4 Προστασία μετασχηματιστή ισχύος από υπερφόρτιση

Οι απώλειες χαλκού και σιδήρου του Μ/Σ μετατρέπονται στο εσωτερικό του σε θερμότητα που έχει ως συνέπεια την αύξηση της θερμοκρασίας του λαδιού (αν ο Μ/Σ είναι ελαιόψυκτος) ή της χυτορητίνης (αν ο Μ/Σ είναι ξηρού τύπου).

Μια από τις βασικές απαιτήσεις της σωστής προστασίας του Μ/Σ είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας (λαδιού ή χυτορητίνης), ώστε να μην ξεπεράσει τα όρια που έχει ορίσει ο κατασκευαστής του Μ/Σ.

Για Μ/Σ λαδιού χρησιμοποιούνται τα θερμομέτρα λαδιού που παρακολουθούν τη θερμοκρασία του ανώτερου στρώματος λαδιού. Αυτή πρέπει να είναι μικρότερη των 100°C.

Το θερμομέτρο είναι εφοδιασμένο με δύο ανοικτές επαφές. Όταν η βελόνα ξεπεράσει το πρώτο όριο των 90°C, τότε κλείνει η πρώτη επαφή και κτυπά ο συναγερμός του υποσταθμού.

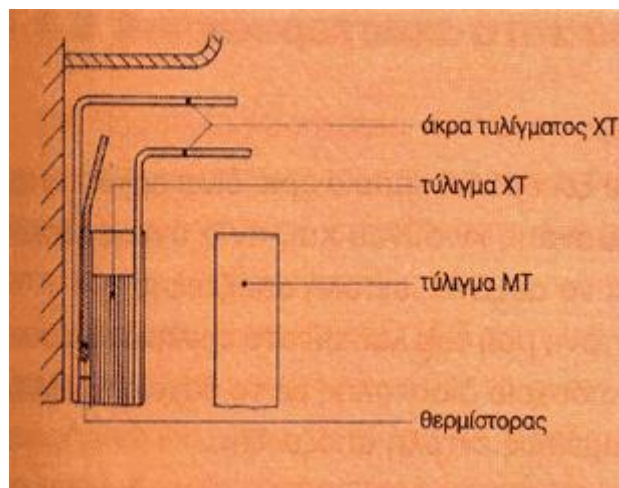
Ο συντηρητής θα πρέπει αμέσως να ελέγξει, αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο σύστημα ψύξης του Μ/Σ ή, στην ανάγκη, να απορρίψει άμεσα κάποια από τα φορτία του Μ/Σ.

Αν η θερμοκρασία του λαδιού συνεχίζει να ανεβαίνει και η βελόνα του θερμομέτρου ξεπεράσει το δεύτερο όριο, π.χ 100°C, αυτόματα δίνεται εντολή απόξευξης (trip) του διακόπτη ισχύος στην πλευρά χαμηλής τάσης του Μ/Σ.

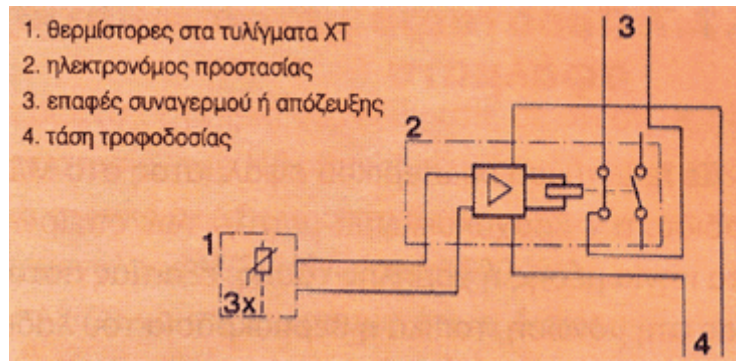
Στους Μ/Σ χυτορητίνης υπάρχουν τοποθετημένοι μέσα στα τυλίγματα της χαμηλής τάσης θερμίστορες (συνήθως δύο θερμίστορες σε κάθε φάση). Οι θερμίστορες είναι ηλεκτρονικά στοιχεία που η αντίστασή τους μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία τους.

Όπως φαίνεται στο **Διάγραμμα 4-2** οι θερμίστορες είναι οργανωμένοι σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα δίνει εντολή οπτικού και ηχητικού συναγερμού (ρελέ Κ2) και η δεύτερη ομάδα δίνει εντολή απόξευξης (trip) (ρελέ Κ1) του διακόπτη ισχύος στην πλευρά χαμηλής τάσης του Μ/Σ.

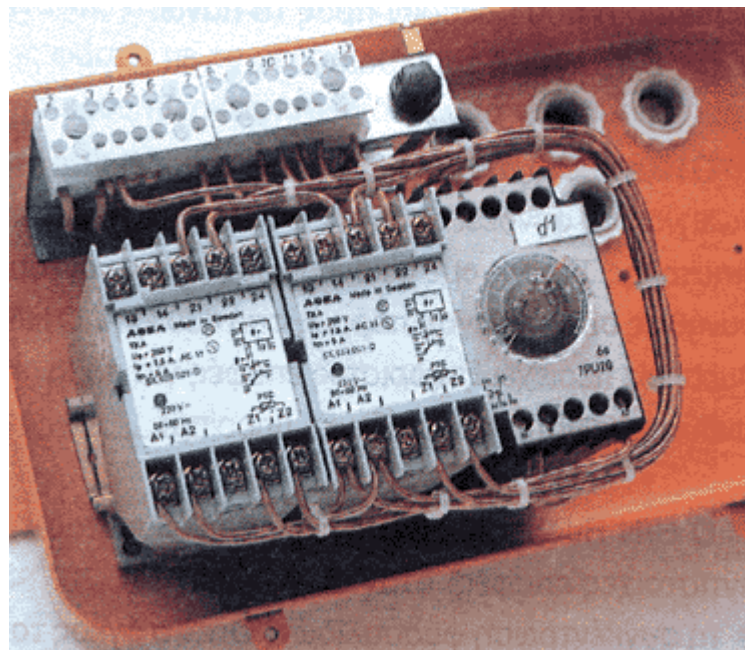
Το θερμόμετρο (στους Μ/Σ λαδιού) ή οι θερμίστορες (στους Μ/Σ χυτορητίνης) δίνουν εντολή απόξευξης στο διακόπτη ισχύος στην πλευρά χαμηλής τάσης.



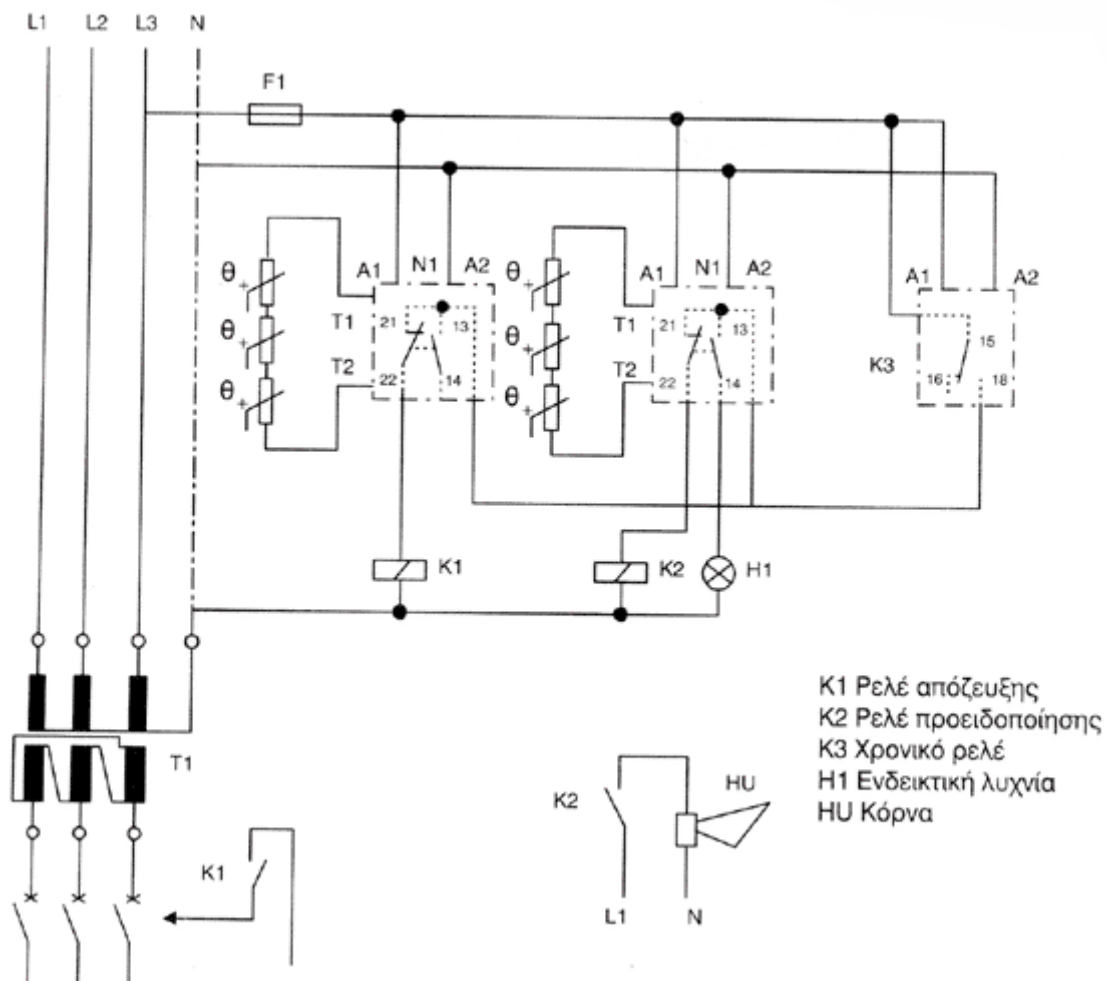
Σχήμα 4-12 Τοποθέτηση θερμιστόρων στα τυλίγματα χαμηλής τάσης



Σχήμα 4-13 Αρχή λειτουργίας της προστασίας με θερμίστορες



Εικόνα 4.21 Κουτί με ηλεκτρονόμους προστασίας



Διάγραμμα 4-2

Λειτουργικό διαγραμμα προστασίας ΜΣ με θερμίστορες

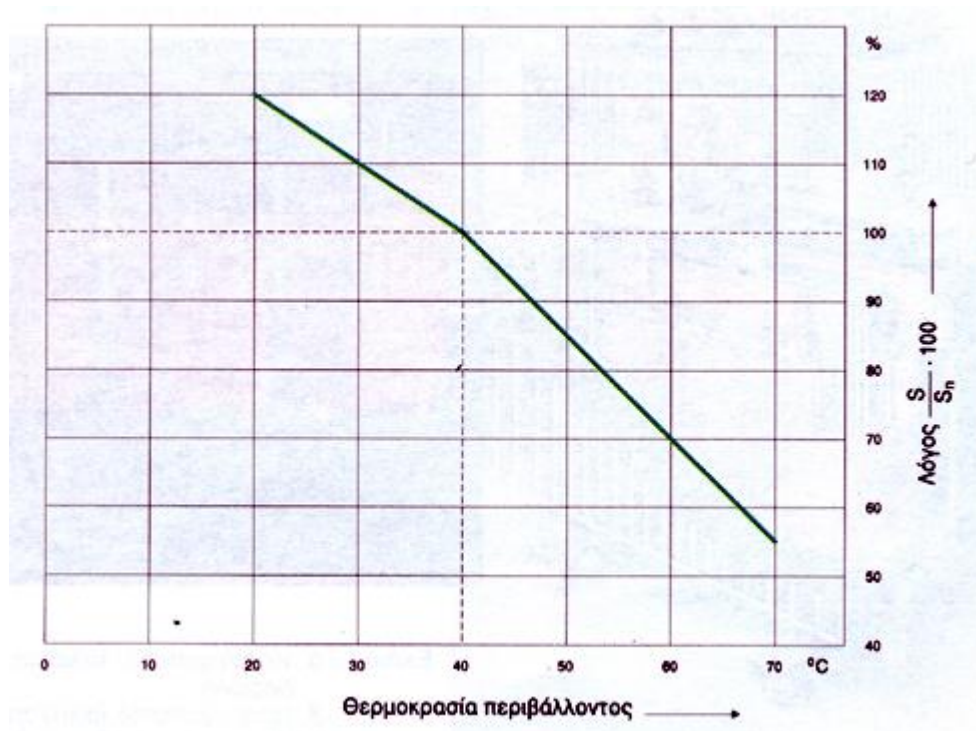
4.11.5 Χαρακτηριστικά μεγέθη

Το μέγεθος του Μ/Σ προσδιορίζεται από την προβλεπόμενη μέγιστη ζήτηση ισχύος σε kV A για τα επόμενα πέντε ως δέκα χρόνια από την ημέρα μελέτης-σχεδίασης του υποσταθμού. Η ονομαστική ισχύς (S_n) των Μ/Σ κυμαίνεται από 25 kVA μέχρι 2500 kVA. Λέγοντας ονομαστική ισχύ (Rated power) εννοούμε την ισχύ για την οποία έχει κατασκευαστεί ο Μ/Σ να λειτουργεί συνεχώς, εφόσον ισχύουν συγκεκριμένες συνθήκες. Οι κυριότερες από τις συνθήκες αυτές είναι:

- Θερμοκρασία περιβάλλοντος μικρότερη των 40°C
- Μέση ημερήσια θερμοκρασία μικρότερη των 30°C
- Μέση ετήσια θερμοκρασία μικρότερη των 20°C

- Υψόμετρο της εγκατάστασης μέχρι 1000 m από την επιφάνεια της θάλασσας

Αν οι συνθήκες λειτουργίας είναι διαφορετικές, τότε χρησιμοποιείται η επιτρεπόμενη φόρτιση S , η οποία διαφέρει από την ονομαστική S_n . Στο **Διάγραμμα 4-3** βλέπουμε ότι η ισχύς S μικραίνει όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μεγαλώνει. Αλλά και αντίστροφα, η ισχύς S αυξάνει όταν η θερμοκρασία είναι μικρότερη των 40°C . Πρακτικά, το χειμώνα με εξωτερική θερμοκρασία 20°C ένας Μ/Σ ονομαστικής ισχύος $S_n = 400 \text{ kVA}$ μπορεί να φορτιστεί μέχρι και 20% πάνω από την ονομαστική ισχύ, δηλαδή να φθάσει τα 480 kVA. Τις ζεστές ημέρες του καλοκαιριού, όταν η εξωτερική θερμοκρασία φθάνει τους 50°C , η φόρτιση του Μ/Σ δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει το 85% της ονομαστικής ισχύος, δηλαδή τα 340 kVA.



Διάγραμμα 4-3 Φόρτιση του μετασχηματιστή σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος

4.11.6 Τάση βραχυκύκλωσης

Ονομάζουμε τάση βραχυκύκλωσης (u_k) την τάση που πρέπει να εφαρμόσουμε στο πρωτεύον τύλιγμα του Μ/Σ ώστε να έχουμε, με βραχυκυκλωμένο το δευτερεύον, το ονομαστικό ρεύμα στο δευτερεύον τύλιγμα. Η τάση αυτή δίνεται

ως ποσοστό~ επι τοις εκατό (%) της ονομαστικής τάσης του πρωτεύοντος, και έτσι έχουμε την ονομαστική τάση βραχυκύκλωσης (u_k).

Η τάση βραχυκύκλωσης μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε την εσωτερική σύνθετη (ωμική + επαγωγική) αντίσταση του Μ/Σ που είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της στάθμης του ρεύματος βραχυκυκλώματος (I_k) στην πλευρά χαμηλής τάσης του Μ/Σ.

Η γνώση της τιμής το ρεύματος βραχυκυκλώματος στην πλευρά χαμηλής -τάσης του Μ/Σ είναι πολύ σημαντική, διότι με βάση αυτή την τιμή πρέπει να επιλέξουμε τον εξοπλισμό χαμηλής τάσης (διακόπτες ισχύος κ.λπ.) όσο αφορά την αντοχή του σε βραχυκύκλωμα.

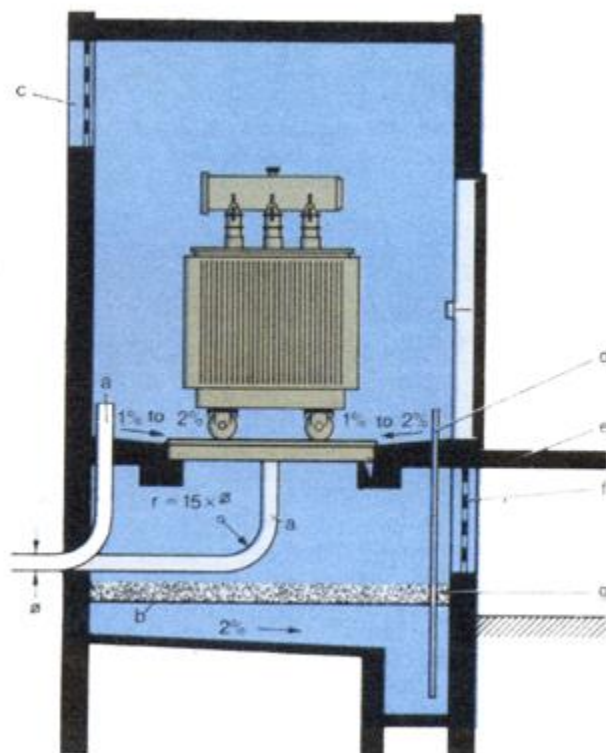
4.11.7 Εγκατάσταση και ψύξη του μετασχηματιστή ισχύος

Οι Μ/Σ εγκαθίστανται πάντοτε σε δικό τους ανεξάρτητο χώρο. Οι Μ/Σ λαδιού εγκαθίστανται στο υπόγειο του κτιρίου ή σε ανεξάρτητο οικίσκο, ενώ οι Μ/Σ ξηρού τύπου μπορούν να εγκατασταθούν σε οποιοδήποτε όροφο του κτιρίου. Βασική απαίτηση για την απρόσκοπτη λειτουργία του Μ/Σ είναι ο σωστός φυσικός ή τεχνητός αερισμός του χώρου εγκατάστασής του, για να απάγεται η θερμότητα (= απώλειες) που δημιουργείται.

Στο Σχήμα 4-14 βλέπουμε την τομή του δωματίου ενός Μ/Σ λαδιού. Κάτω από το Μ/Σ υπάρχει ένας στεγανός λάκκος από σκυρόδεμα για τη συγκέντρωση του λαδιού σε περίπτωση διαρροής. Η στρώση με τα χαλίκια (g) έχει σκοπό να μειωθεί η ποσότητα του λαδιού που μπορεί να καεί σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Ο Μ/Σ πατάει πάνω σε σιδηροτροχιές. Η είσοδος του αέρα είναι στο χαμηλότερο σημείο (f) και η έξοδος στο υψηλότερο σημείο (c). Το μέγεθος των ανοιγμάτων υπολογίζεται από το μελετητή και είναι ανάλογο των ονομαστικών απωλειών του Μ/Σ. Έτσι σχηματίζεται ένα φυσικό ρεύμα αέρα γύρω από το Μ/Σ που είναι απαραίτητο για τη σωστή ψύξη του.

Οι διαστάσεις του δωματίου πρέπει να είναι αρκετά μεγάλες ώστε να εξασφαλίζεται διάδρομος πλάτους τουλάχιστον 70 cm γύρω από το Μ/Σ.



Σχήμα 4-14 Τομή του δωματίου ενός Μ/Σ λαδιού

- a. Σωλήνας προστασίας καλωδίων
- b. Γαλβανισμένη διάτρητη σχάρα
- c. Άνοιγμα αερισμού με προστατευτικό πλέγμα (έξοδος αέρα)
- d. Σωλήνας για άντληση λαδιού
- e. Επίπεδο δωματίου μετασχηματιστή
- f. Άνοιγμα αερισμού με προστατευτικό πλέγμα (είσοδος αέρα)
- g. Στρώση με χοντρά χαλικάκια

4.11.8 Συνδεσμολογία τυλιγμάτων του μετασχηματιστή ισχύος

Όπως γνωρίζουμε από τη θεωρία των τριφασικών εναλλασσόμενων ρευμάτων, ένα τριφασικό σύστημα αποτελείται από τρία πηνία που συνδέονται σε τρίγωνο ή αστέρα. Η εναλλασσόμενη τάση κάθε πηνίου παριστάνεται με ένα διάνυσμα, δηλαδή ένα βέλος.

Στην περίπτωση συνδεσμολογίας τριγώνου, τα διανύσματα των τριών φάσεων σχηματίζουν ένα ισόπλευρο τρίγωνο ή το κεφαλαίο γράμμα Δ. Στην περίπτωση συνδεσμολογίας αστέρα, τα διανύσματα των τριών φάσεων σχηματίζουν έναν αστέρα ή το κεφαλαίο γράμμα V. Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις η γωνία μεταξύ δύο διαδοχικών διανυσμάτων είναι 120° ή αλλιώς μπορούμε να πούμε, ότι η φασική διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών φάσεων είναι 120 μοίρες.

Στην περίπτωση του Μ/Σ έχουμε δύο τριφασικά συστήματα, ένα στην πλευρά της μέσης και ένα στην πλευρά της χαμηλής τάσης. Για να μπορέσουμε να χαρακτηρίσουμε τη συνδεσμολογία κάθε πλευράς του Μ/Σ και ταυτόχρονα και τη φασική διαφορά μεταξύ των δύο πλευρών, χρησιμοποιούμε τα γράμματα D και Y σε συνδυασμό με έναν αριθμό από το 1 ως το 12.

Όπως φαίνεται στο **Σχήμα 4-15**, η συνδεσμολογία των Μ/Σ είναι συνήθως Dyn5 ή Dyn 11-(το Dyn5 διαβάζεται δέλτα-ύψιλον-νι-πέντε).

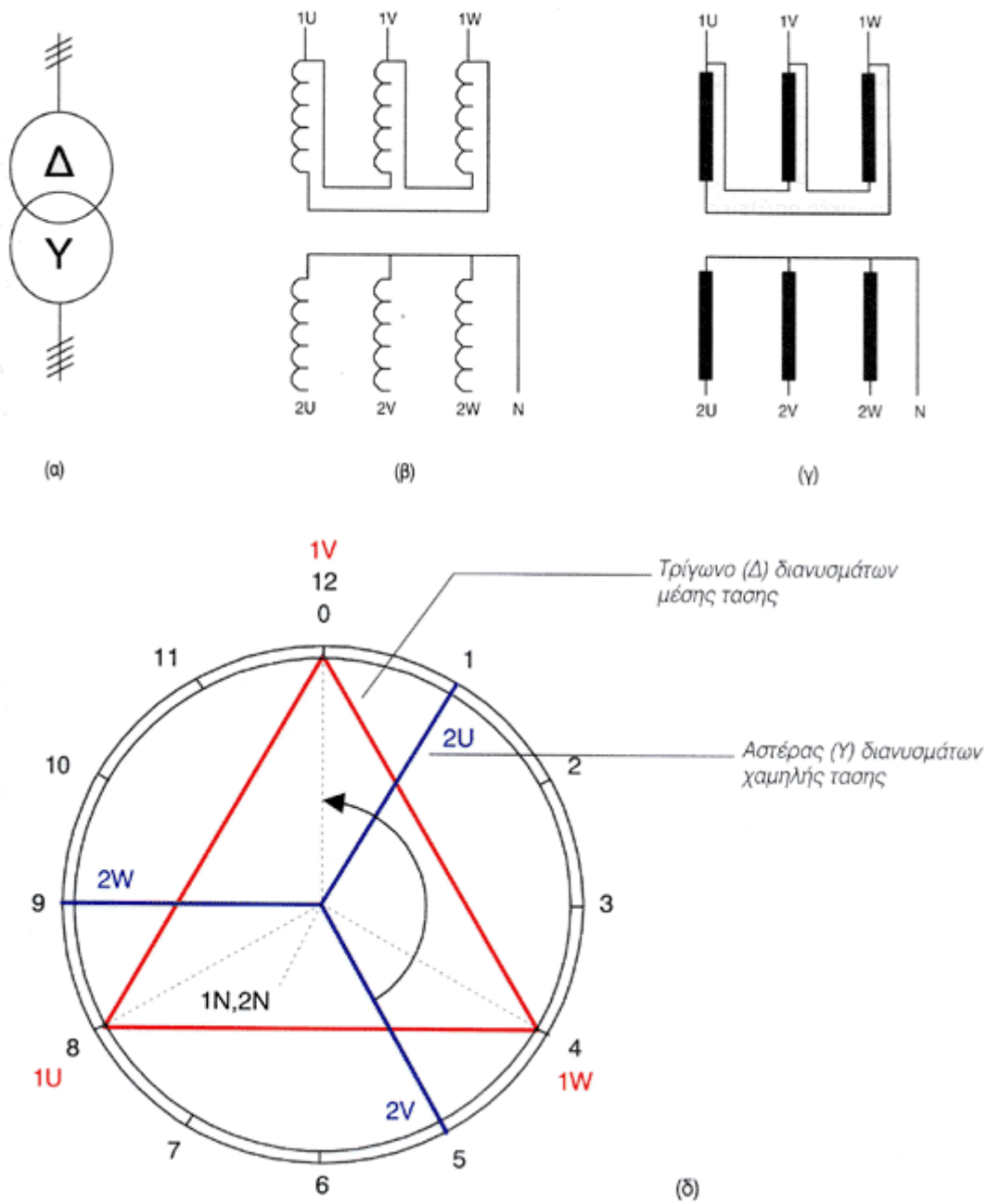
Παρακάτω αναλύεται η σημασία του κάθε γράμματος-αριθμού:

- Το πρώτο κεφαλαίο γράμμα D σημαίνει ότι τα τρία τυλίγματα στην πλευρά των 20 kV είναι συνδεδεμένα σε τρίγωνο, δηλαδή σχηματίζουν το γράμμα Δ.
- Το δεύτερο μικρό γράμμα y σημαίνει ότι τα τρία τυλίγματα στην πλευρά των 400 V είναι συνδεδεμένα σε αστέρα, δηλαδή σχηματίζουν το γράμμα y. Για να δηλώσουμε ότι είμαστε στη χαμηλή τάση το γράφουμε μικρό y.
- Το τρίτο μικρό γράμμα n σημαίνει ότι στην πλευρά χαμηλής τάσης υπάρχει ακροδέκτης ουδέτερου (neutral)

- Ο τέταρτος αριθμός δείχνει τη φασική διαφορά μεταξύ των διανυσμάτων των τάσεων της ίδιας φάσης στην πλευρά μέσης και της χαμηλής τάσης. Αν το διάνυσμα τάσης της μέσης τάσης (1 V) το θεωρήσουμε ότι είναι στη θέση 12 του ρολογιού, τότε το αντίστοιχο διάνυσμα της χαμηλής τάσης (2 V) είναι στην ώρα 5. Συνεπώς η γωνία μεταξύ των διανυσμάτων 1V και 2V είναι $5 \times 30 = 150^\circ$.

Σημειώνουμε ότι ικανή και αναγκαία συνθήκη για να μπορέσουν δύο Μ/Σ να λειτουργήσουν παράλληλα (να παραλληλιστούν) είναι:

- να έχουν τον ίδιο λόγο μετασχηματισμού π.χ 20/0,4 kV
- να έχουν την ίδια συνδεσμολογία, π.χ Dyn5
- να μη διαφέρουν σημαντικά οι ονομαστικές σχέσεις τους.



Σχήμα 4-15 Συμβολισμοί τριφασικού μετασχηματιστή:

α. Μονογραμμικό σύμβολο

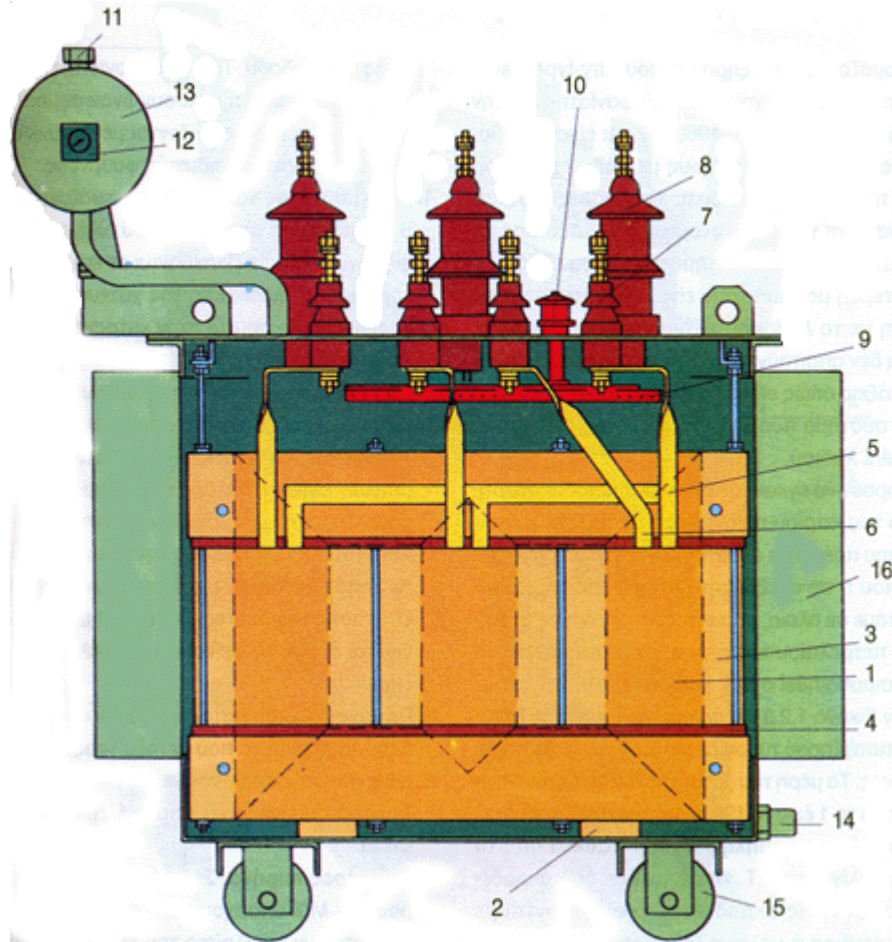
β. Σύμβολο με ακροδέκτες κατά IEC

γ. Σύμβολο με ακροδέκτες (παλαιό σύμβολο)

δ. Ομάδα διανυσμάτων Dyn5

4.11.9 Πώς είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής με μόνωση λαδιού

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την τομή ενός τριφασικού Μ/Σ λαδιού. Τα μέρη του μετασχηματιστή έχουν αριθμηθεί από το 1 έως το 16 και αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 4.22 ΜΣ λαδιού

1. Πυρήνας (Core)

Κατασκευάζεται από ειδικά σιδερένια ελάσματα που μεταξύ τους είναι μονωμένα για να ελαττώσουμε τις μαγνητικές απώλειες. Ο πυρήνας έχει τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.

2. Στηρίγματα πυρήνα (Core support)

Μεταξύ του πυθμένα του δοχείου και του πυρήνα μεσολαβεί κάποια απόσταση για να μπορεί να κυκλοφορεί το λάδι.

3. Τυλίγματα (Winding)

Σε κάθε σκέλος του πυρήνα υπάρχουν δύο τυλίγματα (πηνία). Στο εσωτερικό βρίσκεται το τύλιγμα της χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) και εξωτερικά το τύλιγμα της μέσης τάσης. Το τύλιγμα Χ.Τ. είναι κατασκευασμένο από χάλκινες ή αλουμινένιες μπάρες, ενώ το τύλιγμα της Μ.Τ. είναι από χάλκινο σύρμα.

4. Στηρίγματα τυλιγμάτων (winding support)

Η στερέωση των τυλιγμάτων Χ.Τ. και Μ.Τ. τόσο μεταξύ τους όσο και πάνω στον πυρήνα είναι πολύ κρίσιμη και γίνεται με μονωτικά στηρίγματα. Σε περίπτωση βραχυκυκλώματος, αναπτύσσονται στα τυλίγματα μεγάλες δυνάμεις Laplace που μπορούν να καταστρέψουν το Μ/Σ.

5. Άκρα των τυλιγμάτων (α)

Τα τρία άκρα των τυλιγμάτων χαμηλής τάσης γεφυρώνονται με χάλκινη μπάρα και δημιουργείται ο ουδέτερος κόμβος. Ο ουδέτερος συνδέεται στο κάτω μέρος του μονωτήρα διέλευσης και προκύπτει έτσι ο ακροδέκτης του ουδετέρου (n).

6. Άκρα των τυλιγμάτων (β)

Τα τρία άλλα άκρα των τυλιγμάτων χαμηλής τάσης συνδέονται στους μονωτήρες διέλευσης και προκύπτουν οι ακροδέκτες 2U, 2V, 2W.

7. Μονωτήρες διέλευσης Χ.Τ. (LV bushing) από πορσελάνη

Ονομάζονται μονωτήρες διέλευσης, διότι από μέσα τους διέρχεται το ρεύμα Χ.Τ.. Στον ένα τους ακροδέκτη, που είναι μέσα στο λάδι, συνδέονται οι απολήξεις των τυλιγμάτων Χ.Τ.. Στον άλλο τους ακροδέκτη, που είναι στον αέρα, συνδέονται τα καλώδια Χ.Τ. που αναχωρούν από το Μ/Σ.

8. Μονωτήρες διέλευσης Μ.Τ. (MV bushing) από πορσελάνη.

Στον ένα τους ακροδέκτη, που είναι μέσα στο λάδι, συνδέονται οι απολήξεις των τυλιγμάτων Μ.Τ.. Στον άλλο τους ακροδέκτη, που είναι στον αέρα, συνδέονται τα καλώδια Μ.Τ. που έρχονται από την κυψέλη προστασίας του Μ/Σ.

9. Ρυθμιστής τάσης (off-circuit tap changer)

Τα τυλίγματα μέσης τάσης έχουν ενδιάμεσα λήψεις που καταλήγουν σε ένα περιστροφικό διακόπτη. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα διαφορετικών λήψεων, δηλαδή να χρησιμοποιούμε περισσότερες ή λιγότερες σπείρες στο πρωτεύον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του λόγου των σπειρών του Μ/Σ και, συνεπώς, τη ρύθμιση της τάσης του δευτερεύοντος. Η ρύθμιση αυτή γίνεται όταν ο Μ/Σ είναι εκτός κυκλώματος (off-circuit).

10. Χειριστήριο ρυθμιστή τάσης

11. Δοχείο διαστολής (expansion vessel)

Η θερμοκρασία του λαδιού σε κανονική λειτουργία του Μ/Σ φτάνει τους 100°C, με αποτέλεσμα τη διαστολή του . Το δοχείο διαστολής συνδέεται με σωλήνα με το δοχείο του Μ/Σ και όσο η θερμοκρασία του λαδιού ανεβαίνει, ανεβαίνει η στάθμη του λαδιού, διώχνοντας τον αέρα που βρίσκεται στο πάνω μέρος του δοχείου. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η θερμοκρασία του λαδιού κατεβαίνει. Σήμερα κατασκευάζονται στεγανοί Μ/Σ λαδιού, με ειδικά σχεδιασμένα πτερύγια ψύξης που παίρνουν τις διαστολές του λαδιού και, συνεπώς, δεν χρειάζονται δοχείο διαστολής. Οι στεγανοί (sealed tank) Μ/Σ δεν χρειάζονται συντήρηση, διότι το λάδι δεν έρχεται σε επαφή με τον αέρα και έτσι δεν αλλοιώνεται

12. Δείκτης στάθμης λαδιού (oil-level indicator)

Μάς δείχνει τη στάθμη του λαδιού στο δοχείο διαστολής.

13. Τάπα αερισμού και πλήρωσης με λάδι (Ventilation and filling cap)

Από εδώ εξέρχεται ο αέρας που υπάρχει στο δοχείο διαστολής όταν θερμαίνεται το λάδι του Μ/Σ.

14. Βάνα αποχέτευσης του λαδιού (Drain plug)

Από εδώ γίνεται η εκκένωση του λαδιού.

15. Τροχοί κύλησης (Roller)

Η μετακίνηση του Μ/Σ μέχρι την τελική του θέση γίνεται με κύληση στους τέσσερις τροχούς του.

16. Ψυκτήρες (cooling ribs)

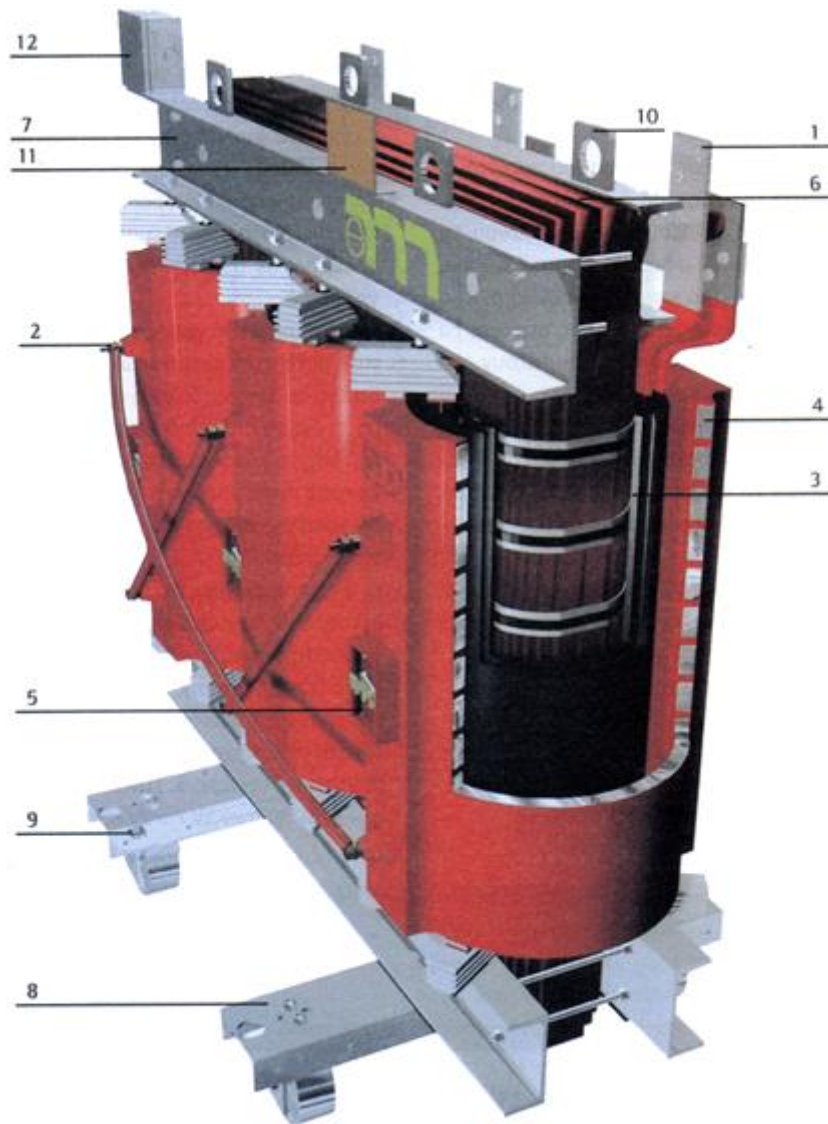
Μοιάζουν με τις φέτες των θερμαντικών σωμάτων ακτινοβολίας και χρησιμεύουν για τη φυσική ψύξη του λαδιού.

4.11.10 Πώς είναι κατασκευασμένος ο μετασχηματιστής ξηρού τύπου με μόνωση χυτο-ρητίνης

Ονομάζονται Μ/Σ ξηρού τύπου (dry-type transformers) διότι δεν έχουν λάδι. Εμφανίστηκαν στην αγορά τη δεκαετία του 1960. Αν και είναι ακριβότεροι από τους αντίστοιχους με λάδι, έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα που πολλές φορές τους κάνουν να είναι τελικά οικονομικότεροι. Δύο από τα σημαντικά τους πλεονεκτήματα είναι τα εξής:

- Η στερεή μόνωσή τους είναι άκαυστη, σε αντίθεση με το λάδι που είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο. Έτσι δεν απαιτούνται μια σειρά από ειδικές προφυλάξεις όπως ελαιοδεξαμενή, τοίχοι πυράντοχοι, σύστημα πυρόσβεσης κ.ά. που συναντάμε σε Μ/Σ λαδιού.
- Μπορούν να εγκατασταθούν σε οποιοδήποτε σημείο του κτιρίου σε αντίθεση με τους Μ/Σ λαδιού που πρέπει να εγκαθίστανται στο υπόγειο του κτιρίου ή σε ανεξάρτητα κτίρια. Έτσι τους συναντάμε σε πλοία, σήραγγες, πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου και γενικά όπου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο Μ/Σ λαδιού.

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την τομή ενός μετασχηματιστή ξηρού τύπου με μόνωση εποξειδικής χυτορητίνης. Τα μέρη του μετασχηματιστή έχουν αριθμηθεί από το 1 έως το 12 και αναλύονται παρακάτω.



Εικόνα 4.23 ΜΣ ξηρού τύπου

1. Ακροδέκτες χαμηλής τάσης

Καθένα από τα τρία τυλίγματα Χ.Τ. καταλήγει σε δύο ακροδέκτες. Οι τρεις ακροδέκτες γεφυρώνονται με αλουμινένια ή χάλκινη μπάρα και προκύπτει ο ακροδέκτης του ουδετέρου. Τα υπόλοιπα τρία άκρα καταλήγουν στους ακροδέκτες Χ.Τ., όπου συνδέονται τα καλώδια των 400 V.

2. Ακροδέκτες μέσης τάσης

Καθένα από τα τρία τυλίγματα Μ.Τ. καταλήγει σε δύο ακροδέκτες. Οι ακροδέκτες γεφυρώνονται χιαστί με μονωμένους αγωγούς για να δημιουργήσουν το τρίγωνο (Δ) των τυλιγμάτων της μέσης τάσης.

3. Τύλιγμα χαμηλής τάσης

Κατασκευάζονται συνήθως από φύλλο αλουμινίου που τυλίγεται σε μορφή κυλίνδρου. Τα φύλλα μονώνονται μεταξύ τους, ώστε να σχηματίσουν έναν συμπαγή κύλινδρο. Κατόπιν εμποτίζονται με εποξεική ρητίνη και ψήνονται σε ειδικούς φούρνους.

4. Τύλιγμα μέσης τάσης

Κατασκευάζονται συνήθως από φύλλο αλουμινίου που τυλίγεται σε μορφή πηνίου. Κατόπιν χυτεύονται σε καλούπια με χυτορητίνη. Η διαδικασία της χύτευσης αποτελεί το πιο κρίσιμο σημείο στην κατασκευή του Μ/Σ.

5. Ρυθμιστής τάσης

Κάθε τύλιγμα μέσης τάσης έχει ενδιάμεσες λήψεις που καταλήγουν σε ένα κιβώτιο ακροδεκτών στο μπροστινό μέρος κάθε τυλίγματος. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα διαφορετικών λήψεων, δηλαδή να χρησιμοποιούμε περισσότερες ή λιγότερες σπείρες στο πρωτεύον. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του λόγου των σπειρών του Μ/Σ και, συνεπώς, τη ρύθμιση της τάσης του δευτερεύοντος. Η ρύθμιση αυτή γίνεται όταν ο Μ/Σ είναι εκτός κυκλώματος (offcircuit).

6. Πυρήνας (Core)

Κατασκευάζεται από ειδικά σιδερένια ελάσματα που μεταξύ τους είναι μονωμένα για να ελαττώσουμε τις μαγνητικές απώλειες. Ο πυρήνας έχει τρία σκέλη, ένα για κάθε φάση.

7. Σφικτήρες πυρήνα

Στο πάνω και στο κάτω μέρος του Μ/Σ υπάρχουν σιδερένια δοκάρια που σχηματίζουν το πλαίσιο του Μ/Σ και ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται για τη σύσφιξη των ελασμάτων του πυρήνα.

8. Τροχοί κύλησης (Roller)

Η μετακίνηση του Μ/Σ μέχρι την τελική του θέση γίνεται με κύληση στους τέσσερις τροχούς του.

9. Ακροδέκτης γείωσης

Στον ακροδέκτη αυτό γειώνονται όλα τα μεταλλικά μέρη του Μ/Σ (πυρήνας, πλαίσιο κ.λπ.) που δε διαρρέονται από ρεύμα.

10. Άγκιστρα ανύψωσης

Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του Μ/Σ.

11. Πινακίδα

Στην πινακίδα αυτή αναγράφονται τα τεχνικά στοιχεία του Μ/Σ, το εργοστάσιο και το έτος κατασκευής του.

12. Κουτί με ηλεκτρονόμους προστασίας

Στο κουτί αυτό καταλήγουν τα καλώδια από τους θερμίστορες που υπάρχουν στα τυλίγματα Χ.Τ. και μας επιτρέπουν να προστατεύουμε το Μ/Σ από υπερφόρτιση.

4.11.11 Προστασία μετασχηματιστή λαδιού από εσωτερικά σφάλματα

Σε περίπτωση εσωτερικού σφάλματος στο Μ/Σ λαδιού, π.χ. βραχυκύκλωμα μεταξύ των σπειρών στα πηνία μέσης ή χαμηλής τάσης, εξαιτίας αστοχίας στη μόνωση, τοπικά η θερμοκρασία του λαδιού ανεβαίνει απότομα με συνέπεια:

- την εξάτμισή του και τη δημιουργία φουσαλίδων (αερίου) που οδεύουν προς τα πάνω.
- την έντονη ροή του λαδιού.

Ο Ηλεκτρονόμος (H/N) Buchholz τοποθετείται στο σωλήνα που συνδέει το δοχείο του Μ/Σ με το δοχείο διαστολής. Για λόγους οικονομικούς τον συναντάμε συνήθως σε Μ/Σ μεγαλύτερους από 630 kVA. Ο H/N Buchholz περιέχει ξεχωριστές επαφές για σήμανση κινδύνου (alarm) και απόζευξη (tripping).

Ο H/N Buchholz δίνει εντολές (κλείνοντας τις αντίστοιχες επαφές) όταν ανιχνεύσει:

- Τη συγκέντρωση φυσαλίδων. Όταν ο όγκος του αερίου ξεπεράσει κάποιο όριο δίνει αρχικά εντολή σήμανσης κινδύνου και, αν ο όγκος εξακολουθεί να αυξάνει, εντολή απόζευξης.
- Την έντονη ροή του λαδιού στο σωλήνα που συνδέει το δοχείο διαστολής με το δοχείο του Μ/Σ. Δίνει αμέσως εντολή απόζευξης.
- Την πτώση στάθμης του λαδιού (λόγω διαρροής). Όταν η στάθμη του λαδιού κατέβει κάτω από το επιτρεπτό όριο δίνει αρχικά σήμανση κινδύνου. Αν η στάθμη εξακολουθεί να κατεβαίνει και πέσει κάτω και από το όριο ασφαλείας τότε δίνει εντολή απόζευξης.

Η ανίχνευση δεν διορθώνει προφανώς το σφάλμα, αλλά μας προειδοποιεί να σταματήσουμε άμεσα το Μ/Σ, αλλιώς υπάρχει κίνδυνος μεγάλης ζημιάς.

Πρακτικά, η απόζευξη με H/N Buchholz σημαίνει ότι ο Μ/Σ πρέπει να σταματήσει τη λειτουργία του, να επιθεωρηθεί και, ενδεχομένως, να επισκευαστεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ

5.1 Κατηγορίες σφαλμάτων

Μια γραμμή διανομής μέσης τάσης είναι δυνατόν να βγει εκτός λειτουργίας για πολλούς λόγους. Ο χρόνος που μια γραμμή θα παραμείνει εκτός λειτουργίας διαχωρίζει τα σφάλματα σε τρεις επιμέρους κατηγορίες:

1. **Παροδικό Σφάλμα:** Είναι το σφάλμα μιας γραμμής, το οποίο την θέτει εκτός λειτουργίας για μερικά δευτερόλεπτα μόνο. Μπορεί, για παράδειγμα, να προκληθεί από ένα κλαδί δένδρου που θα ακουμπήσει τον αγωγό για κάποια δευτερόλεπτα σε περίπτωση ισχυρών ανέμων (γι' αυτό δεν πρέπει οι γραμμές να περνάνε μέσα από δένδρα). Μετά το πέρας αυτού του χρόνου, η γραμμή επανέρχεται σε λειτουργία χωρίς επέμβαση από τους τεχνικούς της αρμόδιας επιχείρησης ηλεκτρικής ενέργειας.
2. **Μόνιμο Σφάλμα:** Είναι το σφάλμα μιας γραμμής, που την θέτει εκτός λειτουργίας μόνιμα. Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να γίνει παρέμβαση συνεργείου της εταιρείας (Δ.Ε.Η. για την Ελλάδα), ώστε να εντοπίσει και να αποκαταστήσει τη βλάβη στη συγκεκριμένη γραμμή. Αυτό το είδος σφάλματος σε μια γραμμή μεταφοράς είναι και το πιο σημαντικό.
3. **Παραμένον Σφάλμα:** Είναι το είδος του σφάλματος μιας γραμμής, το οποίο ορίζεται ως κάτι ενδιάμεσο του μόνιμου και του παροδικού σφάλματος. Εμφανίζεται όταν η γραμμή είναι εκτός (μόνιμο σφάλμα) και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, χωρίς επέμβαση της Δ.Ε.Η., ξαναμπαίνει στο δίκτυο (παροδικό σφάλμα).

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, συμπεραίνουμε ότι είναι πολύ σημαντικό, κυρίως από οικονομική άποψη, η ελαχιστοποίηση των μόνιμων σφαλμάτων στο δίκτυο

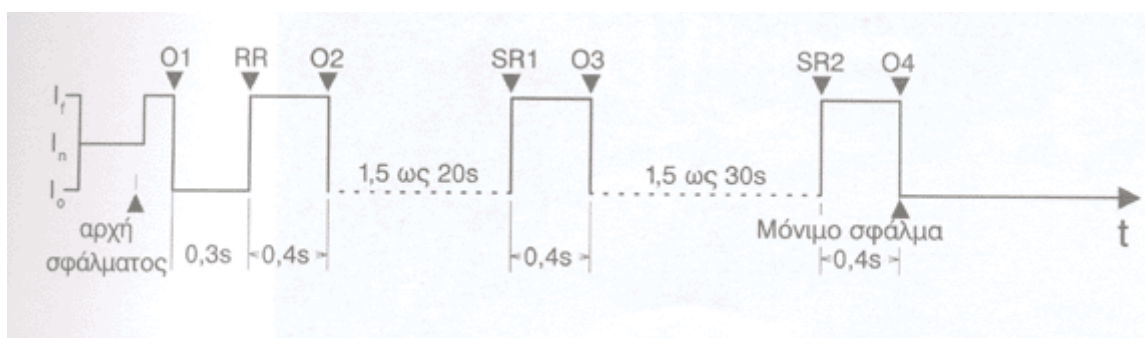
5.2 Σφάλματα στα εναέρια δίκτυα

Τους χειμερινούς μήνες, ο δυνατός άνεμος ή ο σχηματισμός πάγου μπορεί να φέρουν σε επαφή τους αγωγούς των εναέριων γραμμών, δημιουργώντας στιγμιαία ένα προσωρινό βραχυκύκλωμα μεταξύ των φάσεων ή μεταξύ φάσης και γης. Τους καλοκαιρινούς μήνες, η αστοχία στη μόνωση των ραγισμένων

μονωτήρων σε συνδυασμό με τη σκόνη ή την αρμύρα της θάλασσας που επικάθεται στους μονωτήρες δημιουργεί υπερπηδήσεις που προκαλούν βραχυκυκλώματα μεταξύ φάσης και γης. Επίσης και οι προσκρούσεις πουλιών σε δύο ή τρεις φάσεις προκαλούν βραχυκύκλωμα. Τα περισσότερα από αυτά τα σφάλματα είναι αυτο-καθαριζόμενα. Για παράδειγμα, η έντονη θερμοκρασία που δημιουργεί το ηλεκτρικό τόξο έχει σαν αποτέλεσμα να καθαρίσει τη διαδρομή του ρεύματος, π.χ να λιώσει ο πάγος, με συνέπεια την αποκατάσταση της μόνωσης.

Όταν υπάρχει μια συγκεκριμένη αιτία, όπως βλάβη στο υλικό, κακές ατμοσφαιρικές συνθήκες, ρύπανση μονωτήρων, υπερβολική καταπόνηση, ανθρώπινη ενέργεια, πυρκαγιά, τότε δημιουργείται σφάλμα στο σύστημα, που εμφανίζεται με τη μορφή επικίνδυνων υπερτάσεων σ' αυτό.

Εν τω μεταξύ η προστασία της γραμμής έχει δώσει εντολή και ο διακόπτης ισχύος στην αρχή της γραμμής ανοίγει (πολλές φορές λέμε πέφτει αντί ανοίγει). Η εμπειρία μας έχει δείξει ότι τις περισσότερες φορές η απλή επαναφορά της τάσης με το ξανακλείσιμο του διακόπτη ισχύος είναι αρκετή για να επαναφέρει το δίκτυο στην κανονική του κατάσταση. Έτσι, είναι δυνατόν να βελτιώσουμε την αξιοπιστία των εναέριων δικτύων δίνοντας απλά εντολή στο διακόπτη ισχύος να εκτελέσει περισσότερους (συνήθως τρεις) κύκλους λειτουργίας (άνοιγμακλείσιμο), όπως φαίνεται στο **Σχήμα 0-1**. Οι επαναφορές δεν εκτελούνται στα υπόγεια δίκτυα, γιατί τα σφάλματα εκεί είναι κατά κανόνα μόνιμα.



Σχήμα 0-1 Το χρονικό διάγραμμα των επαναφορών του διακόπτη

O	Άνοιγμα διακόπτη
RR	Γρήγορο επανακλείσιμο
SR	Αργό επανακλείσιμο
I _o	Μηδενικό ρεύμα
I _n	Κανονικό ρεύμα γραμμής
I _f	Ρεύμα σφάλματος

Αν οι επαναφορές δεν είναι επιτυχείς, μετακινείται συνεργείο με τεχνικούς στο σημείο του σφάλματος και πραγματοποιείται αντικατάσταση του προβληματικού εξαρτήματος (διακόπτης ισχύος, μονωτήρας, αγωγός κτλ) ή καθαρισμός μονωτήρων ή απομάκρυνση κλαδιών ή κορμών ή πουλιών.

5.3 Σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα

Στις αστικές περιοχές και ειδικά στα κέντρα των πόλεων τα δίκτυα μέσης τάσης για λόγους αισθητικούς και πρακτικούς δεν μπορούν να είναι εναέρια. Έτσι τα δίκτυα μέσης τάσης κατασκευάζονται υπόγεια χρησιμοποιώντας καλώδια ονομαστικής τάσης 20 kV.

Τα σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα καλωδίων μερικές φορές οφείλονται στην απροσεξία κατά τη διάρκεια της κατασκευής τους, Π.χ κακές συνδέσεις (μούφες) ή κακό τράβηγμα κατά την εγκατάσταση. Τις περισσότερες φορές

οφείλονται σε εκτελούμενες εργασίες από συνεργεία άλλων δημοσίων υπηρεσιών, π.χ. Εταιρεία Ύδρευσης - Αποχέτευσης, που χρησιμοποιούν εκσκαφείς, κομπρεσέρ κ.λπ. Ένα τρωκτικό επίσης μπορεί να προκαλέσει βλάβη. Άλλες φορές παρατηρείται λόγω υπερτάσεων, αστοχία στα ακροκιβώτια των καλωδίων 20 kV, στα σημεία που αυτά συνδέονται με εναέριες γραμμές. Οι υπερτάσεις αυτές είναι κατά κανόνα ατμοσφαιρικής προέλευσης (κεραυνοί). Σε αυτά τα σημεία χρησιμοποιούμε απαγωγείς τάσεις (αλεξικέραυνα), έτσι ώστε το κρουστικό κύμα να εκτονωθεί προς τη γη πριν συναντήσει το υπόγειο καλώδιο.

Τα σφάλματα στα υπόγεια δίκτυα είναι πολύ λιγότερα από τα σφάλματα στις εναέριες γραμμές αλλά είναι κατά κανόνα περισσότερο μόνιμα, δηλαδή χρειάζεται πολύ περισσότερος χρόνος για τον εντοπισμό και την αποκατάστασή τους από τα συνεργεία του παροχέα ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ).

Χρησιμοποιείται κι εδώ η μέθοδος των τριών επαναφορών του διακόπτη ισχύος και αν δεν είναι επιτυχής μεταβαίνει συνεργείο στο σημείο για αποκατάσταση της βλάβης

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[https://kozani.tv/index.php/75368-o-](https://kozani.tv/index.php/75368-o-%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%AE-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B5%CF%82-2.html)

[%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%AE-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B5%CF%82-2.html](https://kozani.tv/index.php/75368-o-%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%AE-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B5%CF%82-2.html)

[http://ptolemaida.tv/index.php/22909-o-](http://ptolemaida.tv/index.php/22909-o-%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%AE-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B5%CF%82-2)

[%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%AE-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B5%CF%82-2](http://ptolemaida.tv/index.php/22909-o-%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1-%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%AE-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B5%CF%82-2)

<https://www.amperorio.gr/index.php/el/istoria-tis-mpatarias.html>

http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/history.csp

<https://energypress.gr/news/i-istoria-tis-ilektrikis-energeias-stin-ellada-0>

<https://eclass.upatras.gr/modules/document/?course=EE630>

<https://illustrationprize.com/el/456-types-of-faults-in-power-system.html>