

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Αριθμός 1080

ΘΕΜΑ: Μελέτη βραχυκύκλωσης σε πραγματική γραμμή μέσης τάσης της
Δ.Ε.Η.

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ(ΕΣ):

Χαραλαμπάκος Βασίλης

Τσιμπλοστεφανάκης Ευάγγελος

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ(ΕΣ):

Χρηστολάρη Σοκόλ

Mico Renardo

ΠΑΤΡΑ 2010

Πρόλογος

Η εργασία αυτή έχει σκοπό την μελέτη των γραμμών MT σε περίπτωση σφάλματος (βραχυκύκλωμα) και αφετέρου την προστασία των γραμμών => και των καταναλωτών έτσι ώστε εάν δημιουργηθεί μια τέτοια περίπτωση να υπάρχουν όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες.

Στην αρχή παρουσιάζουμε την θεωρία της μελέτης βραχυκύκλωσης, στην συνέχεια αναφέρουμε τα υλικά και τους τρόπους προστασίας της γραμμής MT και τέλος υπολογίζουμε τα ρεύματα που εμφανίζονται σε περίπτωση βραχυκύκλωσης και αναφέρουμε τα τελικά συμπεράσματα.

Οι κύριες πηγές μας ήταν οι σημειώσεις που μας έδωσε ο εισηγητής μας κ. Σχοινάς Νικόλαος αλλά και τα βιβλία που αναφέρονται στην βιβλιογραφία.

Οι σπουδαστές Χρηστολάρη Σοκόλ και Mico Renardo θέλουν να ευχαριστήσουν ιδιαίτερω τον εισηγητή καθηγητή κ. Σχοινά Νικόλαο για την βοήθεια και τις πληροφορίες που μας παρείχε αλλά και για την άψογη συνεργασία και τον χρόνο που μας διέθεσε ώστε να πραγματοποιηθεί αυτή η εργασία. Τέλος ευχαριστούμε θερμά τις οικογένειες μας και ιδιαίτερα τους γονείς μας για την συμπαράσταση τους, από την αρχή έως το τέλος των σπουδών μας.

Περιεχόμενα

Σελίδα

Κεφάλαιο 1^ο

Θεωρία βραχυκυκλωμάτων	4
1.1 Συμμετρικές συνιστώσες.....	4
1.1.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....	4
1.1.2 Ορισμός συμμετρικών συνιστωσών.....	5
1.1.3 Ισχύς στις συμμετρικές συνιστώσες.....	9
1.1.4 Μέτρηση συμμετρικών συνιστωσών.....	9
1.1.4.1 Μέτρηση της ομοπολικής τάσεως και εντάσεως.....	9
1.1.4.2 Μέτρηση της ευθείας και της αντίστροφης συνιστώσας της τάσεως.....	11
1.1.5 Έννοια συνθέτων αντιστάσεων συμμετρικών συνιστωσών.....	14
1.1.6 Σημασία συμμετρικών συνιστωσών.....	17
1.2 Ηλεκτρικές μηχανές.....	17
1.2.1 Γενικά.....	17
1.2.2 Σύγχρονες μηχανές.....	18
1.2.2.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....	18
1.2.2.2 Ισοδύναμα κυκλώματα.....	19
1.2.3 Ασύγχρονες μηχανές.....	22
1.3 Μετασχηματιστές.....	25
1.3.1 Γενικά.....	25
1.3.2 Μετασχηματιστές δύο τυλιγμάτων (ευθύ σύστημα).....	25
1.3.3 Μετασχηματιστές δύο τυλιγμάτων (ομοπολικό σύστημα).....	29
1.4 Βραχυκύκλωμα.....	32
1.4.1 Γενικά.....	32
1.4.2 Αρχική ισχύς βραχυκυκλώσεως.....	32
1.4.3 Ισχύς διακοπής.....	32
1.4.4 Υπολογισμός του αρχικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως.....	33
1.4.4.1 Μέθοδοι υπολογισμού.....	33
1.4.5 Σύνθετες αντιστάσεις.....	38
1.4.6 Αρχικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως.....	44

1.4.7 Είδη βραχυκυκλωμάτων.....	44
1.4.8 Υπολογισμός του κρουστικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως.....	46
Κεφάλαιο 2 ^ο	
Μέσα προστασίας μέσης τάσης (ΜΤ) της Δ.Ε.Η.	48
2.1 Γενικά	48
2.2 Εναέρια δίκτυα ΜΤ.....	50
2.3 Ασφάλειες ΜΤ.....	52
2.3.1 Ασφάλεια σκόνης... ..	52
2.3.2 Ασφάλεια εκτόνωσης.....	55
2.4 Διακόπτες ΜΤ.....	57
2.4.1 Ηλεκτρονόμοι.....	58
2.4.2 Διακόπτης ισχύος (αυτόματοι διακόπτες).....	62
2.4.2.1 Κύκλοι επαναφοράς (ή λειτουργίας) ενός ΔΙ.....	64
2.4.3 Διακόπτης Απομόνωσης (ΔΑ).....	65
2.4.4 Διακόπτης αυτόματης επαναφοράς (Δ/ΑΕ).....	69
2.4.4.1 Τριπολικοί Δ/ΑΕ.....	69
2.4.4.2 Δ/ΑΕ Ξηρού τύπου.....	73
2.4.4.3 Μονοπολικοί Δ/ΑΕ.....	74
Κεφάλαιο 3 ^ο	
Μελέτη βραχυκύκλωσης σε πραγματική γραμμή ΜΤ	75
3.1 Γενικά σχόλια.....	75
3.2 Υπολογισμός ρευμάτων.....	75
3.3 Συμπεράσματα.....	86
Βιβλιογραφία	92

Κεφάλαιο 1^ο

Θεωρία βραχυκυκλωμάτων

1.1 Συμμετρικές συνιστώσες

1.1.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Η ανάλυση και η μελέτη συμμετρικών τριφασικών (και πολυφασικών) συστημάτων είναι απλή, επειδή κάθε τέτοιο σύστημα μπορεί να αναχθεί σ'ένα μονοφασικό σύστημα, για το οποίο ισχύει το μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα. Η προϋπόθεση της ίδιας σύνθετης αντίστασης για κάθε φάση και συμμετρικών τάσεων και ρευμάτων δεν ισχύει όμως πάντοτε. Η συμμετρία ενός συστήματος διαταράσσεται από τα ασύμμετρα σφάλματα (μονοπολικό βραχυκύκλωμα, διπολικό βραχυκύκλωμα, πολλαπλά σφάλματα, διακοπή ενός ή δύο αγωγών), από τα μέσα ζεύξεως (διακόπτες μονοπολικής διακοπής και αυτόματης επαναφοράς) και από τα ασύμμετρα φορτία, που προκαλούνται από μονοφασικούς καταναλωτές. Σ'όλες αυτές τις περιπτώσεις έχουμε ασυμμετρίες στις σύνθετες αντιστάσεις που προκαλούν ασυμμετρίες στις τάσεις και στις εντάσεις.

Για την ανάλυση ασυμμέτρων τριφασικών (ή πολυφασικών) συστημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολύπλοκα τριφασικά (ή πολυφασικά) ισοδύναμα κυκλώματα τα οποία οδηγούν σε πολύ δυσχερείς υπολογισμούς που οφείλονται κυρίως στις ζεύξεις μεταξύ των αγωγών. Είναι όμως δυνατοί μετασχηματισμοί του αρχικού ασύμμετρου συστήματος abc (φυσικό σύστημα) σε άλλα συστήματα συνιστωσών, για τα οποία ισχύουν μονοφασικά ισοδύναμα κυκλώματα, με ζεύξεις μόνο σε εκείνα τα σημεία του κυκλώματος, που αντιστοιχούν στα σημεία ασυμμετριών του συστήματος abc . Τα ισοδύναμα κυκλώματα που προκύπτουν από τους μετασχηματισμούς αυτούς είναι απλούστερα και έτσι απλοποιείται η σχετική ανάλυση, τα αποτελέσματα της όποιας μεταφέρονται με αντίστροφους μετασχηματισμούς στο φυσικό σύστημα abc .

Χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα συστήματα συνιστωσών :

- Συνιστώσες 012 (συμμετρικές συνιστώσες).
- Συνιστώσες 0αβ (διαγώνιες συνιστώσες).
- Συνιστώσες 0αα (συνιστώσες δύο αξόνων).
- Συνιστώσες 0sz (συνιστώσες διανυσμάτων χώρου).

Οι συμμετρικές συνιστώσες χρησιμοποιούνται για την ανάλυση μονίμων ασυμμετριών σε δίκτυα. Η πρώτη βασική εργασία για τις συμμετρικές συνιστώσες δημοσιεύθηκε το 1918 από τον C.L. Fortescue.

Είναι σκόπιμο να αναφερθούμε στα άλλα συστήματα διότι δεν μας ενδιαφέρουν αλλά και επειδή οι συμμετρικές συνιστώσες χρησιμοποιούνται πολύ περισσότερο από τα άλλα συστήματα συνιστωσών. Η χρησιμοποίηση των συνιστωσών αυτών μετά το 1950 είναι ευρεία και πολύ αποτελεσματική στην ανάλυση σφαλμάτων και στην ανάπτυξη συστημάτων προστασίας.

1.1.2 Ορισμός συμμετρικών συνιστωσών

Σε κάθε τριφασικό ασύμμετρο σύστημα ισχύει :

$$\underline{K}_a + \underline{K}_b + \underline{K}_c = 3\underline{K}_0 \neq 0 \quad (1,1)$$

\underline{K}_a , \underline{K}_b , \underline{K}_c είναι φασικά διανύσματα των φάσεων a, b, c που μπορεί να είναι ρεύματα, τάσεις, εντάσεις ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου, μαγνητικές ροές κ.λ.π., όχι όμως αντιστάσεις! Το διάνυσμα \underline{K}_0 καλείται ομοπολική συνιστώσα, με

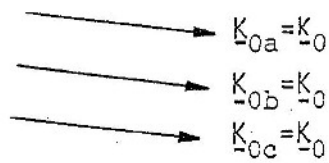
δείκτη 0, και ορίζεται με τη σχέση (1,2)

$$\underline{K}_0 = \frac{1}{3} * (\underline{K}_a + \underline{K}_b + \underline{K}_c) \quad (1,2)$$

Για τριφασικό συμμετρικό σύστημα είναι $\underline{K}_0 = 0$ επειδή $\underline{K}_a + \underline{K}_b + \underline{K}_c = 0$. Η ομοπολική συνιστώσα είναι ίδια και για τις τρεις φάσεις :

$$\underline{K}_{0a} = \underline{K}_{0b} = \underline{K}_{0c} = \underline{K}_0 \quad (1,3)$$

Τα τρία διανύσματα \underline{K}_{0a} , \underline{K}_{0b} και \underline{K}_{0c} των φάσεων a, b, c σχηματίζουν το ομοπολικό σύστημα ή σύστημα μηδενικής ακολουθίας που φαίνεται στο σχήμα 1,1.



Σχήμα 1,1. Ομοπολικό σύστημα

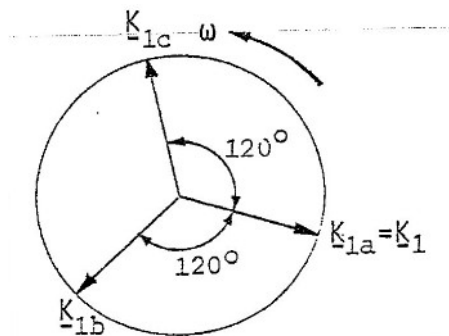
Ως ευθεία συνιστώσα του διανύσματος \underline{K}_a , με δείκτη 1, ορίζεται το μέγεθος

$$\underline{K}_{1a} = \frac{1}{3} * (\underline{K}_a + \underline{a}\underline{K}_b + \underline{a}^2\underline{K}_c), \quad (1,4)$$

με $\underline{a} = e^{j2\pi/3}$

Αντίστοιχα και για τις φάσεις b και c.

Το σύστημα \underline{K}_{1a} , \underline{K}_{1b} , και \underline{K}_{1c} , που φαίνεται στο σχήμα 1,2 καλείται ευθύ σύστημα ή θετικό σύστημα ή σύστημα θετικής ακολουθίας.



Σχήμα 1,2. Ευθύ σύστημα (θετική ακολουθία των φάσεων a, b, c). ω είναι η ηλεκτρική γωνιακή ταχύτητα

Το υπόλοιπο \underline{K}_{2a} , που προκύπτει από την αφαίρεση της ευθείας και της ομοπολικής συνιστώσας της φάσεως a από το διάνυσμα \underline{K}_a καλείται αντίστροφη συνιστώσα :

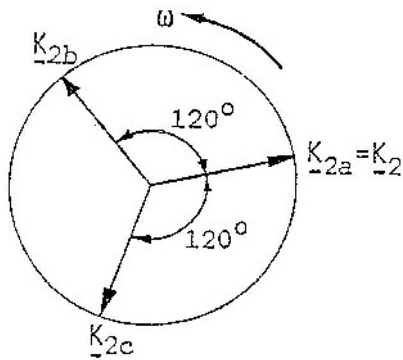
$$\underline{K}_{2a} = \underline{K}_a - \underline{K}_{1a} - \underline{K}_0 = \underline{K}_a - \frac{1}{3} * (\underline{K}_a + \underline{a}\underline{K}_b + \underline{a}^2\underline{K}_c) - \frac{1}{3} * (\underline{K}_a + \underline{K}_b + \underline{K}_c) = \frac{1}{3} * [\underline{K}_a - (\underline{a} + 1) * \underline{K}_b - (\underline{a}^2 + 1) * \underline{K}_c] \quad (1,5)$$

Εύκολα φαίνεται ότι $\underline{a} + 1 = -\underline{a}^2$ και $\underline{a}^2 + 1 = -\underline{a}$, οπότε η σχέση (1,5) απλοποιείται :

$$\underline{K}_{2a} = \frac{1}{3} * (\underline{K}_a + \underline{a}^2\underline{K}_b + \underline{a}\underline{K}_c) \quad (1,6)$$

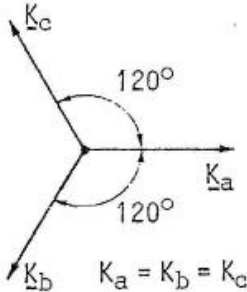

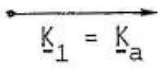



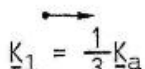
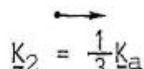
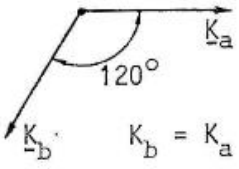


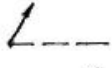
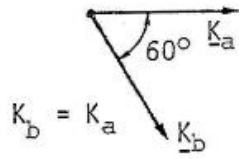
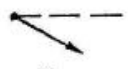




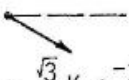

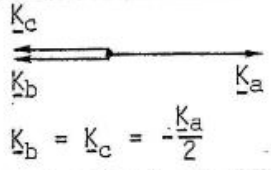

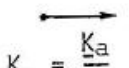
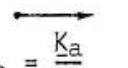
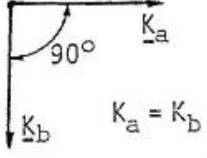

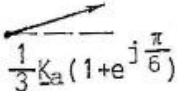
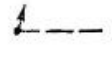
Αντίστοιχα και για τις φάσεις b και c.

Τα διανύσματα \underline{K}_{2a} , \underline{K}_{2b} και \underline{K}_{2c} σχηματίζουν το σύστημα που φαίνεται στο σχήμα 1,3. Στο σύστημα αυτό, που καλείται αντίστροφο ή αρνητικό ή σύστημα αρνητικής ακολουθίας δεν εμφανίζεται η θετική ακολουθία φάσεων a, b, c, όπως φαίνεται στο σχήμα 1,2, αλλά η αντίστροφη ακολουθία a, c, b.



Σχήμα 1,3. Αντίστροφο σύστημα (αρνητική ακολουθία των φάσεων a, c, b)

Η άθροιση των συνιστωσών του ομοπολικού, του θετικού και του αντιστρόφου συστήματος οδηγεί στο αρχικό ή φυσικό σύστημα abc. Ένα τυχαίο ασύμμετρο τριφασικό σύστημα abc μπορεί να αναλυθεί σε τρία συμμετρικά συστήματα συνιστωσών, το ομοπολικό, το ευθύ και το αντίστροφο.

Φυσικό σύστημα $\underline{K}_a, \underline{K}_b, \underline{K}_c$	Συμμετρικές συνιστώσες		
	ομοπολική \underline{K}_0	ευθεία \underline{K}_1	αντίστροφη \underline{K}_2
 $K_a = K_b = K_c$	 $\underline{K}_0 = 0$	 $\underline{K}_1 = \underline{K}_a$	 $\underline{K}_2 = 0$
 \underline{K}_a	 $\underline{K}_0 = \frac{1}{3}\underline{K}_a$	 $\underline{K}_1 = \frac{1}{3}\underline{K}_a$	 $\underline{K}_2 = \frac{1}{3}\underline{K}_a$
 $K_b = K_a$	 $\underline{K}_0 = \frac{1}{3}\underline{K}_a e^{-j\frac{\pi}{3}}$	 $\underline{K}_1 = \frac{2}{3}\underline{K}_a$	 $\underline{K}_2 = \frac{1}{3}\underline{K}_a e^{j\frac{\pi}{3}}$
 $K_b = K_a$	 $\underline{K}_0 = \frac{\sqrt{3}}{3}\underline{K}_a e^{-j\frac{\pi}{6}}$	 $\underline{K}_1 = \frac{\sqrt{3}}{3}\underline{K}_a e^{j\frac{\pi}{6}}$	 $\underline{K}_2 = 0$
 $\underline{K}_b = -\underline{K}_a$	 $\underline{K}_0 = 0$	 $\underline{K}_1 = \frac{\sqrt{3}}{3}\underline{K}_a e^{-j\frac{\pi}{6}}$	 $\underline{K}_2 = \frac{\sqrt{3}}{3}\underline{K}_a e^{j\frac{\pi}{6}}$
 $\underline{K}_b = \underline{K}_c = -\frac{\underline{K}_a}{2}$	 $\underline{K}_0 = 0$	 $\underline{K}_1 = \frac{\underline{K}_a}{2}$	 $\underline{K}_2 = \frac{\underline{K}_a}{2}$
 $K_a = K_b$	 $\underline{K}_0 = \frac{\sqrt{2}}{3}\underline{K}_a e^{-j\frac{\pi}{4}}$	 $\underline{K}_1 = \frac{1}{3}\underline{K}_a (1 + e^{j\frac{\pi}{6}})$ $\approx 0,644\underline{K}_a e^{j\frac{\pi}{12}}$	 $\underline{K}_2 = \frac{1}{3}\underline{K}_a (1 + e^{j\frac{5\pi}{6}})$ $\approx 0,173\underline{K}_a e^{j\frac{5\pi}{12}}$

Συμμετρικές συνιστώσες για ειδικές περιπτώσεις ασυμμέτρων συστημάτων.

Πίνακας 1,1

1.1.3 Ισχύς στις συμμετρικές συνιστώσες

Η μιγαδική ισχύς ενός ασύμμετρου τριφασικού συστήματος είναι ίση με το άθροισμα των μιγαδικών ισχύων των τριών φάσεων :

$$\underline{S}_{abc} = \underline{U}_a \underline{I}_a^* + \underline{U}_b \underline{I}_b^* + \underline{U}_c \underline{I}_c^* \quad (1,7)$$

Αποδεικνύεται ότι το αποτέλεσμα της σχέσης (1,7) είναι :

$$\underline{S}_{abc} = 3(\underline{U}_0 \underline{I}_0^* + \underline{U}_1 \underline{I}_1^* + \underline{U}_2 \underline{I}_2^*) = 3 * \underline{S}_{012} \quad (1,8)$$

Σε περίπτωση συμμετρικού τριφασικού συστήματος ($\underline{I}_0 = 0, \underline{I}_2 = 0$) είναι :

$$\underline{S}_{abc} = 3 \underline{U}_1 \underline{I}_1^* \quad (1,9)$$

Ο συντελεστής 3 είναι ο αριθμός φάσεων, \underline{U}_1 και \underline{I}_1 τα φασικά διανύσματα της τάσεως και της εντάσεως.

1.1.4 Μέτρηση συμμετρικών συνιστωσών

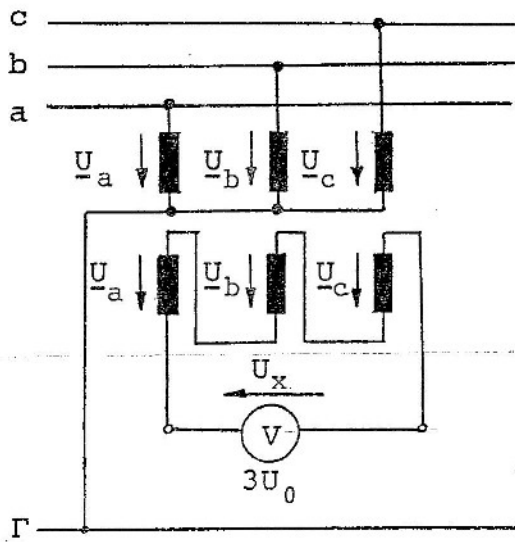
1.1.4.1 Μέτρηση της ομοπολικής τάσεως και εντάσεως

Το σχήμα 1,4 δείχνει τη μέτρηση της ομοπολικής τάσεως με τη βοήθεια μετασχηματιστή τάσεως με ανοικτό το δευτερεύον τύλιγμα συνδεσμολογίας τριγώνου. Η ένδειξη του βολτομέτρου V, με την προϋπόθεση του ίδιου αριθμού ελιγμάτων στο πρωτεύον και το δευτερεύον τύλιγμα, είναι:

$$\underline{U}_x = \underline{U}_a + \underline{U}_b + \underline{U}_c \quad (1,10)$$

Από τη σύγκριση των εξισώσεων (1,10) και (1,1) προκύπτει :

$$\underline{U}_0 = \frac{1}{3} * (\underline{U}_a + \underline{U}_b + \underline{U}_c) = \underline{U}_x / 3 \quad (1,11)$$




Σχήμα 1,4. Μέτρηση της ομοπολικής τάσεως με μετασχηματιστή τάσεως.

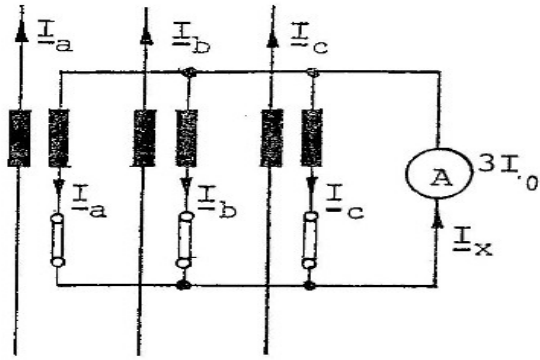
Το σχήμα 1,5 δείχνει το κύκλωμα μετρήσεως της ομοπολικής εντάσεως με τη βοήθεια τριών μονοφασικών μετασχηματιστών εντάσεως. Η ένδειξη του αμπερομέτρου A, υποθέτοντας τον ίδιο αριθμό ελιγμάτων στο πρωτεύον και δευτερεύον τύλιγμα, είναι :

$$I_x = I_a + I_b + I_c \quad (1,12)$$

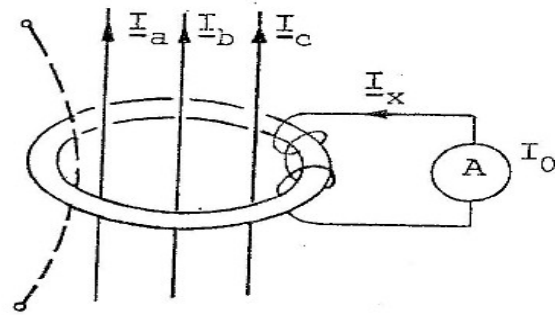
Από τη σύγκριση των εξισώσεων (1,12) και (1,1) προκύπτει :

$$I_0 = \frac{1}{3} * (I_a + I_b + I_c) = I_x / 3 \quad (1,13)$$

Στα βραχυκυκλωμένα ζεύγη ακροδεκτών () μπορούν να μετρηθούν τα φασικά ρεύματα I_{abc} .



Σχήμα 1,5. Μέτρηση της ομοπολικής εντάσεως με τρεις μονοφασικούς μετασχηματιστές εντάσεως.



Σχήμα 1,6. Μέτρηση του ομοπολικού ρεύματος με μετασχηματιστή εντάσεως τύπου δακτυλίου.

Το σχήμα 1,6 δείχνει τη μέτρηση του ομοπολικού ρεύματος με τη βοήθεια μετασχηματιστή εντάσεως τύπου δακτυλίου. Το αμπερόμετρο A δείχνει το ομοπολικό ρεύμα I_0 , εάν το δευτερεύον έχει 3 ελίγματα :

$$3I_x = I_a + I_b + I_c \quad (1,14)$$

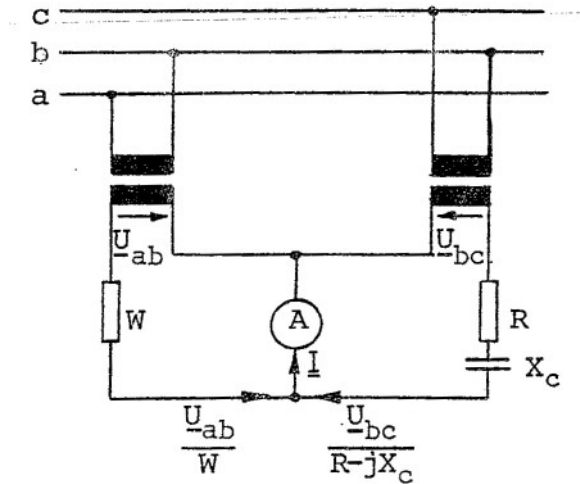
$$I_x = \frac{1}{3} * (I_a + I_b + I_c) = I_0 \quad (1,15)$$

Πρόσθετοι αγωγοί, που διέρχονται από το δακτύλιο και συμβολίζονται με διακεκομμένη γραμμή στο σχήμα 1,6, δεν πρέπει να είναι βραχυκυκλωμένοι ή γειωμένοι σε δύο σημεία, επειδή έτσι θα σχηματίζονταν πρόσθετα κλειστά δευτερεύοντα τυλίγματα. Τέτοιοι αγωγοί είναι π.χ. οι μεταλλικοί μανδύες των καλωδίων.

1.1.4.2 Μέτρηση της ευθείας και της αντίστροφης συνιστώσας της τάσεως

$$\begin{aligned} 3\underline{U}_1 &= \underline{U}_a + \underline{a}U_b + \underline{a}^2\underline{U}_c \\ &= \underline{U}_a + \underline{a}U_b + \underline{a}^2\underline{U}_c + \underline{a}^2\underline{U}_b - \underline{a}^2\underline{U}_b \\ &= \underline{U}_a - \underline{U}_b + \underline{a}^2 * (\underline{U}_c - \underline{U}_b) \\ &= \underline{U}_{ab} + \underline{a}^2\underline{U}_{cb} = \underline{U}_{ab} - e^{j\pi/3} * \underline{U}_{cb} \\ &= \underline{U}_{ab} + e^{j\pi/3} * \underline{U}_{bc} \end{aligned} \quad (1,16)$$

Απαιτείται συνεπώς ένα κύκλωμα με στροφή της τάσεως \underline{U}_{bc} κατά $+\frac{\pi}{3}$. Το σχήμα 1,7 δείχνει ένα τέτοιο κύκλωμα.



Σχήμα 1,7.
Συνδεσμολογία για τη μέτρηση της θετικής συνιστώσας της τάσεως.

Η εσωτερική αντίσταση του αμπερομέτρου A είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με τα μεγέθη W, R και X_C . Συνεπώς το ρεύμα \underline{I} είναι το άθροισμα των ρευμάτων \underline{U}_{ab} / W και $\underline{U}_{bc} / (R - jX_C)$. Η προπορία του ρεύματος $\underline{U}_{bc} / (R - jX_C)$ έναντι της τάσεως \underline{U}_{bc} κατά $\pi / 3$ επιτυγχάνεται με ορισμένο λόγο X_C / R :

$$\arctan (X_C / R) = \pi/3, X_C = \sqrt{3} * R \quad (1,17)$$

Πρέπει επίσης να ισχύει

$$|R - jX_C| = W,$$

$$W = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + (\sqrt{3}R)^2} = 2R \quad (1,18)$$

ώστε το ρεύμα \underline{I} να απεικονίζει σωστά το άθροισμα των τάσεων σύμφωνα με τη σχέση (1,16).

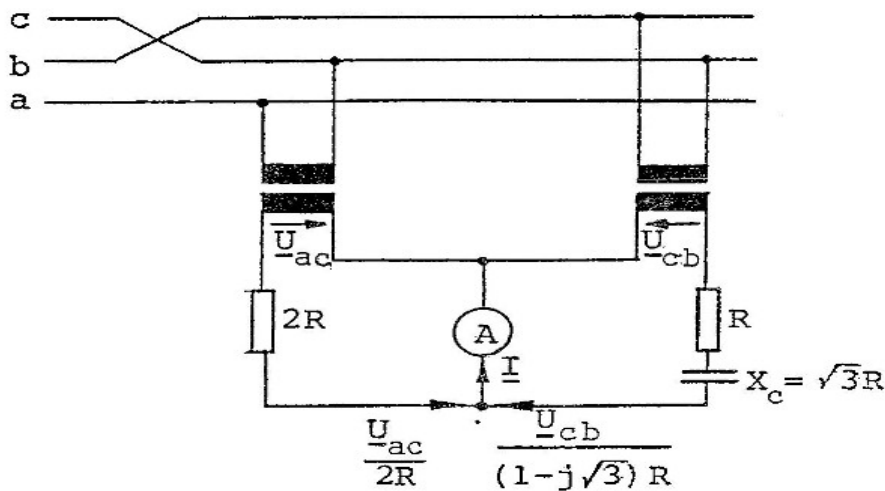
Η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι συνεπώς :

$$I = \frac{U_{ab}}{W} + \frac{U_{bc}}{R - jX_C} = \frac{1}{2R} * (U_{ab} + e^{j\pi/3} * U_{bc}) \quad (1,19)$$

Από τη σύγκριση των σχέσεων (1,16) και (1,19) προκύπτει :

$$U_1 = \frac{1}{3} * (U_{ab} + e^{j\pi/3} * U_{bc}) = \frac{2}{3} * RI \quad (1,20)$$

Για τη μέτρηση της αντίστροφης συνιστώσας της τάσεως μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συνδεσμολογία του σχήματος 1,7 με εναλλαγή των φάσεων b και c όπως φαίνεται στο σχήμα 1,8.



Σχήμα 1,8. Κύκλωμα για τη μέτρηση της αρνητικής συνιστώσας της τάσεως.

$$\begin{aligned} 3\underline{U}_2 &= \underline{U}_a + \underline{a}^2\underline{U}_b + \underline{a}\underline{U}_c \\ &= \underline{U}_a + \underline{a}^2\underline{U}_b + \underline{a}\underline{U}_c + \underline{a}^2\underline{U}_c - \underline{a}^2\underline{U}_c \\ &= \underline{U}_a - \underline{U}_c + \underline{a}^2 * (\underline{U}_b - \underline{U}_c) \\ &= \underline{U}_{ac} + \underline{a}^2\underline{U}_{bc} = \underline{U}_{ac} - e^{j\pi/3} * \underline{U}_{bc} \\ &= \underline{U}_{ac} + e^{j\pi/3} * \underline{U}_{cb} \end{aligned} \quad (1,21)$$

Η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι :

$$I = \frac{U_{ac}}{2R} + \frac{U_{cb}}{R - j\sqrt{3}R} = \frac{1}{2R} * (U_{ac} + U_{cb} * e^{j\pi/3}) \quad (1,22)$$

Από τη σύγκριση των σχέσεων (1,21) και (1,22) προκύπτει :

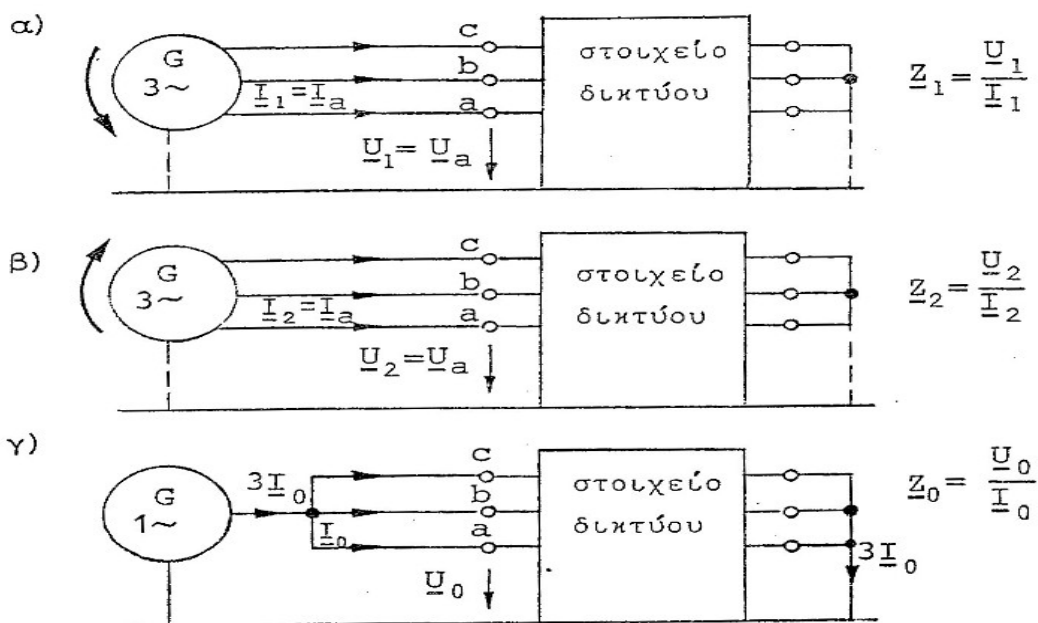
$$U_2 = \frac{1}{3} * (U_{ac} + e^{j\pi/3} * U_{cb}) = \frac{2}{3} * RI \quad (1,23)$$

1.1.5 Έννοια συνθέτων αντιστάσεων συμμετρικών συνιστωσών

Στις συμμετρικές συνιστώσες τάσεως και εντάσεως αντιστοιχούν συμμετρικές συνιστώσες συνθέτων αντιστάσεων.

Η ευθεία σύνθετη αντίσταση Z_1 (ή σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας) για ένα στοιχείο του δικτύου αντιστοιχεί στην ισοδύναμη αντίσταση κατά τη συμμετρική λειτουργία με ένα ευθύ συμμετρικό σύστημα τάσεων. Το μέγεθος Z_1 εμφανίζεται στο μονοφασικό ισοδύναμο κύκλωμα που χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις συμμετρικής λειτουργίας τριφασικών συστημάτων. Το σχήμα 1,9 α) δείχνει τη μέτρηση της Z_1 . Η τριφασική πηγή παρέχει το ευθύ σύστημα των τάσεων.

Η αντίστροφη σύνθετη αντίσταση Z_2 (ή σύνθετη αντίσταση αρνητικής ακολουθίας) αντιστοιχεί στη φόρτιση με ένα αντίστροφο συμμετρικό σύστημα. Το σχήμα 1,9 β) δείχνει τη μέτρηση της Z_2 με τριφασική πηγή αντίστροφης ακολουθίας των τάσεων. Από τη σύγκριση των σχημάτων 1,9 α) και 1,9 β) προκύπτει ότι για στοιχεία του δικτύου χωρίς στρεφόμενες μηχανές η ακολουθία των φάσεων δεν επηρεάζει την σύνθετη αντίσταση. Για σύγχρονες και ασύγχρονες μηχανές τα μεγέθη Z_1 και Z_2 είναι διαφορετικά, επειδή η περιστροφή του δρομέα προκαλεί διαφορετικές συνθήκες για το ευθύ και το αντίστροφο σύστημα.



Σχήμα 1,9. Μέτρηση συνθέτων αντιστάσεων συμμετρικών συνιστωσών

- α) Μέτρηση της ευθείας σύνθετης αντίστασης Z_1
- β) Μέτρηση της αντίστροφης σύνθετης αντίστασης Z_2
- γ) Μέτρηση της ομοπολικής σύνθετης αντίστασης Z_0

Οι συνδέσεις με διακεκομμένη γραμμή προς γη στα σχήματα α) και β) δεν επηρεάζουν το αποτέλεσμα της μετρήσεως.

Μετασχηματιστές	}	$\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2$
Εναέριες και υπόγειες γραμμές		$\underline{Z}_1 \neq \underline{Z}_2$
Σύγχρονες και ασύγχρονες μηχανές		

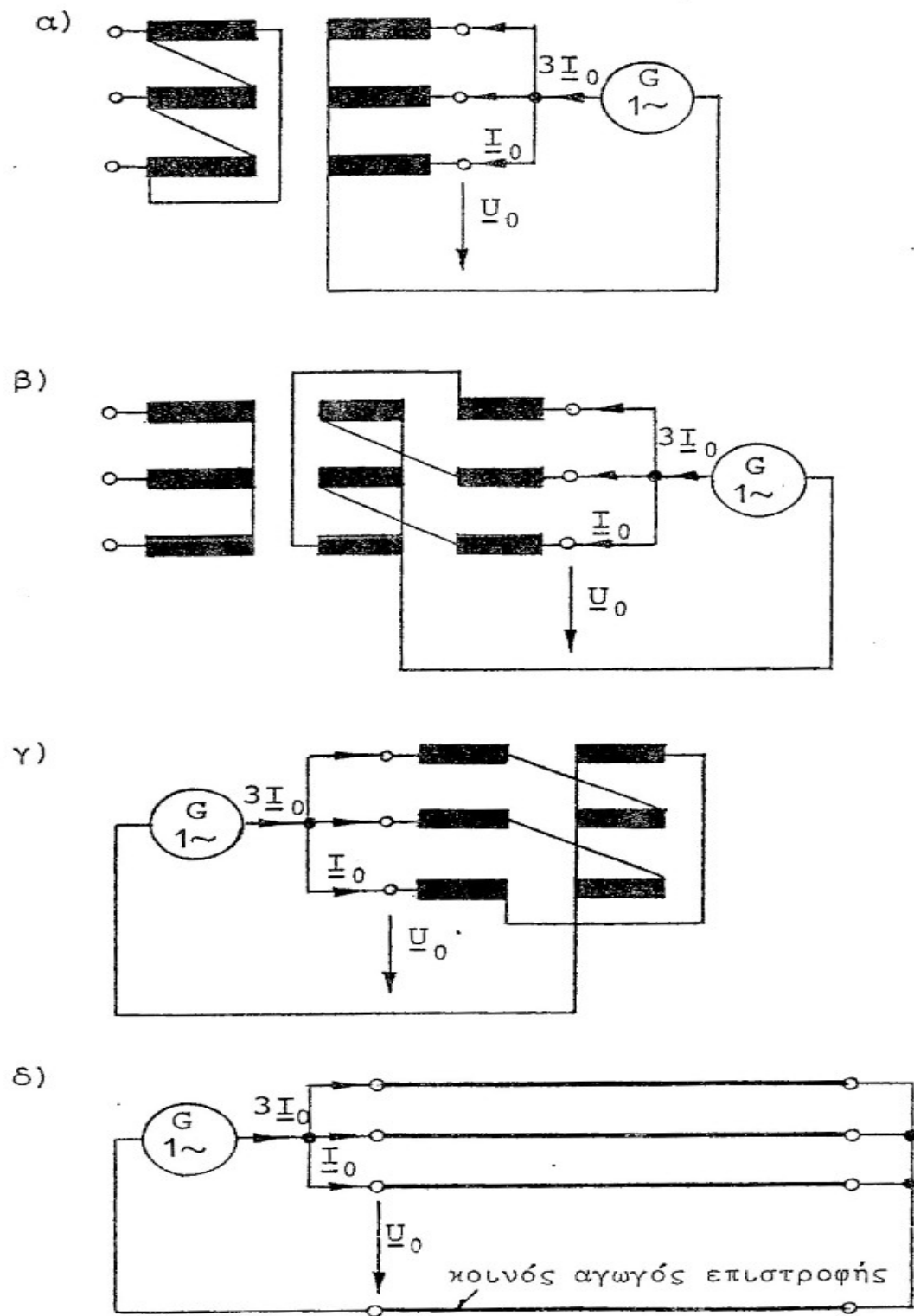
Η ομοπολική σύνθετη αντίσταση ισχύει για τη φόρτιση με ρεύματα του αυτού μεγέθους και της αυτής φασικής γωνίας. Στο σχήμα 1,9 γ) φαίνεται η μέτρηση της \underline{Z}_0 . Το άθροισμα των ρευμάτων $3\underline{I}_0$ ρέει εκτός των φάσεων του τριφασικού συστήματος δια των αγωγών γειώσεως και της γης. Συνεπώς ο τρόπος γειώσεως των κόμβων των μετασχηματιστών και των γεννητριών είναι αποφασιστικής σημασίας για το μέγεθος \underline{Z}_0 .

Συνεπώς είναι :

$$\underline{Z}_0 \neq \underline{Z}_1 \text{ και } \underline{Z}_0 \neq \underline{Z}_2$$

Το σχήμα 1,10 δείχνει τον τρόπο μετρήσεως της ομοπολικής αντιστάσεως διαφόρων στοιχείων του δικτύου.

Η ομοπολική σύνθετη αντίσταση εναερίων γραμμών ή καλωδίων καθορίζεται σύμφωνα με το σχήμα 1,10 δ). Η μονοφασική πηγή συνδέεται μεταξύ των τριών παράλληλα συνδεδεμένων αγωγών και του κοινού αγωγού επιστροφής (π.χ. γης, αγωγών γειώσεως, ουδετέρου αγωγού, αγωγού ουδετερώσεως, μανδύων και οπλισμού καλωδίων). Ο κοινός αγωγός επιστροφής διαρρέεται από το τριπλάσιο ομοπολικό ρεύμα.



Σχήμα 1,10. Μέτρηση της ομοπολικής αντιστάσεως διαφόρων στοιχείων του δικτύου.

α) Μετασχηματιστής ζεύξεως Dy.

β) Μετασχηματιστής ζεύξεως Yz.

γ) Πηνίο τεθλασμένου αστέρα για τον σχηματισμό ουδετέρου κόμβου.

δ) Εναέρια γραμμή ή καλώδιο .

1.1.6 Σημασία συμμετρικών συνιστωσών

Όπως φαίνεται από τις μετρήσεις, οι συμμετρικές συνιστώσες δεν απορρέουν μόνο από ένα μαθηματικό μετασχηματισμό, αλλά έχουν και φυσική υπόσταση. Το κάθε ένα των τριών συστημάτων 012 επενεργεί σε χαρακτηριστικές καταστάσεις :

- Στις τριφασικές στρεφόμενες μηχανές δρα το ευθύ σύστημα.
- Το αντίστροφο σύστημα προκαλεί στις σύγχρονες μηχανές ασύμμετρη φόρτιση και θερμική καταπόνηση των τυλιγμάτων αποσβέσεως και των πελμάτων των πόλων από διανορεύματα. Στις ασύγχρονες μηχανές το αντίστροφο σύστημα προκαλεί ροπές πεδήσεως. Οι κανονισμοί προδιαγράφουν τη μέγιστη επιτρεπόμενη σχέση I_2 / I_1 :
 - για σύγχρονες γεννήτριες ισχύος μέχρι 100 MVA $I_2/I_1 \leq 8\%$ (μηχανές με κυλινδρικό δρομέα) και $I_2 / I_1 \leq 12\%$ (μηχανές με εκτύπους πόλους).
 - για ασύγχρονους κινητήρες $I_2 / I_1 \leq 5\%$.
 - για κυκλώματα ηλεκτρονικής ισχύος $U_2 / U_1 \leq 2\%$ και $U_0 / U_1 \leq 2\%$.
- Τα ομοπολικά ρεύματα έχουν μεγάλη επαγωγική επίδραση σε γειτονικά κυκλώματα και οι ομοπολικές τάσεις προκαλούν με χωρητικές ζεύξεις τάσεις με γειτονικές γραμμές. Συνήθως στην περίπτωση σφαλμάτων με επαφή γης τα ομοπολικά ρεύματα και οι ομοπολικές τάσεις περιορίζονται στο τμήμα του δικτύου που εμφανίζει το σφάλμα και με τη μέτρηση των ομοπολικών μεγεθών μπορεί έτσι να καθορισθεί το τμήμα αυτό.

1.2 Ηλεκτρικές μηχανές

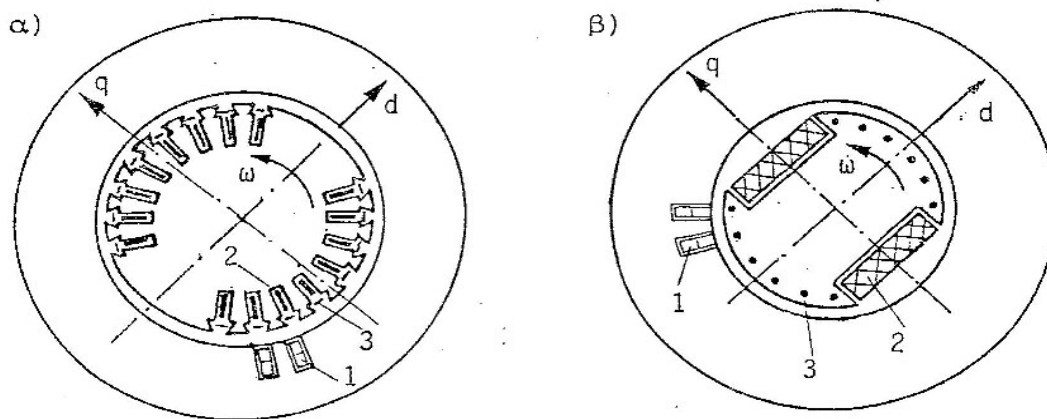
1.2.1 Γενικά

Οι ηλεκτρικές μηχανές μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική (κινητήρες) ή αντίστροφα (γεννήτριες) ή μετατρέπουν ηλεκτρική ενέργεια με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σε ηλεκτρική διαφορετικών χαρακτηριστικών. Χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους και ανάλογα με την κατασκευή τους. Παρακάτω θα γίνει ανάλυση (ως προς το βραχυκύκλωμα) στις σύγχρονες και ασύγχρονες μηχανές (A.C.).

1.2.2 Σύγχρονες μηχανές

1.2.2.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Η λειτουργική συμπεριφορά των συγχρόνων μηχανών επηρεάζεται από τον τρόπο κατασκευής του δρομέα, σχήμα 1,11. Στις μηχανές με κυλινδρικό δρομέα οι μαγνητικές ιδιότητες στον ευθύ άξονα d (άξονας στο μέσο του πόλου) και στον εγκάρσιο άξονα q (άξονα μεταξύ δύο γειτονικών πόλων) είναι περίπου οι ίδιες. Για τον λόγο αυτό οι επαγωγικές αντιδράσεις στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας για τις δύο αυτές θέσεις είναι περίπου ίσες. Στις μηχανές όμως με έκτυπους πόλους η μαγνητική αγωγιμότητα στον άξονα d είναι σημαντικά μεγαλύτερη της αγωγιμότητας στον άξονα q . Αυτό προκαλεί διαφορετικές επαγωγικές αντιδράσεις στους δύο άξονες.



Σχήμα 1,11. Δομή συγχρόνων μηχανών

α) μηχανή με κυλινδρικό δρομέα, β) μηχανή με έκτυπους πόλους. (1) τύλιγμα στάτη, (2) τύλιγμα διεγέρσεως, (3) τύλιγμα αποσβέσεως.

Αμέσως μετά την εμφάνιση σφαλμάτων ή διαταραχών οι σύγχρονες μηχανές λειτουργούν στην υπομεταβατική κατάσταση με αρχική (υπομεταβατική) εσωτερική τάση E'' και τις υπομεταβατικές αντιδράσεις X_d'' και X_q'' . Οι αντιδράσεις αυτές καθορίζονται από τη σκέδαση μεταξύ του τυλίγματος του στάτη και του τυλίγματος αποσβέσεως και συνεπώς δεν υπεισέρχεται η διαφορετική μαγνητική αγωγιμότητα στους δύο άξονες του δρομέα. Τόσο για μηχανές με κυλινδρικό δρομέα όσο και για μηχανές με έκτυπους πόλους είναι

$$X_d'' \cong X_q'' \quad (1,24)$$

Για την εξέταση της μεταβατικής καταστάσεως χρησιμοποιούνται τα μεταβατικά μεγέθη E' , X_d' και X_q' . Οι μεταβατικές αντιδράσεις καθορίζονται από τη σκέδαση μεταξύ του τυλίγματος του στάτη και του τυλίγματος διεγέρσεως. Επειδή τα τυλίγματα διεγέρσεως αναπτύσσει μαγνητική ροή μόνο στην κατεύθυνση του άξονα d δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ της μεταβατικής αντιδράσεως X_q' και της σύγχρονης αντιδράσεως X_q . Συνεπώς ισχύει τόσο για τις μηχανές με κυλινδρικό δρομέα όσο και για τις μηχανές με έκτυπους πόλους

$$X_q' \cong X_q \quad (1,25)$$

Κατά την εξέταση της μόνιμης κατάστασης λειτουργίας (σύγχρονη λειτουργία) χρησιμοποιείται η εσωτερική τάση E και οι σύγχρονες αντιδράσεις X_d και X_q . Στις μηχανές με κυλινδρικό δρομέα η μαγνητική αγωγιμότητα είναι η ίδια και στους δύο άξονες και ισχύει :

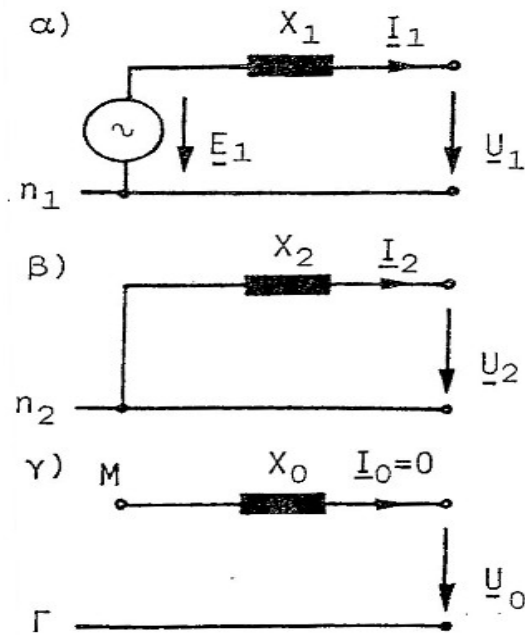
$$X_d \cong X_q \quad (1,26)$$

Στις μηχανές με έκτυπους πόλους η μαγνητική αγωγιμότητα στον άξονα q είναι σημαντικά μικρότερη της αγωγιμότητας στον άξονα d και ισχύει

$$X_q < X_d \quad (1,27)$$

1.2.2.2 Ισοδύναμα κυκλώματα

Το σχήμα 1,12 δείχνει τα ισοδύναμα κυκλώματα συμμετρικών συνιστωσών. Οι ωμικές αντιστάσεις είναι πολύ μικρότερες από τις επαγωγικές αντιδράσεις και δεν συμπεριλαμβάνονται στο σχήμα 1,12. Οι αντιστάσεις αυτές συνήθως δεν λαμβάνονται υπόψη. Μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπως π.χ. κατά τον υπολογισμό του κρουστικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως υπεισέρχονται και οι ωμικές αντιστάσεις, που μπορούν να ληφθούν ως ποσοστό των επαγωγικών αντιδράσεων (βλέπε 1.4.5 και 1.4.8).



Σχήμα 1,12. Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης μηχανής σε συμμετρικές συνιστώσες.

α) Ευθύ σύστημα

β) Αντίστροφο σύστημα

γ) Ομοπολικό σύστημα.

Για την τάση E_1 και την αντίδραση X_1 του ευθέος συστήματος λαμβάνονται τα υπομεταβατικά ή μεταβατικά ή μόνιμα μεγέθη ανάλογα με την κατάσταση λειτουργίας, σύμφωνα με το 1.2.2.1. Κατά την ανάλυση σφαλμάτων υπολογίζεται συνήθως το αρχικό (υπομεταβατικό) ρεύμα βραχυκυκλώσεως στην περίπτωση αυτή είναι

$$E_1 = E'' \text{ και } X_1 = X_d''.$$

Στο αντίστροφο σύστημα δεν υπάρχει πηγή τάσεως. Επειδή το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του αντίστροφου συστήματος των ρευμάτων στρέφεται αντίθετα προς τη φορά περιστροφής του δρομέα, προκαλεί υπομεταβατικά φαινόμενα στον άξονα d και στον άξονα q διαδοχικά. Στο τύλιγμα αποσβέσεως ρέουν ρεύματα, τα οποία τείνουν να αντισταθμίσουν την επίδραση του αντίστροφου μαγνητικού πεδίου. Η αντίδραση του αντίστροφου συστήματος X_2 είναι, ανεξάρτητα από την κατάσταση λειτουργίας,

$$X_2 \cong \frac{X_d'' + X_q''}{2} \cong X_d'' \quad (1,28)$$

Η αντίδραση X_0 του ομοπολικού συστήματος είναι πολύ μικρή και εξαρτάται από τον λόγο του βήματος του τυλίγματος του στάτη προς το πολικό βήμα. Ανεξάρτητα από την κατάσταση λειτουργίας είναι :

$$X_0 = (0,4 \dots 0,8) * X_d'' \quad (1,29)$$

Η αντίδραση X_0 όμως δεν παρουσιάζει συνήθως πρακτικό ενδιαφέρον. Ο ουδέτερος κόμβος M των γεννητριών είναι γειωμένος μέσω πολύ μεγάλων αντιστάσεων για την εφαρμογή της προστασίας έναντι εσωτερικών σφαλμάτων του τυλίγματος του στάτη προς το σίδηρο του στάτη. Σφάλματα προς γη στην πλευρά των γεννητριών προκαλούν συνεπώς τη ροή πολύ μικρών ομοπολικών ρευμάτων. Στη συνήθη περίπτωση συνδέσεως των γεννητριών με το δίκτυο μέσω μετασχηματιστή με ζεύξη τριγώνου-αστέρα (τρίγωνο στην πλευρά της γεννήτριας), σφάλματα στην πλευρά του δικτύου δεν μπορούν να προκαλέσουν τη ροή ομοπολικών ρευμάτων στη γεννήτρια. Η συνισταμένη αντίσταση του ομοπολικού συστήματος μπορεί να θεωρηθεί συνεπώς ως άπειρη. Για τον λόγο αυτό δεν υπάρχει σύνδεση του σημείου M στο σχήμα 1,12 γ) με τον αγωγό Γ (γη).

Οι αντιδράσεις δίδονται συνήθως ως ανηγμένα μεγέθη στην ονομαστική αντίδραση

$$x = \frac{X}{X_n} = \frac{X}{U_n / \sqrt{3} * I_n} = \frac{X}{U_n^2 / \sqrt{3} * U_n I_n} = \frac{X}{U_n^2 / S_n} \quad (1,30)$$

από τις οποίες προκύπτουν οι τιμές σε Ω :

$$X = x * \frac{U_n^2}{S_n} \quad (1,31)$$

όπου

x : ανηγμένη τιμή αντιδράσεως p.u. (per unit), ή %. Π.χ.

$$x_d'' = 0,10 \text{ p.u. ή } x_d'' = 10\%.$$

X : αντίδραση σε Ω

X_n : ονομαστική αντίδραση (μέγεθος αναγωγής)

U_n : ονομαστική πολική τάση

S_n : ονομαστική ισχύς

Στον πίνακα 1,2 δίδονται οι περιοχές των ανηγμένων τιμών x_d'' ,

x_q'' , x_d' , x_d , x_q , x_2 , και x_0 για σύγχρονες γεννήτριες.

	Αντιδράσεις, %	
	Μηχανές με κυλινδρικό δρομέα	Μηχανές με έκτυπους πόλους
x_d'') ¹	9. . .22) ²	12. . .30) ³
x_q''	(1. . .1,1) x_d''	(1. . .1,2) x_d'') ⁴
x_d'	14. . .35) ⁵	20. . .45
x_d) ⁶	140. . .300	80. . .140
x_q	(0,9. . .1,0) x_d	(0,6. . .0,7) x_d
x_2	$x_2 \cong \frac{1}{2} * (x_d'' + x_q'') \cong x_d''$	
x_0	3. . .10	5. . .20

Πίνακας 1,2. Επαγωγικές αντιδράσεις συγχρόνων γεννητριών.

)¹ : Κορεσμένες τιμές

)² : Οι μεγάλες τιμές ισχύουν για μεγάλες ισχύεις. Για γεννήτριες χαμηλής τάσεως είναι $x_d'' = 9\% \dots 16\%$

)³ : Οι μεγάλες τιμές ισχύουν για αργόστροφες μηχανές μεγάλης ισχύος

)⁴ : Συνήθως λαμβάνονται $x_d'' = x_q''$

)⁵ : $x_d' = (1,4 \dots 1,5 \dots 1,7)x_d''$. Για πολύ μεγάλες μηχανές με ονομαστική ισχύ $S_n > 1000$ MVA είναι δυνατές μεγαλύτερες τιμές, $x_d' = (40 \dots 45)\%$

)⁶ : Μη κορεσμένες τιμές : οι κορεσμένες τιμές είναι 5% έως 20% μικρότερες. Ο λόγος βραχυκυκλώσεως είναι

$$K_c = \frac{1}{x_d},$$

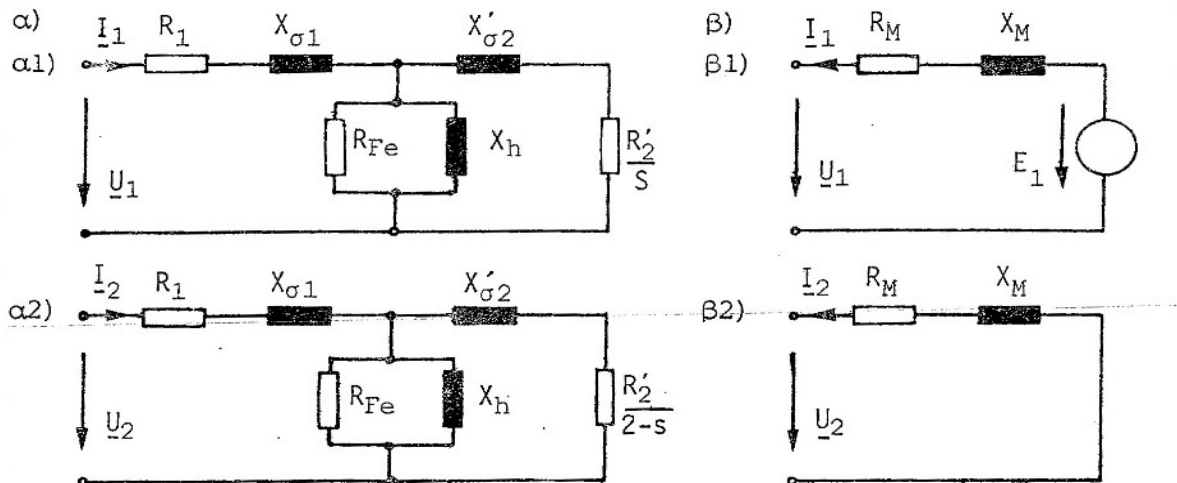
όπου x_d είναι η κορεσμένη τιμή

1.2.3 Ασύγχρονες μηχανές

Το σχήμα 1,13 δείχνει το ισοδύναμο κύκλωμα για το ευθύ και το αντίστροφο σύστημα ασύγχρονης μηχανής όταν

- η μηχανή λειτουργεί ως κινητήρας, σχήματα 1,13 α1), 1,13 α2),
- η μηχανή τροφοδοτεί βραχυκύκλωμα στο δίκτυο, σχήματα 1,13 β1), 1,13 β2).

Το ομοπολικό σύστημα δεν παρουσιάζει πρακτικό ενδιαφέρον, επειδή ο ουδέτερος κόμβος των κινητήρων δεν γειώνεται και συνεπώς η συνισταμένη ομοπολική αντίσταση έχει άπειρη τιμή.



Σχήμα 1,13. Ισοδύναμο κύκλωμα ασύγχρονης μηχανής σε συμμετρικές συνιστώσες.

- α)** : Λειτουργία κινητήρα
- β)** : Τροφοδότηση σφάλματος στο δίκτυο
- α1, β1)** : Ευθύ σύστημα
- α2, β2)** : Αντίστροφο σύστημα
- R₁** : ωμική αντίσταση του τυλίγματος του στάτη
- R₂'** : ωμική αντίσταση του τυλίγματος (ή του κλωβού) του δρομέα ανηγμένη στο στάτη
- X_{σ1}** : επαγωγική αντίδραση σκεδάσεως του στάτη
- X_{σ2}'** : επαγωγική αντίδραση σκεδάσεως του δρομέα ανηγμένη στο στάτη
- R_{Fe}** : ωμική αντίσταση, με την οποία λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες σιδήρου
- X_h** : επαγωγική αντίδραση, με την οποία λαμβάνεται υπόψη το ρεύμα μαγνητίσεως
- s** : ολίσθηση

E_1, X_M, R_M : σύμφωνα με την παράγραφο 1.4.5 γ).

Στο ευθύ σύστημα κατά τη λειτουργία της μηχανής ως κινητήρας εμφανίζεται η αντίσταση R_2' / s . Ο δρομέας στρέφεται με τη γωνιακή ταχύτητα ω και παρουσιάζει την ολίσθηση s έναντι του μαγνητικού πεδίου του ευθέως συστήματος των ρευμάτων του στάτη, το οποίο στρέφεται με τη σύγχρονη γωνιακή ταχύτητα ω_s

$$s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} \quad (1,32)$$

Στο αντίστροφο σύστημα εμφανίζεται η ωμική αντίσταση $R_2' / (2-s)$. Ο δρομέας παρουσιάζει την ολίσθηση s_2 έναντι του μαγνητικού πεδίου του αντίστροφου συστήματος των ρευμάτων του στάτη, το οποίο στρέφεται με $-\omega_s$ και ασκεί ροπή πεδήςσεως στο στάτη.

$$s_2 = \frac{-\omega_s - \omega}{-\omega_s} = \frac{\omega_s + \omega}{\omega_s} = \frac{2\omega_s - (\omega_s - \omega)}{\omega_s} = 2 - s \quad (1,33)$$

Όταν εμφανισθεί τριπολικό βραχυκύκλωμα στο τμήμα του δικτύου που τροφοδοτεί τον κινητήρα η τάση του δικτύου μεταξύ του σημείου σφάλματος και του κινητήρα γίνεται πολύ μικρή ή μηδενίζεται. Λόγω της ροπής αδράνειας ο κινητήρας εξακολουθεί να στρέφεται. Το μαγνητικό του πεδίο δεν μπορεί αμέσως να μηδενισθεί, η απόσβεση γίνεται με μία σχετικά μικρή σταθερά χρόνου (περίπου 0,02 s για κινητήρες ισχύος 100 kW, 0,12 s για κινητήρες ισχύος 1000 kW). Έτσι ο κινητήρας συμπεριφέρεται ως πηγή που συμβάλλει στο αρχικό (υπομεταβατικό) ρεύμα του σφάλματος. Μετά την απόσβεση του μαγνητικού πεδίου η ασύγχρονη μηχανή δεν μπορεί πια να συμβάλλει στο τριπολικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως (μόνιμο ρεύμα). Τόσο στο ευθύ, όσο και στο αντίστροφο σύστημα εμφανίζεται η αντίσταση R_M (αντίσταση των τυλιγμάτων) και η αντίδραση X_M . Τα μεγέθη αυτά και η τάση E_1 υπολογίζονται στην παράγραφο 1.4.5.

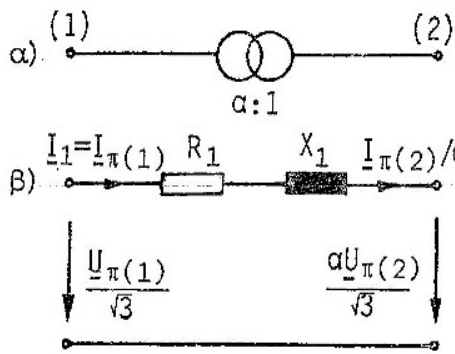
1.3 Μετασχηματιστές

1.3.1 Γενικά

Ο μετασχηματιστής είναι μία ηλεκτρική συσκευή που μετατρέπει εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια ενός επιπέδου τάσης σε εναλλασσόμενη ηλεκτρική ενέργεια διαφορετικού επιπέδου τάσης χρησιμοποιώντας σαν μέσο το μαγνητικό πεδίο. Αυτή η συσκευή αποτελείται από δύο ή περισσότερα πηνία που τυλίγονται γύρω από έναν κοινό σιδηρομαγνητικό πυρήνα. Τα πηνία αυτά συνήθως δεν είναι ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η μόνη σύζευξη που υπάρχει μεταξύ των σπειρών είναι το κοινό μαγνητικό πεδίο που αναπτύσσεται στο εσωτερικό του πυρήνα. Το ένα από τα δύο πηνία του μετασχηματιστή συνδέεται με μία πηγή εναλλασσόμενης τάσης, ενώ το δεύτερο (ή το τρίτο, εάν υπάρχει) συνδέεται με το φορτίο. Το πρώτο τύλιγμα ονομάζεται πρωτεύον τύλιγμα ή τύλιγμα εισόδου του μετασχηματιστή και το δεύτερο ονομάζεται δευτερεύον ή τύλιγμα εξόδου. Αν υπάρχει και τρίτο τύλιγμα, αυτό ονομάζεται τριτεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή. Οι μετασχηματιστές χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με την χρήση τους ή τον τρόπο κατασκευής τους. Παρακάτω θα γίνει ανάλυση (ως προς το βραχυκύκλωμα) μόνο του μετασχηματιστή δύο τυλιγμάτων (ευθύ σύστημα) και του μετασχηματιστή δύο τυλιγμάτων (ομοπολικό σύστημα).

1.3.2 Μετασχηματιστές δύο τυλιγμάτων (ευθύ σύστημα)

Για τους μετασχηματιστές και γενικά για όλα τα στοιχεία του δικτύου εκτός των στρεφομένων μηχανών το ισοδύναμο κύκλωμα για το ευθύ σύστημα ισχύει και για το αντίστροφο σύστημα. Από τη δοκιμή βραχυκυκλώσεως προκύπτουν τα στοιχεία του απλοποιημένου ισοδυναμού κυκλώματος για το ευθύ σύστημα μετασχηματιστή δύο τυλιγμάτων που φαίνεται στο σχήμα 1,14. Στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται σχεδόν πάντοτε το κύκλωμα αυτό, με το οποίο δεν λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες σιδήρου και το ρεύμα μαγνητίσεως (π.χ. σε υπολογισμούς ρευμάτων βραχυκυκλώσεως, ροής φορτίου κ.λ.π.). Πολλές φορές το κύκλωμα αυτό απλοποιείται ακόμα περισσότερο, κυρίως για μετασχηματιστές μεγάλης ισχύος, θέτοντας $R_1 = 0$.



Σχήμα 1,14. Ισοδύναμο κύκλωμα για το ευθύ σύστημα μετασχηματιστή δύο τυλιγμάτων

α) Σχηματική παράσταση

β) Ισοδύναμο κύκλωμα

Στα μονοφασικά ισοδύναμα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται συνήθως στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, ανεξάρτητα από την συνδεσμολογία των τυλιγμάτων (σε αστέρα ή τρίγωνο ή τεθλασμένο αστέρα), εμφανίζονται τα ρεύματα I_{π} των αγωγών του δικτύου (πολικά ρεύματα) και οι τάσεις $U_{\pi} / \sqrt{3}$ (U_{π} είναι η πολική τάση). Για συνδεσμολογία αστέρα ή τεθλασμένου αστέρα τα μεγέθη αυτά συμπίπτουν με τα πραγματικά φασικά μεγέθη των τυλιγμάτων. Για συνδεσμολογία τριγώνου το φασικό ρεύμα του τυλίγματος είναι $I_{\pi} / \sqrt{3}$ και η φασική τάση U_{π} : στο ισοδύναμο κύκλωμα όμως το ρεύμα θα είναι I_{π} και η τάση $U_{\pi} / \sqrt{3}$! Έτσι στο ισοδύναμο κύκλωμα εμφανίζονται τα μεγέθη του δικτύου $U_{\pi} / \sqrt{3}$ και I_{π} και όχι εσωτερικά μεγέθη των τυλιγμάτων.

Το κύκλωμα του σχήματος 1,14 ισχύει αυστηρά μόνο όταν ο χαρακτηριστικός αριθμός της ομάδας ζεύξεως είναι 0, δηλαδή όταν ο μετασχηματιστής δεν προκαλεί στρέψη των ανυσμάτων των τάσεων και των εντάσεων. Το κύκλωμα όμως αυτό χρησιμοποιείται γενικά, επειδή συνήθως δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον η στρέψη αυτή. Η σύνθετη αντίσταση

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1 \quad (1,34)$$

καθορίζεται με τη δοκιμή βραχυκυκλώσεως. η ανηγμένη αντίσταση βραχυκυκλώσεως z_1 είναι ίση με την ανηγμένη τάση βραχυκυκλώσεως u_k :

$$z_1 = \frac{Z_1}{Z_n} = \frac{Z_1}{\frac{U_n}{\sqrt{3} * I_n}} = \frac{Z_1}{\frac{U_n^2}{\sqrt{3} * U_n I_n}} = \frac{Z_1}{\frac{U_n^2}{S_n}} \quad (1,35)$$

$$u_k = \frac{U_k}{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} = \frac{Z_1 * I_n}{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} = \frac{Z_1}{\frac{U_n^2}{\sqrt{3} * U_n I_n}} = \frac{Z_1}{\frac{U_n^2}{S_n}} \quad (1,36)$$

όπου

U_n : η ονομαστική πολική τάση του πρωτεύοντος ή του δευτερεύοντος τυλίγματος του μετασχηματιστή, στην οποία ανάγονται οι αντιστάσεις

I_n : η ονομαστική ένταση του μετασχηματιστή

S_n : η ονομαστική ισχύς του μετασχηματιστή

Η ανηγμένη τάση βραχυκυκλώσεως u_k μπορεί να συντεθεί από την ανηγμένη ωμική πτώση τάσεως

$$u_r = \frac{R_1 * I_n}{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} = \frac{\sqrt{3} * R_1 I_n * \frac{U_n}{U_n}}{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} = R_1 * \frac{S_n}{U_n^2} \quad (1,37)$$

και την ανηγμένη επαγωγική πτώση τάσεως

$$u_x = \frac{X_1 * I_n}{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} = \frac{\sqrt{3} * X_1 I_n * \frac{U_n}{U_n}}{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} = X_1 * \frac{S_n}{U_n^2} \quad (1,38)$$

σύμφωνα με την σχέση (1,39)

$$u_k = \sqrt{u_r^2 + u_x^2} \quad (1,39)$$

Το μέγεθος u_r εκφράζει τις απώλειες χαλκού P_{kn} κατά την λειτουργία με ονομαστικό ρεύμα ανηγμένες στην ονομαστική ισχύ S_n :

$$u_r = \frac{I_n * R_1}{\frac{U_n}{\sqrt{3}}} * \frac{I_n * \sqrt{3}}{I_n * \sqrt{3}} = \frac{3I_n^2 * R_1}{S_n} = \frac{P_{kn}}{S_n} \quad (1,40)$$

Με τα μεγέθη U_n , S_n και, u_k , που αναγράφονται στην πινακίδα του μετασχηματιστή και τις απώλειες χαλκού P_{kn} προκύπτει από τις σχέσεις (1,36), (1,37) και (1,40) η σύνθετη αντίσταση

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1 :$$

$$Z_1 = u_k * \frac{U_n^2}{S_n} \quad (1,41)$$

$$R_1 = u_r * \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{P_{kn}}{S_n} * \frac{U_n^2}{S_n} \quad (1,42)$$

$$X_1 = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2} \quad (1,43)$$

Η τάση βραχυκυκλώσεως u_k έχει τις τιμές

$u_k \cong 6\% \dots 18\%$ για μετασχηματιστές υψηλής τάσεως

$u_k \cong 4\% \dots 6\%$ για μετασχηματιστές διανομής (μέσης προς χαμηλή τάση)

Ο λόγος $R_1 / Z_1 \cong R_1 / X_1$ έχει τις τιμές

$$\frac{R_1}{Z_1} = \frac{1}{10} \dots \frac{1}{60} \quad \text{για μετασχηματιστές υψηλής τάσεως}$$

$$\frac{R_1}{Z_1} = \frac{1}{2} \dots \frac{1}{5} \quad \text{για μετασχηματιστές διανομής}$$

Από τη σχέση (1,43) προκύπτει ότι για τους μετασχηματιστές υψηλής τάσεως ισχύει με μεγάλη ακρίβεια

$$X_1 = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2} = Z_1 \sqrt{1 - \frac{R_1^2}{Z_1^2}} \cong Z_1 \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{R_1}{Z_1} \right)^2 \right] \cong Z_1 \quad (1,44)$$

Οι αντιστάσεις $R_1 = R_{1(1)}$ και $X_1 = X_{1(1)}$ στο σχήμα 1,14 είναι ανηγμένες στην τάση $U_{n(1)}$. Ανηγμένες στην τάση $U_{n(2)}$ έχουν την τιμή :

$$R_{1(2)} = \frac{R_1}{a^2} \text{ και } X_{1(2)} = \frac{X_1}{a^2} \quad (1,45)$$

Με το λόγο μετασχηματισμού a

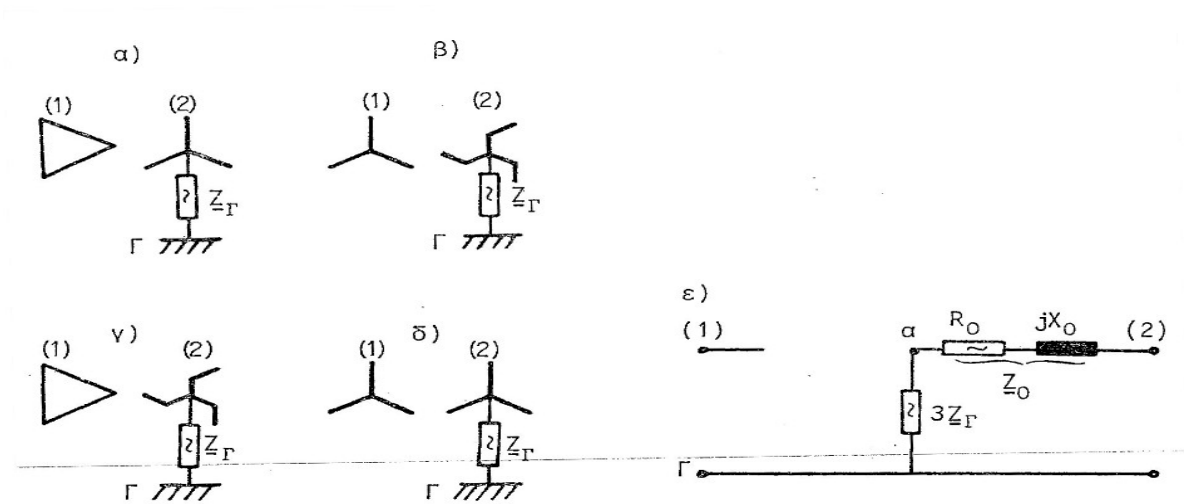
$$a = \frac{U_{n(1)}}{U_{n(2)}} = \frac{I_{n(2)}}{I_{n(1)}} \quad (1,46)$$

1.3.3 Μετασχηματιστές δύο τυλιγμάτων (ομοπολικό σύστημα)

Η ομοπολική αντίδραση εξαρτάται από τη σκέδαση, τη συνδεσμολογία των τυλιγμάτων και τον τύπο κατασκευής του πυρήνα, πίνακας 1,3.

Το σχήμα 1,15 δείχνει το ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή δύο τυλιγμάτων. Στον πίνακα 1,3 δίδεται ο λόγος X_0 / X_1 και R_0 / R_1 των ομοπολικών μεγεθών προς τα αντίστοιχα μεγέθη του ευθέως συστήματος για τον καθορισμό των R_0 και X_0 από τα γνωστά R_1 και X_1 .

Από την πλευρά του τριγώνου και του αγείωτου αστέρα (πλευρά (1) στο σχήμα 1,15) η ομοπολική αντίσταση έχει άπειρη τιμή, επειδή δεν είναι δυνατή η ροή ομοπολικού ρεύματος ($I_0 = 0$).



Σχήμα 1,15. Ισοδύναμο κύκλωμα ομοπολικού συστήματος μετασχηματιστή δύο τυλιγμάτων

α) έως δ) Συνδεσμολογία τυλιγμάτων

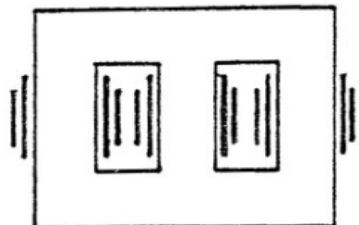


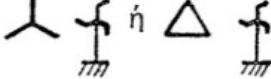

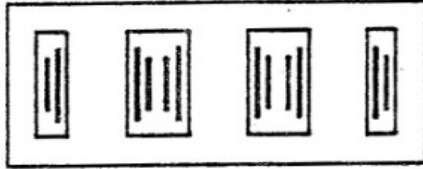



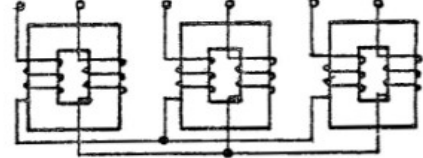
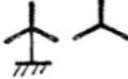


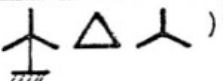

ε) Ισοδύναμο κύκλωμα

Στην περίπτωση του γειωμένου ουδέτερου κόμβου του αστέρα ή του τεθλασμένου αστέρα μέσω της αντιστάσεως Z_{Γ} (πλευρά (2) στο σχήμα 1,15) η συνολική ομοπολική αντίσταση είναι $Z_0 + 3Z_{\Gamma}$. Για άμεσα γειωμένο κόμβο είναι $Z_{\Gamma} = 0$ και το σημείο α συνδέεται άμεσα με τη γη.

Η αντίσταση γειώσεως του ουδέτερου κόμβου Z_{Γ} εμφανίζεται στο ισοδύναμο κύκλωμα ως $3Z_{\Gamma}$. Η αντίσταση Z_{Γ} παρεμβάλλεται στον αγωγό επιστροφής και διαρρέεται από το ρεύμα $3I_0$. Η αντίσταση Z_{Γ} μπορεί να θεωρηθεί ως παράλληλη σύνδεση τριών ίσων αντιστάσεων $3Z_{\Gamma}$ κάθε μία· ο κάθε κλάδος $3Z_{\Gamma}$ θα διαρρέεται από το ομοπολικό ρεύμα I_0 .



Εικόνα 1.1 ΜΣ μέσης τάσης 20 kV

τύπος πυρήνα	ζεύξη	$\frac{X_0}{X_1}$	$\frac{R_0}{R_1}$
 πυρήνας με τρία σκέλη		$\approx 0,8)^1$	1
		$\approx 5)^1$	1
		$\approx 0,10$	$\approx 0,4$
		1	1
 πυρήνας με πέντε σκέλη		1	1
		≈ 100	1
		1	1
 τρεις μονοφασικοί μετασχηματιστές που απαρτίζουν τριφασικό μετασχηματιστή.) ³		≈ 100	1
		1	1
		1	1
πυρήνας με τρία σκέλη	 ²	$\approx 2,4$	1
πυρήνας με πέντε σκέλη	 ²	≈ 3	1

Πίνακας 1,3. Ομοπολική αντίσταση μετασχηματιστών $Z_0 = R_0 + jX_0$.

)¹ για μετασχηματιστές υψηλής τάσεως. Για μετασχηματιστές διανομής (μέσης προς χαμηλή τάση) λαμβάνεται για τον υπολογισμό των ρευμάτων βραχυκυκλώσεως για ζεύξη τριγώνου-γειωμένου αστέρα $X_0 / X_1 = 0,95$ για ζεύξη αστέρα-αστέρα (με γείωση του ενός κόμβου) είναι $X_0 / X_1 = 7 \dots 100$.

)² με τριτεύον τύλιγμα σε τρίγωνο.

)³ σε ζεύξη αστέρα-αστέρα. Χρησιμοποιείται, και η ζεύξη αστέρα-τριγώνου.

1.4 Βραχυκύκλωμα

1.4.1 Γενικά

Βραχυκύκλωμα (ή σφάλμα) ορίζεται, η επαφή οποιουδήποτε υπό τάση τμήματος του δικτύου προς γη, ή προς γειωμένα μεταλλικά μέρη των εγκαταστάσεων, όπως επίσης και η επαφή δύο διαφορετικών υπό τάση τμημάτων, με διαφορετικές τάσεις μεταξύ τους. Όταν συμβαίνει βραχυκύκλωμα εμφανίζονται απότομες υπερεντάσεις πολλαπλάσιας τιμής από τα κανονικά ρεύματα λειτουργίας του δικτύου. Όπως είναι φανερό, η διέλευση των ρευμάτων βραχυκυκλώσεως από τους αγωγούς του συστήματος, προκαλεί καταστροφές στις ηλεκτρικές συσκευές, πυρκαγιές ακόμα και θανατηφόρα ατυχήματα.

1.4.2 Αρχική ισχύς βραχυκυκλώσεως

Αρχική ισχύς βραχυκυκλώσεως S_K'' είναι το μέγεθος

$$S_K'' = \sqrt{3} * I_{k3p}'' * U_n \quad (1,47)$$

όπου :

I_{k3p}'' : το αρχικό ρεύμα κατά το τριπολικό βραχυκύκλωμα,

U_n : η ονομαστική τάση του δικτύου (ενδεικνυμένη τιμή πολιτικής τάσεως).

1.4.3 Ισχύς διακοπής

Ισχύς διακοπής S_a είναι το μέγεθος

$$S_a = \sqrt{3} * I_{a3p} * U_n \quad (1,48)$$

όπου :

I_{a3p} : το ρεύμα διακοπής κατά το τριπολικό βραχυκύκλωμα.

Τα γινόμενα $I_{k3p}'' * U_n$ και $I_{a3p} * U_n$ δεν έχουν τη φυσική υπόσταση της ισχύος, επειδή τάση και ένταση δεν επενεργούν συγχρόνως κατά τη διάρκεια του τριπολικού βραχυκυκλώματος οι εντάσεις είναι μεγάλες, οι τάσεις όμως στη θέση του σφάλματος είναι πολύ μικρές (πτώσεις τάσεως κατά μήκος ηλεκτρικών τόξων) ή έχουν την τιμή

μηδέν (μεταλλικά βραχυκυκλώματα). Παρ'όλα αυτά τα μεγέθη S_k'' και S_a χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό της αντοχής των στοιχείων του δικτύου στις καταπονήσεις βραχυκυκλώσεως. Τα μεγαλύτερα ρεύματα και οι μεγαλύτερες θερμικές και δυναμικές καταπονήσεις των δικτύων προκαλούνται συνήθως από το τριπολικό βραχυκύκλωμα, γι'αυτό και τα μεγέθη S_k'' και S_a ορίζονται μόνο για το σφάλμα αυτό.

1.4.4 Υπολογισμός του αρχικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως

1.4.4.1 Μέθοδοι υπολογισμού

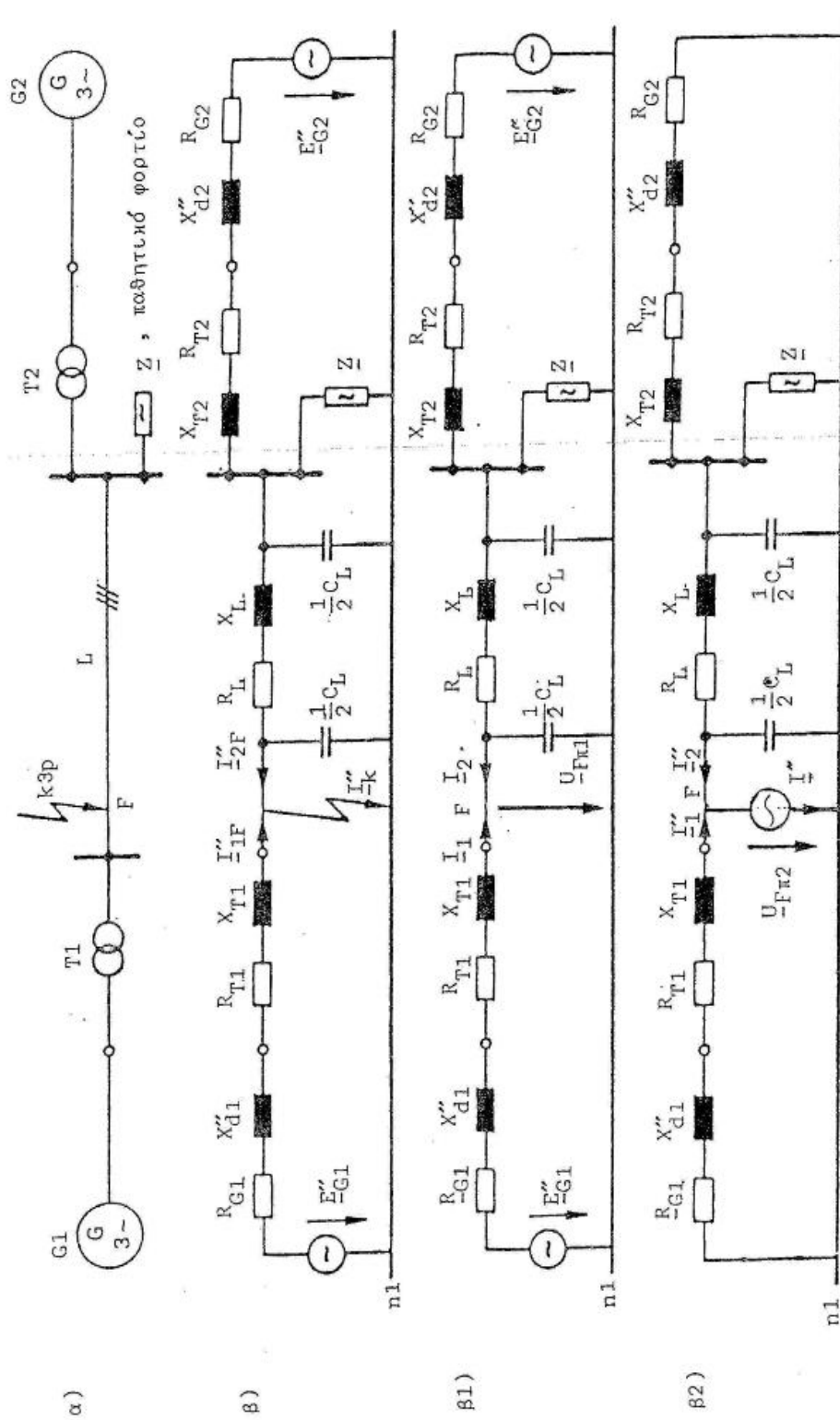
A) Μέθοδος επαλληλίας

Η μέθοδος της επαλληλίας θα επεξηγηθεί με την βοήθεια του σχήματος 1,16. Στο σχήμα α) φαίνεται ένα απλό σύστημα που αποτελείται από τις γεννήτριες G1 και G2, τους μετασχηματιστές T1 και T2, τη γραμμή L και τον παθητικό καταναλωτή με την σύνθετη αντίσταση z (καταναλωτής χωρίς στρεφόμενες μηχανές, οι οποίες θα συνέβαλλαν στο ρεύμα βραχυκυκλώσεως). Στην θέση F εμφανίζεται τριπολικό βραχυκύκλωμα. Το σχήμα β) δείχνει το ισοδύναμο κύκλωμα (ισοδύναμο κύκλωμα για το ευθύ σύστημα). Ο υπολογισμός των ρευμάτων βραχυκυκλώσεως γίνεται σε τρία βήματα :

- Στην αρχή υπολογίζεται η ροή φορτίου από την οποία προκύπτουν η τάση στο σημείο του σφάλματος πριν από την εμφάνιση του $\underline{U}_{F\pi 1}$, οι τάσεις των κόμβων και οι εντάσεις στους κλάδους, σχήμα β1).
- Στην συνέχεια βραχυκυκλώνονται όλες οι πηγές, εισάγεται στο σημείο του σφάλματος η πηγή με την τάση $\underline{U}_{F\pi 2} = -\underline{U}_{F\pi 1}$ και υπολογίζονται οι τάσεις των κόμβων και οι εντάσεις των κλάδων.
- Από την υπέρθεση των καταστάσεων των σχημάτων β1) και β2) προκύπτει η κατάσταση μετά την εμφάνιση του σφάλματος, η οποία φαίνεται στο σχήμα β), π.χ.
 - τάση $\underline{U}_{Fn1} = \underline{U}_{F\pi 1} + \underline{U}_{F\pi 2} = \underline{U}_{F\pi 1} - \underline{U}_{F\pi 1} = 0$, (μηδενική αντίσταση μεταξύ των σημείων F και n1)
 - ένταση $\underline{I}_k'' = 0 + \underline{I}'' = \underline{I}''$

- ένταση $I_{1F''} = I_1 + I_1''$
- ένταση $I_{2F''} = I_2 + I_2''$

Η μέθοδος της επαλληλίας παρέχει μεγάλη ακρίβεια για τον υπολογισμό των ρευμάτων βραχυκυκλώσεως, η ακρίβεια όμως αυτή εξαρτάται κυρίως από την ακρίβεια υπολογισμού της τάσεως $\underline{U}_{F\pi 1}$ πριν την εμφάνιση του σφάλματος. Η τάση $\underline{U}_{F\pi 1}$ εξαρτάται από την κατά περίπτωση κατάσταση φορτίσεως του συστήματος, η οποία μεταβάλλεται συνεχώς. Για τον υπολογισμό του μέγιστου ρεύματος βραχυκυκλώσεως θα έπρεπε συνεπώς να γίνεται ανάλυση της δυσμενέστερης περίπτωσης για τον καθορισμό της καταστάσεως φορτίσεως, η οποία οδηγεί στο μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώσεως. Η ανάλυση αυτή για κάθε σημείο του δικτύου που απαιτείται το μέγιστο ρεύμα βραχυκυκλώσεως, είναι πολύ δυσχερής. Εκτός αυτού κατά τη φάση σχεδιασμού ενός συστήματος δεν είναι επαρκώς γνωστή η μελλοντική κατάσταση φορτίσεως.



Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου της επαλληλίας

- α) Σύστημα με γεννήτριες G_1 και G_2 , μετασχηματιστές T_1 και T_2 , γραμμή L και παθητικό φορτίο Z . Τριπολικό βραχυκύκλωμα στο σημείο F
- β) Ισοδύναμο κύκλωμα με τις υπομεταβατικές τάσεις E_{G1}'' και E_{G2}'' , τη χωρητικότητα της γραμμής C_L και το παθητικό φορτίο Z .
- β1) Ισοδύναμο κύκλωμα για τον υπολογισμό της τάσεως στο σημείο του σφάλματος πριν από την εμφάνιση του σφάλματος $U_{F\pi 1}$
- β2) Κύκλωμα με μία μόνο πηγή στο σημείο του σφάλματος, τάσεως $U_{F\pi 2} = -U_{F\pi 1}$

Σχήμα 1,16

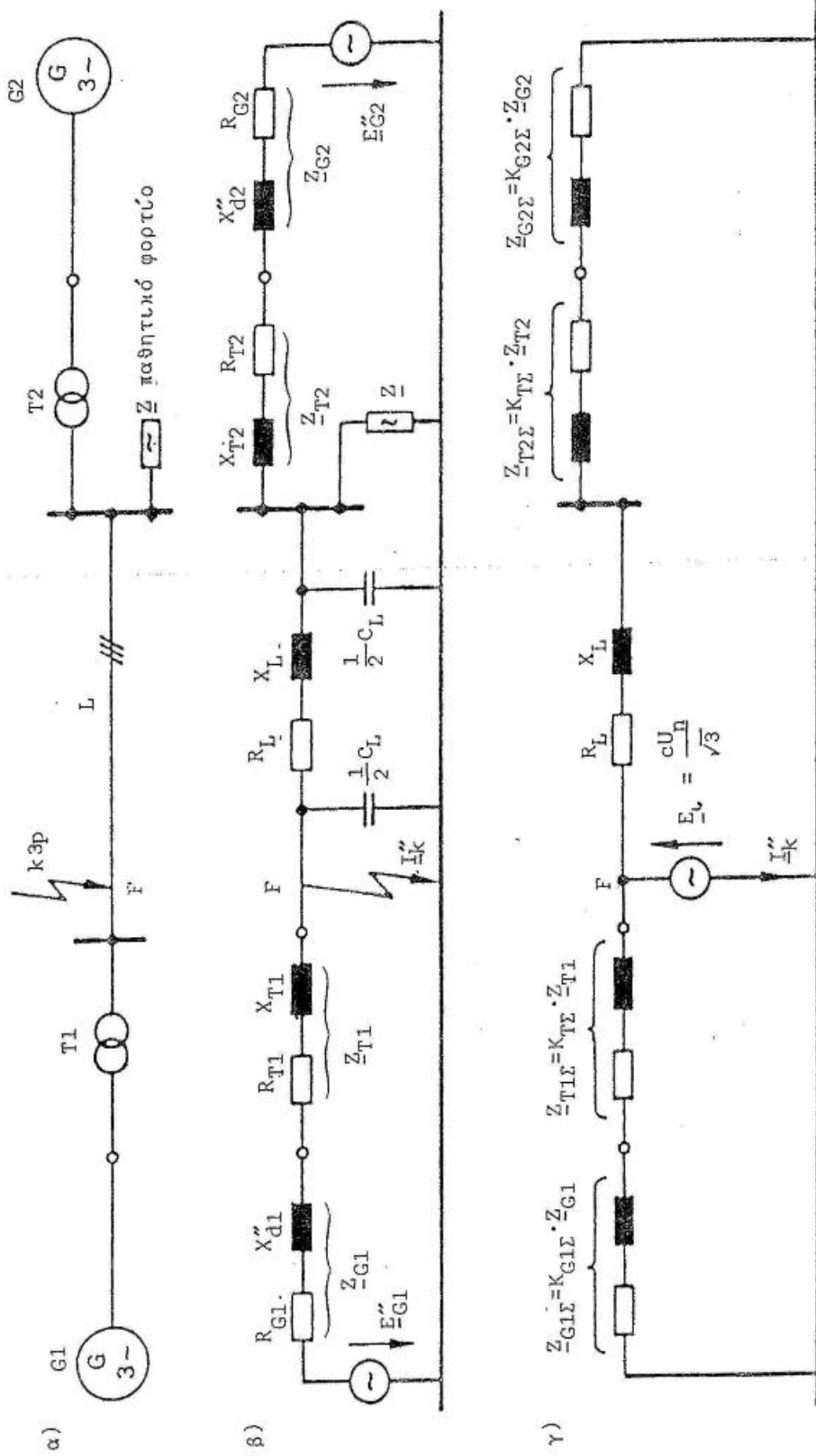
B) Μέθοδος ισοδύναμης πηγής τάσεως σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 909.

Ο υπολογισμός των ρευμάτων βραχυκυκλώσεως σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 909 διεξάγεται με την μέθοδο της ισοδύναμης πηγής τάσεως στο σημείο του σφάλματος. Η μέθοδος της επαλληλίας αποτέλεσε την βάση για την ανάπτυξη της μεθόδου αυτής, η οποία θα επεξηγηθεί με την βοήθεια του σχήματος 1,17. Το σχήμα α) δείχνει ένα απλό σύστημα (το ίδιο με εκείνο του σχήματος 1,16 α) και το σχήμα β) το ισοδύναμο κύκλωμα για τριπολικό βραχυκύκλωμα στο σημείο F. Το σχήμα γ) δείχνει το ισοδύναμο κύκλωμα με τις απλουστεύσεις του κανονισμού IEC 909 :

- Όλες οι πηγές τάσεως βραχυκυκλώνονται
- Η μόνη πηγή τάσεως επενεργεί στο σημείο του σφάλματος. Η τάση της πηγής αυτής είναι $E_i = c * U_n / \sqrt{3}$
- Οι παθητικοί καταναλωτές δεν λαμβάνονται υπόψη
- Τα ρεύματα λειτουργίας δεν λαμβάνονται υπόψη
- Οι χωρητικότητες των γραμμών δεν λαμβάνονται υπόψη με εξαίρεση το ομοπολικό σύστημα δικτύων με αγείωτους ουδέτερους κόμβους ή γειωμένους μέσω πηνίων Petersen
- Οι μετασχηματιστές με μεταβλητό λόγο μετασχηματισμού θεωρούνται ότι λειτουργούν στην ονομαστική τους λήψη
- Επειδή ο συντελεστής c για τον καθορισμό της τάσεως E_i παραμένει αμετάβλητος για σφάλματα κοντά σε γεννήτριες και μακριά από γεννήτριες, απαιτούνται διορθώσεις των εσωτερικών αντιστάσεων των γεννητριών και των μετασχηματιστών τους με τους συντελεστές K_G και K_T , οι οποίοι δίνονται στην παράγραφο 1.4.5 εδάφιο ζ).

Με τον συντελεστή c λαμβάνονται υπόψη οι τοπικές και χρονικές διακυμάνσεις της τάσεως, η επίδραση των ρυθμίσεων τάσεως των μετασχηματιστών, η επίδραση της μεταβατικής συμπεριφοράς γεννητριών και κινητήρων και η επίπτωση της παραλήψεως των παθητικών φορτίων και των χωρητικότητων των γραμμών.

Ο συντελεστής c (c_{max} για τον υπολογισμό του μεγίστου, c_{min} για τον υπολογισμό του ελαχίστου ρεύματος βραχυκυκλώσεως) λαμβάνεται από τον πίνακα 1,4.



Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου της ισοδύναμης πηγής τάσεως με τις αποκουστεύσεις σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 909/88.

- α) Σύστημα με γεννήτριες G_1 και G_2 , μετασχηματιστές T_1 και T_2 , γραμμή L και παθητικό φορτίο Z . Τριπολικό βραχυκύκλωμα στο σημείο F .
- β) Ισοδύναμο κύκλωμα με τις υπομεταβατικές τάσεις E_{G1}'' και E_{G2}'' , την χωρητικότητα της γραμμής C_L και το παθητικό φορτίο Z .
- γ) Ισοδύναμο κύκλωμα για τον υπολογισμό του ρεύματος βραχυκυκλώσεως με την ισοδύναμη πηγή τάσεως E_L .

Σχήμα 1,17

Ονομαστική τάση U_n	συντελεστής	
	c_{max}	c_{min}
$1 \text{ kV} < U_n \leq 380 \text{ kV}$	1,10	1,00
$U_n \leq 1 \text{ kV} :$ $U_n = 400 \text{ V}$ για τις άλλες τάσεις	1,00 1,05	0,95 1,00

Πίνακας 1,4
Τιμές συντελεστή c

1.4.5 Σύνθετες αντιστάσεις

Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως διαρρέει συνήθως διάφορα τμήματα του δικτύου που έχουν διαφορετικές τάσεις και συνδέονται μεταξύ τους με μετασχηματιστές. Για τον υπολογισμό των ρευμάτων βραχυκυκλώσεως όλες οι αντιστάσεις ανάγονται σε μία τάση U_a η οποία συνήθως είναι η πολική τάση του τμήματος του δικτύου, στο οποίο εμφανίζεται το σφάλμα. Κατ'αυτόν τον τρόπο δεν εμφανίζονται στο ισοδύναμο κύκλωμα ζεύξεις μέσω μετασχηματιστών αλλά μόνο γαλβανικές συνδέσεις. Εάν η αντίσταση ενός στοιχείου του δικτύου είναι $Z_{(1)}$ για την τάση $U_{(1)}$, η αντίσταση του Z_a , ανηγμένη στην τάση U_a , θα είναι :

$$Z_a = Z_{(1)} * \left(\frac{U_a}{U_{(1)}} \right)^2 \quad (1,49)$$

Η σχέση (1,49) ισχύει φυσικά και για την αναγωγή των αντιστάσεων των μετασχηματιστών : Εάν $U_a = U_{(2)}$ είναι η τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος, $U_{(1)}$ η τάση του πρωτεύοντος και $Z_{(1)}$ η αντίσταση του πρωτεύοντος τότε η $Z_{(1)}$ ανηγμένη στην $U_{(2)}$ είναι :

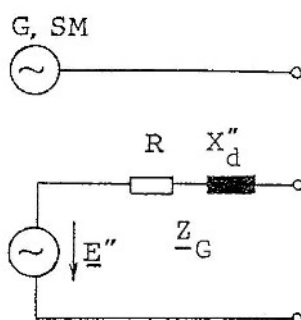
$$Z_{(2)} = Z_{(1)} * \left(\frac{U_{(2)}}{U_{(1)}} \right)^2 \quad (1,50)$$

Ακολούθως δίδονται για τα διάφορα στοιχεία του δικτύου η συμβολική παράσταση, το ισοδύναμο μονοφασικό κύκλωμα (ευθύ σύστημα) και ο τρόπος καθορισμού των συνθέτων αντιστάσεων του ευθέως συστήματος, σύμφωνα με τον κανονισμό IEC 909.

Ενεργά στοιχεία του δικτύου (στοιχεία με εσωτερικές τάσεις που συμβάλλουν στο ρεύμα βραχυκυκλώσεως) είναι η σύγχρονη γεννήτρια, ο σύγχρονος κινητήρας, η τροφοδότηση από γειτονικά δίκτυα (λαμβάνεται υπόψη ως μια πηγή με εσωτερική αντίσταση που εξαρτάται από την ισχύ βραχυκυκλώσεως του δικτύου) και ο σύγχρονος κινητήρας.

Οι μετασχηματιστές, οι εναέριες και οι υπόγειες γραμμές και τα πηνία περιορισμού του ρεύματος βραχυκυκλώσεως είναι παθητικά στοιχεία. Οι επαγωγικές αντιδράσεις των εναερίων και υπογείων γραμμών προκύπτουν από τις αποστάσεις μεταξύ των αγωγών, που επιβάλλουν για λόγους μονώσεως, και από τη διάμετρό τους. Οι μετασχηματιστές θα μπορούσαν να κατασκευασθούν με μικρότερες επαγωγικές αντιδράσεις (αντιδράσεις σκεδάσεως). Για τον περιορισμό όμως της ισχύος βραχυκυκλώσεως οι επαγωγικές αντιδράσεις των μετασχηματιστών προδιαγράφονται και επιτυγχάνονται με την κατάλληλη διάταξη των τυλιγμάτων ώστε να δημιουργείται η απαραίτητη σκέδαση της μαγνητικής ροής.

α) Σύγχρονη γεννήτρια G, σύγχρονος κινητήρας SM



$$X_d'' = x_d'' \frac{U_n^2}{S_n} \quad (1,51)$$

U_n : ονομαστική τάση (πολική τάση)

S_n : ονομαστική φαινομένη ισχύς

X_d'' : αρχική (υπομεταβατική) αντίδραση

X_d'' : ανηγμένη αρχική αντίδραση (p.u.)

Το μέγεθος R δεν είναι η αντίσταση του τυλιγματος του στάτη αλλά μια σημαντικά μεγαλύτερη αντίσταση, με την οποία λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό του κρουστικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως η ελάττωση της εναλλασσομένης συνιστώσας κατά την πρώτη ημιπερίοδο. Η αύξηση αυτή της ωμικής αντιστάσεως δεν έχει καμία ουσιαστική επίδραση στο αρχικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως και στο ρεύμα διακοπής. Η αντίσταση R προκύπτει από τις σχέσεις :

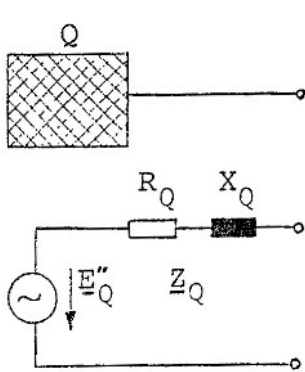
$R / X_d'' = 0,05$ για $S_n \geq 100$ MVA

$R / X_d'' = 0,07$ για $S_n < 100$ MVA

$R / X_d'' = 0,15$ για μηχανές χαμηλής τάσεως ($U_n \leq 1$ kV)

Για την εφαρμογή της μεθόδου του κανονισμού IEC 909 γίνεται διόρθωση των τιμών R και X_d'' σύμφωνα με το παρακάτω εδάφιο ζ).

β) Τροφοδότηση από το δίκτυο Q :



$$Z_Q = 1,1 * \frac{U_{nQ}^2}{S_{kQ}''} \text{ για δίκτυα με } \quad (1,52)$$

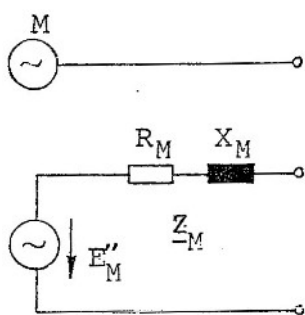
$U_n > 1$ kV

U_{nQ} : ονομαστική τάση του δικτύου Q (πολική τάση)

S_{kQ}'' : ισύς βραχυκυκλώσεως του δικτύου Q

$$\frac{R_Q}{X_Q} = 0,10, \quad X_Q = 0,995 * Z_Q$$

γ) Ασύγχρονος κινητήρας M



$$Z_M = \frac{1}{I_k / I_{nM}} * \frac{U_{nM}}{\sqrt{3} I_{nM}} \quad (1,53)$$

$$I_{nM} = \frac{P_M}{\sqrt{3} U_{nM} * n * \cos \varphi} \quad (1,54)$$

U_n : ονομαστική τάση του δικτύου

Στοιχεία του κινητήρα :

U_{nM} : ονομαστική τάση

I_{nM} : ονομαστικό ρεύμα

I_k : ρεύμα βραχυκυκλώσεως (εκκινήσεως)

$\cos \varphi$: συντελεστής ισχύος

n : βαθμός αποδόσεως

p : αριθμός ζευγών πόλων

P_M : ονομαστική ισχύς του κινητήρα

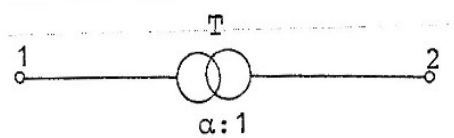
$$\text{Για } \frac{P_M}{p} \geq 1 \text{ MW} \quad \text{και} \quad U_n > 1 \text{ kV} : \frac{R_M}{X_M} = 0,10, \quad X_M = 0,995 * Z_M$$

$$\text{Για } \frac{P_M}{p} < 1 \text{ MW} \quad \text{και} \quad U_n > 1 \text{ kV} : \frac{R_M}{X_M} = 0,15, \quad X_M = 0,989 * Z_M$$

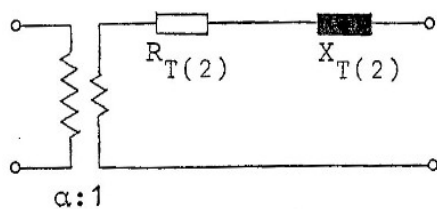
$$\text{Για } U_n \leq 1 \text{ kV} : \frac{P_M}{X_M} = 0,42, \quad X_M = 0,992 * Z_M$$

Στις τιμές $R_M / X_M = 0,42$ και $X_M = 0,992 * Z_M$ για τους κινητήρες χαμηλής τάσεως συμπεριλαμβάνεται και η σύνθετη αντίσταση των γραμμών τροφοδοσίας.

δ) Μετασχηματιστής Τα



$$Z_{T(2)} = u_k * \frac{U_n^2(2)}{S_n} \quad (1,55)$$



$$R_{T(2)} = u_r * \frac{U_n^2(2)}{S_n} = \frac{P_{knT}}{S_n} * \frac{U_n^2(2)}{S_n} \quad (1,56)$$

$$X_{T(2)} = \sqrt{Z_{T(2)}^2 - R_{T(2)}^2} \quad (1,57)$$

$$u_k = \sqrt{u_r^2 + u_x^2} \quad (1,58)$$

S_n : ονομαστική ισχύς

U_n : ονομαστική τάση (πολική τάση)

I_n : ονομαστική ένταση

P_{knT} : απώλειες χαλκού για φόρτιση με το ονομαστικό ρεύμα

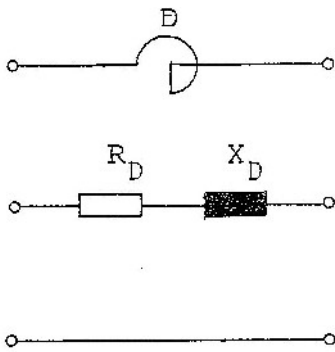
u_k : τάση βραχυκυκλώσεως } ανηγμένα ονομαστικά

u_r : ωμική συνιστώσα του u_k } μεγέθη

u_x : επαγωγική συνιστώσα του u_k }

Για την εφαρμογή της μεθόδου του κανονισμού IEC 909 γίνεται διόρθωση των τιμών R_T και X_T των μετασχηματιστών ανυψώσεως της τάσεως γεννητριών σύμφωνα με το παρακάτω εδάφιο ζ).

ε) Πηνίο περιορισμού της ισχύος βραχυκυκλώσεως D



$$X_D = u_D * \frac{U_n}{\sqrt{3}I_n} \quad (1,59)$$

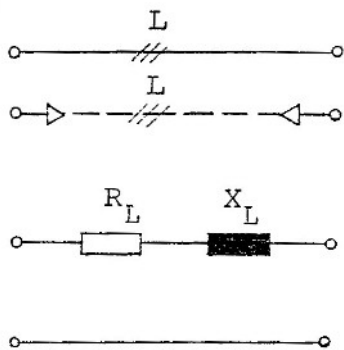
U_n : ονομαστική πολική τάση

I_n : ονομαστικό ρεύμα

u_D : πτώση τάσεως (ανηγμένο μέγεθος)

R_D : προκύπτει από τη σχέση $R_D / X_D = 0,1$

στ) Εναέρια ή υπόγεια γραμμή L



$$R_L = R_L' * \ell \quad (1,60\alpha)$$

$$X_L = X_L' * \ell \quad (1,60\beta)$$

R_L' : ωμική αντίσταση ανά μονάδα μήκους

X_L' : επαγωγική αντίδραση λειτουργίας ανά μονάδα μήκους

ℓ : μήκος της γραμμής

Για τον υπολογισμό του μέγιστου ρεύματος βραχυκυκλώσεως οι ωμικές αντιστάσεις των γραμμών λαμβάνονται για τη θερμοκρασία 20°C. Για τον υπολογισμό του ελαχίστου ρεύματος οι αντιστάσεις λαμβάνονται για τη θερμοκρασία των αγωγών θ_e κατά το τέλος του βραχυκυκλώματος. Για δίκτυα χαμηλής τάσεως μπορεί να ληφθεί $\theta_e = 80^\circ\text{C}$.

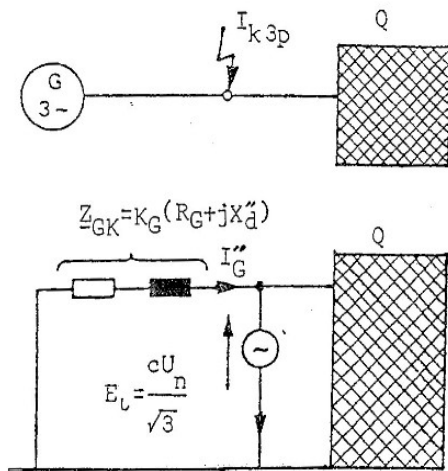
ζ) Συντελεστές διορθώσεως των συνθέτων αντιστάσεων γεννητριών και μετασχηματιστών

-Γεννήτριες με άμεση σύνδεση στο δίκτυο

$$Z_{GK} = K_G * (R_G + jX_d'') \quad (1,61)$$

$$K_G = \frac{U_n}{U_{nG}} * \frac{C_{max}}{1 + X_d'' * \sin \varphi_{nG}} \quad (1,62)$$

όπου



R_G, X_d'' : μεγέθη σύμφωνα με το εδάφιο α

U_n : ονομαστική τάση του δικτύου

U_{nG} : ονομαστική τάση της γεννήτριας

C_{max} : συντελεστής σύμφωνα με την παράγραφο 1.4.4.1, πίνακα 1,4

X_d'' : ανηγμένη τιμή της υπομεταβατικής σύγχρονης αντίδρασης X''

φ_{nG} : φασική γωνία μεταξύ τάσεως και εντάσεως κατά την ονομαστική λειτουργία

-Γεννήτρια με σύνδεση μέσω δικού της μετασχηματιστή με το δίκτυο, βλέπε σχήμα 1,17.

$$\underline{Z}_{G\Sigma} = K_{G\Sigma} * \underline{Z}_{G\Sigma} = K_{G\Sigma} * (R + jX_d'') \quad (1,63\alpha)$$

$$K_{G\Sigma} = \frac{C_{max}}{1 + X_d'' * \sin \varphi_{nG}} \quad (1,63\beta)$$

$$\underline{Z}_{T\Sigma} = K_{T\Sigma} * \underline{Z}_T = 1,1 Z_T \quad (1,64\alpha)$$

$$K_{T\Sigma} = C_{max} \quad (1,64\beta)$$

1.4.6 Αρχικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως

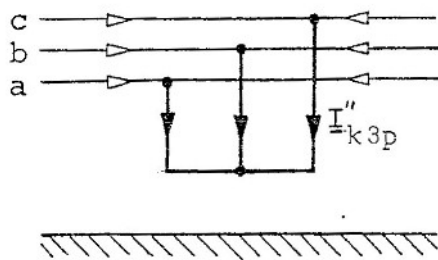
Το αρχικό ρεύμα για το τριπολικό, το διπολικό και το μονοπολικό βραχυκύκλωμα υπολογίζεται με τις εξισώσεις (1,65) και (1,67) έως (1,73). Η ισχύς βραχυκυκλώσεως υπολογίζεται με τη σχέση (1,66) και έχει νόημα μόνο για το τριπολικό βραχυκύκλωμα.

Η ισοδύναμη τάση $E_i = c * U_n / \sqrt{3}$ προκύπτει από τον συντελεστή c που δίδεται στον πίνακα 1,4. Στα ακόλουθα σχήματα χαρακτηρίζονται με \rightarrow τα επί μέρους ρεύματα και με \rightarrow το συνολικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως.

Το κρουστικό ρεύμα, το ρεύμα διακοπής και το μόνιμο ρεύμα βραχυκυκλώσεως υπολογίζονται από το αρχικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως με τη βοήθεια συντελεστών.

1.4.7 Είδη βραχυκυκλωμάτων

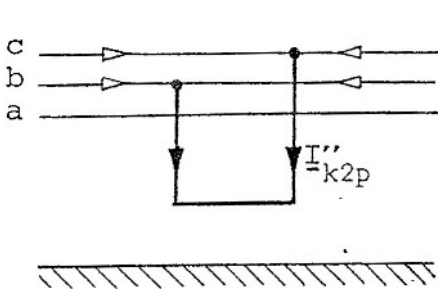
α) Τριπολικό βραχυκύκλωμα



$$I_{k3p}'' = \frac{E_i}{Z_1} \quad (1,65)$$

$$S_k'' = \sqrt{3} * U_n * I_{k3p}'' \quad (1,66)$$

β) Διπολικό βραχυκύκλωμα χωρίς επαφή γης

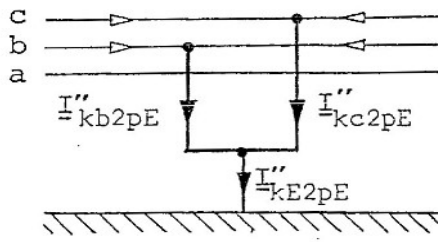


$$I_{k2p}'' = \frac{\sqrt{3} * E_i}{|Z_1 + Z_2|} = \frac{\sqrt{3}}{\left|1 + \frac{Z_2}{Z_1}\right|} * I_{k3p}'' \quad (1,67)$$

Για $Z_1 = Z_2$ είναι

$$I_{k2p}'' = \frac{\sqrt{3} * E_i}{2 * Z_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I_{k3p}'' \quad (1,68)$$

γ) Διπολικό βραχυκύκλωμα με επαφή γης



Ρεύμα του αγωγού b :

$$I''_{kb2pE} = \frac{\sqrt{3} * E_i * |Z_0 - a * Z_2|}{|Z_0 * Z_2 + Z_0 * Z_1 + Z_1 * Z_2|} = \frac{\sqrt{3} * \left| 1 - a * \frac{Z_2}{Z_0} \right|}{\left| 1 + \frac{Z_2}{Z_1} + \frac{Z_2}{Z_0} \right|} * I''_{k3p} \quad (1,69)$$

Ρεύμα του αγωγού c :

$$I''_{kc2pE} = \frac{\sqrt{3} * E_i * |Z_0 - a^2 * Z_2|}{|Z_0 * Z_2 + Z_0 * Z_1 + Z_1 * Z_2|} = \frac{\sqrt{3} * \left| 1 - a^2 * \frac{Z_2}{Z_0} \right|}{\left| 1 + \frac{Z_2}{Z_1} + \frac{Z_2}{Z_0} \right|} * I''_{k3p} \quad (1,70)$$

Ρεύμα προς γη

$$I''_{kE2pE} = \frac{3 * E_i * Z_2}{|Z_0 * Z_2 + Z_0 * Z_1 + Z_1 * Z_2|} = \frac{3}{\left| 1 + \frac{Z_0}{Z_1} + \frac{Z_0}{Z_2} \right|} * I''_{k3p} \quad (1,71)$$

Για $Z_1 = Z_2$ και $\zeta_0 = Z_0 / Z_1$ (δηλαδή για ίδιες γωνίες $\text{arc}Z_1 = \text{arc}Z_0$) ισχύει :

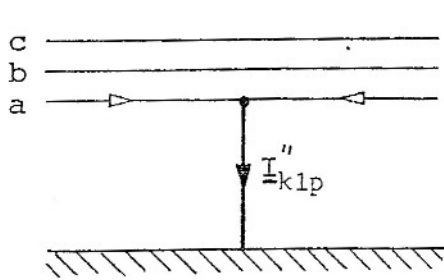
$$\left| 1 - \frac{a}{\zeta_0} \right| = \left| 1 - \frac{a^2}{\zeta_0} \right| = \sqrt{1 + \frac{1}{\zeta_0} + \frac{1}{\zeta_0^2}}$$

και οι σχέσεις (1,69), (1,70) και (1,71) απλοποιούνται :

$$I''_{kb2pE} = I''_{kc2pE} = I''_{kE2pE} = \frac{\sqrt{3} * \sqrt{1 + \zeta_0 + \zeta_0^2}}{1 + 2 * \zeta_0} * I''_{k3p} \quad (1,72)$$

$$I_{kE2pE}'' = \frac{3}{1 + 2 * \zeta_0} * I_{k3p}'' \quad (1,73)$$

δ) Μονοπολικό βραχυκύκλωμα



$$I_{k1p}'' = \frac{3 * E_i}{|Z_1 + Z_2 + Z_0|} = \frac{3}{\left|1 + \frac{Z_2}{Z_1} + \frac{Z_0}{Z_1}\right|} * I_{k3p}'' \quad (1,74)$$

Για $Z_1 = Z_2$ και $\zeta_0 = Z_0 / Z_1$

$$I_{k1p}'' = \frac{3}{2 + \zeta_0} * I_{k3p}'' \quad (1,75)$$

1.4.8 Υπολογισμός του κρουστικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως

Το κρουστικό ρεύμα I_S (μέγιστη στιγμιαία τιμή του ρεύματος βραχυκυκλώσεως) για συμμετρικά και ασύμμετρα σφάλματα είναι :

$$I_S = k * \sqrt{2} * I_k'' \quad (1,76)$$

Ο συντελεστής k λαμβάνεται από το σχήμα 1,18 και εξαρτάται από το λόγο R / X (ωμική προς επαγωγική συνιστώσα της σύνθετης αντίστασης που διαρρέεται από το ρεύμα βραχυκυκλώσεως). Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως αποκτά τη μέγιστη στιγμιαία τιμή I_S για $R / X \ll 1$ περίπου μετά μία ημιπερίοδο (10 ms για συχνότητα δικτύου 50 Hz) μετά την έναρξη του βραχυκυκλώματος.

Για τον συντελεστή k ισχύει με μεγάλη ακρίβεια η προσεγγιστική σχέση (1,77)

$$k \cong 1,02 + 0,98 * e^{-3R/X} \quad (1,77)$$

Το ρεύμα I_S προκύπτει με την βοήθεια του συντελεστή k με μεγάλη ακρίβεια, εάν όλοι οι παράλληλοι κλάδοι που διαρρέονται από τα επί μέρους ρεύματα βραχυκυκλώσεως, έχουν τον ίδιο λόγο R / X . Εάν στους κλάδους ενός δικτύου οι λόγοι R / X είναι διαφορετικοί τότε :

α) Λαμβάνεται συντελεστής $\kappa = \kappa_a$ που προκύπτει για το μικρότερο λόγο R / X .

β) Ο συντελεστής κ δίδεται από τη σχέση

$$\kappa = 1,15 \kappa_b \quad (1,78)$$

όπου ο συντελεστής κ_b προκύπτει από το λόγο $R / X = R_\kappa / X_\kappa$ της συνισταμένης σύνθετης αντίστασης $Z_\kappa = R_\kappa + jX_\kappa$, όπως αυτή φαίνεται από το σημείο του σφάλματος.

Ισχύουν οι περιορισμοί :

$\kappa \leq 1,8$ για τα δίκτυα χαμηλής τάσεως και

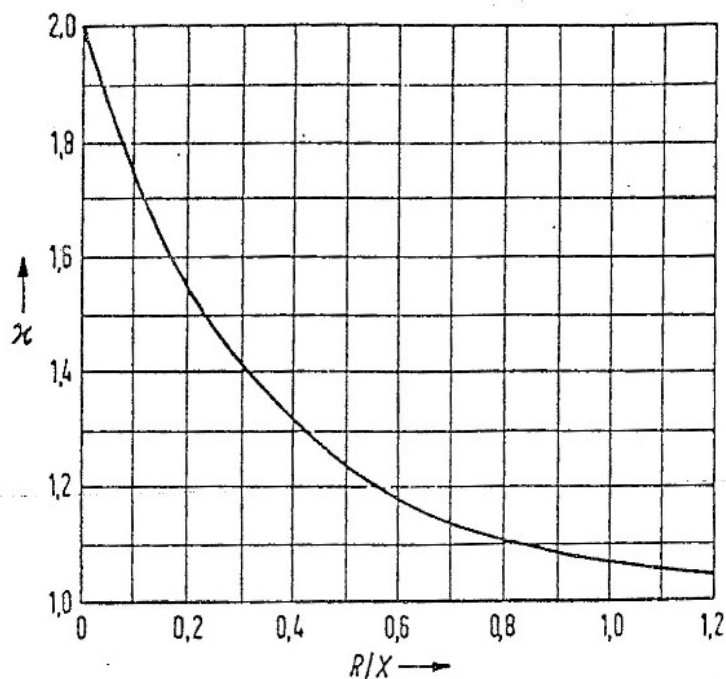
$\kappa \leq 2,0$ για δίκτυα υψηλής τάσεως

Αν π.χ. για δίκτυο χαμηλής τάσεως προκύψει από τη σχέση (1,78) $\kappa > 1,8$ λαμβάνεται $\kappa = 1,8$.

γ) Λαμβάνεται συντελεστής $\kappa = \kappa_c$ που προκύπτει για το λόγο

$$\frac{R}{X} = \frac{R_c}{X_c} * \frac{f_c}{f} \quad (1,79)$$

όπου $R_c = \text{Re}\{Z_c\}$ και $X_c = \text{Im}\{Z_c\}$ με Z_c την σύνθετη αντίσταση, όπως αυτή φαίνεται από το σημείο του σφάλματος για τη συχνότητα $f_c = 20$ Hz για δίκτυα συχνότητας $f = 50$ Hz. Για δίκτυα με $f = 60$ Hz είναι $f_c = 24$ Hz. Η τιμή $\kappa = 2$ ισχύει για τη θεωρητική περίπτωση $R = 0$. Μία τυπική τιμή για δίκτυα υψηλής τάσεως είναι $\kappa \cong 1,80$. Στα δίκτυα χαμηλής τάσεως είναι συνήθως $1 < \kappa < 1,6$.



Σχήμα 1,18. Συντελεστής κ για τον υπολογισμό του κρουστικού ρεύματος βραχυκυκλώσεως.

Κεφάλαιο 2°

Μέσα προστασίας μέσης τάσης (ΜΤ) της Δ.Ε.Η.

2.1 Γενικά

Τα μέσα προστασίας, σε οποιοδήποτε επίπεδο τάσης και αν αναφερόμαστε, έχουν ως στόχο την άμεση προστασία ενός ηλεκτρικού φορτίου ή ενός κυκλώματος. Έμμεσα όμως προστατεύουν ολόκληρη την εγκατάσταση και κυρίως τους ανθρώπους που χρησιμοποιούν την κάθε ηλεκτρική συσκευή. Κατά την διάρκεια λειτουργίας ενός επιμέρους ηλεκτρικού φορτίου μέσα σε μια ηλεκτρική εγκατάσταση μπορεί να συμβεί κάποια βλάβη που να οδηγήσει σε βραχυκύκλωμα. Το βραχυκύκλωμα όμως καταπονεί τα υπόλοιπα στοιχεία του ηλεκτρικού καταναλωτή (αγωγούς, μονώσεις) αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία τους, αφού διαρρέονται από πάρα πολύ μεγάλο ρεύμα. Η αυξανόμενη θερμοκρασία μπορεί να καταστρέψει τη συσκευή και να προκαλέσει πυρκαγιά, η οποία μπορεί να εξαπλωθεί σε όλη την εγκατάσταση. Τα μέσα προστασίας σε περίπτωση κάποιου σφάλματος έχουν ως

σκοπό να διακόψουν την τροφοδοσία και να απομονώσουν τη συσκευή, το κύκλωμα ή την εγκατάσταση που προκαλεί το σφάλμα. Αυτό πρέπει να πραγματοποιηθεί σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο χωρίς να προκληθεί οποιαδήποτε άλλη βλάβη εξαιτίας του σφάλματος. Συμπερασματικά, τα μέσα προστασίας έχουν ως στόχο:

- να περιοριστεί όσο γίνεται περισσότερο η βλάβη του στοιχείου, στο οποίο εκδηλώθηκε
- να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις στο υπόλοιπο σύστημα και να αποφευχθεί η απενεργοποίηση και άλλων στοιχείων
- να αποφευχθούν επικίνδυνες συνέπειες όπως ηλεκτροπληξία, έκρηξη και πυρκαγιά.

Στην μέση τάση (MT) χρησιμοποιούνται μηχανήματα (μετασχηματιστές 20000V/400V, πυκνωτές) τα οποία σε περίπτωση σφάλματος μπορούν να εκραγούν και να επιφέρουν σοβαρές συνέπειες σε ανθρώπους που βρίσκονται και εργάζονται στο ίδιο χώρο. Επομένως, δεν υπάρχουν στην MT πολλά περιθώρια λάθους. Ένας λάθος χειρισμός ή μια λανθασμένη ενέργεια (π.χ. άνοιγμα ενός διακόπτη MT) σε μια εγκατάσταση μπορεί να έχει σοβαρές συνέπειες σε αυτήν και να προκαλέσει ακόμα και θανατηφόρα ατυχήματα. Έτσι τα μέσα προστασίας στην MT πρέπει να επιλέγονται με πολλή μεγάλη προσοχή.

Με τον όρο <<σφάλμα>> εννοούμε μια μη κανονική λειτουργία σε μια διάταξη. Σφάλμα έχουμε είτε όταν υπάρχει βραχυκύκλωμα, λόγω καταστροφής της μόνωσης μεταξύ δύο φάσεων ή μιας φάσης με την γη, είτε όταν υπάρχει κάποια υπερφόρτιση. Ως σφάλμα επίσης μπορεί να χαρακτηριστεί η διακοπή της συνέχειας μιας φάσης ή του ουδέτερου. Συνήθως όμως ο όρος σφάλμα αναφέρεται όταν υπάρχει βραχυκύκλωμα.

Ένα σφάλμα μπορεί να είναι παροδικό ή μόνιμο. Τα παροδικά σφάλματα διαρκούν ελάχιστο χρόνο και αρκεί να διακοπεί η τάση τροφοδοσίας για ελάχιστο χρόνο (π.χ. 0,2 sec). Τα σφάλματα αυτά δημιουργούνται στα εναέρια δίκτυα και μπορεί να προκύψουν κατά την πτώση ενός κεραυνού, που μπορεί να προκαλέσει τη διάσπαση του αέρα ανάμεσα σε δύο φάσεις και την δημιουργία ηλεκτρικού τόξου. Τα παροδικά σφάλματα μπορούν να εξαλειφθούν πολλές φορές και μόνα τους χωρίς να διακοπεί καθόλου η τάση. Τα σφάλματα αυτά ονομάζονται τότε <<αυτοαποσβενύμενα>>.

Τα μόνιμα σφάλματα υφίστανται συνεχώς μέχρι να διακοπεί η τροφοδοσία στο κύκλωμα, που υπάρχει το σφάλμα, είτε αυτόματα από τα υπάρχοντα μέσα

προστασίας είτε από τον άνθρωπο. Για να γίνει μια σύγκριση με τα παροδικά σφάλματα στα εναέρια δίκτυα αναφέρουμε την πτώση για παράδειγμα κάποιου δέντρου πάνω στις γραμμές, που για την απομάκρυνση του πρέπει να υπάρξει ανθρώπινη παρέμβαση.

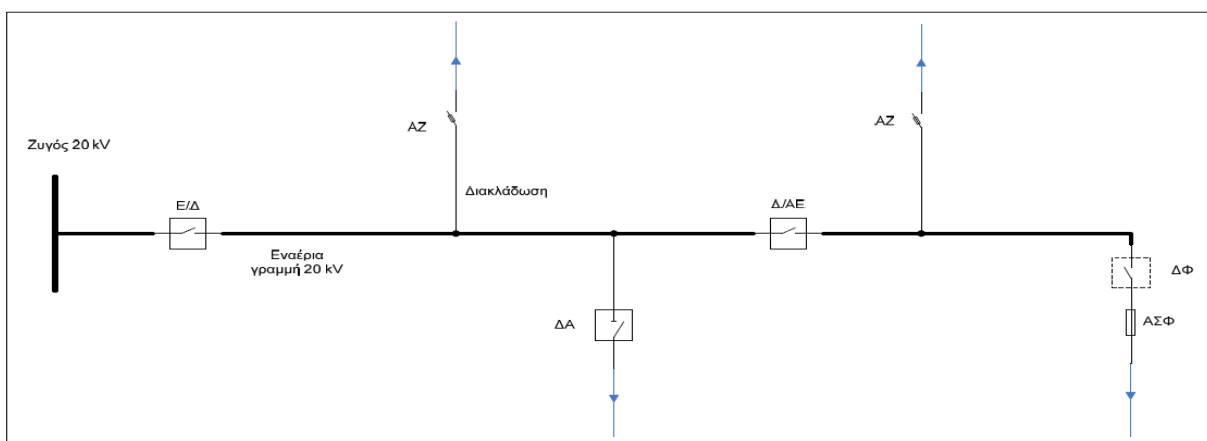
Στα μέσα προστασίας χρησιμοποιούνται επίσης οι όροι <<υπερφόρτιση>> και <<υπερένταση>>. Υπερφόρτιση συμβαίνει όταν το ρεύμα σε μια διάταξη είναι λίγο μεγαλύτερο από το ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας (I_N) και μπορεί να πάρει τιμή μέχρι και το διπλάσιο του ονομαστικού. Για ρεύματα μεγαλύτερα από το διπλάσιο ονομαστικό ρεύμα (π.χ. 5 φορές το I_N) χρησιμοποιείται ο όρος <<υπερένταση>>. Υπερένταση έχουμε όταν υπάρχει κάποιο βραχυκύκλωμα.

Τα μέσα προστασίας στην μέση τάση χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- Ασφάλειες MT
- Διακόπτες MT

2.2 Εναέρια δίκτυα MT

Ένα εναέριο δίκτυο MT της Δ.Ε.Η. μπορεί να έχει την μορφή που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα :



Σχήμα 2,1 : Εναέρια γραμμή MT

Ε/Δ : Ελαιοδιακόπτης, Δ/ΑΕ : Διακόπτης αυτόματης επαναφοράς, ΔΑ : Διακόπτης απομόνωσης, ΔΦ : Διακόπτης φορτίου, ΑΖ : Ασφαλειοαποζεύκτης, ΑΣΦ : Ασφάλεια

Η εναέρια γραμμή MT ξεκινάει από τους ζυγούς 20 kV, που βρίσκεται σε υποσταθμούς ΥΤ/MT 150 kV / 20 kV. Σε μια γραμμή διακρίνουμε τον κορμό και τις

διακλαδώσεις ή και υποδιακλαδώσεις. Στο σχήμα 2,1 ο κορμός είναι η παχιά γραμμή ενώ οι διακλαδώσεις με την λεπτή. Στην πραγματικότητα σαν κορμό χαρακτηρίζεται η γραμμή που προστατεύεται με έναν αυτόματο διακόπτη ή και περισσότερους. Ο χαρακτηρισμός αυτός γίνεται για λειτουργικούς λόγους και δεν εξαρτάται τόσο από την διατομή των αγωγών.

Η γραμμή αυτή (κορμός) προστατεύεται στην αναχώρηση της με έναν διακόπτη ισχύος με κύκλους επαναφοράς, ο οποίος ονομάζεται από την Δ.Ε.Η. διακόπτης αναχώρησης. Όταν ο διακόπτης αναχώρησης είναι <<πρωχού ελαίου>> χαρακτηρίζεται ως <<Ελαιοδιακόπτης>> Ε/Δ. Ο διακόπτης αναχώρησης όμως σε μια μεγάλη γραμμή δεν είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται τα σφάλματα στο τέλος της γραμμής. Έτσι υπάρχει ακόμη ένας διακόπτης σε κάποιο σημείο της γραμμής έξω από τον υποσταθμό 150 kV / 20 kV.

Ο διακόπτης αυτός έχει χαρακτηριστικά διακόπτη ισχύος, με κύκλους επαναφοράς και δοχείο λαδιού και ονομάζεται διακόπτης αυτόματης επαναφοράς (Δ/ΑΕ). Με τον Δ/ΑΕ επιτυγχάνεται και ο στόχος που αναφέραμε στα μέσα προστασίας, δηλαδή σε περίπτωση σφάλματος αποσυνδέεται ένα μικρότερο κομμάτι της γραμμής και βγαίνουν εκτός λιγότεροι καταναλωτές. Σε πολλές περιπτώσεις στην αρχή της γραμμής είναι κάποιοι σοβαροί καταναλωτές που ενοχλούνται από τα σφάλματα στην υπόλοιπη γραμμή. Έτσι με έναν Δ/ΑΕ γίνεται λειτουργικός διαχωρισμός της γραμμής και οι καταναλωτές δεν ενοχλούνται από τα σφάλματα. Πρέπει να τονιστεί ότι Ε/Δ και Δ/ΑΕ είναι διακόπτες ισχύος και δεν διαφέρουν όσο αναφορά τον τρόπο λειτουργίας τους. Μια άλλη ονομασία που χρησιμοποιείται από την Δ.Ε.Η. αλλά και στο εμπόριο για να περιγράψει τους δύο παραπάνω διακόπτες είναι ο <<Recloser>> δηλαδή διακόπτης με κύκλους επαναφοράς.

Ο όρος ΔΙ ίσως να είναι και άγνωστος σε τεχνικά συνεργεία ΜΤ της Δ.Ε.Η. και δεν χρησιμοποιείται για έναν συγκεκριμένο τύπο διακόπτη. Οι όροι που χρησιμοποιούνται είναι : Ε/Δ ή διακόπτης αναχώρησης, <<Δ/ΑΕ>> και <<Recloser>> για έναν Δ/ΑΕ.

Στις διακλαδώσεις της εναέριας γραμμής η Δ.Ε.Η. χρησιμοποιεί είτε ασφαλειοαποξεύκτη (Α/Ζ) είτε ΔΑ ή ΔΦ σε συνδυασμό με ασφάλεια. Οι ασφαλειοαποξεύκτες έχουν ασφάλειες εκτόνωσης με τηκτό βραδείας τήξης (Τ). Η μέγιστη τιμή της ασφάλειας που χρησιμοποιείται είναι 30 ΤΑ. Σε περίπτωση που υπάρχει πριν από την ασφάλεια ένας Δ/ΑΕ η ασφάλεια είναι 20 ή 15 Α, ανάλογα με

τις ρυθμίσεις του στοιχείου γης του Δ/ΑΕ, έτσι ώστε να υπάρχει επιλεκτική συνεργασία.

Εάν το φορτίο της κατανάλωσης είναι μεγάλο και δεν καλύπτεται από τις ασφάλειες 30, 20, 15 A τότε ως μέσο προστασίας πρέπει να χρησιμοποιηθεί ΔΑ ή ΔΦ. Οι όροι αυτοί χρησιμοποιούνται και από τη Δ.Ε.Η. Αν χρησιμοποιηθεί ΔΦ πρέπει να υπάρχει και ασφάλεια για την προστασία σε σφάλματα. Η ασφάλεια που χρησιμοποιείται είναι ασφάλεια σκόνης μέγιστης έντασης 40 A. Ο ΔΦ με ασφάλεια χρησιμοποιείται σπάνια στα δίκτυα της Δ.Ε.Η. ως μέσο προστασίας. Βέβαια το μέσο προστασίας που θα χρησιμοποιηθεί έχει τυποποιηθεί και επιλέγεται κατευθείαν από τις τυποποιημένες παροχές ΜΤ.

2.3 Ασφάλειες ΜΤ

Οι ασφάλειες ΜΤ χρησιμοποιούνται για να προστατεύσουν ένα κύκλωμα ΜΤ όταν σε αυτό υπάρχει βραχυκύκλωμα αλλά και υπερφόρτιση που διαρκεί αρκετή ώρα. Οι ασφάλειες ΜΤ χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες :

- Ασφάλειες Σκόνης
- Ασφάλειες Εκτόνωσης

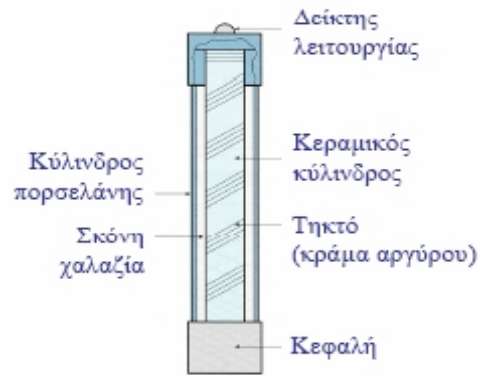
2.3.1 Ασφάλεια σκόνης

Οι ασφάλειες σκόνης χρησιμοποιούνται κυρίως για να διακόπτουν ένα κύκλωμα όταν σε αυτό υπάρχει βραχυκύκλωμα αλλά και υπερφόρτιση που διαρκεί αρκετή ώρα. Αποτελούνται από ένα κύλινδρο από πορσελάνη μέσα στον οποίο υπάρχει το τηκτό και η σκόνη χαλαζία. Το τηκτό, που είναι άργυρος αλλά και κράματα του, είναι τυλιγμένο γύρω από ένα κεραμικό υλικό, όπως φαίνεται στο σχήμα 2,2. Η σκόνη βρίσκεται γύρω από τον κεραμικό κύλινδρο και σκεπάζει το τηκτό.

Οι ασφάλειες αυτές μειώνουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης εξαιτίας της σκόνης χαλαζία. Η σκόνη βοηθά στην σβέση του τόξου, που δημιουργείται με την τήξη του αγωγού, λόγω της ψυκτικής της ικανότητας. Ταυτόχρονα όμως δημιουργείται και μια μεγάλη αντίσταση με αποτέλεσμα να μειώνεται το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Έτσι στην πραγματικότητα το ρεύμα αυτό παίρνει χαμηλότερη τιμή από αυτή που είχε υπολογιστεί αρχικά με αποτέλεσμα να υπάρχει μια επιπλέον προστασία του εξοπλισμού σε μια εγκατάσταση. Η ασφάλεια αυτή είναι ακριβότερη από την ασφάλεια εκτόνωσης και χρησιμοποιείται σε εσωτερικούς χώρους.



Εικόνα 2,1: Ασφάλειες σκόνης



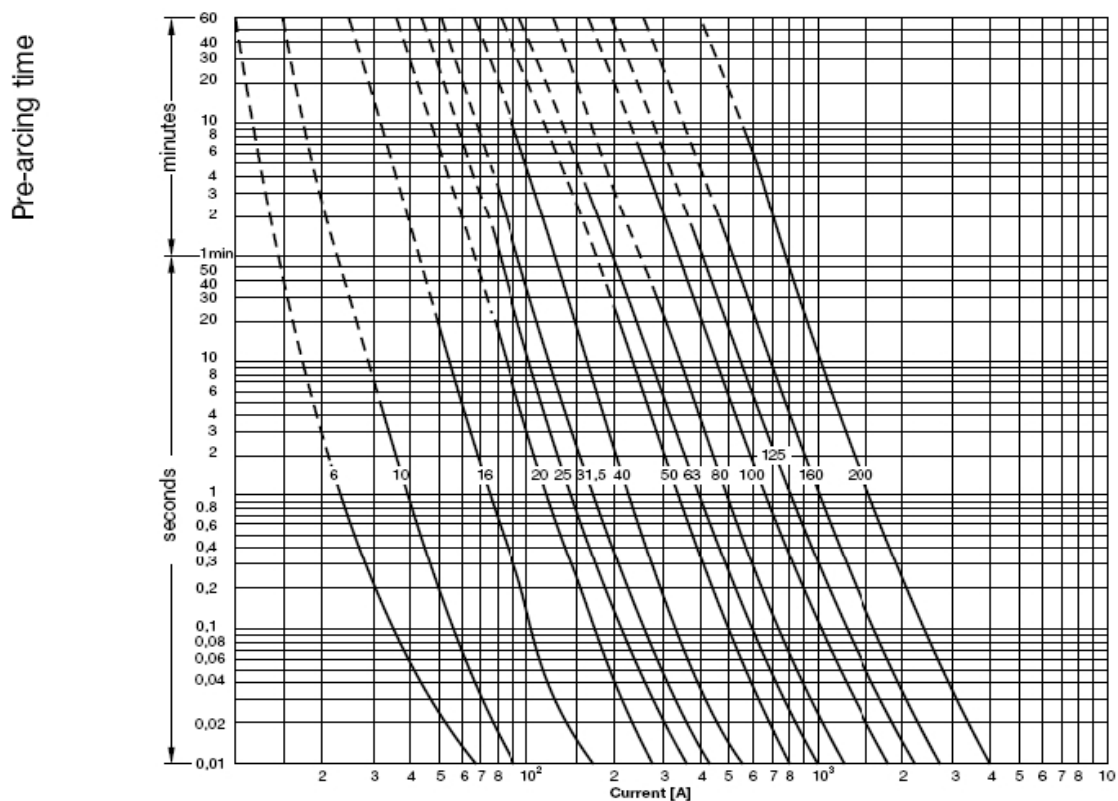
Σχήμα 2,2 : Βασικά μέρη μιας ασφάλειας σκόνη

Ισχύς ΜΣ (kVA)	Ρεύμα ΜΤ (A)	Ρεύμα ΧΤ (A)	Όνομαστικό ρεύμα ασφάλειας	
			Ελάχιστο (A)	Μέγιστο (A)
20 kV				
50	1,5	72	6,3	10
75	2,2	108	10	16
100	2,9	144	10	16
125	3,9	180	16	25
160	4,7	230	16	25
200	5,8	290	16	40
250	7,3	360	16	25
315	9,2	455	16	40
400	11,6	576	25	40
500	14,5	720	25	63
630	18,2	910	25	63
800	23,1	1160	40	100
1000	29	1440	40	100
1250	39	1800	63	100
15 kV				
50	2,0	96	6,3	10
75	2,9	144	10	16
100	3,9	192	16	25
125	5,2	240	16	25
160	6,3	307	16	25
200	7,7	387	16	40
250	9,7	480	25	40
315	12,3	607	25	40
400	15,5	768	40	63
500	19,5	960	40	63
630	24,3	1213	63	100
800	30,8	1546	63	100
1000	38,7	1920	63	100

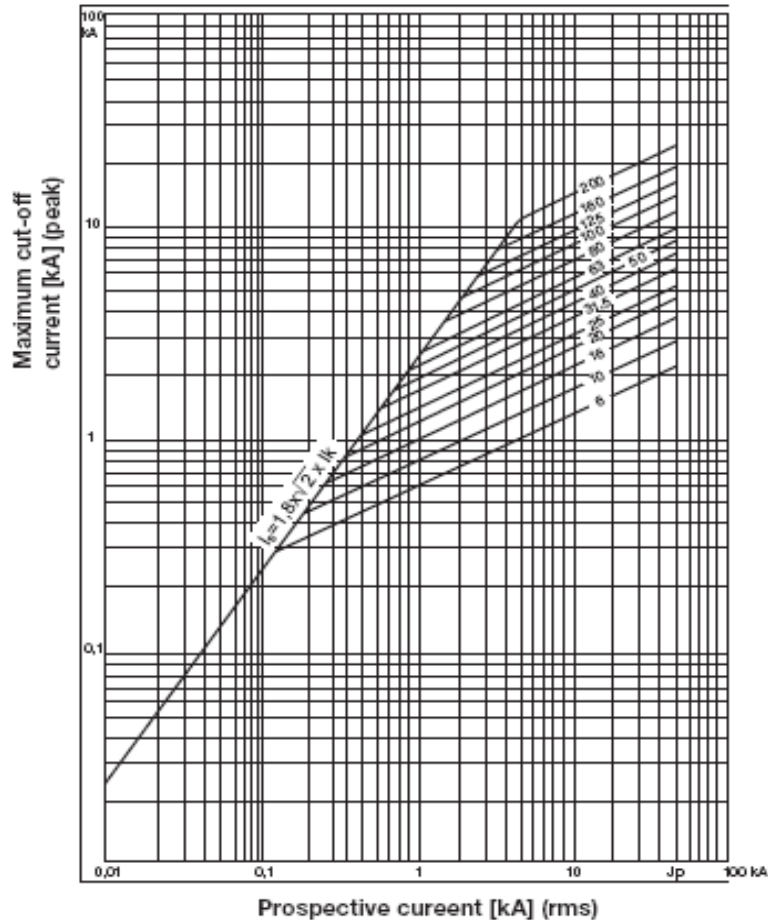
Πίνακας 2,1 : Εκλογή ασφαλειών σκόνης ανάλογα με την ισχύ των ΜΣ.

Η ασφάλεια σκόνης, όπως και όλες οι ασφάλειες έχουν κάποια χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας. Στην καμπύλη αυτή φαίνεται ο χρόνος που απαιτείται για να λιώσει το τηκτό συναρτήσει του ρεύματος που διαρρέει την ασφάλεια. Όσο αυξάνεται το ρεύμα τόσο μειώνεται ο χρόνος στον οποίο θα λιώσει η ασφάλεια και αντίστροφα. Η ασφάλεια μπορεί να μην λιώσει ακόμα και αν το ρεύμα είναι μεγάλο με την προϋπόθεση ο χρόνος που διαρρέει την ασφάλεια να είναι μικρός. Για παράδειγμα για μια ασφάλεια σκόνης 40 A ($I_N = 40$ A), ο χρόνος λειτουργίας της είναι περίπου 2,2 sec αν διαρρέεται με ρεύμα έντασης 200 A ($5 \times I_N$) και 2 min για ρεύμα 120 A ($3 \times I_N$), όπως φαίνεται στο σχήμα 2,3.

Στο διάγραμμα του σχήματος 2,4 φαίνεται πως περιορίζεται το κρουστικό ρεύμα βραχυκύκλωσης (μέγιστη τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης) με την ασφάλεια σκόνης χωρίς αυτό να φτάσει την μέγιστη τιμή του. Για παράδειγμα, έστω ότι υπάρχει βραχυκύκλωμα με ρεύμα έντασης 2 kA σε κύκλωμα που προστατεύεται με ασφάλεια σκόνης 40 A. Η μέγιστη τιμή του ρεύματος περιορίζεται σε 2,5 kA. Αν δεν υπήρχε ασφάλεια σκόνης, η τιμή του κρουστικού ρεύματος θα ήταν 4,5 kA. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της θερμικής και μηχανικής καταπόνησης του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού της εγκατάστασης.



Σχήμα 2,3 : Χαρακτηριστική καμπύλη ασφάλειας σκόνης



Σχήμα 2,4 : Διάγραμμα περιορισμού του ρεύματος βραχυκύκλωσης

2.3.2 Ασφάλεια εκτόνωσης

Η ασφάλεια εκτόνωσης είναι ένας μονωτικός κυλινδρικός σωλήνας μέσα στον οποίο βρίσκεται ένας αγωγός, το τηκτό. Το τηκτό είναι τανυσμένο με ελατήριο ενώ ο σωλήνας είναι ανοιχτός πάνω και κάτω. Εσωτερικά του κυλινδρικού σωλήνα υπάρχει ένα στρώμα από βορικό οξύ. Σε περίπτωση σφάλματος κατά την τήξη του αγωγού το στρώμα του βορικού οξέος βοηθάει στην σβέση του τόξου που δημιουργείται. Το τόξο έρχεται σε επαφή με το βορικό οξύ και δημιουργούνται ατμοί, που ψύχουν το τόξο, έτσι αυτό σταδιακά σβήνει.

Κατά την διάρκεια της σβέσης όμως δημιουργούνται τοξικά αέρια, τα οποία εκλύονται στο χώρο που βρίσκεται η ασφάλεια, αφού ο σωλήνας είναι ανοιχτός. Γι' αυτό τον λόγο δεν επιτρέπεται η χρήση της συγκεκριμένης ασφάλειας σε κλειστούς χώρους αλλά χρησιμοποιείται μόνο σε εξωτερικούς χώρους, σε υπαίθριες εγκαταστάσεις. Οι ασφάλειες αυτές δεν μειώνουν το ρεύμα βραχυκύκλωσης όπως η ασφάλειες σκόνης. Για παράδειγμα χρησιμοποιείται για την προστασία Μ/Σ

υποβιβασμού της τάσης 20/0,4 kV στα εναέρια δίκτυα διανομής, όπου όλη η εγκατάσταση είναι υπαίθρια πάνω σε στύλους της Δ.Ε.Η. Οι ασφάλειες εκτόνωσης είναι πολύ πιο φθηνές σε σχέση με τις ασφάλειες σκόνης γι' αυτό και προτιμούνται σε υπαίθριες εγκαταστάσεις.

Οι ασφάλειες εκτόνωσης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

- Ασφάλειες εκτόνωσης βραδείας τήξης και χαρακτηρίζονται με το γράμμα T
- Ασφάλειες εκτόνωσης ταχείας τήξης και χαρακτηρίζονται με το γράμμα K

Επίσης η ασφάλεια εκτόνωσης, σε συνδυασμό με την βάση, στην οποία τοποθετείται, μπορεί να λειτουργήσει και ως αποζεύκτης. Σε περίπτωση σφάλματος και τήξης της ασφάλειας, η ασφάλεια αποσυνδέεται από το ένα άκρο της βάσης, και έτσι μπορεί κάποιος από μακριά να διαπιστώσει ότι η ασφάλεια έχει καεί και το κύκλωμα βρίσκεται εκτός τάσης. Έτσι χρησιμοποιείται ο όρος <<ασφαλειοαποζεύκτης>>.

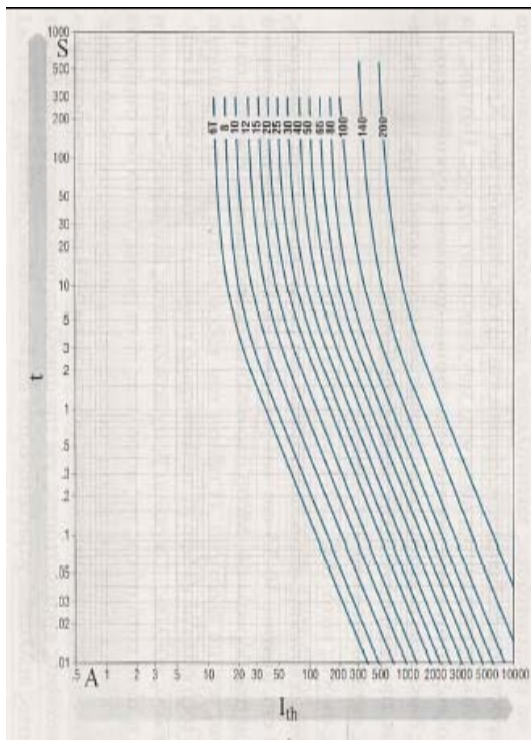


Εικόνα 2,2 α) Ασφάλεια εκτόνωσης πάνω στη βάση σε κατάσταση λειτουργίας.

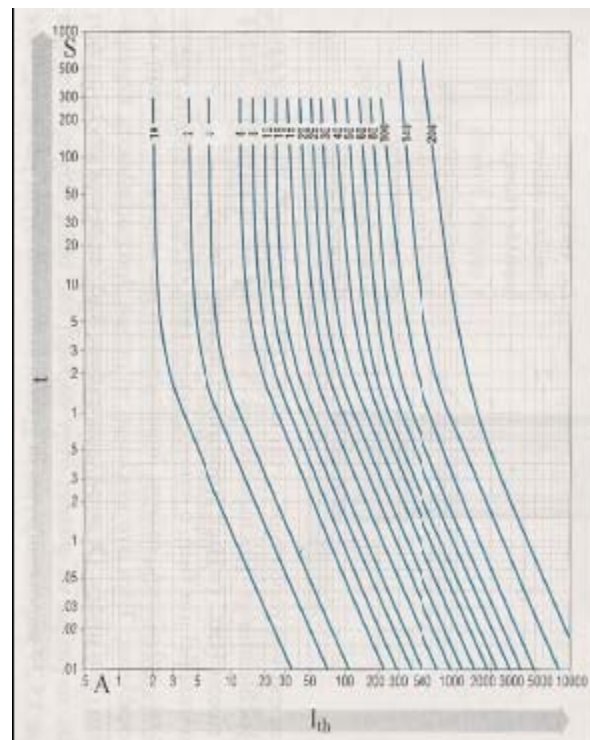


Εικόνα 2,2 β) Ασφάλεια καμένη αποσυνδεδεμένη από τη βάση

Για κάθε τύπου ασφάλειας υπάρχει και η αντίστοιχη χαρακτηριστική έντασης - χρόνου. Όπως φαίνεται στις χαρακτηριστικές μια ασφάλεια ταχείας τήξης θα λιώσει γρηγορότερα από μια ασφάλεια βραδείας τήξης ίδιου μεγέθους όταν αυτές διαρρέοντα από το ίδιο ρεύμα.



α)



β)

Σχήμα 2,5

- α) Χαρακτηριστική ασφάλειας εκτόνωσης βραδείας τήξης (τύπου T)
 β) Χαρακτηριστική ασφάλειας εκτόνωσης ταχείας τήξης (τύπου K)

2.4 Διακόπτες ΜΤ

Οι διακόπτες ΜΤ ανάλογα με τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν χωρίζονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες :

- Αποζεύκτες και γειωτές : Χειρισμοί μόνο με μηδενικό ή ελάχιστο ρεύμα
- Διακόπτες φορτίου : Χειρισμοί και σε κανονική λειτουργία με ονομαστικά ρεύματα
- Διακόπτες Ισχύος : Χειρισμοί σε οποιαδήποτε κατάσταση λειτουργίας

Οι διακόπτες είναι πολύ πιο ακριβοί από τις ασφάλειες αλλά έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζονται αλλαγή όπως μια ασφάλεια. Βέβαια και αυτοί έχουν μια διάρκεια ζωής που μετριέται σε κύκλους μηχανικής λειτουργίας και εξαρτάται από το είδος του

διακόπτη. Παρακάτω θα γίνει αναφορά μόνο στους διακόπτες που μας ενδιαφέρει στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

2.4.1 Ηλεκτρονόμοι

Οι Ηλεκτρονόμοι (HN) είναι διατάξεις που προστατεύουν έναν διακόπτη ή ένα κύκλωμα από σφάλματα, που μπορούν να προκύψουν κατά την λειτουργία τους. Οι HN μετρούν ένα μέγεθος (τάση, ρεύμα), το συγκρίνουν με μια τιμή αναφοράς (την οποία καθορίζει κάποιος) και στην συνέχεια επιφέρουν ορισμένες προκαθορισμένες μεταβολές στο διακόπτη ή το κύκλωμα. Η τιμή αναφοράς αποτελεί την <<ρύθμιση του HN>>. Βέβαια οι HN δεν είναι απευθείας συνδεδεμένοι με τη διάταξη που προστατεύουν. Μεταξύ της διάταξης και του HN παρεμβάλλονται μετασχηματιστές τάσης και ρεύματος για να γίνουν οι κατάλληλες μετρήσεις. Οι ΜΣ αυτοί ονομάζονται μετασχηματιστές μέτρησης. Οι ΜΣ μέτρησης μειώνουν την τάση ή το ρεύμα, έτσι ώστε να μπορούν να μετρηθούν από τα όργανα μέτρησης.

Στην περίπτωση ενός HN που συνεργάζεται με έναν διακόπτη ισχύος (ΔΙ) μιλάμε για HN <<υπερεντάσεως>> που επιτηρεί το ρεύμα του ΔΙ. Ο HN ενεργοποιείται δίνοντας κατάλληλη εντολή στο ΔΙ όταν το ρεύμα υπερβεί κάποια προκαθορισμένη τιμή. Υπάρχουν δύο είδη HN υπερεντάσεως, που χρησιμοποιούνται για την προστασία ενός ΔΙ, ανάλογα με το ρεύμα που επιτηρούν :

- HN φάσεων
- HN γης

Οι HN φάσεων επιτηρούν το ρεύμα μεταξύ φάσεων και έτσι προστατεύουν το ΔΙ από μονοφασικά, διφασικά και τριφασικά σφάλματα μεταξύ των φάσεων. Οι HN γης αντίστοιχα επιτηρούν το ρεύμα που ρέει προς την γη. Όταν το ρεύμα που ρέει προς τη γη ξεπεράσει την τιμή αναφοράς, τότε υπάρχει <<σφάλμα γης>> και ο HN γης δίνει εντολή στον ΔΙ να ανοίξει. Τα ρεύματα που προκύπτουν, όταν υπάρξει σφάλμα, είναι μεγαλύτερα όταν το σφάλμα συμβεί μεταξύ των φάσεων (σφάλμα φάσης) από ότι όταν υπάρχει σφάλμα ως προς την γη. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη αντίσταση που υπάρχει στην γείωση ενός υποσταθμού (αντίσταση γείωσης) και συνήθως είναι περίπου 12 Ω για τα δίκτυα των 20 kV. Γι' αυτόν ακριβώς το λόγο το ρεύμα αναφοράς σε έναν HN γης, είναι πολύ χαμηλότερο από το ρεύμα του HN φάσης. Ο HN πρέπει να λειτουργήσει εφόσον το ρεύμα που μετρά είναι μεγαλύτερο από την <<ρύθμιση>> του. Ο τρόπος που συμπεριφέρεται όμως δεν είναι πάντα ο ίδιος αλλά εξαρτάται από δυο χαρακτηριστικά που μπορεί να έχει ο ίδιος ο HN :

- την χαρακτηριστική ρεύματος - χρόνου
- το στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας (Σ.Λ.)

Ένας ΗΝ έχει χαρακτηριστική έντασης - χρόνου αλλά μπορεί να έχει και επιπλέον το στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας. Το στοιχείο αυτό δίνει εντολή να ανοίξει ο διακόπτης ακαριαία όταν το ρεύμα έχει πάρει μια τιμή πολλαπλάσια της ρύθμισης του, που κυμαίνεται 6 -10 φορές μεγαλύτερο του ονομαστικού ρεύματος.

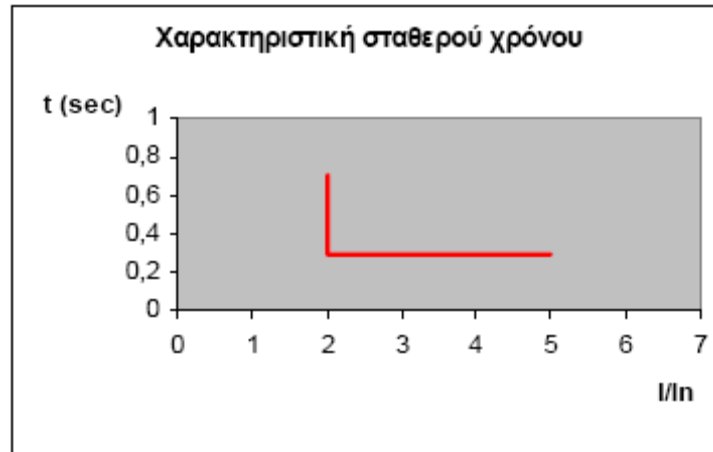
Οι χαρακτηριστικές έντασης - χρόνου μπορεί να είναι είτε σταθερού χρόνου (σχήμα 2,6) είτε χαρακτηριστικές αντίστροφου χρόνου (σχήμα 2,7), που ονομάζονται καμπύλες χρονικής καθυστέρησης.

Οι χαρακτηριστικές αντίστροφου χρόνου αντιστοιχούν σε μικρούς χρόνους διέγερσης του ΗΝ για μεγάλες εντάσεις και σε μεγάλους χρόνους διέγερσης για μικρά ρεύματα. Οι χαρακτηριστικές αυτές μπορούν να μετατοπίζονται στο διάγραμμα έντασης - χρόνου ή και οριζόντια (ως προς το ρεύμα) ή και κάθετα (ως προς το χρόνο). Αυτό γίνεται ρυθμίζοντας το ρεύμα και το χρόνο κατάλληλα σε ένα <<στοιχείο χρονικής καθυστέρησης>>, το οποίο είναι ανεξάρτητο από το στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας. Η μορφή της καμπύλης μπορεί να είναι : α) αντίστροφου χρόνου (σχήμα 2,8), β) πολύ αντίστροφου και γ) ισχυρά αντίστροφου χρόνου (σχήμα 2,9). Επιπλέον, ο χρόνος στον οποίο διεγείρεται ο ΗΝ εξαρτάται από έναν συντελεστή Κ, του οποίου όσο αυξάνει η τιμή η καμπύλη μετατοπίζεται πιο πάνω και έτσι αυξάνεται ο χρόνος διέγερσης του ΗΝ. Ο ΗΝ με χαρακτηριστική σταθερού χρόνου διεγείρεται μετά από συγκεκριμένο χρόνο όταν το ρεύμα ξεπεράσει την τιμή ρύθμισης του.

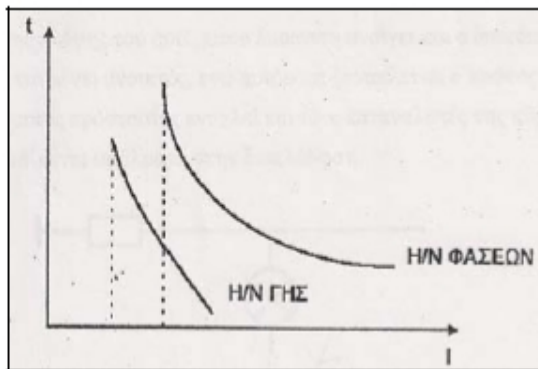
Ένας ΔΙ έχει οπωσδήποτε έναν ΗΝ φάσης ενώ είναι πιθανόν να έχει και ΗΝ γης καθώς και στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας. Έτσι για κάθε έναν από τα παραπάνω πρέπει να υπολογιστεί ένα ρεύμα και να ρυθμιστεί ο αντίστοιχος ΗΝ. Για παράδειγμα, έστω ότι υπάρχει ένας ΔΙ με :

- ΗΝ φάσης με καμπύλη χρονικής καθυστέρησης (Χ.Κ.)
- ΗΝ γης με καμπύλη χρονικής καθυστέρησης (Χ.Κ.) και
- ένα στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας (Σ.Λ.)

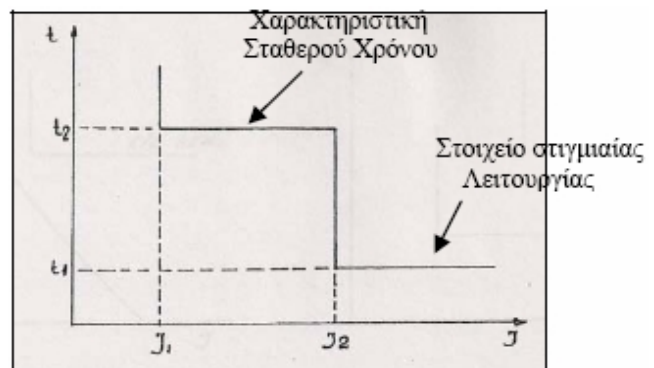
Άρα πρέπει να υπολογιστούν τρία διαφορετικά ρεύματα. Έτσι για τον ΗΝ φάσης η ρύθμιση μπορεί να γίνει στο διπλάσιο του ονομαστικού. Το στοιχείο Σ.Λ. ρυθμίζεται σε ρεύμα 6 -10 φορές του ονομαστικού. Ο ΗΝ γης, που ρυθμίζεται πάντα σε πολύ χαμηλότερο ρεύματα σε σχέση με αυτό του ΗΝ φάσης, συνήθως από 60 έως 80 Α.



Σχήμα 2,6 : Χαρακτηριστική σταθερού Χρόνου

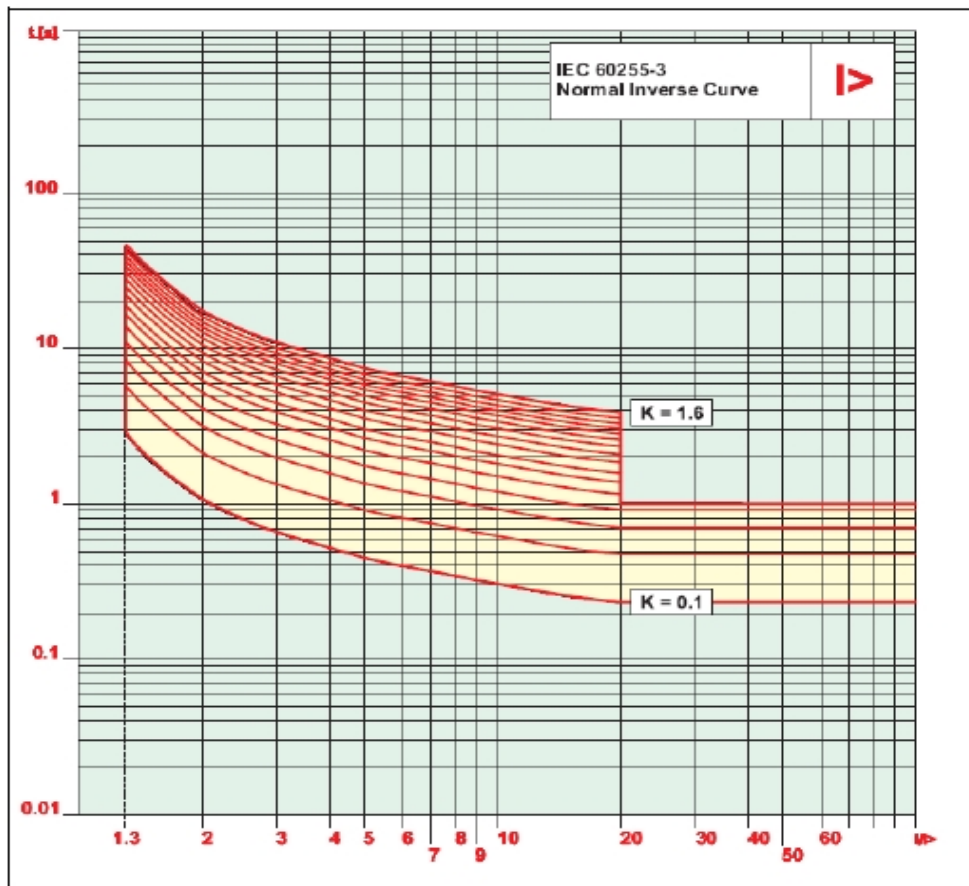


α)

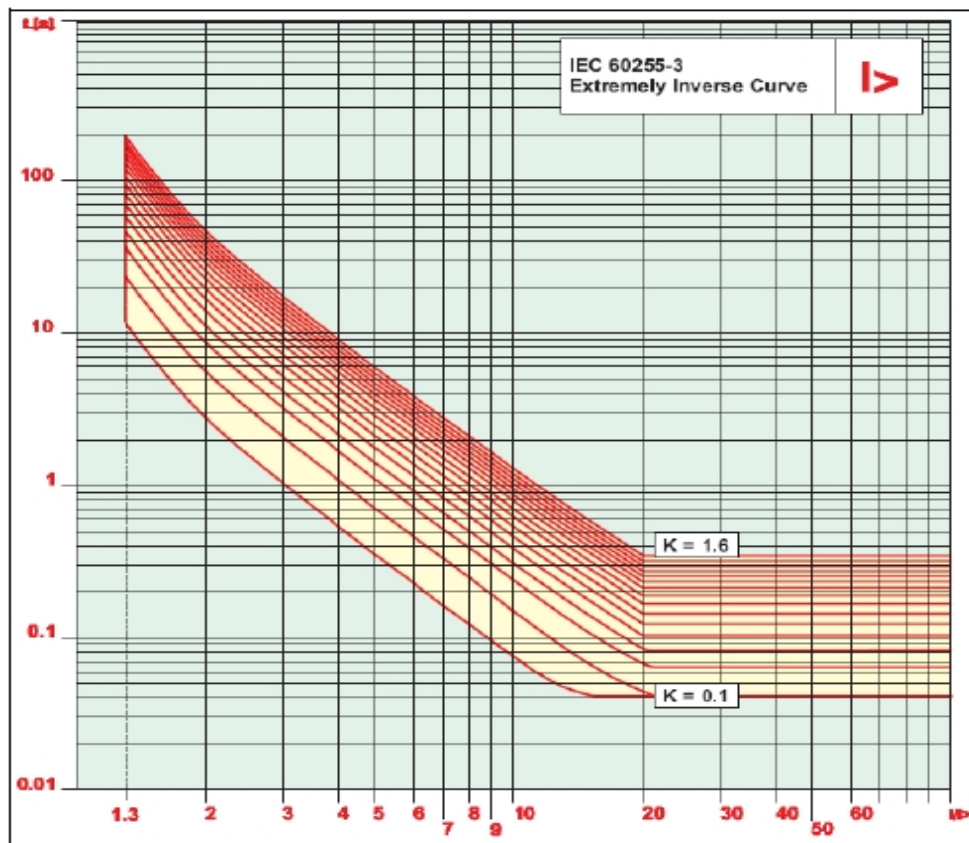


β)

Σχήμα 2,7 : α) Χαρακτηριστική αντίστροφου χρόνου : Φαίνεται ότι η ρύθμιση του ΗΝ ΓΗΣ έγινε σε χαμηλότερα ρεύματα από ότι ο ΗΝ ΦΑΣΕΩΝ. β) Χαρακτηριστική σταθερού χρόνου με στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας



Σχήμα 2,8 : Πραγματικές καμπύλες ΗΝ αντίστροφου χρόνου ενός ΔΙ της ABB



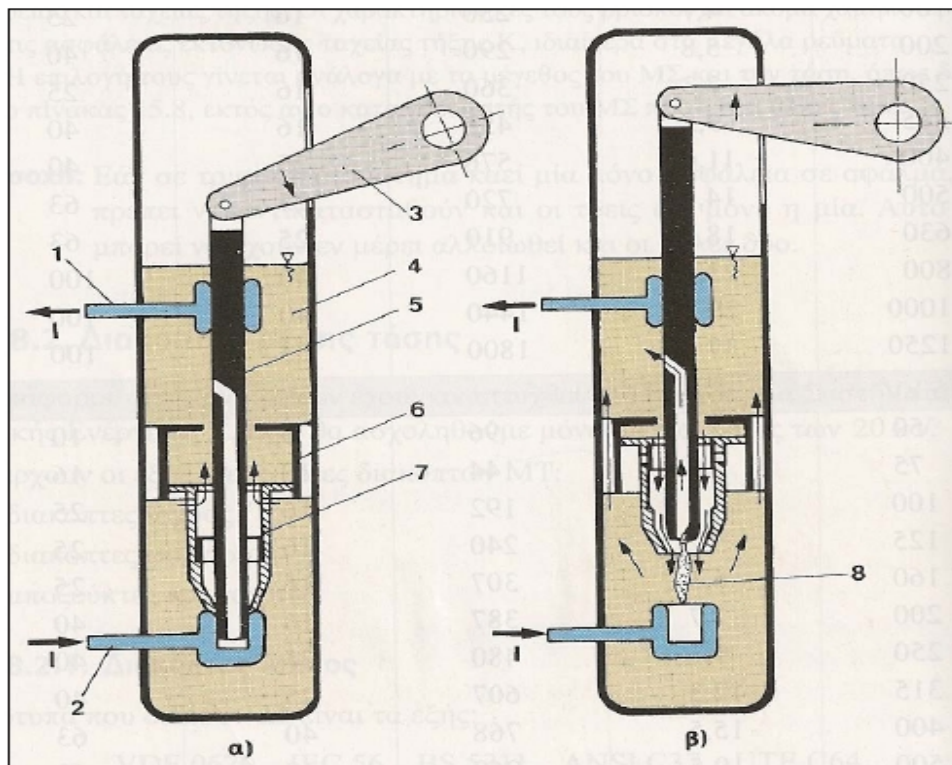
Σχήμα 2,9 : Πραγματικές καμπύλες ΗΝ ισχυρά αντίστροφου χρόνου ενός ΔΙ της ABB

2.4.2 Διακόπτης ισχύος (αυτόματοι διακόπτες)

Οι διακόπτες Ισχύος (ΔΙ), που συνηθέστερα λέγονται αυτόματοι διακόπτες, λειτουργούν σε μηδενικά και σε ονομαστικά ρεύματα αλλά και σε ρεύματα που εμφανίζονται σε βραχυκυκλώματα. Τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν στο δίκτυο των 20 kV είναι 7 kA και πάνω. Οι ΔΙ κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιούν για την σβέση του ηλεκτρικού τόξου. Έτσι, υπάρχουν τα παρακάτω είδη διακοπών ισχύος εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου :

- Διακόπτης πτωχού ελαίου
- Διακόπτης αερίου SF6
- Διακόπτης Κενού

Συνήθως χρησιμοποιούνται ΔΙ πτωχού ελαίου. Ο όρος <<πτωχός>> αναφέρεται στην ποσότητα του λαδιού που χρησιμοποιείται σήμερα σε σχέση με παλιότερους διακόπτες που χρησιμοποιούσαν τριπλάσιες ποσότητες. Στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. χρησιμοποιούνται συνήθως στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ και αναφέρονται ως Ελαιοδιακόπτες (Ε/Δ) αντί ΔΙ. Παρακάτω φαίνονται τα βασικά μέρη ενός ΔΙ ελαίου.



Σχήμα 2,10 : Διακόπτης πτωχού ελαίου. Αρχή λειτουργίας.

α) Κλειστός β) Ανοιχτός

1 ακροδέκτης, 2 ακροδέκτης με επαφή, 3 μηχανισμός κίνησης, 4 λάδι, 5 κινούμενη επαφή, 6 κύλινδρος, 7 έμβολο, 8 τόξο.

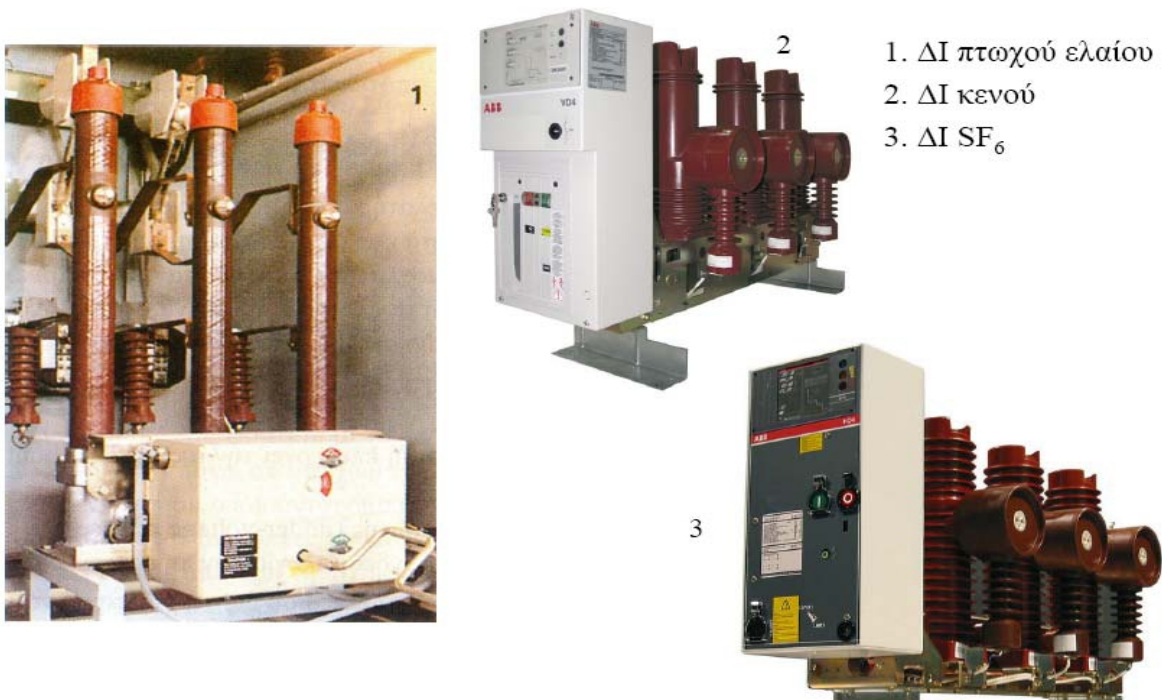
Ένας ΔΙ, σε περίπτωση σφάλματος, μπορεί να ανοίξει και να κλείσει με δύο τρόπους:

1. Όταν διεγείρεται είτε από το θερμικό στοιχείο είτε από το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο του διακόπτη. Η προστασία με αυτόν τον τρόπο λέγεται <<πρωτογενή προστασία>>.
2. Παίρνοντας εντολή από έναν ΗΝ υπερέντασης, οπότε έχουμε την <<δευτερογενή προστασία>>.

Στην πρωτογενή προστασία το θερμικό στοιχείο είναι ένα έλασμα το οποίο θερμαίνεται σιγά - σιγά λόγω μιας μικρής αύξησης του ρεύματος, μαλακώνει και έτσι ανοίγει ο ΔΙ. Το ηλεκτρομαγνητικό στοιχείο λειτουργεί όταν υπάρχει μια απότομη αύξηση του ρεύματος πολλαπλάσια του ονομαστικού του διακόπτη και ανοίγει ακαριαία τον διακόπτη.

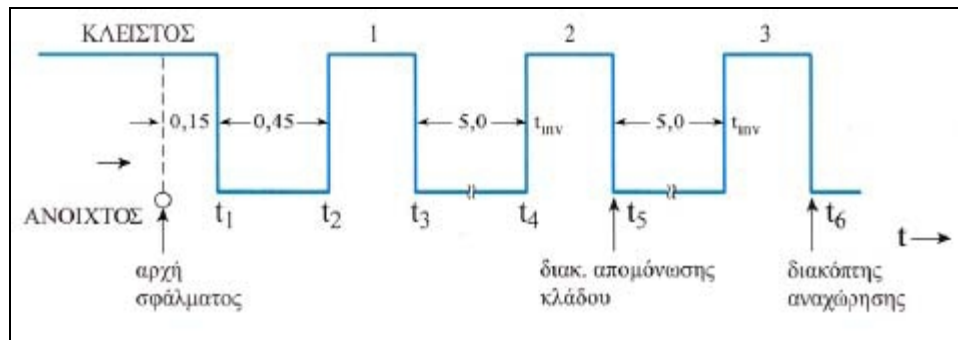
Η δευτερογενής προστασία είναι ακριβότερη από την πρωτογενή. Όταν όμως ένας καταναλωτής χρησιμοποιήσει σαν μέσο προστασίας ΔΙ τότε ένας ΔΙ με δευτερογενή προστασία συνεργάζεται καλύτερα με τα μέσα της Δ.Ε.Η. από ότι ένας με πρωτογενή προστασία.

Επειδή οι ΔΙ δεν έχουν ορατές επαφές πρέπει να τοποθετείται πάντα ένας αποζεύκτης, ο οποίος να μανδαλώνεται με τον ΔΙ. Και στην περίπτωση αυτή πρέπει να γίνονται χειρισμοί με τη σωστή σειρά. Όταν συμβεί κάποιο βραχυκύκλωμα και ανοίξει ο ΔΙ πρέπει στην συνέχεια να ελέγχεται η κατάσταση του διακόπτη σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.



Εικόνα 2,3 : Διακόπτες Ισχύος

2.4.2.1 Κύκλοι επαναφοράς (ή λειτουργίας) ενός ΔΙ



Σχήμα 2,11 : Κύκλοι επαναφοράς ενός ΔΙ της Δ.Ε.Η.

Όταν ο ΗΝ ενός ΔΙ αντιληφθεί κάποιο σφάλμα δίνει εντολή στο ΔΙ για να κλείσει και να ανοίξει διαδοχικά σε συγκεκριμένους χρόνους, εκτελώντας έτσι ένα καθορισμένο αριθμό κύκλων λειτουργίας. Ο αριθμός πτώσεων και επαναφορών δίνεται ως μια ρύθμιση στον ΗΝ του ΔΙ. Έστω ότι συμβαίνει κάποιο σφάλμα σε μια εναέρια γραμμή ΜΤ που τροφοδοτεί καταναλωτές και προστατεύεται στην αρχή της από έναν ΔΙ. Ο ΗΝ θα εκτελέσει τις παρακάτω λειτουργίες σύμφωνα με το σχήμα 2,11 :

- Ο ΗΝ αντιλαμβάνεται το σφάλμα π.χ. σε 0,05 sec
- Ο ΔΙ παίρνει εντολή από τον ΗΝ και ανοίγει σε 0,15 sec (χρονική στιγμή t_1)
- Ο ΔΙ παραμένει ανοιχτός για 0,45 sec (χρονικό διάστημα t_1 έως t_2)
- Ο ΔΙ κλείνει <<επαναφέρεται>> τη χρονική στιγμή t_2 , ύστερα από εντολή του ΗΝ
- Ο ΔΙ μένει κλειστός για κάποιο χρόνο μέχρι την t_3
- Ο ΔΙ ανοίγει τη χρονική στιγμή t_3 και μένει ανοιχτός για 5 sec
- Ο ΔΙ επαναφέρεται για δεύτερη φορά τη χρονική στιγμή t_4

Αυτή η λειτουργία χαρακτηρίζεται ως : O-C-O... (OPEN - CLOSE - OPEN). Βέβαια οι κύκλοι πραγματοποιούνται μόνο όταν συνεχίζεται να υφίσταται σφάλμα. Μετά από ένα αριθμό επαναφορών (στο σχήμα αναπαρίστανται τρεις επαναφορές), στην περίπτωση που συνεχίζει να υφίσταται το σφάλμα, ανοίγει (πέφτει) ο ΔΙ και τίθεται εκτός λειτουργίας όλη η εναέρια γραμμή μέχρι να εντοπιστεί και να διορθωθεί το σφάλμα.

Η πτώση του διακόπτη την πρώτη φορά μετά το σφάλμα οφείλεται στην λειτουργία του στοιχείου Σ.Λ., γι' αυτό και ο χρόνος για να ανοίξει ο ΔΙ είναι πολύ μικρός (0,15 sec). Όταν γίνει η <<επαναφορά>> του διακόπτη (χρονική στιγμή t_2) το

στοιχείο Σ.Λ. βγαίνει εκτός λειτουργίας και λειτουργεί μόνο το στοιχείο Χ.Κ., όπου ο χρόνος ανοίγματος του διακόπτη είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο του στοιχείου Σ.Λ. Η διαδικασία αυτή βοηθάει στην <<επιλεκτική συνεργασία>> των μέσων προστασίας.

Η λειτουργία των κύκλων επαναφοράς ακολουθείται για δύο λόγους :

- Πρώτον την μη διακοπή της τροφοδοσίας όταν το σφάλμα διαρκεί ελάχιστο χρόνο.
- Δεύτερον την απομόνωση μικρού τμήματος μιας γραμμής στο οποίο υφίσταται μόνιμο σφάλμα.

Ένα σφάλμα μπορεί να είναι παροδικό και να εμφανιστεί για μικρό χρονικό διάστημα (από msec έως sec). Για παράδειγμα, ένα παροδικό σφάλμα μπορεί να προκληθεί από τη πτώση κεραυνού. Σε αυτή την περίπτωση η παραπάνω λειτουργία βοηθάει έτσι ώστε μετά από μικρό χρόνο (όπως 0,2 sec), και εφόσον δεν προκαλέσει το σφάλμα κάποια άλλη βλάβη, η γραμμή να συνεχίζει να λειτουργεί κανονικά και να τροφοδοτεί όλους τους καταναλωτές.

Στην περίπτωση όμως που υπάρχει κάποιο μόνιμο σφάλμα στη γραμμή πρέπει αυτό να διακοπεί το γρηγορότερο δυνατό για να μην προκαλέσει κάποια ζημιά (όπως την έναρξη πυρκαγιάς). Το σφάλμα όμως μπορεί να συμβαίνει σε μια διακλάδωση της γραμμής η οποία προστατεύεται από κάποιο άλλο μέσο προστασίας για παράδειγμα μια ασφάλεια. Κατά την διάρκεια των επαναφορών το κοντινότερο στο σφάλμα μέσο προστασίας θα ενεργοποιηθεί και θα απομονώσει το τμήμα με το σφάλμα. Ο ΔΙ στην επόμενη επαναφορά δεν θα βλέπει κάποιο σφάλμα και θα παραμείνει κλειστός τροφοδοτώντας τους υπόλοιπους καταναλωτές.

Οι κύκλοι επαναφοράς χρησιμοποιούνται μόνο σε ΔΙ που προστατεύουν εναέριες γραμμές μεταφοράς και όχι υπόγειες γραμμές μεταφοράς. Αυτό γίνεται γιατί στις υπόγειες γραμμές δεν μπορούν να συμβούν παροδικά σφάλματα. Εκεί υπάρχουν αποκλειστικά μόνιμα σφάλματα.

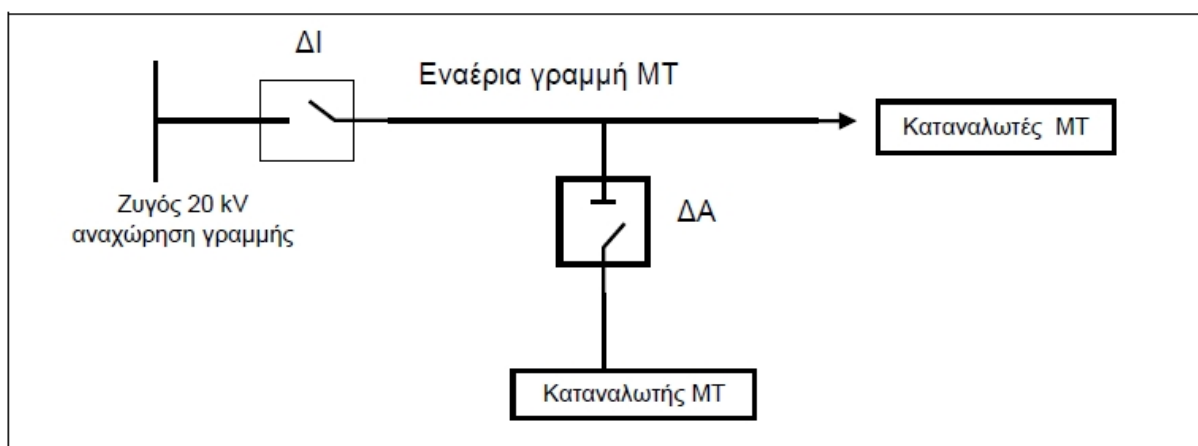
2.4.3 Διακόπτης Απομόνωσης (ΔΑ)

Ο Διακόπτης Απομόνωσης (ΔΑ) στην αγγλική ορολογία αναφέρεται ως «Sectionalizer». Ο ΔΑ μπορεί να ανοίξει και να κλείσει όταν διαρρέεται από ονομαστικό ρεύμα δεν μπορεί όμως να ανοίξει σε περίπτωση βραχυκυκλώματος. Ο ΔΙ μπορεί να «αντιλαμβάνεται» και να «θυμάται» μια υπερένταση λόγω βραχυκυκλώματος καθώς επίσης και την διακοπή που ακολουθεί. Ο ΔΑ

συνεργάζεται με έναν ΔΙ και πιο συγκεκριμένα με τους κύκλους επαναφοράς που εκτελεί αυτός με την βοήθεια του ΗΝ.

Μια βασική ρύθμιση του ΔΑ είναι τα ζεύγη «υπερέντασης – διακοπής» που θα μετρήσει ο ΔΑ και στη συνέχεια θα ανοίξει. Η ρύθμιση μπορεί να πάρει τιμή 1,2,3. Για παράδειγμα αν η ρύθμιση πάρει την τιμή 2 ο ΔΑ θα ανοίξει εφόσον μετρήσει 2 ζεύγη «υπερέντασης – διακοπής». Στην συνέχεια δίνεται ένα παράδειγμα για την κατανόηση της λειτουργίας ενός ΔΑ.

Έστω ότι συμβαίνει κάποιο σφάλμα σε μια εναέρια γραμμή ΜΤ που τροφοδοτεί καταναλωτές και προστατεύεται στην αρχή της από έναν ΔΙ (σχήμα 2,12). Ο ΔΙ μπορεί να εκτελεί κύκλους επαναφοράς σύμφωνα με το σχήμα 2,11. Ας υποθέσουμε τώρα ότι σε μια διακλάδωση της γραμμής υπάρχει καταναλωτής που έχει σαν μέσο προστασίας έναν ΔΑ και ότι το σφάλμα υπάρχει μετά από τον ΔΑ. Στην περίπτωση αυτή, ο ΔΑ αντιλαμβάνεται μια υπερένταση χωρίς όμως να μπορεί να ανοίξει. Ο ΔΙ όμως μετά το σφάλμα θα ανοίξει και θα εκτελέσει τους κύκλους επαναφοράς. Την διακοπή όμως την αντιλαμβάνεται και ο ΔΑ, ο οποίος θυμάται ότι υπήρξε ένα ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής». Ο ΔΙ κλείνει μετά από κάποιο χρόνο ενώ το αρχικό σφάλμα εξακολουθεί να υπάρχει και ο ΔΑ αντιλαμβάνεται και πάλι μια υπερένταση. Στη συνέχεια, ο ΔΙ ξανανοίγει και ο ΔΑ αντιλαμβάνεται μια διακοπή. Ο ΔΑ μετράει τώρα ένα δεύτερο ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής». Εάν ο ΔΑ είναι ρυθμισμένος να ανοίξει αφού μετρήσει 2 ζεύγη «υπερέντασης – διακοπής» τότε ανοίγει κατά το διάστημα που ο ΔΙ είναι ανοιχτός, Σε αντίθεση περίπτωση συνεχίζεται ο κύκλος επαναφοράς μέχρι να μετρήσει ο ΔΑ 3 ζεύγη επαναφοράς, η οποία είναι και η μέγιστη ρύθμιση του.



Σχήμα 2,12: Μονογραμμικό σχέδιο αναχώρησης μιας εναέριας γραμμής ΜΤ

Ο μηχανισμός καταμέτρησης ενός ζεύγους «υπερέντασης – διακοπής» λειτουργεί με τη λογική της μνήμης. Έτσι ο ΔΑ μπορεί να «θυμάται» για κάποιο χρόνο την κατάσταση λειτουργίας του. Αν όμως ο ΔΑ έχει μετρήσει μόνο ένα ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής» και στην συνέχεια σταματήσει να υφίσταται το σφάλμα, ο ΔΑ σε ένα νέο διαφορετικό σφάλμα από το προηγούμενο, το οποίο συμβαίνει μετά από αρκετή ώρα θα μετρήσει ένα δεύτερο ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής», αφού θα «θυμάται» το πρώτο. Έτσι, αν η ρύθμιση είναι στο 2 θα ανοίξει ο ΔΑ ενώ στην πραγματικότητα έχει δημιουργηθεί ένα ζεύγος «υπερέντασης – διακοπής» που αφορά το νέο σφάλμα. Γι' αυτό είναι αναγκαίο να «ξεχνάει» ο ΔΑ μετά από κάποιο χρόνο και να επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται χρόνος επαναφοράς. Επίσης υπάρχει και ο χρόνος ανοίγματος δηλαδή ο χρόνος που θα μεσολαβήσει μέχρι να δοθεί εντολή να ανοίξει ο ΔΑ εφόσον φυσικά έχει μετρήσει τον αριθμό ζευγών στον οποίο έχει ρυθμιστεί.

Κατά το κλείσιμο του διακόπτη, σε ένα κύκλωμα δημιουργείται για πολύ μικρό χρόνο ρεύμα πολλαπλάσιο του ονομαστικού ρεύματος του διακόπτη. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται ρεύμα ζεύξης, το οποίο είναι πολύ μεγάλο όταν υπάρχει κάποιος μετασχηματιστής. Επειδή το ρεύμα αυτό δεν αποτελεί σφάλμα, υπάρχει ρύθμιση ώστε να αμελείται για κάποιο χρόνο και να μην το αντιλαμβάνεται ο ΔΑ ως υπερένταση. Το ρεύμα ζεύξης ρυθμίζεται σε πολλαπλάσια του ονομαστικού ρεύματος του διακόπτη. Μπορεί να πάρει τιμές 1, 2, 4, 6, 8 φορές του ονομαστικού ρεύματος.

Σε ένα ΔΑ υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμιστεί και η τιμή του ρεύματος που θα θεωρηθεί ως σφάλμα από τον διακόπτη. Επειδή έχουμε σφάλματα ως προς γη και σφάλματα μεταξύ φάσεων υπάρχουν αντίστοιχα δυο διαφορετικές ρυθμίσεις: μια ρύθμιση για τα σφάλματα γης και μια για τα σφάλματα μεταξύ φάσεων. Γενικά, η ρύθμιση της έντασης γίνεται με βησματικές αντιστάσεις, οι οποίες τοποθετούνται πάνω στην ηλεκτρονική πλακέτα του ΔΑ. Υπάρχουν πίνακες που δείχνουν το κατάλληλο μέγεθος της αντίστασης που πρέπει να τοποθετηθεί για να ρυθμιστεί το ρεύμα σφάλματος στην επιθυμητή τιμή. Επισημαίνεται ότι το ρεύμα σφάλματος γης ρυθμίζεται σε μικρότερες τιμές σε σχέση με το ρεύμα σφάλματος φάσεων.

Συνοπτικά ένας ΔΑ έχει τις εξής ρυθμίσεις :

- ρύθμιση του αριθμού των ζευγών «υπερέντασης – διακοπής»
- χρόνο μνήμης σε sec που είναι ο χρόνος, που μπορεί ο ΔΑ να «θυμάται»
- χρόνος επαναφοράς σε sec, που είναι ο χρόνος που απαιτείται για να

«ξεχάσει» τις καταμετρήσεις και να έρθει στην αρχική του κατάσταση

- χρόνος ανοίγματος σε κύκλους, ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι να ανοίξει ΔΑ
- ρεύμα ζεύξης που πρέπει να αμεληθεί από τον διακόπτη

Η τάση έχει συχνότητα 50 Hz δηλαδή η κυματομορφή της τάσης επαναλαμβάνεται 50 φορές το δευτερόλεπτο. Έτσι ο χρόνος σε κύκλους δείχνει τους κύκλους που θα κάνει η τάση μέχρι να δοθεί εντολή να ανοίξει ο διακόπτης, και φυσικά είναι κάτω των 50.



Εικόνα 2,4 : Διακόπτης Απομόνωσης με δοχείο Λαδιού τύπου “GN3VE”

Sectionalizer: Διακόπτης Απομόνωσης		
Rated voltage:	Ονομαστική Τάση	27 kV
Impulse withstand voltage (BIL):	Κρουστική Τάση αντοχής του ΔΑ	125 kV
CYRRENT RATING : ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ		
Continuous RMS:	Συνεχή φόρτιση ρεύματος (RMS)	200 A
Maximum Interrupting Current:	Μέγιστο Ρεύμα που μπορεί να διακόψει ο ΔΑ σε RMS Τιμή	440 A
1 Second RMS :	Η τιμή του Ρεύματος που μπορεί να αντέξει για 1 sec	5700 A
Momentary (Max. Asymmetric):	Στιγμιαία τιμή ασύμμετρου ρεύματος	9000 A
Min. Actuating current:		
Phase Resistor:	Ρύθμιση του ρεύματος σφάλματος μεταξύ φάσεων	16 - 640 A
Ground Resistor:	Ρύθμιση του ρεύματος σφάλματος ως προς την γη	3,5 -320 A

Πίνακας 2,2 : Επεξήγηση ονομαστικών στοιχείων

2.4.4 Διακόπτης αυτόματης επαναφοράς (Δ/ΑΕ)

Ένας Δ/ΑΕ συνοδεύεται πάντα μαζί με έναν ηλεκτρονικό <<πίνακα ελέγχου>> ή <<Reclose Controls>>, κατάλληλο για την λειτουργία του διακόπτη. Τα τεχνικά συνεργεία της Δ.Ε.Η. το ονομάζουν <<Controller>>. Από τον Controller γίνονται οι χειρισμοί ηλεκτρονικά για να ανοίξει ή να κλείσει ο διακόπτης. Στον Controller γίνονται όλες οι ρυθμίσεις για τους ΔΙ. Ο Controller περιέχει δηλαδή τους ηλεκτρονόμους του διακόπτη, που ελέγχουν την λειτουργία του διακόπτη και είναι σε θέση να δώσουν εντολή να ανοίξει σε περίπτωση σφάλματος.

Στο κυρίως σώμα του διακόπτη διακρίνει κανείς εύκολα τους μονωτήρες που συνδέονται οι αγωγοί και το χώρο μέσα στον οποίο γίνεται η σβέση του τόξου. Ο διακόπτης παίρνει εντολές από τον Controller για να ανοίξει ή να κλείσει. Ο διακόπτης συνδέεται με τον <<Controller>> με ένα καλώδιο έτσι ώστε να γίνονται οι χειρισμοί του διακόπτη από απόσταση, προσφέροντας ταυτόχρονα και ασφάλεια στους χειριστές. Ένας Δ/ΑΕ μπορεί να είναι είτε μονοφασικός είτε τριπολικός.

2.4.4.1 Τριπολικοί Δ/ΑΕ

Οι τριπολικοί Δ/ΑΕ μπορούν να χωριστούν στους διακόπτες ελαίου και στους ξηρού τύπου με <<κενό>>, οι οποίοι είναι πιο σύγχρονοι.

Στους τριπολικούς Δ/ΑΕ με δοχείο λαδιού διακρίνουμε τους τύπους RE, WE και τον RVE. Οι παραπάνω τύποι διαφέρουν στα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

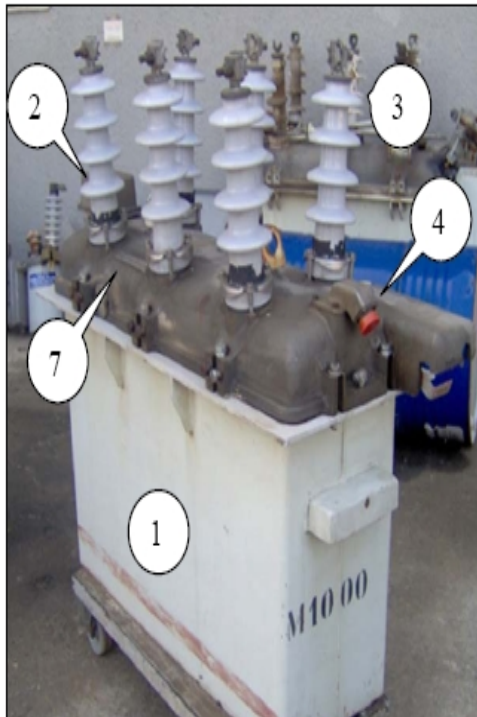
Τεχνικά Χαρακτηριστικά Δ/ΑΕ			
Τύπος Δ/ΑΕ	RE	WE	RVE
Ονομαστική Ένταση	400 A	560 A	400 A
Ονομαστική Τάση	14,4 kV	14,4 kV	34,5 kV
Μέγιστη Ένταση	4000 A	10000 A	6000 A
Συνολικό Βάρος	378 kg	400 kg	390 kg

Πίνακας 2,3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά Δ/ΑΕ

Οι Δ/ΑΕ είναι σε θέση να εκτελούν ξεχωριστά κύκλους επαναφοράς για σφάλματα γης και σφάλματα φάσεων με την βοήθεια, φυσικά, του <<Controller>>. Στον πίνακα ελέγχου μπορούν να ρυθμιστούν τα παρακάτω μεγέθη :

- Η ελάχιστη ένταση διέγερσης για σφάλματα φάσεων και γης χωριστά
- Οι καμπύλες χρονικής καθυστέρησης και στιγμιαίας λειτουργίας
- Ο αριθμός πτώσεων του διακόπτη που θα οφείλεται στο Σ.Λ. και Χ.Κ.
- Οι χρόνοι επανάζευξης
- Ο χρόνος επαναφοράς σε αρχική κατάσταση.

Στους Δ/ΑΕ υπάρχουν και διακόπτες <<δέσμωσης>> κάποιας λειτουργίας δηλαδή προσωρινό σταμάτημα μιας συγκεκριμένης λειτουργίας. Υπάρχουν διακόπτες δέσμωση της επαναφοράς και της λειτουργίας από σφάλματα γης. Όπως φαίνεται από τον πίνακα 2,3 οι Δ/ΑΕ τύπου RE και WE είναι κατάλληλοι μόνο για τα δίκτυα 15 kV ενώ ο RVE τοποθετείται και στα δίκτυα των 15 και 20 kV, αφού εξοπλιστεί με το κατάλληλο πηνίο ζεύξης. Γενικά όλοι οι Δ/ΑΕ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε χαμηλότερες τάσεις από την ονομαστική, εφόσον εξοπλιστεί με το κατάλληλο πηνίο ζεύξης. Στους τύπους του πίνακα 2,3 το πηνίο ζεύξης είναι αυτό που θα δώσει την <<εντολή>> στο ελατήριο των επαφών του διακόπτη για να κλείσουν ή να ανοίξουν οι επαφές. Το πηνίο αυτό τροφοδοτείται απευθείας από την τάση του δικτύου MT. Έτσι για να μπορέσει να λειτουργήσει ο διακόπτης πρέπει το πηνίο αυτό να έχει μόνιμα τάση, την οποία παίρνει από την μια πλευρά του δικτύου που υπάρχει η τάση. Αυτό σημαίνει ότι ο διακόπτης πρέπει να τοποθετηθεί με συγκεκριμένο τρόπο έτσι ώστε οι αγωγοί που φέρουν τάση να βρίσκονται από την πλευρά όπου τροφοδοτείται το πηνίο ζεύξης. Γι' αυτό τον λόγο υπάρχει ειδική ένδειξη πάνω στο καπάκι του διακόπτη, που δείχνει τις επαφές που πρέπει να μπουν οι αγωγοί που φέρουν τάση. Στην αντίθετη περίπτωση το πηνίο δεν θα είναι υπό τάση και δεν θα μπορέσει να λειτουργήσει ο διακόπτης.



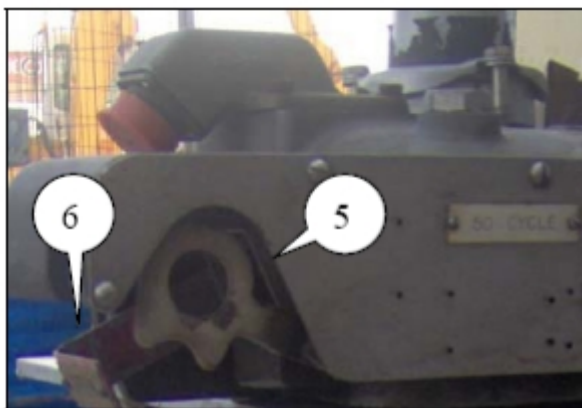
Εικόνα 2,5 : ΔΑ/Ε τύπου RVE



Εικόνα 2,6 : Ονομαστική Πινακίδα Δ/ΑΕ RVE

Ονομαστικά Στοιχεία RVE	
Ονομαστική Τάση	38 kV
Ονομαστική Ένταση	400 A
Μέγιστη Ένταση	6000 A
Μέγιστη Τάση Αντοχής Μόνωσης (BIL)	150 kV
Ονομαστική Συχνότητα	50 Hz (CYCLE)

Πίνακας 2,4 : Ονομαστικά Στοιχεία



Εικόνα 2,7 ΔΑ/Ε τύπου RVE



Εικόνα 2,8 ΔΑ/Ε τύπου RVE

Στην εικόνα 2,5 φαίνεται ένας παλιός Δ/ΑΕ της εταιρίας Mc-Graw Edison τύπου RVE. Επίσης φαίνεται (εικόνα 2,5) το δοχείο λαδιού (1), οι μονωτήρες-ακροδέκτες (2), στο πάνω μέρος των οποίων συνδέονται οι τρεις φάσεις του δικτύου που βρίσκονται υπό τάση και οι μονωτήρες, στους οποίους θα συνδεθούν οι τρεις φάσεις που θέλουμε να τροφοδοτήσουμε (3). Στο κόκκινο καπάκι (4) που φαίνεται στην εικόνα υπάρχει μια υποδοχή για να συνδεθεί με ένα καλώδιο ο Controller. Στην εικόνα 2,8 και εικόνα 2,5

φαίνεται η προειδοποιητική πινακίδα για τους ακροδέκτες στους οποίους πρέπει να συνδεθούν οι αγωγοί υπό τάση (7).

Σε όλους τους Δ/ΑΕ υπάρχει και χειροκίνητη λειτουργία του διακόπτη σε περίπτωση που ο Controller πάθει κάποια βλάβη. Επίσης υπάρχει ένδειξη για την κατάσταση του διακόπτη <<OPEN>>, <<CLOSE>>. Στην εικόνα 2,7 φαίνεται η λαβή για την χειροκίνητη λειτουργία (5) καθώς επίσης και η ένδειξη <<OPEN>>, <<CLOSE>> (6).

Τέλος υπάρχει σύστημα το οποίο στέλνει πληροφορίες για την κατάσταση του διακόπτη ανοιχτός ή κλειστός σε διάφορα σημεία (π.χ. σε έναν υποσταθμό).

Ένας άλλος Δ/ΑΕ που έχει ακριβώς τις ίδιες λειτουργίες αλλά έχει διαφορετικό σχήμα φαίνεται παρακάτω. Ο διακόπτης είναι της εταιρίας Cooper και ο τύπος του διακόπτη είναι KFVME με ονομαστικά στοιχεία :

Ονομαστικά Στοιχεία ΚΡνΜΕ	
Ονομαστική Τάση	27 kV
Ονομαστική Ένταση	500 A
Μέγιστη Ένταση	8000 A
Μέγιστη Τάση Αντοχής Μόνωσης (BIL)	125 kV
Ονομαστική Συχνότητα	50 Hz (CYCLE)

Πίνακας 2,5 : Ονομαστικά Στοιχεία



Εικόνα 2,9 : Κυλινδρικός Δ/ΑΕ τύπου ΚFVME

2.4.4.2 Δ/ΑΕ Ξηρού τύπου

Ένας νέος τύπος Δ/ΑΕ είναι ο <<Nova 27>> της Cooper. Ο διακόπτης είναι ξηρού τύπου με μπουκάλες <<κενού>>. Ο διακόπτης αυτός χρησιμοποιεί το κενό για την σβέση του τόξου αντί λάδι. Έχει και αυτός τις ίδιες ακριβώς λειτουργίες, όπως οι προηγούμενοι. Μια λειτουργική διαφορά είναι ότι εδώ δεν παίζει ρόλο σε ποια πλευρά θα τοποθετηθούν οι αγωγοί των φάσεων που βρίσκονται υπό τάση. Αυτό γίνεται επειδή η λειτουργία του τύπου αυτού δεν εξαρτάται από το πηνίο ζεύξης αλλά από ένα μικρό κινητήρα, ο οποίος ανοίγει και κλείνει τις επαφές. Ο κινητήρας τροφοδοτείται από ξεχωριστό κύκλωμα χαμηλής τάσης απευθείας από τον Controller του διακόπτη.

Παρατηρείται επίσης ότι δεν είναι τόσο μεγάλος όσο ο RVE και ο χώρος που γίνεται η σβέση του τόξου είναι πολύ μικρότερος από πριν. Αυτό οφείλεται στις καλύτερες μονωτικές ιδιότητες του κενού από τα μονωτικά λάδια. Ένας διακόπτης κενού είναι πιο οικολογικός και δεν υπάρχει περίπτωση να εκραγεί όπως ένας διακόπτης λαδιού ρυπαίνοντας τον χώρο που βρίσκεται. Στους διακόπτες λαδιού πρέπει να γίνεται κάθε 2 - 3 χρόνια έλεγχος των μονωτικών ιδιοτήτων του λαδιού. Γενικά όλοι οι διακόπτες ξηρού δεν απαιτούν πολύ μεγάλη συντήρηση όπως οι λαδιού, βέβαια είναι ακριβότεροι από τους διακόπτες λαδιού.



Εικόνα 2,10 : Δ/ΑΕ ξηρού τύπου
"Nova 27"



Εικόνα 2,11 : Ονομαστικά στοιχεία Δ/ΑΕ
"Nova 27"

2.4.4.3 Μονοπολικό Δ/ΑΕ

Οι μονοπολικοί διακόπτες συνδέονται ο κάθε ένας σε μια φάση και λειτουργούν ανεξάρτητα από τους διακόπτες των άλλων δύο φάσεων. Έτσι σε ένα μονοφασικό σφάλμα λειτουργεί μόνο ο αντίστοιχος Δ/ΑΕ της φάσης, που υπάρχει το σφάλμα. Με αυτό τον τρόπο διακόπτεται μόνο η μία φάση και ενοχλούνται μόνο οι καταναλωτές της φάσης αυτής ενώ οι καταναλωτές που συνδέονται στις άλλες δύο φάσεις συνεχίζουν να βρίσκονται υπό τάση. Ωστόσο σε μόνιμο σφάλμα μπορούν να πέσουν και οι τρεις διακόπτες όταν είναι εφοδιασμένοι με μηχανισμό που παρασέρνει σε πτώση και τους υπόλοιπους.

Στους μονοφασικούς Δ/ΑΕ η ανίχνευση και διερεύνηση των σφαλμάτων γίνεται ξεχωριστά για κάθε μια φάση χωρίς όμως να γίνεται διαχωρισμός σφαλμάτων μεταξύ φάσεων και γης.

Οι μονοπολικοί Δ/ΑΕ σε αντίθεση με τους τριπολικούς δεν διαθέτουν ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου δηλαδή δεν έχουν πίνακα ελέγχου (Controller) αλλά διαθέτουν υδραυλικό σύστημα ελέγχου. Η υπερένταση ανιχνεύεται από ένα σωληνοειδές πηνίο, το οποίο βρίσκεται σε σειρά με το κύκλωμα ισχύος απ' όπου περνάει το ρεύμα του φορτίου και το ρεύμα σφάλματος. Το ονομαστικό ρεύμα του διακόπτη, η ένταση διέγερσης καθώς και η ικανότητα διακοπής εξαρτώνται από την ονομαστική τιμή του πηνίου.

Το σύστημα ελέγχου λειτουργεί με το λάδι του Δ/ΑΕ. Ένας πολύπλοκος μηχανισμός βαλβίδων λαβύρινθων και εμβόλων ρυθμίζει την ταχύτητα ροής του λαδιού και με τον μηχανισμό αυτό μπορούν να ελεγχθούν :

Η χαρακτηριστική καμπύλη έντασης - χρόνου του διακόπτη

- Ο χρόνος επανάξευξης που είναι 1,5 sec
- Ο αριθμός λειτουργιών με Σ.Λ. και Χ.Κ.
- Ο αριθμός λειτουργιών για τελική πτώση του διακόπτη
- Ο χρόνος επαναφοράς σε αρχική κατάσταση

Στον πίνακα 2,6 δίνονται τα ονομαστικά στοιχεία μονοφασικών Δ/ΑΕ τύπου Ε που χρησιμοποιούνται από την Δ.Ε.Η. :

Ονομαστικά Στοιχεία Μονοφασικού Δ/ΑΕ	
Ονομαστική Τάση	24,9 kV
Ονομαστική Ένταση	50 και 70 A
Ένταση Διέγερσης	100 και 140 A
Μέγιστη Έντασης Διακοπής	2500 A



Πίνακας 2,6 : Ονομαστικά στοιχεία Δ/ΑΕ τύπου Ε

Κεφάλαιο 3^ο

Μελέτη βραχυκύκλωσης σε πραγματική γραμμή ΜΤ

3.1 Γενικά σχόλια

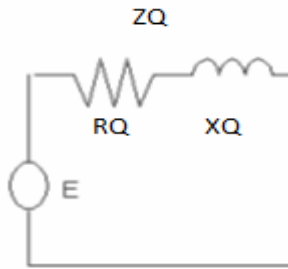
Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει μελέτη βραχυκύκλωσης σε πραγματική γραμμή μέσης τάσης η οποία βρίσκεται στην πάτρα και συγκεκριμένα την περιοχή του προαστίου και στις γύρο περιοχές (σχήμα 3,11-3,12). Θα υπολογίσουμε το μέγιστο τριφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης ($I_{k3p}Max$), το ελάχιστο τριφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης ($I_{k3p}Min$), και τα αντίστοιχα μονοφασικά ρεύματα βραχυκύκλωσης ($I_{k1p}Max, I_{k1p}Min$). Επίσης θα υπολογίσουμε τα αντίστοιχα ρεύματα στο σημείο αθλητικό μέλαθρο πατρών και στο σημείο 3 Δ (σχήμα 3,10) λίγο μετά τον μετασχηματιστή.

3.2 Υπολογισμός ρευμάτων

- Μέγιστο τριφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης της γραμμής ($I_{k3p}Max$)

$$\underline{I_{k3p}Max}$$

Αποδεικνύουμε ότι το μέγιστο τριφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης εμφανίζεται μετά τον Μ/Σ



Σχήμα 3,1 : Κύκλωμα θετικής και αρνητικής ακολουθίας στον Μ/Σ

Στοιχεία Μ/Σ : 150/20 kV, $S_n=66$ MVA, $S_{kQ}=250$ MVA, $P_k=396$ kW

$$Z_Q = 1,1 \frac{U_{nQ}^2}{S_{kQ}} = 1,1 \frac{20000^2}{250 * 10^6} = 1,1 \frac{400 * 10^6}{250 * 10^6} = 1,1 * 1,6 = 1,76(\Omega)$$

$$X_Q = 0,995 * Z_Q = 0,995 * 1,76 = 1,751(\Omega)$$

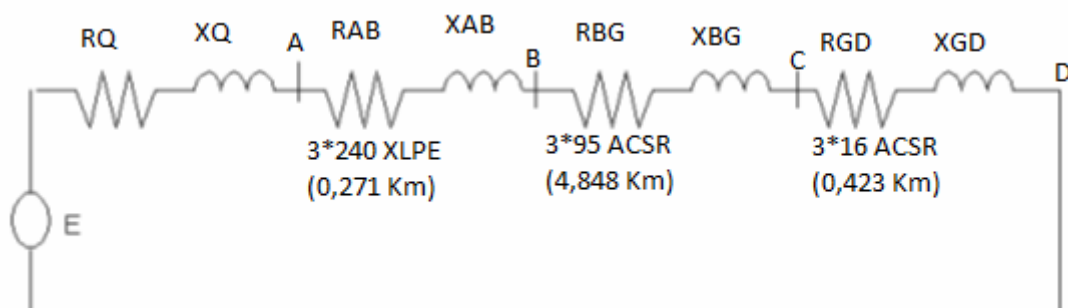
$$R_Q = 0,1 * X_Q = 0,1 * 1,751 = 0,175(\Omega)$$

$$I_{k3p}^{Max} = 1,1 \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}}}{Z_Q} = 1,1 \frac{1,73}{1,76} = 1,1 * 6.560,798 = 7.216,878(A)$$

– Ελάχιστο τριφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης της γραμμής (I_{k3p}^{Min})

$$\underline{I_{k3p}^{Min}}$$

Αποδεικνύουμε ότι το ελάχιστο τριφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης εμφανίζεται στο σημείο 25 Γ (σχήμα 3,10)



Σχήμα 3,2 : Κύκλωμα θετικής και αρνητικής ακολουθίας για βραχυκύκλωμα στο σημείο D

$$R_{AB} = R_{3*240XLPE} (\Omega / Km) * L_{AB} (Km) = 0,162 * 0,271 = 0,0439(\Omega)$$

$$X_{AB} = X_{3*240XLPE} (\Omega / Km) * L_{AB} (Km) = 0,115 * 0,271 = 0,0311(\Omega)$$

$$R_{BG} = R_{3*95ACSR} (\Omega / Km) * L_{BG} (Km) = 0,215 * 4,848 = 1,0423(\Omega)$$

$$X_{BG} = X_{3*95ACSR} (\Omega / Km) * L_{BG} (Km) = 0,334 * 4,848 = 1,6192(\Omega)$$

$$R_{GD} = R_{3*16ACSR} (\Omega / Km) * L_{GD} (Km) = 1,268 * 0,423 = 0,5363(\Omega)$$

$$X_{GD} = X_{3*16ACSR} (\Omega / Km) * L_{GD} (Km) = 0,422 * 0,423 = 0,1785(\Omega)$$

$$Z = \sqrt{(R_Q + R_{AB} + R_{BG} + R_{GD})^2 + (X_Q + X_{AB} + X_{BG} + X_{GD})^2} =$$

$$= \sqrt{(0,175 + 0,0439 + 1,0423 + 0,5363)^2 + (1,751 + 0,0311 + 1,6192 + 0,1785)^2} =$$

$$= Z_1 = \sqrt{1,7975^2 + 3,5798^2} = \sqrt{3,2310 + 12,8149} = \sqrt{16,0459} = 4,0057(\Omega)$$

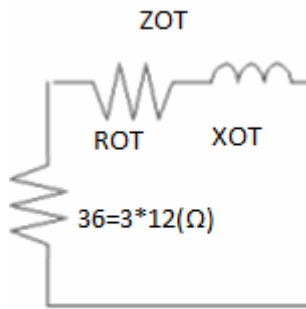
$$Z_1 = 1,7975 + j3,5798(\Omega)$$

$$I_{k3p}^{Min} = 1,1 \frac{20000}{Z} = 1,1 \frac{20000}{4,0057} = 1,1 * \frac{11.547}{4,0057} = 1,1 * 2.882,6422 = 3.170,9064(A)$$

– **Μέγιστο μονοφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης της γραμμής (I_{k1p}^{Max})**

$$\underline{I_{k1p}^{Max}}$$

Αποδεικνύουμε ότι το μέγιστο μονοφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης εμφανίζεται μετά τον Μ/Σ



Σχήμα 3,3 : Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας στον Μ/Σ

$$I_{k1p}^{Max} = \frac{3E}{|2Z_1 + Z_0|}$$

$$Z_{0T} = U_K \frac{U_N^2}{S_N} = 0,15 \frac{20000^2}{66 * 10^6} = 0,15 \frac{400 * 10^6}{66 * 10^6} = 0,15 * 6,0606 = 0,909(\Omega)$$

$$R_{0T} = P_K \frac{U_N^2}{S_n^2} = 396 * 10^3 \frac{20000^2}{(66 * 10^6)^2} = 396 * 10^3 * 0,9182 * 10^{-7} = 396 * 0,9182 * 10^{-4} =$$

$$= 0,0363(\Omega)$$

$$X_{0T} = \sqrt{0,909^2 - 0,0363^2} = \sqrt{0,826281 - 0,0131769} = \sqrt{0,8131} = 0,9017(\Omega)$$

$$I_{k1p}^{Max} = 1,1 \frac{3 * \frac{20000}{\sqrt{3}}}{|2Z_1 + Z_0|} = 1,1 \frac{3 * \frac{20000}{1,73}}{\sqrt{(2 * 0,175 + 36 + 0,0363)^2 + (2 * 1,751 + 0,9017)^2}} =$$

$$= 1,1 \frac{3 * \frac{20000}{1,73}}{\sqrt{(0,3502 + 36 + 0,0363)^2 + (3,502 + 0,9017)^2}} = 1,1 \frac{\frac{60000}{1,73}}{\sqrt{(36,3865)^2 + (4,1037)^2}} =$$

$$= 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{(36,3865)^2 + (4,1037)^2}} = 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{1.323,9773 + 16,8403}} =$$

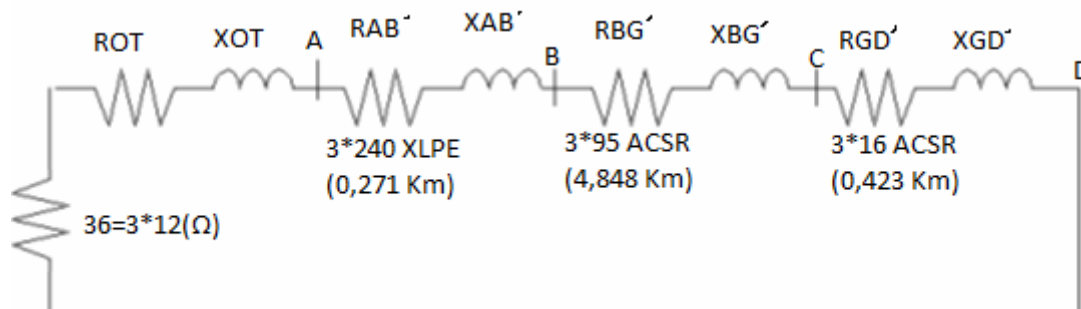
$$= 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{1.340,8176}} = 1,1 \frac{34.682,0809}{36,6171} = 1,1 * 947,1553 = 1.041,8708(A)$$

$$Z_1 = 1,7975 + j3,5798(\Omega)$$

- Ελάχιστο μονοφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης της γραμμής ($I_{k1p} Min$)

$$\underline{I_{k1p} Min}$$

Αποδεικνύουμε ότι το ελάχιστο μονοφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης εμφανίζεται στο σημείο 25 Γ (σχήμα 3,10)



Σχήμα 3,4 : Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας για μονοπολικό βραχυκύκλωμα στο σημείο D

$$'R_{AB} = \text{υπόγειο} = 0,764(\Omega / Km) * 0,271(Km) = 0,207(\Omega)$$

$$'X_{AB} = \text{υπόγειο} = 0,291(\Omega / Km) * 0,271(Km) = 0,078(\Omega)$$

$$'R_{BG} = 3,3 * R_{BG} = 3,3 * 1,0423 = 3,4395(\Omega)$$

$$'X_{BG} = 3,3 * X_{BG} = 3,3 * 1,6192 = 5,3433(\Omega)$$

$$'R_{GD} = 3,3 * R_{GD} = 3,3 * 0,5363 = 1,7697(\Omega)$$

$$'X_{GD} = 3,3 * X_{GD} = 3,3 * 0,1785 = 0,589(\Omega)$$

$$R_{0T} = 0,0363(\Omega)$$

$$X_{0T} = 0,9017(\Omega)$$

$$Z_0 = (36 + 'R_{AB} + 'R_{BG} + 'R_{GD}) + j('X_{0T} + 'X_{AB} + 'X_{BG} + 'X_{GD}) =$$

$$= (36 + 0,0363 + 0,207 + 3,4395 + 1,7697) + j(0,9017 + 0,078 + 5,3433 + 0,589) =$$

$$= 41,4525 + j6,912(\Omega)$$

$$Z_0 = 41,4525 + j6,912(\Omega)$$

$$Z_1 = 1,7975 + j3,5798(\Omega)$$

$$I_{k1p} Min = 1,1 \frac{3 * \frac{20000}{\sqrt{3}}}{|2Z_1 + Z_0|} = 1,1 \frac{60000}{1,73} =$$

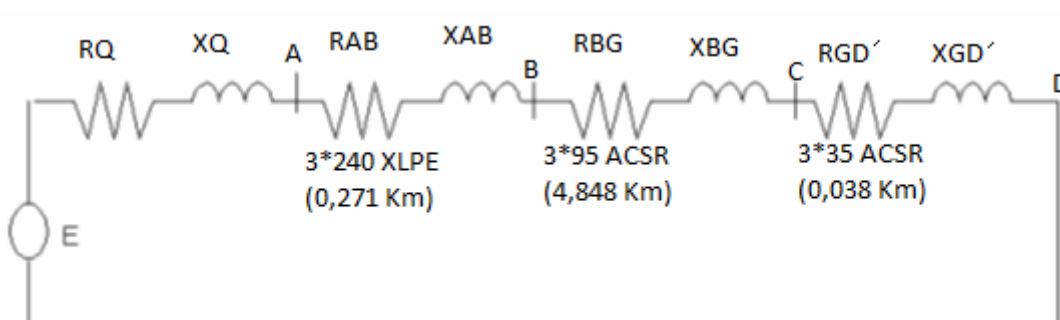
$$= 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{(3,595 + 41,4525)^2 + (7,1596 + 6,912)^2}} = 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{45.0475^2 + 14.0716^2}} =$$

$$= 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{2.029,2772 + 198,0099}} = 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{2.227,2871}} = 1,1 \frac{34.682,0809}{47,1941} =$$

$$= 1,1 * 734,8817 = 808,3698(A)$$

- Τριφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης στο αθλητικό μέλαθρο πατρών που βρίσκεται στο σημείο 23 Α σχήμα 3,10 ($I_{k3p(23A)}$)

$I_{k3p(23A)}$ Αθλητικό Μέλαθρο Πατρών



Σχήμα 3,5 : Κύκλωμα θετικής και αρνητικής ακολουθίας για βραχυκύκλωμα στο σημείο D

$$R_Q = 0,175(\Omega)$$

$$X_Q = 1,751(\Omega)$$

$$R_{AB} = R_{3*240XLPE}(\Omega / Km) * L_{AB}(Km) = 0,162 * 0,271 = 0,0439(\Omega)$$

$$X_{AB} = X_{3*240XLPE}(\Omega / Km) * L_{AB}(Km) = 0,115 * 0,271 = 0,0311(\Omega)$$

$$R_{BG} = R_{3*95ACSR}(\Omega / Km) * L_{BG}(Km) = 0,215 * 4,848 = 1,0423(\Omega)$$

$$X_{BG} = X_{3*95ACSR}(\Omega / Km) * L_{BG}(Km) = 0,334 * 4,848 = 1,6192(\Omega)$$

$$R_{GD}' = R_{3*35ACSR}(\Omega / Km) * L_{GD}'(Km) = 0,576 * 0,038 = 0,0218(\Omega)$$

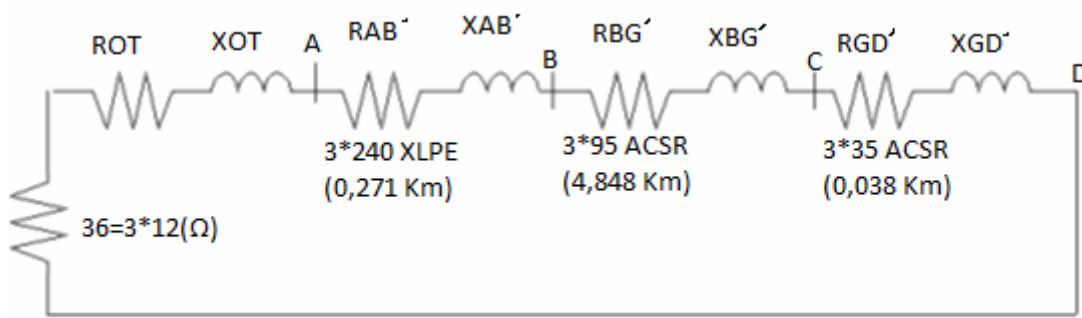
$$X_{GD}' = X_{3*35ACSR}(\Omega / Km) * L_{GD}'(Km) = 0,397 * 0,038 = 0,015(\Omega)$$

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{(R_Q + R_{AB} + R_{BG} + R_{GD}')^2 + (X_Q + X_{AB} + X_{BG} + X_{GD}')^2} = \\ &= \sqrt{(0,175 + 0,0439 + 1,0423 + 0,0218)^2 + (1,751 + 0,0311 + 1,6192 + 0,015)^2} = \\ &= \sqrt{1,283^2 + 3,4163^2} = \sqrt{1,646 + 11,6711} = \sqrt{13,3171} = 3,6492(\Omega) \end{aligned}$$

$$I_{k3p(23A)} = 1,1 \frac{20000}{Z} = 1,1 \frac{20000}{3,6492} = 1,1 \frac{11.547}{3,6492} = 1,1 * 3.480,68 = 3828,748(A)$$

- Μονοφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης στο αθλητικό μέλαθρο πατρών που βρίσκεται στο σημείο 23 Α σχήμα 3,10 ($I_{k1p(23A)}$)

$$\underline{I_{k1p(23A)}} \text{ Αθλητικό Μέλαθρο Πατρών}$$



Σχήμα 3,6 : Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας για μονοπολικό βραχυκύκλωμα στο σημείο D

$$'R_{AB} = \text{υπόγειο} = 0,764(\Omega / Km) * 0,271(Km) = 0,207(\Omega)$$

$$'X_{AB} = \text{υπόγειο} = 0,291(\Omega / Km) * 0,271(Km) = 0,078(\Omega)$$

$$'R_{BG} = 3,3 * R_{BG} = 3,3 * 1,0423 = 3,4395(\Omega)$$

$$'X_{BG} = 3,3 * X_{BG} = 3,3 * 1,6192 = 5,3433(\Omega)$$

$$'R_{GD} = 3,3 * R_{GD} = 3,3 * 0,0218 = 0,0719(\Omega)$$

$$'X_{GD} = 3,3 * X_{GD} = 3,3 * 0,15 = 0,0495(\Omega)$$

$$R_{0T} = 0,0363(\Omega)$$

$$X_{0T} = 0,9017(\Omega)$$

$$Z_0 = (36 + 'R_{AB} + 'R_{BG} + 'R_{GD}) + j('X_{0T} + 'X_{AB} + 'X_{BG} + 'X_{GD}) =$$

$$= (36 + 0,0363 + 0,207 + 3,4395 + 0,0719) + j(0,9017 + 0,078 + 5,3433 + 0,0495) =$$

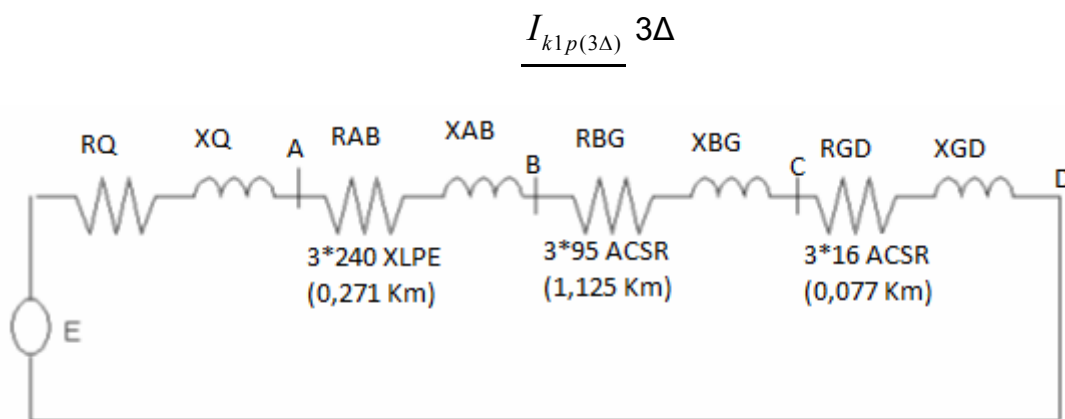
$$= 39,7547 + j6,3815(\Omega)$$

$$Z_0 = 39,7547 + j6,3815(\Omega)$$

$$Z_1 = 1,283 + j3,4163(\Omega)$$

$$\begin{aligned}
I_{k1p(23A)} &= 1,1 \frac{3 * \frac{20000}{\sqrt{3}}}{|2Z_1 + Z_0|} = 1,1 \frac{\frac{60000}{1,73}}{\sqrt{(2 * 1,283 + 39,7547)^2 + (2 * 3,4163 + 6,3815)^2}} = \\
&= 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{(2,566 + 39,7547)^2 + (6,8326 + 6,3815)^2}} = 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{42,3207^2 + 13,2141^2}} = \\
&= 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{1.791,0416 + 174,6124}} = 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{1.965,654}} = 1,1 \frac{34.682,0809}{44,3356} = \\
&= 1,1 * 782,2625 = 860,4888(\text{A})
\end{aligned}$$

- Μονοφασικό ρεύμα βραχυκύκλωσης στο σημείο 3 Δ του σχήματος 3,10 ($I_{k1p(3\Delta)}$)



Σχήμα 3,7 : Κύκλωμα θετικής και αρνητικής ακολουθίας για βραχυκύκλωμα στο σημείο D

$$Z_Q = 1,1 \frac{U_{nq}^2}{S_{kQ}} = 1,1 \frac{20000^2}{250 * 10^6} = 1,1 \frac{400 * 10^6}{250 * 10^6} = 1,1 * 1,6 = 1,76(\Omega)$$

$$X_Q = 0,995 * Z_Q = 0,995 * 1,76 = 1.751(\Omega)$$

$$R_Q = 0,1 * X_Q = 0,1 * 1,751 = 0,175(\Omega)$$

$$R_{AB} = R_{3*240.XLPE} (\Omega / Km) * L_{AB} (Km) = 0,162 * 0,271 = 0,0439(\Omega)$$

$$X_{AB} = X_{3*240.XLPE} (\Omega / Km) * L_{AB} (Km) = 0,115 * 0,271 = 0,0311(\Omega)$$

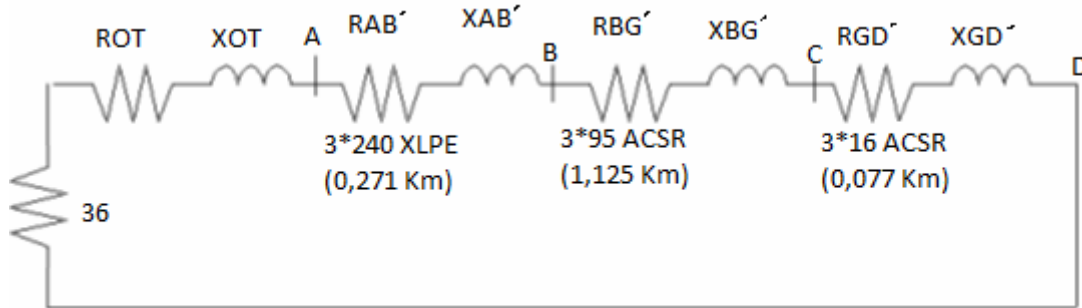
$$R_{BG} = R_{3*95.ACSR} (\Omega / Km) * L_{BG} (Km) = 0,215 * 1,125 = 0,241(\Omega)$$

$$X_{BG} = X_{3*95.ACSR} (\Omega / Km) * L_{BG} (Km) = 0,334 * 1,125 = 0,375(\Omega)$$

$$R_{GD} = R_{3*16.ACSR} (\Omega / Km) * L_{GD} (Km) = 1,268 * 0,077 = 0,097(\Omega)$$

$$X_{GD} = X_{3*16.ACSR} (\Omega / Km) * L_{GD} (Km) = 0,422 * 0,077 = 0,032(\Omega)$$

$$\begin{aligned} Z &= \sqrt{(R_Q + R_{AB} + R_{BG} + R_{GD})^2 + (X_Q + X_{AB} + X_{BG} + X_{GD})^2} = \\ &= \sqrt{(0,175 + 0,0439 + 0,241 + 0,097)^2 + (1,751 + 0,0311 + 0,375 + 0,032)^2} = \\ &= Z_1 = \sqrt{0,5569^2 + 2,1891^2} = \sqrt{0,3101 + 4,7921} = \sqrt{5,1022} = 2,2588(\Omega) \end{aligned}$$



Σχήμα 3,8 : Κύκλωμα μηδενικής ακολουθίας για μονοπολικό βραχυκύκλωμα στο σημείο D

$$'R_{AB} = \text{υπόγειο} = 0,764(\Omega / Km) * 0,271(Km) = 0,207(\Omega)$$

$$'X_{AB} = \text{υπόγειο} = 0,291(\Omega / Km) * 0,271(Km) = 0,0788(\Omega)$$

$$'R_{BG} = 3,3 * R_{BG} = 3,3 * 0,241 = 0,7953(\Omega)$$

$$'X_{BG} = 3,3 * X_{BG} = 3,3 * 0,375 = 1,2375(\Omega)$$

$$'R_{GD} = 3,3 * R_{GD} = 3,3 * 0,097 = 0,3201(\Omega)$$

$$'X_{GD} = 3,3 * X_{GD} = 3,3 * 0,032 = 0,1056(\Omega)$$

$$R_{0T} = 0,0363(\Omega)$$

$$X_{0T} = 0,9017(\Omega)$$

$$Z_0 = (36 + 'R_{AB} + 'R_{BG} + 'R_{GD}) + j('X_{0T} + 'X_{AB} + 'X_{BG} + 'X_{GD}) =$$

$$= (36 + 0,0363 + 0,207 + 0,7953 + 0,3201) + j(0,9017 + 0,0788 + 1,2375 + 0,1056) =$$

$$= 37,3587 + j2,3236(\Omega)$$

$$I_{k1p(3\Delta)} = 1,1 \frac{3 * \frac{20000}{\sqrt{3}}}{|2Z_1 + Z_0|} = 1,1 \frac{\frac{60000}{1,73}}{\sqrt{(2 * 0,5569 + 37,3587)^2 + (2 * 2,1891 + 2,3236)^2}} =$$

$$= 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{(1,1138 + 37,3587)^2 + (4,3782 + 2,3236)^2}} = 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{38,4725^2 + 6,7018^2}} =$$

$$= 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{1.480,1332 + 44,9141}} = 1,1 \frac{34.682,0809}{\sqrt{1.525,0473}} = 1,1 \frac{34.682,0809}{39,0518} =$$

$$= 1,1 * 888,1045 = 976,9149(A)$$

3.3 Συμπεράσματα

– Ρυθμίσεις διακόπτη απομόνωσης αθλητικό μέλαθρο πατρών:

α) Ρεύμα φορτίου:

$$I_N = \frac{2400000}{\sqrt{3} * 20000} = 69,282(\text{A})$$

$$I_{k3p} = 3.480,68(\text{A})$$

$$I_{k1p} = 860,4888(\text{A})$$

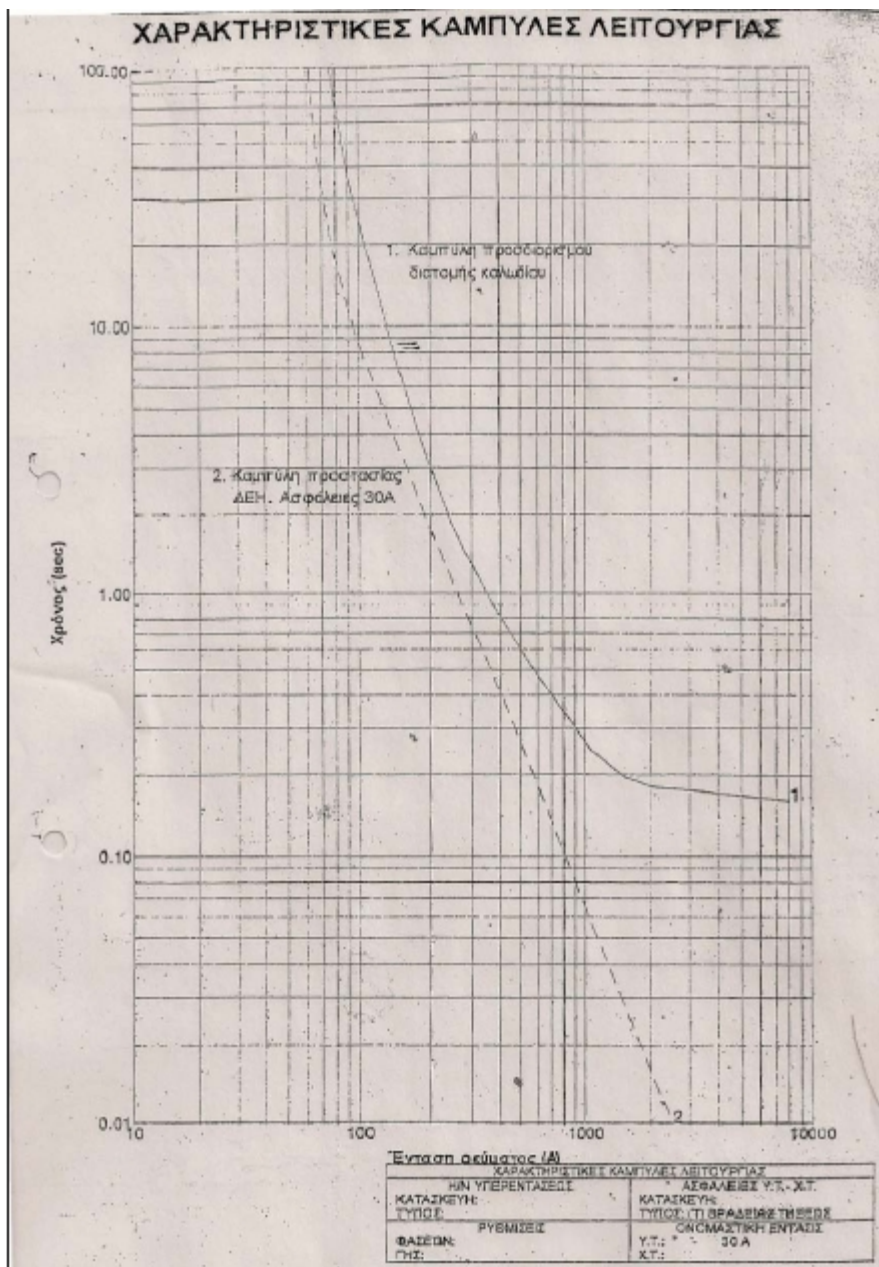
β) Ρεύμα ζεύξης λόγο Μ/Σ :

$$10 * I_N = 692,82(\text{A})$$

Σύμφωνα με τον ΔΑ που αναγράφεται στον παρακάτω πίνακα και βάση των υπολογισμών μας στο αθλητικό μέλαθρο πατρών ο ΔΑ θα διακόψει την γραμμή ΜΤ άμα γίνει βραχυκύκλωμα στο σημείο αυτό

Sectionalizer: Διακόπτης Απομόνωσης		
Rated voltage:	Ονομαστική Τάση	27 kV
Impulse withstand voltage (BIL):	Κρουστική Τάση αντοχής του ΔΑ	125 kV
CYRRENT RATING: ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΑ ΡΕΥΜΑΤΑ		
Continuous RMS:	Συνεχή φόρτιση ρεύματος (RMS)	200 A
Maximum Interrupting Current:	Μέγιστο Ρεύμα που μπορεί να διακόψει ο ΔΑ σε RMS Τιμή	440 A
1 Second RMS :	Η τιμή του Ρεύματος που μπορεί να αντέξει για 1 sec	5700 A
Momentary (Max. Asymmetric):	Στιγμιαία τιμή ασύμμετρου ρεύματος	9000 A
Min. Actuating current:		
Phase Resistor:	Ρύθμιση του ρεύματος σφάλματος μεταξύ φάσεων	16 - 640 A
Ground Resistor:	Ρύθμιση του ρεύματος σφάλματος ως προς την γη	3,5 -320 A

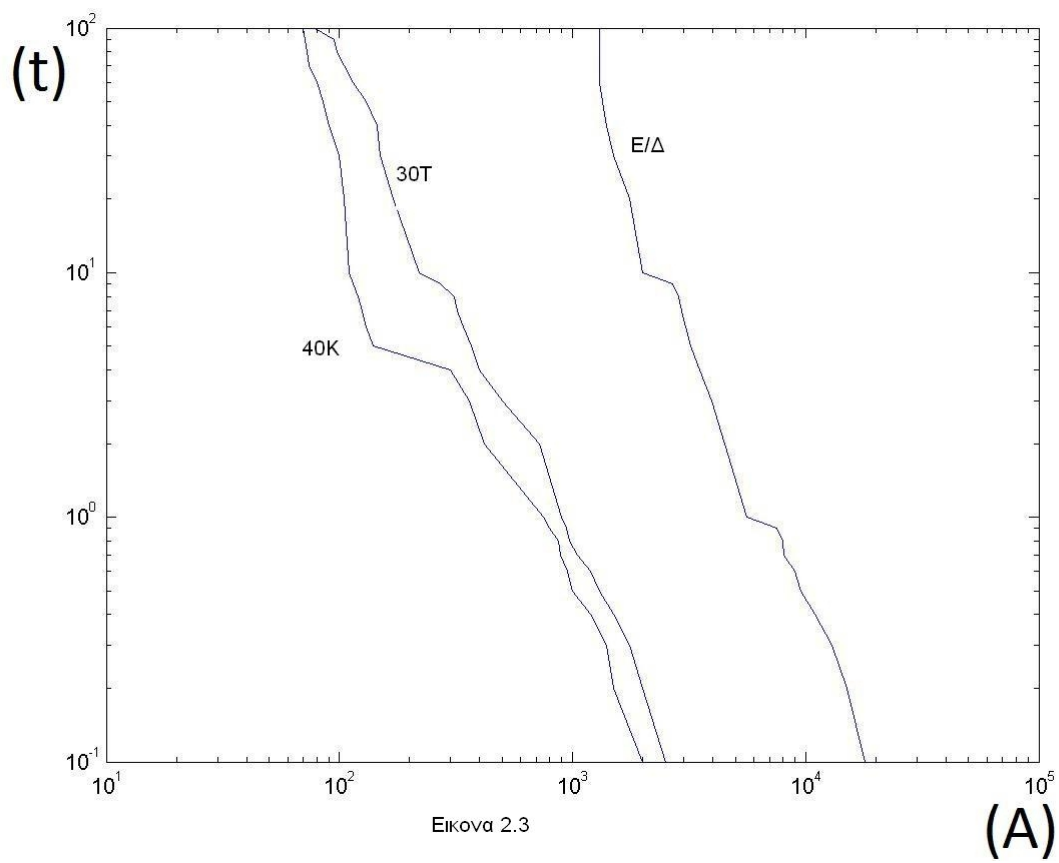
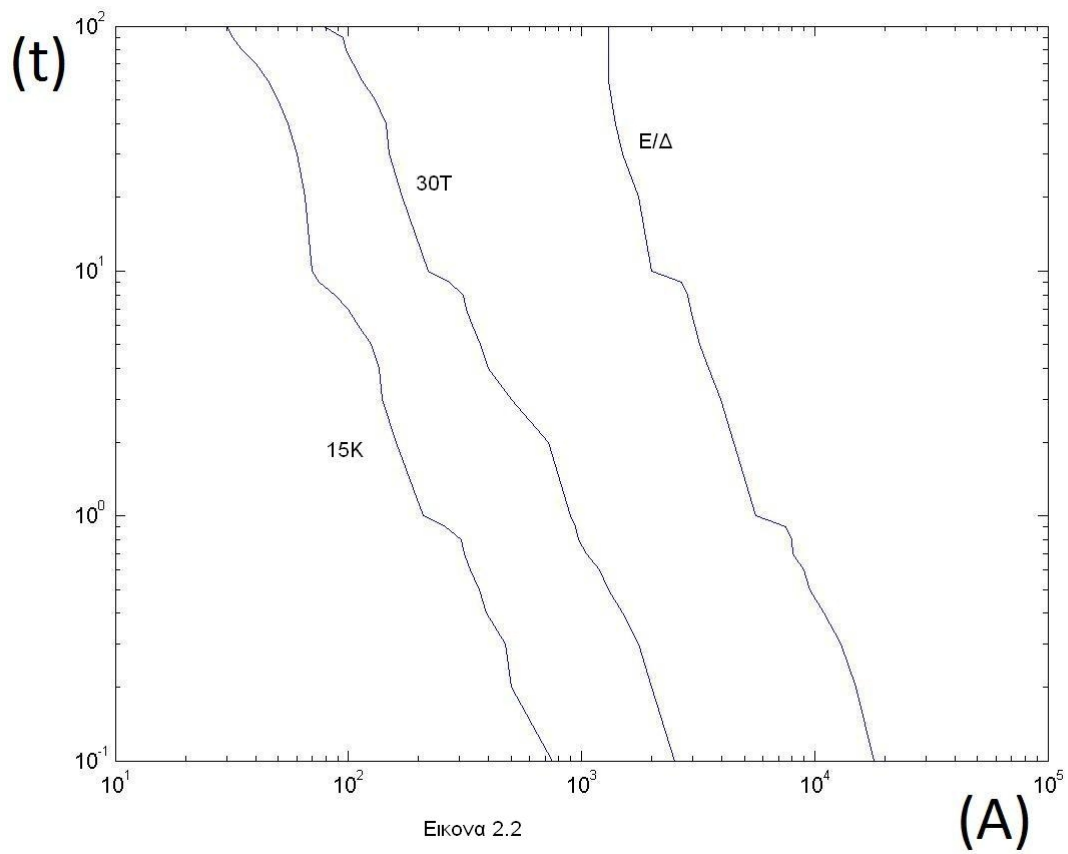
Πίνακας 3,1 : Επεξήγηση ονομαστικών στοιχείων

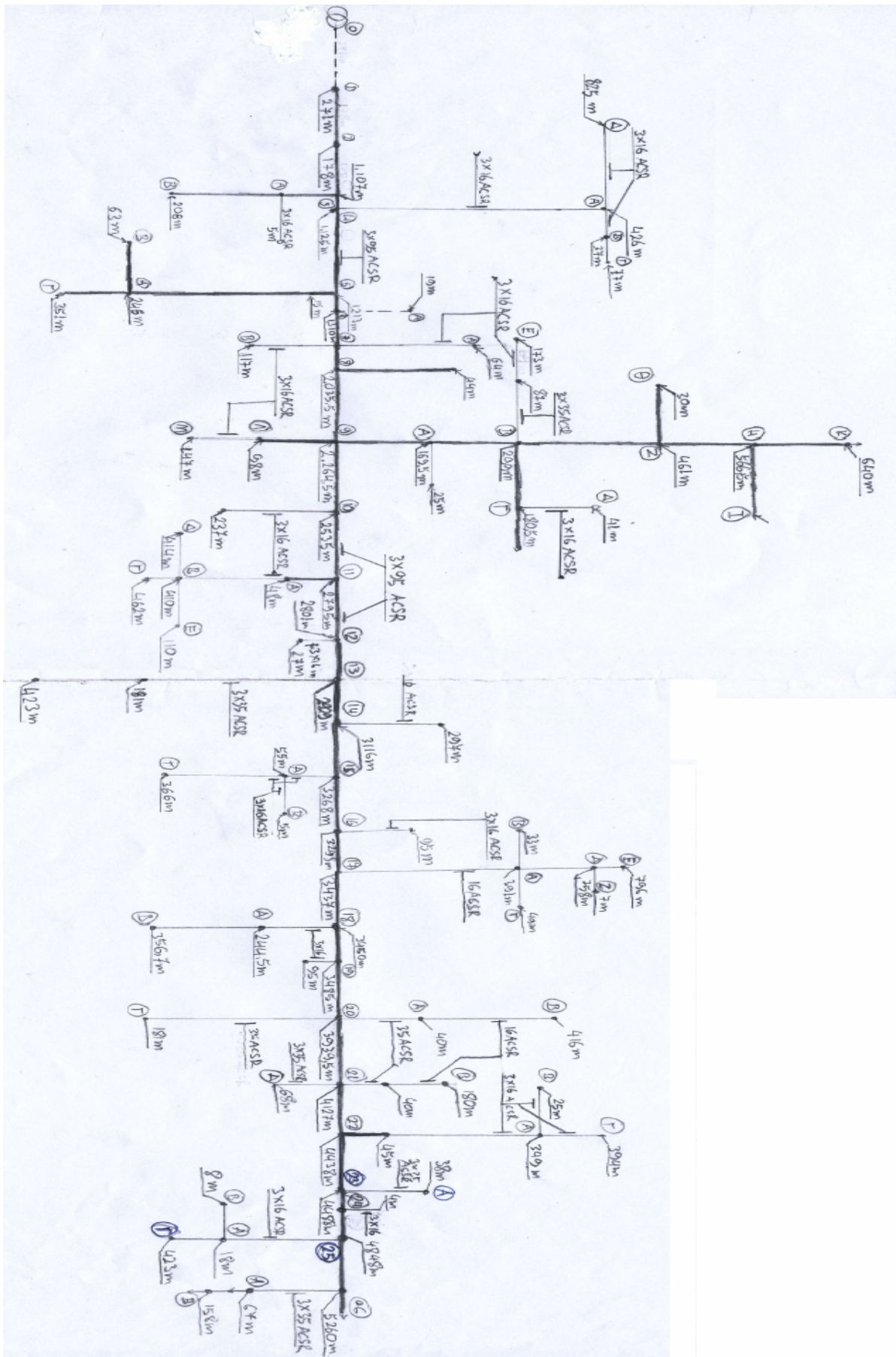


Σχήμα 3,9 : Ασφάλεια εκτόνωσης 30T που χρησιμοποιεί η ΔΕΗ στα εναέρια δίκτυα
 Καμπύλη έντασης – Χρόνου ασφαλείας 30T

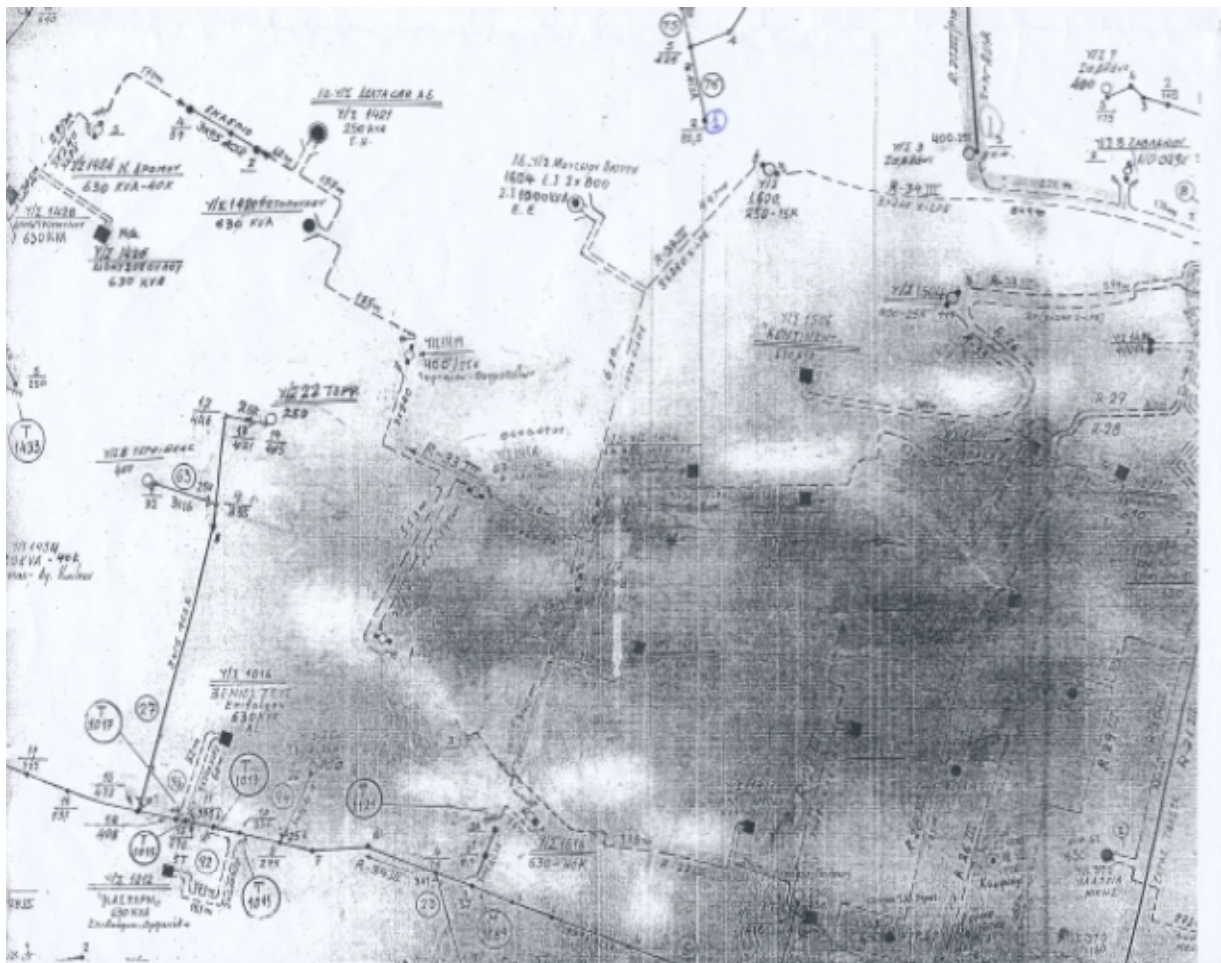
Γραφικές παραστάσεις βάση των στοιχείων: α) ασφάλεια εκτόνωσης ταχείας τήξης για 15K και 40K (σχ. 2,5β) β) ασφάλεια εκτόνωσης 30T (σχ. 3,9) γ) Πραγματικές καμπύλες ΗΝ ισχυρά αντίστροφου χρόνου ενός ΔΙ (σχ. 2,9)

. Καθως φενετε στις παρακατω χαρακτηρηστικες προτα θα δει το βραχυκυκλωμα η 14K μετα 40K μετα η 30T κ μετα ο Ε/Δ (Εικονα 2.2 και 2.3)





Σχήμα 3,10 : Μονογραμμικό σχέδιο της γραμμής MT



Σχήμα 3,11 : Σχέδιο της γραμμής ΜΤ (1)

Σχήμα 3,12 : Σχέδιο της γραμμής ΜΤ (2)

Βιβλιογραφία

- [1] Π. Ντοκόπουλος: Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών, Θεσσαλονίκη 2005
- [2] Δ. Λαμπρίδης, Π. Ντοκόπουλος, Γ. Παπαγιάννης: Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας - Τόμος Α, Θεσσαλονίκη 2006
- [3] Π. Ντοκόπουλος: Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας - Τόμος Ι, Θεσσαλονίκη 1986
- [4] Μ. Π. Παπαδόπουλος: Προστασία Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας, Αθήνα 1997