

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
Τμήμα: Ηλεκτρολογίας

Πτυχιακή Εργασία
Αριθμός 353

**«Γραμμή διανομής Ε.Ρ. Μ.Τ. με Υ.Κ. 20KV, 50 Hz
και τροφοδότηση από τα δύο άκρα μεταξύ των Υ/Σ
υψηλής Ι (Αγ. Ανδρέα) - Υ/Σ υψηλής ΙΙΙ (Ζαβλάνι),
με πολλούς καταναλωτές και τάση ίδια».**

Εισηγητής:
1. Η. Λόης

Σπουδαστές:
1. Σ. Τόγιας
2. Α.. Μπουλούμπασης

Πάτρα - Σ. 97



327
034

ΑΡΙΘΜΟΣ
ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ

3216

*Ευχαριστούμε για τη συνεργασία τους,
τον καθηγητή μας κ. Ηλία Λόη,
και τον κ. Γιάννη Γεράλη Δ.Ε.Η. Ρίου.*

Περιεχόμενα

Μέρος α΄	3
Κεφάλαιο 1^ο	3
1. Υπόγεια Δίκτυα	3
1.1. Γενικά	3
1.2. Υπόγεια καλώδια Μ.Τ. (20 KV)	5
1.2.1. Ενταφιασμός υπόγειων καλωδίων	10
1.2.2. Εξαρτήματα υπόγειων καλωδίων	14
1.3. Επίγειοι και υπόγειοι υποσταθμοί χαμηλής	17
1.3.1. Διατάξεις κυψελών μέσης τάσης (Μ.Τ.)	25
1.3.2 Προστασία αναχωρήσεων γραμμών Μ.Τ.	33
1.4. Αναλυτικότερη περιγραφή καθώς και πραγματικά στοιχεία του Υ.Κ., από μόνωση (XLPE), που θα χρησιμοποιηθεί στη μελέτη.	38
Κεφάλαιο 2^ο	49
2. Γραμμές διανομής Ε.Ρ.	49
2.1. Γενικά	49
2.2. Πτώση τάσης δικτύου με μια κατανάλωση (τροφοδότηση από το ένα άκρο)	51
2.2.1. Υπολογισμός πτώσης τάσης μιγαδικά	52
2.2.2. Υπολογισμός πτώσης τάσης προσεγγιστικά	53
2.3. Πτώση τάσης του δικτύου σε περισσότερους από έναν καταναλωτές (τροφοδότηση από το ένα άκρο).	55
2.3.1. Υπολογισμός πτώσης τάσης μιγαδικά	56
2.3.2. Υπολογισμός πτώσης τάσης προσεγγιστικά	58
2.4. Πτώση τάσης δικτύου με τροφοδότηση από τα δύο άκρα	60
2.4.1. Ίδια τάση τροφοδότησης και από τα δύο άκρα.	60
Κεφάλαιο 3^ο	63
3. Διακόπτες μέσης τάσης	63
3.1. Διακόπτες ισχύος	63
3.2. Διακόπτες φορτίου	69
3.3. Αποζεύκτες, Γειωτές	71
Μέρος β΄	74
Κεφάλαιο 1^ο	74
1. Δεδομένα - στοιχεία μελέτης	74
2. Μαθηματικές πράξεις για την εύρεση των στοιχείων της μελέτης, με βάση τη Μιγαδική Μέθοδο	75
Βιβλιογραφία	98

↑
↓ 20

Μέρος α΄

Κεφάλαιο 1^ο

1. Υπόγεια Δίκτυα

1.1. Γενικά

Ένα σημαντικό μέρος της μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα στις κατοικημένες περιοχές, γίνεται με **υπόγεια δίκτυα**. Οι λόγοι που επιβάλλουν την επιλογή αυτού του τρόπου οδήγησης της ηλεκτρικής ισχύος στην κατανάλωση είναι κύρια δύο.

Μέσα στις πόλεις είναι συχνά δύσκολο να εξασφαλιστεί ο **απαιτούμενος χώρος** για την εγκατάσταση δικτύων. Η εγκατάσταση γίνεται ακόμα πιο δύσκολη όσο πηγαίνουμε σε τάσεις των δικτύων μεγαλύτερες από τη χαμηλή των 220/380 Volt. Οι απαιτούμενες ελάχιστες αποστάσεις των εναερίων γραμμών από τα κτίρια δεν μπορούν πάντοτε να ικανοποιηθούν. Έτσι, λόγοι ασφαλείας για τον άνθρωπο και την αξιόπιστη λειτουργία της γραμμής οδήγησαν στην υπόγεια ανάπτυξη των δικτύων.

Η αλλοίωση της εμφάνισης του τοπίου και της πρόσοψης κλασσικών κτιρίων, αρχαιολογικών χώρων κτλ. αποτέλεσε το δεύτερο σοβαρό λόγο για την εφαρμογή της υπόγειας μεταφοράς και διανομής του ηλεκτρισμού. Είναι γεγονός ότι δεν αποτελεί ευχάριστο θέαμα ένα πυκνό ηλεκτρικό δίκτυο, που πιθανόν να στηρίζεται σε ογκώδεις πυλώνες. Έτσι μέσα στις πόλεις, κύρια **το δίκτυο διανομής μέσης τάσης (Μ.Τ. =20 KV)**, αναπτύσσεται υπόγειο.

Η ανάπτυξη όμως των υπογείων δικτύων έχει ένα σημαντικό αρνητικό παράγοντα. Το πάρα πολύ υψηλό κόστος σε σχέση με αυτό των εναερίων δικτύων. Το κόστος των υπογείων γραμμών είναι πολλαπλάσιο του κόστους των εναερίων και δικαιολογείται μόνο όταν σημαντικοί λόγοι αισθητικής του περιβάλλοντος, όπως προαναφέρθηκε ή λόγοι ασφαλείας ή δυσχέρειες στην εξεύρεση ζωνών διελεύσεως καθιστούν ανεπιθύμητη ή και ανέφικτη τη μεταφορά με εναερίες γραμμές. Η μεγάλη αυτή, λοιπόν δαπάνη προκύπτει από την φανερή ανάγκη για καλή **μόνωση** των υπογείων αγωγών σε όλο τους το μήκος. Έτσι, για μια υπόγεια γραμμή υπερευψηλής τάσης (Υ.Υ.Τ) 400 KV το κόστος είναι περίπου δεκαπλάσιο από εκείνο που θα απαιτούσε μια ισοδύναμη εναερία γραμμή. Η διαφορά της δαπάνης, φυσικά, ελαττώνεται όσο πηγαίνουμε σε χαμηλότερες τάσεις (Χ.Τ., Μ.Τ.), αλλά σε όλες τις περιπτώσεις παραμένει υψηλή.

Ένα επιπλέον μειονέκτημα των υπογείων δικτύων αποτελεί η **μειωμένη δυνατότητα της φόρτισής τους**. Η σπουδαιότερη

αιτία που κάνει τα υπόγεια καλώδια να υστερούν σε ικανότητα μεταφοράς ρεύματος, είναι ο περιορισμός στην ανύψωση της θερμοκρασίας του μονωτικού υλικού (το οποίο με τα σημερινά δεδομένα είναι το **XLPE= δικτυωμένο πολυαιθυλένιο**), που χρησιμοποιούν. Επίσης, η κατασκευή καλωδίων με μεγαλύτερη διάμετρο προσκρούει στην αναπόφευκτη μείωση της ευκαμψίας τους, που θα δυσκόλευε την τοποθέτησή τους. Έτσι μπαίνουν κάποια ανώτατα όρια στο μέγεθος των αγωγών και στο ρεύμα που μπορούν να άγουν. Όλα όσα προαναφέρθηκαν παρουσιάζονται εκτενέστερα στις επόμενες υποενότητες της εργασίας.

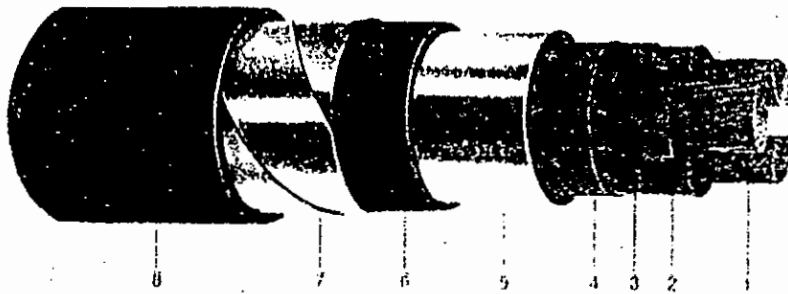
1.2. Υπόγεια καλώδια Μ.Τ. (20 KV)

Τα υπόγεια καλώδια κατασκευάζονται σε πολλές μορφές όπως **μονοπολικά, διπολικά, τριπολικά με ουδέτερο, τετραπολικά κτλ.** ανάλογα με τον αριθμό των αγωγών που περιλαμβάνουν. Διακρίνονται επίσης σε καλώδια χαμηλής, μέσης, υψηλής και υπερυψηλής τάσης, ανάλογα με την τάση λειτουργίας για την οποία προδιαγράφονται να λειτουργούν.

Τα πρώτα καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν για την υπόγεια διανομή κατασκευάζονταν από **χαλκό** με μόνωση από **χαρτί εμποτισμένο με λάδι**, με τους τρεις αγωγούς να περιέχονται σε έναν **κοινό μανδύα**. Καθένας από τους τρεις αγωγούς μονώνεται χωριστά και μετά τοποθετούνται μέσα στο μανδύα μαζί σε

ελικοειδή κοινή διάταξη. Ο χώρος μεταξύ και γύρω από τους αγωγούς γεμίζεται με χαρτί ή γιούτα για να σχηματιστεί μια κυκλική επιφάνεια που και αυτή τυλίγεται με μόνωση, από χαρτί εμποτισμένο με λάδι. Η στεγανοποίηση του αγωγού, πάνω από την εξωτερική ηλεκτρική μόνωση, γίνεται με **ένα μολύβδινο μανδύα** που περιβάλλει περιφερειακά όλο τον αγωγό, σε σωλήνας. Η κατασκευή του μανδύα γίνεται με θερμή συμπίεση. Αυτός ο τύπος καλωδίου μπορεί να έχει πάνω από το μανδύα **οπλισμό από χαλύβδινες ταινίες**, σε σχήμα ελικοειδές που εξασφαλίζει τη μηχανική αντοχή του καλωδίου. Τέτοιος τύπος καλωδίου είναι ο **NKBA** (σχ. 1). Στα καλώδια ενός μονού αγωγού, συνήθως, δεν τοποθετείται εξωτερική χαλύβδινη προστασία επειδή θα παράγονταν σε αυτή επαγωγικά ρεύματα που έχουν σαν συνέπεια ισχυρές απώλειες και μεγαλύτερη σύνθετη αντίσταση.

Στη συνέχεια χωρίς καθόλου να αλλάζει η δομή των υπόγειων καλωδίων, αντικαταστάθηκε μόνο το αγωγίμο μέρος τους, που ήταν χάλκινο από το φθηνότερο **αλουμίνιο**. Έτσι εμφανίζεται ο τύπος **NAKBA**, με αγωγούς αλουμινίου και ηλεκτρική μόνωση και προστασία σαν αυτή που περιγράφηκε προηγούμενα.



Σχ. 1. Καλώδιο τύπου NKBA

1. αγωγοί χαλκού, 2. Χαρτί εμποτισμένο με λάδι, 3. Χαρτί ή γιούτα, 4. Χαρτί εμποτισμένο με λάδι, 5. Μανδύας μολύβδου, 6. Ταινία χαρτιού ή υφάσματος ή ελαστικού, 7. Χαλύβδινος σπλισμός, 8. Στρώμα από νήματα γιούτας εμποτισμένα με ασφαλτόπισσα.

Τα υπόγεια καλώδια, που χρησιμοποιούνταν παλιότερα στα δίκτυα μέσης τάσης ήταν γνωστά σαν μορφής «Η». Η δομή τους είναι η κλασσική, που περιγράψαμε στην αρχή, με μόνωση εμποτισμένου χαρτιού, αγωγούς χαλκού, κοινό μολύβδινο μανδύα. Η διαφορά τους εντοπίζεται στη χρησιμοποίηση ξεχωριστού χαλύβδινου σπλισμού από μεταλλωμένο χαρτί γύρω από κάθε μονωμένο αγωγό. Ο λόγος που επέβαλλε αυτή την καινοτομία ήταν ότι στα καλώδια των τριών αγωγών εμφανίζονταν επαπτομενικά προς τις επιφάνειες της χάρτινης μόνωσης κάθε αγωγού υψηλές εντάσεις του ηλεκτρικού πεδίου.

Στη διεύθυνση όμως αυτή η διηλεκτρική αντοχή είναι ελάχιστη. Για να υπερνικηθεί αυτό ο κάθε αγωγός τυλίγεται χωριστά με ένα αγώγιμο στρώμα μεταλλωμένου χαρτιού που μετατρέπει τα καλώδια από ηλεκτρική άποψη σε τρία καλώδια απλών αγωγών, με την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου απόλυτα ακτινική . Αυτοί οι αγωγοί αποτέλεσαν τον τύπο **ΝΗΚΒΑ** που χρησιμοποιήθηκε πολύ στα δίκτυα των 15KV.

Αργότερα καθιερώθηκαν καλώδια, ιδιαίτερα στην τάση των 20 KV, με διαφορά από τα προηγούμενα στο ότι χρησιμοποιούσαν **τρεις μολύβδινους μανδύες** ένα για κάθε αγωγό, μέσα σε κοινό περιφερειακό σπλισμό. Οι αγωγοί στην αρχή ήταν **χάλκινοι** και στη συνέχεια **αλουμινένιοι**.

Οι τύποι αυτών των καλωδίων είναι γνωστοί με τα χαρακτηριστικά **ΝΕΚΒΑ** και **ΝΑΕΚΒΑ** αντίστοιχα. Στη συνέχεια **αντικαταστάθηκε και ο κλασσικός μολύβδινος μανδύας των υπογείων καλωδίων από αλουμινένιο**. Όλα τα καλώδια είναι επενδεδυμένα εξωτερικά με στρώμα που αποτελείται από **νήματα γιούτας εμποτισμένα με ασφαλτόπιστα**.

Η χρησιμοποίηση των διαφόρων τύπων υπογείων καλωδίων που περιγράψαμε παρουσίαζε κάποια προβλήματα σε εφαρμογές υψηλότερης τάσης. Η θερμότητα που εκλύετο κατά τις διάφορες ηλεκτρικές φορτίσεις των καλωδίων είχε σαν αποτέλεσμα τη διαστολή των διαφόρων υλικών του καλωδίου . Επειδή όμως ο θερμικός συντελεστής διαστολής για κάθε υλικό είναι

διαφορετικός είχαμε σαν επακόλουθο το σχηματισμό μικρών **θυλάκων** μέσα στη μόνωση του καλωδίου . Αποτέλεσμα ήταν να εμφανίζονται τοπικές εκκενώσεις, μέσα στους θύλακες αυτούς, από την υψηλή ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Οι εκκενώσεις αυτές δημιουργούν θερμότητα, που απανθρακώνει το μονωτικό χαρτί κατά αγωγή αυλάκια, με τελική συνέπεια τη διηλεκτρική διάσπαση. Η κατάσταση αυτή αντιμετωπίστηκε με την ανάπτυξη καλωδίων που γεμίζονται με **λάδι ή αέριο**.

Στα καλώδια τα γεμισμένα με λάδι, ο χώρος του καλωδίου μέσα από τον εξωτερικό μανδύα γεμίζεται με μονωτικό λάδι, που διατηρείται σε κάποια πίεση. Η πίεση εξασφαλίζεται από δεξαμενές που τροφοδοτούν το καλώδιο κατά μήκος της πορείας του. Όταν το καλώδιο θερμαίνεται, το λάδι διαστέλλεται προς τις δεξαμενές και αντίστροφα . Έτσι αποφεύγεται η δημιουργία θυλάκων. Τα καλώδια παρουσιάζουν υψηλό κόστος αλλά έχουν επίσης το πλεονέκτημα **της καλύτερης ψύξης** μέσω του λαδιού.

Στα καλώδια τα γεμισμένα με αέριο, συνήθως άζωτο η πίεση διατηρείται σταθερά υψηλή, της τάξης πολλών ατμοσφαιρών (10-15 atm) από ειδικές εγκαταστάσεις. Έτσι συμπιέζεται το διηλεκτρικό και εμποδίζεται η δημιουργία θυλάκων. Όταν στη χώρα μας άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα καλώδια αλουμινίου με μόνωση χαρτιού στο διεθνή χώρο είχαν κιάλας επικρατήσει για τη χαμηλή τάση, υπόγεια καλώδια με **συνθετική μόνωση** με βασικά πλεονεκτήματα, μικρότερο βάρος και μεγαλύτερη ευχέρεια στην εγκατάσταση και στην εκτέλεση των συνδέσεων.

1.2.1. Ενταφιασμός υπόγειων καλωδίων

Οπωσδήποτε η εξεύρεση καταλλήλων υπόγειων διαβάσεων είναι ένα βασικό πρόβλημα των υπόγειων γραμμών. Οι υπόγειες γραμμές εγκαθίστανται είτε κάτω από τα πεζοδρόμια, είτε κάτω από τα καταστρώματα των οδών. Στις ελληνικές πόλεις εφαρμόζεται κατά κανόνα η πρώτη από τις παραπάνω τεχνικές στις περιπτώσεις διαμορφωμένων οδών, στις οποίες υπάρχει επαρκής χώρος κάτω από τα πεζοδρόμια τον οποίο μοιράζονται με τα υπόγεια δίκτυα άλλων κοινωφελών επιχειρήσεων.

Τα καλώδια των υπογείων γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας εγκαθίστανται εντός του εδάφους σε διάφορα βάθη. Όπως ακριβώς παρουσιάζεται στο σχήμα 2 που ακολουθεί, τα οποία ποικίλλουν από 0,80m έως 1,50m ή και περισσότερο. Όσο υψηλή είναι η τάση της γραμμής τόσο μεγαλύτερο είναι συνήθως και το βάθος εγκαταστάσεως των καλωδίων, ώστε τα καλώδια υψηλής τάσης να κατέχουν τα μεγαλύτερα βάθη και τα καλώδια χαμηλής τάσης τα μικρότερα.

Κατ' αυτό τον τρόπο, **τα καλώδια 150KV εγκαθιστούνται σε βάθος περίπου 1,50m τα καλώδια 20 KV σε βάθος περίπου 1,00m και τα καλώδια Χ.Τ. σε βάθος περίπου 0,70 m (σχ. 2).**

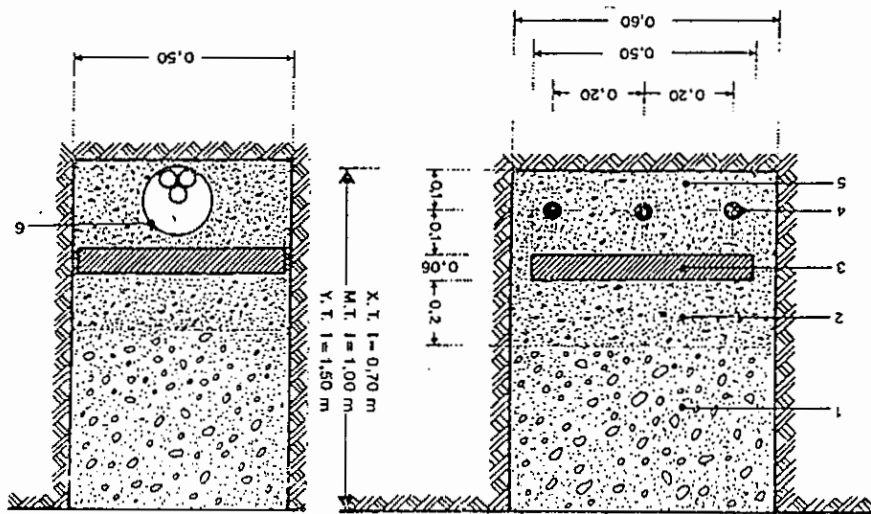
Το χώμα, το οποίο τοποθετείται επάνω από τα καλώδια μετά την εγκατάσταση είναι λεπτόκοκκο και χωρίς πέτρες (σχ. 2 και σχ. 3) αφενός για την καλύτερη απαγωγή της εκλυόμενης θερμότητας,

της οφειλόμενης στις απώλειες της γραμμής, αφ' ετέρου δε για να αποφευχθεί τραυματισμός των καλωδίων από τις πέτρες .

Επίσης για τη μηχανική προστασία των καλωδίων τοποθετούνται επάνω από αυτά και σε όλο το μήκος της διαδρομής της γραμμής τούβλα ή επιμήκεις πλάκες συνήθως από σκυρόδεμα (μπετόν) .

Οι πλάκες αυτές οι οποίες τοποθετούνται 20 cm περίπου επάνω από τα καλώδια και φέρουν έντυπες αναγνωριστικές ενδείξεις, προστατεύουν τα καλώδια από τις σκαπάνες και τα άλλα μηχανικά μέσα εκσκαφής των πεζοδρομίων (σχήμα 2 και σχ. 3). Πάρα ταύτα οι ηλεκτρικές βλάβες των υπογείων γραμμών, οι οφειλόμενες σε μηχανικές αιτίες, δηλαδή χτυπήματα κατά τις εκσκαφές ιδίως στα καλώδια Μ.Τ. και Χ.Τ. είναι από τις συνήθεις.

Κατά τις περιπτώσεις παράλληλης διαδρομής περισσότερων υπογείων γραμμών στην ίδια ζώνη διέλευσης εάν η μεταξύ γειτονικών καλωδίων απόσταση είναι σχετικά μικρή, η απαγωγή της θερμότητας των καλωδίων προς το περιβάλλον έδαφος δυσχεραίνεται με αποτέλεσμα τη μείωση της ικανότητας φόρτισής τους.



Σχ.2 - Σχ.3 Καλώδια ενταφιασμένα στο χώμα .

1. χώμα 2-5. Κοσκινισμένο χώμα, 3. Πλάκες, 4. Καλώδια, 6. Σωλήνας πλαστικός ή αμιαντοσωλήνας μπορεί να έχουμε ένα σωλήνα ανά καλώδιο.

Η ικανότητα απαγωγής της εκλυόμενης από τις υπόγειες γραμμές θερμότητας από το έδαφος, το οποίο περιβάλλει τα καλώδια, αποτελεί βασικό κριτήριο της καταλληλότητας του για διέλευση γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας. Δυσθερμαγωγά εδάφη, όπως τα ξερά αμμώδη, είναι ακατάλληλα για την εγκατάσταση υπόγειων γραμμών, διότι μειώνουν πολύ την ικανότητα φορτίσεως των καλωδίων. Αντιθέτως τα υγρά χωματώδη εδάφη προσφέρονται ιδιαίτερα για την εγκατάσταση καλωδίων. Μέτρο της θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους αποτελεί η ειδική θερμική αντίσταση του η οποία εκφράζεται σε $\text{cm } ^\circ\text{C} / \text{W}$ και η οποία όσο μεγαλύτερη είναι για το έδαφος, τόσο περισσότερο δυσθερμαγωγό είναι αυτό. Σημασία για την ικανότητα φόρτισης των υπογείων γραμμών έχει και η μέση ετήσια θερμοκρασία του εδάφους, στο βάθος των

καλωδίων, όπως και ο ετήσιος κύκλος της.

Κατά τις διαβάσεις των υπόγειων γραμμών, κάτω από τα καταστρώματα των οδών τα καλώδια τοποθετούνται μέσα σε σωλήνες από τσιμέντο ή σίδηρο (τα τριπολικά) με διάμετρο λίγο μεγαλύτερο από εκείνη των καλωδίων. Κατ' αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η εκσκαφή του δρόμου σε περίπτωση βλάβης ή άλλης εργασίας επί των καλωδίων, ενώ ταυτόχρονα μέσω των σωλήνων παρέχεται ενισχυμένη μηχανική προστασία σε αυτά .

Η απαγωγή της θερμότητας των καλωδίων, τα οποία βρίσκονται μέσα σε σωλήνες είναι δυσχερής, διότι αυτά περιβάλλονται από ακίνητο δυσθερμαγωγό αέρα και η ψύξη τους γίνεται συνήθως από τα άκρα των σωλήνων. Γι ' αυτό το μήκος των υπόγειων διαβάσεων των καλωδιακών γραμμών μέσα σε σωλήνες πρέπει να είναι περιορισμένο διότι σε αντίθετη περίπτωση θα μειωθεί η ικανότητα φόρτισής τους. Κατά κανόνα, τα καλώδια κατά τη διέλευσή τους μέσω σωλήνων, οχετών ή σηράγγων σε αποστάσεις μεγαλύτερες από λίγα μέτρα πρέπει να αερίζονται με φυσικό ή τεχνητό αερισμό, δεδομένου ότι η ψύξη τους σε περιβάλλον ακίνητου αέρα είναι ατελής. Τέτοιες περιπτώσεις παρουσιάζονται κατά τις εξόδους πολλών καλωδίων από μεγάλους υποσταθμούς πόλεων σε σταθμούς παραγωγής ή σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Επίσης παρουσιάζονται κατά τις κανονικές διαδρομές καλωδιακών γραμμών εντός υπογείων συράγγων όπως συμβαίνει σε πόλεις ξένων χωρών, όπου υπάρχουν σήραγγες κάτω από τα καταστρώματα των οδών ή

πεζοδρομίων.

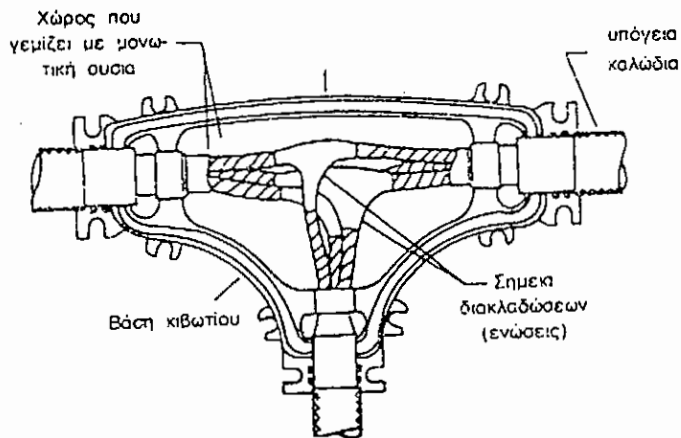
1.2.2. Εξαρτήματα υπόγειων καλωδίων

Τα εξαρτήματα των υπογείων καλωδίων είναι απαραίτητα για την καλή λειτουργία ενός υπόγειου δικτύου και χρησιμοποιούνται στις **συνδέσεις** που γίνονται για την **επέκταση** ενός υπόγειου καλωδίου για την **διακλάδωση** του ή για τον **τερματισμό** του και τη συνέχισή του από εναέρια γραμμή.

Ο σκοπός των εξαρτημάτων αυτών είναι να προφυλάσσουν τις ηλεκτρικές συνδέσεις που γίνονται και να εξασφαλίσουν καλύτερη μόνωση στα σημεία αυτά. Έτσι ανάλογα με τη θέση και τη σύνδεση που εξυπηρετούν διακρίνονται σε:

Κιβώτια Διακλαδώσεων: Αυτά είναι σχήματος (T) και χρησιμοποιούνται σε συνδέσεις διακλάδωσης ενός υπόγειου καλωδίου. Η τομή ενός τέτοιου κιβωτίου δείχνεται στο σχήμα 4. Συνήθως κατασκευάζονται από **χυτοσίδηρο** και αποτελούνται από δύο μέρη που εφαρμόζουν στεγανά μεταξύ τους. Το κύριο καλώδιο περνάει κατά μήκος μέσα από το κιβώτιο. Οι αγωγοί του γυμνώνονται στο χώρο μέσα στο κιβώτιο και συνδέονται με τους αγωγούς της διακλάδωσης. Η διακλάδωση κάθε αγωγού, ξεχωριστά, μονώνεται με πισσοταινία. Στη συνέχεια όλο το κιβώτιο γεμίζεται με **μονωτική ουσία** σε υγρή κατάσταση, που είναι **πίσσα**. Για το γέμισμα του κιβωτίου πέρνονται κατάλληλα μέτρα ώστε να μην εγκλωβιστεί μέσα σ'αυτό αέρας. Πολλές

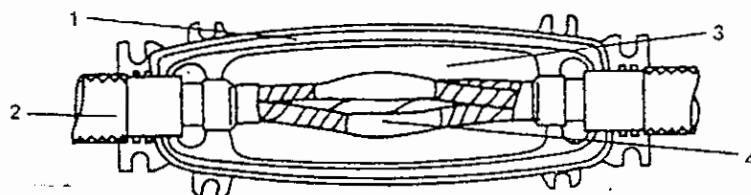
φορές, ιδιαίτερα στις υψηλότερες τάσεις τοποθετούμε μέσα στο κιβώτιο ένα δεύτερο χιτώνα από χαλκό ή μολύβι για πρόσθετη **προφύλαξη του από την υγρασία.**



Σχ. 4 Κιβώτιο διακλάδωσης υπόγειου καλωδίου

Κιβώτια Ενώσεων: Αυτά χρησιμοποιούνται για τις ευθείες συνδέσεις των υπόγειων καλωδίων. Η δομή τους είναι παρόμοια με εκείνη των κιβωτίων διακλάδωσης. Η διαφορά βρίσκεται στο ότι έχουν δύο εισόδους του καλωδίου αντί για τρεις. Η μόνωση του σημείου σύνδεσης γίνεται και εδώ με τον ίδιο τρόπο όπως στα προηγούμενα κιβώτια.

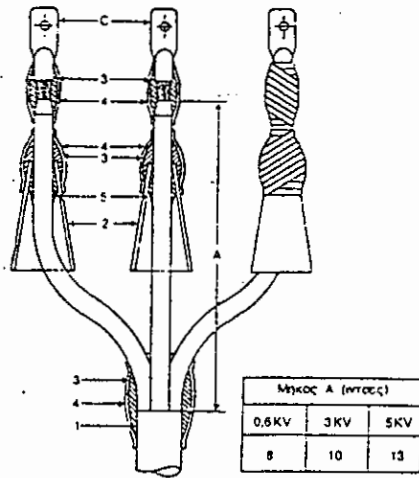
Η τοποθέτηση των κιβωτίων αυτών γίνεται δίπλα από την ευθεία του άξονα του καλωδίου έτσι ώστε στις περιπτώσεις συστολών ή διαστολών του καλωδίου να μην καταπονούνται οι ενώσεις, όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα 5.



Σχ. 5 Κιβώτιο ενώσεων υπόγειου καλωδίου.

1. περίβλημα, 2. Καλώδια, 3. Χώρος που γεμίζεται με μονωτική ουσία, 4. Σημεία .

Ακροκιβώτια: Τα εξαρτήματα αυτά χρησιμοποιούνται στον τερματισμό μιας υπόγειας γραμμής και χρησιμεύουν για τη σύνδεση των καλωδίων με το εναέριο δίκτυο ή με διάφορες άλλες εγκαταστάσεις. Τα ακροκιβώτια έχουν τέτοια δομή που εξασφαλίζουν την εξαγωγή του υπογείου καλωδίου σε αγώγιμους ακροδέκτες με τρόπο απόλυτα ασφαλή. Η σύνδεση των αγωγών με τους ακροδέκτες μονώνεται με πισσοταινία και συχνά περιβάλλεται με μονωτικό λάδι ή πίσσα. Ο μονωτήρας του ακροδέκτη κατασκευάζεται από πορσελάνη σε διάφορες μορφές και μεγέθη, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας.



Σχ. 6 Η σύνδεση αγωγών υπόγειου καλωδίου στο τέρμα του σε αγωγίμους ακροδέκτες.

A: ελάχιστο μήκος αγωγών C: απόσταση ακροδεκτών (1 ίντσα ανά KV τουλάχιστον), 1: μανδύας καλωδίου 2: προστασία από τα νερά της βροχής, 3: μονωτική ταινία, 4: αδιάβροχη ταινία

17-38
20 69' 410

1.3. Επίγειοι και υπόγειοι υποσταθμοί χαμηλής

Για μεγαλύτερες ισχύεις των υποσταθμών διανομής απαιτούνται μεγαλύτερες εγκαταστάσεις και περισσότερα εξαρτήματα. Αυτό σημαίνει ότι το βάρος και ο όγκος του υποσταθμού παίρνουν τέτοιες διαστάσεις που κάνουν απαγορευτική τη στήριξη όλου αυτού του συγκροτήματος εναέρια πάνω σε στύλους. Σ' αυτές τις περιπτώσεις είμαστε αναγκασμένοι να αναπτύξουμε τους υποσταθμούς διανομής σε χώρους πάνω στο έδαφος.

Άλλοτε πάλι, δεν είναι δυνατό να διατεθεί ο απαραίτητος χώρος για την εγκατάσταση του υποσταθμού είτε πάνω στο έδαφος είτε σε εναέριες κατασκευές. Τότε, σαν μόνη λύση απομένει η κατασκευή του υποσταθμού κάτω από το έδαφος. Έτσι μπορούμε να διακρίνουμε δύο κατηγορίες, οι οποίες είναι νέες, υποσταθμών διανομής, τους **επίγειους** και τους **υπόγειους**,

που καθένας τους παρουσιάζει ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Οι επίγειοι υποσταθμοί κατασκευάζονται σε δύο τύπους τον **κλειστό** ή τον **υπαίθριο**.

Βασικό γνώρισμα των επίγειων υποσταθμών κλειστού τύπου είναι ότι όλες οι εγκαταστάσεις τους είναι τοποθετημένες μέσα σε ειδικά διαμορφωμένα κτίρια. Το εσωτερικό των κλειστών υποσταθμών χωρίζεται με μεταλλικά πλέγματα σε δύο, συνήθως, μέρη. Το ένα που περιλαμβάνει τις εγκαταστάσεις της μέσης τάσης ονομάζεται **κυψέλη μέσης τάσης**, και το άλλο που περιλαμβάνει τις εγκαταστάσεις χαμηλής τάσης ονομάζεται αντίστοιχα **κυψέλη χαμηλής τάσης**. Πολλές φορές περιέχονται είτε από την πλευρά της μέσης τάσης είτε από την πλευρά της χαμηλής περισσότερες από μια κυψέλες. Στο σχήμα 7 δίνεται η διάταξη ενός επίγειου υποσταθμού κλειστού τύπου. Διακρίνουμε την κυψέλη μέσης τάσης και την κυψέλη χαμηλής τάσης καθώς και τα μεταλλικά πλέγματα (11). Επίσης φαίνεται σε μονογραμμικό σχέδιο το ηλεκτρικό κύκλωμα του υποσταθμού.

Συγκεκριμένα, η τροφοδότηση της μέσης τάσης γίνεται στο σημείο (1) μέσω **μονωτήρων τύπου διέλευσης**. Οι μονωτήρες αυτοί είναι από πορσελάνη και σχηματίζουν ένα κυλινδρικό μονωτικό σώμα. Κατά μήκος του άξονά τους, προστατευμένος από τη μόνωση, υπάρχει ένας μεταλλικός αγωγός που καταλήγει σε δύο ακροδέκτες, έναν από κάθε πλευρά του μονωτήρα. Η τοποθέτηση των μονωτήρων διέλευσης γίνεται κάθετα προς την επιφάνεια του τοίχου έτσι ώστε ο ένας ακροδέκτης να βρίσκεται

εξωτερικά και ο άλλος εσωτερικά του κτιρίου.

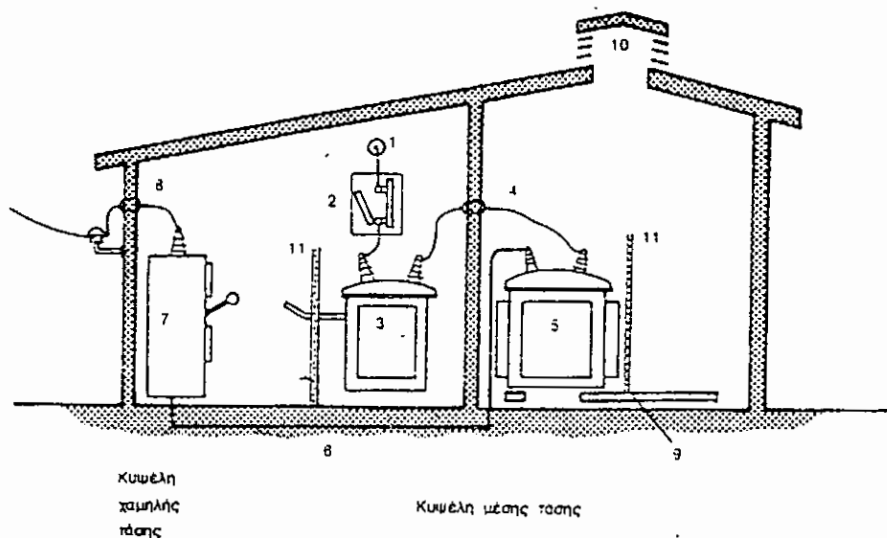
Στη συνέχεια οι αγωγοί οδηγούνται μέσω των **αποζευκτών (2)** των **αυτόματων διακοπών (3)** και των **μονωτήρων διέλευσης (4)** προς το χώρο που βρίσκεται ο **μετασχηματιστής ισχύος (5)** του υποσταθμού. Η χρησιμοποίηση των αυτόματων διακοπών, στη μέση τάση, γίνεται σχεδόν πάντα, αφού η ισχύς των υποσταθμών αυτών είναι σχετικά μεγάλη. Επίσης πολλές φορές, για μεγαλύτερες τιμές της ισχύος χρησιμοποιούνται περισσότεροι από ένας μετασχηματιστές ισχύος. Η τροφοδότηση καθενός από αυτούς γίνεται κατά τον ίδιο τρόπο μέσω αποζευκτών και αυτόματων διακοπών. Τόσο οι αυτόματοι διακόπτες όσο και οι μετασχηματιστές ισχύος είναι μονταρισμένοι πάνω σε τροχούς που μπορούν να κινηθούν πάνω σε μόνιμες σιδηροτροχιές που υπάρχουν σε δάπεδο. Η μετακίνησή τους γίνεται μόνο σε περιπτώσεις βλαβών που χρειάζεται να γίνει επισκευή. Στις περιπτώσεις που έχουμε εγκατεστημένους περισσότερους από ένα μετασχηματιστές ισχύος, πριν από το κύκλωμα της μέσης τάσης, που περιγράψαμε προηγούμενα, τοποθετούμε μια κυψέλη με ένα επιπρόσθετο γενικό διακόπτη αυτόματο και μια ακόμα κυψέλη μέσης τάσης με τα όργανα μέτρησης.

Από τους ακροδέκτες χαμηλής τάσης των μετασχηματιστών ισχύος συνεχίζουμε το κύκλωμα συνήθως με **υπόγεια καλώδια (6)** προς τον **πίνακα χειρισμών (7)** της χαμηλής τάσης, απ' όπου διοχετεύουμε την ηλεκτρική ενέργεια προς το δίκτυο

χαμηλής τάσης (8). Οι διαδρομές των υπόγειων καλωδίων γίνονται μέσα από ειδικά κανάλια που συνεχίζονται έξω από το έδαφος με χαλυβδοσωλήνες . Η προστασία και οι χειρισμοί στη χαμηλή τάση γίνονται με μικρούς αυτόματους διακόπτες που είναι τοποθετημένοι στον πίνακα χειρισμών της χαμηλής τάσης.

Παρατηρούμε από το σχήμα 7 ότι οι πίνακες και τα όργανα χειρισμού, τόσο για τη χαμηλή, όσο και για τη μέση τάση φροντίζεται να βρίσκονται στον ίδιο χώρο. Συχνά κάνουμε τη διάταξη έτσι των υποσταθμών, ώστε να είναι δυνατή η επιθεώρηση και ο έλεγχος του υποσταθμού από ειδικά παράθυρα, χωρίς να είναι απαραίτητη η είσοδος ανθρώπου μέσα στο χώρο του υποσταθμού.

Στους υποσταθμούς κλειστού τύπου, παίρνεται ιδιαίτερη φροντίδα για την εξασφάλιση **του καλού αερισμού** των εγκαταστάσεων τους. Αυτό είναι απαραίτητο γιατί κύρια οι μετασχηματιστές ισχύος, αλλά και τα υπόλοιπα μηχανήματα κατά τη λειτουργία τους, παράγουν σημαντικά ποσά θερμότητας που πρέπει να απάγονται στο περιβάλλον. Το κύκλωμα αερισμού περιλαμβάνει έναν αγωγό που προσάγει τον αέρα (9) στη βάση του μετασχηματιστή, ενώ η απαγωγή του γίνεται από ειδικό φεγγίτη που βρίσκεται στην οροφή του κτιρίου (10). Συνήθως η κυκλοφορία του αέρα γίνεται με φυσικό ελκυσμό και σε σπάνιες περιπτώσεις διευκολύνεται με τη χρήση ανεμιστήρων που λειτουργούν με αυτόματους θερμοστάτες.



Σχ. 7. Διάταξη επίγειου υποσταθμού κλειστού τύπου.

Μια σημαντική καινοτομία στους υποσταθμούς κλειστού τύπου έγινε με την ανάπτυξη των **συρναμολογούμενων υποσταθμών**. Σ' αυτούς τα διάφορα στοιχεία ενός υποσταθμού, όπως οι μετασχηματιστές, οι αυτόματοι διακόπτες, οι αποζεύκτες, τα διάφορα όργανα ελέγχου κτλ. είναι τυποποιημένα σε αντίστοιχες κυψέλες, από τα εργοστάσια κατασκευής. Η κατασκευή υποσταθμού με **τυποποιημένες κυψέλες** γίνεται με την τοποθέτηση σε σειρά των κατάλληλων κυψελών και τη σωστή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους.

Η κατασκευή υποσταθμών τέτοιου είδους έχει πολλά πλεονεκτήματα . Ο χώρος που απαιτούν είναι πολύ πιο

περιορισμένος για την ίδια ισχύ, απ' ότι σε ένα κλασσικό επίγειο υποσταθμό . Δίνουν μεγαλύτερη ασφάλεια στους χειρισμούς, ενώ η αντικατάσταση μονάδων που έχουν πάθει ζημιά μπορεί να γίνει πολύ εύκολα και γρήγορα. Ακόμη είναι δυνατή η επέκταση υποσταθμών που λειτουργούν, εύκολα με την παράλληλη τοποθέτηση καινούριων κυψελών. Τέλος η επιθεώρηση και συντήρηση των διαφόρων μονάδων μπορεί να γίνει κάθε στιγμή, αφού το εσωτερικό τους είναι προσιτό άμεσα, από τις μεγάλες πόρτες που έχουν εμπρός και πίσω.

Οι υπαίθριοι υποσταθμοί αποτελούν τη δεύτερη κατηγορία των επίγειων υποσταθμών. Σ' αυτούς διακρίνουμε το μετασχηματιστή ισχύος και τις δύο κυψέλες των οργάνων ελέγχου, μια για τη μέση και μια για τη χαμηλή τάση. Τόσο οι μετασχηματιστές, όσο και οι κυψέλες, είναι έτσι κατασκευασμένοι, ώστε να αντέξουν σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες, αφού τοποθετούνται κατευθείαν στο ύπαιθρο χωρίς κανένα προστατευτικό κάλυμμα. Μερικές φορές δε χρησιμοποιούνται καθόλου κυψέλες, αλλά τότε πρέπει όλα τα μηχανήματα να μπορούν να αντέχουν στις καιρικές μεταβολές.

Για την προστασία του κοινού από τα επικίνδυνα μέρη ενός επίγειου υποσταθμού υπαίθριου τύπου όλες οι εγκαταστάσεις του τοποθετούνται σε χώρους που μετά περιφράσσονται γύρω-γύρω με μεταλλικό πλέγμα. Τα μηχανήματα, τα όργανα και οι χειρισμοί τους σε έναν υπαίθριο υποσταθμό είναι ανάλογα με εκείνα των υποσταθμών κλειστού τύπου.

Οι υπόγειοι υποσταθμοί, τους οποίους και εξετάζουμε στη μελέτη αυτή, μετασχηματίζουν και αυτοί τη μέση τάση της διανομής σε χαμηλή. Σ' αυτούς, όλες σχεδόν οι εγκαταστάσεις είναι τοποθετημένες κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

Η χρήση αυτού του τύπου των υποσταθμών γίνεται ιδιαίτερα στις μεγάλες πόλεις, όπου δεν είναι εύκολη η διάθεση χώρου για επίγειες κατασκευές και ταυτόχρονα μπορούν να συνδυασθούν άμεσα με τα υπόγεια δίκτυα μέσης τάσης που όπως είδαμε αναπτύσσονται μέσα στις πόλεις. Η δομή και λειτουργία των υπόγειων υποσταθμών είναι η ίδια μ' αυτή των επίγειων . Οι διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στους δύο τύπους υποσταθμών προκύπτουν ακριβώς από το γεγονός ότι οι μεν βρίσκονται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, οι δε κάτω απ' αυτήν .

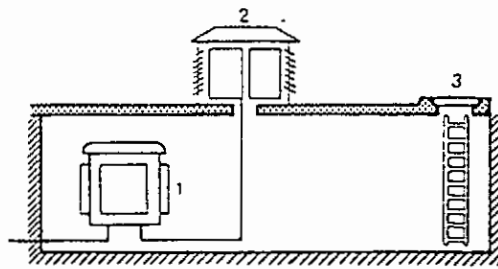
Η εγκατάσταση των υπόγειων υποσταθμών μέσα στις πόλεις γίνεται είτε **κάτω από πλατείες** είτε **κάτω από φαρδιά πεζοδρόμια.**

Αποφεύγεται να επεκτείνονται κάτω από τα οδοστρώματα των δρόμων και γενικά κάτω από επιφάνειες που δέχονται υψηλές μηχανικές φορτίσεις. Για το λόγο αυτό, ο χώρος που απαιτείται για την εγκατάστασή τους, προσαρμόζεται αναγκαστικά με τις εξωτερικές συνθήκες .

Ένα από τα κύρια προβλήματα των υπόγειων υποσταθμών είναι το πρόβλημα του καλού αερισμού τους. Ο καλός αερισμός είναι

απαραίτητος, ιδιαίτερα για το μετασχηματιστή που ζεσταίνεται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Για το λόγο αυτό διαμορφώνουμε κατάλληλα ανοίγματα στην επιφάνεια του εδάφους για τον εξαερισμό του χώρου του υπόγειου μετασχηματιστή. Όταν, όμως, δεν μπορούμε να εξασφαλίσουμε ικανοποιητικές συνθήκες ψύξης ή όταν έχουμε αρκετά μεγάλη ισχύ υποβοηθούμε το φυσικό εξαερισμό με ανεμιστήρες.

Ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάζεται στους υπόγειους υποσταθμούς είναι αυτό της **στεγανότητάς** τους. Η εισχώρηση νερών και υγρασίας μπορούν να προξενήσουν βλάβες στα διάφορα μηχανήματα του υποσταθμού. Πλήρης όμως στεγανότητα είναι ανέφικτη αφού συγκρούεται με την ανάγκη εξαερισμού των εγκαταστάσεων. Ακόμη, ο χώρος του υποσταθμού πρέπει να είναι εύκολα προσπελάσιμος, για τον άνθρωπο, αφού συχνά χρειάζεται να γίνονται επιθεωρήσεις ή συντήρηση στις διάφορες μονάδες. Έτσι κατασκευάζεται στην επιφάνεια του εδάφους ειδική θυρίδα που επιτρέπει την είσοδο του ανθρώπου στον υπόγειο χώρο του υποσταθμού.



Σχ. 8. Διάταξη υπόγειου υποσταθμού

1. Μετασχηματιστής, 2. Κιβώτιο ελέγχου (στην επιφάνεια του εδάφους),
3. Ανθρωποθυρίδα

Μια μερική αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών, γίνεται με την εγκατάσταση της κυψέλης των οργάνων χειρισμού και ελέγχου πάνω στο έδαφος, μέσα σ' ένα ειδικό μεταλικό κιβώτιο. Το κιβώτιο αυτό βρίσκεται πάνω ακριβώς από τον υπόγειο χώρο του μετασχηματιστή και επικοινωνεί με αυτόν. Στις πλάγιες όψεις του φέρει περσίδες (γρίλιες) και αποτελεί μια σχετικά στεγανή κατασκευή.

Με αυτόν τον τρόπο γίνεται και η απαγωγή της θερμότητας με τον εξαερισμό του υπόγειου υποσταθμού μέσω της κυψέλης των οργάνων χειρισμού, και εξασφαλίζεται ικανοποιητική στεγανότητα, ενώ για τους περισσότερους χειρισμούς δεν είναι ανάγκη να κατεβαίνει κάποιος άνθρωπος μέσα στο χώρο του υποσταθμού. Όλοι οι παραπάνω τύποι υποσταθμών κατασκευάζονται και ελέγχονται στη χώρα μας από τη ΔΕΗ.

1.3.1. Διατάξεις κυψελών μέσης τάσης (Μ.Τ.)

Η εγκατάσταση Μ.Τ. των υπογείων δικτύων γίνεται σχεδόν κατά αποκλειστικότητα σε κλειστούς χώρους. Για μια τέτοια εγκατάσταση λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- Πρέπει να γίνονται χειρισμοί απ' έξω, χωρίς κίνδυνο της ζωής και να φαίνονται απ' έξω οι ορατές επαφές των αποζευκτών.
- Πρέπει σε σφάλματα, το τόξο να περιορίζεται και να μην

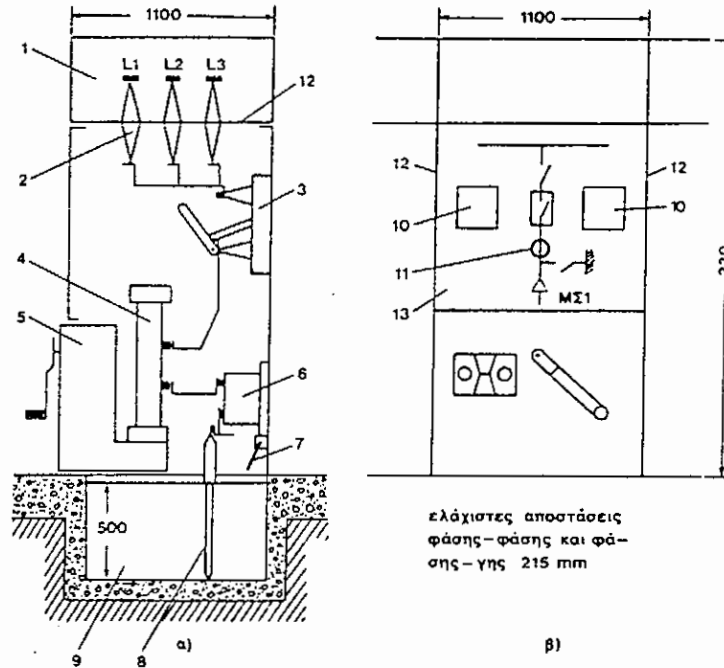
προκαλεί ζημιές στις γειτονικές συσκευές .

- Πρέπει να υπάρχει δυνατότητα εκτόνωσης των αερίων σε σφάλματα.
- Πρέπει να υπάρχει αρκετός χώρος για την εκτέλεση εργασιών.

Έτσι όλες οι αναχωρήσεις των καλωδίων και τα μέσα ζεύξης και προστασίας Μ.Τ. εγκαθίστανται σε **κυψέλες Μ.Τ.** που λέγονται **πεδία** ή **πίνακες Μ.Τ.**, όπως φαίνεται και στα σχήματα που ακολουθούν (σχ. 9, σχ. 10, σχ. 11). Κάθε αναχώρηση απασχολεί μια ιδιαίτερη κλειστή κατασκευή την **κυψέλη** ή το **πεδίο** ή **πίνακα**. Οι κυψέλες τοποθετούνται η μια πλάι στην άλλη (σχ. 12)

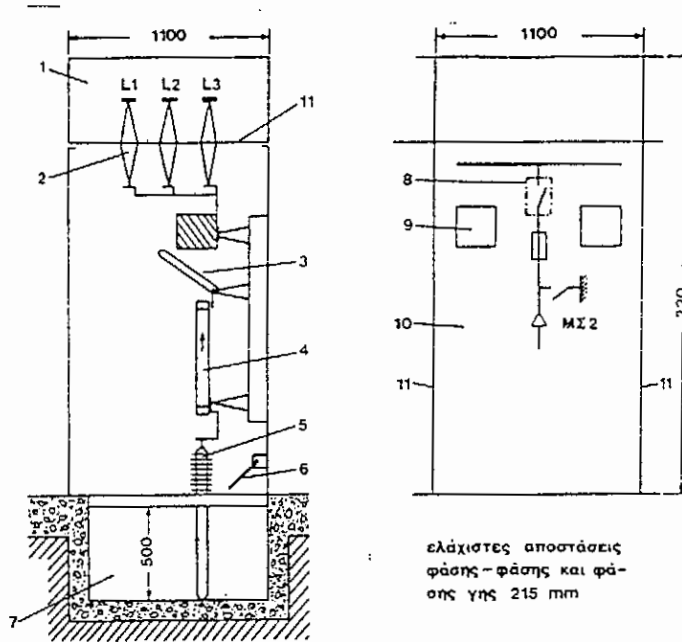
Οι κυψέλες έχουν τρία τμήματα. Στο πρώτο, το κάτω τμήμα έχουμε τα στοιχεία αναχώρησης ή άφιξης π.χ. καλώδια, ασφάλειες, αποζεύκτες γειωτές. Πιο πάνω στο δεύτερο τμήμα της κυψέλης είναι οι ζυγοί. Οι ζυγοί συνδέονται με τις κυψέλες με μονωτήρες διέλευσης που είναι πάνω στην οροφή του δεύτερου τμήματος. Το τρίτο τμήμα περιέχει όργανα και ηλεκτρονόμους.

Τα τοιχώματα των κυψελών είναι από λαμαρίνα χαλύβδινη πάχους 1,5mm τουλάχιστον. Πολλές κατασκευές γίνονται με 3mm πάχος . Αυτό για λόγους στιβαρότητας και αντοχής στο ηλεκτρικό τόξο. Ψιλή λαμαρίνα μπορεί να λειώσει αν πέσει πάνω της το ηλεκτρικό τόξο.



Σχ. 9 Διάταξη κυψέλης αναχώρησης, προστατευμένη με διακόπτη ισχύος.

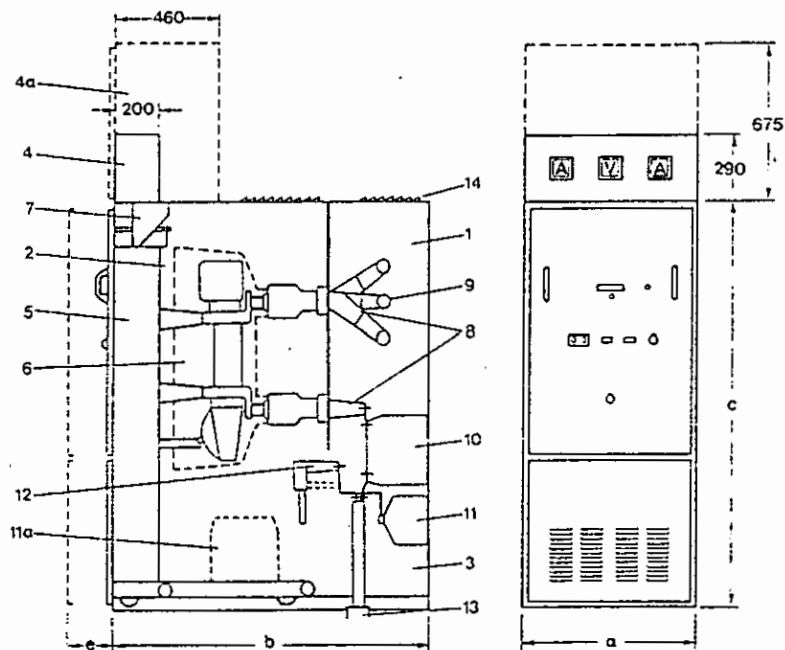
α) τομή - πλάγια όψη, β) πρόσοψη 1. Χώρος ζυγών, 2. Μονωτήρες διέλευσης, 3. Αποζεύκτης 4. Διακόπτης ισχύος, 5. Μηχανισμός και ρυθμιστής του διακόπτη ισχύος, 6. Μετασχηματισμός ρεύματος 7. Γειωτής, 8. Καλώδιο, 9. Χαντάκι, 10. Παράθυρο, 11. Μονογραμμικό διάγραμμα, 12. Λαμαρινένια χωρίσματα από κυψέλη σε κυψέλη και μεταξύ ζυγών και λοιπών συσκευών.



Σχ. 10 Διάταξη κυψέλης αναχώρησης, προστατευμένης με ασφάλειες .

- 1.χώρος ζυγών, 2. Μονωτήρες διέλευσης, 3. Διακόπτης φορτίου με ορατές επαφές, 4. Ασφάλειες σκόνης, 5. Ακροκεφαλή καλωδίου, 6. Γειωτής, 7. Χαντάκι καλωδίων, 8. Μονογραμμικό διάγραμμα κυψέλης, 9. Παράθυρα, 10. Πόρτα, 11. Διαχωριστικά τοιχώματα.

Επειδή οι κυψέλες είναι χωρισμένες με λαμαρινένιους τοίχους, οι ζημιές από το ηλεκτρικό τόξο περιορίζονται σε εκείνη την κυψέλη που υπάρχει και το σφάλμα. Οι κυψέλες για 20 KV έχουν συνήθως διαστάσεις: **πλάτος**= 0,70 - 1,20m, **βάθος**= 1,00-1,20m, **ύψος**= 2,00-2,50m. Οι μικρές διαστάσεις ισχύουν για προκατασκευασμένες κυψέλες. Υπάρχουν όμως προκατασκευασμένες κυψέλες SF₆ με ακόμη μικρότερες διαστάσεις. Η συρναμολόγηση του πίνακα γίνεται από εμπρός. Συνεπώς πρέπει να υπάρχει σε κάθε κυψέλη μια πόρτα. Στην πόρτα υπάρχει σχεδιασμένο το μονογραμμικό διάγραμμα της κυψέλης και επίσης υπάρχει ένα τζάμι, π.χ. 2x30cm για επιθεώρηση. Στην εμπρόσθια πλευρά του πίνακα βρίσκονται επίσης και διακόπτες χειρισμού και όργανα ένδειξης και σήμανσης.

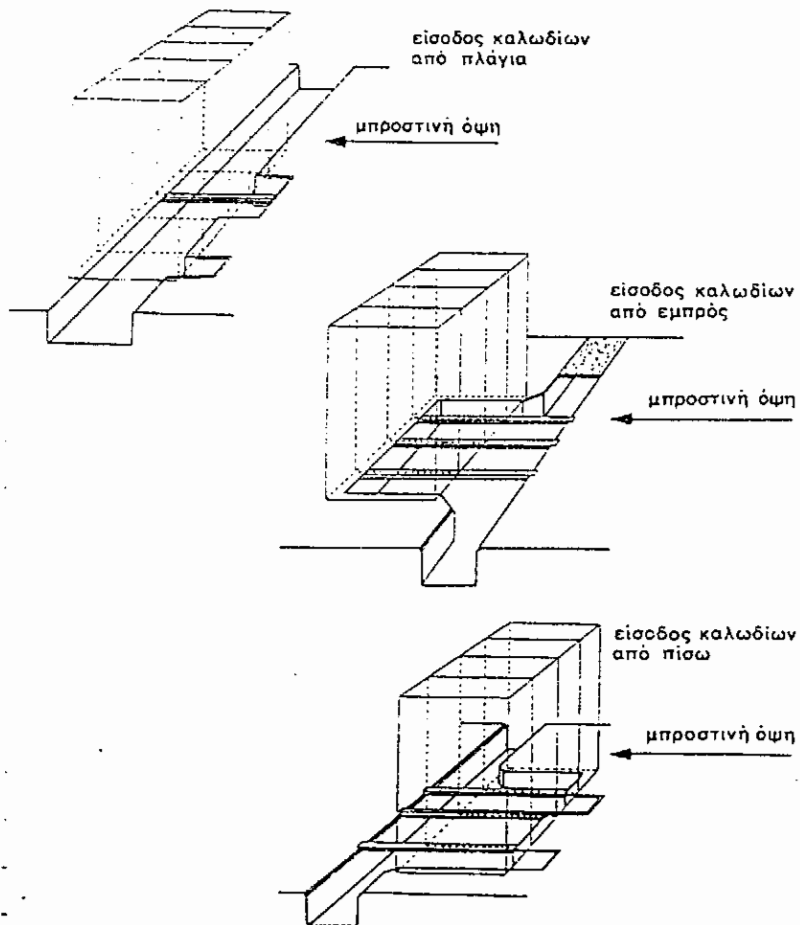


Σχ. 11. Προκατασκευασμένες κυψέλες μέσης τάσης με συρόμενους διακόπτες ισχύος, πίνακα αναχώρησης.

1. Χώρος ζυγών, 2. Χώρος διακόπτη ισχύος, 3. Χώρος καλωδίου, 4. Μικρό κιβώτιο οργάνων, 4 α. μεγάλο κιβώτιο οργάνων (κατ' επιλογή), 5. Όχημα διακόπτη ισχύος, 6. Προστατευτικό κάλυμα σε κάθε πόλο, 7. Σύνδεση χαμηλής τάσης, 8. Επάνω και κάτω μονωτήρες διέλευσης, 9. Μονωμένοι ζυγοί, 10. Μ/Σ έντασης, 11. Μ/Σ τάσης 1-πολικός, 11 α. Μ/Σ τάσης, 12. Γειωτής, 13. Ακροκεφ. Καλώδ., 14. Δικλείδες εκτόνωσης.

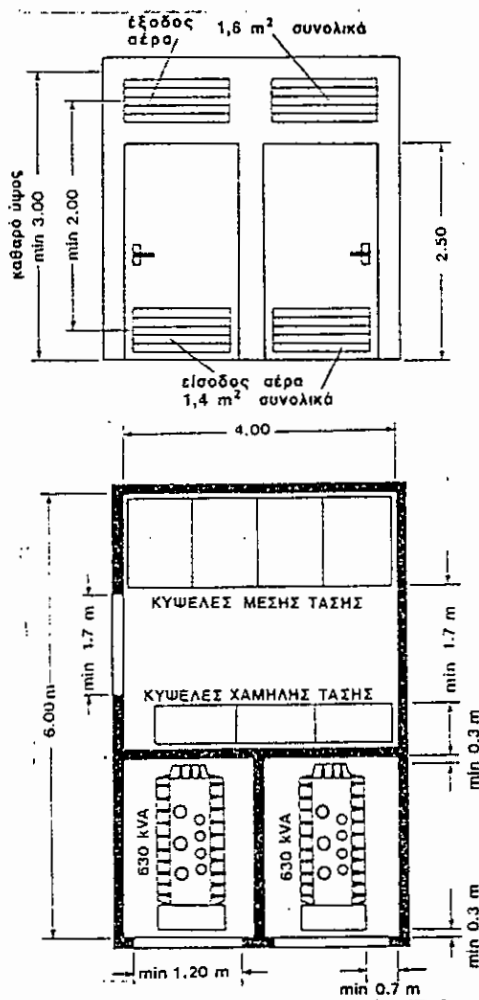
Στο κάτω μέρος της κυψέλης εισέρχονται τα καλώδια. Συνεπώς πρέπει να έχουμε ένα χαντάκι που να οδεύουν τα καλώδια, όπως φαίνεται και στα σχήματα (σχ. 9, σχ.10, σχ.11). Το χαντάκι γίνεται, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα καλώδια πρέπει να οδηγηθούν από τη γη στην κυψέλη και ότι τα καλώδια έχουν μια ελάχιστη ακτίνα κάμψης :

Ελάχιστη ακτίνα κάμψης πλαστικών καλωδίων = 15x εξωτερική
διάμετρο ($\approx 400-600\text{mm}$).



Σχ. 12 Διατάξεις χαντακιών καλωδίων κάτω από τον πίνακα Μ.Τ.

Το χαντάκι καταλαμβάνει όλο το κάτω μέρος των κυψελών. Συνήθως αρκεί ένα βάθος ίσο με την ελάχιστη ακτίνα κάμψης ($\approx 400\text{mm}$ για καλώδια 50mm^2). Τα χαντάκια πρέπει να μην επιτρέπουν στο νερό να λιμνάζει. Δηλαδή, πρέπει να αποχετεύονται και να έχουν κατάλληλη κλίση.



Σχ. 13 Διάταξη υποσταθμού ΜΤ στο χώρο. Το ύψος είναι 3 m.

Ζυγοί: Οι μονωτήρες στήριξης ή διέλευσης των ζυγών που θα χρησιμοποιηθούν είναι «μονωτήρες εσωτερικού χώρου» από εποξειδική ρητίνη. Οι διαστάσεις των ζυγών και των συνδετικών μπαρών πρέπει να αντέχουν στο ρεύμα του συνεχούς φορτίου και των βραχυκυκλωμάτων. Οι μπάρες είναι χάλκινες με διαστάσεις τουλάχιστον $40 \times 5 \text{ mm}^2$. Οι συνδέσεις γίνονται με επικαθμιόμενους χαλύβδινους κοχλίες M10, κατηγορίας αντοχής τουλάχιστον 5.8 (DIN 267).

1.3.2 Προστασία αναχωρήσεων γραμμών Μ.Τ.

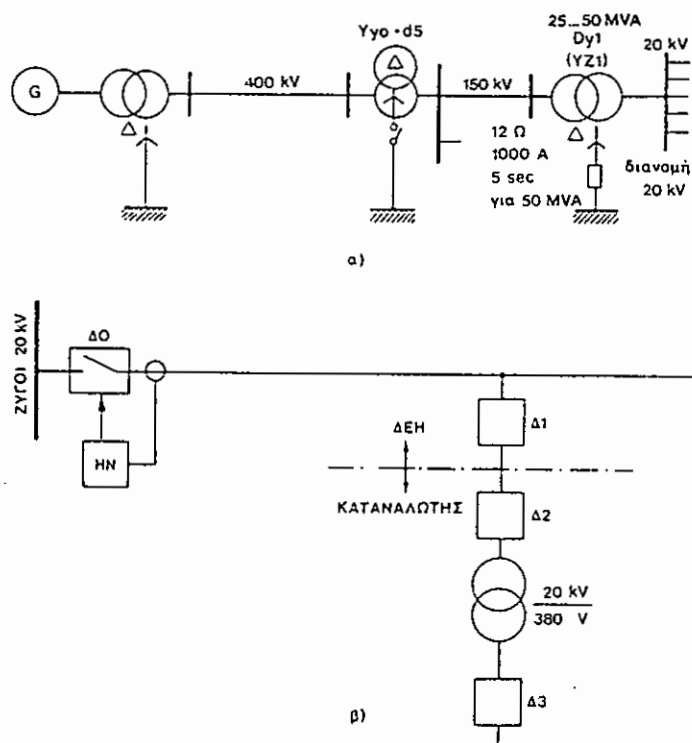
Οι γραμμές διανομής Μ.Τ. ξεκινούν από το ζυγό των 20KV από Μ/Σ ισχύος 25...50MVA 2x50 MVA (βλέπε σχήμα 14). Οι γραμμές μπορεί να είναι εναέριες ή σε συνωστισμένες περιοχές να είναι υπόγειες ή μικτές υπόγειες - εναέριες (σχήμα 15- σχήμα 16). Σε κάθε αναχώρηση εναέριας ή υπόγειας γραμμής έχουμε συνήθως ένα διακόπτη ισχύος πτωχού ελαίου (minimum oil breaker). Αυτός διεγείρεται από ηλεκτρονόμους (H/N). Ο ηλεκτρονόμος τροφοδοτείται μέσω Μ/Σ μέτρησης έντασης από το δίκτυο, και παρακολουθεί το ρεύμα και αν αυτό είναι ανεπίτρεπτα μεγάλο, στέλνει στο διακόπτη ισχύος εντολή ν' ανοίξει (χρησιμοποιείται ή λέξη «να πέσει»).

Οι ηλεκτρονόμοι έχουν στοιχεία που παρακολουθούν τα εξής ρεύματα:

α) Ρεύματα φάσεων σε σφάλματα μονοφασικά, διφασικά ή

τριφασικά οπότε λέγονται Η/Ν - φάσεων.

β) Ρεύματα γης, οπότε λέγονται Η/Ν γης . Μετράνε άθροισμα των φασικών ρευμάτων, δηλαδή το ρεύμα που διαρρέει τη γείωση του Μ/Σ. Σε σφάλματα φάσεων έχουμε μεγαλύτερα ρεύματα σε σχέση με τα σφάλματα γης γιατί η αντίσταση γείωσης του ουδέτερου του δικτύου των 20 ΚV είναι σχετικά μεγάλη(12Ω).

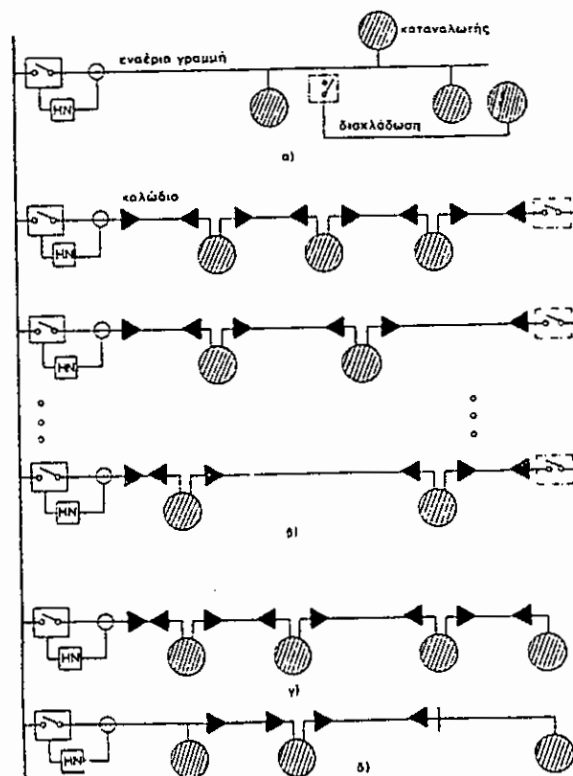


Σχ. 14 α) Κλάδος δικτύου του εθνικού συστήματος, β) Γραμμή διανομής μέσης τάσης με διακλάδωση, για παροχή καταναλωτή.

ΔΟ = προστασία αναχώρησης γραμμής, Δ1= προστασία διακλάδωσης του καταναλωτή, Δ2= προστασία εγκατάστασης Μ.Τ. του καταναλωτή, Δ3= προστασία εγκατάστασης Χ.Τ. του καταναλωτή.

Οι ηλεκτρονόμοι έχουν χαρακτηριστικές ρεύματος-χρόνου (σχ.17). Αυτές προσδιορίζουν για κάθε ρεύμα πότε θα ανοίξει ο διακόπτης και ονομάζονται καμπύλες χρονικής καθυστέρησης.

Υπάρχει ένα ελάχιστο ρεύμα (οριακό ρεύμα) κάτω από το οποίο δε δίνει εντολή πτώσης ο Η/Ν. Το ρεύμα αυτό χαρακτηρίζει και τη ρύθμιση. Λέμε π.χ. ότι έχουμε ρύθμιση $I = 320 \text{ A}$.

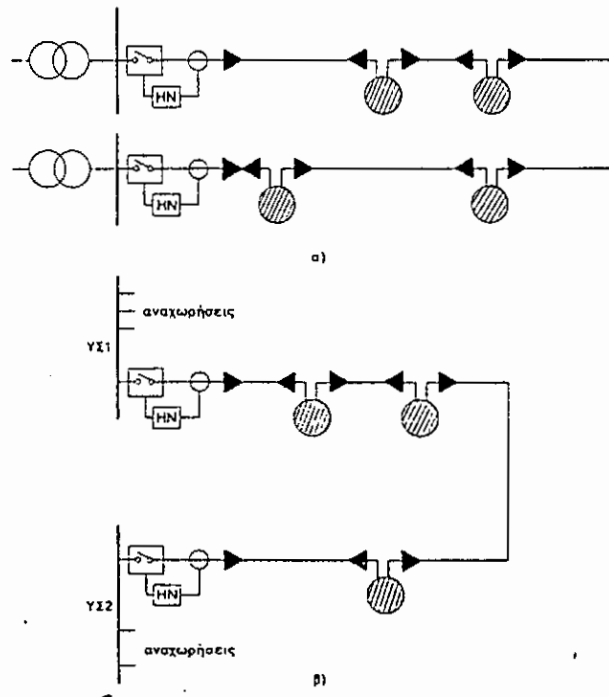


Σχ. 15 Δομή δικτύου Μ.Τ.

- α) εναέριο δίκτυο, β) υπόγειο δίκτυο με σύνδεση στο τέλος μέσω διακοπών φορτίου, γ) υπόγειο δίκτυο, βρογχοειδές ανοιχτό, δ) μικτό δίκτυο ακτινικό, με εναέριες γραμμές και καλώδιο.

Οι Η/Ν μπορεί να έχουν στοιχείο που να δίνει αμέσως εντολή πτώσης όταν το ρεύμα υπερβεί μια τιμή π.χ. 6 φορές το ονομαστικό. Αυτό λέγεται στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας ή «στιγμιαίο».

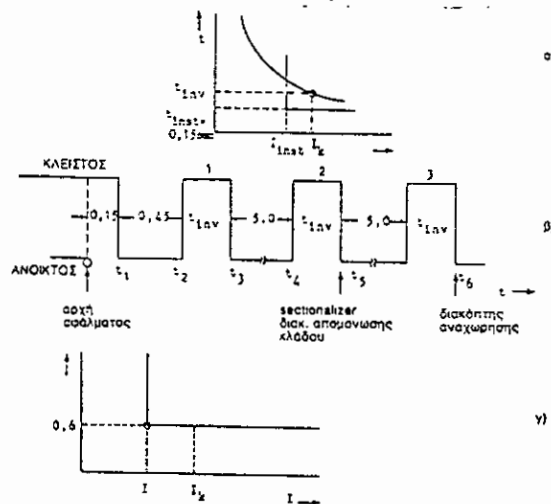
Οι διακόπτες αναχώρησης μιας εναέριας γραμμής εκτελούν συνήθως περισσότερους κύκλους λειτουργίας (ή επαναφοράς) ως εξής: Αν παρουσιαστεί ένα σφάλμα και ο Η/Ν δώσει εντολή μετά από π.χ. 50 msec τότε:



Σχ. 16 Δομή δικτύων Μ.Τ. (συνέχεια)

α) δίκτυο βρογχοειδές κλειστό, β) δίκτυο βρογχοειδές μεταξύ δύο υποσταθμών,

- ανοίγει (πέφτει) ο διακόπτης ισχύος μέσα σε π.χ. 0,1 sec.
- παραμένει ανοικτός για ένα χρόνο, π.χ. 0,45 sec
- ξανακλείνει, «επαναφέρεται»,
- ξαναανοίγει αν το σφάλμα παραμένει κ.ο.κ.



Σχ. 17 Τυπικές χαρακτηριστικές Η/Ν φάσεων.

α) Η/Ν αναχωρήσεων εναερίων γραμμών, β) Κύκλοι επαναφοράς, t_{inv} Η/Ν εναέριου δικτύου: $t_I = 0$ χρόνος του στιγμιαίου 0,15 sec ή του αντίστροφου χρόνου ανάλογα με το ύψος του ρεύματος. Μετά την πρώτη επαναφορά αδρανοποιείται το στιγμιαίο στοιχείο έστω και αν $I_k > I_{ins}$, μετά τη δεύτερη επαναφορά, ανοίγει ο διακόπτης απομόνωσης. Μετά την 3^η επαναφορά ανοίγει η αναχώρηση, γ) χαρακτηριστική Η/Ν για αναχωρήσεις καλωδίων Μ.Τ.

Αυτή η λειτουργία χαρακτηρίζεται ως εξής: O-C-O... (OPEN-CLOSE-OPEN) ή λειτουργία επαναφορών. Οι επαναληπτικοί κύκλοι λειτουργίας γίνονται γιατί τα σφάλματα μπορεί να είναι παροδικά στα εναέρια δίκτυα. Οι επαναφορές μπορεί να ρυθμιστούν ξεχωριστά για σφάλματα φάσεων και γης.

Ο αριθμός των πτώσεων και επαναφορών ρυθμίζονται και η

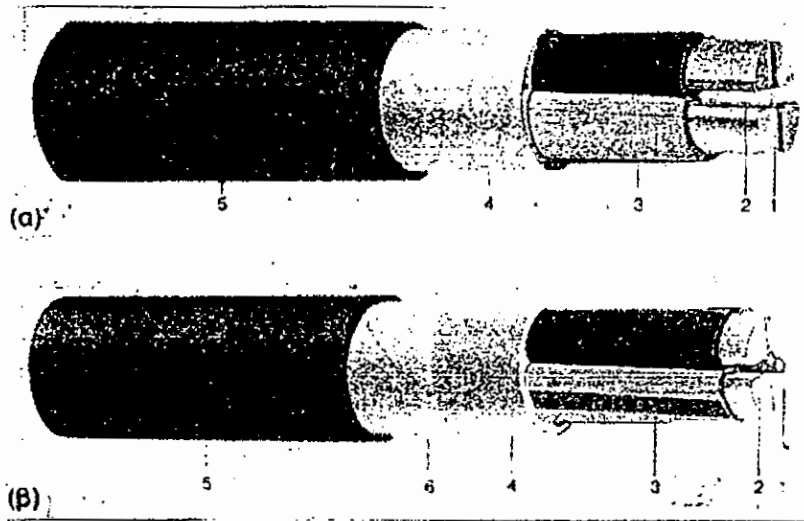
πληροφορία πάνω σ' αυτές τις ρυθμίσεις δίνεται από τη ΔΕΗ. Ένα τυπικό διάγραμμα επαναφορών φαίνεται στο παραπάνω σχ.

17. Επαναφορές δεν εκτελούνται στα υπόγεια δίκτυα, γιατί δεν υπάρχουν κατά κανόνα παροδικά σφάλματα.

1.4. Αναλυτικότερη περιγραφή καθώς και πραγματικά στοιχεία του Υ.Κ., από μόνωση (XLPE), που θα χρησιμοποιηθεί στη μελέτη.

Η ηλεκτρική μόνωση που καθιερώθηκε για τα υπόγεια καλώδια, μετά την ανάπτυξη των πλαστικών, είναι το **δικτυωτό διασυνδεδεμένο πολυαιθυλένιο**, γνωστό σαν **X-LPE**. Ο τύπος αυτός της μόνωσης είναι ο πιο συνηθισμένος, που χρησιμοποιείται σ' όλο τον κόσμο για τα καλώδια αυτά, εκτός από λίγες περιπτώσεις που χρησιμοποιείται ακόμη σαν μονωτικό υλικό το PVC (πολυβινυλοχλωρίδιο). Οι λόγοι που καθιέρωσαν το δικτυωτό διασυνδεδεμένο πολυαιθυλένιο είναι:

- **Οι εξαιρετικές ηλεκτρικές του δυνατότητες.** Παρουσιάζει μεγάλη διηλεκτρική αντοχή και μικρές διηλεκτρικές απώλειες.
- Η υψηλή επιτρεπόμενη θερμοκρασία λειτουργίας του, που φτάνει τους 90° C, ενώ για το χαρτί δεν ξεπερνάει τους 80° C.
- Η πολύ καλή αντίσταση του στις χημικές επιδράσεις.
- Η μηχανική του αντοχή που αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, αντίθετα με το PVC, που γίνεται μαλακότερο.



Σχ. 18 Διάφοροι τύποι πλαστικών καλωδίων.

- α) με μονωτικό PVC, β) με μονωτικό πολυαιθυλένιο όπου: 1. αγωγός, 2. Μονωτικός πυρήνας 3. Πλαστική μόνωση, 4. Εσωτερικό περίβλημα, 5. Πλαστική μόνωση, 6. Λεπτό φύλλο μετάλλου.

Η ιδιότητα όμως, που έχει το X-LPE να διαστέλλεται αισθητά με τη θερμοκρασία το κάνει ακατάλληλο για τη χρήση του σαν μανδύα. Το πλαστικό υλικό που αντικατέστησε το μολύβδινο ή αλουμινένιο μανδύα των υπόγειων καλωδίων είναι το P.V.C. που παρουσιάζει ικανοποιητική στεγανότητα και αντοχή.

Μια μορφή υπόγειου καλωδίου με μόνωση X-LPE, περιλαμβάνει τρεις αγωγούς αλουμινίου ή χαλκού όπως φαίνεται και στην έγχρωμη σελίδα που ακολουθεί, οι οποίοι περιβάλλονται περιφερειακά από έναν τέταρτο αγωγό χαλκού που αποτελείται

από λεπτά συρματίδια σε ελικοειδή μορφή / διάταξη. Ο τέταρτος αυτός αγωγός αποτελεί τον **ουδέτερο** του καλωδίου και ταυτόχρονα λειτουργεί σαν **ηλεκτρική θωράκιση**. Το καλώδιο αυτό είναι γνωστό σαν **CEANDER**, επίσης στις σελίδες που ακολουθούν (33-37σελ.) παραπέμπονται τα εξής στοιχεία:

- πραγματική εικόνα τριπολικού Υ.Κ. με μόνωση X-LPE με χάλκινους αγωγούς.
- διάφορα στοιχεία για τον υπολογισμό της πτώσεως τάσεως
- ηλεκτρικά χαρακτηριστικά υπόγειου καλωδίου
- μέγιστες επιτρεπόμενες φορτίσεις Υ.Κ. για 20 KV
- πίνακας φυσικών ιδιοτήτων διαφόρων μονωτικών υλικών και του X-LPE.

B. Τριπολικό καλώδιο με χάλκινους αγωγούς

Ονομαστική διατομή καλωδίου & θωράκισης	Διάμετρος καλωδίου (Περίπου)	Βάρος καλωδίου (Περίπου)	Μέγιστη ωμική αντίσταση σε ΣΡ σε 20° C	Επιτρεπόμενη συνεχής φόρτιση	
mm ²	mm	Kg/Km	Ω/Km	Στο έδαφος	Στον αέρα
3x35/16	54	3020	0.524	170	180
3x50/16	57	3600	0.387	210	225
3x70/16	60	4400	0.268	255	275
3x95/16	65	5300	0.193	295	330
3x120/16	68	6250	0.153	335	380
3x150/25	72	7330	0.124	375	430
3x185/25	77	9200	0.0991	420	490
3x240/25	81	10450	0.0754	480	570

Σημείωση: Τα παραπάνω καλώδια μπορούν να κατασκευαστούν και οπλισμένα.



Β. Τριπολικό καλώδιο

1. Πολύκλωνος στρογγυλός αγωγός αλουμινίου ή χαλκού.

2. Εσωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα X-LPE

3. Μόνωση X-LPE

4. Εξωτερικό ημιαγωγίμο στρώμα X-LPE

5. Ηλεκτρική θωράκιση αποτελούμενη από σύρματα χαλκού τυλιγμένα ελικοειδώς συγκρατούμενα από χάλκινη ταινία τυλιγμένη σε ανοιχτή ελίκωση.

6. Γεμίσματα από πολυπροπυλένιο.

7. Πλαστικές ταινίες.

8. Μανδύας PVC.

Πίνακας 2

Υπόγειο καλώδιο 20 KV τύπου X-LPE

3x240 AL + 25 AL (ΔΜΚΛΔ/Φ712/1537/28.7.93)

Τεχνικά Χαρακτηριστικά					
Ωμική αντίσταση αγωγού στους 90° C (Ω/Km)	Επαγωγική αντίσταση ανά φάση (Ω/Km)	Χωρητική αντίσταση ανά φάση (Ω/Km)	Σύνθετη μονοφασικού βραχυκυκλώματος προς Γη (Ω/Km)	Αντοχή σε βραχυκύκλωμα διάρκειας 1 sec (KA)	Μέγιστη επιτρεπόμενη φόρτιση (A)
0.162	0.115	11790	0.472+j 0.343	22	410

Συντελεστές K υπολογισμού πτώσεως τάσεως										
K=10(KV) ² / (R συνφ+Χ ημφ), (R=0.162Ω/Km Χ=0.115Ω/Km) Π.Τ.(%)=KVA.Km/K										
συνφ/ημφ	1.00 0.00	0.95 0.31	0.90 0.43	0.85 0.52	0.80 0.60	0.75 0.66	0.70 0.71	0.60 0.80	0.50 0.86	0.40 0.91
Τάση										
20 KV	246	211	204	202	201	202	205	211	222	236
15 KV	91	02	88	53	40	63	07	41	34	05
	138	118	115	113	113	113	115	118	125	132
	88	70	23	92	29	98	35	92	08	78

Μηχανικά χαρακτηριστικά - Οικονομικά στοιχεία						
Εξωτερική διάμετρος πλεξούδας (cm)	Μέση εξωτερική διάμετρος πόλου (cm)	Ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας πλεξούδας/πόλου	Μέγιστη επιτρεπόμενη δύναμη έλξης (Kg)	Βάρος καλωδίου (Kg/m)	Περίπου κόστος κήσεως ΔΡΧ/Μ (1993)	Περίπου κόστος εγκατεστημένο ΔΡΧ/Μ 1993
9	4.2	150 / 70	2000	6	6000	15000

Παρατηρήσεις

1. Οι σύνθετες αντιστάσεις θετικής (z1), αρνητικής (z2) και μηδενικής (z0) ακολουθίας είναι $z1=z2=0.162 + j * 0.115 \Omega/Km$ και $z0 = 1.092 + j * 0.800 \Omega/Km$. Η συνολική αντίσταση πλήρους μονοφασικού βραχυκυκλώματος προς γη είναι :

$$zr = \frac{z1 + z2 + z0}{3} = 0,472 + j * 0,343 \Omega/Km \quad \text{και} \quad |zr| = 0,583 \Omega/Km$$

2. Η μέγιστη επιτρεχόμενη ένταση ρεύματος για συνεχή φόρτιση (I1), μη συνεχή φόρτιση (I2) και υπερφόρτιση έκτακτης

ανάγκης (I3) είναι αντίστοιχα I1 = 485 Δ, I2= 530 Δ, για τον χειμώνα . Οι αντίστοιχες τιμές για το καλοκαίρι είναι I1 = 400 Δ, I2=440 Δ, και I3= 595 Δ, για το χειμώνα. Μη συνεχής φόρτιση είναι η κυκλική φόρτιση σε δύο διαστήματα έξι ωρών φορτίου I2, μεταξύ των οποίων μεσολαβούν δύο ώρες φόρτισης στο μισό του I2. Τα διαστήματα αυτά ακολουθούν 10 ώρες φόρτισης στο μισό του I2. Υπερφόρτιση έκτακτης ανάγκης είναι η υπερφόρτιση με ρεύμα I3 για διάστημα που δεν υπερβαίνει τις 3 ώρες και προκαλεί ανύψωση της θερμοκρασίας των αγωγών στους 120° C. Η συσσωρευτική διάρκεια των υπερφορτίσεων έκτακτης ανάγκης δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 24 ώρες μέσα σε ένα έτος.

3. Για τον υπολογισμό της βύθισης βάσεως (B.T.) χρησιμοποιούνται οι ίδιοι συντελεστές K δηλ.

$$B.T.(%) = \frac{(KVA \text{ εκκινήσεως}) * Km}{K}$$

Πίνακας 3**Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά υπόγειου καλωδίου****MT 3x240 mm² Al+ 25mm² με μόνωση XLPE**

Ονομαστική τάση μεταξύ φάσεων	20KV
Ωμική αντίσταση κάθε αγωγού σε συνεχές ρεύμα στους 20° C	0,125Ω/Km
Ωμική αντίσταση κάθε αγωγού σε εναλλασσόμενο ρεύμα στους 90° C	0,162 Ω/Km
Ωμική αντίσταση αγωγού γης σε συνεχές ρεύμα στους 20° C	1,2 Ω/Km
Μέση αυτεπαγωγή	0,366 mH/Km
Χωρητικότητα λειτουργίας	270 nF/ Km
Σύνθετη αντίσταση ευθέως συστήματος	0,162 + j0,155 Ω/ Km
Σύνθετη αντίσταση αντιστρόφου συστήματος	0,162+ j0,155 Ω/ Km
Σύνθετη αντίσταση ομοπολικού συστήματος	
Επιστροφή από θωρακίσεις, αγωγό γης και γη	1,092+j0,800 Ω/ Km
Επιστροφή από θωρακίσεις και αγωγό γης	1,804+j0,0839 Ω/ Km
Επιστροφή μόνο από γη	0,309 +j1,990 Ω/ Km
Επιστροφή μόνο από θωρακίσεις	2,933 + j 0,0579 Ω/ Km
Επιστροφή από θωρακίσεις και γη	1,103+j1,269 Ω/ Km
Επιστροφή μόνο από αγωγό γης	4,196+j0,465 Ω/ Km
Επιστροφή μόνο από γης και γη	0,946+j1,478 Ω/ Km
Χωρητικό ρεύμα (ρεύμα φόρτισης)	20 KV 0,979 A/Km
	15 KV 0,734 A/Km
Μέγιστη επιτρεπόμενη ένταση συνεχούς λειτουργίας	410 A
Αντοχή σε βραχυκύκλωμα για 1s	22 kA
Συνολικές απώλειες Joule	100% I _{max} 82 kW/Km
	75% I _{max} 46 kW/Km
Διηλεκτρικές απώλειες	20 KV 0,271 kW/Km
	15 KV 0,153 kW/Km

Σημειώσεις: 1. Σε όλες τις περιπτώσεις η θερμοκρασία των αγωγών λαμβάνεται ίση με 90° C δηλ. η μέγιστη επιτρεπόμενη για αγωγούς με μόνωση XLPE, δεδομένου ότι το οικονομικό φορτίο των καλωδίων προσεγγίζει το θερμικό όριό τους.

2. Ως αντιπροσωπευτικότερη τιμή της Z₀ πρέπει να λαμβάνεται

εκείνη που αντιστοιχεί σε επιστροφή του ρεύματος παράλληλα από θωρακίσεις, αγωγό γης και γη. Στην περίπτωση αυτή η $Z_{r(0)}$ δηλ. η συνολική αντίσταση της γραμμής μέχρι το σημείο του σφάλματος, για την περίπτωση πλήρους μονοφασικού βραχυκυκλώματος προς γη προκύπτει:

$$Z_r = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_0}{3} = 0,472 + j0,343 \Omega/Km.$$

Η τιμή αυτή διαφέρει ελαφρά από εκείνη που δίδεται στην ΟΔ Νο 48 ($0,466 + j0,325 \Omega/Km$), από το γεγονός ότι ο υπολογισμός των αντιστάσεων ακολουθίας υπήρξε εδώ αναλυτικότερος. Η σχετική διόρθωση θα γίνει κατά την πρώτη αναθεώρηση της ΟΔ Νο 48.

Μηχανικά Χαρακτηριστικά του υπόγειου καλωδίου

IT 3x240mm² Al + 25 mm² Al με μόνωση XLPE

	Διατομή (mm ²)		Αριθμός και διάμετρος (mm) συρματίδιων	Διάμετρος (mm)		
	Ονομαστική	Πραγματική		Ελάχιστη η	Μέγιστη	Μέση
Αγωγός φάσεως	240	239,5-242,7	37x2,86 ή 61x2,25	17,80	19,90	18,50
Αγωγός γης	25	23,80-25,17	7x2,11	5,60	6,50	6,05
Ελάχιστο πάχος εσωτερικού ημιαγωγίου	0,5 mm					
Ονομαστικό πάχος μόνωσης	5,5 mm					
Εξωτερική διάμετρος μόνωσης	Ελάχιστη 30,5mm, Μέγιστη 33,1 mm, Μέση 31,8 mm					
Ελάχιστο πάχος εξωτερικού ημιαγωγίου	0,5 mm					
Ελάχιστο πάχος ταινίας Al θωράκισης	0,10 mm					
Ονομαστικό πάχος εξωτερικού μανδύα PVC	3,0 mm					
Εξωτερική διάμετρος τόλου καλωδίου	Ελάχιστη 39,5 mm, Μέγιστη 44,5 mm, Μέση 42 mm					
Ονομαστικό πάχος μανδύδνου αγωγού γης	1,0 mm					
Ακτίνα καμπυλότητας καλωδίου	(1500 mm)					
Ακτίνα καμπυλότητας ενός τόλου	(700 mm)					
Εξωτερική διάμετρος τραπεζούδας	90 mm τμήτρου					
Βάρος καλωδίου	6000 Kg/Km τμήτρου					
Βάρος αλουμινίου (αγωγοί + θωρακιστές)	2100 Kg/Km τμήτρου					
Βάρος μανδύδνου	300 Kg /Km τμήτρου					
Μέγιστη επιτρεπτή δύναμη έλξης καλωδίου	2000 daN					

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ 20 ΚV

3 x 240 mm² Al + 25mm² Al

	Καλώδια στο έδαφος				Καλώδια στον αέρα εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία			
	Χειμώνας		Καλοκαίρι		Χειμώνας		Καλοκαίρι	
Μέση ειδική θερμική αντίσταση εδάφους (Κ. m/W)	1,0	1,0	1,0	1,0	-	-	-	-
εδάφους	10	15	20	25	-	-	-	-
Θερμοκρασία								
	αέρα	-	-	-	10	20	35	40
Επιτρεπτή θερμοκρασία αγωγών (°C)		80	75	70	65	80	70	55
Μέγιστη ένταση συνεχούς Λειτουργίας (A)		453	439	424	410	481	435	356
	15 kV	11,8	11,4	11,0	10,7	12,5	11,3	9,2
Θερμικό όριο μεταφοράς ισχύος (MVA)								
	20 kV	15,7	15,2	14,7	14,2	16,7	15,1	12,3
								11,3

Σημείωση: Οι οικισμένες τιμές αντιστοιχούν στις θερμικές παραδοχές της ΟΔ Νο 48.

Φυσικές Ιδιότητες Μονωτικών Υλικών

Χρήση	PVC	PVC-Isard Grade	PBT	Ελαστικών	PU/PU	NEOPRENE	EPB	NIPE	Επιτοίχι Χάρτις
	MXT-MIMT-ETI	MMT	MXT-MMT-ETI	MNT-ETI	MXT-MMT	ETI	MXT-MIMT	MXT-MIMT-MVT	MXT-MIMT-MVT
Είδος ύφους g/cm^3	1,35	1,35	0,92	6	3,5-6,5	-	2,8-3,4	2,5	3,6
Διηλεκτρική σταθερά	4,6	3,6-4,5	2,3	6	3,5-6,5	-	2,8-3,4	2,5	3,6
Τόπος διαμόρφωσης	20	30	40	25	25	20	30	40	100
K.Vinyl									
Τύπος σπυλακών mg εφ 20	0,1	0,1	0,001	0,1	0,03	0,03-0,15	0,02	0,004	0,005
$^{\circ}\text{C}$ και 50 Hz									
Θερμότητα θέρμανσης h/m^2	100-150	100-150	100	50	50	120-200	42-70	125	-
Επιλεκτική θέρμανση	150%	125%	350%	300%	300%	300%	200%	200%	-
Θερμική αντοχή $^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}^2/\text{W}$	700	700	400	550	550	550	600	400	600
Υγρασία	καλή	καλή	πολύ καλή	καλή	πολύ καλή	καλή	καλή		-
Ανδρών οξεία μικρός πυκνότητας	καλή	καλή	καλή	κακή	καλή	καλή	καλή	πολύ καλή	-
Ανδρών βάρους μικρός πυκνότητας	δύσκολη	δύσκολη	καλή	καλή	καλή	καλή	καλή	πολύ καλή	-
Αρμητικές Υδροαπορρόφησης	μέτρια	μέτρια	καλή	πολύ καλή	πολύ καλή	καλή	πολύ καλή	καλή	-
Αυξητική Υδροαπορρόφησης	καλή (εν ψυχρώ)	καλή (εν ψυχρώ)	καλή (εν ψυχρώ)	πολύ καλή	πολύ καλή	πολύ καλή	πολύ καλή	καλή	-
Φωτ. φάσμα	δεν μεταδίδει φάσμα	δεν μεταδίδει φάσμα	Καίεται	Καίεται	Καίεται	δεν μεταδίδει φάσμα	Καίεται	Καίεται	Καίεται
Δυναμική Χημική αντοχή	πολύ καλή	πολύ καλή	πολύ καλή	πολύ καλή	καλή	καλή	καλή	καλή	ελάχιστη
Μέγιστη θερμοκρασία αντοχής	70 $^{\circ}\text{C}$	80 $^{\circ}\text{C}$	70 $^{\circ}\text{C}$	60 $^{\circ}\text{C}$	83 $^{\circ}\text{C}$	-	90 $^{\circ}\text{C}$	90 $^{\circ}\text{C}$	80 $^{\circ}\text{C}$
Μέγιστη θερμοκρασία βροχολύσεως	150 $^{\circ}\text{C}$	150 $^{\circ}\text{C}$	150 $^{\circ}\text{C}$	200 $^{\circ}\text{C}$	200 $^{\circ}\text{C}$	-	250 $^{\circ}\text{C}$	250 $^{\circ}\text{C}$	180 $^{\circ}\text{C}$
Ειδική μονωτική αντοχή mg εφ 20 $^{\circ}\text{C}$ (Οκτώ)	10 11	10 14	10 13	10 12	10 15	10 15	10 13	10 15	10 14

ΜΥΤ= Μονώσεις υψηλής τάσης ΜΧΤ= Μονώσεις χαμηλής τάσης
 ΜΜΤ= Μονώσεις μεσαίας τάσεως ΕΠ= Επενδύσεις

Κεφάλαιο 2^ο

2. Γραμμές διανομής Ε.Ρ.

2.1. Γενικά

Τα δίκτυα διανομής Ε.Ρ., όπως έχουμε αναφέρει στην αρχή του κεφαλαίου, διαχωρίζονται στα δίκτυα διανομής χαμηλής τάσης τα οποία κατασκευάζονται για τάσεις μέχρι 1000V(127/220V, 220/380V) και στα δίκτυα μέσης τάσης, συνήθως μέχρι 20KV (6,6KV, 15KV, 20KV). Για τις συνήθεις διατομές αγωγών (μέχρι 95 mm²) και τις επιτρεπόμενες πτώσεις τάσης, το μήκος των δικτύων Χ.Τ. (χαμηλής τάσεως) σπανίως υπερβαίνει τα 1000m. Το μήκος των δικτύων Μ.Τ. (μέσης τάσεως) είναι πολύ μεγαλύτερο και δυνατό να υπερβεί τα 50 Km.

Όπως έχουμε εξετάσει σε άλλο κεφάλαιο, οι εναέριοι αγωγοί των δικτύων Ε.Ρ. παρουσιάζουν ωμική (R) επαγωγική (XL) χωρητική αντίσταση (Xc), τα δίκτυα διανομής όμως, λόγω του μικρού σχετικά μέρους τους, είναι δυνατό να μη ληφθεί υπ' όψη στους υπολογισμούς η χωρητική αντίστασή τους, αφού εξ'άλλου είναι σημαντικά μικρότερη των άλλων δύο. Την περίπτωση μη παράλειψης της χωρητικότητας στους υπολογισμούς θα

συναντήσουμε στις γραμμές μεταφοράς .

Στα δίκτυα διανομής υπολογίζεται συνήθως η πτώση τάσης κατά μήκος αυτών και μέσω αγωγών δεδομένων διατομών και η οποία δεν πρέπει να υπερβαίνει σε καθορισμένο ποσοστό ή υπολογίζεται η διατομή των αγωγών για δεδομένη πτώση τάσης. Σπανίως υπολογίζονται και οι θερμικές απώλειες, αν απαιτείται . Τα δίκτυα που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι τριφασικά . Τα δίκτυα Χ.Τ. έχουν συνήθως και ουδέτερο ή μικρότερης διατομής ενώ τα δίκτυα Μ.Τ. δεν έχουν ουδέτερο .

Παρακάτω θα εξετάσουμε τα δίκτυα με συμμετρική φόρτιση και επομένως οι τρεις φάσεις θα διαρρέονται από ίσες εντάσεις και θα μεταφέρουν η κάθε μία το $1/3$ της συνολικής ισχύος. Εξ' άλλου οι τρεις εντάσεις, όχι μόνο θα είναι ίσες κατά το μέτρο τους, αλλά θα έχουν φασική απόκλιση μεταξύ τους 120° και επομένως η συνισταμένη αυτών θα είναι ίση με μηδέν. Από αυτό συμπεραίνουμε ότι στη συμμετρική φόρτιση ο ουδέτερος (όταν υπάρχει) δεν διαρρέεται από ρεύμα και επομένως στα τριφασικά δίκτυα δεν υπάρχει αυτούσιος αγωγός επιστροφής για τον υπολογισμό πτώσης τάσης σε αυτόν, όπως γίνεται στα δίκτυα Σ.Ρ.

Είναι φανερό ότι στην περίπτωση μονοφασικής ή διφασικής γραμμής ο ουδέτερος διαρρέεται από μια ένταση ίση προς την αντίστοιχη του αγωγού φάσης και επομένως στο τμήμα αυτό του δικτύου στο οποίο δεν υπάρχει συμμετρική φόρτιση, θα πρέπει

να ληφθεί υπ' όψη και η πτώση τάσης στον αγωγό επιστροφής. Για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης σε ένα τριφασικό δίκτυο με συμμετρική φόρτιση, είναι αρκετό να υπολογισθεί η πτώση τάσης του ενός αγωγού με την προϋπόθεση ότι οι αγωγοί και των τριών φάσεων είναι της ίδιας διατομής και του ίδιου μήκους.

Ως γνωστό η ισχύς μιας τριφασικής κατανάλωσης υπολογίζεται από τις σχέσεις:

- Πραγματική ισχύς $P = \sqrt{3} \cdot U_{\pi} \cdot I \cdot \cos\varphi = 3U_{\phi} \cdot I \cdot \cos\varphi$
- Άεργος ισχύς $Q = \sqrt{3} \cdot U_{\pi} \cdot I \cdot \eta\mu\varphi = 3U_{\phi} \cdot I \cdot \eta\mu\varphi$
- Φαινόμενη ισχύς $S = \sqrt{3} \cdot U_{\pi} \cdot I = 3 U_{\phi} \cdot I$

Όπου, U_{π} και U_{ϕ} η πολική και φασική τάση ενώ

I η ένταση κάθε μιας φάσεως.

2.2. Πτώση τάσης δικτύου με μια κατανάλωση (τροφοδότηση από το ένα άκρο)

Έστω στο σχήμα 19 τριφασικό δίκτυο με μια κατανάλωση στο άκρο αυτού ίση προς I (A) ανά φάση με δεδομένο συντελεστή ισχύος ($\cos\varphi$). Η ωμική και επαγωγική αντίσταση κάθε αγωγού είναι αντίστοιχα R (Ω) και $X(\Omega)$, η δε φασική τάση στην αναχώρηση και την άφιξη του δικτύου U_s (V) και U_r (V).

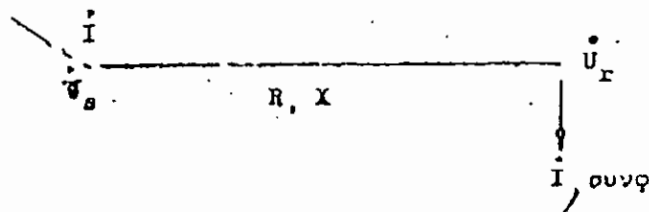
Για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης του δικτύου, επειδή πρόκειται για συμμετρική φόρτιση αρκεί να υπολογισθεί η πτώση

τάσης της μιας φάσης : $\Delta U = U_s - U_r$ για το φορτίο αυτής Z και συνφ.

Ο υπολογισμός της πτώσης τάσης είναι δυνατό να γίνει κατά δύο τρόπους :

- α) με τη χρησιμοποίηση του μιγαδικού λογισμού και
- β) με την προσεγγιστική μέθοδο.

Η χρησιμοποίηση της προσεγγιστικής μεθόδου είναι προτιμότερη όχι μόνο γιατί είναι απλούστερη αλλά και γιατί ανταποκρίνεται περισσότερο στις ανάγκες της πράξης και η πτώση τάσης καθορίζεται ως η διαφορά των ενδεικνύμενων τιμών των τάσεων U_s και U_r και όχι ως διαφορά δύο διανυσμάτων .



Σχ. 19

2.2.1. Υπολογισμός πτώσης τάσης μιγαδικά

Υπολογισμός της πτώσης τάσης ΔU (ή της τάσεως άφιξης ή

αναχώρησης, όταν έχει δοθεί η μία από αυτές), θα εκφράσουμε όλα τα δοθέντα μεγέθη από μιγαδική μορφή, οπότε η φασική τάσης θα είναι :

$$\bar{U}_s - \bar{U}_r = \Delta \bar{U} = \bar{I} \cdot \bar{Z}$$

έτσι

$\bar{Z} = R + jX$ η σύνθετη αντίσταση της γραμμής .

Προφανώς όμως είναι:

$$|\bar{U}_s| - |\bar{U}_r| \neq |\Delta \bar{U}| = |\bar{I} \cdot \bar{Z}|$$

και από αυτό οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης.

$$|\bar{U}_s| - |\bar{U}_r|$$

δεν είναι απόλυτα ορθό να χρησιμοποιήσουμε τη σχέση .

$$|\bar{U}_s| - |\bar{U}_r| = |\bar{I}| \cdot |\bar{Z}|$$

Αυτό είναι δυνατό να γίνει μόνο σε πρόχειρους υπολογισμούς στους οποίους δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια.

2.2.2. Υπολογισμός πτώσης τάσης προσεγγιστικά

Αφού καθορίσουμε μια κλίμακα για τις εντάσεις και άλλη για τις τάσεις, κατασκευάζουμε το διανυσματικό διάγραμμα του σχήματος 20. Προς αυτό λαμβάνουμε την ένταση I στον οριζόντιο

άξονα και την τάση U_r υπό γωνία ϕ . Από το τέλος αυτής A λαμβάνουμε οριζόντιο μήκος (AB) ίσο προς την ωμική πτώση τάσης IR και από του B κατακόρυφου μήκους (BΓ) ίσο προς την επαγωγική πτώση τάσης IX . Προφανώς το διάνυσμα (ΟΓ) είναι ίσο προς την τάση U_s και το (ΑΓ) προς την πτώση της τάσης

$$\bar{I} \cdot \bar{Z}$$

Αν λάβουμε τις προβολές των (AB) και (BΓ) επί της U_r έχουμε :

$$(AB') = (AB) \cdot \sigma\upsilon\nu\phi = IR \cdot \sigma\upsilon\nu\phi \text{ και}$$

$$(B'\Gamma') = (B\Gamma) \eta\mu\phi = IX \cdot \eta\mu\phi$$

και επομένως :

$$(O\Gamma') = (OA) + (AB') + (B'\Gamma') = |U_r| + IR \cdot \sigma\upsilon\nu\phi + IX \eta\mu\phi$$

Στην περίπτωση όμως των δικτύων που εξετάζουμε η γωνία μεταξύ των τάσεων U_s και U_r είναι πάρα πολύ μικρή και είναι δυνατό να ληφθεί χωρίς αξιόλογο σφάλμα το μήκος (OΓ') ίσο με την τάση αναχώρησης U_s

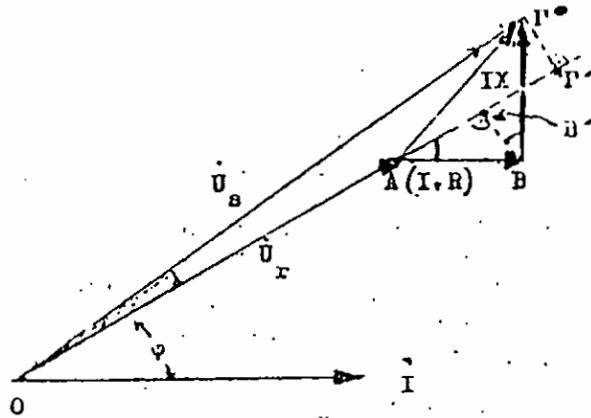
$$\text{Επομένως : } |\bar{U}_s| \cong |\bar{U}_r| + IR \cdot \sigma\upsilon\nu\phi + IX \cdot \eta\mu\phi \quad \eta$$

$$U_s - U_r = \Delta U \cong IR \sigma\upsilon\nu\phi + IX \cdot \eta\mu\phi$$

Για τους συνήθεις υπολογισμούς θεωρείται ικανοποιητική η ακρίβεια των αποτελεσμάτων με τη χρησιμοποίηση της παραπάνω προσεγγιστικής σχέσης .

Υπενθυμίζουμε ότι η υπολογιζόμενη πτώση τάσης είναι φασική

και επομένως για τον υπολογισμό της πολικής πτώσης τάσης θα πρέπει να πολλαπλασιασθεί αυτή επί $\sqrt{3}$.



Σχ. 20

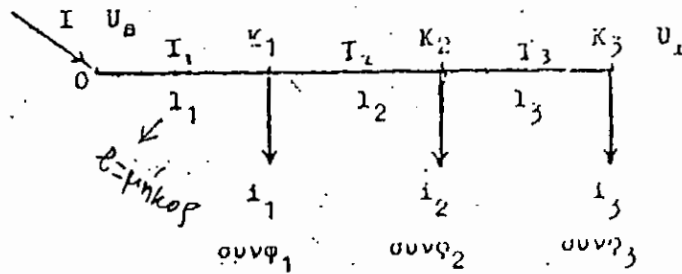
2.3. Πτώση τάσης του δικτύου σε περισσότερους από έναν καταναλωτές (τροφοδότηση από το ένα άκρο).

Για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης δικτύου με περισσότερες από μια κατανάλωση, είναι δυνατό να εφαρμόσουμε όπως και στην περίπτωση της μιας κατανάλωσης δύο μεθόδους :

- α) Χρησιμοποίηση του μιγαδικού λογισμού και
- β) Χρησιμοποίηση της προσεγγιστικής μεθόδου

Έστω στο σχήμα 21 τριφασικό δίκτυο με τρεις καταναλώσεις και τα αναγραφόμενα σε αυτό δεδομένα.

Επιπλέον η φόρτιση του δικτύου είναι συμμετρική και οι αγωγοί ενιαίας διατομής με αντίσταση ωμική $R(\Omega/\text{Km})$ και επαγωγική $X(\Omega/\text{Km})$.



Σχ. 21

2.3.1. Υπολογισμός πτώσης τάσης μιγαδικά

Εκφράζουμε όλα τα δοθέντα μεγέθη υπό μιγαδική μορφή οπότε η αντίσταση του αγωγού ανά μονάδα μήκους είναι:

$$\dot{Z} = R + jX \left(\frac{\Omega}{\text{Km}} \right)$$

και των τμημάτων του δικτύου (OK_1) , (K_1K_2) , (K_2K_3) είναι αντίστοιχα:

$$\begin{aligned} \bar{Z}_1 &= I_1 (R + jX) = I_1 \cdot \bar{Z} & \bar{Z}_2 &= I_2 \cdot \bar{Z} \text{ και} \\ & & \bar{Z}_3 &= I_3 \cdot \bar{Z} \end{aligned}$$

Οι εντάσεις των εν λόγω τμημάτων θα είναι:

$$\bar{I}_1 = i_1 + i_2 + i_3, \bar{I}_2 = i_2 + i_3, \text{ και } \bar{I}_3 = i_3$$

Η ζητούμενη πτώση τάσης είναι :

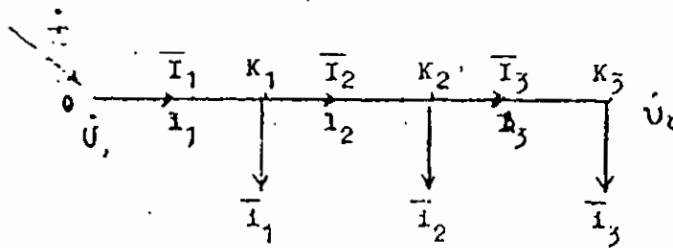
$$\bar{U}_s - \bar{U}_r = \Delta \bar{U} = \bar{I}_1 \cdot \bar{Z}_1 + \bar{I}_2 \cdot \bar{Z}_2 + \bar{I}_3 \cdot \bar{Z}_3$$

Γενικότερα στην περίπτωση ενός δικτύου με n καταναλώσεις θα ισχύει η σχέση:

$$\bar{U}_s - \bar{U}_r = \Delta \bar{U} = \sum_1^n \bar{I}_v \cdot \bar{Z}_v$$

Στην προκειμένη περίπτωση ισχύει και πάλι ότι η πτώση τάσης καθορίζεται ως ποσοστό επί τοις %. Η παραπάνω σχέση δεν δίνει ακριβή αποτελέσματα γιατί :

$$|\bar{U}_s| - |\bar{U}_r| \neq |\Delta \bar{U}|$$



Σχ.22

2.3.2. Υπολογισμός πτώσης τάσης προσεγγιστικά

Σε αυτή την περίπτωση υπολογίζουμε τις αντιστάσεις από την αρχή του δικτύου μέχρι την αντίστοιχη κατανάλωση και εφαρμόζουμε τη μέθοδο των ροπών, όπως στα δίκτυα Σ.Ρ. με τη διαφορά ότι η πτώση τάσης κάθε κατανάλωσης (έστω της i_x) θα είναι :

$$\Delta U_x = i_x (R_x \sigma \nu_x + X_x \eta \mu \phi_x)$$

και επομένως η συνολική πτώση τάσης των καταναλώσεων του σχήματος 23 θα είναι :

$$\Delta U = i_1 (R_1 \cdot \sigma \nu \phi_1 + X_1 \cdot \eta \mu \phi_1) + i_2 (R_2 \cdot \sigma \nu \phi_2 + X_2 \cdot \eta \mu \phi_2) + i_3 (R_3 \cdot \sigma \nu \phi_3 + X_3 \cdot \eta \mu \phi_3)$$

Όταν ο αγωγός του δικτύου είναι ενιαίας διατομής με αντιστάσεις ανά μονάδα μήκους R_0 και X_0 η παραπάνω σχέση είναι δυνατόν να πάρει και την παρακάτω μορφή:

$$\Delta U = i_1 \cdot I_1 (R_0 \sigma \nu \phi_1 + X_0 \eta \mu \phi_1) + i_2 \cdot I_2 (R_0 \sigma \nu \phi_2 + X_0 \eta \mu \phi_2) + i_3 \cdot I_3 (R_0 \sigma \nu \phi_3 + X_0 \eta \mu \phi_3)$$

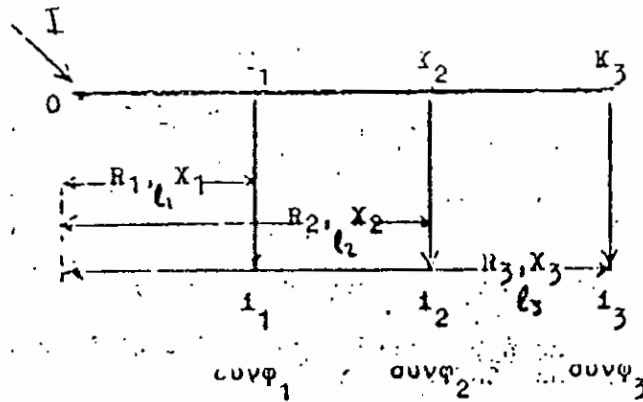
ή ακόμη

$$\Delta U = R_0 (i_1 I_1 \cdot \sigma \nu \phi_1 + i_2 I_2 \sigma \nu \phi_2 + i_3 I_3 \sigma \nu \phi_3) + X_0 (i_1 I_1 \cdot \eta \mu \phi_1 + i_2 I_2 \eta \mu \phi_2 + i_3 I_3 \eta \mu \phi_3)$$

όπου: I_1, I_2, I_3 =είναι τα μήκη των αγωγών που αντιστοιχούν

στις αντιστάσεις R_1, R_2, R_3 .

Στη γενική περίπτωση n καταναλώσεων οι προηγούμενες εξισώσεις λαμβάνουν την παρακάτω μορφή :



Σχ. 23

$$\Delta U = \sum_1^n i_v R_v \cos\phi_v + \sum_1^n i_v X_v \eta \mu\phi_v$$

$$\text{ή } \Delta U = R_0 \sum_1^n i_v I_v \cos\phi_v + X_0 \sum_1^n i_v I_v \eta \mu\phi_v$$

Με την εν λόγω προσεγγιστική μέθοδο επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα στην περίπτωση κατά την οποία η πτώση τάσης καθορίζεται ως η διαφορά των μέτρων της τάσης άφιξης από την τάση αναχώρησης

$$\Delta U = \bar{U}_s - \bar{U}_r$$

Σε αντίθεση με τον υπολογισμό της πτώσης τάσης μιγαδικώς.

2.4. Πτώση τάσης δικτύου με τροφοδότηση από τα δύο άκρα

Όσα έχουν αναφερθεί για τα δίκτυα Σ.Ρ. είναι δυνατό να έχουν εφαρμογή και στα δίκτυα Ε.Ρ. κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις . Και πάλι θα διακρίνουμε δύο περιπτώσεις δηλαδή τα άκρα τροφοδότησης του δικτύου να έχουν την ίδια ή διαφορετική τάση. Για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης είναι δυνατό να εργαστούμε μιγαδικώς ή με την προσεγγιστική μέθοδο.

2.4.1. Ίδια τάση τροφοδότησης και από τα δύο άκρα.

α) Προσεγγιστική μέθοδος.

Είναι δυνατό να υποθέσουμε και πάλι ότι μια τυχαία κατανάλωση, έστω η i_k τροφοδοτείται και από τα δυο τα άκρα με εντάσεις x και y , οπότε έχουμε την εξίσωση:

$$x + y = i_k \quad (1)$$

Εφ' όσον η κατανάλωση αυτή τροφοδοτείται και από τα δύο τα άκρα, η πτώση τάσης του δικτύου από το ένα άκρο F_1 μέχρι αυτής (R_k) θα ισούνται με την αντίστοιχη πτώση τάσης από το άλλο άκρο F_2 έτσι:

$$(\Delta U_{F_1 R_k}) = (\Delta U_{F_2 R_k})$$

Η τελευταία εξίσωση μπορεί να εκφραστεί με την προσεγγιστική μέθοδο (εξίσωση των ροπών) ως εξής :

$$\begin{aligned} & \sum_{1}^{k-1} i_v R_v \text{συνφ}_v + \sum_{1}^{k-1} i_v X_v \eta \mu \phi_v + x(R_x \text{συνφ}_k + X_x \eta \mu \phi_k) = \\ & = \sum_{k+1}^v i_v R'_v \text{συνφ}_v + \sum_{k+1}^v i_v X'_v \eta \mu \phi_v + y(R'_k \text{συνφ}_k + X'_k \eta \mu \phi_k) \end{aligned} \quad (2)$$

Από το σύστημα των εξισώσεων (1) και (2) υπολογίζεται εύκολα το x και y .

Στη δεύτερη εξίσωση R'_v και X'_v είναι οι αντιστάσεις του δικτύου μέχρι την αντίστοιχη κατανάλωση v υπολογιζόμενη από το άλλο άκρο του δικτύου (F_2). Στην προκειμένη περίπτωση υπάρχει ένα σφάλμα ως προς τα x και y τα οποία υπολογίζονται με συνφ_k , ενώ κατά κανόνα τούτο διαφέρει. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζουμε ουσιαστικά τις προβολές των εντάσεων x και y επί της έντασης i_k .

Εφ' όσον μετά τον υπολογισμό προκύψει ότι δεν είναι η κατανάλωση αυτή η οποία τροφοδοτείται από τα δύο άκρα (θα πρέπει $0 < x < i_k$ και $0 < y < i_k$) γίνεται διόρθωση όπως και στην περίπτωση δικτύων Σ.Ρ.

Από τη διόρθωση αυτή προκύπτει και πάλι ένα μικρό σφάλμα από το γεγονός ότι τα x και y ελήφθησαν με συνφ_k και όχι συνφ_λ , αν i_λ είναι η κατανάλωση η οποία πράγματι τροφοδοτείται και από τα δύο άκρα. Εφαρμόζουμε τη δεύτερη μέθοδο στο Σ.Ρ. κατά την οποία υποθέσαμε γνωστή την ένταση I από την οποία τροφοδοτείται το ένα άκρο και εκφράσαμε τις εντάσεις κάθε κλάδου σε συνάρτηση με αυτή, δεν είναι δυνατό να την εφαρμόσουμε και στο Ε.Ρ., γιατί δεν είναι γνωστό το συνφ στις

εντάσεις των κλάδων, και ο υπολογισμός αυτών είναι αρκετά δυσχερής.

β) Υπολογισμός με τη μιγαδική μέθοδο

Στην περίπτωση αυτή είναι προτιμότερο να μην εργαστούμε με τη μέθοδο των ροπών. Έστω, λοιπόν \bar{I}_1 η ένταση από την οποία τροφοδοτείται το άκρο F_1 . Εκφράζουμε την πτώση τάσης κάθε κλάδου, το άθροισμα αυτών από F_1 μέχρι F_2 θα ισούται με το μηδέν, έτσι:

$$(\Delta U_{F_1 F_2})=0$$

Η παραπάνω εξίσωση θα έχει για την κατανάλωση i_n τη μορφή:

$$\sum_1^n [\bar{I}_1 - (\bar{i}_1 + \dots + \bar{i}_n)] \bar{Z}_n = 0$$

όπου: $Z'_n =$ η σύνθετη αντίσταση του τμήματος του αγωγού μεταξύ των φορτίων i_{x-1} και i_x .

Από την εξίσωση αυτή υπολογίζεται η ένταση \bar{I}_1 , και στη συνέχεια οι εντάσεις των διαφόρων κλάδων, οπότε αυτομάτως προκύπτουν και οι εντάσεις \bar{x} και \bar{y} με τις οποίες τροφοδοτείται και από τα δύο άκρα η ζητούμενη κατανάλωση.

Κεφάλαιο 3^ο

3. Διακόπτες μέσης τάσης

Οι διάφοροι τύποι διακοπών έχουν αναπτυχθεί στο σύγγραμμα. Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας II. Εδώ θα ασχοληθούμε μόνο με διακόπτες των 20 KV.

Υπάρχουν οι εξής κατηγορίες διακοπών MT:

- διακόπτες ισχύος
- διακόπτες φορτίου
- αποζεύκτες και γειωτές

3.1. Διακόπτες ισχύος

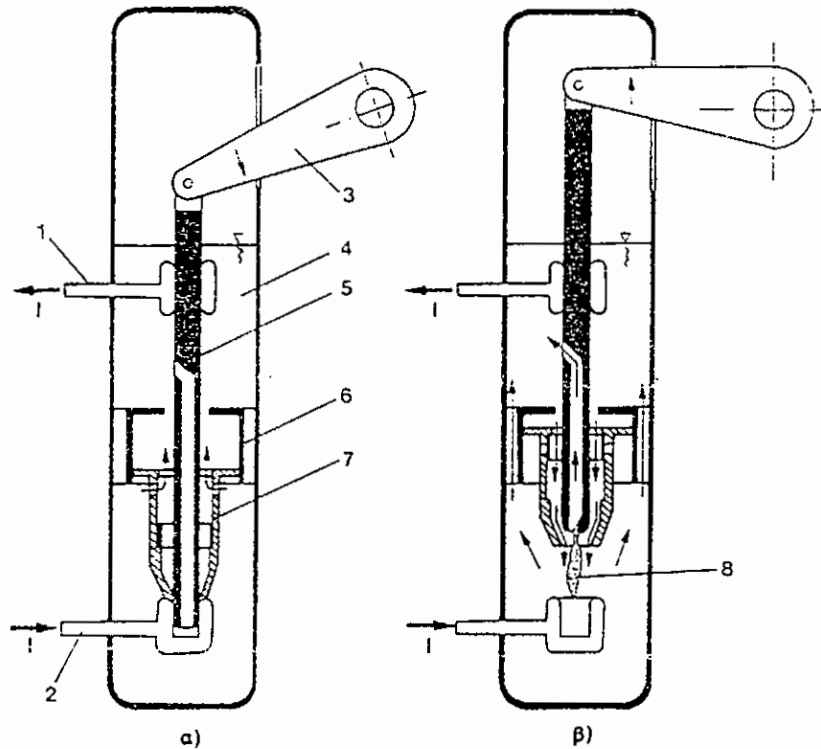
Πρότυπα που διέπουν ΔΙ είναι τα εξής:

VDE 0670, IEC 56, BS 5311, ANSI C37, UTE C64

Οι διακόπτες ισχύος (Circuit Breaker, Leitungsschalter) λέγονται και «αυτόματοι», ανοίγουν και κλείνουν κυκλώματα σε οποιοσδήποτε συνθήκες λειτουργίας, δηλαδή τόσο σε κανονικές συνθήκες, όσο και σε βραχυκυκλώματα. Έτσι αυτοί χρησιμοποιούνται στην προστασία κατά των βραχυκυκλωμάτων.

Τα ρεύματα που μπορούν να διακόψουν στο δίκτυο των 20KV είναι 7 KA και πάνω. Η θεωρητική μέγιστη κρουστική τιμή του ρεύματος που αντιστοιχεί στα 7 KA είναι 20 KA. Ο διακόπτης ισχύος είναι σε θέση να αντέξει αμέσως μετά την διακοπή του τόξου στην επιβαλλόμενη τάση του δικτύου των 20 KV.

Οι διακόπτες ισχύος MT που προτιμούνται σήμερα για προστασία σε καταναλωτές MT είναι σχεδόν κατά αποκλειστικότητα διακόπτες (πτωχού) λαδιού (σχ. 24). Ο όρος πτωχός τους αντιδιαστέλει προς τους διακόπτες παλιών προδιαγραφών που χρησιμοποιούσαν πολλαπλάσιες ποσότητες λαδιού από ότι σήμερα. Η σβέση του τόξου γίνεται με έντονη ροή λαδιού γύρω από το τόξο. Οι επαφές των διακοπών συγκρατούνται στη θέση ενός με ένα ελατήριο. Σε σπάνιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται στη MT και διακόπτες που στηρίζονται σε άλλες αρχές όπως διακόπτες SF₆, κενού ή και διακόπτες αέρος μαγνητικού φυσήματος.



Σχ. 24. Διακόπτης λαδιού (πτωχού ελαίου). Αρχή λειτουργίας:
 α. Κλειστός, β. Ανοικτός, 1. Ακροδέκτης, 2. Ακροδέκτης με επαφή, 3. Μηχανισμός κίνησης, 4. Λάδι, 5. Κινούμενη επαφή, 6. Κύλινδρος, 7. Έμβολο, 8. Τόξο.

Ο διακόπτης ανοίγει αυτόματα (πέφτει) παίρνοντας εντολή από ηλεκτρονόμους και κλείνει με επανένταση του ελατηρίου με κινητήρα ή χειροκίνητα. Αντί του ΗΝ ο ΔΙ μπορεί να διεγείρεται από ενσωματωμένο θερμικό στοιχείο ή και στοιχείο στιγμιαίας λειτουργίας από το ίδιο ρεύμα (πρωτογενώς). Έτσι οι αυτόματοι διαιρούνται όσο αφορά την προστασία τους σε:

- **Αυτόματους με δευτερογενή προστασία**
- **Αυτόματους με πρωτογενή προστασία**

Η δευτερογενής προστασία είναι κατά 30-40% ακριβότερη από ότι η πρωτογενής αλλά έχει το πλεονέκτημα ότι συντονίζεται καλύτερα με τα μέσα προστασίας της ΔΕΗ. Εξ' άλλου η πρωτογενής προστασία μπορεί να εφαρμοστεί για ονομαστικά ρεύματα κάτω των 50 A περίπου.

Χαρακτηριστικά μεγέθη των διακοπών ισχύος είναι:

- Η ονομαστική τάση (rated voltage), συνήθως 24 KV.
- Το ονομαστικό ρεύμα (rated current), μέγιστο συνεχώς επιτρεπόμενο ρεύμα, συνήθως $I_r=630$ A.
- Το ονομαστικό ρεύμα ζεύξης, σε βραχυκύκλωμα, συνήθως 20 KA. Αυτό είναι το ρεύμα που ρέει όταν ο διακόπτης κλείνει σε βραχυκύκλωμα.
- Ονομαστική διάρκεια βραχυκυκλώματος, συνήθως 3 sec.
- Το ονομαστικό ρεύμα απόζευξης, I_k , υπό ορισμένο συντελεστή ισχύος, συνήθως 8...20 KA για $\cos\phi=0,7$ επαγωγικό.
- Η ισχύς απόζευξης $S_k=\sqrt{3}\cdot I_k\cdot U_k$, συνήθως 350...560MVA

Αυτή η ισχύς υπολογίζεται σύμφωνα με προηγούμενο κεφάλαιο περί υπολογισμού καλωδίων και πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 250MVA

- Αντοχή επαφών σε χειρισμούς στο ονομαστικό ρεύμα συνήθως 500 φορές στο ονομαστικό ρεύμα, 1000 στο ήμισυ του ονομαστικού
- Αντοχή σε εναλλασσόμενη τάση, συνήθως 50 KV 1 min και 125 KV κρουστική τάση από πόλο σε πόλο και από πόλο προς γη.

Το σύστημα προστασίας με διακόπτες ισχύος αποτελείται από τα εξής μέρη:

- Τον τριπολικό διακόπτη με τις επαφές
- Βοηθητικές επαφές, συνήθως 5 NC, 5 NO, 1 παροδική των 10A τάσης 500V.
- Το μηχανισμό ελατηρίου. Αυτός είναι ένα ελατήριο που ασκεί τη δύναμη για να αποχωρισθούν οι επαφές με επαρκή ταχύτητα κατά την απόζευξη. Η ένταση του ελατηρίου μπορεί να γίνει χειροκίνητα με μοχλό ή ηλεκτροκίνητα με ηλεκτρικό κινητήρα. Δηλαδή μετά από κάθε απόζευξη το ελατήριο πρέπει να ενταθεί. Αυτό γίνεται αυτόματα ή χειροκίνητα. Το ελατήριο αφού ενταθεί αυτοσυγκρατείται.
- Πηνίο εργασίας (ζεύξης), ηλεκτρομαγνήτης που κλείνει τον διακόπτη (closing solenoid)
- Πηνίο που ελευθερώνει το ελατήριο, δηλαδή επενεργεί την απόζευξη (shunt release)

- Ενδεχομένως υπάρχει και πηνίο έλλειψης τάσης (Under - voltage release coil)
- Το σύστημα ελέγχου, δηλαδή τους ηλεκτρονόμους που διεγείρουν το σύστημα συγκράτησης του ελατηρίου
- Τους μετασχηματιστές έντασης, ειδικούς για προστασία κλάσης 10P 10 ή 5P20 ή 5P10
- Σύστημα τροφοδοσίας. Στην περίπτωση που οι ΗΝ ή το σύστημα ελέγχου χρειάζεται τροφοδοσία, τότε αυτή προφανώς δεν μπορεί να προέλθει από το κύκλωμα που διακόπτει ο ΔΙ. Τότε χρειάζεται ανεξάρτητο σύστημα τροφοδοσίας, π.χ. πηγή συνεχούς ρεύματος 110 V.
- Τέλος, ο διακόπτης ισχύος συνοδεύεται και από έναν αποζεύκτη κατάλληλα μανδαλωμένο με το ΔΙ.

Οι διακόπτες ισχύος καταναλωτών πρέπει συνήθως να επιθεωρούνται μετά από κάθε διακοπή ισχύος, δηλ. βραχυκυκλώματος. Οι κατασκευαστές δίνουν τις ανάλογες οδηγίες. Δεν χρειάζεται επιθεώρηση μετά από απόζευξη φορτίου. Οι διακόπτες ισχύος σε καταναλωτές δεν χρειάζεται να εκτελούν κύκλους επαναφορών OCO, όπως οι διακόπτες αναχωρήσεων γραμμών.

Επειδή οι διακόπτες ισχύος δεν έχουν ορατές επαφές και επειδή θεωρείται ότι η μόνωση του θαλάμου σβέσης δεν είναι

ικανοποιητική, πρέπει να συνδέονται από έναν αποζεύκτη. Η σειρά χειρισμού είναι:

- **Στο άνοιγμα:** πρώτος ανοίγει ο ΔΙ και ακολουθεί ο αποζεύκτης

- **Στο κλείσιμο:** πρώτος κλείνει ο αποζεύκτης και ακολουθεί ο ΔΙ

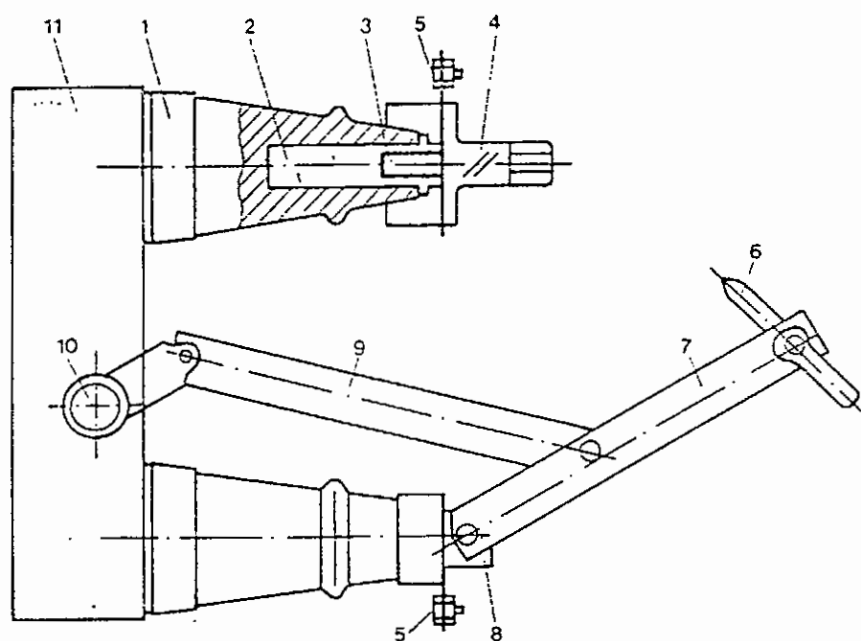
Πρέπει να υπάρχει κατάλληλη μανδάλωση του ΔΙ με τον αποζεύκτη. Αποζεύκτες δεν απαιτούνται όταν έχουμε κατασκευές συρομένου τύπου με λυόμενες συνδέσεις ΥΤ.

3.2. Διακόπτες φορτίου

Οι διακόπτες φορτίου (load switches, Lastschalter) μπορεί να χειρίζονται υπό κανονικές ονομαστικές συνθήκες. Διακόπτουν ή συνδέουν κυκλώματα υπό ονομαστικό φορτίο, όχι σε μεγαλύτερα ρεύματα. Για να διακόψουμε το κύκλωμα χρειάζονται ένα θάλαμο σβέσης. Για μικρό αριθμό χειρισμού, π.χ. 500, χρησιμοποιούνται διακόπτες φορτίου με αέρα ή μονωτικά τοιχώματα (σχ. 25). Το τόξο ψύχεται πάνω στα τοιχώματα. Για μεγάλο αριθμό χειρισμών π.χ. σε κινητήρες 6KV χρησιμοποιούνται διακόπτες κενού ή SF₆. Στους ΥΣ καταναλωτών χρησιμοποιούνται διακόπτες με μονωτικά τοιχώματα και ορατές επαφές. Δηλαδή, βλέπει κανείς από έξω τη θέση του διακόπτη αν αυτή είναι εκτός.

Οι διακόπτες φορτίου αν δεν έχουν ορατές επαφές, πρέπει να συνοδεύονται από αποζεύκτες, που είναι εγκατεστημένοι στην πλευρά του δικτύου. Αποζεύκτες και διακόπτες φορτίου είναι

αλληλομανδαλωμένοι Συνήθως βρίσκονται στο εμπόριο σε συδνωσμένη μονάδα, διακόπτης φορτίου - αποζεύκτης.



Σχ. 25. Διακόπτης φορτίου ορατών επαφών. 1. Πάνω μονωτήρας, 2. Θάλαμος σβέσης, 3. Επαφή κινούμενη με ελατήριο, 4. Επαφή, 5. Ακροδέκτης, 6. Επαφή τόξου, 7. Κινούμενο μαχαίρι, 8. Κάτω επαφή, 9. Μοχλός, 10. Κινητήριος άξονας, 11. Πλαίσιο στήριξης.

Χαρακτηριστικά των διακοπών φορτίων είναι:

- Η ονομαστική τάση (rated voltage), συνήθως $U_r=20/24$ KV.
- Η ονομαστική ένταση $I_r=400$ A: Είναι η διαρκώς επιτρεπόμενη ένταση
- Η ένταση διακοπής, συνήθως 400A, υπό $\cos\varphi=0,7$: Είναι η ένταση φορτίου που μπορεί να διακοπεί υπό ορισμένο $\cos\varphi$ και

αριθμό κύκλων π.χ. 500 φορές.

- Ένταση διακοπής ρευμάτων μαγνήτισης ΜΣ, π.χ. 40Α
- Ένταση ζεύξης, π.χ. 40 KA: Είναι η ένταση που διαρρέει το κύκλωμα αμέσως μετά τη ζεύξη
- Ένταση διακοπής χωρητικού φορτίου π.χ. 40Α
- Θερμική αντοχή 1 sec, π.χ. 16 KA: Είναι το ρεύμα που αντέχει ο διακόπτης για 1 sec
- Ηλεκτροδυναμική αντοχή, π.χ. 40KA

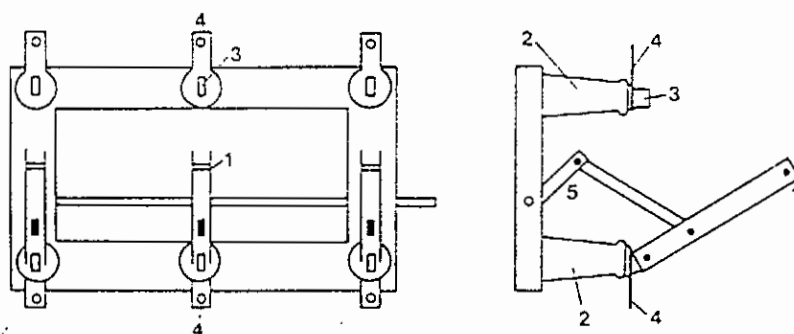
Οι διακόπτες φορτίου χειρίζονται χειροκίνητα ή με πηνίο εργασίας και μοχλισμούς. Σε περιπτώσεις συχνών και πολλών κύκλων εργασίας όπως π.χ. σε ζεύξεις κινητήρων υψηλής τάσης χρησιμοποιούνται **ρελαί υψηλής τάσης, Hochspannungsschiutze, High Voltage, Contactors**. Αυτά κατασκευάζονται για 6, 10, 20KV με μέσο σβέσης τόξου το μονωτικό SF₆ ή το κενό. Οι κύκλοι λειτουργίας ανέρχονται στις 10⁴ ως 10⁵ φορές υπό ονομαστικό ρεύμα. Τέτοιοι διακόπτες χρησιμοποιούνται κατά κανόνα σε ηλεκτροκίνητα τρένα. Η κίνησή τους είναι ηλεκτρομαγνητική.

3.3. Αποζεύκτες, Γειωτές

Οι αποζεύκτες και γειωτές (σχ. 26) είναι διακόπτες που ανοίγουν ένα κύκλωμα υπό ελάχιστο φορτίο και κλείνουν υπό ελάχιστη

τάση. Δηλαδή, πρέπει να χειρίζονται χωρίς ρεύμα ή τάση στους πόλους τους. Χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουμε ορατές επαφές και να απομονώσουμε σίγουρα ένα κύκλωμα έτσι ώστε να γίνουν εργασίες πάνω σε αυτό. Επίσης χρησιμοποιούνται για να γειώσουμε ένα κύκλωμα.

Σε κλειστή κατάσταση πρέπει οι αποζεύκτες να αντέχουν στα ρεύματα σφαλμάτων. Σε ανοικτή κατάσταση οι αποζεύκτες πρέπει να αντέχουν στις υπερτάσεις της εγκατάστασης.



Σχ. 26. Αποζεύκτης

1. μαχαίρι, 2. μονωτήρες, 3. Επαφή, 4. ακροδέκτης, 5. κινητήριος μοχλός

Οι αποζεύκτες δεν πρέπει να χειρίζονται υπό φορτίο. Γι' αυτό πρέπει να μανδαλώνονται μηχανικά με τους διακόπτες φορτίου ή ισχύος που ανήκουν. Επίσης οι γειωτές πρέπει να μανδαλώνονται με τους διακόπτες φορτίου ή ισχύος που

ανήκουν.

Η σειρά χειρισμών του διακόπτη φορτίου και του αποζεύκτη είναι:

- Στο άνοιγμα: πρώτα ανοίγει ο διακόπτης φορτίου και μετά ο αποζεύκτης
- Στο κλείσιμο: πρώτα κλείνει ο αποζεύκτης και μετά ο διακόπτης φορτίου

Η σειρά χειρισμών του γειωτή σε σχέση με τους διακόπτες του κυκλώματος που ανήκει είναι:

- Στη γείωση: πρώτα ανοίγει ο αποζεύκτης και μετά κλείνει ο γειωτής
- Στην απογείωση: πρώτα ανοίγει ο γειωτής και μετά κλείνει ο αποζεύκτης

Στο εμπόριο διατίθενται ΔΦ συνήθως αντί αποζευκτών επειδή η διαφορά στην τιμή είναι ασήμαντη.

Μέρος β΄

Κεφάλαιο 1^ο

1. Δεδομένα - στοιχεία μελέτης

Δίνεται: Γραμμή διανομής Ε.Ρ. Μ.Τ. με Υ.Κ. 20 ΚV, $F=50\text{Hz}$ και τροφοδότηση από τα δύο άκρα, μεταξύ των **Υ/Σ υψηλής I (Αγ. Ανδρέας) - Υ/Σ υψηλής III (Ζαβλάνι)**, με πολλούς καταναλωτές και **τάση ίδια**.

Οι αγωγοί που χρησιμοποιούνται είναι ενιαίας διατομής με τα εξής στοιχεία: **μόνωση: X-LPE (δικτυωτό διασυνδεδεμένο πολυαιθυλένιο), ωμική αντίσταση:**

$R_0=0,162 [\Omega/\text{Km}]$ (βλέπε τεχνικά χαρακτηριστικά Υ.Κ.), διατομή: $3 \times 240 \text{ mm}^2 (\text{Al}+25\text{mm}^2)$ με **μόνωση X-LPE** (βλέπε τ.χ. Υ.Κ.).

Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για την εύρεση των στοιχείων της μελέτης είναι η **Μιγαδική Μέθοδος**, οι καταναλωτές Χ.Τ και τα λοιπά στοιχεία που απαιτούνται για την περάτωση της μελέτης αυτής δίδονται στις επόμενες σελίδες.

Ζητείται:

- α) Οι εντάσεις που τροφοδοτούν και από τα δύο άκρα το δυσμενέστερο καταναλωτή (εκφρασμένες σε μιγαδική μορφή).
- β) Οι τροφοδοτούμενες εντάσεις το δίκτυο i_1 και i_2
- γ) Η μέγιστη πτώση τάσης του δικτύου (ΔU).
- δ) Ρύθμιση τάσης της γραμμής μεταφοράς ($\Delta U\%$)
- ε) Απώλειες ισχύος ($\Delta P_{\text{απωλ.}}$, $\Delta P\%$)
- στ) Απώλειες αέργου ισχύος ($\Delta Q_{\text{απωλ.}}$, $\Delta Q\%$)
- ζ) Χωρητικό ρεύμα (I_c , I_{c0})

2. Μαθηματικές πράξεις για την εύρεση των στοιχείων της μελέτης, με βάση τη Μιγαδική Μέθοδο

Το πρώτο βήμα που πρέπει να κάνουμε είναι να εκφράσουμε όλες τις εντάσεις και την αντίσταση (Z_0) του δικτύου σε μιγαδική μορφή. Συνεπώς θα προσπαθήσουμε να επιλύσουμε το (α) ζητούμενο με τη βοήθεια πάντα του διαγράμματος, το οποίο απεικονίζει την πραγματική πορεία της γραμμής μεταφοράς Μ.Τ. 20KV, και αντλεί τα στοιχεία του από τον Πίνακα (I). Επομένως θα έχουμε τις εξής πράξεις:

$$i_1 = I_1(\cos\phi_1 - j\eta\mu\phi_1) = 22(0,85 - j0,525) = 18,7 - j11,55 \quad [A/\phi]$$

$$i_2 = I_2(\cos\phi_2 - j\eta\mu\phi_2) = 55(0,85 - j0,525) = 46,75 - j28,8 \quad [A/\phi]$$

$$i_3 = I_3(\sigma \nu \phi_3 - j \eta \mu \phi_3) = 55(0,85 - j0,525) = 46,75 - j28,8 \quad [A/\phi]$$

$$i_4 = I_4(\sigma \nu \phi_4 - j \eta \mu \phi_4) = 44(0,85 - j0,525) = 37,4 - j23,1 \quad [A/\phi]$$

$$i_5 = I_5(\sigma \nu \phi_5 - j \eta \mu \phi_5) = 55(0,85 - j0,525) = 46,75 - j28,8 \quad [A/\phi]$$

$$i_6 = I_6(\sigma \nu \phi_6 - j \eta \mu \phi_6) = 55(0,85 - j0,525) = 46,75 - j28,8 \quad [A/\phi]$$

$$i_7 = I_7(\sigma \nu \phi_7 - j \eta \mu \phi_7) = 22(0,85 - j0,525) = 18,7 - j11,55 \quad [A/\phi]$$

$$i_8 = I_8(\sigma \nu \phi_8 - j \eta \mu \phi_8) = 22(0,85 - j0,525) = 18,7 - j11,55 \quad [A/\phi]$$

$$i_9 = I_9(\sigma \nu \phi_9 - j \eta \mu \phi_9) = 65(0,85 - j0,525) = 55,25 - j34,1 \quad [A/\phi]$$

$$i_{10} = I_{10}(\sigma \nu \phi_{10} - j \eta \mu \phi_{10}) = 22(0,85 - j0,525) = 18,7 - j11,55 \quad [A/\phi]$$

$$i_{11} = I_{11}(\sigma \nu \phi_{11} - j \eta \mu \phi_{11}) = 44(0,85 - j0,525) = 37,4 - j23,1 \quad [A/\phi]$$

$$i_{12} = I_{12}(\sigma \nu \phi_{12} - j \eta \mu \phi_{12}) = 44(0,85 - j0,525) = 37,4 - j23,1 \quad [A/\phi]$$

$$i_{13} = I_{13}(\sigma \nu \phi_{13} - j \eta \mu \phi_{13}) = 55(0,85 - j0,525) = 46,75 - j28,8 \quad [A/\phi]$$

$$i_{14} = I_{14}(\sigma \nu \phi_{14} - j \eta \mu \phi_{14}) = 55(0,85 - j0,525) = 46,75 - j28,8 \quad [A/\phi]$$

$$i_{15} = I_{15}(\sigma \nu \phi_{15} - j \eta \mu \phi_{15}) = 13(0,85 - j0,525) = 11 - j6,8 \quad [A/\phi]$$

$$i_{16} = I_{16}(\sigma \nu \phi_{16} - j \eta \mu \phi_{16}) = 35(0,85 - j0,525) = 29,7 - j18,37 \quad [A/\phi]$$

Πίνακας Ι

Υποσταθμοί	Μήκος l (KM)	Ισχύς (KVA)	$l=KVA/KV=(Δ/Φ)$	συνφ
Υ/Σ υψηλής Ι- Υ/Σ1	1,2	250	$l_1=22$	0,85
Υ/Σ ₁ -Υ/Σ ₂	0,2	630	$l_2=55$	-/-
Υ/Σ ₂ -Υ/Σ ₃	0,275	630	$l_3=44$	-/-
Υ/Σ ₃ -Υ/Σ ₄	0,285	500	$l_4=55$	-/-
Υ/Σ ₄ -Υ/Σ ₅	0,298	630	$l_5=55$	-/-
Υ/Σ ₅ -Υ/Σ ₆	0,203	630	$l_6=22$	-/-
Υ/Σ ₆ -Υ/Σ ₇	0,1	250	$l_7=22$	-/-
Υ/Σ ₇ -Υ/Σ ₈	0,135	250	$l_8=22$	-/-
Υ/Σ ₈ -Υ/Σ ₉	0,6	750	$l_9=65$	-/-
Υ/Σ ₉ -Υ/Σ ₁₀	0,09	250	$l_{10}=22$	-/-
Υ/Σ ₁₀ -Υ/Σ ₁₁	0,49	500	$l_{11}=44$	-/-
Υ/Σ ₁₁ -Υ/Σ ₁₂	0,48	500	$l_{12}=44$	-/-
Υ/Σ ₁₂ -Υ/Σ ₁₃	0,1	630	$l_{13}=55$	-/-
Υ/Σ ₁₃ -Υ/Σ ₁₄	0,09	630	$l_{14}=55$	-/-
Υ/Σ ₁₄ -Υ/Σ ₁₅	0,21	150	$l_{15}=13$	-/-
Υ/Σ ₁₅ -Υ/Σ ₁₆	0,13	400	$l_{16}=35$	-/-
Υ/Σ ₁₆ -Υ/Σ ₁₇	0,3	250	$l_{17}=22$	-/-
Υ/Σ ₁₇ -Υ/Σ ₁₈	0,21	800	$l_{18}=70$	-/-
Υ/Σ ₁₈ -Υ/Σ ₁₉	0,1	500	$l_{19}=44$	-/-
Υ/Σ ₁₉ -Υ/Σ ₂₀	0,28	630	$l_{20}=55$	-/-
Υ/Σ ₂₀ -Υ/Σ ₂₁	0,22	400	$l_{21}=35$	-/-
Υ/Σ ₂₁ -Υ/Σ ₂₂	0,14	630	$l_{22}=55$	-/-
Υ/Σ ₂₂ -Υ/Σ ₂₃	0,36	500	$l_{23}=44$	-/-
Υ/Σ ₂₃ -Υ/Σ ₂₄	0,16	470	$l_{24}=41$	-/-
Υ/Σ ₂₄ -Υ/Σ ₂₅	0,12	250	$l_{25}=22$	-/-
Υ/Σ ₂₅ -Υ/Σ ₂₆	0,13	750	$l_{26}=65$	-/-
Υ/Σ ₂₆ -Υ/Σ ₂₇	0,66	250	$l_{27}=22$	-/-
Υ/Σ ₂₇ -Υ/Σ υψηλής ΙΙΙ	0,86	-	-	-/-

$$i_{17} = I_{17}(\sigma \nu \phi_{17} - j \eta \mu \phi_{17}) = 22(0,85 - j0,525) = 18,7 - j11,55 \quad [A/\phi]$$

$$i_{18} = I_{36}(\sigma \nu \phi_{18} - j \eta \mu \phi_{18}) = 70(0,85 - j0,525) = 59,5 - j36,75 \quad [A/\phi]$$

$$i_{19} = I_{19}(\sigma \nu \phi_{19} - j \eta \mu \phi_{19}) = 44(0,85 - j0,525) = 37,4 - j23,1 \quad [A/\phi]$$

$$i_{20} = I_{20}(\sigma \nu \phi_{20} - j \eta \mu \phi_{20}) = 55(0,85 - j0,525) = 46,75 - j28,8 \quad [A/\phi]$$

$$i_{21} = I_{21}(\sigma \nu \phi_{21} - j \eta \mu \phi_{21}) = 35(0,85 - j0,525) = 29,7 - j18,37 \quad [A/\phi]$$

$$i_{22} = I_{22}(\sigma \nu \phi_{22} - j \eta \mu \phi_{22}) = 55(0,85 - j0,525) = 46,75 - j28,8 \quad [A/\phi]$$

$$i_{23} = I_{23}(\sigma \nu \phi_{23} - j \eta \mu \phi_{23}) = 44(0,85 - j0,525) = 37,4 - j23,1 \quad [A/\phi]$$

$$i_{24} = I_{24}(\sigma \nu \phi_{24} - j \eta \mu \phi_{24}) = 41(0,85 - j0,525) = 34,8 - j21,5 \quad [A/\phi]$$

$$i_{25} = I_{25}(\sigma \nu \phi_{25} - j \eta \mu \phi_{25}) = 22(0,85 - j0,525) = 18,7 - j11,55 \quad [A/\phi]$$

$$i_{26} = I_{26}(\sigma \nu \phi_{26} - j \eta \mu \phi_{26}) = 65(0,85 - j0,525) = 55,25 - j34,1 \quad [A/\phi]$$

$$i_{27} = I_{27}(\sigma \nu \phi_{27} - j \eta \mu \phi_{27}) = 22(0,85 - j0,525) = 18,7 - j11,55 \quad [A/\phi]$$

Με βάση, λοιπόν τις παραπάνω μιγαδικές τιμές των ρευμάτων των φορτίων που βρέθηκαν, στην συνέχεια θα προσπαθήσουμε πάλι, μέσα από μαθηματικές πράξεις με μιγαδικούς αριθμούς να βρούμε τις εντάσεις των κλάδων του δικτύου. Αυτές φαίνονται στο παραπάνω διάγραμμα της Γ.Μ. Μ.Τ, οπότε θα εργαστούμε ως

εξής:

$$\dot{I}_1(Y/\Sigma_1 - Y/\Sigma_1) = \dot{I}_1$$

$$\dot{I}_2(Y/\Sigma_1 - Y/\Sigma_2) = \dot{I}_1 - i_1 = \dot{I}_1 - (18,7 - j11,55)$$

$$\dot{I}_3(Y/\Sigma_2 - Y/\Sigma_3) = \dot{I}_1 - (i_1 + i_2) = \dot{I}_1 - (65,45 - j40,35)$$

$$\dot{I}_4(Y/\Sigma_3 - Y/\Sigma_4) = \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3) = \dot{I}_1 - (112,2 - j69,15)$$

$$\dot{I}_5(Y/\Sigma_4 - Y/\Sigma_5) = \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4) = \dot{I}_1 - (149,6 - j92,25)$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_6(Y/\Sigma_5 - Y/\Sigma_6) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + i_5) = \\ &= \dot{I}_1 - (196,35 - j121,05) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_7(Y/\Sigma_6 - Y/\Sigma_7) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + i_5 + i_6) = \\ &= \dot{I}_1 - (243,1 - j149,85) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_8(Y/\Sigma_7 - Y/\Sigma_8) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + i_5 + i_6 + i_7) = \\ &= \dot{I}_1 - (261,8 - j161,4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_9(Y/\Sigma_8 - Y/\Sigma_9) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + i_5 + i_6 + i_7 + i_8) = \\ &= \dot{I}_1 - (280,5 - j172,95) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{10}(Y/\Sigma_9 - Y/\Sigma_{10}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_9) = \\ &= \dot{I}_1 - (335,75 - j207,05) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{11}(Y/\Sigma_{10} - Y/\Sigma_{11}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{10}) = \\ &= \dot{I}_1 - (354,45 - j218,6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{12}(Y/\Sigma_{11} - Y/\Sigma_{12}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{11}) = \\ &= \dot{I}_1 - (391,85 - j241,7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{13}(Y/\Sigma_{12} - Y/\Sigma_{13}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{12}) = \\ &= \dot{I}_1 - (429,25 - j264,8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{14}(Y/\Sigma_{13} - Y/\Sigma_{14}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{13}) = \\ &= \dot{I}_1 - (476 - j293,6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{15}(Y/\Sigma_{14} - Y/\Sigma_{15}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{14}) = \\ &= \dot{I}_1 - (522,75 - j322,4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{16}(Y/\Sigma_{15} - Y/\Sigma_{16}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{15}) = \\ &= \dot{I}_1 - (533,75 - j329,2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{17}(Y/\Sigma_{16} - Y/\Sigma_{17}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{16}) = \\ &= \dot{I}_1 - (563,45 - j347,57) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{18}(Y/\Sigma_{17} - Y/\Sigma_{18}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{17}) = \\ &= \dot{I}_1 - (582,15 - j359,12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{19}(Y/\Sigma_{19} - Y/\Sigma_{20}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{18}) = \\ &= \dot{I}_1 - (641,65 - j395,87) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{20}(Y/\Sigma_{19} - Y/\Sigma_{20}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{19}) = \\ &= \dot{I}_1 - (679,05 - j418,97) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{21}(Y/\Sigma_{20} - Y/\Sigma_{21}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{20}) = \\ &= \dot{I}_1 - (725,8 - j447,77) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{22}(Y/\Sigma_{21} - Y/\Sigma_{22}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{21}) = \\ &= \dot{I}_1 - (755,5 - j466,14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{23}(Y/\Sigma_{22} - Y/\Sigma_{23}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{22}) = \\ &= \dot{I}_1 - (802,25 - j494,94) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{24}(Y/\Sigma_{23} - Y/\Sigma_{24}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{23}) = \\ &= \dot{I}_1 - (839,65 - j518,04) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{25}(Y/\Sigma_{24} - Y/\Sigma_{25}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{24}) = \\ &= \dot{I}_1 - (874,45 - j539,54) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{26}(Y/\Sigma_{25} - Y/\Sigma_{26}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{25}) = \\ &= \dot{I}_1 - (893,15 - j551,09) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{27}(Y/\Sigma_{26} - Y/\Sigma_{27}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{26}) = \\ &= \dot{I}_1 - (948,4 - j585,19) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{28}(Y/\Sigma_{27} - Y/\Sigma_{III}) &= \dot{I}_1 - (i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + \dots + i_{27}) = \\ &= \dot{I}_1 - (967,1 - j596,74) \end{aligned}$$

β) Επειδή η γραμμή μεταφοράς Μ.Τ. που εξετάζουμε

τροφοδοτείται και από τα δύο άκρα με την ίδια τάση, θα έχουμε:

$$\Delta U(Y/\Sigma I - Y/\Sigma III) = 0 \text{ και}$$

$$\dot{Z}_o = (0,162 + j0,115) \text{ ή } 0,198 \angle 35,3^\circ [\Omega/\text{Km και } \phi]$$

Σημείωση:

[όπου: $R_o=0,162$ (Ω/Km), $X_o= 0,115$ (Ω/Km), (βλέπε στους πίνακες 2 σελίδα 34 με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Υ.Κ.)

Με βάση λοιπόν το \dot{Z}_o και στοιχεία που αντλούμε από την σελίδα 2 του β' μέρους της μελέτης, θα προσπαθήσουμε να βρούμε το ρεύμα \dot{I}_1 , το οποίο αποτελεί το βασικό άγνωστο παράγοντα για την περάτωση της μελέτης, ούτως ώστε να βρεθεί με τη βοήθεια του ο δυσμενέστερος καταναλωτής. Επομένως θα έχουμε τις πράξεις που ακολουθούν, με την βοήθεια πάντα των μιγαδικών αριθμών.

Σημείωση:

[Οι γενικοί τύποι που θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση του \dot{I}_1 εν συντομία είναι οι εξής: $\dot{Z}_1 = \dot{Z}_o \cdot l_1$, $\dot{Z}_2 = \dot{Z}_o \cdot l_2$ κ.ο.κ. Η μορφή που θα έχει τώρα η εξίσωση θα είναι: $\dot{Z}_1 \cdot l_1 + \dot{Z}_2 \cdot l_2 + \dots + \dot{Z}_{28} \cdot l_{28}$ κ.ο.κ.

όπου: $\dot{I}_1 = \dot{I}_1$, $\dot{I}_2 = \dot{I}_1 - i_1 = \dot{I}_1 - (18,7 - j11,55) \dots$ κ.τ.λ.].

$$\begin{aligned}
 \Delta \dot{U}(Y/\Sigma I - Y/\Sigma III) = & \\
 \dot{Z}_o \left\{ \begin{aligned}
 & [1,2\dot{I}_1 + 0,2(\dot{I}_1(18,7 - j11,55))] + 0,275[I_1 - (65,45 - j40,35)] + \\
 & + 0,285[I_1 - (112,2 - j69,15)] + 0,298[I_1 - (149,6 - j92,25)] + \\
 & + 0,203[I_1 - (196,35 - j121,05)] + 0,1[I_1 - (243,1 - j149,85)] + \\
 & + 0,135[I_1 - (261,8 - j161,4)] + 0,6[I_1 - (280,5 - j172,95)] + \\
 & + 0,09[I_1 - (335,75 - j207,05)] + 0,49[I_1 - (354,45 - j218,6)] + \\
 & + 0,48[I_1 - (391,85 - j241,7)] + 0,1[I_1 - (429,25 - j264,8)] + \\
 & + 0,09[I_1 - (476 - j293,6)] + 0,21[I_1 - (522,75 - j322,4)] + \\
 & + 0,13[I_1 - (533,75 - j329,2)] + 0,3[I_1 - (563,45 - j347,57)] + \\
 & + 0,21[I_1 - (582,15 - j359,12)] + 0,1[I_1 - (641,65 - j395,87)] + \\
 & + 0,28[I_1 - (679,05 - j418,97)] + 0,22[I_1 - (725,8 - j447,77)] + \\
 & + 0,14[I_1 - (755,5 - j466,14)] + 0,36[I_1 - (802,25 - j494,94)] + \\
 & + 0,16[I_1 - (839,65 - j518,04)] + 0,12[I_1 - (874,45 - j539,54)] + \\
 & + 0,13[I_1 - (893,15 - j551,09)] + 0,66[I_1 - (948,4 - j585,19)] + \\
 & + 0,86[I_1 - (967,1 - j596,74)]
 \end{aligned} \right\} = 0 \Rightarrow
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta \dot{U}(Y/\Sigma I - Y/\Sigma III) = & \\
 = \dot{Z}_0 \cdot & \left[\begin{aligned}
 & [1,2\dot{I}_1 + 0,2(\dot{I}_1 - 18,7 + j11,55)] + 0,275(\dot{I}_1 - 6545 + j40,35) + \\
 & + 0,285(\dot{I}_1 - 1122 + j69,15) + 0,298(\dot{I}_1 - 149,6 + j92,25) + \\
 & + 0,203(\dot{I}_1 - 19635 + j121,05) + 0,1(\dot{I}_1 - 2431 + j149,85) + \\
 & + 0,135(\dot{I}_1 - 2618 + j161,4) + 0,6(\dot{I}_1 - 280,5 + j172,95) + \\
 & + 0,09(\dot{I}_1 - 335,75 + j207,05) + 0,49(\dot{I}_1 - 354,45 + j218,6) + \\
 & + 0,48(\dot{I}_1 - 391,85 + j241,7) + 0,1(\dot{I}_1 - 429,25 + j264,8) + \\
 & + 0,09(\dot{I}_1 - 476 + j293,6) + 0,21(\dot{I}_1 - 522,75 + j322,4) + \\
 & + 0,13(\dot{I}_1 - 533,75 + j329,2) + 0,3(\dot{I}_1 - 563,45 + j347,57) + \\
 & + 0,21(\dot{I}_1 - 585,15 + j359,12) + 0,1(\dot{I}_1 - 641,65 + j395,87) + \\
 & + 0,28(\dot{I}_1 - 679,05 + j418,97) + 0,22(\dot{I}_1 - 725,8 + j447,77) + \\
 & + 0,14(\dot{I}_1 - 755,5 + j466,14) + 0,36(\dot{I}_1 - 802,25 + j494,94) + \\
 & + 0,16(\dot{I}_1 - 839,65 + j518,04) + 0,12(\dot{I}_1 - 874,45 + j539,54) + \\
 & + 0,13(\dot{I}_1 - 893,15 + j551,09) + 0,66(\dot{I}_1 - 948,4 + j585,19) + \\
 & + 0,86(\dot{I}_1 - 967,1 + j596,74)
 \end{aligned} \right] = 0 \Rightarrow
 \end{aligned}$$

$$\Delta \dot{U}(Y/\Sigma I - Y/\Sigma III) =$$

$$= \dot{Z}_o \left\{ \begin{array}{l} 1,2\dot{I}_1 + 0,2\dot{I}_1 - 3,74 + j2,31 + 0,275\dot{I}_1 - 17,99 + j11,09 + \\ + 0,285\dot{I}_1 - 31,97 + j19,7 + 0,298\dot{I}_1 - 44,58 + j27,49 + \\ + 0,203\dot{I}_1 - 39,85 + j24,57 + 0,1\dot{I}_1 - 24,31 + j14,98 + \\ + 0,135\dot{I}_1 - 35,34 + j21,78 + 0,6\dot{I}_1 - 168,3 + j103,77 + \\ + 0,09\dot{I}_1 - 30,21 + j18,63 + 0,49\dot{I}_1 - 173,68 + j107,11 + \\ + 0,48\dot{I}_1 - 188,08 + j116,01 + 0,1\dot{I}_1 - 42,84 + j26,48 + \\ + 0,09\dot{I}_1 - 42,84 + j26,42 + 0,21\dot{I}_1 - 109,77 + j67,7 + \\ + 0,13\dot{I}_1 - 69,38 + j42,79 + 0,3\dot{I}_1 - 169,03 + j104,27 + \\ + 0,21\dot{I}_1 - 122,25 + j75,41 + 0,1\dot{I}_1 - 64,16 + j39,58 + \\ + 0,28\dot{I}_1 - 190,13 + j117,31 + 0,22\dot{I}_1 - 159,67 + j98,5 + \\ + 0,14\dot{I}_1 - 105,77 + j65,25 + 0,36\dot{I}_1 - 288,81 + j178,17 + \\ + 0,16\dot{I}_1 - 134,34 + j82,88 + 0,12\dot{I}_1 - 104,93 + j64,74 + \\ + 0,13\dot{I}_1 - 116,1 + j71,64 + 0,66\dot{I}_1 - 625,94 + j386,22 + \\ + 0,86\dot{I}_1 - 831,7 + j513,19 \end{array} \right\} = 0 \Rightarrow$$

Επειδή η πτώση τάσης του δικτύου από $Y/\Sigma I - Y/\Sigma III$ είναι μηδέν, δηλαδή $\Delta \dot{U}(Y/\Sigma I - Y/\Sigma III) = 0$ και η σύνθετη αντίσταση \dot{Z}_o είναι διάφορη του μηδενός, δηλαδή $\dot{Z}_o \neq 0$,

Οπότε και διαγράφεται, επομένως θα έχουμε :

$$\Rightarrow 8,386\dot{I}_1 - 3935,79 + j2427,99 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 8,386\dot{I}_1 = 3935,79 - j2427,99 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{I}_1 = 469,32 - j289,52 = 551,43 \angle -31,7^\circ [\text{A}/\phi]$$

Για να βρούμε, τώρα, την κατανάλωση, η οποία τροφοδοτείται κι από τα δύο άκρα, συνεπώς το δυσμενέστερο καταναλωτή, υπολογίζουμε τις εντάσεις των κλάδων του δικτύου .

Με βάση τα στοιχεία ή καλύτερα κάνοντας αντικατάσταση στα στοιχεία της (σελίδας 3). Οπότε θα έχουμε :

$$\begin{aligned}
 \dot{I}_1(Y/\Sigma I - Y/\Sigma I) &= 469,32 - j289,52 \\
 \dot{I}_2(Y/\Sigma I - Y/\Sigma 2) &= 469,32 - j289,52 - (18,7 - j11,55) = 450,62 - j277,97 \\
 \dot{I}_3(Y/\Sigma 2 - Y/\Sigma 3) &= 469,32 - j289,52 - (65,45 - j40,35) = 403,87 - j249,17 \\
 \dot{I}_4(Y/\Sigma 3 - Y/\Sigma 4) &= 469,32 - j289,52 - (112,2 - j69,15) = 357,12 - j220,37 \\
 \dot{I}_5(Y/\Sigma 4 - Y/\Sigma 5) &= 469,32 - j289,52 - (149,6 - j92,25) = 319,72 - j197,27 \\
 \dot{I}_6(Y/\Sigma 5 - Y/\Sigma 6) &= 469,32 - j289,52 - (196,35 - j121,05) = 272,97 - j168,47 \\
 \dot{I}_7(Y/\Sigma 6 - Y/\Sigma 7) &= 469,32 - j289,52 - (243,1 - j149,85) = 226,22 - j139,67 \\
 \dot{I}_8(Y/\Sigma 7 - Y/\Sigma 8) &= 469,32 - j289,52 - (261,8 - j161,4) = 207,52 - j128,12 \\
 \dot{I}_9(Y/\Sigma 8 - Y/\Sigma 9) &= 469,32 - j289,52 - (280,5 - j172,95) = 188,82 - j116,57 \\
 \dot{I}_{10}(Y/\Sigma 9 - Y/\Sigma 10) &= 469,32 - j289,52 - (335,75 - j207,05) = 133,57 - j82,47 \\
 \dot{I}_{11}(Y/\Sigma 10 - Y/\Sigma 11) &= 469,32 - j289,52 - (354,45 - j218,6) = 114,87 - j70,92 \\
 \dot{I}_{12}(Y/\Sigma 11 - Y/\Sigma 12) &= 469,32 - j289,52 - (391,85 - j241,7) = 77,47 - j47,82 \\
 \dot{I}_{13}(Y/\Sigma 12 - Y/\Sigma 13) &= 469,32 - j289,52 - (429,25 - j264,8) = 40,07 - j24,72 \\
 \dot{I}_{14}(Y/\Sigma 13 - Y/\Sigma 14) &= 469,32 - j289,52 - (476 - j293,6) = -(6,68 - j4,08) \\
 \dot{I}_{15}(Y/\Sigma 14 - Y/\Sigma 15) &= 469,32 - j289,52 - (522,75 - j322,4) = -(53,43 - j32,88) \\
 \dot{I}_{16}(Y/\Sigma 15 - Y/\Sigma 16) &= 469,32 - j289,52 - (533,75 - j329,2) = -(64,43 - j39,68) \\
 \dot{I}_{17}(Y/\Sigma 16 - Y/\Sigma 17) &= 469,32 - j289,52 - (563,45 - j347,57) = -(94,13 - j50,05) \\
 \dot{I}_{18}(Y/\Sigma 17 - Y/\Sigma 18) &= 469,32 - j289,52 - (582,15 - j359,12) = -(112,83 - j69,6) \\
 \dot{I}_{19}(Y/\Sigma 18 - Y/\Sigma 19) &= 469,32 - j289,52 - (641,65 - j395,87) = -(172,33 - j106,35) \\
 \dot{I}_{20}(Y/\Sigma 19 - Y/\Sigma 20) &= 469,32 - j289,52 - (679,05 - j418,97) = -(209,73 - j129,45) \\
 \dot{I}_{21}(Y/\Sigma 20 - Y/\Sigma 21) &= 469,32 - j289,52 - (725,8 - j447,77) = -(256,48 - j158,25) \\
 \dot{I}_{22}(Y/\Sigma 21 - Y/\Sigma 22) &= 469,32 - j289,52 - (755,5 - j466,14) = -(286,18 - j176,62) \\
 \dot{I}_{23}(Y/\Sigma 22 - Y/\Sigma 23) &= 469,32 - j289,52 - (802,25 - j494,94) = -(332,93 - j205,42) \\
 \dot{I}_{24}(Y/\Sigma 23 - Y/\Sigma 24) &= 469,32 - j289,52 - (839,65 - j518,04) = -(370,33 - j228,52) \\
 \dot{I}_{25}(Y/\Sigma 24 - Y/\Sigma 25) &= 469,32 - j289,52 - (874,45 - j539,54) = -(405,13 - j250,02) \\
 \dot{I}_{26}(Y/\Sigma 25 - Y/\Sigma 26) &= 469,32 - j289,52 - (893,15 - j551,09) = -(423,83 - j261,57) \\
 \dot{I}_{27}(Y/\Sigma 26 - Y/\Sigma 27) &= 469,32 - j289,52 - (948,4 - j585,19) = -(479,08 - j295,67) \\
 \dot{I}_{28}(Y/\Sigma 27 - Y/\Sigma III) &= 469,32 - j289,52 - (967,1 - j596,74) = -(497,78 - j307,22)
 \end{aligned}$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο Υ/Σ 13 είναι ο δυσμενέστερος καταναλωτής, δηλαδή τροφοδοτείται κι από τα δύο άκρα με τις παρακάτω εντάσεις:

$$\dot{x} = 40,07 - j24,72 \text{ [από τον Υ/Σ I (Λάγγουρα)]}$$

$$\dot{y} = 6,68 - j4,08 \text{ [από τον Υ/Σ III (Ζαβλάνι)]}$$

Οι τροφοδοτούμενος το δίκτυο εντάσεις \dot{I}_1 και \dot{I}_2 είναι οι εξής :

$$\dot{I}_1 = 469,32 - j289,52 = 551,43 \angle -31,7^\circ [\text{A}/\phi]$$

$$\dot{I}_2 = 497,78 - j307,22 = 584,95 \angle -31,7^\circ [\text{A}/\phi]$$

γ) Η πτώση τάσης μέχρι την κατανάλωση Υ/Σ13 θα είναι :

$$\dot{U}_s - \dot{U}_r = \Delta \dot{U} = (0,162 + j0,115) \cdot$$

$$\begin{aligned} & \left[\begin{aligned} & 1,2 \cdot (469,32 - j289,52) + \\ & + 0,2 \cdot (450,62 - j277,97) + 0,275 \cdot (403,87 - j249,17) + \\ & + 0,285 \cdot (357,12 - j220,37) + 0,298 \cdot (319,72 - j197,27) + \\ & + 0,203 \cdot (272,97 - j168,47) + 0,1 \cdot (226,22 - j139,67) + \\ & + 0,135 \cdot (207,52 - j128,12) + 0,6 \cdot (188,82 - j116,57) + \\ & + 0,09 \cdot (133,57 - j82,47) + 0,49 \cdot (114,87 - j70,92) + \\ & + 0,48 \cdot (77,47 - j47,82) + 0,1 \cdot (40,07 - j24,72) \end{aligned} \right] = \\ & = (0,162 + j0,115) \cdot \\ & \left[\begin{aligned} & 563,18 - j347,42 + 90,12 - j55,57 + 111,06 - j68,52 + 101,77 - j62,8 + 95,27 - \\ & - j58,78 + 55,41 - j34,19 + 22,62 - j13,96 + 28 - j17,29 + 113,29 - j69,94 + \\ & + 12,02 - j7,42 + 56,28 - j34,75 + 37,18 - j22,95 + 4 - j2,47 \end{aligned} \right] \\ & = (0,162 + j0,115) \cdot (12902 - j79608) = \\ & = 209 - j128,96 + j148,37 + 91,54 = [300,54 + j19,4] [\text{Volts}] \end{aligned}$$

$$\text{και επομένως } |\Delta U| = \sqrt{(300,54)^2 + (19,41)^2} \cong 300[\text{Volt}]$$

Επομένως, προσεγγιστικά η τάση στο τέλος U_r μέχρι το δυσμενέστερο καταναλωτή (Y/Σ 13) θα έχει ως εξής:

$$U_s - U_r = \Delta U = 300V \Rightarrow U_s - U_r = 300V \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_r = U_s - 300 \Rightarrow U_r = \frac{20.000}{\sqrt{3}} - 300 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_r = 11560 - 300 \Rightarrow U_r = 11260[V] \text{ (μέχρι τον Y/Σ13)}$$

Για επαλήθευση, τώρα, θα προσπαθήσουμε να βρούμε την πτώση τάσης από το τέλος, δηλαδή από τον Y/Σ 27, μέχρι το δυσμενέστερο καταναλωτή (Y/Σ 13). Οπότε, θα έχουμε τις εξής πράξεις :

$$U_s - U_r = \Delta U = (0,162 + j0,115) \cdot$$

$$\left[\begin{array}{l} 0,86 \cdot (49778 - j30722) + \\ + 0,66 \cdot (47908 - j29567) + 0,13 \cdot (42383 - j26157) + \\ + 0,12 \cdot (40513 - j25002) + 0,16 \cdot (37033 - j22852) + \\ + 0,36 \cdot (33293 - j25042) + 0,14 \cdot (28618 - j17662) + \\ + 0,22 \cdot (25648 - j15825) + 0,28 \cdot (20973 - j12945) + \\ + 0,1 \cdot (17233 - j10635) + 0,21 \cdot (11283 - j696) + \\ + 0,3 \cdot (9413 - j5005) + 0,13 \cdot (6443 - j3968) + \\ + 0,21 \cdot (5343 - j3288) + 0,09 \cdot (668 - j408) \end{array} \right] =$$

$$= (0,162 + j0,115) \cdot$$

$$\left[\begin{array}{l} 42809 - j2642 + 31619 - j19514 + 5509 - j34 + 4861 - j30 + 5925 - \\ - j3656 + 11985 - j7395 + 4006 - j2472 + 5642 - j3481 + 5872 - j3624 + \\ + 17,22 - j1063 + 2369 - j1461 + 2823 - j1501 + 8,37 - j5,15 + 11,22 - j6,9 + 0,6 \\ - j0,36 \end{array} \right]$$

$$= (0,162 + j0,115) \cdot (127161 - j78228) =$$

$$= 206 - j12672 + j14623 + 8996 = [296 + j195] [\text{Volt}]$$

και επομένως $|\Delta U| = \sqrt{(296)^2 + (19,51)^2} \cong 300[\text{Volt}]$

Επομένως, προσεγγιστικά η τάση στο τέλος U_r από τον Y/Σ 27 μέχρι το δυσμενέστερο καταναλωτή (Y/Σ 13) θα έχει ως εξής:

$$U_s - U_r = \Delta U = 300V \Rightarrow U_s - U_r = 300V \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_r = U_s - 300 \Rightarrow U_r = \frac{20.000}{\sqrt{3}} - 300 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_r = 11560 - 300 \Rightarrow U_r = 11260[V] \text{ (από τον } Y/\Sigma 27 - Y/\Sigma 13)$$

Σημείωση : Παρατηρούμε ότι ο δυσμενέστερος καταναλωτής έχει φασική τάση $U_r = 11260 \text{ V}$, είτε αυτή υπολογίζεται από την πλευρά του Y/Σ υψηλής **I (Λάγγουρα)**, είτε από την πλευρά του Y/Σ υψηλής **III (Ζαβλάνι)**.

δ) Στο επόμενο βήμα της μελέτης μας θα εξετάσουμε αν η Γ.Μ Μ.Τ. που εργαζόμαστε χρειάζεται ρύθμιση τάσης, η οποία κυμαίνεται μεταξύ (5 ÷ 10%) και δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο αυτό. Αυτή υπολογίζεται με τον εξής απλό τύπο:

$$\Delta U\% = \frac{U_s - U_r}{U_r} \times 100 = \frac{\frac{20000}{\sqrt{3}} - 11260}{11260} \times 100 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta U\% = \frac{11560 - 11260}{11260} \times 100 = \frac{300}{11260} \times 100 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta U\% = 2,66\%$$

Παρατήρηση :

[Συνεπώς δεν χρειάζεται ρύθμιση τάσης η γραμμή μεταφοράς Μ.Τ., διότι το $\Delta U \% < 10\%$, που είναι το όριο].

ε) Στο σημείο αυτό των πράξεων, θα επιδιώξουμε να βρούμε το **ΔΡαπώλ.**, **ΔΡ%** ως εξής :

$$\Delta P_{\text{απώλ.}} = 3 \cdot (I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + \dots + I_{28}^2 \cdot R_{28})$$

$$\text{όπου: } R_1 = R_0 \cdot l_1, R_2 = R_0 \cdot l_2 \text{ κ.ο.κ.}$$

$$\text{και } \Delta P \% = \frac{P_s - P_r}{P_s} \times 100 = \frac{\Delta P}{P_s} \times 100$$

$$\text{όπου } P_s = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I \cdot \text{συν}\phi$$

Με βάση, λοιπόν, τους παραπάνω τύπους για το $\Delta P_{\text{απώλ}}$, και το $\Delta P\%$, θα βρούμε πρώτα τα $I_1, I_2, I_3, \dots, I_{28}$ και τις αντίστοιχες αντιστάσεις $R_1, R_2, R_3, \dots, R_{28}$ οπότε θα έχουμε:

$$I_1 = \sqrt{(469,32)^2 + (289,52)^2} = 551,43 \text{ [A / } \phi \text{]}$$

$$I_2 = \sqrt{(450,62)^2 + (277,97)^2} = 529,45 \text{ [A / } \phi \text{]}$$

$$I_3 = \sqrt{(403,87)^2 + (249,17)^2} = 474,54 \text{ [A / } \phi \text{]}$$

$$I_4 = \sqrt{(357,12)^2 + (220,37)^2} = 419,53 \text{ [A / } \phi \text{]}$$

$$I_5 = \sqrt{(319,72)^2 + (197,27)^2} = 375,68 \text{ [A / } \phi \text{]}$$

$$I_6 = \sqrt{(272,97)^2 + (168,47)^2} = 320,77 \text{ [A / } \phi \text{]}$$

$$I_7 = \sqrt{(226,22)^2 + (139,67)^2} = 265,86 \text{ [A / } \phi \text{]}$$

$$I_8 = \sqrt{(207,52)^2 + (128,12)^2} = 243,88 \text{ [A / } \phi \text{]}$$

$$I_9 = \sqrt{(188,82)^2 + (116,57)^2} = 221,9 \text{ [A / } \phi \text{]}$$

$$I_{10} = \sqrt{(133,57)^2 + (82,47)^2} = 156,97 \text{ [A / } \phi \text{]}$$

$$I_{11} = \sqrt{(114,87)^2 + (70,92)^2} = 134,99 \text{ [A / } \phi \text{]}$$

$$\begin{aligned}
I_{12} &= \sqrt{(77,47)^2 + (47,82)^2} = 91 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{13} &= \sqrt{(40,07)^2 + (24,72)^2} = 47,08 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{14} &= \sqrt{(6,68)^2 + (4,08)^2} = 7,82 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{15} &= \sqrt{(53,43)^2 + (32,88)^2} = 62,73 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{16} &= \sqrt{(64,43)^2 + (39,68)^2} = 75,66 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{17} &= \sqrt{(94,13)^2 + (50,05)^2} = 106,6 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{18} &= \sqrt{(112,83)^2 + (69,6)^2} = 132,56 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{19} &= \sqrt{(172,33)^2 + (106,35)^2} = 202,5 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{20} &= \sqrt{(209,73)^2 + (129,45)^2} = 246,46 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{21} &= \sqrt{(256,48)^2 + (158,25)^2} = 301,37 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{22} &= \sqrt{(286,18)^2 + (176,62)^2} = 336,29 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{23} &= \sqrt{(332,93)^2 + (205,42)^2} = 391,2 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{24} &= \sqrt{(370,33)^2 + (228,52)^2} = 435,16 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{25} &= \sqrt{(450,13)^2 + (250,02)^2} = 476,06 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{26} &= \sqrt{(423,83)^2 + (261,57)^2} = 498,04 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{27} &= \sqrt{(479,08)^2 + (295,67)^2} = 562,97 \text{ [A / } \phi \text{]} \\
I_{28} &= \sqrt{(497,78)^2 + (307,22)^2} = 584,95 \text{ [A / } \phi \text{]}
\end{aligned}$$

Για τις αντιστάσεις, τώρα, θα έχουμε ως εξής :

$$\begin{aligned}
R_1 &= R_0 \cdot l_1 = 0,162 \cdot 1,2 = 0,194[\Omega/\phi] \\
R_2 &= R_0 \cdot l_2 = 0,162 \cdot 0,2 = 0,032[\Omega/\phi] \\
R_3 &= R_0 \cdot l_3 = 0,162 \cdot 0,275 = 0,044[\Omega/\phi] \\
R_4 &= R_0 \cdot l_4 = 0,162 \cdot 0,285 = 0,046[\Omega/\phi] \\
R_5 &= R_0 \cdot l_5 = 0,162 \cdot 0,298 = 0,048[\Omega/\phi] \\
R_6 &= R_0 \cdot l_6 = 0,162 \cdot 0,203 = 0,032[\Omega/\phi] \\
R_7 &= R_0 \cdot l_7 = 0,162 \cdot 0,1 = 0,016[\Omega/\phi] \\
R_8 &= R_0 \cdot l_8 = 0,162 \cdot 0,135 = 0,021[\Omega/\phi] \\
R_9 &= R_0 \cdot l_9 = 0,162 \cdot 0,6 = 0,097[\Omega/\phi] \\
R_{10} &= R_0 \cdot l_{10} = 0,162 \cdot 0,09 = 0,014[\Omega/\phi] \\
R_{11} &= R_0 \cdot l_{11} = 0,162 \cdot 0,49 = 0,079[\Omega/\phi] \\
R_{12} &= R_0 \cdot l_{12} = 0,162 \cdot 0,48 = 0,077[\Omega/\phi] \\
R_{13} &= R_0 \cdot l_{13} = 0,162 \cdot 0,1 = 0,016[\Omega/\phi] \\
R_{14} &= R_0 \cdot l_{14} = 0,162 \cdot 0,09 = 0,014[\Omega/\phi] \\
R_{15} &= R_0 \cdot l_{15} = 0,162 \cdot 0,21 = 0,034[\Omega/\phi] \\
R_{16} &= R_0 \cdot l_{16} = 0,162 \cdot 0,13 = 0,021[\Omega/\phi] \\
R_{17} &= R_0 \cdot l_{17} = 0,162 \cdot 0,3 = 0,048[\Omega/\phi] \\
R_{18} &= R_0 \cdot l_{18} = 0,162 \cdot 0,21 = 0,034[\Omega/\phi] \\
R_{19} &= R_0 \cdot l_{19} = 0,162 \cdot 0,1 = 0,016[\Omega/\phi] \\
R_{20} &= R_0 \cdot l_{20} = 0,162 \cdot 0,28 = 0,045[\Omega/\phi] \\
R_{21} &= R_0 \cdot l_{21} = 0,162 \cdot 0,22 = 0,035[\Omega/\phi] \\
R_{22} &= R_0 \cdot l_{22} = 0,162 \cdot 0,14 = 0,022[\Omega/\phi] \\
R_{23} &= R_0 \cdot l_{23} = 0,162 \cdot 0,36 = 0,058[\Omega/\phi] \\
R_{24} &= R_0 \cdot l_{24} = 0,162 \cdot 0,16 = 0,025[\Omega/\phi] \\
R_{25} &= R_0 \cdot l_{25} = 0,162 \cdot 0,12 = 0,019[\Omega/\phi] \\
R_{26} &= R_0 \cdot l_{26} = 0,162 \cdot 0,13 = 0,021[\Omega/\phi] \\
R_{27} &= R_0 \cdot l_{27} = 0,162 \cdot 0,66 = 0,106[\Omega/\phi] \\
R_{28} &= R_0 \cdot l_{28} = 0,162 \cdot 0,86 = 0,139[\Omega/\phi]
\end{aligned}$$

Οπότε με αντικατάσταση στο γενικό τύπο θα έχουμε :

$$\Delta P_{απωλ} = 3 \cdot (I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + \dots + I_{28}^2 \cdot R_{28}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta P_{απωλ} = 3 \cdot$$

$$\left[\begin{aligned} &(55143)^2 \cdot 0,194 + (52945)^2 \cdot 0,032 + \\ &+ (47454)^2 \cdot 0,044 + (41953)^2 \cdot 0,046 + \\ &(37568)^2 \cdot 0,048 + (32077)^2 \cdot 0,032 + (26586)^2 \cdot 0,016 + \\ &+ (24388)^2 \cdot 0,021 + (2219)^2 \cdot 0,097 + (15697)^2 \cdot 0,014 + \\ &\cdot (13499)^2 \cdot 0,079 + (91)^2 \cdot 0,077 + (47,08)^2 \cdot 0,016 + (7,82)^2 \cdot 0,014 + \\ &+ (6273)^2 \cdot 0,034 + (7566)^2 \cdot 0,021 + (1066)^2 \cdot 0,048 + (13256)^2 \cdot 0,034 + \\ &+ (2025)^2 \cdot 0,016 + (24646)^2 \cdot 0,045 + (30137)^2 \cdot 0,035 + (33629)^2 \cdot 0,022 + \\ &+ (3912)^2 \cdot 0,058 + (43516)^2 \cdot 0,025 + (47606)^2 \cdot 0,019 + (49804)^2 \cdot 0,021 + \\ &+ (56297)^2 \cdot 0,106 + (58495)^2 \cdot 0,139 \end{aligned} \right]$$

$$\Rightarrow \Delta P_{απωλ} = 3 \cdot$$

$$\left(\begin{aligned} &5899055 + 897015 + 990828 + 809624 + 67745 + 329258 + 11309 + 124902 + \\ &+ 477624 + 34495 + 143956 + 63763 + 3546 + 0,856 + 13379 + 12021 + \\ &+ 54545 + 59745 + 6561 + 273341 + 317883 + 2488 + 887617 + 47341 + \\ &+ 430602 + 520892 + 335953 + 475614 \end{aligned} \right)$$

$$\Rightarrow \Delta P_{απωλ} = 220381,63 [W] \text{ ή } 220,38163 [KW]$$

Επομένως το $\Delta P\%$ θα είναι με βάση το

$$\Delta P_{απωλ} : \Delta P\% = \frac{\Delta P_{απωλ}}{P_s} \times 100$$

όπου:

$$P_s = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I \cdot \cos\phi = \sqrt{3} \cdot 20KV \cdot 584,95A \cdot 0,85 = 17203,37[KW]$$

Αρα με αντικατάσταση θα πάρουμε :

$$\Delta P\% = \frac{220,38163KW}{17203,37KW} \times 100 \Rightarrow \Delta P\% = 1,28\%$$

Συμπέρασμα:

[Οι απώλειες της πραγματικής ισχύος δεν υφίστανται, διότι το ποσοστό που βρέθηκε, από τις πράξεις, δεν υπερβαίνει το όριο (5÷10%)].

στ) Σε αυτό, τώρα, το σημείο, δεδομένου ότι γνωρίζουμε όλα τα ρεύματα (I_1, I_2, \dots, I_{28}) από τις απώλειες πραγματικής ισχύος ΔΡαπώλ. που βρήκαμε στο προηγούμενο βήμα (ε), θα επιδιώξουμε να βρούμε τις απώλειες τώρα, αέργου ισχύος ΔQαπώλ., ΔQ% με βάση τους παρακάτω τύπους. Σε σύγκριση με τις ΔΡαπώλ., στους τύπους αυτούς, αλλάζει ένα μόνο στοιχείο το X αντί για R που είχαμε προηγουμένως, οπότε θα έχουμε:

$$\Delta Q_{\alpha\pi\omega\lambda.} = 3 \cdot (I_1^2 \cdot X_1 + I_2^2 \cdot X_2 + \dots + I_{28}^2 \cdot X_{28})$$

$$\text{και } \Delta Q\% = \frac{Q_s - Q_r}{Q_s} \times 100 = \frac{\Delta Q}{Q_s} \times 100$$

$$\text{όπου } Q_s = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I \cdot \eta \mu \phi$$

Εφόσον όπως αναφέραμε παραπάνω, γνωρίζουμε όλα τα ρεύματα, μας μένει να βρούμε όλα τα X_1, X_2, \dots, X_3 . Οπότε θα έχουμε:

$$\begin{aligned}
X_1 &= X_0 \cdot l_1 = 0,115 \cdot 1,2 = 0,138[\Omega/\phi] \\
X_2 &= X_0 \cdot l_2 = 0,115 \cdot 0,2 = 0,023[\Omega/\phi] \\
X_3 &= X_0 \cdot l_3 = 0,115 \cdot 0,275 = 0,031[\Omega/\phi] \\
X_4 &= X_0 \cdot l_4 = 0,115 \cdot 0,285 = 0,032[\Omega/\phi] \\
X_5 &= X_0 \cdot l_5 = 0,115 \cdot 0,298 = 0,034[\Omega/\phi] \\
X_6 &= X_0 \cdot l_6 = 0,115 \cdot 0,203 = 0,023[\Omega/\phi] \\
X_7 &= X_0 \cdot l_7 = 0,115 \cdot 0,1 = 0,0115[\Omega/\phi] \\
X_8 &= X_0 \cdot l_8 = 0,115 \cdot 0,135 = 0,015[\Omega/\phi] \\
X_9 &= X_0 \cdot l_9 = 0,115 \cdot 0,6 = 0,069[\Omega/\phi] \\
X_{10} &= X_0 \cdot l_{10} = 0,115 \cdot 0,09 = 0,01[\Omega/\phi] \\
X_{11} &= X_0 \cdot l_{11} = 0,115 \cdot 0,49 = 0,056[\Omega/\phi] \\
X_{12} &= X_0 \cdot l_{12} = 0,115 \cdot 0,48 = 0,055[\Omega/\phi] \\
X_{13} &= X_0 \cdot l_{13} = 0,115 \cdot 0,1 = 0,0115[\Omega/\phi] \\
X_{14} &= X_0 \cdot l_{14} = 0,115 \cdot 0,09 = 0,01[\Omega/\phi] \\
X_{15} &= X_0 \cdot l_{15} = 0,115 \cdot 0,21 = 0,024[\Omega/\phi] \\
X_{16} &= X_0 \cdot l_{16} = 0,115 \cdot 0,13 = 0,014[\Omega/\phi] \\
X_{17} &= X_0 \cdot l_{17} = 0,115 \cdot 0,3 = 0,034[\Omega/\phi] \\
X_{18} &= X_0 \cdot l_{18} = 0,115 \cdot 0,21 = 0,024[\Omega/\phi] \\
X_{19} &= X_0 \cdot l_{19} = 0,115 \cdot 0,1 = 0,0115[\Omega/\phi] \\
X_{20} &= X_0 \cdot l_{20} = 0,115 \cdot 0,28 = 0,032[\Omega/\phi] \\
X_{21} &= X_0 \cdot l_{21} = 0,115 \cdot 0,22 = 0,025[\Omega/\phi] \\
X_{22} &= X_0 \cdot l_{22} = 0,115 \cdot 0,14 = 0,016[\Omega/\phi] \\
X_{23} &= X_0 \cdot l_{23} = 0,115 \cdot 0,36 = 0,041[\Omega/\phi] \\
X_{24} &= X_0 \cdot l_{24} = 0,115 \cdot 0,16 = 0,018[\Omega/\phi] \\
X_{25} &= X_0 \cdot l_{25} = 0,115 \cdot 0,12 = 0,013[\Omega/\phi] \\
X_{26} &= X_0 \cdot l_{26} = 0,115 \cdot 0,13 = 0,014[\Omega/\phi] \\
X_{27} &= X_0 \cdot l_{27} = 0,115 \cdot 0,66 = 0,075[\Omega/\phi] \\
X_{28} &= X_0 \cdot l_{28} = 0,115 \cdot 0,86 = 0,098[\Omega/\phi]
\end{aligned}$$

Επομένως με αντικατάσταση στον παραπάνω γενικό τύπο θα πάρουμε :

$$\Delta Q_{απώλ.} = 3 \cdot (I_1^2 \cdot X_1 + I_2^2 \cdot X_2 + \dots + I_{28}^2 \cdot X_{28}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta Q_{απώλ.} = 3 \cdot$$

$$\left[\begin{aligned} &(551,43)^2 \cdot 0,138 + (529,45)^2 \cdot 0,023 + \\ &+ (474,54)^2 \cdot 0,031 + (419,53)^2 \cdot 0,032 + \\ &(375,68)^2 \cdot 0,034 + (320,77)^2 \cdot 0,023 + (265,86)^2 \cdot 0,0115 + \\ &+ (243,88)^2 \cdot 0,015 + (221,9)^2 \cdot 0,069 + (156,97)^2 \cdot 0,01 + \\ &+ (134,99)^2 \cdot 0,056 + (91)^2 \cdot 0,055 + (47,08)^2 \cdot 0,0115 + (7,82)^2 \cdot 0,01 + \\ &+ (62,73)^2 \cdot 0,024 + (75,66)^2 \cdot 0,014 + (106,6)^2 \cdot 0,034 + (132,56)^2 \cdot 0,024 + \\ &+ (202,5)^2 \cdot 0,0115 + (246,46)^2 \cdot 0,032 + (301,37)^2 \cdot 0,025 + (336,29)^2 \cdot 0,016 + \\ &+ (391,2)^2 \cdot 0,041 + (435,16)^2 \cdot 0,018 + (476,06)^2 \cdot 0,013 + (498,04)^2 \cdot 0,014 + \\ &+ (562,97)^2 \cdot 0,075 + (584,95)^2 \cdot 0,098 \end{aligned} \right]$$

$$\Rightarrow \Delta Q_{απώλ.} = 3 \cdot$$

$$\left(\begin{aligned} &41962,35 + 6447,29 + 6980,83 + 5632,17 + 4798,6 + 2366,54 + \\ &+ 812,83 + 892,16 + 3397,53 + 246,39 + 1020,44 + 455,45 + 24,49 + \\ &+ 0,611 + 94,44 + 80,14 + 386,36 + 421,73 + 471,57 + 1943,76 + 2270,59 + \\ &+ 1809,45 + 6274,53 + 3408,55 + 2946,23 + 3472,61 + 23770,14 + 33532,31 \end{aligned} \right)$$

$$\Rightarrow \Delta Q_{απώλ.} = 155920,09 [VAR] \text{ ή } 155,92 [KVAR]$$

Επομένως το ΔQ% θα είναι, με βάση πάντα το Δραπώλ. ως εξής:

$$\Delta Q \% = \frac{\Delta Q_{απώλ.}}{Q_s} \cdot 100$$

όπου:

$$Q_s = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I \cdot \eta \mu \phi = \sqrt{3} \cdot 20KV \cdot 584,95A \cdot 0,525 = 10625,61 [KVAR]$$

Άρα, με αντικατάσταση θα πάρουμε:

$$\Delta Q\% = \frac{155,92KVAR}{10625,61KVAR} \times 100 \Rightarrow \Delta Q\% = 1,46\%$$

Συμπέρασμα:

[Όπως και στο βήμα (ε), έτσι και εδώ οι αντίστοιχες απώλειες άεργου ισχύος, δεν υφίσταται, διότι και πάλι το ποσοστό είναι μηδαμινό.]

ζ) Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του **Υ.Κ. Μ.Τ. 20 KV**, με μόνωση X-LPE και διατομής $3 \times 240\text{mm}^2 \text{ Al} + 25\text{mm}^2 \text{ Al}$ που βρήκαμε στη **(σελίδα 35)** ξέρουμε ότι το χωρητικό ρεύμα είναι

$$I_{c_0} = 0,979[A/Km \text{ και } \phi].$$

Εμείς τώρα θα προσπαθήσουμε κατά κάποιο τρόπο, να βρούμε με βάση το I_{c_0} (βλέπε Τ.Χ. Υ.Κ. σελ.35), την τιμή του I_c ως εξής :

$$I_{c_0} = \omega \cdot C_0 \cdot U\phi$$

όπου: $C_0 = 270[nF/Km \text{ και } \phi]$ (βλέπε τεχν. χαρακτ. Υ.Κ. σελ. 35)

Άρα με μια μικρή τροποποίηση των μονάδων το C_0 γίνεται:

$$C_0 = 0,27[\mu F/Km \text{ και } \phi] \text{ ή } 0,27 \cdot 10^{-6}[F/Km \text{ και } \phi]$$

Επομένως, με αντικατάσταση στο γενικό τύπο του I_{c_0} παίρνουμε:

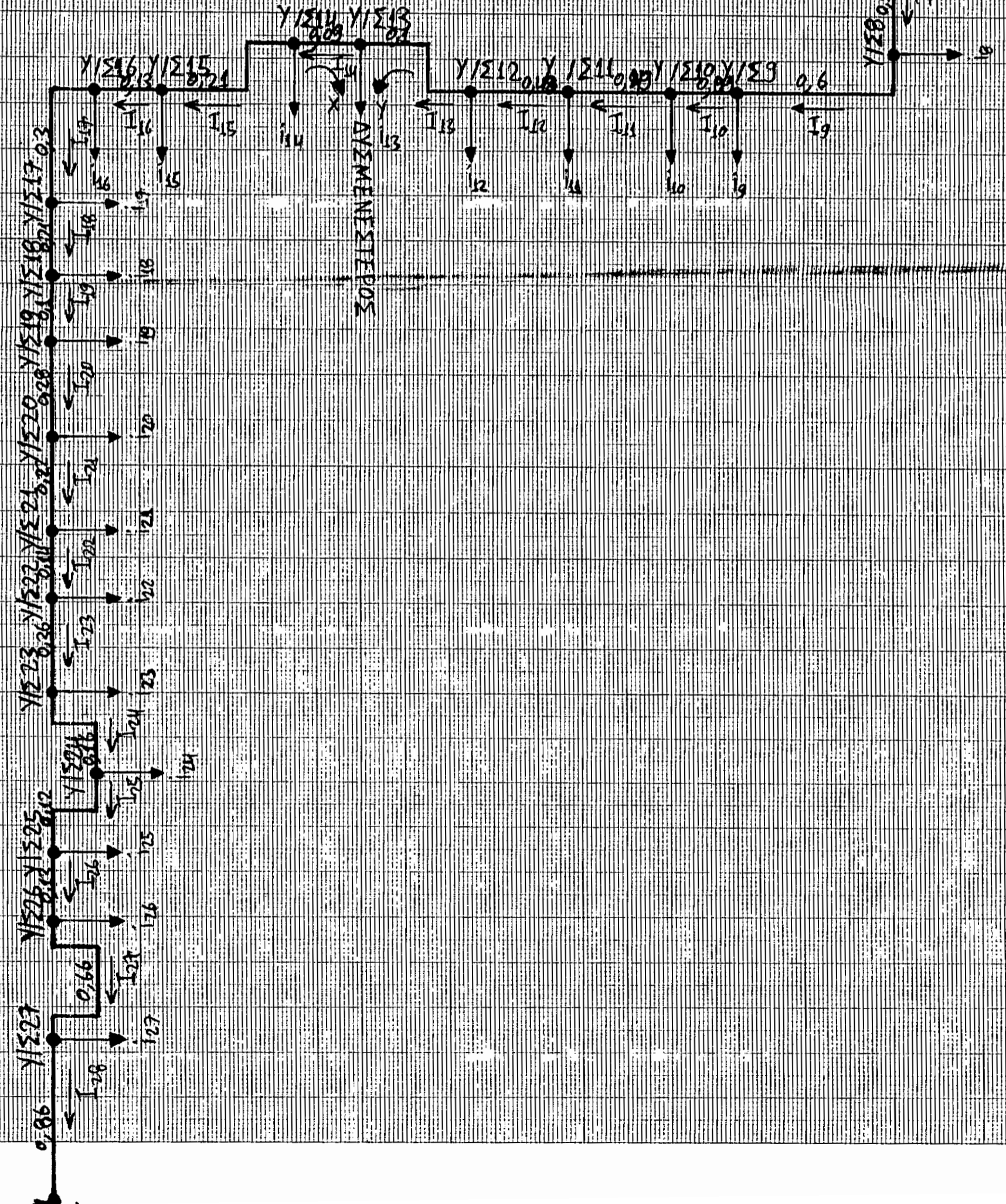
$$I_{c_0} = (314) \cdot (0,27 \cdot 10^{-6}) \cdot \left(\frac{20000}{\sqrt{3}} \right) = 0,979 \text{ A/Km και } \phi$$

Με βάση, λοιπόν, το I_{c_0} θα βρούμε το I_c , ως εξής :

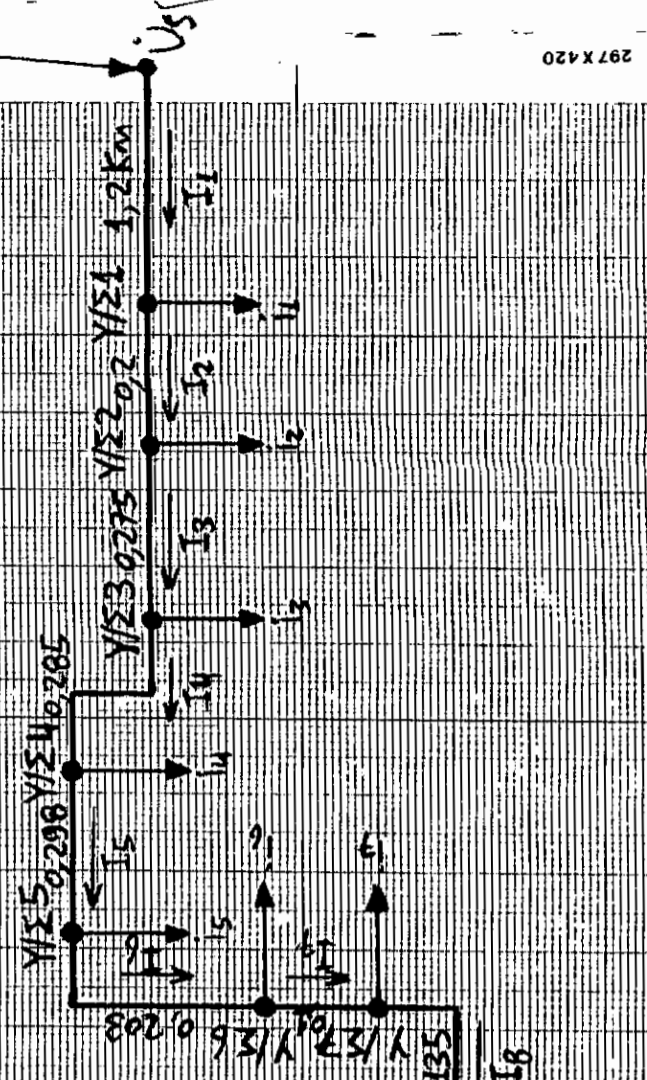
$$I_c = I_{c_0} \cdot l_{ολ} = 0,979 \text{ A/Km και } \phi \cdot 8,426 \text{ Km} \Rightarrow \\ \Rightarrow I_c = 8,429 \text{ A/}\phi$$

ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΠΟΡΕΙΑ 500 ΒΡΟΧΟΥ ΥΠΟΤΕΙΟΥ ΚΑΛΩΔΙΟΥ (15. ΗΛΕΚΤΡΟΝΟΜΟ Χ-LPE) ΑΠΟ Υ/Σ ΣΥΡΜΑΝΗΣ Ι (Αγ. Ανδρέας) - Υ/Σ ΣΥΡΜΑΝΗΣ ΙΙΙ (Ζαβόλι).

ΣΥΡΜΑΝΗΣ ΙΙΙ
(Ζαβόλι)



Υ/Σ ΣΥΡΜΑΝΗΣ Ι
(Αγ. Ανδρέας)



ΣΥΡΜΑΝΗΣ Ι
(Αγ. Ανδρέας)

Βιβλιογραφία

Α' μέρος (Θεωρία)

1. Αντώνης Θ. Αλεξανδρίδης : «Παραγωγή Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας», 1991.
2. Βασίλης Κ. Παπαδιάς : «Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας», 1985.
3. Πέτρος Ντοκόπουλος: «Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών Μέσης και Χαμηλής Τάσης», 1992

Β' μέρος (Μελέτη)

1. Ν. Σιαμήτρου: «Σημειώσεις Π.Μ.Δ. Η.Ε. Ιβ», 1985.

