

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ: ΣΤΕ
ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: 1090

ΤΙΤΛΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

**Μελέτη πτώσης τάσης και διόρθωσης συντελεστού
ισχύος με πυκνωτές σε πραγματική γραμμή μέσης
τάσης της ΔΕΗ**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:
ΒΑΡΚΟΥΤΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΠΑΠΙΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:
ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

ΠΑΤΡΑ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η άεργος ισχύς αποτελεί σημαντικό πεδίο ερευνητικής προσπάθειας διότι επιβαρύνει τη λειτουργία των δικτύων μεταφοράς και διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα έχοντας απαίτηση συγκεκριμένης ενεργού ισχύος στο φορτίο, αύξηση της άεργου σημαίνει αύξηση της φαινόμενης ισχύος, συνεπώς αύξηση του ρεύματος που διαρρέει τα καλώδια και ως εκ τούτου απώλειες. Προκειμένου να αντιμετωπισθούν οι απώλειες αυτής, γίνονται σημαντικές προσπάθειες για την αντιστάθμισή της.

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη μιας πραγματικής εναέριας γραμμής μέσης τάσης της ΔΕΗ ως προς την πτώση τάσης που αυτή εμφανίζει καθώς και την διόρθωση του συντελεστή ισχύος αυτής με την χρήση πυκνωτών.

Για τα παραπάνω υπολογίζονται τα ηλεκτρικά - μηχανικά χαρακτηριστικά τους. Η ανάπτυξη του θέματος χωρίζεται 5 κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στον θεωρητικό τομέα της παρούσας μελέτης. Στο θεωρητικό αυτό τμήμα γίνεται μια εισαγωγή στις εναέριας γραμμές μεταφοράς μέσης και χαμηλής τάσης και στην πτώση τάση που αυτές εμφανίζουν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της προς μελέτη γραμμής σχετικά με το μήκος και τα κυριότερα φορτία που περιλαμβάνει καθώς και τον εξοπλισμό προστασίας που αυτή φέρει.

Στο τρίτο κεφάλαιο στο οποίο ξεκινάει και ο τομέας των υπολογισμών προχωράμε στην κυρίως μελέτη της γραμμής που αφορά τον υπολογισμό της πτώσης τάσης σε διάφορα σημεία της καθώς και έλεγχο των προδιαγραφών που πρέπει να τηρούνται για την τιμή της τάσης.

Συνεχίζοντας στο τέταρτο κεφάλαιο ασχολούμαστε με την τοποθέτηση πυκνωτών σε απομακρυσμένο σημείο της γραμμής όπου η τάση είναι χαμηλή και υπολογίζουμε την νέα πτώση τάσης καθώς και τον συντελεστή ισχύος στον ζυγό τοποθέτησης των πυκνωτών.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρέχουμε τα συμπεράσματα που προκύπτουν μέσω αυτής της μελέτης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Θέμα πτυχιακής: Μελέτη πτώσης τάσης και διόρθωσης συντελεστού ισχύος με πυκνωτές σε πραγματική γραμμή μέσης τάσης της ΔΕΗ

Κεφάλαιο 1^ο : Γενικά περί πτώσης τάσης, που οφείλεται, τι συνέπειες έχει και με ποιους τρόπους αντιμετωπίζεται. Περιγραφή γραμμών χαμηλής τάσης και μέσης τάσης

Κεφάλαιο 2^ο : Περιγραφή της γραμμής Μέσης τάσης υπό μελέτη. Εκκίνηση της γραμμής από τον υποσταθμό ΥΤ Πατρών ΙΙΙ στο Ρίο.

Περιγραφή: Μήκος και κυριότερα φορτία που περιλαμβάνει η γραμμή. Εξοπλισμός προστασίας που φέρει η γραμμή

Κεφάλαιο 3^ο : Μονογραμμικό διάγραμμα της γραμμής με τα κυριότερα φορτία. Υπολογισμός της πτώσης τάσης σε διάφορα σημεία της γραμμής. Έλεγχος των προδιαγραφών που πρέπει να τηρούνται για την τιμή της τάσης ($\leq 8\%$)

Κεφάλαιο 4^ο : Τοποθέτηση πυκνωτών σε απομακρυσμένο σημείο της γραμμής όπου η τάση είναι χαμηλή. Υπολογισμός νέας πτώσης τάσης με την παρουσία των πυκνωτών και του συντελεστή ισχύος στον ζυγό τοποθέτησης των πυκνωτών

Κεφάλαιο 5^ο : Συμπεράσματα – όφελος από την τοποθέτηση των πυκνωτών στην γραμμή. Τάση με την χρήση των πυκνωτών – επέκταση του μήκους της γραμμής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	13
<i>Πτώση τάσης.....</i>	<i>14</i>
<i>Γραμμή μεταφοράς</i>	<i>15</i>
I .Γενικά.....	15
ii. Βασικές απαιτήσεις από μια γραμμή μεταφοράς	16
iii. Χαρακτηριστικά μεγέθη μεταφερόμενης ενέργειας	18
iv. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τριφασικών κυκλωμάτων γραμμών μεταφοράς.....	19
<i>Εναέρια δίκτυα μέσης τάσης</i>	<i>21</i>
i. Γενικά.....	21
ii. Στύλοι	21
iii. Μονωτήρες	41
iv. Αγωγοί	46
<i>Υπόγεια γραμμή μεταφοράς</i>	<i>49</i>
i. Αγωγοί, μόνωση	49
Αγωγοί διασυνδεδεμένου πολυαιθυλενίου (XLPE)	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	60
<i>Πρωτότυπο σχέδιο της υπό μελέτη γραμμής μεταφοράς(1/2)</i>	<i>61</i>
<i>Πρωτότυπο σχέδιο της υπό μελέτη γραμμής μεταφοράς(2/2)</i>	<i>62</i>
<i>Περιγραφή της γραμμής Μέσης τάσης υπό μελέτη.....</i>	<i>63</i>
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	66
<i>Μονογραμμικό διάγραμμα της γραμμής με τα κυριότερα φορτία ...</i>	<i>67</i>
<i>Μονογραμμικό διάγραμμα της γραμμής με τα κυριότερα φορτία ...</i>	<i>68</i>
i. Υπολογισμός της πτώσης τάσης της γραμμής	69
ii. Προσθήκη 25ου κλάδου	70
iii. Υπολογισμός πτώσης τάσης χωρίς πυκνωτή στο τέλος της γραμμής	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	75
<i>Γενικά περί αντιστάθμισης με χρήση πυκνωτών</i>	76
<i>Αντιστάθμιση με διαφορετικών ειδών πυκνωτές</i>	77
<i>i. Αντιστάθμιση με στρεφόμενους πυκνωτές</i>	77
<i>ii. Στατοί αντισταθμιστές άεργου ισχύος</i>	77
<i>iii. Σύγχρονοι στατοί αντισταθμιστές άεργου ισχύος</i>	78
<i>Τοποθέτηση πυκνωτών σε απομακρυσμένο σημείο της γραμμής όπου η τάση είναι χαμηλή</i>	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο	82
<i>Συμπεράσματα</i>	83
<i>Οφέλη της βελτίωσης του συντελεστή ισχύος</i>	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	86

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι γραμμές μεταφοράς έχουν σαν σκοπό τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Για να είναι οικονομική η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται υπερυψηλή τάση η υψηλή τάση. Υ.Υ.Τ. ή Υ.Τ.

Διακρίνονται σε:

- Μικρού μήκους όταν το μήκος τους είναι μέχρι 50 Km για εναέρια δίκτυα και σημαντικά μικρότερο μήκος για υπόγεια δίκτυα.
- Μέσου μήκους, όταν το μήκος τους είναι μέχρι 250 Km και
- Μεγάλου μήκους όταν το μήκος τους είναι πάνω από 250 Km .

Οι γραμμές μεταφοράς ξεκινούν από Υ/Σ και καταλήγουν σε Υ/Σ.

Τα δίκτυα διανομής είναι μέσης τάσης (Μ.Τ.) και χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.).

- Στη μέση τάση έχουμε πολική τάση 15 / 20 KV και είναι δυνατόν να έχουν μέχρι και 50 Km μήκος.
- Στη χαμηλή τάση έχουμε τα 220/380 V και τα δίκτυα αυτά σπάνια ξεπερνούν το 1 Km σε μήκος.

Οι γραμμές διανομής ξεκινούν από Υ/Σ και καταλήγουν είτε σε ιδιόκτητους Υ/Σ των καταναλωτών Μέσης Τάσης είτε απευθείας στους καταναλωτές Χαμηλής Τάσης και πρέπει να εξασφαλίζουν καλή και οικονομική λειτουργία και το βασικό χαρακτηριστικό που επηρεάζει αυτή τη λειτουργία είναι η πτώση τάσης στην γραμμή διανομής που οφείλεται στην αντίστασή της. Τόσο η αντίσταση όσο και η πτώση τάσης πρέπει να είναι ελάχιστες ώστε να εξασφαλίζεται σχετικά σταθερή τάση στους καταναλωτές. Η ελαχιστοποίηση της αντίστασης όμως οδηγεί σε αύξηση του κόστους εγκατάστασης λόγω απαίτησης για μεγαλύτερη διατομή αγωγών. Η συνεχής τροφοδότηση των καταναλωτών εξασφαλίζεται με τις πολλαπλές συνδέσεις των φορτίων στο δίκτυο, η συνεχής επίβλεψη του δικτύου με κατάλληλες συσκευές και ειδικευμένα συνεργεία άμεσης επισκευής βλαβών.

Στη χώρα μας πιο διαδεδομένα είναι

- Τα εναέρια δίκτυα.
- Τα υπόγεια
- Και τα υποβρύχια

Σημείωση: Τα υποβρύχια δίκτυα κατασκευάζονται μόνο όταν το επιβάλουν ειδικοί λόγοι.

Τα εναέρια δίκτυα πλεονεκτούν σε σχέση με τα άλλα γιατί έχουν μικρό κόστος κατασκευής, εύκολη επιθεώρηση και συντήρηση. Το κόστος τους φθάνει το 30% περίπου του κόστους ενός υπογείου δικτύου.

Η πτώση τάσης ορίζεται ως η διαφορά τάσης από ένα σημείο σε μια τρέχουσα πορεία σε οποιαδήποτε άλλο σημείο στην ίδια τρέχουσα πορεία και είναι το αποτέλεσμα που συμβαίνει σε μια τιμή της τάσης, όταν συναντιέται με αντίσταση σε οποιαδήποτε τρέχουσα πορεία, ενώ το ρεύμα ρέει.

Πτώση τάσης έχουμε μόνο όταν το ρεύμα συναντήσει αντίσταση σε μια τρέχουσα πορεία και όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του ρεύματος που διαρρέει τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η τιμή της πτώσης τάσης σε έναν αγωγό ή σύνδεση ή επαφή.

Η τιμή της κάθε πτώση τάσης βασίζεται σε νόμο του Ohm $I=V/R$

Για τον υπολογισμό της πτώσης τάσης σε μια γραμμή μεταφοράς μέσης τάσης αρχικά υπολογίζεται η επιμέρους πτώση τάσης ανά κλάδο της προς μελέτη γραμμής και στην συνέχεια προστίθενται οι επιμέρους κλαδικές πτώσεις τάσης για την εύρεση της ολικής πτώσης τάσης της γραμμής η οποία είναι και η ζητούμενη. Η σχέση που μας δίνει την πτώση τάσης αν κλάδο που ουσιαστικά δεν είναι άλλη από την διαφορά τάσης από σημείο σε σημείο, είναι:

$$\Delta U = R \cdot I \cdot (\cos\phi) + X \cdot I \cdot (\sin\phi)$$

Όπου:

- R = η τιμή της ωμικής αντίστασης του αγωγού
- l = η τιμή της απόστασης των μεταξύ σημείων (προς μελέτη)
- i = η τιμή της έντασης του ρεύματος που διαρρέεται μεταξύ των σημείων της γραμμής
- $\cos\phi$ = η τιμή του συντελεστού ισχύος της γραμμής
- X = η τιμή της ειδικής αντίστασης του αγωγού

Πολλές φορές κρίνεται απαραίτητο να γίνει μείωση της πτώσης τάσης σε μια γραμμή μεταφοράς διότι η υπερβολική πτώση τάσης σε μια γραμμή έχει τις παρακάτω επιπτώσεις

- Χαμηλή τάση τροφοδοσίας του ηλεκτρικού εξοπλισμού οπού η εκάστοτε γραμμή τροφοδοτεί προκαλώντας λανθασμένη, ασταθής ή καθόλου λειτουργία αυτού.
- Πιθανή βλάβη-καταστροφή του ηλεκτρικού εξοπλισμού.
- Χαμηλή αποδοτικότητα και σπατάλη ενέργειας.
- Εμφάνιση θερμότητας στην ένωση υψηλών αντιστάσεων μπορεί να προκαλέσει φωτιά σε φορτία πολλών amperes

Ένας από τους τρόπους, αν και σύνθετος και δαπανηρός, για την μείωση της πτώσης τάσης είναι η τοποθέτηση πυκνωτών σε κάποιο τμήμα της γραμμής μεταφοράς με σκοπό να διορθωθεί ο συντελεστής ισχύος και κατά συνέπεια η πτώση τάσης της γραμμής.

Η διόρθωση του συντελεστή ισχύος $\cos\phi$ μιας γραμμής μεταφοράς δεν είναι τίποτα άλλο από την μείωση της αέργου ισχύος που απορροφά μια ηλεκτρική εγκατάσταση από τη ΔΕΗ, έτσι ώστε η πραγματική ισχύς να πλησιάσει όσο το δυνατόν την φαινόμενη και άρα ο συντελεστής ισχύος να πλησιάσει τη μονάδα.

Η άεργος ισχύς, δηλαδή η μη παραγωγική ισχύς, έχει αναδειχθεί τα τελευταία χρόνια σε μείζον θέμα, εξαιτίας των αρνητικών επιπτώσεων που επιφέρει στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής. Το πρόβλημα έχει ενταθεί την τελευταία δεκαετία, αφενός μεν λόγω των οριακών συνθηκών λειτουργίας του συστήματος παραγωγής- μεταφοράς, αφετέρου δε λόγω της χαρακτηριστικής αύξησης των διατάξεων ηλεκτρονικών ισχύος, αλλά και των επαγωγικών φορτίων που χρησιμοποιούνται σε πληθώρα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών (ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, συσκευές σταθερής τηλεφωνίας, τηλεοράσεις, συστήματα ήχου, φορτιστές συσσωρευτών, κάθε είδους ηλεκτρικοί κινητήρες, μετασχηματιστές κ.τ.λ.)

Οι σύγχρονες εξελίξεις αναφορικά με παγκόσμια προβλήματα, όπως η εξοικονόμηση ενέργειας και η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών, δημιούργησαν νέα δεδομένα σε ότι αφορά τη χρήση ηλεκτρικών διατάξεων που προκαλούν την παραγωγή άεργου ισχύος. Έτσι οι διατάξεις αυτές πρέπει να είναι συμβατές με τους διεθνείς κανονισμούς ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας και παράλληλα να παρουσιάζουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ώστε να είναι δυνατή η χρήση τους. Ενδεικτικά η παραγωγή της άεργου ισχύος από τις κεντρικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η μεταφορά της στην κατανάλωση μέσω των δικτύων Μεταφοράς και Διανομής έχει σημαντικές οικονομικές και κατ' επέκταση οικολογικές, λόγω:

- Του αυξημένου κόστους των μονάδων παραγωγής (μεταβλητό και σταθερό) για την παραγωγή της ενέργειας των πρόσθετων απωλειών λόγω ροής αέργου ισχύος στα δίκτυα Μεταφοράς και Διανομής.
- Εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για την παραγωγή της ενέργειας των πρόσθετων απωλειών, που προαναφέρθηκαν.
- Αυξημένου μακροχρόνιου κόστους ανάπτυξης του Συστήματος Μεταφοράς και του Δικτύου Διανομής εξαιτίας των αυξημένων τιμών έντασης του συνολικού ρεύματος.
- Κόστους της εθνικής οικονομίας σε περίπτωση μερικής ή ολικής σβέσης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, ο κίνδυνος της οποίας επιτείνεται από την αυξημένη ζήτηση αέργου ισχύος.

Για τους παραπάνω λόγους έχει δοθεί τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη βαρύτητα στη διόρθωση του συντελεστή ισχύος.

Η αντιστάθμιση επιτυγχάνεται κυρίως με τη χρήση πυκνωτών, που τοποθετούνται παράλληλα με τα επαγωγικά φορτία, έτσι ώστε η ενέργεια που είναι απαραίτητη για τη δημιουργία των μαγνητικών τους πεδίων να μην παλινδρομεί μεταξύ ΔΕΗ και εγκατάστασης αλλά μεταξύ των πηνίων και των πυκνωτών της ίδιας της εγκατάστασης. Οι πυκνωτές δηλαδή παρέχουν στα πηνία την άεργο ισχύ που αυτά καταναλώνουν.

Η βελτίωση του συντελεστή ισχύος με στόχο να είναι μεγαλύτερος από 95% παρέχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής.

- Μείωση του ρεύματος που ρέει στους αγωγούς του συστήματος παραγωγής- διανομής της ΔΕΗ (μείωση ζήτησης) με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ικανότητα απόκρισής του σε αυξημένα φορτία και τη σημαντική μείωση απωλειών ισχύος στα δίκτυα Μεταφοράς και Διανομής.
- Μείωση της Χρεωστέας Μέγιστης Ζήτησης (XMZ) που εμφανίζεται σε κάποια από τα βιομηχανικά τιμολόγια πελατών μέσης τάσεως της ΔΕΗ (π.χ. B2B), με αποτέλεσμα μικρότερους μηνιαίους λογαριασμούς.
- Μείωση των απωλειών ισχύος στο καλώδιο παροχής, λόγω της μείωσης του ρεύματος που διαρρέει τα καλώδια.
- Η εξοικονόμηση αυτή της ενέργειας οδηγεί ταυτόχρονα και στην ελάττωση της εκπομπής ρύπων προς το περιβάλλον γεγονός πολύ σημαντικό στις μέρες μας.

Σε ότι αφορά το ηλεκτρικό δίκτυο η δυναμική αντιστάθμιση της άεργου ισχύος αφορά τους πελάτες με συσκευές που προκαλούν κυμάνσεις στην άεργο ισχύ. Είναι ένα μέσο για την καλύτερευση του συντελεστή άεργου ισχύος, και κυρίως για τον περιορισμό της επιρροής των μεταβολών της τάσης που προκαλούν οι συσκευές.

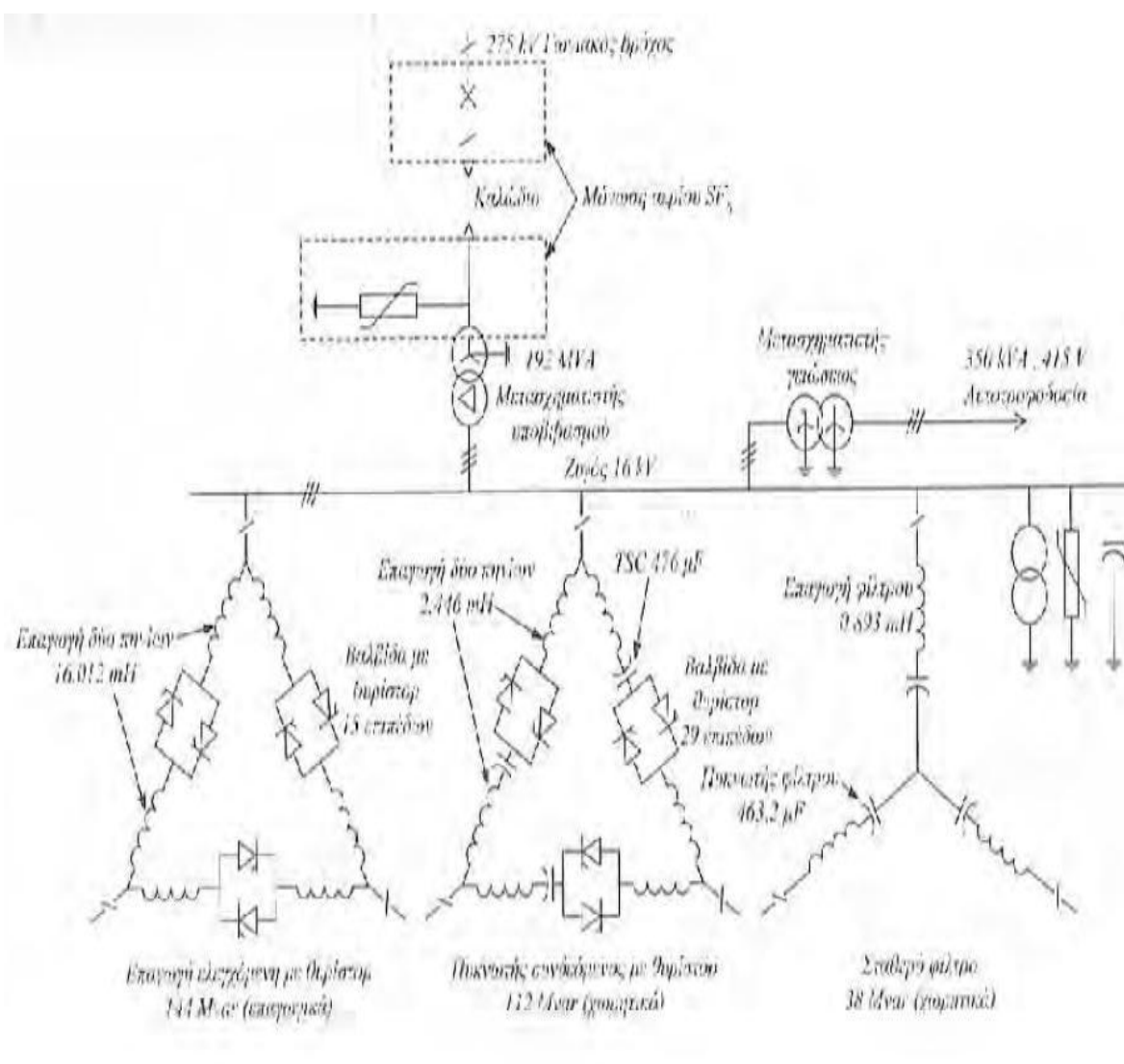
Σε ότι αφορά τα Σ.Η.Ε. για αντιστάθμιση άεργου τοποθετούνται πυκνωτές κοντά σε επαγωγικά φορτία, ενώ κοντά σε χωρητικά φορτία ή σε περιπτώσεις υπερφόρτισης του συστήματος με σκοπό τον έλεγχο της τάσης και τη σταθεροποίηση του συστήματος τοποθετούνται εγκάρσιες επαγωγές.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιο χρησιμοποιημένοι μέθοδοι αντιστάθμισης. Εγκάρσια χωρητική και επαγωγική αντιστάθμιση.

Οι εγκάρσιοι πυκνωτές συνδέονται στους ζυγούς των υποσταθμών αλλά και σε βιομηχανικές μονάδες με μεγάλη παραγωγή έργου ισχύος. Η εγκάρσια αντιστάθμιση συνδέεται είτε απ' ευθείας στους ζυγούς ή στο τριτεύον τύλιγμα του κύριου μετασχηματιστή με μηχανικούς ή στερεάς κατάστασης διακόπτες. Χρησιμοποιούνται μηχανικοί διακόπτες με χρόνο κλεισίματος πέντε κύκλων και χρόνο ανοίγματος τριών κύκλων, με επαγωγές περιορισμού του ρεύματος για ελαχιστοποίηση των διακοπτικών υπερτάσεων και έλεγχο ώστε να περιορίζεται το έργο της διακοπτικής διαδικασίας. Εν τούτοις οι μηχανικοί διακόπτες δεν μπορούν να εξασφαλίσουν ταχύτατο έλεγχο της τάσης, όπως επιτυγχάνεται με τους διακόπτες στερεάς κατάστασης.

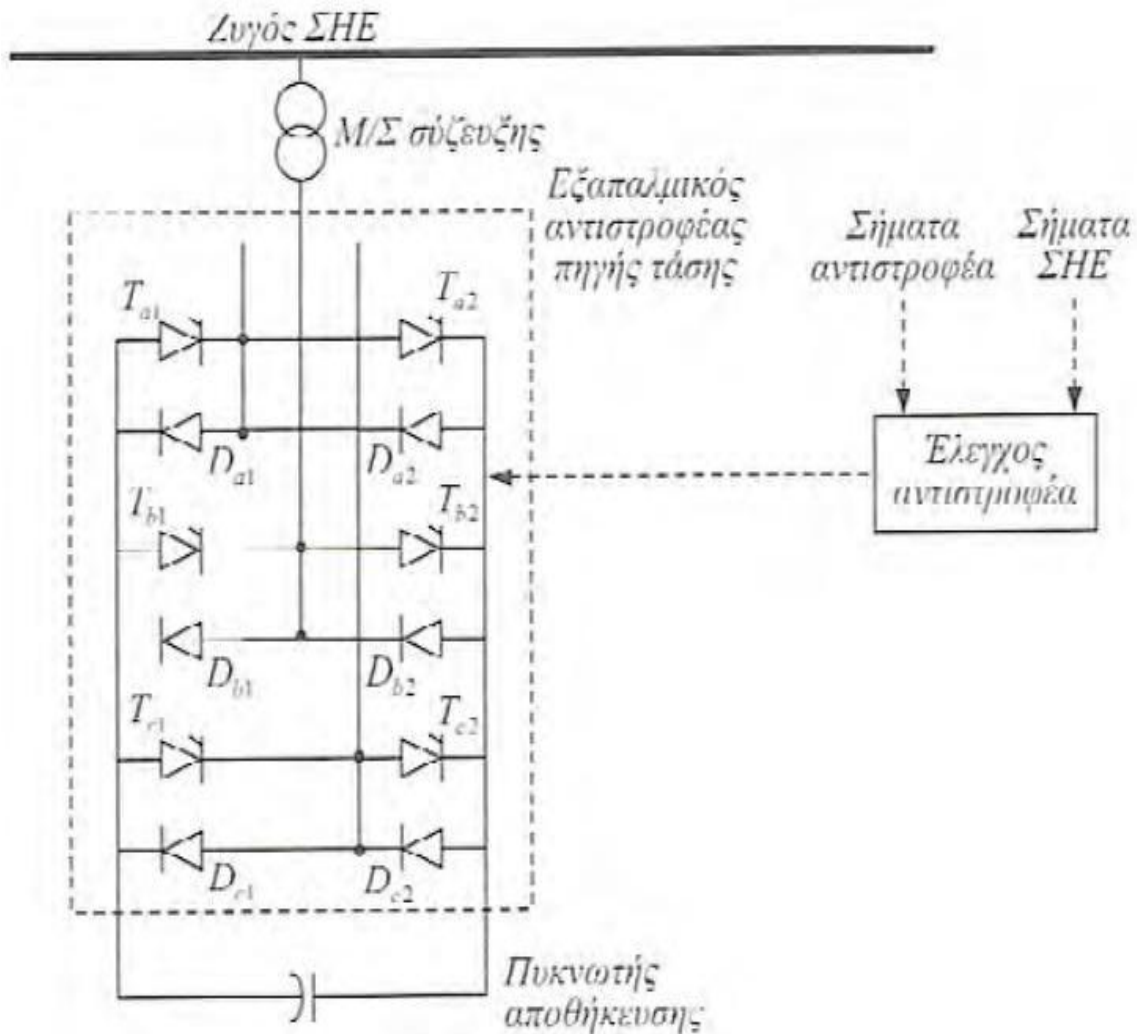
Οι εγκάρσιοι πυκνωτές συμβάλλουν σημαντικά στην ευστάθεια της τάσης γιατί επιτρέπουν στις κοντινές γεννήτριες να εργάζονται με συντελεστή ισχύος κοντά στη μονάδα. Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων, που δημιουργούν οι μηχανικοί διακόπτες, αναπτύχθηκαν οι διακόπτες στερεάς κατάστασης, που περιλαμβάνουν δύο αντιπαράλληλα θυρίστορ για τη σύνδεση – αποσύνδεση πυκνωτών (Thyristor Switched Capacitor (TCR)) Ένα στατικό σύστημα var (Static Var System (SVS)) περιλαμβάνει εγκάρσια αντιστάθμιση με μηχανικούς και στερεάς κατάστασης διακόπτες και έλεγχο και συντονισμό των εξόδων τους. Ένας στατικός αντισταθμιστής var (Static Var Compensator (SVC)) έχει μόνο διακόπτες στερεάς κατάστασης.

Με κατάλληλο έλεγχο των γωνιών έναυσης των θυρίστορ η άεργος ισχύς ενός SVC μπορεί να μεταβάλλεται παίρνοντας όλες τις ενδιάμεσες τιμές. Τα πλεονεκτήματά του είναι: ακριβής έλεγχος της τάσης και ταχύτατη σύνδεση – αποσύνδεση πυκνωτών χωρίς μεταβατικές υπερτάσεις για αποκατάσταση του συστήματος μετά την εκκαθάριση βραχυκυκλωμάτων.



Σχήμα Ε1 Βασικό ηλεκτρικό διάγραμμα του SVC St John's Wood STATCOM

Μία άλλη εξελιγμένη εγκατάσταση εγκάρσιας αντιστάθμισης είναι ο στατικός σύγχρονος αντισταθμιστής (Static Synchronous Compensator (SSC ή STATCOM) ή Advanced Static Var Compensator (ASVC)). Είναι ικανός να παράγει ή να απορροφά άεργο ισχύ. Η άεργος ισχύς στην έξοδο του ρυθμίζεται ανεξάρτητα από την ΕΡ τάση του ζυγού, γι αυτό μπορεί να ελέγχει συγκεκριμένες παραμέτρους. Στην ονομασία του περιλαμβάνεται ο όρος σύγχρονος για να δηλωθεί η ομοιότητα του προς μια σύγχρονη μηχανή, επειδή παράγει μια ημιτονοειδή, συμμετρική τριφασική τάση στη θεμελιώδη συχνότητα. Επομένως ο STATCOM έχει χαρακτηριστικά λειτουργίας όμοια με το στρεφόμενο σύγχρονο αντισταθμιστή χωρίς τη μηχανική αδράνεια, γι αυτό είναι πολύ ταχύτερος ο έλεγχος του μέτρου και της φασικής γωνίας της τάσης που παράγει στην έξοδό του.



Σχήμα Ε2 Στατικός σύγχρονος αντισταθμιστής (SSC ή STATCOM) Σύγχρονος αντισταθμιστής

Ο σύγχρονος αντισταθμιστής είναι μια κανονικά σύγχρονη μηχανή, που στρέφεται χωρίς φορτίο και έχει διέγερση ρυθμιζόμενη σε μια ευρεία περιοχή τιμών. Τροφοδοτεί άεργο ισχύ στο κύκλωμα όταν υπερδιεγείρεται και απορροφά άεργο ισχύ από το σύστημα όταν υποδιεγείρεται. Επομένως ρυθμίζοντας τη διέγερση του σύγχρονου αντισταθμιστή μπορούμε να ρυθμίζουμε κατά συνεχή τρόπο την άεργο ισχύ στην έξοδο του, που μπορεί να πάρει χωρητικές ή επαγωγικές τιμές. Κατά τη λειτουργία του απορροφά μόνο όση ενεργό ισχύ χρειάζεται για να καλύψει τις απώλειές του.

Λόγω του υψηλού αρχικού κόστους καθώς και των προβλημάτων συντήρησης, οι σύγχρονοι αντισταθμιστές δεν είναι ανταγωνιστικοί από οικονομικής απόψεως προς τους SVC. Το κόστος τους μπορεί να είναι 20-30% υψηλότερο από το κόστος των SVC. Οι απώλειες τους με πλήρες φορτίο είναι 1.5% και χωρίς φορτίο 0.5% (φορτίο θεωρείται η άεργος ισχύς στην έξοδο τους). Οι σύγχρονοι αντισταθμιστές έχουν κάποια τεχνικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους SVC στα ασθενή δίκτυα, διότι: α) η άεργος ισχύς στην έξοδό τους αυξάνεται αμέσως μετά την πτώση τάσης, β) έχουν την ικανότητα υπερφόρτισης για δεκάδες δευτερόλεπτα, γ) με πλήρες φορτίο μπορούν να διατηρούν ονομαστικό ρεύμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο



Πτώση τάσης

Πτώση τάσης είναι η μείωση της τάσης σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ανάμεσα στην πηγή και το φορτίο. Στην ηλεκτρική καλωδίωση των εθνικών και τοπικών ηλεκτρικών κωδικοί μπορούν να καθορίσουν τις κατευθυντήριες γραμμές για τη μέγιστη πτώση τάσης που επιτρέπεται σε ένα κύκλωμα, για την εξασφάλιση εύλογης απόδοσης της διανομής και της καλής λειτουργίας του ηλεκτρικού εξοπλισμού (η μέγιστη επιτρεπόμενη πτώση τάσης ποικίλλει από χώρα σε χώρα).

Η πτώση τάσης μπορεί να αγνοηθεί όταν η αντίσταση των αγωγών διασύνδεσης είναι μικρή σε σχέση με τις άλλες συνιστώσες του κυκλώματος. Για παράδειγμα, μια ηλεκτρική θερμάστρα χώρο μπορεί κάλλιστα να έχει αντοχή δέκα ohms , καθώς και τα καλώδια που τροφοδοτούν μπορεί να έχουν μια αντίσταση 0,2 Ω, περίπου το 2% της συνολικής αντίστασης κυκλώματος. Αυτό σημαίνει ότι το 2% της παρεχόμενης τάσης στην πραγματικότητα χάνεται από το ίδιο το σύρμα.

Οι επιπτώσεις της υπερβολικής πτώσης τάσης είναι:

- Χαμηλή τάση τροφοδοσίας του ηλεκτρικού εξοπλισμού όπου η εκάστοτε γραμμή τροφοδοτεί προκαλώντας λανθασμένη, ασταθής ή καθόλου λειτουργία αυτού.
- Πιθανή βλάβη-καταστροφή του ηλεκτρικού εξοπλισμού.
- Χαμηλή αποδοτικότητα και σπατάλη ενέργειας.
- Εμφάνιση θερμότητας στην ένωση υψηλών αντιστάσεων μπορεί να προκαλέσει φωτιά σε φορτία πολλών amperes

Στην ηλεκτρονική σχεδίαση και την εκπομπή ισχύος, διάφορες τεχνικές χρησιμοποιούνται για να αντισταθμιστεί η επίδραση της πτώσης τάσης σε μεγάλα κυκλώματα ή όταν τα επίπεδα τάσης, πρέπει να διατηρηθούν με ακρίβεια.

Ο απλούστερος τρόπος για να μειωθεί η πτώση τάσης είναι να αυξηθεί η διάμετρος του αγωγού μεταξύ της πηγής και του φορτίου, γεγονός που μειώνει τη συνολική αντίσταση.

Ένας ακόμα τρόπος ίσως πιο σύνθετος και δαπανηρός για την μείωση της πτώσης τάσης είναι η τοποθέτηση πυκνωτών σε κάποιο τμήμα της γραμμής μεταφοράς με σκοπό να διορθωθεί ο συντελεστής ισχύος και κατά συνέπεια η πτώση τάσης της γραμμής.

Γραμμή μεταφοράς

i. Γενικά

Με τον όρο γραμμή μεταφοράς εννοείται το σύνολο των συσκευών και εγκαταστάσεων που απαιτούνται για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στις κατάλληλες συνθήκες.

Οι πιο βασικές από τις εγκαταστάσεις και συσκευές είναι:

A) **Οι αγωγοί** που μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια. Στις γραμμές υψηλής τάσης είναι συνήθως τρεις και στις διπλές γραμμές είναι έξι. Για λόγους οικονομίας δεν χρησιμοποιείται ουδέτερος αγωγός.

B) **Οι στύλοι ή πυλώνες** στους οποίους στηρίζονται οι αγωγοί

Γ) **Οι μονωτήρες** που αφ ενός συγκρατούν τους αγωγούς στους στύλους και αφετέρου εξασφαλίζουν την μόνωση τους ως προς γη

Δ) **Οι μετασχηματιστές** που μετασχηματίζουν την τάση στους υποσταθμούς μεταφοράς και διανομής

E) **Τα συστήματα ελέγχου και προστασίας** που ελέγχουν τις τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών κατά μήκος των γραμμών και τις προστατεύουν από ενδεχόμενες βλάβες που προκαλούνται λόγω προβλημάτων στην λειτουργία τους

Μια άλλη διάκριση των γραμμών μεταφοράς θα μπορούσε να γίνει σε σχέση με τη θέση τους (εναέριας - αυτές που κρέμονται σε στύλους, και υπόγειες - αυτές που αποτελούνται από ένα καλώδιο και βρίσκονται μέσα στο έδαφος).

Επειδή τα έξοδα κατασκευής μιας υπόγειας γραμμής είναι σαφώς μεγαλύτερα εκείνων μιας εναέριας (παρά το ότι οι τελευταίες χρειάζονται στύλους, μονωτήρες κλπ) οι γραμμές μεταφοράς είναι κατά κανόνα εναέριας.

ii. Βασικές απαιτήσεις από μια γραμμή μεταφοράς

Η πρώτη απαίτηση μιας εναέριας γραμμής μεταφοράς είναι μια κατάλληλη ζώνη εδάφους για την διέλευση της, εκτεινόμενη κατά μήκος όλης της διαδρομής της. Ενώ, τόσο οι γραμμές διανομής χαμηλής τάσης όσο και πολλές γραμμές διανομής μέσης τάσης οδεύουν συνήθως κατά μήκος των οδών και των λεωφόρων, για τη διέλευση των γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσεως χρειάζεται ευρύτερος και ξεχωριστός διάδρομος εδάφους απ' ό,τι είναι δυνατόν να διατεθεί στις πλευρές των οδών και αρτηριών. Το πλάτος των ζωνών διελεύσεως η δουλείας των γραμμών εξαρτάται από την τάση μεταφοράς, και είναι τόσο μεγαλύτερο όσο υψηλότερη είναι αυτή.

Η εξεύρεση κατάλληλων υπογείων διαβάσεων είναι ένα βασικό πρόβλημα των υπογείων γραμμών μεταφοράς. Οι υπόγειες γραμμές εγκαθίστανται είτε κάτω από τα πεζοδρόμια, είτε κάτω από τα καταστρώματα των οδών.

Τα καλώδια των υπόγειων γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας εγκαθίστανται εντός του εδάφους σε διάφορα βάθη, τα οποία ποικίλουν από 0.80 μέτρα έως 1.50 μέτρα ή και περισσότερο. Όσο υψηλότερη η τάση της γραμμής, τόσο μεγαλύτερο είναι συνήθως και το βάθος εγκαταστάσεως των καλωδίων, ώστε τα καλώδια υψηλής τάσεως να κατέχουν τα μεγαλύτερα βάθη και τα καλώδια χαμηλής τάσεως τα μικρότερα.

Το χώμα, το οποίο τοποθετείται επάνω από τα καλώδια, μετά την εγκατάσταση, είναι λεπτόκοκκο και χωρίς πέτρες, αφενός για την καλύτερη απαγωγή της εκλυόμενης θερμότητας, της οφειλόμενης στις απώλειες της γραμμής, αφετέρου δε για να αποφευχθεί τραυματισμός των καλωδίων από τις πέτρες. Επίσης για την μηχανική προστασία των καλωδίων τοποθετούνται επάνω από αυτά, και σε όλο το μήκος της διαδρομής της γραμμής, τούβλα ή επιμήκεις πλάκες συνήθως από σκυρόδεμα. Οι πλάκες αυτές τοποθετούνται 20 εκατοστά περίπου πάνω από τα καλώδια και φέρουν έντυπες αναγνωριστικές ενδείξεις, προστατεύουν τα καλώδια από τις σκαπάνες και τα άλλα μηχανικά μέσα εκσκαφής των πεζοδρομίων.

Κατά τις περιπτώσεις παράλληλης διαδρομής περισσότερων υπογείων γραμμών στην ίδια ζώνη διελεύσεως, εάν η μεταξύ γειτονικών γραμμών απόσταση είναι σχετικά μικρή, η απαγωγή της θερμότητας των καλωδίων προς το περιβάλλον έδαφος δυσχεραίνεται, με αποτέλεσμα τη μείωση της ικανότητας φορτίσεως τους. Η ικανότητα απαγωγής της εκλυόμενης από τις υπόγειες γραμμές θερμότητας απ' το έδαφος, το οποίο περιβάλλει τα καλώδια, αποτελεί βασικό κριτήριο της καταλληλότητας του για την διέλευση γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας. Δυσθερμαγωγά εδάφη, όπως τα ξερά αμμώδη, είναι ακατάλληλα για την εγκατάσταση υπογείων γραμμών, διότι μειώνουν πολύ την ικανότητα φορτίσεως των καλωδίων. Αντιθέτως τα υγρά χωματώδη προσφέρονται ιδιαίτερα για την εγκατάσταση καλωδίων. Σημασία για την ικανότητα φορτίσεως 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 υπογείων καλωδίων κάτω από τα καταστρώματα των οδών τα καλώδια τοποθετούνται μέσα σε σωλήνες από τσιμέντο, ή σίδηρο (τα τριπολικά) με διάμετρο λίγο μεγαλύτερη από εκείνη των καλωδίων. Κατά τούτο 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 κυρίως στα 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 φορτίσεως τους. Κατά κανόνα, τα καλώδια κατά την διέλευση τους μέσω σωλήνων, οχετών, η σηράγγων, σε αποστάσεις μεγαλύτερες από λίγα μέτρα, πρέπει να αερίζονται σε φυσικό ή τεχνητό αερισμό, δεδομένου ότι η φυσική ψύξη τους σε περιβάλλον ακίνητου αέρα είναι ατελής. Η εγκατάσταση, επιθεώρηση, και επισκευή των καλωδίων είναι ευχερής, αλλά το πρόβλημα του αερισμού των χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή.

Η τεχνική της εγκατάστασης καλωδιακών γραμμών κάτω από τα καταστρώματα των οδών δεν εφαρμόζεται πλην ειδικών περιπτώσεων. Για τον λόγο αυτό κατασκευάζονται επί της οδού και σε αποστάσεις λίγων δεκάδων μέτρων μεταξύ τους κατάλληλα ανοίγματα από τα οποία είναι δυνατόν να συρθούν τα καλώδια έξω από τους σωλήνες. Οι συνδέσεις των καλωδίων κατά κανόνα γίνονται στις θέσεις των ανοιγμάτων, κάτω από τα οποία προβλέπεται επαρκής χώρος για την κατασκευή, επιθεώρηση και επισκευή των συνδέσεων. Οι σωλήνες οδεύουν συνήθως κατά ζεύγη σε κατακόρυφη διάταξη. Είναι ανεπιθύμητη η εγκατάσταση περισσοτέρων από δύο σωλήνων παράλληλα και σε επαφή, δεδομένου ότι η ροή της θερμότητας από τους ενδιάμεσους σωλήνες προς το περιβάλλον έδαφος θα έπρεπε να περάσει από τους εξωτερικούς σωλήνες, με αποτέλεσμα δυσχερή ψύξη και μείωση της ικανότητας φορτίσεως. Οι γραμμές των σωλήνων κατασκευάζονται με την συνένωση τμημάτων εν σειρά, συνήθη δε υλικά των σωλήνων είναι το τσιμέντο, κεραμίδι ή φίμπερ.

Κάθε ομάδα σωλήνων είναι συνήθως εντοιχισμένη σε σκυροκονίαμα για την απόκτηση μεγάλης διάρκειας ζωής και μηχανικής αντοχή, λαμβανομένου υπόψη ότι υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες ένα μήκος της διαδρομής είναι δυνατό να αποκαλυφθεί και να μείνει εκτεθειμένο επί πολύ λόγω γειτονικών εκσκαφών. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται πολλαπλοί σωλήνες αλλά για τα καλώδια ισχύος είναι προτιμότεροι οι απλοί σωλήνες.

Η ηλεκτρική ενέργεια κατά την μεταφορά της πρέπει να παρουσιάζει σταθερή τάση και συχνότητα και τις ελάχιστες δυνατές απώλειες. Για να επιτευχθούν τα παραπάνω χαρακτηριστικά πρέπει να παρουσιάζει κατάλληλα χαρακτηριστικά.

Κατά την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις εμφανίζεται πάνω στη γραμμή πτώση τάσης που οφείλεται στην σύνθετη αντίσταση της (ωμική, επαγωγική, χωρητική) και εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος, δηλαδή την μεταφερόμενη ισχύ. Η σύνθετη αντίσταση της γραμμής εξαρτάται μόνο από τον τρόπο που είναι κατασκευασμένη η γραμμή.

Πρόβλημα όσον αφορά την συχνότητα δεν υπάρχει αφού αυτή δεν μεταβάλλεται κατά την μεταφορά της ενέργειας.

Για την ομαλή λειτουργία ενός τριφασικού δικτύου έχει σημασία η εξασφάλιση εξισορροπημένης λειτουργίας, δηλαδή πρέπει τα μονοφασικά συνήθως φορτία να ισοκατανέμονται στις τρεις φάσεις ώστε οι τριφασικοί καταναλωτές να έχουν συμμετρικές τάσεις τροφοδοσίας.

Πρέπει να αποφεύγεται με κάθε τρόπο η διακοπή τροφοδοσίας οποιουδήποτε αριθμού καταναλωτών έστω και για μικρό χρονικό διάστημα διότι αυτό συνεπάγεται μεγάλες οικονομικές ή άλλου είδους ζημιές. Αυτό πραγματοποιείται με τις πολλαπλές συνδέσεις και την τοποθέτηση οργάνων ελέγχου και διακοπών που επισημαίνουν και εντοπίζουν¹ κάθε βλάβη που θα μπορούσε να οδηγήσει σε δυσάρεστο αποτέλεσμα. Μία τέτοια περίπτωση είναι η χρήση γραμμών με παράλληλα κυκλώματα οπότε σε περίπτωση βλάβης του ενός θα χρησιμοποιείται το άλλο.

Ένας τελευταίος τομέας είναι η ασφαλής λειτουργία των γραμμών μεταφοράς, δηλαδή πρέπει οι τιμές των ηλεκτρικών μεγεθών να μην ξεπερνούν ορισμένες προκαθορισμένες χαρακτηριστικές τιμές για την ακίνδυνη λειτουργία της γραμμής, πράγμα που επιτυγχάνεται με την βοήθεια μετρητικών και ρυθμιστικών οργάνων που βρίσκονται σε κατάλληλα σημεία.

iii. Χαρακτηριστικά μεγέθη μεταφερόμενης ενέργειας

Η μεταφερόμενη ενέργεια χαρακτηρίζεται από την τάση και την συχνότητα ενώ η μεταφερομένη ισχύς καθορίζει την ένταση που διαρρέει την γραμμή.

Τα πλεονεκτήματα της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή τάση είναι κύρια οικονομικά διότι η ισχύς μεταφέρεται με χαμηλή ένταση οπότε χρειάζονται αγωγοί μικρότερης διατομής με αποτέλεσμα οικονομία υλικού και μικρότερες απώλειες ισχύος λόγοι του μικρότερου ρεύματος.

Έχει επικρατήσει η χρησιμοποίηση συχνότητας 50 ή 60 Hz.

Οι χρησιμοποιούμενες τάσεις (μεταφοράς δεν είναι τυποποιημένες και η ΔΕΗ χρησιμοποιεί γραμμές 400KV (υπερύψηλη τάση), 150KV(υψηλή τάση) και σε ορισμένες πυκνοκατοικημένες περιοχές 66 KV. Στην διανομή υπάρχει η τυποποιημένη τιμή των 20KV αλλά υπάρχουν ακόμα τάσεις 22KV, 15KV και 11KV.

Κάθε τάση μεταφοράς παρουσιάζει ορισμένη εμβέλεια, δηλαδή απόσταση στην οποία συμφέρει από οικονομική άποψη να χρησιμοποιηθεί. Έτσι με 15KV είναι σωστό να μεταφέρεται ισχύς μέχρι 1000KV το πολύ μέχρι 50 χιλιόμετρα. Αν η απόσταση ή ισχύς αυξηθούν, η τάση αυτή δεν είναι πια κατάλληλη.

iv. Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τριφασικών κυκλωμάτων γραμμών μεταφοράς.

Μία γραμμή μεταφοράς έχει τέσσερις παραμέτρους, οι οποίες επηρεάζουν την εκπλήρωση της αποστολής της ες μέρους ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι παράμετροι αυτές είναι οι έξης κατά σειρά σπουδαιότητας:

- Αυτεπαγωγή της γραμμής, εκφραζόμενη σε henry ανά μέτρο μήκους.
- Εγκάρσια χωρητικότητα της γραμμής εκφραζόμενη σε farad ανά μέτρο μήκους.
- Ωμική αντίσταση της γραμμής, εκφραζόμενη σε ohm ανά μέτρο μήκους.
- Εγκάρσια αγωγιμότητα της γραμμής, εκφραζόμενη σε mho ανά μέτρο μήκους.

Οι παράμετροι αυτές συμβολίζονται με L,C,R και G αντιστοίχως, και στις περισσότερες περιπτώσεις στην πράξη εκφράζονται ανά μονάδα μήκους (μέτρο ή χιλιόμετρο) και ανά φάση της γραμμής. Κατά τη λειτουργία της γραμμής οι παράμετροι αυτές εκδηλώνονται ως ηλεκτρικές αντιστάσεις και αντιδράσεις, καλούνται δε και σ τ α θ ϵ ρ $\acute{\epsilon}$ ς της γραμμής.

Όλοι οι αγωγοί παρουσιάζουν κάποια ωμική αντίσταση και ή ωμική αντίσταση μιας γραμμής μεταφοράς είναι απλώς εκείνη, την οποία παρουσιάζουν οι αγωγοί της στη διέλευση του εναλλασσόμενου ρεύματος. Κάθε ρεύμα δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο, του οποίου οι γραμμές ροής περιβάλλουν το ρεύμα, από το οποίο προέρχονται. Όταν ή τιμή του ρεύματος μεταβάλλεται ,ή ροή ή πεπλεγμένη με το κύκλωμα θα μεταβληθεί, παράγοντας σ' αυτό μία τάση εξ αυτεπαγωγής.

Η παράμετρος, ή όποια εκφράζει τη σχέση μεταξύ της πεπλεγμένης ροής και του ρεύματος είναι ή αυτεπαγωγή L. Στην τεχνική των εναλλασσόμενων ρευμάτων ή παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο ως επαγωγική αντίδραση X, ή οποία είναι ίση με $2\pi fL$, Όπου f είναι φυσικά ή συχνότητα του ρεύματος.

Δύο αγωγοί, χωριζόμενοι από ένα διηλεκτρικό ή μονωτή σχηματίζουν ένα πυκνωτή, και οι γραμμές μεταφοράς δεν αποτελούν εξαίρεση στο φαινόμενο αυτό. Κάθε αγωγός είναι, υπό κανονικές συνθήκες, μεμονωμένος από κάθε άλλο αγωγό, όπως και από τούς φορείς της γραμμής μέσω αέρα ή μονωτήρων και ο συνδυασμός αυτός των μονώσεων σχηματίζει ένα πυκνωτή, χωρητικότητας C.

Στις εναέριες γραμμές ή επιφάνεια των αγωγών είναι μικρή σε σύγκριση με το χώρο μεταξύ αγωγών και συνεπώς ή χωρητικότητα τους είναι μικρή, έκτος εάν ή γραμμή είναι σχετικά μεγάλη. Γενικά για γραμμές μικρότερες των 30 χιλιομέτρων ή επίδραση της χωρητικότητας είναι αμελητέα, και μόνο για γραμμές μεγαλύτερες των 150 χιλιομέτρων ή επίδραση αυτή είναι πολύ σημαντική.

Στα υπόγεια καλώδια εν τούτοις ο χώρος είναι πολύ μικρότερος και το διηλεκτρικό είναι χαρτί, λάδι ή συνθετικό υλικό μεγαλύτερης διηλεκτρικής σταθεράς από τον αέρα.

Ως εκ τούτου η χωρητικότητα είναι πολύ αυξημένη και η επίδραση της σημαντική ακόμη και για μικρά μήκη καλωδίου. Στα κυκλώματα εναλλασσόμενου ρεύματος η χωρητικότητα είναι δυνατόν να εκφράζεται υπό μορφή χωρητικής αγωγιμότητας B , ίσης προς $2\pi fC$ ή υπό μορφή χωρητικής αντιδράσεως ίσης με $1/2\pi fO$. Επειδή όμως η χωρητικότητα στην πραγματικότητα είναι συνδεδεμένη εν παραλλήλω προς τη γραμμή, μεταξύ των δύο θεωρούμενων αγωγών, και όχι εν σειρά με αυτή, εκφράζεται συχνότερα ως χωρητική αγωγιμότητα B .

Δεδομένου ότι κανένα υλικό δεν είναι τέλειος μονωτήρας υπάρχει πάντοτε κάποιο ρεύμα διαρροής μεταξύ αγωγών υπό τάση, παρά τις προσπάθειες αποφυγής του. Εν τούτοις, για όλες τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, οι όποιες έχουν σχεδιασθεί σωστά, το ρεύμα διαρροής υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας είναι αμελητέο και δε χρειάζεται να ληφθεί υπόψη.

Η θεωρητική ανάλυση όμως των μεγάλων γραμμών μεταφοράς, ή οποία θα αναπτυχθεί αργότερα, θα είναι αρκετά γενική, ώστε να περιλαμβάνει και την επίδραση της διαρροής, οπότε, όταν χρειασθεί, ή επίδραση αυτή θα είναι δυνατόν να υπολογισθεί απλώς με τη χρησιμοποίηση αντί μηδενός της κατάλληλης αριθμητικής τιμής της αγωγιμότητας.

Σε μια πολυφασική γραμμή οι αγωγοί των φάσεων είναι κατά κανόνα του ίδιου μεγέθους και υλικού, αλλά ή θέση καθενός ως προς τούς άλλους είναι δυνατόν να είναι τέτοια, ώστε ή αυτεπαγωγή και ή χωρητικότητα, οι όποιες εξαρτώνται από τις αποστάσεις και τη διάταξη να είναι διαφορετικές για κάθε αγωγό.

Όταν ή διαφορά αυτή είναι σημαντική, οι αγωγοί πολλές φορές αντιμετωπίζονται, ώστε ο αγωγός κάθε φάσεως να καταλαμβάνει κάθε θέση της γραμμής για ορισμένο τμήμα αυτής. Κατ' αυτό τον τρόπο οι ανισότητες εξισώνονται σε μεγάλο βαθμό.

Πέρα απ αυτό τα φορτία σε όλες τις φάσεις είναι κανονικά περίπου τα ίδια ώστε τα ρεύματα να είναι επίσης περίπου ίσα σε μέγεθος και το σύστημα τους συμμετρικό. Όταν οι συνθήκες αυτές δεν πληρούνται σε επαρκή βαθμό, το πρόβλημα της επιλύσεως γίνεται πολύπλοκο και αντιμετωπίζεται με άλλες μεθόδους, όπως οι συμμετρικές συνιστώσες.

Εναέρια δίκτυα μέσης τάσης

i.Γενικά

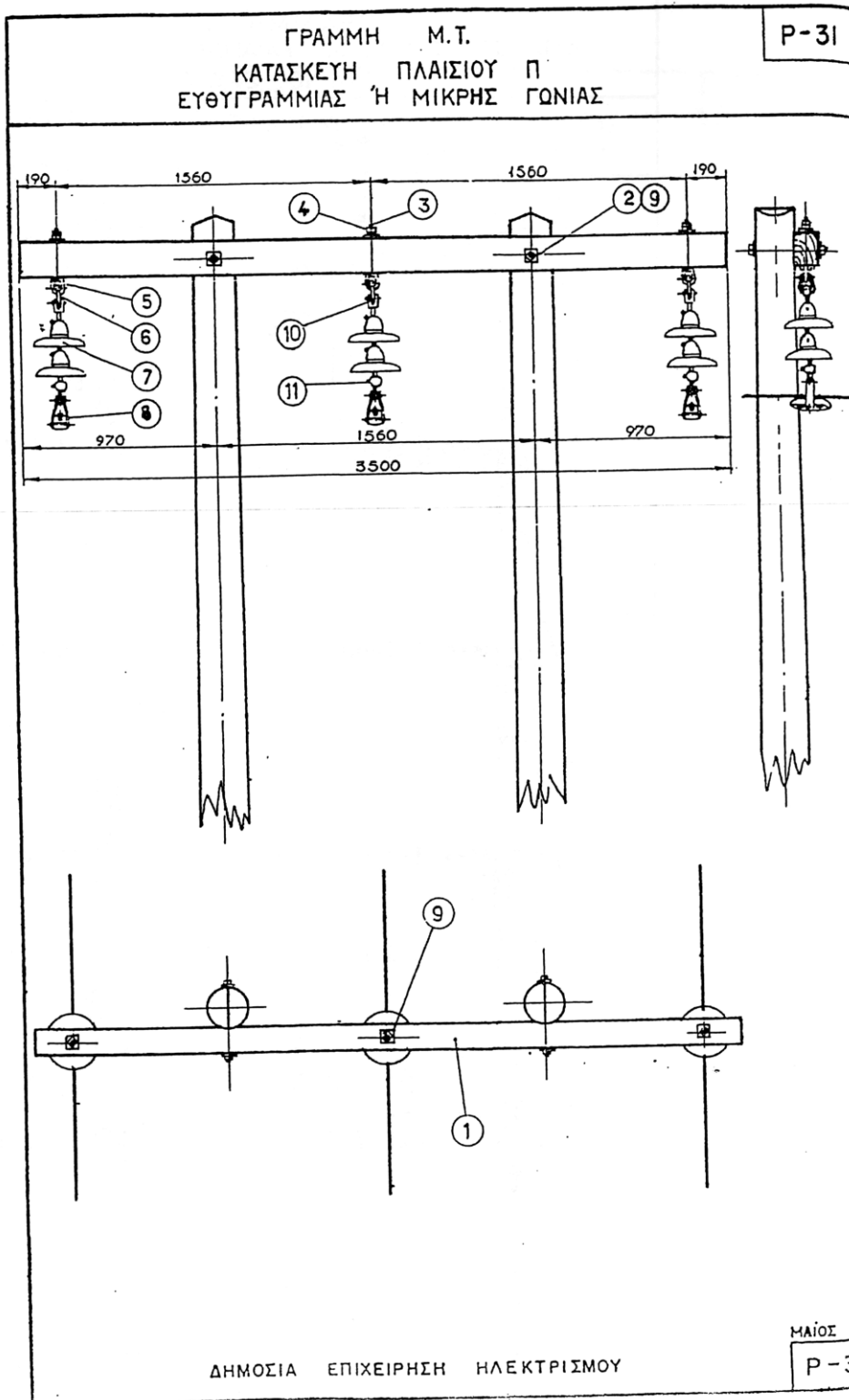
Οι γραμμές μεταφοράς ενέργειας μέσης τάσης μεταφέρουν ενέργεια από τους υποσταθμούς μεταφοράς στους υποσταθμούς διανομής και μπορεί να είναι τόσο εναέριας όσο και υπόγειες ανάλογα με την θέση του υποσταθμού διανομής. Οι γραμμές διανομής μέσης τάσης περνούν συνήθως από τις μεγάλες οδικές αρτηρίες για λόγους άμεσης πρόσβασης σε αυτές για επιθεώρηση και συντήρηση.

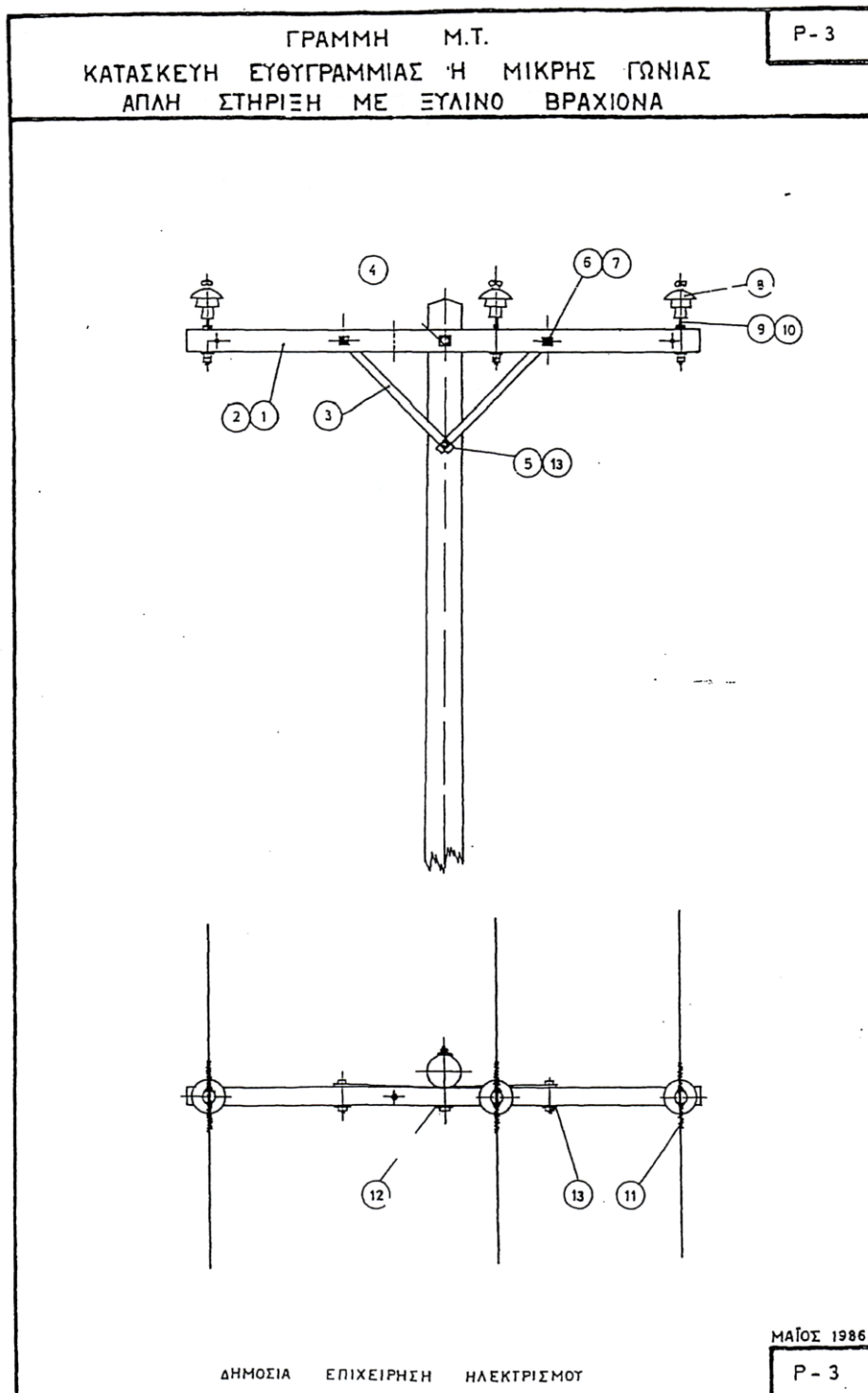
Τα κύρια εξαρτήματα των γραμμών μέσης τάσης είναι τα εξής:

- A) Οι αγωγοί
- B) Οι στύλοι
- Γ) Οι μονωτήρες
- Δ) Συστήματα ελέγχου και προστασίας

ii. Στύλοι

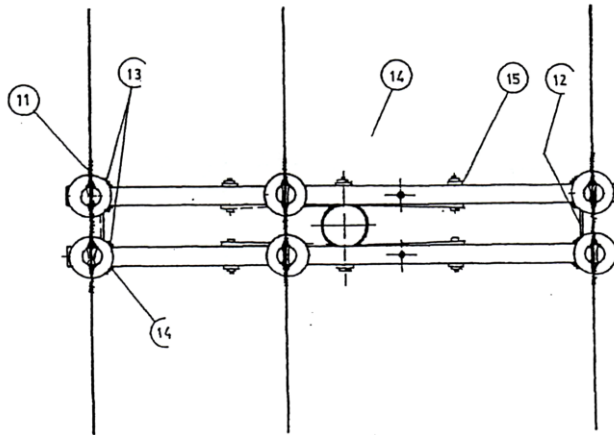
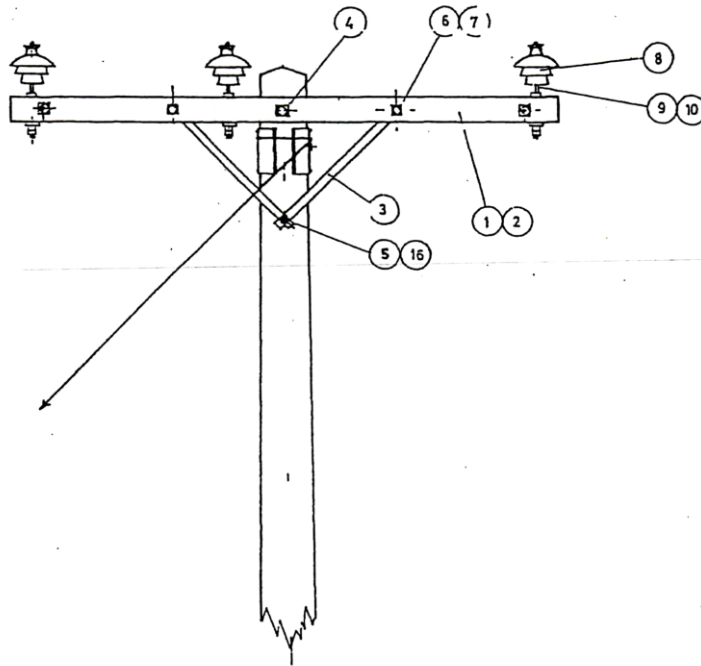
Οι αγωγοί των εναέριων γραμμών στηρίζονται, σε φορείς, δηλ. στύλους ή πυλώνες. Στις γραμμές διανομής χαμηλής τάσεως οι φορείς συνήθως είναι απλοί ξύλινοι στύλοι, με εγκάρσιους βραχίονες κοντά στη κορυφή, για τη στήριξη των αγωγών. Πρόκειται για κατασκευές γνωστές εξ όψεως σε όλους. Οι Τύποι στύλων που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα MT και XT της Δημοσίας Επιχειρήσεως Ηλεκτρισμού εκτός από ξύλινους στύλους χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα στις γραμμές μέσης και χαμηλής τάσεως και στύλοι από οοπλισμένο σκυρόδεμα





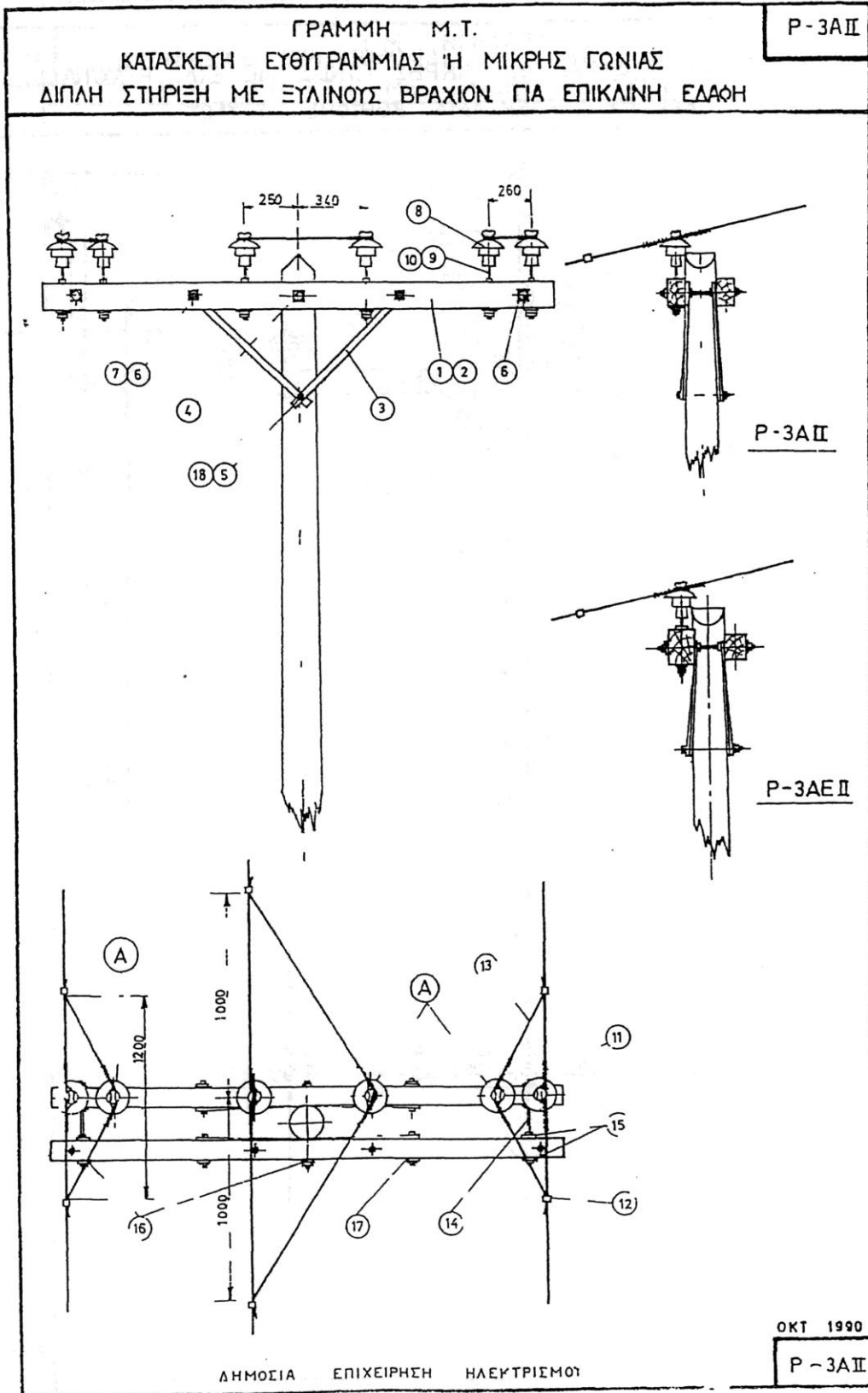
ΓΡΑΜΜΗ Μ.Τ.
 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑΣ Η ΜΙΚΡΗΣ ΓΩΝΙΑΣ
 ΔΙΠΛΗ ΣΤΗΡΙΞΗ ΜΕ ΞΥΛΙΝΟΥΣ ΒΡΑΧΙΟΝΕΣ

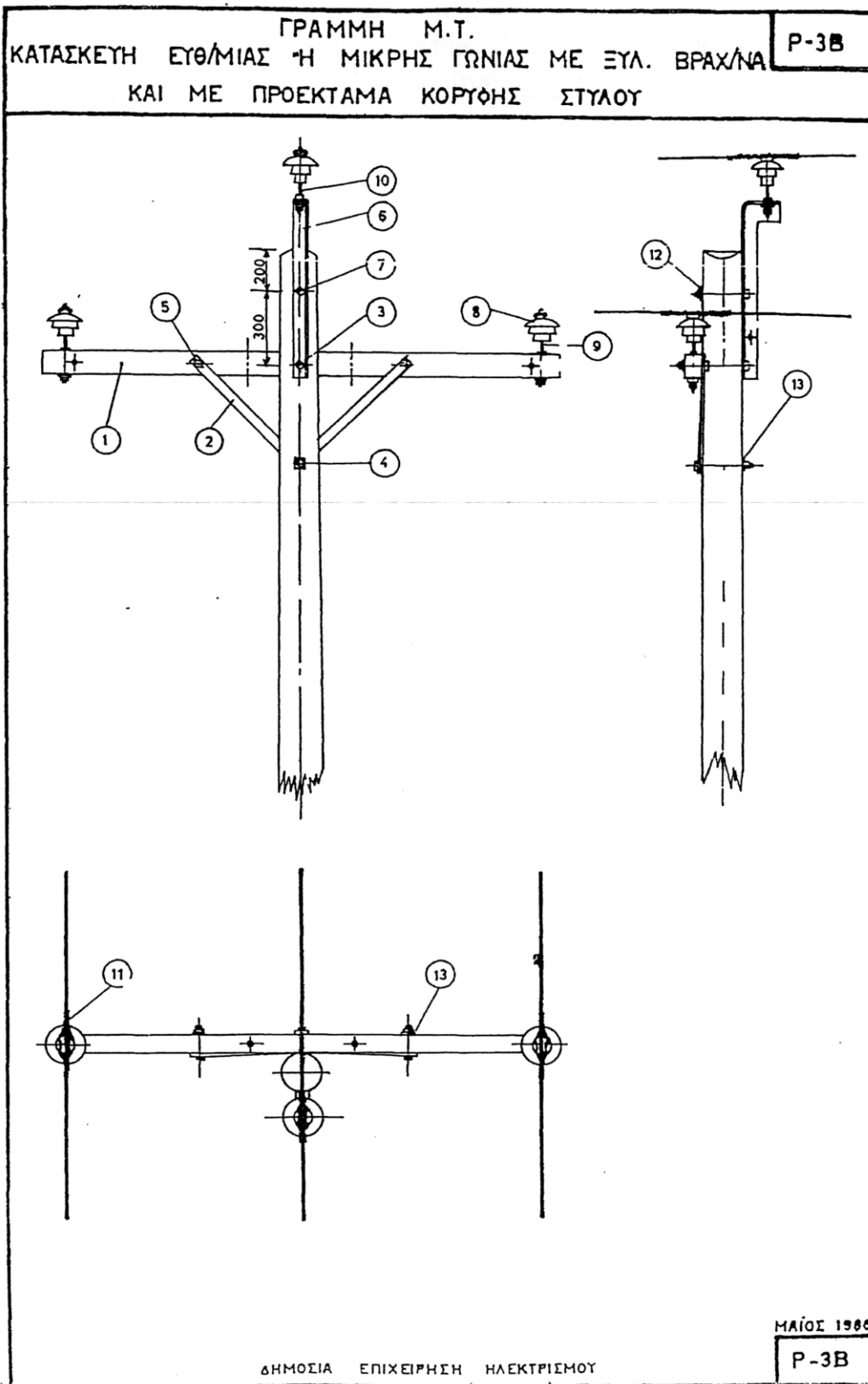
P-3Π

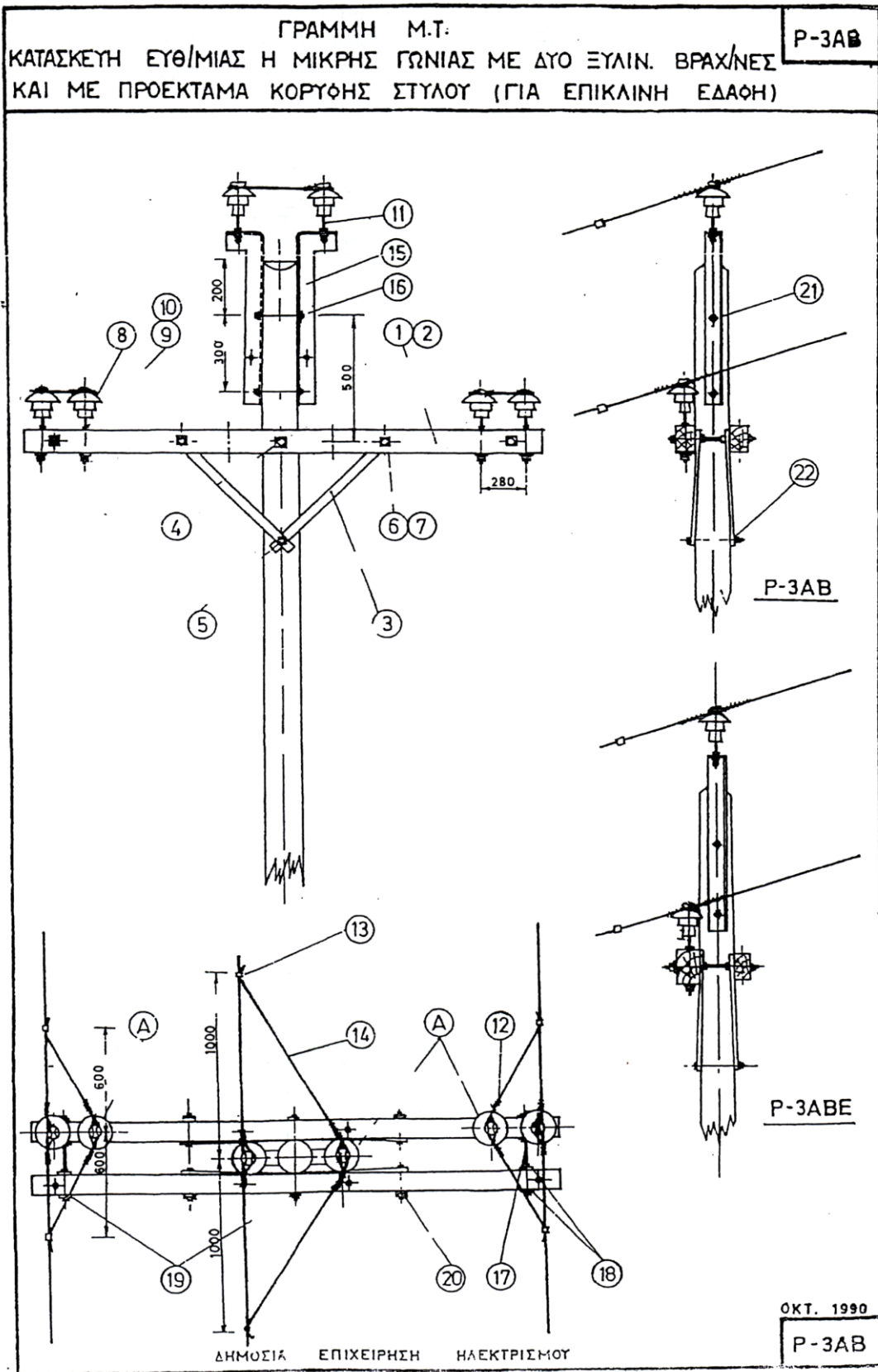


ΜΑΪΟΣ 1985

P-3Π

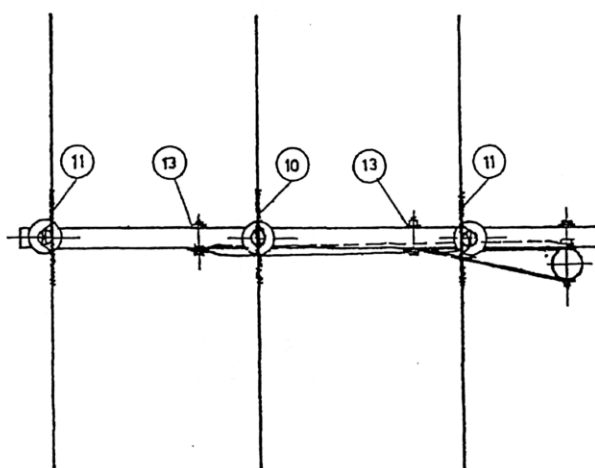
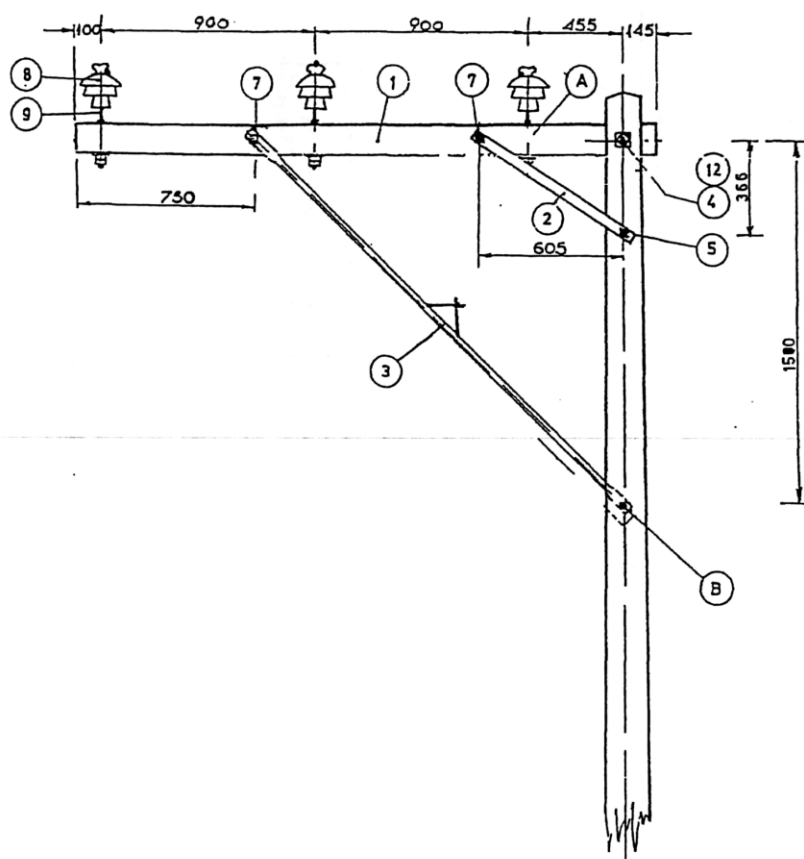






ΓΡΑΜΜΗ Μ.Τ.
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑΣ Η ΜΙΚΡΗΣ ΓΩΝΙΑΣ
ΠΡΟΒΟΛΟΣ ΜΕ ΕΝΑ ΞΥΛΙΝΟ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

P-5



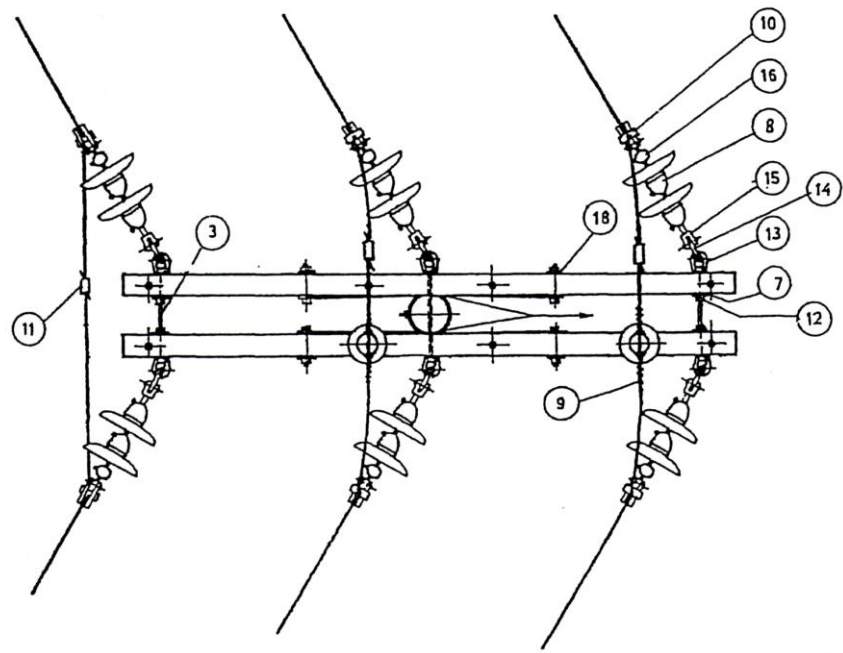
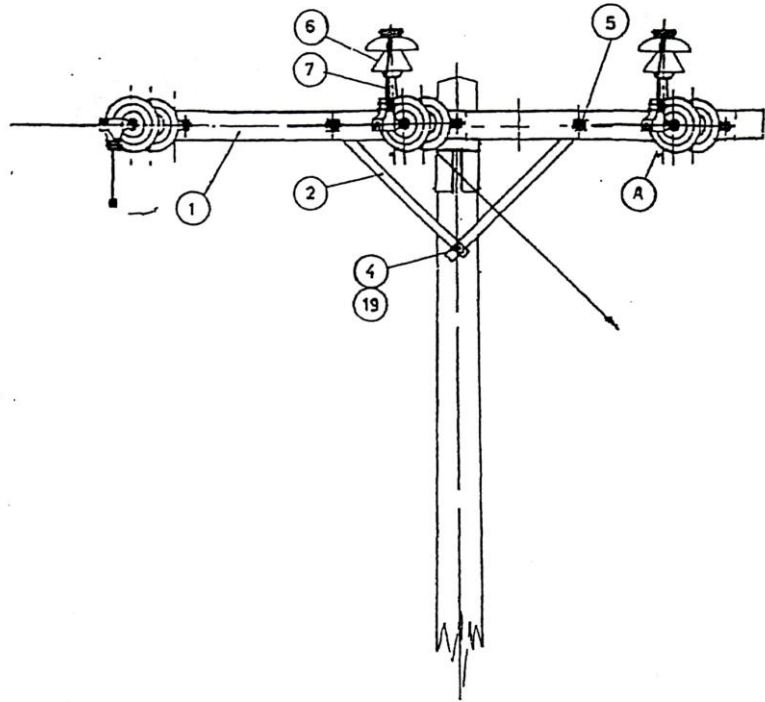
ΟΚΤ. 1990

ΔΗΜΟΣΙΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ

P-5

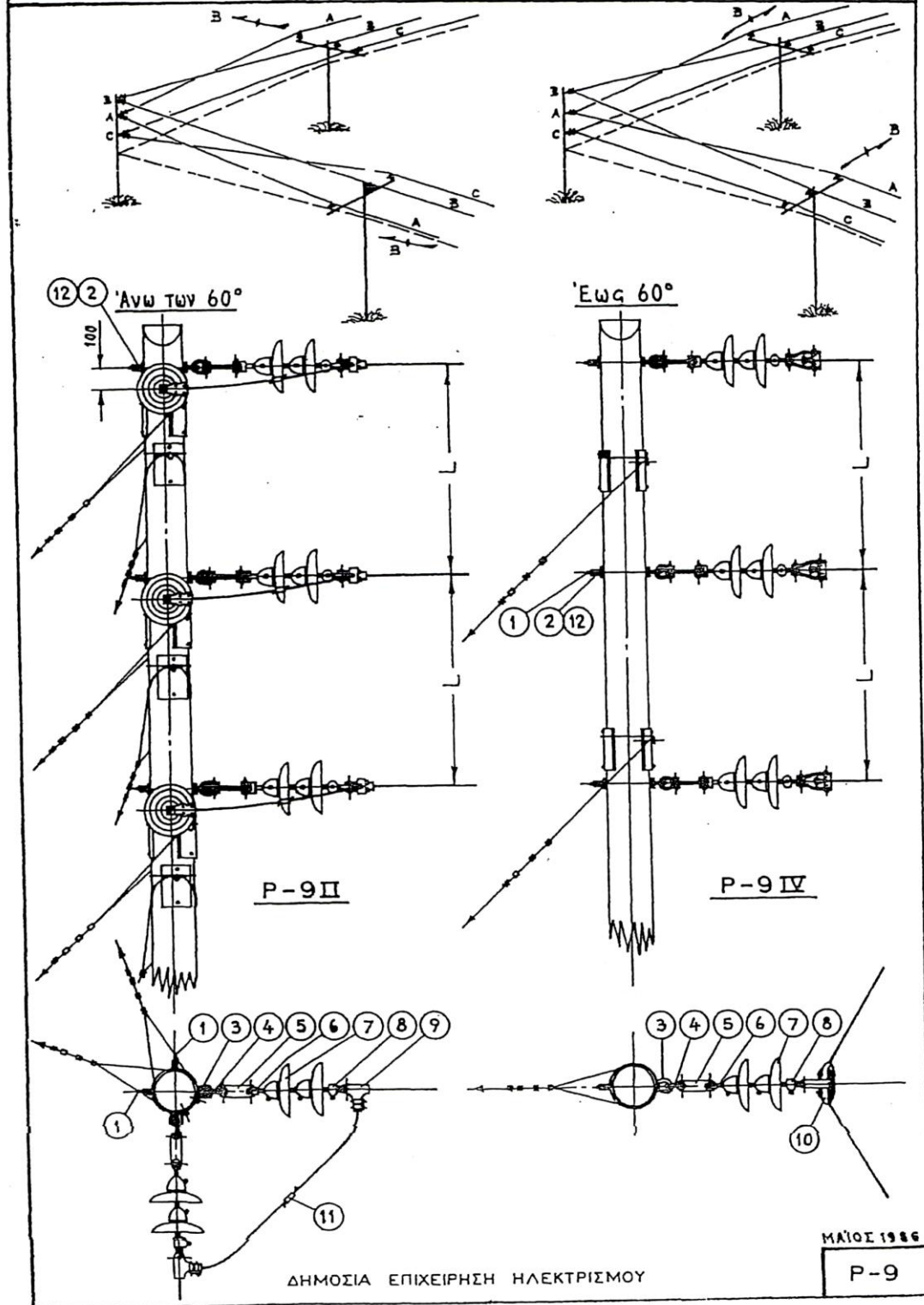
ΓΡΑΜΜΗ Μ.Τ.
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΩΝΙΑΣ ΜΕΧΡΙ 45° ΜΕ ΔΥΟ
ΕΥΛΙΝΟΥΣ ΒΡΑΧΙΟΝΕΣ

P-7



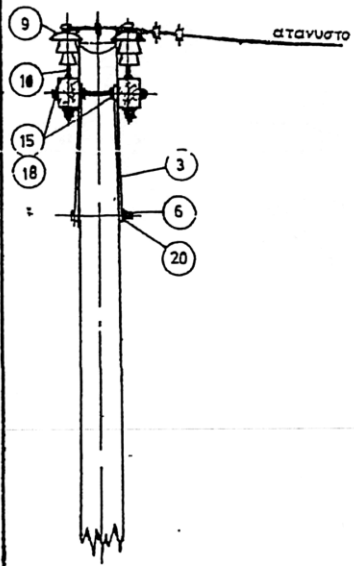
ΓΡΑΜΜΗ Μ.Τ.
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΩΝΙΑΣ ΜΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΓΩΓΩΝ
ΞΥΛΙΝΟΙ ΣΤΥΛΟΙ

P-9

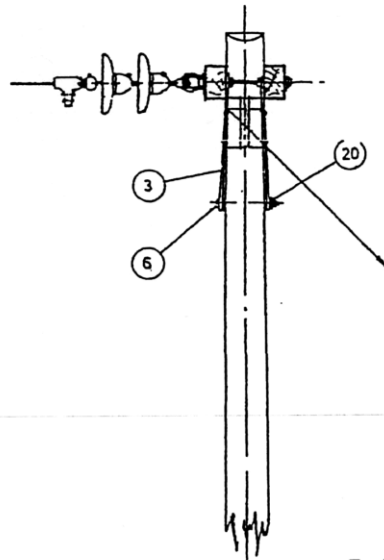


ΓΡΑΜΜΗ Μ.Τ.
ΑΠΛΟ ΤΕΡΜΑ ΓΡΑΜΜΗΣ
ΞΥΛΙΝΟΙ ΒΡΑΧΙΟΝΕΣ

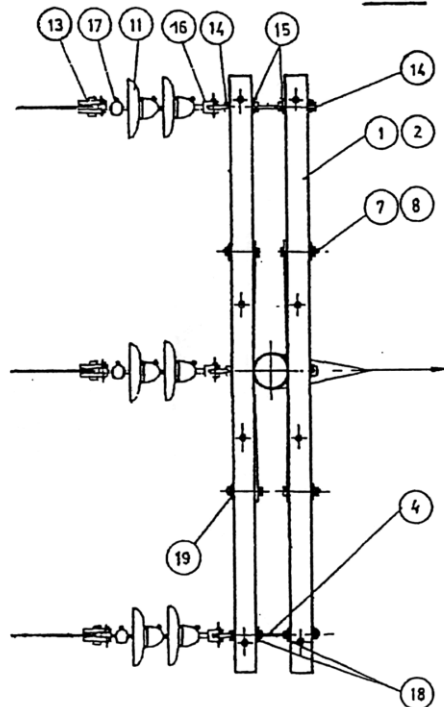
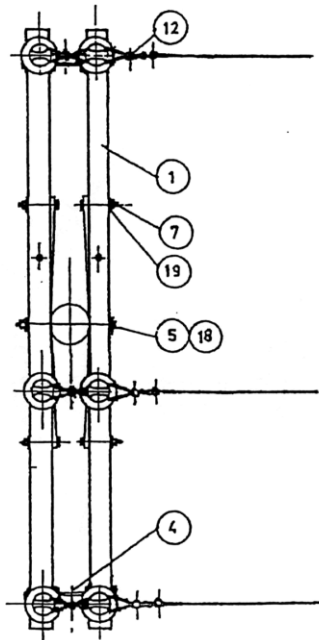
P-11

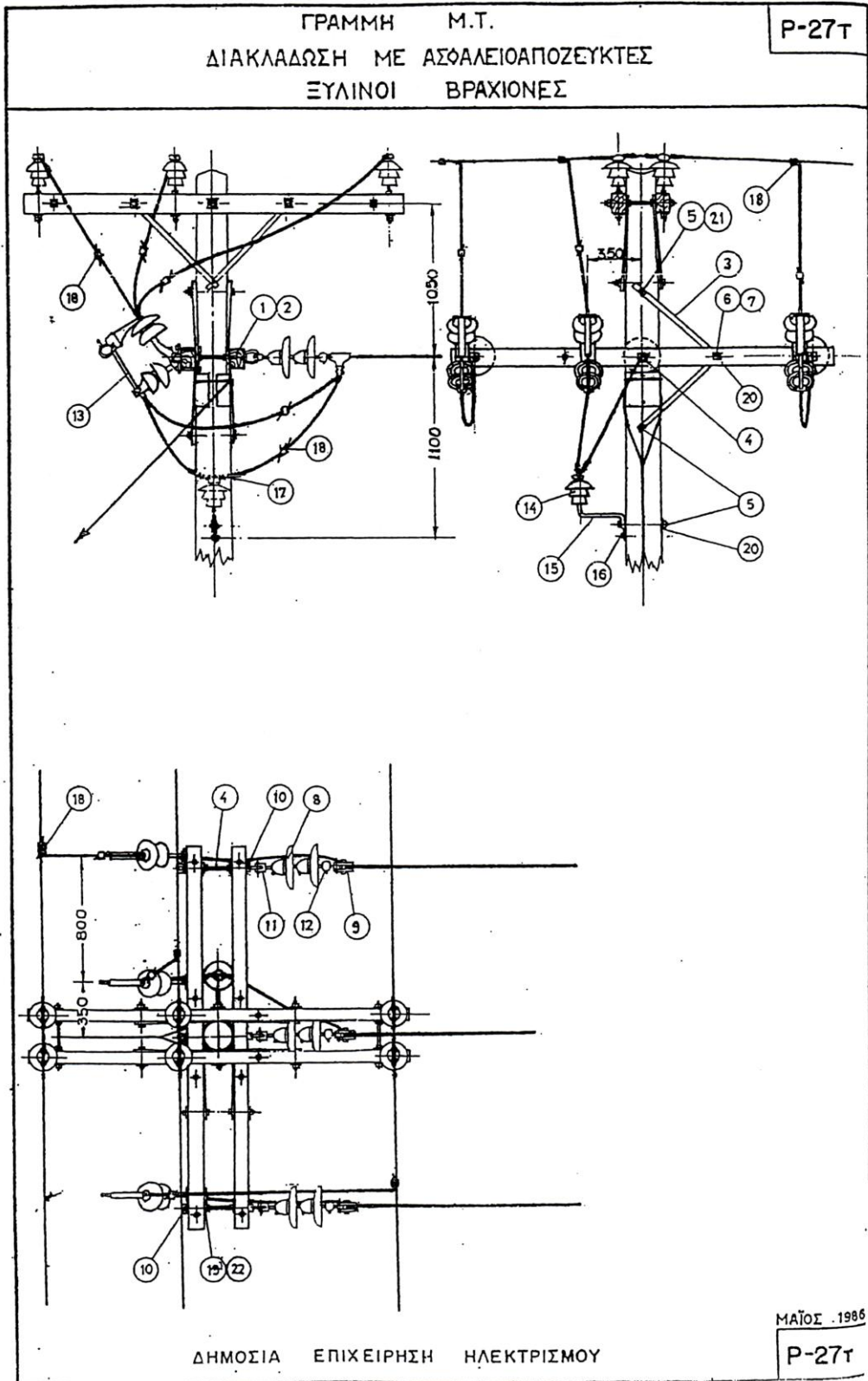


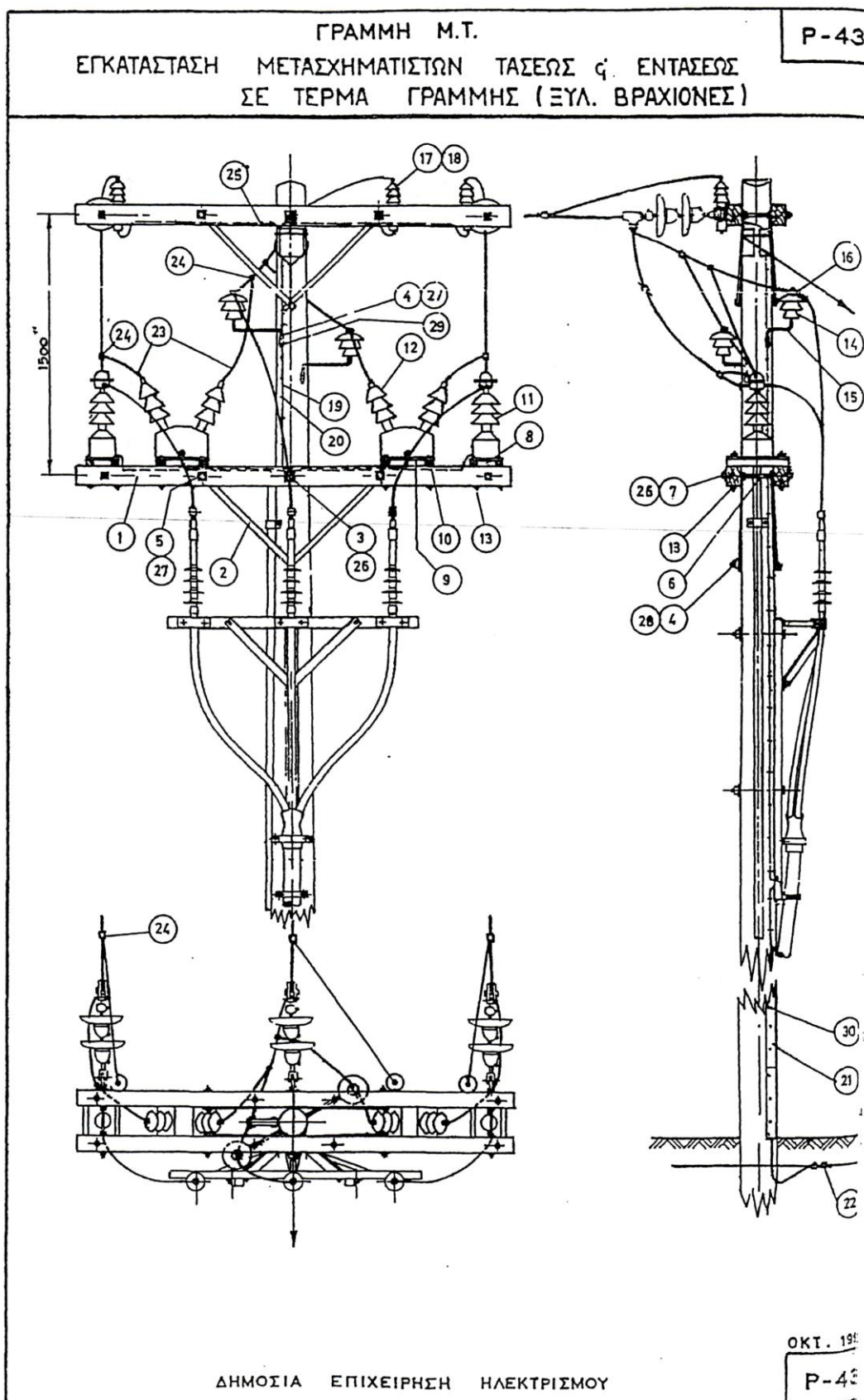
P-11A



P-11







Για υψηλότερες τάσεις είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί παρόμοιος τύπος στύλου με μεγαλύτερους βραχίονες, για την τήρηση μεγαλύτερων αποστάσεων μεταξύ αγωγών. Για ακόμη υψηλότερες τάσεις χρησιμοποιούνται πιο σύνθετες ξύλινες κατασκευές, χαλύβδινοι στύλοι ή χαλύβδινοι πυλώνες. Οι ξύλινοι φορείς έχουν το πλεονέκτημα τού μικρότερου κόστους, αλλά πολλές φορές η συντήρησή τους και αντικατάστασή τους είναι δαπανηρότερη, λόγω του ότι το ξύλο έχει μικρότερη διάρκεια ζωής. Μερικές φορές χρησιμοποιείται ως πλεονέκτημα η μονωτική ικανότητα του ξύλου για αύξηση της μονώσεως της γραμμής. Ένας μάλλον συνήθης τύπος ξύλινου φορέως υψηλής τάσεως είναι ο "τύπος Η" ή και "πλαίσιο Η", ο οποίος αποτελείται από δύο κατακόρυφους παράλληλους στύλους και εγκάρσια διαδοκίδα σε ύψος χαμηλότερο από την κορυφή. Χρησιμοποιείται πολύ στην περιοχή τάσεων από 66 έως 150 kVxαL λιγότερο για τάσεις μέχρι 230 kV, και έχει αποδειχτεί από τούς επιτυχείς τύπους ξύλινων φορέων (σχ. 3Α).

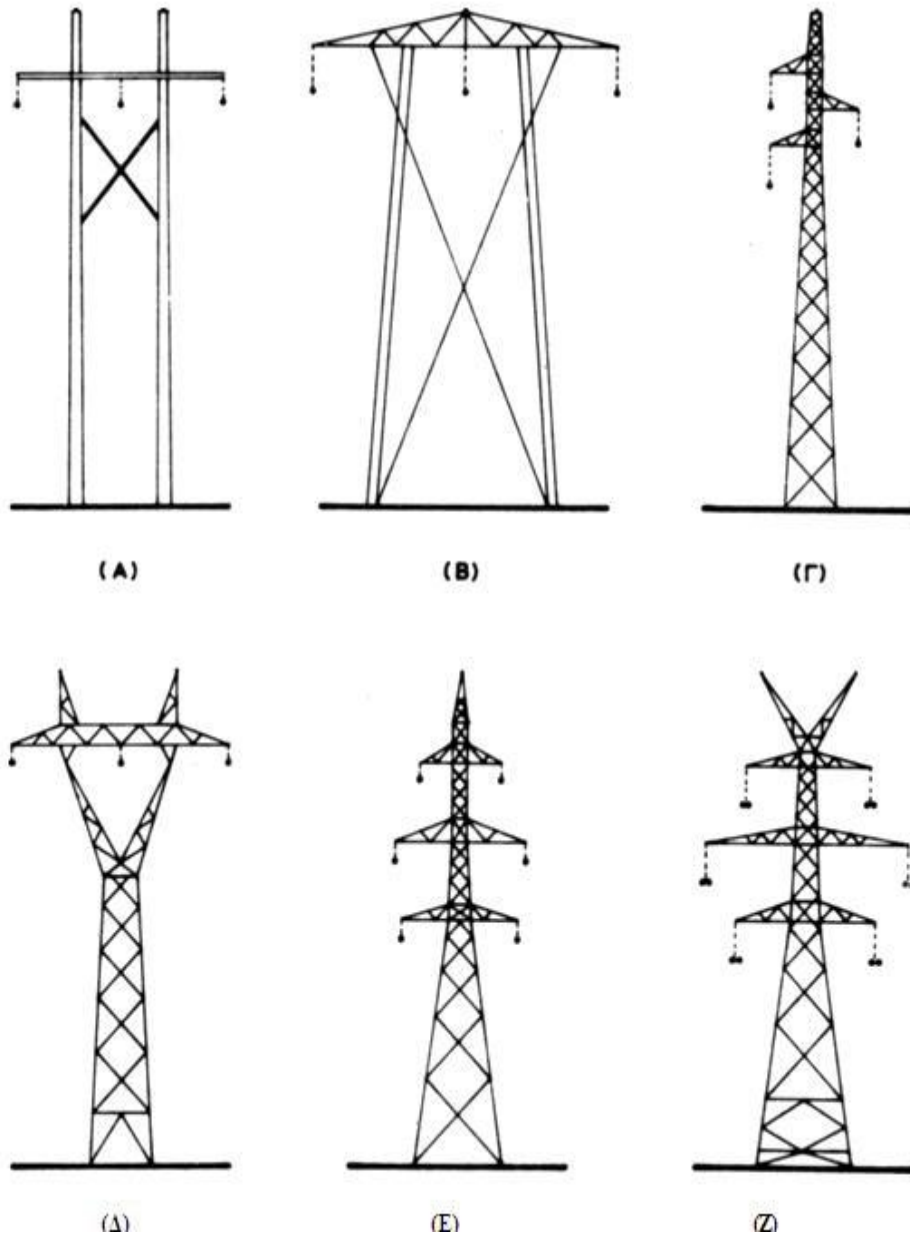
Όπου απαιτείται πολύ μεγάλη αντοχή και διάρκεια ζωής χρησιμοποιούνται χαλύβδινοι πυλώνες, οι οποίοι καλούνται και πύργοι. Πλήθος τέτοιων φορέων χρησιμοποιείται στις γραμμές μεταφοράς υψηλής και υπερυψηλής τάσεως σε όλο τον κόσμο.

Στα σχήματα 3 και 4, 5 και 6 εικονίζονται διάφοροι τύποι πυλώνων γραμμών μεταφοράς, μεταξύ των οποίων και οι χρησιμοποιούμενοι από την Δημοσία Επιχείρηση Ηλεκτρισμού στις γραμμές 66, 150 και 400 kV. Συνήθως από ένα σταθμό παραγωγής αναχωρούν και φθάνουν στις περιοχές μείζονος φορτίου περισσότερα από ένα ανεξάρτητα κυκλώματα γραμμών μεταφοράς.

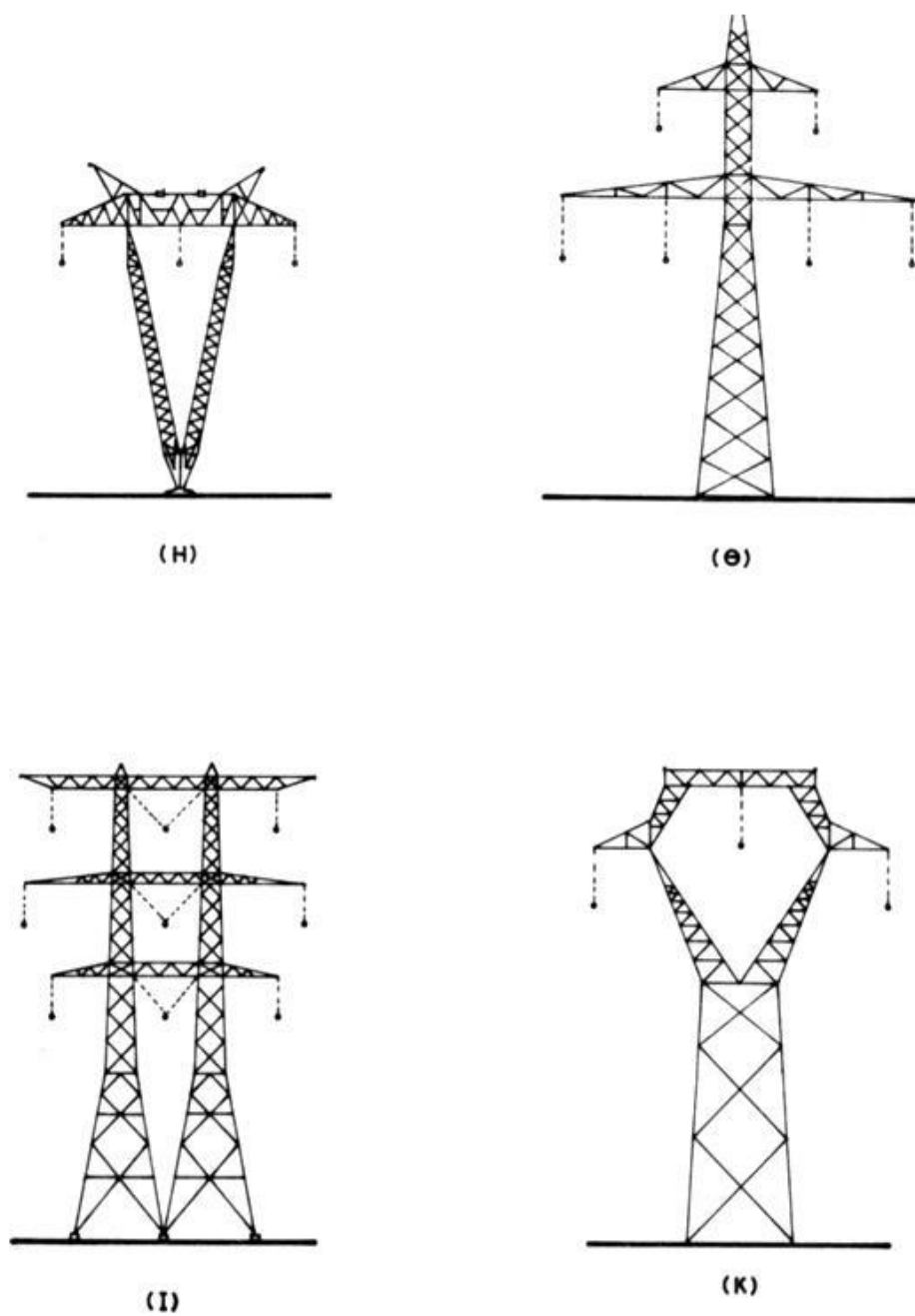
Μεγαλύτερη αξιοπιστία μεταφοράς επιτυγχάνεται, όπως είναι φυσικό, όταν κάθε κύκλωμα αποτελεί χωριστή και ανεξάρτητη γραμμή, οι δε ζώνες διελύσεως των διαφόρων γραμμών χωρίζονται μεταξύ τους με σημαντική απόσταση κατά το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής.

Η αρχή αυτή όμως είναι δαπανηρή και συχνά ανεφάρμοστη, κυρίως σε κατοικημένες περιοχές, όπου η διάθεση ζωνών διελύσεως για τις γραμμές είναι δυσχερής. Οποσδήποτε όμως σε περιπτώσεις, στις όποιες κάθε κύκλωμα φέρεται σε χωριστούς πυλώνες, η πιθανότητα ταυτόχρονης βλάβης και στα δύο είναι πολύ απομακρυσμένη και γι αυτό στην πράξη είναι συνήθης η παράλληλη όδευση δύο ή και περισσότερων γραμμών στον ίδιο διάδρομο διελύσεως.

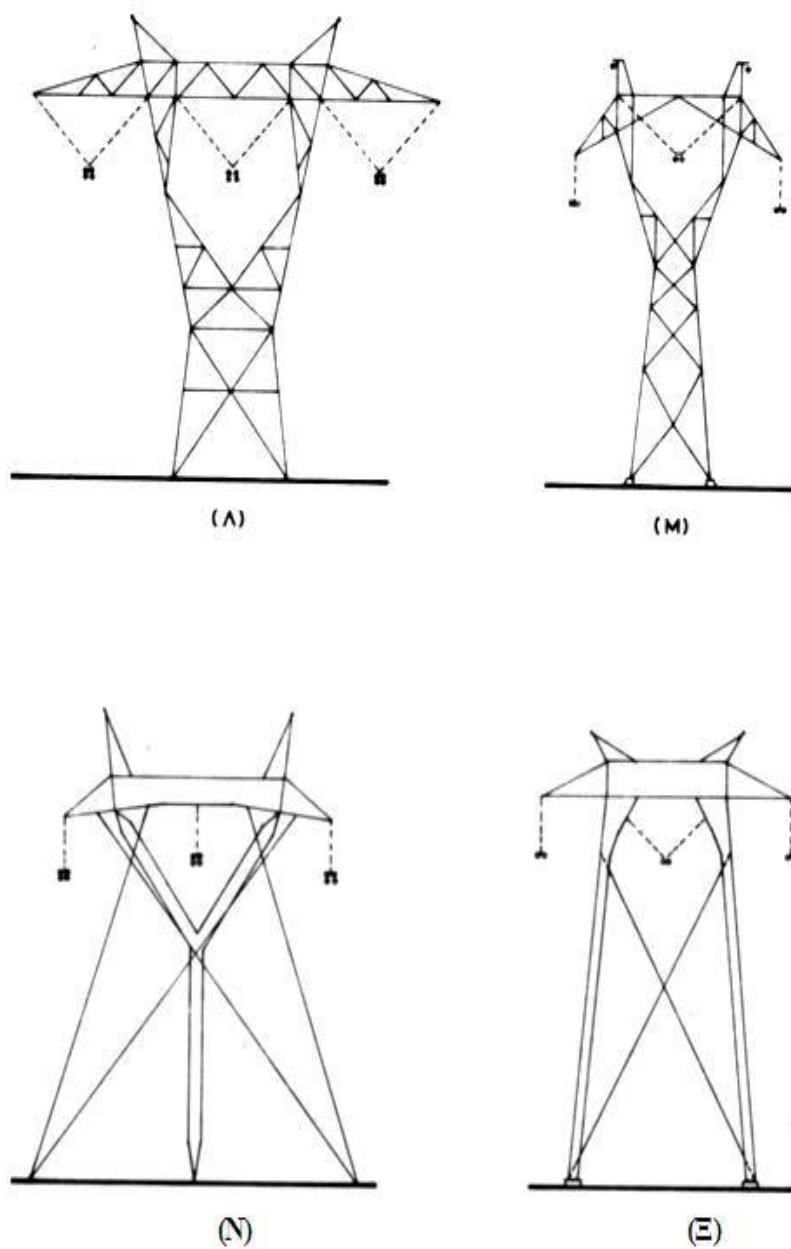
Όπου είναι δύσκολη η εξεύρεση επαρκών διαδρόμων διελύσεως, όπως σε περιπτώσεις ορεινού χαρακτήρος του εδάφους ή και για λόγους μικρότερου κόστους μεταφοράς, εις βάρος όμως της αξιοπιστίας αυτής, χρησιμοποιούνται γραμμές μεταφοράς διπλού κυκλώματος, στις οποίες δύο ανεξάρτητα κυκλώματα φέρονται σε κοινούς πυλώνες. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται ευρύτατα στα δίκτυα μεταφοράς 150 kV και 400 kV του ελληνικού συστήματος. Η μειωμένη αξιοπιστία της μεταφοράς με γραμμές διπλού κυκλώματος οφείλεται στη αυξημένη πιθανότητα ταυτόχρονης βλάβης και των δύο κυκλωμάτων είτε σε περιπτώσεις μηχανικής βλάβης ενός ή περισσότερων πυλώνων, είτε σε περιπτώσεις προσβολής της γραμμής από κεραυνό.



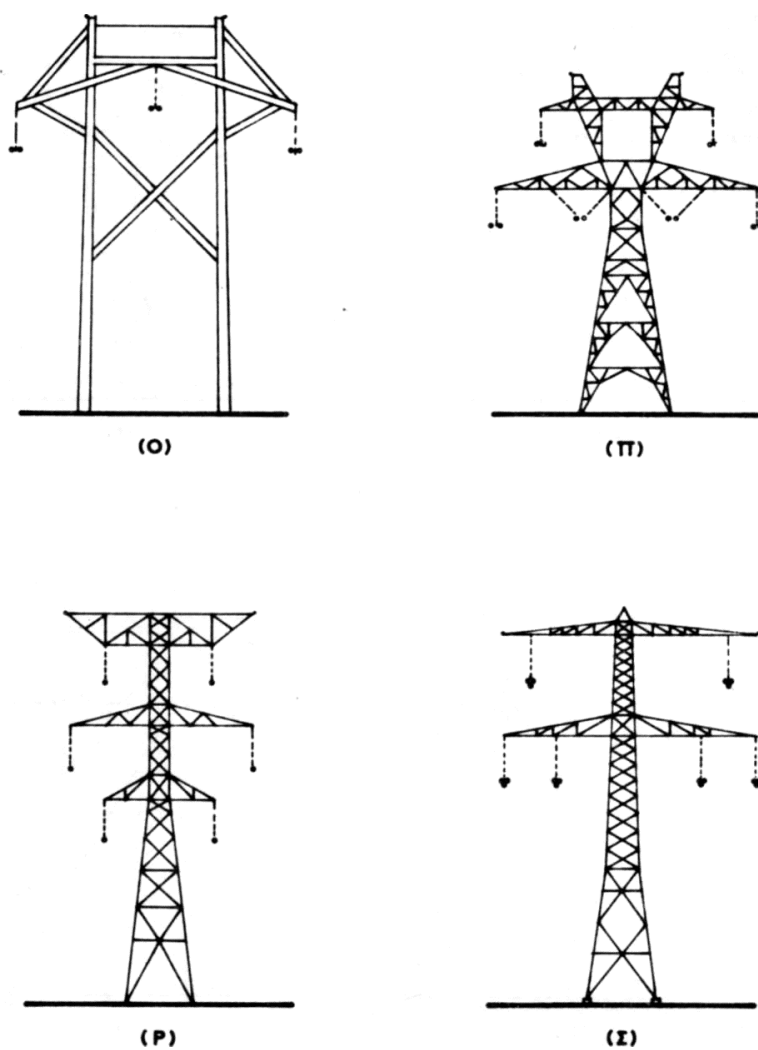
Σχ. 3. Τύπου πυλώνων γραμμών μεταφοράς υψηλής και υπερυψηλής τάσεως ενός (Α,Β,Γ,Δ) και δύο (Ε,Ζ) κυκλωμάτων. Ο (Α) είναι πύλωνας τύπου Η, με ξύλινους φορείς. Στις γραμμές μεταφοράς του ελληνικού συστήματος χρησιμοποιούνται οι τύποι Α (μερική εφαρμογή στις γραμμές 66 kV) Δ και Ε (γραμμές 150 kV) και Ζ (γραμμές 400 kV).



Σχ. 4. Τύποι, πυλώνων γραμμών μεταφοράς υψηλής και υπερυψηλής τάσεως ενός (H,Κ), δύο (Θ) και τριών (I) κυκλωμάτων



Σχ. 5. Τύποι, πυλώνων μεταφοράς χρησιμοποιούμενου σε γραμμές 500 kV (M,N,Ξ) και 735 kV (Α)



Σχ.6 Διάφοροι, τύποι πυλώνων ενός και δυο κυκλωμάτων χρησιμοποιούμενοι, σε γραμμές 345-400 kV

Στις περιπτώσεις ευθύγραμμων οδεύσεων δεν απαιτείται συνήθως διαμήκης στήριξη των αγωγών σε κάθε πυλώνα και οι αγωγοί, καθ' όλο το μήκος της ευθυγραμμίας, στηρίζονται μόνο κατακόρυφα ή αναρτώνται σε πυλώνες της γραμμής, οι οποίοι στην περίπτωση αυτή καλούνται πυλώνες ευθυγραμμίας. Εν τούτοις, κατά διαστήματα ή όσες φορές αλλάζει η κατεύθυνση της γραμμής ή στα τέρματα των γραμμών, απαιτείται η χρησιμοποίηση πυλώνων “τομής” ή “τέρματος” ή “γωνίας”. Οι πυλώνες αυτοί είναι ισχυρότεροι από τους πυλώνες ευθυγραμμίας, ώστε να είναι σε θέση να παραλαμβάνουν τις διαμήκεις και εγκάρσιες πρόσθετες μηχανικές τάσεις, τις όποιες μεταφέρουν επάνω τους οι αγωγοί στις ανωτέρω περιπτώσεις.

Οι πυλώνες τομής παρέχουν τη δυνατότητα τερματισμού των αγωγών της γραμμής επάνω τους από οποιαδήποτε από τις δύο πλευρές, οι δε πυλώνες τέρματος από τη μία και μόνο πλευρά. Οι πρώτοι χρησιμεύουν και για την παρεμπόδιση της διαδόσεως των μηχανικών ταλαντώσεων σε μακρές αποστάσεις. Οι αγωγοί στους πυλώνες αυτούς τερματίζουν μέσω αλέσεων μονωτήρων, διαμέσου των οποίων μεταβιβάζουν τις μηχανικές τάσεις στους πυλώνες, ενώ η ηλεκτρική σύνδεση των αγωγών των δύο πλευρών εξασφαλίζεται με χαλαρές συνδέσεις.

Στις περιπτώσεις, στις οποίες η αλλαγή κατευθύνσεως είναι μικρή, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ένας τροποποιημένος τύπος πυλώνα εύθυγραμμίας, Ικανός να υποστεί την καταπόνηση, την οποία συνεπάγεται η γωνία των αγωγών. Σε ξύλινες κατασκευές αυτό επιτυγχάνεται πολλές φορές με τη χρήση έπιτόνων.

Πάντως και οι απλοί πυλώνες ευθυγραμμίας προβλέπονται συνήθως με ορισμένη ικανότητα αντοχής για πολύ μικρές γωνίες. Αυτοί οι τύποι πυλώνων χρησιμοποιούνται σε ομαλά κατά κανόνα εδάφη, όπου οι θέσεις των πυλώνων είναι δυνατόν να επιλεγούν κατά επιθυμητό τρόπο.

Εν τούτοις, σε περιπτώσεις διελεύσεως ποταμών ή κοιλάδων, ο μελετητής της γραμμής έχει περιορισμένες δυνατότητες επιλογής θέσεων, και συχνά πρέπει να τοποθετήσει πύργους σε ψηλές θέσεις των δύο πλευρών ή όχθων.

Αυτό, κατά κανόνα, οδηγεί σε ειδικές κατασκευές Ικανοποιούσες τις ειδικές απαιτήσεις των εκάστοτε συνθηκών. Ειδικές και συνήθως πολύ σύνθετες κατασκευές πυλώνων απαιτούνται στις θέσεις αντιμεταθέσεως των φάσεων μιας γραμμής, σε όσες περιπτώσεις εφαρμόζεται αυτή για την εξισορρόπηση της αυτεπαγωγής και της χωρητικότητας της γραμμής. Για μια μεμονωμένη γραμμή απλού κυκλώματος μόνο δύο αντιμεταθέσεις, σε δύο ενδιάμεσα σημεία μεταξύ σταθμών ή υποσταθμών απαιτούνται, δεδομένου ότι ο αγωγός κάθε φάσεως θα έχει τότε κάθε μία από τις τρεις θέσεις επί ένα τρίτο της συνολικής αποστάσεως. Όπου δυο ή περισσότερα κυκλώματα ηλεκτρικής ενεργείας οδεύουν παράλληλα μεταξύ των ή προς κυκλώματα τηλεπικοινωνιών, είναι δυνατό να απαιτούνται συχνότερες αντιμεταθέσεις για την εξισορρόπηση όχι μόνο της ίδιας αυτεπαγωγής και ίδιας χωρητικότητας των κυκλωμάτων, αλλά επίσης και της αλληλεπαγωγής και αλληλοχωρητικότητας μεταξύ κυκλωμάτων.

Ο καθορισμός κατάλληλων θέσεων για τις αντιμεταθέσεις προϋποθέτει, σε ορισμένες περιπτώσεις, εκτεταμένη μελέτη της αλληλεπιδράσεως μεταξύ γειτονικών κυκλωμάτων. Εν πάση περιπτώσει, στις περιπτώσεις, όπου εφαρμόζεται η αντιμετάθεση στα κυκλώματα ηλεκτρικής ενέργειας, ο αριθμός των απαιτούμενων αντιμεταθέσεων δεν είναι μεγάλος, και επομένως λίγοι τέτοιοι πυλώνες απαιτούνται.

Το πρόβλημα της σχεδιάσεως των πυλώνων είναι κυρίως μηχανικό και οικονομικό, από τη στιγμή, κατά την οποία είναι δεδομένα ο αριθμός των αγωγών, το μέγεθος τους, και οι επιβαλλόμενες από ηλεκτρικής απόψεως αποστάσεις μεταξύ αγωγών και μεταξύ αγωγών και γης. Προφανώς οι πυλώνες πρέπει να είναι αρκετά ισχυροί για τη στήριξη των αγωγών όχι μόνο υπό ομαλές αλλά και υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες, δηλ. με ισχυρό άνεμο και με σχηματισμό πάγου στην επιφάνεια των αγωγών. Σε ανοικτό επίπεδο έδαφος τα ανοίγματα της γραμμής, δηλ. οι αποστάσεις μεταξύ πυλώνων, καθορίζονται κατά το πιο συμφέροντα τρόπο από το μελετητή της γραμμής. Εάν τα ανοίγματα είναι μεγάλα, υπάρχουν λιγότεροι φορείς ανά χιλιόμετρο γραμμής, αλλά αυτοί πρέπει να είναι ισχυρότεροι, για να στηρίζουν μεγαλύτερο τμήμα γραμμής και υψηλότεροι, για να τηρηθεί η απαιτούμενη απόσταση αγωγών-εδάφους, δεδομένου ότι μεγαλύτερο άνοιγμα συνεπάγεται μεγαλύτερο βέλος αγωγών για την Ίδια τάνυση αυτών.

Ως εκ τούτου το κόστος ανά πυλώνα προκύπτει μεγαλύτερο, αλλά απαιτούνται λιγότεροι πυλώνες. Πέρα από ένα ορισμένο μήκος ανοίγματος, για ένα δεδομένο κύκλωμα, η επιλογή του αγωγού βασίζεται περισσότερο στη μηχανική αντοχή του παρά στις ηλεκτρικές Ιδιότητες του, με σύνηθες αποτέλεσμα αυξημένο κόστος αγωγού. Το μήκος τού ανοίγματος καθορίζει μέχρι ενός σημείου και την απόσταση μεταξύ αγωγών φάσεων, δεδομένου ότι επηρεάζει την πιθανότητα προσεγγίσεως και επαφής αυτών στο μέσο του ανοίγματος.

Επομένως μεγαλύτερα ανοίγματα συνεπάγονται μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ αγωγών, αυξάνοντας καταυτό τον τρόπο το κόστος των πυλώνων.

Προσοχή πρέπει επίσης να δοθεί στις έκτακτες καταπονήσεις των πύργων, τις προκαλούμενες από θραύση ενός ή δύο αγωγών και να θεσπίζεται σε κάθε περίπτωση το σχετικό κριτήριο, στο οποίο πρέπει να βασίζεται ή μελέτη των πυλώνων, ώστε αυτοί να μην υποχωρούν μηχανικώς παρά μόνο υπό τις πλέον ασυνήθεις συνθήκες.

Οι ανωτέρω παράγοντες πρέπει να σταθμισθούν κατά τη μελέτη της γραμμής, ώστε να προκύψει η πιο συμφέρον σχεδίαση της. Τα ανοίγματα των γραμμών μεταφοράς σε τυπικές περιπτώσεις ποικίλλουν από 150 περίπου μέτρα έως και 500 μέτρα, από τα οποία τα μεγαλύτερα αντιστοιχούν στις υψηλότερες τάσεις. Σε ασυνήθεις περιπτώσεις διαβάσεως ποταμών ή μεγάλων κοιλάδων έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς και ανοίγματα μεγαλύτερα από ένα χιλιόμετρο.

Οι ελάχιστες αποστάσεις αγωγών-εδάφους επίσης ποικίλλουν σημαντικά, αρχίζοντας από 7 περίπου μέτρα σε ελεύθερα εδάφη έως και 12 ή 15 μέτρα σε αγροτικές περιοχές. Όπως είναι φυσικό το ύψος των αγωγών στους πυλώνες είναι μεγαλύτερο κατά το βέλος και το τελευταίο ποικίλλει ανάλογα με το άνοιγμα της γραμμής και την αντοχή των αγωγών. Το ύψος των αγωγών πάνω από το έδαφος μεταβάλλεται σημαντικά με τη θερμοκρασία τους, δεδομένου ότι μικρή μεταβολή του μήκους των αγωγών προκαλεί μεγάλη σχετικά μεταβολή τού βέλους τους.

Οι αναφερόμενες αποστάσεις από το έδαφος θα πρέπει να θεωρούνται ως οι τιμές που αντιστοιχούν στο μέγιστο βέλος αγωγών, το οποίο θα ήταν δυνατόν να δημιουργηθεί είτε υπό μέγιστη θερμοκρασία αγωγού, ή υπό χαμηλή θερμοκρασία και βαριά επιφόρτιση, οφειλόμενη στην επικάθηση πάγου.

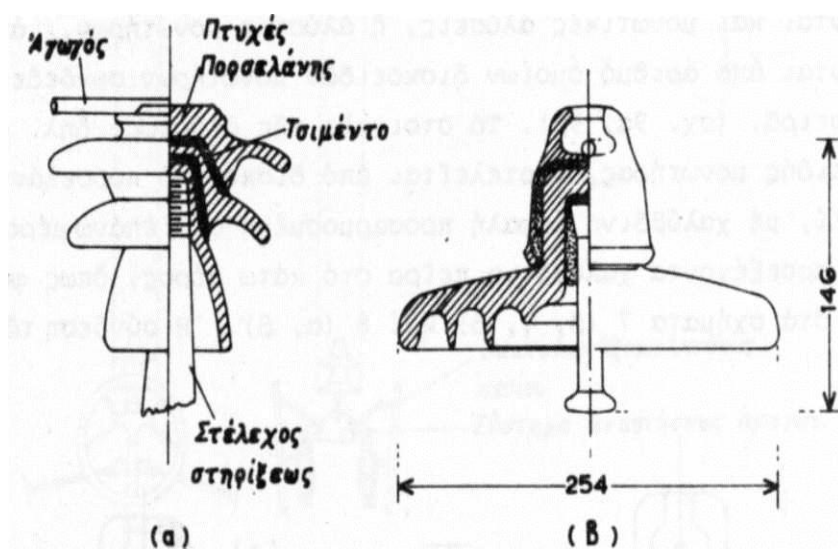
Μία γραμμή απλού κυκλώματος έχει φυσικά τρεις αγωγούς, οι όποιοι φέρουν ηλεκτρικό ρεύμα και μία διπλού κυκλώματος έξη. Επιπροσθέτως υπάρχουν κατά κανόνα ένας ή δύο αγωγοί γης εγκατεστημένοι υψηλότερα από τους αγωγούς των φάσεων, για να τους προστατεύουν από τα άμεσα κεραυνικά πλήγματα. Οι αγωγοί γης, καταλλήλως εγκατεστημένοι, αποτελούν πολύ αποτελεσματικό μέσο αποφυγής των διακοπών λειτουργίας της γραμμής κατά τη διάρκεια των καταιγίδων, που συνοδεύονται από κεραύνιες δραστηριότητα.

iii. Μονωτήρες

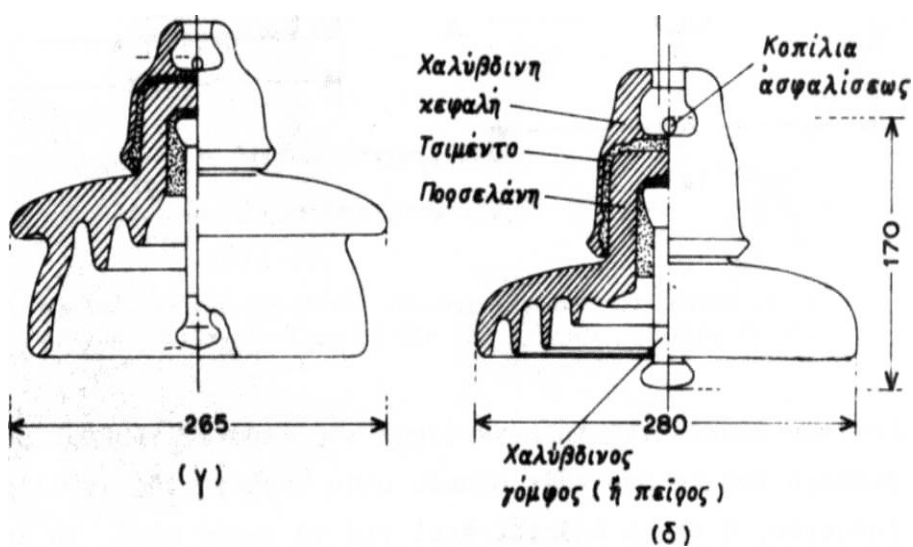
Οι αγωγοί των γραμμών αναρτώνται στους πυλώνες μέσω των μονωτήρων αναρτήσεως, οι όποιοι παρέχουν και την απαιτούμενη μόνωση των αγωγών έναντι των μεταλλικών μερών των πυλώνων. Οι μονωτήρες αναρτήσεως είναι κατασκευασμένοι από πορσελάνη ή γυαλί.

Στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας δύο κύριοι τύποι μονωτήρων χρησιμοποιούνται. Οι μονωτήρες στηρίξεως ή τύπου στελέχους και οι μονωτήρες αναρτήσεως ή δισκοειδής.

Οι πρώτοι χρησιμοποιούνται συνήθως στις γραμμές διανομής μέσης τάσεως και αποτελούνται από περισσότερες από μια πτυχές από πορσελάνη ή γυαλί. Στο κάτω μέρος τους οι μονωτήρες στηρίξεως φέρουν το μεταλλικό στέλεχος στηρίξεως του μονωτήρα επί του στύλου, ενώ η πρόσδεση του αγωγού γίνεται στο λαιμό του μονωτήρα ή στην κεφαλή του, όπου υπάρχει συνήθως κατάλληλο αυλάκι. Μονωτήρες τού είδους αυτού χρησιμοποιούνται από την Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού στα δίκτυα της διανομής 6,6-15-20 και 22 kV. Τυπικός μονωτήρας στηρίξεως εικονίζεται στο σχ. 7α. Οι μονωτήρες αναρτήσεως, οι όποιοι χρησιμοποιούνται πολλές φορές και στις γραμμές μέσης τάσεως, χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά σε γραμμές τάσεων υψηλότερων από 69.000 V.

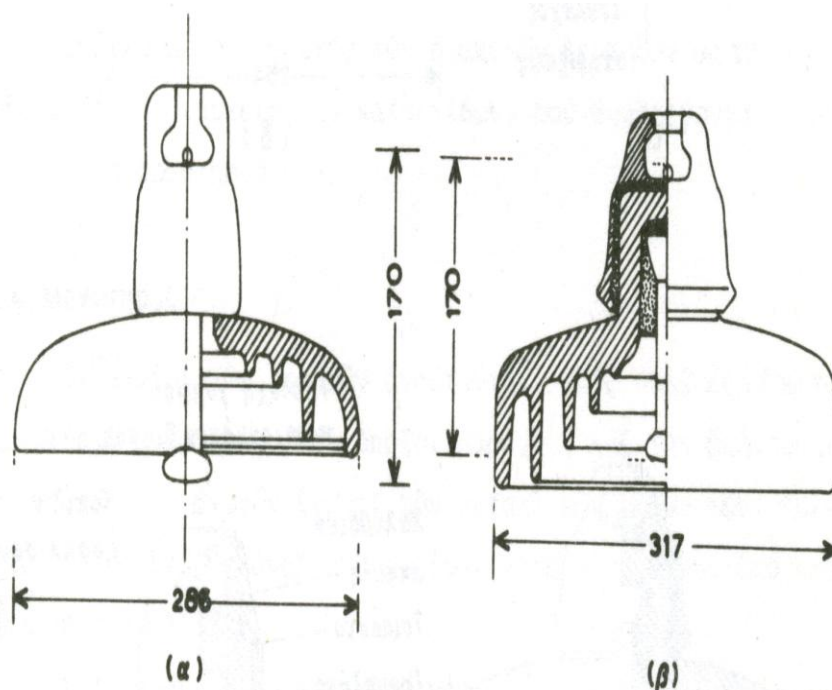


Υποδοχή γόμφον προηγούμενου δίσκου



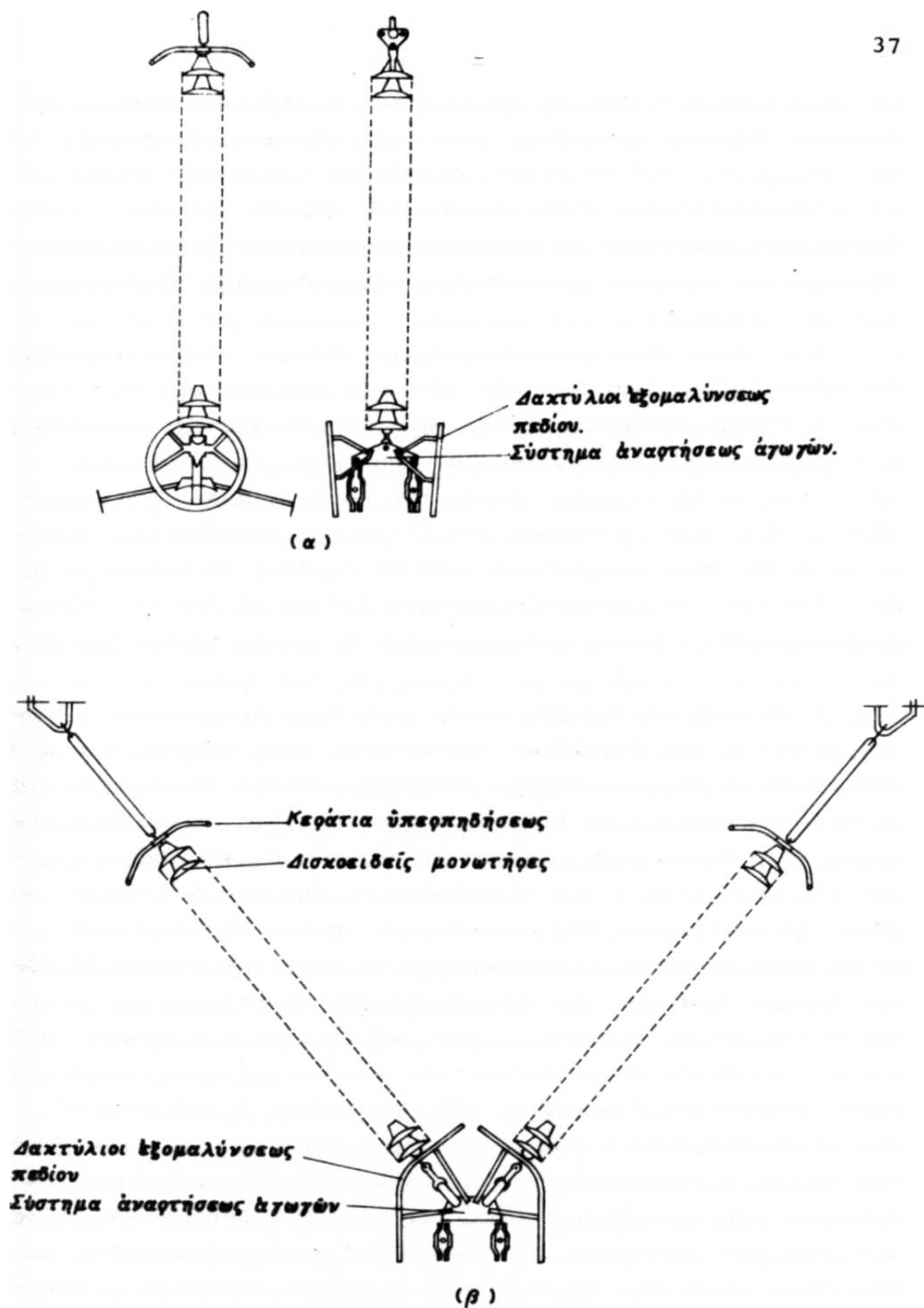
Σχ. 7. Μονωτήρες εναέριων γραμμών μεταφοράς και διανομής. (α) Τυπικός μονωτήρας στηρίξεως. Μονωτήρες γραμμών μεταφοράς ΔΕΗ (β) 150 kV πορσελάνης κοινός, (γ) 150 kV πορσελάνης τύπου ομίχλης, (δ) 400 kV πορσελάνης κοινός

Οι μονωτήρες αναρτήσεως, οι οποίοι καλούνται και μονωτικές αλυσίδες ή αλυσίδες μονωτήρων, αποτελούνται από αριθμό ομοίων δισκοειδών μονωτήρων συνδεδεμένων εν σειρά (σχ. 9α, 9β). Το στοιχείο της αλύσεως, δηλ. ο δισκοειδής μονωτήρας, Αποτελείται από δίσκο από πορσελάνη ή γυαλί, με χαλύβδινη κεφαλή προσαρμοσμένη στο επάνω μέρος του και προεξέχοντα χαλύβδινο πείρο στο κάτω μέρος, όπως φαίνεται στα σχήματα 7 (β, γ, δ) και 8 (α, β).



Σχ. 8. Μονωτήρες εναερίων γραμμών μεταφοράς 400 kV ΔΕΗ:
(α) 400 kV γυάλινος κοινός, (β) 400 kV γυάλινος τύπου ομίχλης

Η σύνδεση των διαδοχικών δίσκων για τη συγκρότηση της αλύσεως γίνεται με την εισδοχή του πείρου κάθε δίσκου στην υποδοχή της κεφαλής του επόμενου, η οποία υπάρχει εκεί για το σκοπό αυτό. Το πεπλατυσμένο άκρο του πείρου και η κατάλληλη διαμόρφωση της υποδοχής της κεφαλής, μέσα στην οποία η ενθλάκωση του πείρου εξασφαλίζεται και με μία διγαλωτή κοπύλια ασφαλίσεως, παρέχουν σταθερότητα και ευκαμψία στους μονωτήρες αναρτήσεως. Ένα σύνηθες μέγεθος δισκοειδούς μονωτήρα χρησιμοποιούμενου στις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσεως έχει διάμετρο 254 mm και ύψος 146 mm, όπου ως ύψος του δίσκου θεωρείται το διάστημα μεταξύ αντιστοίχων σημείων δύο διαδοχικών δίσκων της αλύσεως. Τέτοιοι μονωτήρες χρησιμοποιούνται στις γραμμές 150 kV της Δ.Ε.Η., ενώ μονωτήρες διαμέτρου 280 mm και ύψους 170 mm χρησιμοποιούνται στις γραμμές των 400 kV. Πολλοί τύποι δισκοειδών μονωτήρων με διάφορες μηχανικές αντοχές κατασκευάζονται για να χρησιμοποιηθούν στους διάφορους τύπους των γραμμών μεταφοράς.



Σχ. 9. Αλυσίδες μονωτήρων αναρτήσεως γραμμών μεταφοράς
(α) κατακόρυφος απλής αναρτήσεως. (β) διπλής αναρτήσεως τύπου V.

Ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων δίσκων σε ένα μονωτήρα αναρτήσεως εξαρτάται από την τάση της γραμμής και την επιθυμητή στάθμη μονώσεως αυτής, δηλ. την επιθυμητή κρουστική αντοχή αυτής. Υπό κανονικές συνθήκες το μέτρο ποικίλλει από 10 έως 25 kV πολικής τάσεως της γραμμής ανά μονάδα μονωτήρα. Στα δίκτυα μεταφοράς του ελληνικού συστήματος χρησιμοποιούνται στις μεν

γραμμές 150 kV συνήθως 10 δίσκοι μεγέθους 250 χ 146 mm, ενώ στις γραμμές 400 kV 17 έως 19 δίσκοι μεγέθους 280 χ 170 mm, από πορσελάνη ή γυαλί, (βλέπε σχ. 7α, β).

Η σύνδεση των αγωγών στους μονωτήρες αναρτήσεως γίνεται μέσω ειδικών διατάξεων προσδέσεως, όπου καταβάλλεται προσπάθεια να μη δημιουργούνται απότομες κάμψεις των αγωγών στα σημεία προσδέσεως. Η τελευταία απαίτηση έχει ιδιαίτερη σημασία, όσο άφορα στην πρόληψη βλάβης των αγωγών από τις μηχανικές ταλαντώσεις τις προκαλούμενες από τον άνεμο και τον πάγο. Το περίγραμμα της κατακόρυφης τομής του μονωτικού τμήματος ενός μονωτήρα είναι δυνατόν να ποικίλλει σημαντικά. Είναι βασική απαίτηση της σχεδιάσεως των μονωτήρων, σε περίπτωση ηλεκτρικής διασπάσεως τους να γίνεται η διάσπαση υπό μορφή εξωτερικής υπερπήδησης της επιφάνειάς τους, παρά υπό μορφή εσωτερικής διάτρησεως της πορσελάνης ή τού γυαλιού και είναι προφανής η προτίμηση της διασπάσεως της μονώσεως του αέρος, η οποία αυτοαποκαθίσταται από την καταστρεπτική διάσπαση της στερεάς μονώσεως. Φυσικά ούτε υπερπήδηση ούτε διάτρηση των μονωτήρων αναμένεται υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, παρά μόνο σε περιπτώσεις υψηλών υπερτάσεων, οπότε η διάσπαση είναι αναπόφευκτη, προτιμάται η εξωτερική υπερπήδηση.

Στους σύγχρονους μονωτήρες μία υπερπήδηση, εάν δεν διατηρηθεί επί σημαντική σχετικώς χρονική διάρκεια, πολύ μικρή ζημιά συνεπάγεται για τον μονωτήρα και μόλις η υπέρταση περάσει ο μονωτήρας παρουσιάζει την κανονική του συμπεριφορά. Αντίθετα, μία διάτρηση αχρήστευει σχεδόν πάντοτε ένα μονωτήρα. Στην περίπτωση ενός μονωτήρα αναρτήσεως η αχρήστευση ενός δίσκου είναι δυνατόν να μη συνεπάγεται αχρήστευση και όλης της αλύσεως, δεδομένου ότι οι παραμένουσες μονάδες παρέχουν την απαιτούμενη μόνωση, οπωσδήποτε όμως ο συντελεστής ασφάλειας έχει μειωθεί και η βλαβείσα μονάδα πρέπει να αντικατασταθεί αμέσως μόλις ανακαλυφθεί.

Η τάση υπερπήδησεως ενός μονωτήρα επηρεάζεται από τη γεωμετρική μορφή του, το υλικό της επιφάνειάς του, την ρύπανση της επιφάνειάς του, την υγρασία της, και κατά ορισμένο ποσοστό από τη μορφή και το υλικό των παρακειμένων αντικειμένων. Οι περισσότεροι μονωτήρες παραμένουν σε λειτουργία επί πολλά χρόνια με πολύ μικρή φροντίδα και καθαρισμό μόνο από τον άνεμο και την βροχή. Ως εκ τούτου ένα από τα προβλήματα των μονωτήρων είναι η κατάλληλη σχεδίαση της μορφής των επιφανειών τους, ώστε η τάση υπερπήδησεως να επηρεάζεται μόνο σε μικρό ποσοστό από τις συγκεντρωμένες επικαθήσεις και την υγρασία. Στους συνήθεις τύπους μονωτήρων η επάνω επιφάνεια είναι λεία, ώστε να συμβάλει στην παρεμπόδιση εύκολης επικαθήσεως ακαθαρσιών, ενώ η κάτω επιφάνεια τους έχει πτυχώσεις για την αύξηση τού μήκους της επιφανειακής διαδρομής μεταξύ άνω και κάτω μεταλλικών μελών και αύξηση τού μη εκτεθειμένου στη βροχή τμήματος της, ώστε να παρεμποδισθεί ο σχηματισμός συνεχούς υδάτινης διαδρομής κατά τη διάρκεια της βροχής.

Σε περιοχές υποκείμενες σε έντονους σχηματισμούς ομίχλης η ψεκασμούς άλατος από τη θάλασσα, χρησιμοποιούνται ειδικοί μονωτήρες, οι οποίοι ονομάζονται τύπου ομίχλης.

Παρ' όλα αυτά όμως ένα από τα πλέον αποτελεσματικά μέτρα αποτελεί ο περιοδικός καθαρισμός. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι μονωτήρες των κύριων σταθμών η υποσταθμών πλύνονται υπό τάση ή έκτος τάσεως, με τη χρησιμοποίηση συστημάτων κατάλληλης εκτοξεύσεως ύδατος για τον καθαρισμό τους από τη σκόνη και τις καθαλατώσεις. Στο σχ. 7 β τύπος (γ) και στο σχ. 8 δ (β) είναι δισκοειδείς μονωτήρες τύπου ομίχλης, από τούς χρησιμοποιούμενους στην Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού στις γραμμές μεταφοράς, τις οδεύουσες παράπλευρα προς τη θάλασσα η διερχόμενες διά μέσου βιομηχανικών περιοχών με μεγάλη ρύπανση του αέρα.

Οι καθαλατώσεις αποτελούν ένα σημαντικό μερικές φορές πρόβλημα των γραμμών των ελληνικών δικτύων ηλεκτρικής ενεργείας, των εγκατεστημένων κοντά στις ακτές τής θάλασσας.

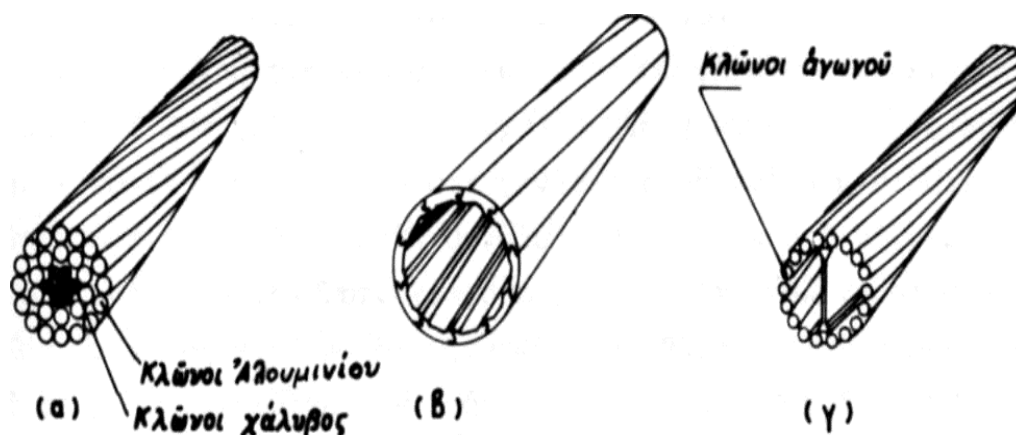
iv. Αγωγοί

Τα κύρια υλικά των αγωγών των εναέριων γραμμών είναι ο χαλκός και το αλουμίνιο. Ο χαλκός έχει υψηλή αγωγιμότητα και, όταν είναι σκληρής ολκήσεως, εμφανίζει μεγάλη μηχανική αντοχή. Βασικό τεχνικό μειονέκτημα του είναι το βάρος του. Το αλουμίνιο είναι κατώτερο του χαλκού σε αγωγιμότητα και αντοχή, αλλά είναι πολύ ελαφρότερο από το χαλκό και συνδυαζόμενο με χάλυβα για απόκτηση της απαιτούμενης μηχανικής αντοχής είναι δυνατόν να συναγωνισθεί αποτελεσματικά το χαλκό. Κατά τα τελευταία χρόνια λόγω μεγαλύτερου κόστους, αλλά και επειδή πολλές φορές δεν ήταν εύκολα διαθέσιμος ο χαλκός, η χρήση του αλουμινίου ως αγωγού έχει επεκταθεί πολύ σε βάρος του χαλκού.

Στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας ειδικότερα το αλουμίνιο χρησιμοποιείται ήδη σε συντριπτική πλειοψηφία έναντι του χαλκού. Στις γραμμές μεταφοράς του ελληνικού συστήματος χρησιμοποιούνται αποκλειστικά αγωγοί αλουμινίου. Οι αγωγοί των γραμμών, στα μεγέθη τα όποια χρησιμοποιούνται συνήθως στις γραμμές μεταφοράς, δεν είναι συμπαγείς, αλλά αποτελούνται από πλήθος συνεστραμμένων κλώνων, για λόγους ευκαμψίας.

Στη συνήθη τυποποίηση ένας κεντρικός κλώνος περιβάλλεται από αριθμό διαδοχικών στρωμάτων, κάθε ένα από τα όποια αποτελείται από πολλούς όμοιους κλώνους, τα διαδοχικά δε στρώματα των κλώνων είναι εναλλάξ συνεστραμμένα κατ' αντίθετες φορές. Καταυτό τον τρόπο στον πλήρη αγωγό οι κλώνοι συγκρατούνται στερεά μεταξύ τους, αλλά ο αγωγός έχει ακόμη πολύ μεγαλύτερη ευκαμψία παρότι θα είχε, εάν ήταν συμπαγής της αυτής διατομής.

Όπως αναφέρθηκε ήδη προηγουμένως το αλουμίνιο δεν χρησιμοποιείται μόνο του σαν αγωγός των εναέριων γραμμών μεταφοράς, λόγω μικρής μηχανικής αντοχής. Η τεχνική των συνεστραμμένων κλώνων διευκολύνει την ενσωμάτωση μέσα στον αγωγό αλουμινίου συρμάτων χάλυβα, τα όποια προσδίδουν σ' αυτόν την απαιτούμενη μηχανική αντοχή. Προκύπτει καταυτό τον τρόπο ο χρησιμοποιούμενος ευρύτατα "αγωγός αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα" (ACSR), ο όποιος στο κέντρο έχει τούς κλώνους από χάλυβα και επάνω από αυτούς τούς κλώνους του αλουμινίου. Οι κλώνοι χάλυβα, εάν είναι περισσότεροι του ενός, είναι διατεταγμένοι σε στρώματα, τα όποια αποτελούν τον "πυρήνα" ή "ψυχή" του αγωγού, πάνω στην οποία είναι διατεταγμένα τα στρώματα των κλώνων αλουμινίου, (σχ. 10α).



Σχ. 10. Αγωγοί γραμμών μεταφοράς, (α) τυπικός αγωγός αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα (ACSR). (β) κοίλος αγωγός χαλκού, (γ) κοίλος αγωγός χαλκού με διαμήκη αγωγίμη δοκό

Η επιλογή σε κάθε περίπτωση της κατάλληλης συνθέσεως του αγωγού βασίζεται στις μηχανικές και ηλεκτρικές απαιτήσεις της γραμμής. Πολύ διαδεδομένη είναι η αμερικανική τυποποίηση των αγωγών ACSR, η οποία προβλέπει εκτεταμένη περιοχή διατομών. Στις ελληνικές γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται οι εξής τρεις διατομές αγωγών ACSR: 336 MCM, 636 MCM και 954 MCM. Η πρώτη χρησιμοποιείται στις γραμμές 66 kV και στις ελαφρές γραμμές 150 kV, η δεύτερη στις βαριές γραμμές 150 kV και η τρίτη στις γραμμές 400 kV.

Οι τιμές των διατομών, οι όποιες χαρακτηρίζουν τους αγωγούς ACSR είναι οι τιμές των διατομών του αλουμινίου των αγωγών. Οι αντίστοιχες διατομές του χάλυβα των αγωγών, όπως και η ακριβής σύνθεση των αγωγών, το πλήθος και η διάμετρος των κλώνων αλουμινίου και χάλυβα δίνονται στους σχετικούς πίνακες των αγωγών ACSR.

Τα συνολικά μήκη των γραμμών των εναέριων δικτύων μεταφοράς της ηπειρωτικής Ελλάδος ήταν κατά την 1η Ιανουαρίου 1980, τα εξής:

- Γραμμές 400 kV, διπλού κυκλώματος: 827 Km
150 kV, " " : 1881 Km
- Γραμμές 150 kV, απλού κυκλώματος : 3 877 Km
66 kV, " " : 225 Km

Κατά τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιούνται και αγωγοί από κράματα αλουμινίου με άλλα μέταλλα, όπως το μαγνήσιο και πυρίτιο. Οι αγωγοί αυτοί έχουν αυξημένη μηχανική αντοχή, ώστε να ικανοποιούν τις μηχανικές απαιτήσεις των γραμμών χωρίς ενίσχυση από χάλυβα, ενώ διατηρούν αγωγιμότητα παραπλήσια εκείνης του αλουμινίου. Πλεονέκτημα των αγωγών από κράματα αλουμινίου είναι η ομοιογένεια του υλικού τους, λόγω της οποίας αποφεύγονται και ορισμένα προβλήματα ηλεκτρολυτικής διαβρώσεως, τα όποια εμφανίζει πολλές φορές η συνύπαρξη δύο διαφορετικών μετάλλων, όπως το αλουμίνιο και ο χάλυβας στους αγωγούς ACSR, όπως και η απλούστευση των συνδέσεων και τερματισμών.

Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού χρησιμοποιεί αγωγούς κραμάτων αλουμινίου στις γραμμές μέσης τάσεως αυτής. Υπό τις υψηλές τάσεις λειτουργίας των γραμμών μεταφοράς η ένταση του ηλεκτροστατικού πεδίου πάνω στην επιφάνεια του αγωγού είναι ισχυρή και είναι σε θέση να προκαλέσει διάσπαση του αέρα γύρω από αυτόν. Η διάσπαση αυτή, η οποία είναι γνωστή ως εκκένωση "corona" συνοδεύεται από θόρυβο, ο οποίος μοιάζει με τριγμό ή και περισσότερο ομαλό και συνεχή και ο οποίος είναι αισθητός πολλές φορές κοντά στις γραμμές μεταφοράς ή υποσταθμούς υψηλής τάσεως.

Η εκκένωση corona έχει ως αποτέλεσμα μία κατηγορία απωλειών ενέργειας και αποτελεί πηγή ταλαντώσεων υψηλής συχνότητας, οι όποιες παρενοχλούν παρακείμενες εγκαταστάσεις ή συσκευές τηλεπικοινωνιών και ειδικότερα τις ραδιοφωνικές. Ως εκ τούτου πρέπει η corona να αποφεύγεται ή να ελαχιστοποιείται. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μείωσης της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου, προς μείωση του φαινομένου corona είναι η αύξηση της ακτίνας καμπυλότητας όλων των εκτεθειμένων αγωγικών επιφανειών, δεδομένου ότι για ορισμένη τάση το πεδίο εξαρτάται σημαντικά από τη γεωμετρία των αγωγών.

Στην περίπτωση γραμμών μεταφοράς αυτό επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση αγωγών με μεγαλύτερες διαμέτρους και για κάθε επίπεδο τάσεως λειτουργίας βρίσκεται η κατά προσέγγιση ελάχιστη διατομή προς αποφυγή της corona. Στις μικρότερες τάσεις το απαιτούμενο από τη μηχανική αντοχή ή την ικανότητα φορτίσεως μέγεθος του αγωγού υπερβαίνει σχεδόν πάντοτε την ελάχιστη αυτή διατομή. Για τις υψηλότερες όμως τάσεις, τις μεγαλύτερες περίπου από 110 kV, η ελάχιστη διατομή καθορίζεται συχνά από τούς περιορισμούς της corona σε τιμή μεγαλύτερη από εκείνη, την οποία θα απαιτούσαν οι άλλες συνθήκες.

Οι αγωγοί ACSR, οι όποιοι έχουν μεγαλύτερη διάμετρο για δεδομένη αντοχή και αγωγιμότητα από τούς αντίστοιχους αγωγούς χαλκού, πλεονεκτούν έναντι των τελευταίων από απόψεως corona. Προς αντιμετώπιση του φαινόμενου corona στους αγωγούς χαλκού αναπτύχθηκαν οι καλούμενοι "κοίλοι αγωγοί" χαλκού, οι όποιοι έχουν αυξημένη διάμετρο για ορισμένη αγωγιμότητα και αντοχή. Αυτοί αποτελούνται από κυκλικούς ή πεπλατυσμένους κλώνους διατεταγμένους στην περιφέρεια κύκλου, του οποίου το εσωτερικό μένει κενό, προσδίδοντας στους αγωγούς σωληνωτή δομή. "Ορισμένοι κοίλοι αγωγοί φέρουν εσωτερική από διαμήκη συνεστραμμένη δοκό μορφής I (σχ. Ι0β,Ι0γ).

Σ η μ ε ί ω σ η : Η μονάδα μετρήσεως διατομής CM (Circular Mil) ισούται προς $1/1.273.000$ τς τετραγωνικής ίντσας, δηλ. προς $5,067 \times 10^{-6} \text{cm}^2$. Συνήθως χρησιμοποιείται το πολλαπλάσιο αυτού, $\text{MCM}=1000 \text{ CM}$.

Οποσδήποτε η αντιμετώπιση των προβλημάτων της corona στις εξαιρετικά υψηλές τάσεις μεταφοράς με αύξηση της διαμέτρου των αγωγών δεν είναι συμφέρουσα και για το λόγο αυτόν εφαρμόζεται κατά κανόνα η πλεονεκτικότερη τεχνική των πολλαπλών αγωγών ανά φάση. Αυτή συνίσταται στον εξοπλισμό κάθε φάσεως της γραμμής με δύο, τρεις, τέσσερεις ή και περισσότερους αγωγούς με κατάλληλο διάστημα μεταξύ τους, το άθροισμα των διατομών των οποίων αποτελεί την ολική διατομή του πολλαπλού αγωγού.

Η χρησιμοποίηση πολλών αγωγών ανά φάση έχει ως αποτέλεσμα μία σοβαρή μείωση της επιφανειακής εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου καθενός από τούς αγωγούς αυτούς και αντίστοιχη μείωση της corona και των συνεπειών της. Η μείωση της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου οφείλεται γενικώς στην ισοκατανομή του ηλεκτρικού φορτίου, το όποιο αντιστοιχεί σε ορισμένη τάση, σε όλους τούς επί μέρους αγωγούς. Στις γραμμές 150 kV του ελληνικού συστήματος μεταφοράς χρησιμοποιούνται απλοί αγωγοί, ενώ στις γραμμές 400 kV δύο αγωγοί ανά φάση, ο καθένας διατομής 954 MCM (διατομή πολλαπλού αγωγού φάσεως 2 χ 954 MCM).

Οι αγωγοί γης, οι όποιοι δεν διαρρέονται από ρεύμα υπό κανονικές συνθήκες, είναι συνήθως χαλύβδινοι και αποτελούνται από συνεστραμμένους κλώνους. Οι αγωγοί γης διαρρέονται από ρεύματα βιομηχανικής συχνότητας κατά τη διάρκεια μονοφασικών ή διαφασικών προς γη βραχυκυκλωμάτων και από κρουστικά ρεύματα, όταν πληγούν από κεραυνό. Εν τούτοις, η διάρκεια των ρευμάτων αυτών είναι τόσο μικρή, ώστε η ικανότητα φορτίσεως των χαλύβδινων αγωγών να επαρκεί για τα ρεύματα αυτά. Εάν όμως για οποιοδήποτε λόγο απαιτούνται αυξημένες αγωγιμότητες αγωγών γης, τότε είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν αγωγοί αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβος.

Στις ελληνικές γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται χαλύβδινοι αγωγοί γης, διαμέτρου 9,4 mm στις γραμμές 150 kV, και 12,6 mm στις γραμμές 400 kV.

Υπόγεια γραμμή μεταφοράς

i.Αγωγοί, μόνωση

Οι αγωγοί των καλωδίων είναι πάντοτε μεμονωμένοι αγωγοί. Η μόνωση περιβάλλει τούς αγωγούς με ορισμένο πάχος μονωτικού υλικού, το οποίο είναι συνήθως μονωτικό χαρτί εμποτισμένο με μονωτικό λάδι, ελαστικό, συνθετική ουσία ή ύφασμα εμποτισμένο με βερνίκι. Συνθετικά υλικά, χρησιμοποιούμενα συνήθως για τη μόνωση των καλωδίων είναι το PVC, και το πολυαιθυλένιο, απλό ή κυρίως διασταυρωμένης δομής. Επίσης το συνθετικό καουτσούκ.

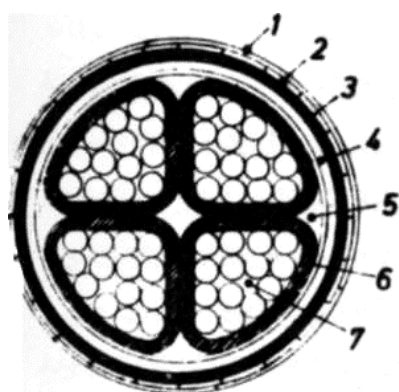
Η μόνωση, η οποία περιβάλλει τούς αγωγούς, προστατεύεται από την υγρασία του εδάφους, η οποία είναι καταστρεπτική, ιδίως για τη μόνωση χάρτου, με συνεχές στεγανό περίβλημα, το οποίο καλείται μανδύας. Αυτός για τα καλώδια μέσης και υψηλής τάσεως αποτελείται συνήθως από μόλυβδο, αλλά και από αλουμίνιο.

Στην τελευταία περίπτωση το καλώδιο αποκτά και μηχανική αντοχή έναντι εξωτερικών αιτιών, την οποία δεν έχει ο μόλυβδος. Τα καλώδια, τα οποία προορίζονται για απευθείας εγκατάσταση μέσα στο έδαφος και υπόκεινται επομένως σε μηχανικές καταπονήσεις, φέρουν επάνω στο μολύβδινο μανδύα επίστρωση από μαλακό υφασμάτινο υλικό, στην οποία επικάθεται ο οπλισμός.

Ο τελευταίος αποτελείται από χαλύβδινα ελάσματα ή σύρματα, τα οποία αποτελούν ένα συνεχές περίβλημα, το οποίο προσδίδει στο καλώδιο την απαραίτητη μηχανική αντοχή. Το υφασμάτινο επίστρωμα του μολύβδινου μανδύα χρησιμεύει για την προστασία του τελευταίου από τραυματισμούς, τούς οποίους θα προκαλούσαν τυχόν σπασμένα αιχμηρά ελάσματα του χαλύβδινου οπλισμού.

Τα ελάσματα ή σύρματα του χαλύβδινου οπλισμού είναι ανοξειδωτά ή γαλβανισμένα. Τέλος επάνω στον οπλισμό τοποθετείται στρώμα από γιούτα εμποτισμένη με ασφαλτούχο ουσία ή και στρώμα συνθετικού υλικού, το οποίο αποτελεί το εξωτερικό περίβλημα και προστατεύει τον οπλισμό από εκδορές κυρίως κατά την εγκατάσταση του καλωδίου. Σε περίπτωση μανδύα από αλουμίνιο είναι δυνατό να μην υπάρχει χαλύβδινος οπλισμός λόγω της μηχανικής αντοχής του αλουμινίου. Στην περίπτωση όμως αυτή το εξωτερικό περίβλημα αποτελείται πάντοτε από πλαστικό υλικό για λόγους στεγανότητας και προστασίας του μανδύα αλουμινίου από τη διάβρωση.

Τα ανωτέρω αφορούν κυρίως τα τριπολικά ή τετραπολικά καλώδια στερεάς μονώσεως μέσης και χαμηλής τάσεως αντιστοίχως, τομές των οποίων δίνονται στα σχήματα 11 και 12



(A)



(B)

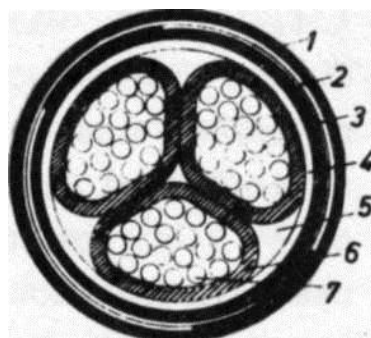
Σχ.11 Υπόγεια καλώδια

(α) χαμηλής τάσεως

(β) μέσης τάσεως με' τρεις μολύβδινους μανδύας

1. Εξωτερικό περίβλημα.
2. Οπλισμός.
3. Προστατευτικό μαλακό στρώμα.
4. Μολύβδινος μανδύας.
5. Παραγεμίσματα.
6. Μόνωσης έμποτ χάρτον.
7. Αγωγός.
8. Προστατευτικές ταινίες.

Σχ.



12 Υπόγειο καλώδιο μέσης τάσεως με' αγωγούς διατομής κυκλικού τομέως και ένα μολύβδινο μανδύα

Τα τριπολικά καλώδια ΜΤ είναι δυνατό να έχουν ένα κοινό μολύβδινο μανδύα ή τρεις μανδύες ένα ανά φάση. Στην πρώτη περίπτωση πέρα από τη χωριστή μόνωση κάθε αγωγού υπάρχει και κοινή μόνωση, η οποία περιβάλλει και τούς τρεις μεμονωμένους αγωγούς και επάνω στην οποία βρίσκεται ο κοινός μανδύας. Στα καλώδια τριών μολύβδινων μανδύων κάθε αγωγός έχει τη δική του μόνωση και επάνω από αυτή το δικό του μανδύα. Ο τελευταίος τύπος προσφέρει καλύτερη κατανομή του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό του καλωδίου, η οποία σε συνδυασμό και με ορισμένα πλεονεκτήματα κατασκευής και λειτουργίας έχει συντελέσει στην εξάπλωση της χρησιμοποιήσεως των καλωδίων τριών μανδύων κατά τα τελευταία χρόνια. Ενδιάμεσο τύπο αποτελούν τα καλώδια, τα οποία έχουν μεν καινούριο μολύβδινο μανδύα, αλλά για την ομοιόμορφη κατανομή του πεδίου φέρουν επάνω από τη μόνωση κάθε φάσεως ένα λεπτό διάτρητο μεταλλικό διάφραγμα.

Από τα μονωτικά υλικά το ελαστικό, φυσικό ή συνθετικό και τα πλαστικά PVC (Polyvinyl Chloride), και πολυαιθυλένιο χρησιμοποιούνται κυρίως στα καλώδια μέσης και χαμηλής τάσεως. Η χρήση όμως των πλαστικών και κυρίως του πολυαιθυλενίου διασταυρωμένης δομής επεκτείνεται βαθμιαία και στα καλώδια υψηλής τάσεως, όσο η τεχνολογία κατασκευής του βελτιώνεται και η πείρα από τη συμπεριφορά του αυξάνει. Η μόνωση χάρτου από την άλλη πλευρά είναι η πιο διαδομένη μόνωση καλωδίων και χρησιμοποιείται μέχρι και τις υψηλότερες τάσεις, για τις οποίες κατασκευάζονται καλώδια. Καλώδια μονώσεως χάρτου τάσεων 138, 150, 220, 275, 345 και 400 kV αποτελούν σήμερα τρέχουσες κατασκευές. Στην Ελλάδα κατά κανόνα όλα τα καλώδια των υπόγειων και υποβρύχιων δικτύων χαμηλής, μέσης και υψηλής τάσεως, δηλ. τάσεων 0,4, 15, 20, 66 και 150 kV, είναι μέχρι σήμερα από μόνωση χάρτου. Καλώδιο από ελαστικό και πλαστικές μονώσεις χρησιμοποιούνται μόνο για εσωτερικές συνδέσεις στους υποσταθμούς και για τις παροχές των καταναλωτών.

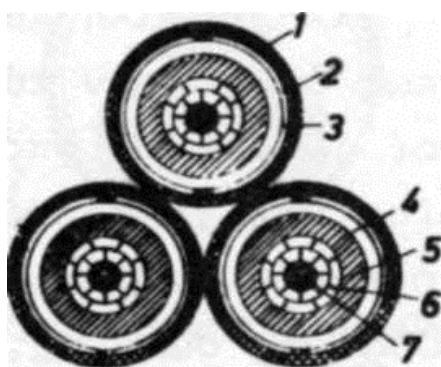
Η μόνωση χάρτου των καλωδίων σχηματίζεται με την ελικοειδή περιέλιξη ταινίας χάρτου επάνω στους αγωγούς μέχρι να σχηματισθεί ορισμένο συνολικό πάχος μονώσεως. Το περιτύλιγμα του χαρτιού γίνεται με προσοχή, ώστε η τοποθέτηση των ταινιών να είναι ομοιόμορφη, για να πρόκυψη ομοιογενής μόνωση χωρίς κενά αέρος στο εσωτερικό της. Το τελευταίο είναι σημαντικό, διότι θύλακες αέρος στο εσωτερικό της μονώσεως αποτελούν ασθενή σημεία, τα οποία σύντομα γίνονται εστίες μερικών ηλεκτρικών εκκενώσεων, και αφετηρία καταστροφής της μονώσεως. ο εμποτισμός του χαρτιού με λάδι αποσκοπεί στην αύξηση της διηλεκτρικής αντοχής της μονώσεως και στη συμπλήρωση με λάδι των διακένων, τα οποία υπάρχουν μεταξύ ταινιών, ώστε να εκδιωχτεί ο αέρας από την μόνωση και να διατηρείται η μονωτική ικανότητα της υπό τη μεταβαλλόμενη θερμοκρασία και πίεση του εσωτερικού του καλωδίου. Ο εμποτισμός της μονώσεως με λάδι γίνεται μετά την τοποθέτηση της επάνω στους αγωγούς και πριν από την τοποθέτηση του μολύβδινου μανδύα και γίνεται με το λάδι υπό πίεση. Το χρησιμοποιούμενο λάδι έχει υψηλό σχετικά ιξώδες, ώστε να είναι παχύρευστο και να μη μετακινείται εύκολα στις υψομετρικές διακυμάνσεις της διαδρομής του καλωδίου ή διαρρέει σε μεγάλες ποσότητες κατά το κόψιμο του.

Τα καλώδια ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες, τα μονοπολικά, και τα πολυπολικά. Στη δεύτερη ανήκουν τα τριπολικά και τετραπολικά καλώδια ΜΤ και ΧΤ. Τα καλώδια υψηλής τάσεως είναι κατά το πλείστο μονοπολικά. Αλλά και στις περιπτώσεις τριπολικών καλωδίων η δομή τους είναι συνήθως μονοπολική, υπό την έννοια ότι οι τρεις πόλοι αποτελούν από απόψεως μονώσεως και μανδύα ανεξάρτητα καλώδια, τα οποία βρίσκονται υπό κοινό οπλισμό ή εξωτερικό περίβλημα. Τα τριπολικά καλώδια ΥΤ είναι δύσκαμπτα και συνεπώς περισσότερο δύσχρηστα από τα πιο εύχρηστα μονοπολικά. Για το λόγο αυτό στην περίπτωση τριπολικού καλωδίου μονοπολικής δομής, όπως τα καλώδια εξωτερικής πίεσεως αερίου ή ελαίου, οι τρεις πόλοι σύρονται και εγκαθίστανται στο εσωτερικό χαλύβδινου σωλήνα ο καθένας χωριστά. Επίσης οι συνδέσεις ενός κανονικού τριπολικού καλωδίου ΥΤ είναι πολύ δύσκολες στην κατασκευή τους. Για τούς λόγους αυτούς

τα τριπολικά καλώδια χρησιμοποιούνται στις χαμηλότερες τάσεις, και μικρότερες διατομές, ενώ τα μονοπολικά στις υψηλότερες τάσεις και μεγαλύτερες διατομές. Τα μονοπολικά καλώδια εγκαθίστανται *χωριστά* το καθένα και έχουν ανεξάρτητες συνδέσεις. Τα τρία μονοπολικά καλώδια, τα όποια αποτελούν τριφασικό κύκλωμα, εγκαθίστανται μέσα στο έδαφος το ένα κοντά στο άλλο σε επίπεδο ή τριγωνικό σχηματισμό.

Έκτος από τα καλώδια στερεάς εμποτισμένης μονώσεως χάρτου, τα όποια περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, συνήθης και κύριος τύπος καλωδίων μονώσεως χάρτου, χρησιμοποιούμενος στα υπόγεια δίκτυα υψηλής τάσεως, είναι το καλώδιο εσωτερικής πίεσεως ελαίου. Στα καλώδια αυτά, τα όποια είναι κατά το πλείστο μονοπολικά, πλην του εμποτισμού του χαρτιού με λάδι, υπάρχει και υγρό λάδι υπό πίεση στο εσωτερικό του καλωδίου. Ο αγωγός στα καλώδια αυτά είναι κοίλος μέσα δε στην κοιλότητα βρίσκεται το λάδι το όποιο, υπό την πίεση την οποία έχει, εισχωρεί διά μέσου των κλώνων του αγωγού στη μόνωση και φθάνει μέχρι το μολύβδινο μανδύα. Για το λόγο αυτόν στα καλώδια εσωτερικής πίεσεως ελαίου ο εμποτισμός του χάρτου γίνεται μετά την τοποθέτηση του μολύβδινου μανδύα με πλήρωση της κοιλότητας του αγωγού από τα άκρα με λάδι υπό πίεση. Το υγρό λάδι υπό πίεση στο εσωτερικό του καλωδίου αυξάνει σημαντικά τη διηλεκτρική αντοχή της μονώσεώς του. Η κοιλότητα του αγωγού φέρει κατά μήκος του τοιχώματος της σπειροειδές έλασμα από χάλυβα ή ταινία χαλκοί. Το λάδι, το όποιο χρησιμοποιείται στα καλώδια αυτά, είναι λεπτότερο από το λάδι των καλωδίων στερεάς μονώσεως και ρέει ελεύθερα σ' όλες τις θερμοκρασίες του καλωδίου. Στα τέρματα της καλωδιακής γραμμής, όπως και σε ορισμένους ενδιάμεσους συνδέσμους του καλωδίου, εγκαθίστανται δοχεία λαδιού υπό πίεση, επικοινωνούντα με το λάδι του καλωδίου, ώστε αυτό να βρίσκεται πάντοτε υπό πίεση.

Όταν το λάδι διαστέλλεται, λόγω της θερμάνσεως του καλωδίου κατά τη λειτουργία του υπό φορτίο, ρέει κατά μήκος του καλωδίου προς τα δοχεία. Όταν το καλώδιο ψύχεται, το λάδι ρέει αντιστρόφως από τα δοχεία προς το καλώδιο, υπό την πίεση των δοχείων, παρεμποδίζοντας κατ' αυτό τον τρόπο το σχηματισμό κενών στη μόνωση. Με τον τρόπο αυτό το καλώδιο διατηρεί επί πολύ την αρχική μονωτική του ικανότητα και απαιτεί μικρότερα περιθώρια μονώσεως για την αντιμετώπιση γηράνσεώς της. Επομένως, για ορισμένη τάση λειτουργίας είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σημαντικά μικρότερα πάχη στρωμάτων χάρτου. Τύπος καλωδίου εσωτερικής πίεσεως ελαίου παρίσταται στο σχ. 13.



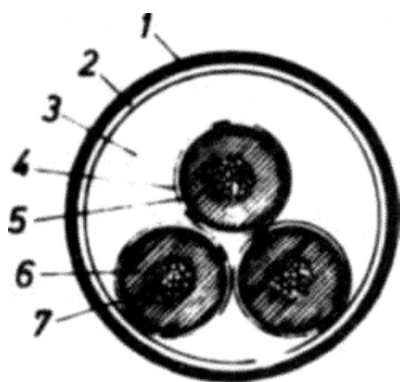
1. Εξωτερικό πλαστικό περίβλημα
2. Πλαστική ταινία .
3. Μη μαγνητική μεταλλική ταινία.
4. Μολύβδινος μανδύας
5. Μόνωση χάρτον.
6. Αγωγός χοίλος.
7. Οχετός ελαίων.

Σχ. 13. Καλώδιο υψηλής τάσεως, εσωτερικής πίεσεως ελαίου.

Στα τριπολικά καλώδια εσωτερικής πίεσεως ελαίου οι σωλήνες του λαδιού παρεμβάλλονται στους κενούς χώρους μεταξύ των μονώσεων των τριών αγωγών, είναι δε συνήθως οι σωλήνες αυτοί τρεις για λόγους συμμετρίας. Πλην των καλωδίων εσωτερικής πίεσεως ελαίου υπάρχουν σε περιορισμένη εφαρμογή και καλώδια υψηλής τάσεως εσωτερικής πίεσεως αερίου. Αυτά έχουν επίσης μόνωση εμποτισμένου χάρτου, η οποία βρίσκεται υπό πίεση αερίου, συνήθως αζώτου, 15 ατμοσφαιρών. Στο εσωτερικό του καλωδίου και κατά μήκος αυτού υπάρχει σωληνίσκος, διά μέσου του οποίου διανέμεται το αέριο, και ο οποίος επικοινωνεί με τις φιάλες αερίου, οι οποίες υπάρχουν στα τέρματα και ορισμένα ενδιάμεσα σημεία για τη διατήρηση της πίεσεως του αερίου στο εσωτερικό του καλωδίου. Τα καλώδια αυτά έχουν το μειονέκτημα της αποφράξεως του σωληνίσκου του αερίου σε περίπτωση πτώσεως της πίεσεως του αερίου και εισόδου στο σωληνίσκο του παχύρρευστου λαδιού της μονώσεως.

Άλλη μεγάλη κατηγορία καλωδίων υψηλής και ύπερυψηλής τάσεως αποτελούν τα καλώδια εξωτερικής πίεσεως, οι δύο βασικοί τύποι των οποίων είναι το καλώδιο εξωτερικής πίεσεως αερίου και το καλώδιο εξωτερικής πίεσεως ελαίου ή ελαιοστατικό καλώδιο. Κοινό στοιχείο και των δύο τύπων αποτελεί ο χαλύβδινος σωλήνας, στο εσωτερικό του οποίου βρίσκονται συνήθως τρία μονοπολικά καλώδια, τα οποία αποτελούν την τριφασική γραμμή.

Στην περίπτωση του καλωδίου αερίου τα τρία μονοπολικά καλώδια έχουν μόνωση εμποτισμένου χάρτου και μολύβδινο μανδύα. Στο εσωτερικό του σωλήνα υπάρχει αδρανές αέριο, κατά κανόνα άζωτο, υπό πίεση της τάξεως των 15 ατμοσφαιρών. Η πίεση του αερίου μεταβιβάζεται μέσω των μολύβδινων μανδύων στη μόνωση των καλωδίων, παρεμποδίζοντας το σχηματισμό θυλάκων στο εσωτερικό της κατά τις εναλλαγές θερμάνσεως και ψύξεως των καλωδίων. Στον ελαιοστατικό τύπο τα καλώδια έχουν επίσης μόνωση χάρτου, αλλά δεν έχουν μολύβδινο μανδύα. Το εσωτερικό του σωλήνα είναι γεμάτο με λάδι υπό υψηλή πίεση, η οποία εξασκείται επάνω στα καλώδια, διατηρεί τη μόνωση τους εμποτισμένη και δεν επιτρέπει τον σχηματισμό θυλάκων στο εσωτερικό της, κατά παρόμοιο τρόπο προς τα καλώδια αερίου. Τα μονοπολικά καλώδια του ελαιοστατικού τύπου φέρουν μετά τη μόνωση τους διάτρητο λεπτό μεταλλικό διάφραγμα για τη διαμόρφωση του πεδίου. Επάνω από το διάφραγμα τυλίγεται ελικοειδώς, κατά μήκος κάθε καλωδίου, ένα χάλκινο ή ορειχάλκινο σύρμα, με το οποίο αυξάνεται η ολισθηρότητα του καλωδίου και διευκολύνεται η ασφαλής εισχώρηση του στο εσωτερικό του χαλύβδινου σωλήνα κατά την εγκατάσταση. Τα καλώδια αυτά μέχρι την εγκατάστασή τους, δηλ. κατά τις περιόδους της αποθηκεύσεως και μεταφοράς τους φέρουν προσωρινό μολύβδινο μανδύα, για την προστασία της μονώσεώς τους από την υγρασία, ο οποίος αφαιρείται κατά τη διάρκεια του τραβήγματος του καλωδίου μέσα στο σωλήνα. Τύπος καλωδίου εξωτερικής πίεσεως ελαίου παριστάνεται στο σχ. 14.



1. Αντιδιαβρωτικό περίβλημα χαλύβδινου σωλήνα.
2. Χαλύβδινος σωλήνας.
3. Αέριο υπό πίεση.
4. Συρμάτινο περίβλημα ολισθήσεως.
5. Μεταλλικού φύλλο.
6. Τόνωση χάτοτον.
7. Αψωγος.

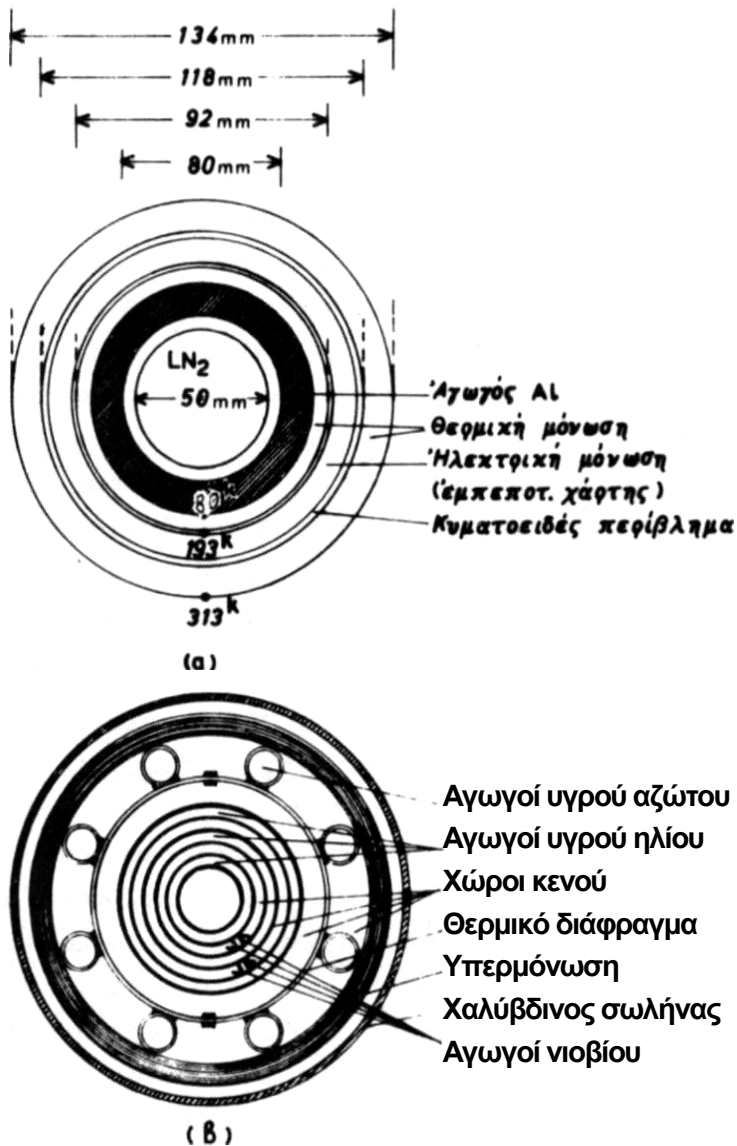
Σχ.14 Καλώδιο υψηλής τάσεως
εξωτερικής πίεσεως αερίου

Η πίεση στα καλώδια εξωτερικής πίεσεως και των δύο τύπων διατηρείται μέσω δοχείων αερίου ή αντιστοίχως λαδιού, εγκατεστημένων στα τέρματα και σε άλλα ενδιάμεσα σημεία της διαδρομής, τα όποια είναι συνδεδεμένα μονίμως με το εσωτερικό του σωλήνα. Και οι δύο τύποι των καλωδίων αυτών έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η προτίμηση του ενός ή του άλλου βασίζεται στην αξιολόγηση των συνθηκών κάθε περιπτώσεως. Βασικό και κοινό πλεονέκτημα αποτελεί η μεγάλη μηχανική αντοχή των καλωδίων αυτών, η οποία οφείλεται στο χαλύβδινο σωλήνα, λόγω του οποίου αυτά θεωρούνται απρόσβλητα από εξωτερικές μηχανικές καταπονήσεις. Λόγω επίσης του σωλήνα τους τα καλώδια αυτά είναι δυνατόν να εγκαθίστανται κάτω από τα καταστρώματα των οδών, χωρίς να δημιουργούν προβλήματα εκσκαφών για την αντικατάσταση η επισκευή τους. Πλεονεκτήματα επίσης των καλωδίων αυτών είναι η δυνατότητα δεσμεύσεως μιας διαδρομής εκ των προτέρων με την εγκατάσταση μόνο του σωλήνα στο έδαφος και την τοποθέτηση των καλωδίων σ' αυτόν μετά από ορισμένα χρόνια, σύμφωνα με το πρόγραμμα. Σχετικό μειονέκτημα του καλωδίου τύπου αερίου έναντι του ελαιοστατικού είναι η απότομη απώλεια της πίεσεως του αερίου σε περίπτωση διαρροής του σωλήνα, η οποία είναι δυνατόν να λάβει και χαρακτήρα έντονης εκτονώσεως στη θέση της βλάβης. Αντίστοιχα το ελαιοστατικό καλώδιο σε περίπτωση μεγάλης διαρροής του ελαίου από το σωλήνα είναι δυνατό να ρυπάνει το περιβάλλον έδαφος. Τα καλώδια εξωτερικής πίεσεως δεν έχουν ακόμη εφαρμοσθεί στα ελληνικά υπόγεια δίκτυα (1976).

Τέλος, νέο είδος καλωδίων, το οποίο βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας και αναπτύξεως και άφορα τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ισχύος στο μέλλον, αποτελούν τα κρυογενικά ή υπεραγωγία καλώδια. Σ' αυτά η θερμοκρασία των αγωγών διατηρείται σε πολύ χαμηλές τιμές με υγρό άζωτο ή ήλιο, με αποτέλεσμα η ωμική αντίσταση τους να είναι αμελητέα και να έχουν, λόγω μηδαμινών απωλειών, πολλαπλάσια ικανότητα φορτίσεως από εκείνη των συμβατικών καλωδίων, μετρούμενη σε χιλιάδες MVA υπό υπερυψηλές τάσεις. Δύο μεγάλες κατηγορίες κρυογενικών καλωδίων διακρίνονται: Τα κρυοαγωγία και τα υπεραγωγία καλώδια.

Στα πρώτα οι αγωγοί αποτελούνται από συμβατικό υλικό, όπως αλουμίνιο, το οποίο ψύχεται με υγρό άζωτο σε θερμοκρασίες της τάξεως 80 K, όπου οι απώλειες τού αλουμινίου περίπου υποδεκαπλασιάζονται. Στα υπεραγωγία καλώδια χρησιμοποιείται νέο υλικό αγωγών, όπως το νιόβιο, το οποίο ψύχεται με υγρό ήλιο σε θερμοκρασίες περίπου 4,5 K, στην οποία το υλικό αυτό δεν παρουσιάζει καμιά ωμική αντίσταση. Για την ηλεκτρική μόνωση των κρυογενικών καλωδίων χρησιμοποιούνται συνθετικά μονωτικά η συνθετική μόνωση εμποτισμένη με το κρυογενές υγρό ή κενό, το οποίο ταυτόχρονα χρησιμεύει και σαν θερμική μόνωση τού καλωδίου. Τα καλώδια αυτού του είδους απαιτούν, πλην της ηλεκτρικής μονώσεως και θερμική μόνωση για τη διατήρηση του ψύχους τους και η οποία βρίσκεται συνήθως κάτω από το εξωτερικό περίβλημά τους. Η εφαρμογή των κρυογενικών καλωδίων παρουσιάζει ακόμη πολλά προβλήματα προς επίλυση, σχετικά με την εγκατάστασή τους, τη συμπεριφορά τους κατά τα σφάλματα και άλλα. Τομές κρυογενικών καλωδίων δίνονται στο σχ. 15.

Στα καλώδια μόνωση πρέπει να υπάρχει τόσο μεταξύ των αγωγών ανά δύο, όσο και μεταξύ κάθε αγωγού και τού μανδύα, ο οποίος κανονικά βρίσκεται στο δυναμικό της Γής. Η τάση μεταξύ αγωγού και γής, σε ένα τριφασικό κύκλωμα, είναι ίση με τη φασική τάση, δηλ. ίση με την τάση μεταξύ αγωγών διαιρημένη διά 1,732.



Σχ. 15. Τομές κρυογενικών καλωδίων (α) κρυαγόγιο καλώδιο ψυχόμενο με LN₂, ±250 KV, 12000 A, GGW (β) υπεραγώγιο καλώδιο ψυχόμενο με υγρό άζωτο και υγρό ήλιο 33KV, 750MVA.

Υπό ανώμαλες όμως συνθήκες, είναι δυνατό να μετατοπισθεί ο ουδέτερος κόμβος από το δυναμικό της γης, και η τάση ενός ή δύο αγωγών προς γη να γίνει υψηλότερη της κανονικής, συνήθως μόνο για μικρό χρονικό διάστημα.

Ο κεραυνός, όπως και διάφορες άλλες αιτίες, είναι δυνατόν να προκαλέσει στιγμιαίες υπερτάσεις επί των αγωγών πολύ υψηλής τιμής, σε σύγκριση προς την κανονική τάση λειτουργίας τους. Για την προστασία του καλωδίου έναντι τέτοιων συνθηκών η μόνωση των αγωγών προς γη πρέπει να είναι ικανή να αντιμετωπίσει τις έκτακτες διηλεκτρικές καταπονήσεις.

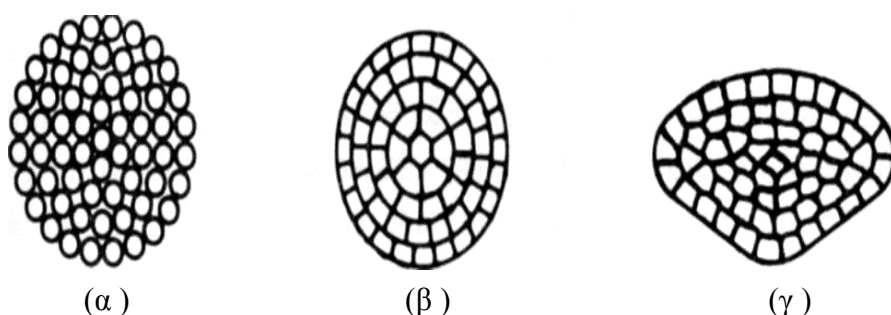
Στα μονοπολικά καλώδια ή στα καλώδια με τρεις μολύβδινους μανδύες ή μεταλλικά διαφράγματα ανά φάση, το ηλεκτρικό πεδίο στην επιφάνεια και το περιβάλλον κάθε αγωγού

είναι, ομοιόμορφο, με αποτέλεσμα καλύτερη απόδοση της μονώσεως, σε σχέση με τα τριπολικά καλώδια ενός μολύβδινου μανδύα και χωρίς διαφράγματα αγωγών.

Το μέγεθος και η διάρκεια των ανωμάτων τάσεων προς γη επηρεάζεται από τη σύνδεση του ουδέτερου κόμβου προς γη. Εάν ο ουδέτερος κόμβος του συστήματος, εκεί όπου υπάρχει, δηλ. στις γεννήτριες και τους μετασχηματιστές συνδεσμολογίας αστέρος, είναι απευθείας συνδεδεμένος στη γη, οι ανώμαλες τάσεις είναι συνήθως μικρότερες και μικρότερης διάρκειας από τις παρουσιαζόμενες σε περίπτωση αγείωτου ουδέτερου κόμβου.

Για το λόγο αυτόν υπάρχουν συνήθως δύο βαθμοί μονώσεως καλωδίων, ένας για λειτουργία με γειωμένο ουδέτερο κόμβο και ένας για αγείωτο, και οι όποιοι διαφέρουν μόνο στο πάχος της μονώσεως. Τα δίκτυα μεταφοράς επάνω από μία ορισμένη τάση έχουν κατά κανόνα τούς ουδέτερους κόμβους απευθείας γειωμένους. Τα συστήματα μεταφοράς της Δημόσιας Επιχειρήσεως Ηλεκτρισμού έχουν τούς ουδέτερους κόμβους απευθείας γειωμένους, ενώ τα συστήματα διανομής αποτελεσματικά γειωμένους.

Στα καλώδια χρησιμοποιούνται διαφόρων ειδών αγωγοί, με βασικά υλικά το χαλκό και το αλουμίνιο. Το μικρό βάρος του αλουμινίου δεν προσφέρει τόσα πλεονεκτήματα για τα καλώδια, όσα για τις εναέριες γραμμές, όπου οι αγωγοί καταπονούνται μηχανικά από το ίδιο βάρος τους. Εξ άλλου η μεγαλύτερη διάμετρος του αλουμινίου έναντι του χαλκού, για την αυτή αγωγιμότητα, δεν είναι και τόσο απαραίτητη από απόψεως σοροπα, και συνεπάγεται μεγαλύτερο κόστος μονώσεως, μανδύα, εξωτερικού περιβλήματος, όπως και μεγαλύτερη συνολική διάμετρο καλωδίου. Παρ' όλα αυτά, λόγω των γνωστών οικονομικών και εμπορικών πλεονεκτημάτων του έναντι του χαλκού, το αλουμίνιο χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο στα καλώδια. Επειδή τα καλώδια δεν υπόκεινται κατά κανόνα σε αισθητές διαμήκεις καταπονήσεις, ο χρησιμοποιούμενος για τούς αγωγούς χαλκός είναι συνήθως άνοπτημένος, και όχι σκληρής ολκήσεως όπως στις εναέριες γραμμές. Η άνοπτηση του χαλκού μειώνει τη μηχανική του αντοχή, αλλά αυξάνει την ευκαμψία και ελαφρά την αγωγιμότητα. Οι αγωγοί των καλωδίων των υπόγειων ηλεκτρικών δικτύων αποτελούνται από κλώνους για μεγαλύτερη ευκαμψία, η οποία για τα καλώδια έχει μεγάλη σημασία. Σε πολλές περιπτώσεις, και κυρίως στα τριπολικά και τετραπολικά καλώδια μέσης και χαμηλής τάσεως με ένα μολύβδινο μανδύα, οι αγωγοί δεν έχουν διατομή κυκλική, αλλά τομέα κύκλου, για καλύτερη



Σχ. 16. Τύποι αγωγών χρησιμοποιούμενοι σε υπόγεια καλώδια (α), (β) κυκλικής διάτομης, (γ) διάτομης κυκλικού τομέως.

εκμετάλλευση της συνολικής διατομής του καλωδίου. Κατ' αυτό τον τρόπο κάθε πόλος τέτοιου τριπολικού καλωδίου είναι κυκλικός τομέας 120° , (σχ. 12, 16) και κάθε πόλος τετραπολικού καλωδίου τομέας 90° , (σχ. 11α). Στα τριπολικά καλώδια τριών μολύβδινων μανδύων, όπου οι διατομές είναι κυκλικές, η όλη διατομή του καλωδίου αποκλίνει από το κυκλικό σχήμα προς το τριγωνικό. Υπάρχουν επίσης και κλώνοι μη κυκλικής διατομής, (σχ. 16).

Όπως αναφέρθηκε στην περιγραφή των καλωδίων εσωτερικής πίεσεως ελαίου, οι αγωγοί των καλωδίων αυτών είναι κοίλοι και η διατομή τους δακτυλιοειδής. Στην περίπτωση αυτή, όπως φαίνεται και στο σχ. 13, οι κλώνοι του αγωγού έχουν διατομή τμήματος κυκλικού τομέως. Στους αγωγούς εναλλασσόμενου ρεύματος το ρεύμα δεν κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη την διατομή, αλλά η πυκνότητα του είναι μικρότερη στα κεντρικότερα στρώματα, με αποτέλεσμα αυξημένη φαινόμενη ωμική αντίσταση αγωγού. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως "επιδερμικό φαινόμενο. Η δακτυλιοειδής μορφή διατομής δίνει καλλίτερη κατανομή ρεύματος και επομένως μικρότερη αντίσταση για ορισμένη διατομή χαλκού ή αλουμινίου. Για το λόγο αυτόν υπάρχουν και καλώδια με αγωγούς δακτυλιοειδούς διατομής, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρησιμοποίηση της κοιλότητας στο κέντρο τού αγωγού, στη θέση της οποίας βρίσκεται ένα σχοινί. Αντιμετώπιση του επιδερμικού φαινομένου είναι επίσης δυνατόν να γίνει και με αντιμετάθεση, των κλώνων στο εσωτερικό του αγωγού, ώστε κάθε κλώνος να καταλαμβάνει κατά μήκος του αγωγού τόσο εξωτερικές, σο και εσωτερικές θέσεις.

Στα ελληνικά υπόγεια δίκτυα οι κυριότερες από τις χρησιμοποιούμενες σήμερα διατομές καλωδίων είναι: Καλώδια 150 kV: 250 mm² και 500 mm² χαλκού, 600 mm², 700 mm², και 800mm² αλουμινίου. Καλώδια 20 kV: 3 x 1 x 150 mm² και 3 x 1 x 240 mm² αλουμινίου. Καλώδια XT: 3 x 150+70 mm², 3 x 95+50 mm² και 4 x 50 mm² αλουμινίου. *Η τέταρτη διατομή των καλωδίων XT ανήκει στον ουδέτερο αγωγό τους.

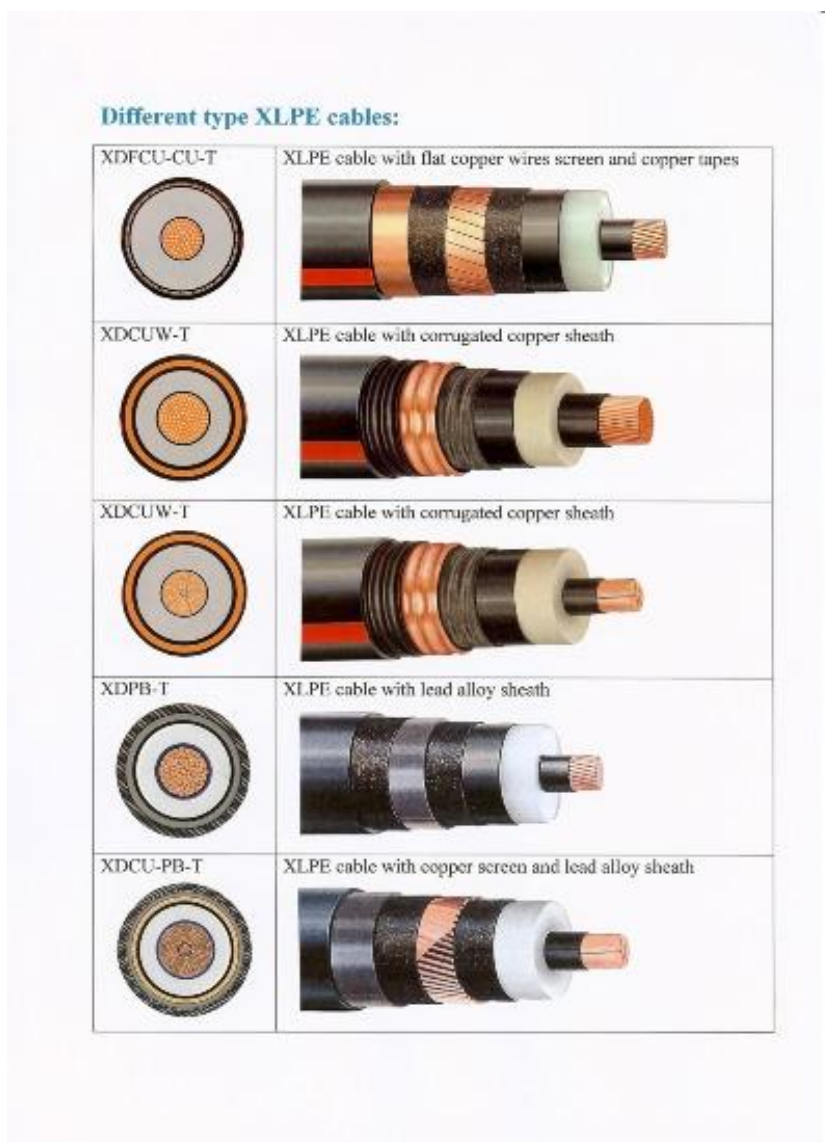
Στα μονοπολικά καλώδια το μαγνητικό πεδίο του ρεύματος επάγει τάσεις στους μολύβδινους ή στους μανδύες αλουμινίου. Εάν οι μανδύες των τριών μονοπολικών καλωδίων μιας γραμμής είναι συνδεδεμένοι ή βραχυκυκλωμένοι μεταξύ τους, όπως συμβαίνει στα τέρματα των γραμμών και σε ενδιάμεσες ενδεχομένως θέσεις, όπου γειώνονται οι μανδύες, κυκλοφορούν δια μέσου αυτών ρεύματα τα οποία προκαλούν πρόσθετες απώλειες και μειώνουν την ψύξη των κύριων αγωγών. Προς εξουδετέρωση των επιζήμιων αυτών ρευμάτων εφαρμόζεται πολλές φορές η τεχνική της αντιμεταθέσεως των μανδύων (γνωστής ως "cross-bonding"), αναντιστοιχία προς την αντιμετάθεση των αγωγών των εναέριων γραμμών, για εξισορρόπηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών αυτών. Αυτό γίνεται με απομόνωση των μανδύων από τη γη και κυκλική σύνδεση του ενός με κάθε ένα από τούς άλλους δύο, σε ενδιάμεσες θέσεις της γραμμής επί ορισμένες φορές. Αυτή η κυκλική διασύνδεση των μανδύων έχει ως αποτέλεσμα μικρότερες διατομές καλωδίου για την αυτή μεταφερόμενη ισχύ. Στα υπόγεια καλώδια 150 kV της ΔΕΗ, τα πρώτα από αυτά (διατομής 250 mm² και τα μετέπειτα 500 mm² χαλκού) είναι με βραχυκυκλωμένους μανδύες. Στα πιο πρόσφατα όμως καλώδια 150 kV (διατομών 600, 700 και 800 mm² αλουμινίου) εφαρμόζεται η τεχνική της κυκλικής διασυνδέσεως των μανδύων.

Αγωγοί διασυνδεδεμένου πολυαιθυλενίου (XLPE)

Το διασταυρόμενο πολυαιθυλένιο, με συντομογραφία PEX ή XLPE, είναι ένας τύπος πολυαιθυλενίου σε διασταυρώσεις πολυμερούς. Διαμορφώνεται σε σωλήνες, και χρησιμοποιείται κυρίως στα υδρονικά ακτινοβόλα συστήματα θέρμανσης, οικιακές σωληνώσεις ύδρευσης και μόνωση για υψηλής τάσης ηλεκτρικά καλώδια. Χρησιμοποιείται επίσης για εφαρμογές του φυσικού αερίου και υπεράκτιου πετρελαίου, για την μεταφορά χημικών καθώς επίσης και για τη μεταφορά των λυμάτων και πολτών.

Σχεδόν όλα τα PEX είναι κατασκευασμένο από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE). Τα PEX περιέχουν διασταυρώσεις πολυμερούς στη δομή του πολυμερούς αλλάζοντας την θερμοπλαστική σε θερμοσκληρυντική. Διασταυρωμένη σύνδεση επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια ή μετά την εξώθηση του σωλήνα. Ο απαιτούμενος βαθμός της διασταύρωσης πολυμερούς, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM F 876-93, είναι μεταξύ 65 και 89%. Ο μεγαλύτερος βαθμός διασταύρωσης πολυμερούς μπορεί να οδηγήσει σε ευθραυστότητα και ρωγμές του υλικού.

Παρακάτω παραθέτονται μερικοί διαφορετικοί τύποι αγωγών διασυνδεδεμένου πολυαιθυλενίου (XLPE)



Οι ιδιότητες σε υψηλή σε θερμοκρασία του πολυμερούς έχουν βελτιωθεί. Η επαρκής αντοχή σε 120-150 ° C διατηρείται μειώνοντας την τάση της ροής. Η χημική αντίσταση ενισχύεται με το να αντιστέκεται στην διάλυση. Οι ιδιότητες σε χαμηλή θερμοκρασία έχουν βελτιωθεί. Η δύναμη σύγκρουσης και η αντοχή σε εφελκυσμό, η αντοχή στις γρατζουνιές και η αντοχή στη θραύση έχουν βελτιωθεί.

Τα μονωμένα καλώδια PEX ή XLPE έχουν ονομαστική μέγιστη θερμοκρασία αγωγού 90 ° C και μια τιμή έκτακτης ανάγκης μέχρι 140 ° C, ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο πρότυπο. Έχουν έναν αγωγό κλειστού κυκλώματος με τιμή στους 250 ° C. Τα XLPE έχουν εξαιρετικές διηλεκτρικές ιδιότητες, καθιστώντας τα χρήσιμα για μέση τάση 10 - 50 kV AC και υψηλής τάσης αγωγούς έως 380 kV AC, καθώς και αρκετές εκατοντάδες kV DC.

Πολυάριθμες τροποποιήσεις στη βασική δομή του πολυμερούς μπορούν να γίνουν για να μεγιστοποιήσουν την παραγωγικότητα κατά τη διαδικασία κατασκευής. Για μέσης τάσης εφαρμογές, Η αντιδραστικότητα μπορεί να ενισχυθεί σημαντικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερες ταχύτητες γραμμής σε περιπτώσεις όπου οι περιορισμοί είτε στη διεργασία αποκατάστασης ή ψύξης μέσα σε σωλήνες συνεχούς θείωσης (CV) χρησιμοποιούνται για τη δικτύωση της μόνωσης. Οι PEX μονώσεις μπορούν να τροποποιηθούν για να περιορίσουν την ποσότητα του παραπροϊόντος αέρα που παράγεται κατά την διάρκεια της διαδικασίας της διασύνδεσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για υψηλής τάσης καλώδια και για εφαρμογές υπερυψηλής τάσης καλωδίου, όπου οι απαιτήσεις απαεριοποίησης μπορεί να επιμηκύνουν σημαντικά τον χρόνο κατασκευής του καλωδίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο



Περιγραφή της γραμμής Μέσης τάσης υπό μελέτη

Η διατομή της κύριας γραμμής είναι 95 ASCR. Το συνολικό μήκος της είναι 5,260 χιλιόμετρα. Έχει γίνει αρίθμηση των κόμβων στο σχέδιο και έχουν γραφτεί οι αποστάσεις μεταξύ των κόμβων, τα φορτία σε KVA και ανάλογα την διατομή που υπάρχει στην γραμμή που θα εξετάσουμε εάν χρειάζεται διόρθωση σε επόμενο κεφάλαιο.

Αρχικά στο σημείο μηδέν (0) υπάρχει ένα φορτίο πάνω στην γραμμή 400 KVA.

Σε απόσταση 178 μέτρα είναι το δεύτερο φορτίο το οποίο είναι 160 KVA. Είναι ο αριθμημένος κόμβος με το νούμερο ένα.

Ο κόμβος με το νούμερο 2 είναι σε απόσταση 947 μέτρων. Το συνολικό φορτίο του κόμβου είναι 630 KVA. Έχει απόσταση από την κύρια γραμμή 426 μέτρα και διατομή 16 ASCR.

Η απόσταση μεταξύ του δεύτερου και τρίτου κόμβου είναι 88 μέτρα. Σε απόσταση 245 μέτρων από την κύρια γραμμή υπάρχει μια διακλάδωση με δύο φορτία. Η πρώτη έχει το φορτίο της στα 106 μέτρα το οποίο είναι 160 KVA ενώ το δεύτερο φορτίο είναι 600 KVA και έχει απόσταση από την διακλάδωση 63 μέτρα.

Σε απόσταση 207 μέτρων από τον κόμβο 3 έχουμε τον κόμβο 4. Σε απόσταση 64 μέτρων από την κύρια γραμμή υπάρχει φορτίο 630 KVA. Επίσης από το ίδιο σημείο σε απόσταση 177 μέτρων από την κύρια γραμμή υπάρχει φορτίο 400 KVA.

Επί της γραμμής στα 589 μέτρα από το κόμβο 4 υπάρχει ο κόμβος 5 με φορτίο 160 KVA.

Ο κόμβος 6 είναι σε απόσταση 26 μέτρων από τον πέμπτο και σε απόσταση από την κύρια γραμμή με διατομή 95 ASCR βρίσκεται φορτίο 800 KVA.

Σε απόσταση 229 μέτρων από τον κόμβο 6 υπάρχει ο κόμβος 7 ο οποίος περιέχει από την μια πλευρά ένα φορτίο της τάξης των 160 KVA σε απόσταση 147 μέτρων με διατομή στα πρώτα 98 μέτρα 95 ASCR και στα υπόλοιπα 49 μέτρα 16 ASCR. Σε απόσταση 195 μέτρων από την κύρια γραμμή με διατομή 95 ASCR και 25 μέτρα απόσταση από την γραμμή (7-Γ) με διατομή 35 ASCR υπάρχει φορτίο 250 KVA. Από το σημείο Γ έως το Δ τα οποία βρίσκονται σε απόσταση 104 μέτρων έχουμε διατομή 95 ASCR. Όπως φαίνεται στο σχέδιο η απόσταση Δ-Δ1 είναι 173 μέτρα με διατομή 35 ASCR. Η απόσταση Δ-Δ2 είναι 180 μέτρα σε διατομή 95 ASCR. Από σημείο Δ2 σε απόσταση 42 μέτρων με διατομή 16 ASCR έχουμε φορτίο 400 KVA ενώ από το Δ2 στο Δ3 η απόσταση είναι 390 με διατομή 95 ASCR και φορτίο 400 KVA. Το σημείο Δ μέχρι το Δ5 έχουμε διατομή 16 ASCR και η απόσταση μεταξύ των δύο σημείων είναι 162 μέτρα. Από το Δ5 μέχρι το Δ9 η διατομή είναι 16 ASCR και η απόσταση 30 μέτρα με φορτίο 160 KVA. Τα σημεία Δ5-Δ6 απέχουν μεταξύ τους 105 μέτρα σε διατομή 95 ASCR. Το Δ7 απέχει από το Δ6 74 μέτρα με διατομή 95 ASCR και το φορτίο του είναι 250 KVA. Το Δ8 από το Δ6 απέχει 300 μέτρα με διατομή 95 ASCR και το φορτίο του είναι 630 KVA.

Ο κόμβος 8 από τον 7 απέχει 271 μέτρα. Στον κόμβο 8 σε απόσταση 237 μέτρων από την κύρια γραμμή έχουμε φορτίο 250 KVA σε διατομή 16 ASCR.

Σε απόσταση 260 μέτρων από τον κόμβο 8 έχουμε την αρχή ενός απομακρυσμένου κόμβου από την κύρια γραμμή κατά 410 μέτρα. Η διατομή του καλωδίου είναι 16 ASCR. Στο σημείο Α υπάρχουν τρεις κλάδοι. Η απόσταση των σημείων Α-Δ είναι 110 μέτρα διατομής 16 ASCR. Το φορτίο του Δ είναι 160 KVA. Η απόσταση Α-Β είναι 214 μέτρα διατομής 16 ASCR με φορτίο 250 KVA.

Μόλις 6 μέτρα μακριά από τον κόμβο 9 είναι ο κόμβος 10. Στα 27 μέτρα από την κύρια γραμμή με 16 ASCR διατομή και 160 KVA φορτίο.

Εκατόν είκοσι οκτώ μετρά απόσταση έχουν ο κόμβος 10 με τον 11. Η απόσταση από το σημείο 11 μέχρι το σημείο Α είναι 181 μέτρα. Στο σημείο Α υπάρχει φορτίο 250 KVA. Το σημείο Α με το σημείο Β απέχουν μεταξύ τους 242 μέτρα. Το φορτίο που έχει το σημείο Β είναι 250 KVA. Η διατομή του αγωγού από το σημείο 11 μέχρι το Β είναι 35 ASCR.

Σε απόσταση 187 μέτρων από τον προηγούμενο κόμβο υπάρχει ο κόμβος 12. Έχει φορτίο 160 KVA σε απόσταση 297 μέτρων διατομής 16 ASCR.

Ο κόμβος με το νούμερο 13 έχει απόσταση από τον προηγούμενο κόμβο 152 μέτρα. Όλη η γραμμή από το σημείο 13 είναι με διατομή 16 ASCR. Σε απόσταση 52 μέτρων από την κύρια γραμμή υπάρχει το σημείο Α και 5 μέτρα απόσταση από αυτό υπάρχει φορτίο 250 KVA. Σε απόσταση 205 μέτρων από το σημείο Α υπάρχει ένα σημείο Β το οποίο διαθέτει φορτίο της τάξης των 630 KVA. Από το σημείο Β 99 μέτρα μακριά υπάρχει σημείο Γ με φορτίο 400 KVA.

Ο κόμβος 13 από τον κόμβο 14 απέχει 30 μέτρα. Στον κόμβο 14 σε απόσταση 95 μέτρα από την κύρια γραμμή υπάρχει φορτίο 250 KVA.

Εκατόν τριάντα εννιά μέτρα απόσταση έχει ο κόμβος 14 με τον 15. Στον 15 κόμβο του οποίου η γραμμή είναι διατομής 16 ASCR 370 μέτρα απόσταση από την κύρια γραμμή σε σημείο με την σηματοδότηση Α υπάρχει φορτίο 250 KVA. Από το σημείο Α σε απόσταση 21 μέτρων υπάρχει διακλάδωση που καταλήγει σε τρία φορτία. Η σηματοδότηση της διακλάδωσης είναι Β. Το Β-Δ είναι 49 μέτρα με φορτίο 250 KVA. Το Β-Ε είναι 374 μέτρα με φορτίο 400 KVA. Το Β-Γ είναι 33 μέτρα με φορτίο 100 KVA. Όλοι οι αγωγοί από το σημείο με το νούμερο 15 και μέσα είναι ε διατομή 16 ASCR.

Δεκατρία μέτρα από τον κόμβο με το νούμερο 15 υπάρχει ο κόμβος 16. Διακόσια σαράντα τέσσερα μέτρα από την κύρια γραμμή υπάρχει φορτίο στο σημείο Α της τάξης των 400 KVA. Εκατόν δώδεκα μέτρα απ' το σημείο Α υπάρχει σημείο Β με φορτίο 400 KVA.

Τριάντα πέντε μέτρα μετά τον κόμβο 16 υπάρχει ο κόμβος 17. Το φορτίο του είναι ένα σε απόσταση 10 μέτρων από την κύρια γραμμή 250 KVA. Η διατομή του αγωγού είναι 16 ASCR.

Διακόσια ενενήντα τρία μέτρα από τον 17 κλάδο πάνω στην κύρια γραμμή υπάρχει φορτίο 250 KVA. Είναι ο κλάδος με τον αριθμό 18.

Διακόσια τριάντα ένα μέτρα από το σημείο 18 έχουμε το σημείο 19. Σε απόσταση 181 μέτρα με 35 ASCR διατομή έχουμε φορτίο 400 KVA. Από την άλλη πλευρά της γραμμής έχουμε

στα 40 μέτρα απόσταση διατομή 35 ASCR (19-B) και 376 μέτρα απόσταση με διατομή 16 ASCR (B-Γ).στο τέλος της γραμμής έχουμε φορτίο 100 KVA.

Η απόσταση 19-20 είναι 500 μέτρα.Ο αγωγός από το 20-A είναι διατομής 95 ASCR και η απόσταση μεταξύ των σημείων είναι 45 μέτρα.Η διατομή από το A-B είναι 16 ASCR όπως και όλου του υπόλοιπου αγωγού απόσταση μεταξύ των δύο σημείων είναι 304 μέτρα.Σε απόσταση 25 μέτρων από το B (B-E) έχουμε φορτίο 250 KVA.Η απόσταση μεταξύ των σημείων B και Γ είναι 45 μέτρα.Στο σημείο Γ υπάρχει φορτίο 250 KVA.Σε απόσταση από το σημείο Γ 178 μέτρα υπάρχει φορτίο 160 KVA.

Απόσταση μεταξύ του 20-21 είναι 50 μέτρα.Τριάντα οκτώ μέτρα μακριά από την κυρία γραμμή υπάρχει το μεγαλύτερο φορτίο που έχουμε μέχρι τώρα.Το μέγεθός του είναι της τιμής 2400 KVA και η διατομή του αγωγού είναι 35 ASCR.

Επί της γραμμής στα 36 μέτρα απόσταση από τον κόμβο με το νούμερο 21 υπάρχει φορτίο των 160 KVA.Ο κόμβος σηματοδοτείται με το νούμερο 22.

Διακόσια ένα μέτρα μετά τον κόμβο με το νούμερο 22 υπάρχει ο κόμβος με το νούμερο 23.Τέσσερα μέτρα απομακρυσμένο από την κύρια γραμμή υπάρχει φορτίο των 250 KVA.Η διατομή του αγωγού είναι 16 ASCR.

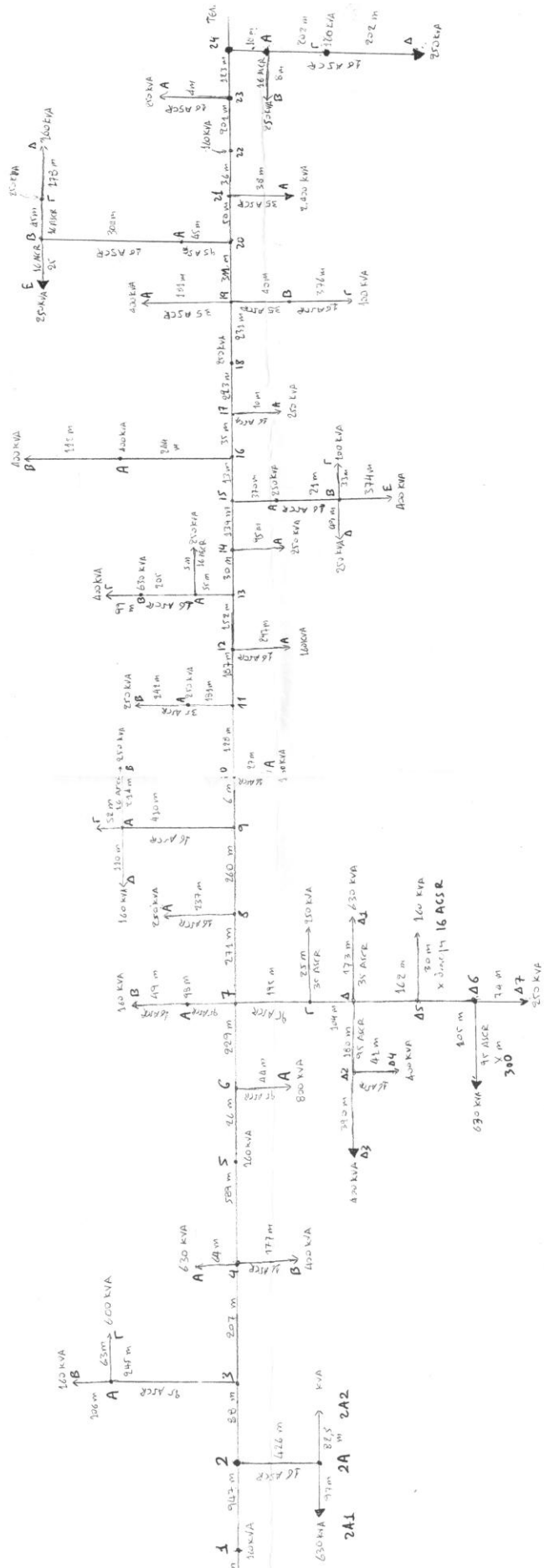
Ο κόμβος με την σηματοδότηση 24 είναι ο τελευταίος στην γραμμή μας και έχει απόσταση από τον προηγούμενο 123 μέτρα.Ολόκληρη η γραμμή του κόμβου 24 είναι διατομής 16 ASCR.Η απόσταση 24-A είναι 18 μέτρα.Σε αυτό το σημείο βρίσκεται η πρώτη διακλάδωση του κόμβου.Οκτώ μέτρα μακριά από το σημείο A υπάρχει το φορτίο (B) το οποίο είναι 250 KVA.Η απόσταση A-Γ είναι 203 μέτρα.Εκεί στο σημείο Γ βρίσκεται το φορτίο της τάξεως των 160 KVA.Η απόσταση Γ-Δ είναι 202 μέτρα.Το φορτίο στο σημείο Δ είναι 250 KVA.

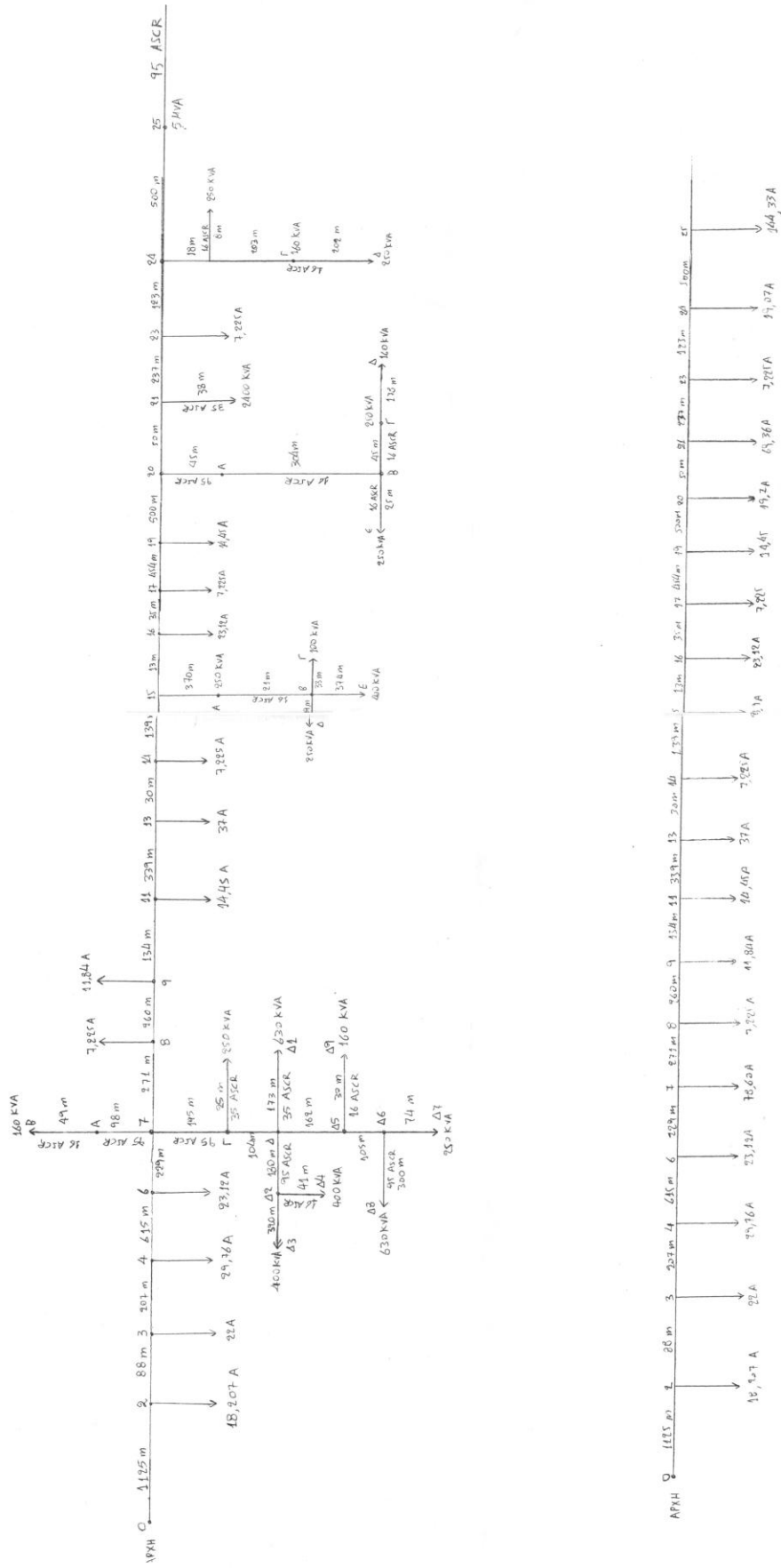
Θα παρατηρηθεί ότι ενώ στην γραμμή έχουμε 24 κλάδους θα παρουσιαστεί στις πράξεις ένας εικοστός πέμπτος κλάδος.Αυτός ο κλάδος θα τοποθετηθεί στα πεντακόσια μέτρα απόσταση από τον εικοστό τέταρτο κλάδο και στα πέντε χιλιόμετρα απόσταση από τον εικοστό τέταρτο κλάδο.Προσθέτουμε έναν κλάδο ακόμα γιατί η επί τις εκατό πτώση τάσης δεν βγήκε στους υπολογισμούς πάνω από οκτώ τις εκατό (8%)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο



ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ 5260 m
 ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΣΦΑΙΡΕ
 ΓΡΑΜΜΗΣ 95 ΑΙΣΡ





ι. Υπολογισμός της πτώσης τάσης της γραμμής

Θα υπολογίσουμε την πτώση τάσης στην κύρια γραμμή από την αρχή μέχρι τον έβδομο κλάδο ,από τον έβδομο μέχρι τον δέκατο πέμπτο ,από τον δέκατο πέμπτο μέχρι τον εικοστό , από τον εικοστό μέχρι τον εικοστό πρώτο και από τον εικοστό πρώτο μέχρι τον εικοστό τέταρτο. Όταν βρούμε τις πτώσεις τάσης στα κομμάτια αυτά της κύριας γραμμής θα τα προσθέσουμε για να βρούμε την πτώση τάσης της γραμμής. Εάν η πτώση τάσης της γραμμής είναι πάνω από 8% θα χρειαστεί να γίνει διόρθωση του συντελεστή ισχύος.

Υπολογισμός πτώσης τάσης 0-24

$$\begin{aligned} \Delta U &= R \cdot I \cdot (i \cdot \cos \varphi) + X \cdot I \cdot (i \cdot \sin \varphi) \\ \Delta U_{0-7} &= \Delta U_{0-2} + \Delta U_{2-3} + \Delta U_{3-4} + \Delta U_{4-6} + \Delta U_{6-7} = \\ &0,215 \cdot 1125 / 1000 \cdot (442,577 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 1125 / 1000 \cdot (442,577 \cdot 0,43) + \\ &+ 0,215 \cdot 88 / 1000 \cdot (424,37 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 88 / 1000 \cdot (424,37 \cdot 0,43) + \\ &+ 0,215 \cdot 207 / 1000 \cdot (402,37 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 207 / 1000 \cdot (402,37 \cdot 0,43) + \\ &+ 0,215 \cdot 615 / 1000 \cdot (372,603 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 615 / 1000 \cdot (372,603 \cdot 0,43) + \\ &+ 0,215 \cdot 229 / 1000 \cdot (349,48 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 229 / 1000 \cdot (349,48 \cdot 0,43) = \\ &96,34 + 71,5 + 7,226 + 5,36 + 16,11 + 11,96 + 44,34 + 32,91 + 15,48 + 11,49 = \\ &312,716 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{7-15} &= \Delta U_{7-8} + \Delta U_{8-9} + \Delta U_{9-11} + \Delta U_{11-13} + \Delta U_{13-14} + \Delta U_{14-15} = \\ &0,215 \cdot 271 / 1000 \cdot (266,27 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 271 / 1000 \cdot (266,27 \cdot 0,43) \\ &+ 0,215 \cdot 260 / 1000 \cdot (259,04 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 260 / 1000 \cdot (259,04 \cdot 0,43) \\ &+ 0,215 \cdot 134 / 1000 \cdot (247,14 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 134 / 1000 \cdot (247,14 \cdot 0,43) \\ &+ 0,215 \cdot 339 / 1000 \cdot (232,64 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 339 / 1000 \cdot (232,64 \cdot 0,43) \\ &+ 0,215 \cdot 30 / 1000 \cdot (195,64 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 30 / 1000 \cdot (195,64 \cdot 0,43) \\ &+ 0,215 \cdot 139 / 1000 \cdot (188,416 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 139 / 1000 \cdot (188,416 \cdot 0,43) = \\ &13,96 + 10,36 + 13,03 + 9,67 + 6,41 + 4,76 + 15,26 + 11,32 + 1,135 + 0,84 \\ &+ 5,06 + 3,761 = 95,56 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{15-20} &= \Delta U_{15-16} + \Delta U_{16-17} + \Delta U_{17-19} + \Delta U_{19-20} = \\ &0,215 \cdot 13 / 1000 \cdot (159,51 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 13 / 1000 \cdot (159,51 \cdot 0,43) \\ &+ 0,215 \cdot 35 / 1000 \cdot (136,39 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 35 / 1000 \cdot (136,39 \cdot 0,43) \\ &+ 0,215 \cdot 454 / 1000 \cdot (129,1 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 454 / 1000 \cdot (129,1 \cdot 0,43) \\ &+ 0,215 \cdot 500 / 1000 \cdot (114,65 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 500 / 1000 \cdot (114,65 \cdot 0,43) \\ &= 0,4 + 0,29 + 0,923 + 0,68 + 11,34 + 8,41 + 11,09 + 8,23 = \\ &41,36 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{20-21} &= 0,215 \cdot 50 / 1000 \cdot (95,58 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 50 / 1000 \cdot (95,58 \cdot 0,43) \\ &= 0,924 + 0,68 = 1,604 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{21-24} &= \Delta U_{21-23} + \Delta U_{23-24} = \\ &0,215 \cdot 237 / 1000 \cdot (26,22 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 237 / 1000 \cdot (26,22 \cdot 0,43) \\ &+ 0,215 \cdot 123 / 1000 \cdot (18,99 \cdot 0,9) + 0,334 \cdot 123 / 1000 \cdot (18,99 \cdot 0,43) \\ &= 1,20 + 0,89 + 0,45 + 0,33 = 2,87 \text{ V} \end{aligned}$$

Η συνολική πτώση τάσεως της κύριας γραμμής θα είναι

$$\begin{aligned} \Delta U_{0-24} &= \Delta U_{0-7} + \Delta U_{7-15} + \Delta U_{15-20} + \Delta U_{20-21} + \Delta U_{21-24} = \\ &= 312,716 + 95,56 + 41,36 + 1,604 + 2,87 = \\ &= 454,11 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{0-24} \% &= \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 454,11 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 \\ &= 454,11 / 11547,005 * 100 = 3,93\% \end{aligned}$$

Επειδή η συνολική πτώση τάσης έχει υπολογιστεί αρκετά κάτω από την προκαθορισμένη τιμή (8%) δεν χρειάζεται να γίνει διόρθωση του συντελεστή ισχύος.

ii. Προσθήκη 25^{ου} κλάδου

Για να μπορέσουμε να διορθώσουμε τον συντελεστή ισχύος της γραμμής τοποθετήσαμε τον εικοστό πέμπτο κλάδο στην υπό μελέτη γραμμή μεταφοράς

Με εικοστό πέμπτο κλάδο στα 500 m και φορτίο 5MVA έχουμε:

$$\begin{aligned} \Delta U &= R * I * (i * \cos \varphi) + X * I * (i * \sin \varphi) \\ \Delta U_{0-25} &= \Delta U_{0-2} + \Delta U_{2-3} + \Delta U_{3-4} + \Delta U_{4-6} + \Delta U_{6-7} + \Delta U_{7-8} + \Delta U_{8-9} + \Delta U_{9-11} + \Delta U_{11-13} + \\ &+ \Delta U_{13-14} + \Delta U_{14-15} + \Delta U_{15-16} + \Delta U_{16-17} + \Delta U_{17-19} + \Delta U_{19-20} + \Delta U_{20-21} + \Delta U_{21-23} + \Delta U_{23-24} \\ &+ \Delta U_{24-25} = \\ &= 0,215 * (1125 / 1000) * 582,807 * 0,9 + 0,334 * (1125 / 1000) * 582,807 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (88 / 1000) * 564,6 * 0,9 + 0,334 * (88 / 1000) * 564,6 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (207 / 1000) * 542,6 * 0,9 + 0,334 * (207 / 1000) * 542,6 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (615 / 1000) * 512,6 * 0,9 + 0,334 * (615 / 1000) * 512,6 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (229 / 1000) * 489,72 * 0,9 + 0,334 * (229 / 1000) * 489,72 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (271 / 1000) * 411,12 * 0,9 + 0,334 * (271 / 1000) * 411,12 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (260 / 1000) * 403,89 * 0,9 + 0,334 * (260 / 1000) * 403,89 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (134 / 1000) * 392,055 * 0,9 + 0,334 * (134 / 1000) * 392,055 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (339 / 1000) * 377,60 * 0,9 + 0,334 * (339 / 1000) * 377,60 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (30 / 1000) * 340,60 * 0,9 + 0,334 * (30 / 1000) * 340,60 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (139 / 1000) * 333,38 * 0,9 + 0,334 * (139 / 1000) * 333,38 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (13 / 1000) * 304,48 * 0,9 + 0,334 * (13 / 1000) * 304,48 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (35 / 1000) * 281,36 * 0,9 + 0,334 * (35 / 1000) * 281,36 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (454 / 1000) * 274,13 * 0,9 + 0,334 * (454 / 1000) * 274,13 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (500 / 1000) * 259,68 * 0,9 + 0,334 * (500 / 1000) * 259,68 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (50 / 1000) * 239,98 * 0,9 + 0,334 * (50 / 1000) * 239,98 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (237 / 1000) * 170,62 * 0,9 + 0,334 * (237 / 1000) * 170,62 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (123 / 1000) * 163,4 * 0,9 + 0,334 * (123 / 1000) * 163,4 * 0,43 + \\ &+ 0,215 * (500 / 1000) * 144,33 * 0,9 + 0,334 * (500 / 1000) * 144,33 * 0,43 => \\ \Delta U_{0-25} &= 221,03 + 16,74 + 37,86 + 106,27 + 37,80 + 37,55 + 35,40 + 17,71 + 43,15 + \\ &+ 3,44 + 15,62 + 1,33 + 3,31 + 41,95 + 43,77 + 4,04 + 13,63 + 6,77 + 24,32 => \\ \Delta U_{0-25} &= 711,69 \text{ V} \end{aligned}$$

Με εικοστό πέμπτο κλάδο στα 5000 m και φορτίο 5MVA

$$\begin{aligned}
 \Delta U_{0-25} &= \Delta U_{0-2} + \Delta U_{2-3} + \Delta U_{3-4} + \Delta U_{4-6} + \Delta U_{6-7} + \Delta U_{7-8} + \Delta U_{8-9} + \Delta U_{9-11} + \Delta U_{11-13} + \\
 &\Delta U_{13-14} + \Delta U_{14-15} + \Delta U_{15-16} + \Delta U_{16-17} + \Delta U_{17-19} + \Delta U_{19-20} + \Delta U_{20-21} + \Delta U_{21-23} + \Delta U_{23-24} \\
 &+ \Delta U_{24-25} = \\
 &= 0,215*(1125 / 1000)*582,807*0,9 + 0,334*(1125 / 1000)*582,807*0,43 + \\
 &+ 0,215*(88/1000)*564,6*0,9 + 0,334*(88/1000)*564,6*0,43 + \\
 &+ 0,215*(207/1000)*542,6*0,9 + 0,334*(207/1000)*542,6*0,43 + \\
 &+ 0,215*(615/1000)*512,6*0,9 + 0,334*(615/1000)*512,6*0,43 + \\
 &+ 0,215*(229/1000)*489,72*0,9 + 0,334*(229/1000)*489,72*0,43 + \\
 &+ 0,215*(271/1000)*411,12*0,9 + 0,334*(271/1000)*411,12*0,43 + \\
 &+ 0,215*(260/1000)*403,89*0,9 + 0,334*(260/1000)*403,89*0,43 + \\
 &+ 0,215*(134/1000)*392,055*0,9 + 0,334*(134/1000)*392,055*0,43 + \\
 &+ 0,215*(339/1000)*377,60*0,9 + 0,334*(339/1000)*377,60*0,43 + \\
 &+ 0,215*(30/1000)*340,60*0,9 + 0,334*(30/1000)*340,60*0,43 + \\
 &+ 0,215*(139/1000)*333,38*0,9 + 0,334*(139/1000)*333,38*0,43 + \\
 &+ 0,215*(13/1000)*304,48*0,9 + 0,334*(13/1000)*304,48*0,43 + \\
 &+ 0,215*(35/1000)*281,36*0,9 + 0,334*(35/1000)*281,36*0,43 + \\
 &+ 0,215*(454/1000)*274,13*0,9 + 0,334*(454/1000)*274,13*0,43 + \\
 &+ 0,215*(500/1000)*259,68*0,9 + 0,334*(500/1000)*259,68*0,43 + \\
 &+ 0,215*(50/1000)*239,98*0,9 + 0,334*(50/1000)*239,98*0,43 + \\
 &+ 0,215*(237/1000)*170,62*0,9 + 0,334*(237/1000)*170,62*0,43 + \\
 &+ 0,215*(123/1000)*163,4*0,9 + 0,334*(123/1000)*163,4*0,43 + \\
 &+ 0,215*(5000/1000)*144,33*0,9 + 0,334*(5000/1000)*144,33*0,43 =>
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta U_{0-25} &= 221,03 + 16,74 + 37,86 + 106,27 + 37,80 + 37,55 + 35,40 + 17,71 + 43,15 + \\
 &+ 3,44 + 15,62 + 1,33 + 3,31 + 41,95 + 43,77 + 4,04 + 13,63 + 6,77 + 243,28 => \\
 \Delta U_{0-25} &= 930,65 \text{ V}
 \end{aligned}$$

iii. Υπολογισμός πτώσης τάσης χωρίς πυκνωτή στο τέλος της γραμμής

Υπολογισμός πτώσης τάσης χωρίς πυκνωτή στο τέλος της γραμμής

$$\Delta U_{0-7\Delta 7} = \Delta U_{0-2} + \Delta U_{2-3} + \Delta U_{3-4} + \Delta U_{4-6} + \Delta U_{6-7} + \Delta U_{7-7\Delta 7} = 221,03 + 16,74 + 37,86 + 106,27 + 37,80 + 10,38 = 430,08$$

$$\Delta U_{0-7} = \Delta U_{0-7\Delta 7} - \Delta U_{7-7\Delta 7} = 430,08 - 10,38 = 419,7$$

$$\Delta U_{0-7\Delta 7} \% = \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 430,08 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 430,08 / 11547,005 * 100 = 3,72 \%$$

$$\Delta U_{0-15E} = \Delta U_{0-7} + \Delta U_{7-15} + \Delta U_{15-15E} = 419,7 + 152,86 + 20,456 = 593,01$$

$$\Delta U_{0-15E} \% = \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 593,01 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 593,01 / 11547,005 * 100 = 5,13 \%$$

$$\Delta U_{0-20\Delta} = \Delta U_{0-7} + \Delta U_{7-15} + \Delta U_{15-20} + \Delta U_{20-20\Delta} = 419,7 + 152,86 + 90,36 + 9,74 = 672,66$$

$$\Delta U_{0-20\Delta} \% = \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 672,66 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 672,66 / 11547,005 * 100 = 5,82 \%$$

$$\Delta U_{0-24\Delta} = \Delta U_{0-7} + \Delta U_{7-15} + \Delta U_{15-20} + \Delta U_{20-24} + \Delta U_{24-24\Delta} = 419,7 + 152,86 + 90,36 + 24,44 + 5,5642 = 692,92$$

$$\Delta U_{0-24\Delta} \% = \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 692,92 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 692,92 / 11547,005 * 100 = 6 \%$$

με τον εικοστό πέμπτο κλάδο στα 500m

$$\Delta U_{0-25} = 221,03 + 16,74 + 37,86 + 106,27 + 37,80 + 37,55 + 35,40 + 17,71 + 43,15 + 3,44 + 15,62 + 1,33 + 3,31 + 41,95 + 43,77 + 4,04 + 13,63 + 6,77 + 24,32 \Rightarrow$$

$$\Delta U_{0-25} = 711,69 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-25} \% = [U / U_{\gamma}] * 100 = [711,69 / (20000 / \sqrt{3})] * 100 = (711,69 / 11547,005) * 100 \Rightarrow$$

$$\Delta U_{0-25} \% = 6,16 \%$$

Και με τον εικοστό πέμπτο κλάδο στα 5000m

$$\Delta U_{0-25} = 221,03 + 16,74 + 37,86 + 106,27 + 37,80 + 37,55 + 35,40 + 17,71 + 43,15 + 3,44 + 15,62 + 1,33 + 3,31 + 41,95 + 43,77 + 4,04 + 13,63 + 6,77 + 243,28 \Rightarrow$$

$$\Delta U_{0-25} = 930,65 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-25} \% = [U / U_{\gamma}] * 100 = [930,65 / (20000 / \sqrt{3})] * 100 = (930,65 / 11547,005) * 100 \Rightarrow$$

$$\Delta U_{0-25} \% = 8,05 \%$$

Για τον υπολογισμό της πτώσης συμβουλευτήκαμε τον παρακάτω πίνακα

ΠΙΝΑΚΑΣ Η2-1

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΑΕΡΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΤ ΗΛΕΚ Β2. XLS (Φύλλο 1)							
ΑΓΩΓΟΙ	ΟΝΟΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ	ΠΡΑΓΜ. ΔΙΑΤΟΜΗ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ			R	X
	mm ²	mm ²	A	MVA στα 20 kV	MVA στα 15 kV	Ω/km	Ω/km
3X16 ACSR	16	25	136	4.71	3.53	1,268	0,422
3X35 ACSR	35	56	224	7.76	5.82	0,576	0,397
3X95 ACSR	95	150	448	15.52	11.64	0,215	0,334
3X16 CU	16	16	115	3.98	2.99	1,274	0,417
3X35 CU	35	35	185	6.41	4.81	0,596	0,393
3X95 CU	95	95	352	12.19	9.15	0,220	0,358
3X50AL+50ST	50	50	123	4.26	3.20	0,823	0,150
3X150AL+50ST	150	150	241	8.35	6.26	0,266	0,125

Για την απλοποίηση των πράξεων απλοποιήθηκαν μερικοί κλάδοι.
Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για την διαδικασία της απλοποίησης είναι:

$$I = S / (V_{\pi} * \sqrt{3})$$

Όπου I: ένταση του ρεύματος σε A
S: Φαινόμενη ισχύς σε KVA

$$I_1 = 400000 / (20000 * \sqrt{3}) = 11,56 \text{ A}$$

$$I_2 = 630000 / (20000 * \sqrt{3}) = 18,207 \text{ A}$$

$$I_3 = 760000 / (20000 * \sqrt{3}) = 22 \text{ A}$$

$$I_4 = 103000 / (20000 * \sqrt{3}) = 29,767 \text{ A}$$

$$I_5 = 160000 / (20000 * \sqrt{3}) = 4,62 \text{ A}$$

$$I_6 = 800000 / (20000 * \sqrt{3}) = 23,12 \text{ A}$$

$$I_7 = 272000 / (20000 * \sqrt{3}) = 78,60 \text{ A}$$

$$I_7 = 160000 / (20000 * \sqrt{3}) = 4,624 \text{ A}$$

$$I_8 = 250000 / (20000 * \sqrt{3}) = 7,225 \text{ A}$$

$$I_9 = 410000 / (20000 * \sqrt{3}) = 11,9 \text{ A}$$

$$I_{10} = 160000 / (20000 * \sqrt{3}) = 4,624 \text{ A}$$

$$I_{11} = 500000 / (20000 * \sqrt{3}) = 14,5 \text{ A}$$

$$I_{12} = 160000 / (20000 * \sqrt{3}) = 4,624 \text{ A}$$

$$I_{13} = 128000 / (20000 * \sqrt{3}) = 37 \text{ A}$$

$$I_{14} = 250000 / (20000 * \sqrt{3}) = 7,225 \text{ A}$$

$$I_{15} = 100000 / (20000 * \sqrt{3}) = 28,9 \text{ A}$$

$$I_{16} = 800000 / (20000 * \sqrt{3}) = 23,12 \text{ A}$$

$$I_{17} = 250000 / (20000 * \sqrt{3}) = 7,225 \text{ A}$$

$$I_{18} = 250000 / (20000 * \sqrt{3}) = 7,225 \text{ A}$$

$$I_{19} = 500000 / (20000 * \sqrt{3}) = 14,45 \text{ A}$$

$$I_{20} = 660000 / (20000 * \sqrt{3}) = 19,07 \text{ A}$$

$$I_{21} = 240000 / (20000 * \sqrt{3}) = 69,33 \text{ A}$$

$$I_{22} = 160000 / (20000 * \sqrt{3}) = 4,624 \text{ A}$$

$$I_{23} = 250000 / (20000 * \sqrt{3}) = 7,225 \text{ A}$$

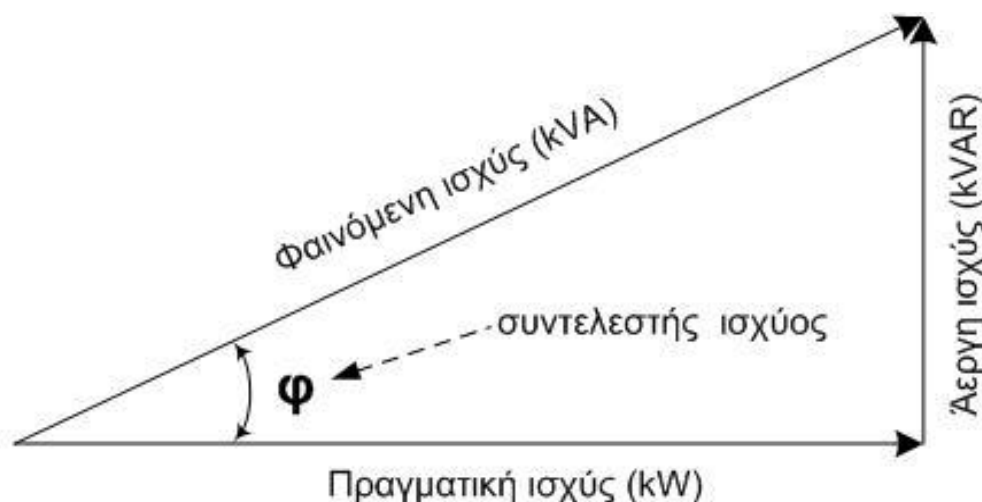
$$I_{24} = 660000 / (20000 * \sqrt{3}) = 19,07 \text{ A}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο



Γενικά περί αντιστάθμισης με χρήση πυκνωτών

Σκοπός της αντιστάθμισης είναι η μείωση της αέργου ισχύος που απορροφά μια ηλεκτρική εγκατάσταση από τη ΔΕΗ, έτσι ώστε η πραγματική ισχύς να πλησιάσει όσο το δυνατόν την φαινόμενη και άρα ο συντελεστής ισχύος να πλησιάσει τη μονάδα.



Η αντιστάθμιση επιτυγχάνεται κυρίως με τη χρήση πυκνωτών, που τοποθετούνται παράλληλα με τα επαγωγικά φορτία, έτσι ώστε η ενέργεια που είναι απαραίτητη για τη δημιουργία των μαγνητικών τους πεδίων να μην παλινδρομεί μεταξύ ΔΕΗ και εγκατάστασης αλλά μεταξύ των πηνίων και των πυκνωτών της ίδιας της εγκατάστασης. Οι πυκνωτές δηλαδή παρέχουν στα πηνία την ενέργεια που χρειάζονται κατά τη φάση της δημιουργίας των μαγνητικών τους πεδίων και αποθηκεύουν την ενέργεια που επιστρέφουν τα πηνία όταν τα πεδία τους καταρρέουν για να τους την δώσουν ξανά στον επόμενο κύκλο δημιουργίας – κατάρρευσης κ.ο.κ.

Η αντιστάθμιση με την χρήση πυκνωτών όπου είναι και το αντικείμενο μελέτης μας είναι η πιο ευρέως διαδεδομένη λύση. Οι πυκνωτές αντιστάθμισης άεργων φορτίων για μια τυπική κατοικία μπορούν να τοποθετηθούν:

- Στον κεντρικό πίνακα της ηλεκτρικής εγκατάστασης της κατοικίας.
- Στην συσκευή που χρήζει διόρθωσης του συντελεστή ισχύος.

Στην πρώτη περίπτωση η τοποθέτηση είναι ευχερής αλλά έχει το σοβαρό μειονέκτημα της μόνιμης σύνδεσης του πυκνωτή και τις ώρες που δεν απαιτείται. Η ύπαρξη αυτοματισμού που να αποφασίζει για την σύνδεση και την αποσύνδεση του πυκνωτή θα πολλαπλασίαζε το κόστος. Η δεύτερη περίπτωση είναι αυτή που θα πρέπει να προτιμηθεί. Δεν έχει τα μειονεκτήματα της πρώτης αλλά, κατά περίπτωση, μπορεί να παρουσιάσει σχετικά αυξημένο κόστος τοποθέτησης.

Αντιστάθμιση με διαφορετικών ειδών πυκνωτές

i. Αντιστάθμιση με στρεφόμενους πυκνωτές

Οι στρεφόμενοι πυκνωτές είναι σύγχρονες γεννήτριες, ειδικά σχεδιασμένες για να παρέχουν άεργο ισχύ στα δίκτυα μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας. Έχουν όλους, τους απαιτούμενους για την καλή τους λειτουργία μηχανισμούς με τους οποίους είναι εξοπλισμένες οι γεννήτριες των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι παραπάνω γεννήτριες εγκαθίστανται στο τέλος γραμμών μεταφοράς μεγάλων αποστάσεων, σε σημαντικούς υποσταθμούς μεταφοράς και σε σταθμούς μετατροπής υψηλής εναλλασσόμενης τάσης. Μικροί στρεφόμενοι πυκνωτές χρησιμοποιούνται σε υψηλής ισχύος βιομηχανικά δίκτυα για την αύξηση της ισχύος βραχυκύκλωσης.

Η παρεχόμενη ισχύς από στρεφόμενους πυκνωτές υπόκειται σε συνεχή έλεγχο. Ο χρόνος απόκρισης είναι μερικά δευτερόλεπτα και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Οι στρεφόμενοι πυκνωτές αποσύρονται σταδιακά τα τελευταία χρόνια και αντικαθίστανται από τους στατούς αντισταθμιστές ισχύος οι οποίοι είναι φθηνότεροι και έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

ii. Στατοί αντισταθμιστές άεργου ισχύος

Η τεχνολογία των στατών αντισταθμιστών βασίζεται σε ημιαγωγικούς διακόπτες υψηλής διακοπτικής συχνότητας. Οι στατοί αντισταθμιστές συνδυάζουν τους συμβατικούς πυκνωτές και αυτεπαγωγές με την διακοπτική ικανότητα. Ως διακόπτες χρησιμοποιούνται thyristors. Η μεγάλη διακοπτική συχνότητα διασφαλίζει πλεονεκτήματα όπως συνεχή, γρήγορο και ακριβό έλεγχο της τάσης καθώς και εξάλειψη των μεταβατικών φαινομένων(υπερτάσεις).

Οι εφαρμογές με στατούς αντισταθμιστές ισχύος απαιτούν την εγκατάσταση φίλτρων για τη μείωση της έγχυσης ανώτερων αρμονικών που παράγονται από τις διακοπές του ρεύματος, στο δίκτυο ισχύος. Η ικανότητα απόδοσης άεργου ισχύος περιορίζεται από την χωρητικότητα των πυκνωτών.

Η αντιστάθμιση Άεργου Ισχύος με στατούς αντισταθμιστές ισχύος συνίσταται για μεγάλους καταναλωτές, στη μέση ή στη χαμηλή τάση. Τα συστήματα αυτά έχουν πολλά πλεονεκτήματα όπως:

- Καλύτερη δυναμική συμπεριφορά (πολύ γρήγορη απόκριση για μη σταθερές καταστάσεις φορτίων).
- Σχετικά χαμηλό κόστος επένδυσης.
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- Ενσωματώνουν τον έλεγχο πυκνωτών αντιστάθμισης.

iii. Σύγχρονοι στατοί αντισταθμιστές άεργου ισχύος

Οι σύγχρονοι στατοί αντισταθμιστές άεργου ισχύος είναι μονάδες που έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν ή και να απορροφούν άεργο ισχύ. Αντί για thyristors ως διακόπτες, πυκνωτές και αυτεπαγωγές που χρησιμοποιούνται στους προηγούμενους εδώ χρησιμοποιούνται συσκευές ηλεκτρονικών ισχύος για να συνθέσουν την άεργο ισχύ στην έξοδό τους.

Η άεργος ισχύς με τις δυνατότητες που μας δίνει η σημερινή εξέλιξη της τεχνολογίας μπορεί να καταπολεμηθεί αρκετά εύκολα. Τα οφέλη που προκύπτουν, αφορούν την εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Εδώ και αρκετά χρόνια έχει εκδοθεί οδηγία για την ρύθμιση της άεργου ισχύος σε δημόσια κτίρια και υπηρεσίες. Σε ιδιωτικά κτίρια, υπάρχει μόνο οδηγία ρύθμισης άεργου ισχύος μόνο για τους ανελκυστήρες τους.

Τοποθέτηση πυκνωτών σε απομακρυσμένο σημείο της γραμμής όπου η τάση είναι χαμηλή

Απο την αρχή μέχρι τον εικοστό τέταρτο κλάδο υπολογίσαμε την πτώση τάσης και βρήκαμε τα παρακάτω

$$\Delta U_{0-7\Delta 7} = \Delta U_{0-7\Delta 7} - I_c * X = 419,7 - (17,34 * 0,334 * 2904 / 1000) = 419,7 - 16,81 = 402,89 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-7\Delta 7} \% = \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 402,89 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 402,89 / 11547,005 * 100 = 3,49 \%$$

$$\Delta U_{0-15E} = \Delta U_{0-15E} - I_c * X = 593,01 - (17,34 * 0,334 * 4202 / 1000) = 593,01 - 24,33 = 568,67 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-15E} \% = \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 568,67 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 568,67 / 11547,005 * 100 = 4,92 \%$$

$$\Delta U_{0-20\Delta} = \Delta U_{0-20\Delta} - I_c * X = 672,66 - (17,34 * 0,334 * 5011 / 1000) = 672,66 - 29,02 = 643,63$$

$$\Delta U_{0-20\Delta} \% = \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 643,63 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 643,63 / 11547,005 * 100 = 5,57 \%$$

$$\Delta U_{0-24\Delta} = \Delta U_{0-24\Delta} - I_c * X = 692,92 - (17,34 * 0,334 * 5272 / 1000) = 692,92 - 30,53 = 662,38$$

$$\Delta U_{0-24\Delta} \% = \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 662,38 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 662,38 / 11547,005 * 100 = 5,73 \%$$

Επειδή η συνολική πτώση τάσης έχει υπολογιστεί αρκετά κάτω από την προκαθορισμένη τιμή (8%) δεν χρειάζεται να γίνει διόρθωση του συντελεστή ισχύος.

Για να μπορέσουμε να κάνουμε διόρθωση του συντελεστή ισχύος τοποθετήσαμε εικοστό πέμπτο κλάδο σε δυο διαφορετικές αποστάσεις

Με τον εικοστό πέμπτο κλάδο στα 500 m και φορτίο 5MVA υπολογίσαμε την νέα πτώση τάσης και τον συντελεστή ισχύος και παραθέτουμε τα αποτελέσματα

$$\Delta U_{0-25} = 711,69 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-25} \% = [U / U_{\gamma}] * 100 = [711,69 / (20000 / \sqrt{3})] * 100 = (711,69 / 11547,005) * 100 =>$$

$$\Delta U_{0-25} \% = 6,16 \%$$

Με την προσθήκη πυκνωτή θα έχουμε την νέα πτώση τάσης και τον νέο διορθωμένο συντελεστή ισχύος

$$\Delta U'_{0-25} = \Delta U_{0-25} - I_c * X$$

$$\Delta U'_{0-25} = 711,69 - 17,34 * ((0,334 * 5349) / 1000)$$

$$\Delta U'_{0-25} = 680,71 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-25} \% = [U / U_\gamma] * 100 = [680,71 / (20000 / \sqrt{3})] * 100 = (680,71 / 11547,005) * 100 \Rightarrow$$

$$\Delta U'_{0-25} \% = 5,89\%$$

Με τον εικοστό πέμπτο κλάδο στα 5000 m και φορτίο 5MVA υπολογίσαμε την νέα πτώση τάσης και τον συντελεστή ισχύος και παραθέτουμε τα αποτελέσματα

$$\Delta U_{0-25} = 221,03 + 16,74 + 37,86 + 106,27 + 37,80 + 37,55 + 35,40 + 17,71 + 43,15 +$$

$$+ 3,44 + 15,62 + 1,33 + 3,31 + 41,95 + 43,77 + 4,04 + 13,63 + 6,77 + 243,28 \Rightarrow$$

$$\Delta U_{0-25} = 930,65 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-25} \% = [U / U_\gamma] * 100 = [930,65 / (20000 / \sqrt{3})] * 100 = (930,65 / 11547,005) * 100 \Rightarrow$$

$$\Delta U_{0-25} \% = 8,05 \%$$

Με την προσθήκη πυκνωτή θα έχουμε την νέα πτώση τάσης και τον νέο διορθωμένο συντελεστή ισχύος

$$\Delta U'_{0-25} = \Delta U_{0-25} - I_c * X$$

$$\Delta U'_{0-25} = 930,65 - 17,34 * ((0,334 * 9848) / 1000)$$

$$\Delta U'_{0-25} = 873,61 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-25} \% = [U / U_\gamma] * 100 = [873,61 / (20000 / \sqrt{3})] * 100 = (873,61 / 11547,005) * 100 \Rightarrow$$

$$\Delta U'_{0-25} \% = 7,56 \%$$

Για την απλοποίηση των πράξεων απλοποιήθηκαν μερικοί κλάδοι.

Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για την διαδικασία της απλοποίησης είναι:

$$I = S / (V_{\pi} * \sqrt{3})$$

Όπου I: ένταση του ρεύματος σε A

S: Φαινόμενη ισχύς σε KVA

$$I_1 = 400000 / (20000 * \sqrt{3}) = 11,56 \text{ A}$$

$$I_2 = 630000 / (20000 * \sqrt{3}) = 18,207 \text{ A}$$

$$I_3 = 760000 / (20000 * \sqrt{3}) = 22 \text{ A}$$

$$I_4 = 103000 / (20000 * \sqrt{3}) = 29,767 \text{ A}$$

$$I_5 = 160000 / (20000 * \sqrt{3}) = 4,62 \text{ A}$$

$$I_6 = 800000 / (20000 * \sqrt{3}) = 23,12 \text{ A}$$

$$I_7 = 272000 / (20000 * \sqrt{3}) = 78,60 \text{ A}$$

$$I_7 = 160000 / (20000 * \sqrt{3}) = 4,624 \text{ A}$$

$$I_8 = 250000 / (20000 * \sqrt{3}) = 7,225 \text{ A}$$

$$I_9 = 410000 / (20000 * \sqrt{3}) = 11,9 \text{ A}$$

$$I_{10} = 160000 / (20000 * \sqrt{3}) = 4,624 \text{ A}$$

$$I_{11} = 500000 / (20000 * \sqrt{3}) = 14,5 \text{ A}$$

$$I_{12} = 160000 / (20000 * \sqrt{3}) = 4,624 \text{ A}$$

$$I_{13} = 128000 / (20000 * \sqrt{3}) = 37 \text{ A}$$

$$I_{14} = 250000 / (20000 * \sqrt{3}) = 7,225 \text{ A}$$

$$I_{15} = 100000 / (20000 * \sqrt{3}) = 28,9 \text{ A}$$

$$I_{16} = 800000 / (20000 * \sqrt{3}) = 23,12 \text{ A}$$

$$I_{17} = 250000 / (20000 * \sqrt{3}) = 7,225 \text{ A}$$

$$I_{18} = 250000 / (20000 * \sqrt{3}) = 7,225 \text{ A}$$

$$I_{19} = 500000 / (20000 * \sqrt{3}) = 14,45 \text{ A}$$

$$I_{20} = 660000 / (20000 * \sqrt{3}) = 19,07 \text{ A}$$

$$I_{21} = 240000 / (20000 * \sqrt{3}) = 69,33 \text{ A}$$

$$I_{22} = 160000 / (20000 * \sqrt{3}) = 4,624 \text{ A}$$

$$I_{23} = 250000 / (20000 * \sqrt{3}) = 7,225 \text{ A}$$

$$I_{24} = 660000 / (20000 * \sqrt{3}) = 19,07 \text{ A}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την τοποθέτηση πυκνωτή στο τέλος της υπό μελέτης γραμμής μεταφοράς έτσι ώστε η ενέργεια που είναι απαραίτητη για τη δημιουργία των μαγνητικών τους πεδίων να μην παλινδρομεί μεταξύ ΔΕΗ και εγκατάστασης αλλά μεταξύ των πηνίων και των πυκνωτών της ίδιας της εγκατάστασης, παρέχοντας δηλαδή στα πηνία την ενέργεια που χρειάζονται κατά τη φάση της δημιουργίας των μαγνητικών τους πεδίων και αποθηκεύουν την ενέργεια που επιστρέφουν τα πηνία όταν τα πεδία τους καταρρέουν για να τους την δώσουν ξανά στον επόμενο κύκλο δημιουργίας, αλλά και με την επέκταση του μήκους της γραμμής παρατηρήσαμε την βελτίωση του συντελεστή Ισχύος στην γραμμή που μελετάμε καθώς και την μείωση της πτώσης τάσης κατά μήκος της γραμμής.

Πιο συγκεκριμένα,

Υπολογισμός πτώσης τάσης και του συντελεστή ισχύος χωρίς πυκνωτή στο τέλος της γραμμής για τους κλάδους από τον πρώτο μέχρι τον εικοστό τέταρτο

$$\Delta U_{0-7\Delta 7} = \Delta U_{0-2} + \Delta U_{2-3} + \Delta U_{3-4} + \Delta U_{4-6} + \Delta U_{6-7} + \Delta U_{7-7\Delta 7} = 221,03 + 16,74 + 37,86 + 106,27 + 37,80 + 10,38 = 430,08$$

$$\Delta U_{0-7} = \Delta U_{0-7\Delta 7} - \Delta U_{7-7\Delta 7} = 430,08 - 10,38 = 419,7$$

$$\Delta U_{0-7\Delta 7} \% = \Delta U / U\gamma * 100 = 430,08 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 430,08 / 11547,005 * 100 = 3,72 \%$$

$$\Delta U_{0-15E} = \Delta U_{0-7} + \Delta U_{7-15} + \Delta U_{15-15E} = 419,7 + 152,86 + 20,456 = 593,01$$

$$\Delta U_{0-15E} \% = \Delta U / U\gamma * 100 = 593,01 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 593,01 / 11547,005 * 100 = 5,13 \%$$

$$\Delta U_{0-20\Delta} = \Delta U_{0-7} + \Delta U_{7-15} + \Delta U_{15-20} + \Delta U_{20-20\Delta} = 419,7 + 152,86 + 90,36 + 9,74 = 672,66$$

$$\Delta U_{0-20\Delta} \% = \Delta U / U\gamma * 100 = 672,66 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 672,66 / 11547,005 * 100 = 5,82 \%$$

$$\Delta U_{0-24\Delta} = \Delta U_{0-7} + \Delta U_{7-15} + \Delta U_{15-20} + \Delta U_{20-24} + \Delta U_{24-24\Delta} = 419,7 + 152,86 + 90,36 + 24,44 + 5,5642 = 692,92$$

$$\Delta U_{0-24\Delta} \% = \Delta U / U\gamma * 100 = 692,92 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 692,92 / 11547,005 * 100 = 6 \%$$

Υπολογισμός πτώσης τάσης και συντελεστή ισχύος χωρίς πυκνωτή στο τέλος της γραμμής για τους κλάδους από τον πρώτο μέχρι τον εικοστό πέμπτο για αποστάσεις του εικοστού πέμπτου κλάδου στα 500m και στα 5000m

Για απόσταση του εικοστού πέμπτου κλάδου στα 500m

$$\Delta U_{0-25} = 221,03 + 16,74 + 37,86 + 106,27 + 37,80 + 37,55 + 35,40 + 17,71 + 43,15 + 3,44 + 15,62 + 1,33 + 3,31 + 41,95 + 43,77 + 4,04 + 13,63 + 6,77 + 24,32 \Rightarrow$$

$$\Delta U_{0-25} = 711,69 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-25} \% = [U / U_{\gamma}] * 100 = [711,69 / (20000 / \sqrt{3})] * 100 = (711,69 / 11547,005) * 100 \Rightarrow$$

$$\Delta U_{0-25} \% = 6,16 \%$$

Για απόσταση του εικοστού πέμπτου κλάδου στα 5000m

$$\Delta U_{0-25} = 221,03 + 16,74 + 37,86 + 106,27 + 37,80 + 37,55 + 35,40 + 17,71 + 43,15 + 3,44 + 15,62 + 1,33 + 3,31 + 41,95 + 43,77 + 4,04 + 13,63 + 6,77 + 243,28 \Rightarrow$$

$$\Delta U_{0-25} = 930,65 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-25} \% = [U / U_{\gamma}] * 100 = [930,65 / (20000 / \sqrt{3})] * 100 = (930,65 / 11547,005) * 100 \Rightarrow$$

$$\Delta U_{0-25} \% = 8,05 \%$$

Υπολογισμός πτώσης τάσης με πυκνωτή στο τέλος της γραμμής για τους κλάδους από τον πρώτο μέχρι τον εικοστό τέταρτο

$$\Delta U_{0-7\Delta 7} = \Delta U_{0-7\Delta 7} - I_c * X = 419,7 - (17,34 * 0,334 * 2904 / 1000) = 419,7 - 16,81 = 402,89 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-7\Delta 7} \% = \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 402,89 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 402,89 / 11547,005 * 100 = 3,49 \%$$

$$\Delta U_{0-15E} = \Delta U_{0-15E} - I_c * X = 593,01 - (17,34 * 0,334 * 4202 / 1000) = 593,01 - 24,33 = 568,67 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-15E} \% = \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 568,67 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 568,67 / 11547,005 * 100 = 4,92 \%$$

$$\Delta U_{0-20\Delta} = \Delta U_{0-20\Delta} - I_c * X = 672,66 - (17,34 * 0,334 * 5011 / 1000) = 672,66 - 29,02 = 643,63$$

$$\Delta U_{0-20\Delta} \% = \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 643,63 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 643,63 / 11547,005 * 100 = 5,57 \%$$

$$\Delta U_{0-24\Delta} = \Delta U_{0-24\Delta} - I_c * X = 692,92 - (17,34 * 0,334 * 5272 / 1000) = 692,92 - 30,53 = 662,38$$

$$\Delta U_{0-24\Delta} \% = \Delta U / U_{\gamma} * 100 = 662,38 / (20000 / \sqrt{3}) * 100 = 662,38 / 11547,005 * 100 = 5,73 \%$$

Υπολογισμός πτώσης τάσης και συντελεστή ισχύος με πυκνωτή στο τέλος της γραμμής για τους κλάδους από τον πρώτο μέχρι τον εικοστό πέμπτο για αποστάσεις του εικοστού πέμπτου κλάδου στα 500m και στα 5000m

Για απόσταση του εικοστού πέμπτου κλάδου στα 500m

$$\Delta U'_{0-25} = \Delta U_{0-25} - I_c \cdot X$$

$$\Delta U'_{0-25} = 711,69 - 17,34 \cdot ((0,334 \cdot 5349) / 1000)$$

$$\Delta U'_{0-25} = 680,71 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-25} \% = [U / U_\gamma] \cdot 100 = [680,71 / (20000 / \sqrt{3})] \cdot 100 = (680,71 / 11547,005) \cdot 100 \Rightarrow$$

$$\Delta U'_{0-25} \% = 5,89\%$$

Για απόσταση του εικοστού πέμπτου κλάδου στα 5000m

$$\Delta U'_{0-25} = \Delta U_{0-25} - I_c \cdot X$$

$$\Delta U'_{0-25} = 930,65 - 17,34 \cdot ((0,334 \cdot 9848) / 1000)$$

$$\Delta U'_{0-25} = 873,61 \text{ V}$$

$$\Delta U_{0-25} \% = [U / U_\gamma] \cdot 100 = [873,61 / (20000 / \sqrt{3})] \cdot 100 = (873,61 / 11547,005) \cdot 100 \Rightarrow$$

$$\Delta U'_{0-25} \% = 7,56 \%$$

Οφέλη της βελτίωσης του συντελεστή ισχύος

Τα οφέλη που παρέχονται με την βελτίωση του συντελεστή ισχύος στο δίκτυο μεταφοράς και διανομής με την τοποθέτηση πυκνωτών αντιστάθμισης είναι τα παρακάτω:

- Μείωση της χρεωστέας Μέγιστης Ζήτησης που εμφανίζεται σε κάποια από τα βιομηχανικά τιμολόγια πελατών μέσης τάσεως της ΔΕΗ, με αποτέλεσμα μικρότερους μηνιαίους λογαριασμούς.
- Μείωση των απωλειών ισχύος στο καλώδιο παροχής (από το μετρητή της ΔΕΗ μιας εγκατάστασης μέχρι τη συστοιχία των πυκνωτών) λόγω της μείωσης του απορροφούμενου ρεύματος.
- Μείωση του ρεύματος που ρέει στους αγωγούς του συστήματος παραγωγής - διανομής της ΔΕΗ (μείωση ζήτησης) με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ικανότητα απόκρισής του σε αυξημένα φορτία και τη σημαντική μείωση απωλειών ισχύος στα δίκτυα Μεταφοράς και Διανομής.
- Εξοικονόμηση ενέργειας η οποία οδηγεί ταυτόχρονα και στην ελάττωση της εκπομπής ρύπων προς το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας: Βασιλείου Κ. Παπαδιά
2. Παραγωγή-Μεταφορά-Διανομή μέτρηση και εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας: Βασιλική Ν. Ξάνθου
3. Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις καταναλωτών Μ.Τ και Χ.Τ.: Ντοκόπουλος Πέτρος
4. Σημειώσεις ΠΜΔΗΕ ΙΙ
5. Σημειώσεις βιομηχανικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας
6. POLYCAB WIRES PVT LTD TECHNICAL DETAILS
7. Διπλωματική εργασία Κωνσταντίνας Α. Γκατζιούρα με τίτλο αντιστάθμιση αέργου ισχύος με έλεγχο πυκνωτών μέσω στατικών ηλεκτρονικών διακοπών
8. <http://www.buildnet.gr>
9. <http://www/eucat.gr>
10. <http://wwcables.com>
11. <http://www.fujikura.com.sg>
12. <http://en.wikipedia.org>