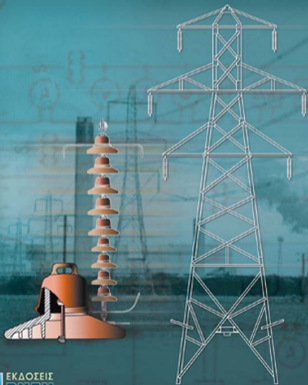


ΒΑΣΙΛΗ Ν. ΞΑΝΘΟΥ
Μηχανολόγου Ηλεκτρολόγου Ε.Μ.Π.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ - ΜΕΤΑΦΟΡΑ - ΔΙΑΝΟΜΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Κάθε γνήσιο αντίτυπο υπογράφεται από το συγγραφέα

ISBN 960-431-503-X

© Copyright: Β.Ν. Ξανθός, Εκδόσεις Ζήτη, Ιανουάριος 1999, Θεσσαλονίκη
Β' έκδοση διορθωμένη - συμπληρωμένη: Οκτώβριος 2003

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του Ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη και συγγραφέα κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

Windows® 95 – Windows®98 – Windows®2000 – Windows®XP
και Microsoft Excel®97, 2000, 2002 είναι σήματα κατατεθέντα της Microsoft Corporation.



Φωτοστοιχειοθεσία
Εκτύπωση

Π. ΖΗΤΗ & Σια ΟΕ

18ο χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας
Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19
Τηλ.: 23920 72.222 (5 γραμ.) - Fax: 23920 72.229
e-mail: info@ziti.gr

Βιβλιοπωλείο

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ

Αρμενοπούλου 27 • 546 35 Θεσσαλονίκη
Τηλ. 2310 203.720, Fax 2310 211.305
e-mail: sales@ziti.gr

www.ziti.gr

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την εργασία μας αυτή, δεν στοχεύουμε στην παρουσίαση ενός επιστημονικού συγγράμματος, που είναι άλλωστε έργο των Πανεπιστημιακών Δασκάλων.

Εμείς προσπαθήσαμε να ιδούμε τα πράγματα από τη σκοπιά του νέου Ηλεκτρολόγου Μηχανικού, που θέλει να συνδέσει τη θεωρία με το πρόβλημα που τον απασχολεί. Πολλές φορές, ενώ έχει υπόψη τη θεωρία, αντιμετωπίζει δυσκολίες στο πεδίο της εφαρμογής. Πολλοί λένε ότι «από τη θεωρία στην πράξη, υπάρχει απόσταση». Πιστεύουμε ότι η «απόσταση» αυτή μπορεί να μικρύνει πάρα πολύ αν συνυπάσχουν δύο προϋποθέσεις:

- (α) πλήρης εμπέδωση της θεωρίας και
- (β) μελέτη πολλών και εύστοχων παραδειγμάτων από καθημερινά προβλήματα με τις λύσεις τους.

Το βιβλίο αυτό πιστεύουμε ότι καλύπτει τη δεύτερη προϋπόθεση και, για το λόγο αυτό, αποτελεί ένα σημαντικό στήριγμα στην προσπάθεια του νέου Μηχανικού να αντιμετωπίσει την καθημερινή πράξη.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται, σε όλο τον κόσμο, μεγάλη προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος και εξοικονόμησης ενέργειας. Ο σημερινός Μηχανικός προωστατεί στην εξοικονόμηση ενέργειας και συμμετέχει αποφασιστικά στην προστασία του περιβάλλοντος. Θέλει να είναι βέβαιος ότι η εγκατάσταση που μελετά, που συντηρεί ή που επιβλέπει τη λειτουργία της, δεν προκαλεί σπατάλη ενέργειας και είναι όσο το δυνατό αποδοτική.

Εξ άλλου, τα μετρητικά συστήματα των μεγάλων καταναλωτών ηλεκτρικής ενέργειας είναι σύνθετα σύνολα ηλεκτρικών συσκευών και οργάνων, στα οποία μπορεί να εκδηλωθεί οποιαδήποτε ανωμαλία ή βλάβη. Επί πλέον, μπορεί να υπάρχει και ανθρώπινο λάθος στη συνδεσμολογία ή κάπου αλλού. Στην περίπτωση αυτή, η μέτρηση ενέργειας και ισχύος είναι λανθασμένη, όπως λανθασμένοι είναι και οι λογαριασμοί του ηλεκτρικού ρεύματος (το ύψος ενός μηνιαίου λογαριασμού μεγάλου καταναλωτή είναι μερικά εκατομμύρια δρχ.), οι οποίοι πρέπει να διορθωθούν.

Ο Μηχανικός, που καλείται να δώσει λύσεις σε αυτά τα προβλήματα, θα βρει, στο βιβλίο αυτό την αναγκαία καθοδήγηση.

Τέλος, ο φοιτητής θα βρει εδώ πολλά ενδιαφέροντα στοιχεία, συμπληρωματικά των όσων διδάσκεται, αλλά και τρόπους επίλυσης θεμάτων, που του έχουν δοθεί για επεξεργασία. Επί πλέον, θα ιδεί γιατί σπουδάζει σήμερα και πόσο η διδασκαλία των Καθηγητών του είναι αποφασιστικής σημασίας για το επαγγελματικό του μέλλον.

Κλείνοντας αυτό τον πρόλογο, εκφράζω τις ολόθερμες ευχαριστίες μου στη σύζυγό μου Καλλιόπη, που στάθηκε με αφοσίωση στο πλευρό μου και δημιούργησε το κατάλληλο κλίμα, μέσα στο οποίο ευδοκίμησε αυτή η πνευματική προσπάθεια.

Ευχαριστίες οφείλω και στο διπλωματούχο Ηλεκτρολόγο Μηχανικό Γιώργο Ξανθό, ο οποίος, χρησιμοποιώντας τις σημειώσεις του, σαν βοήθημα στη δουλειά του, πίστεψε ότι αυτές μπορούν να γίνουν βιβλίο και πέτυχε να κινήσει το ενδιαφέρον του εκδότη.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τον Φυσικό Διπλωματούχο Μεταπτυχιακού Η/Υ Γιάννη Ορκόπουλο, που συνέταξε και παρουσίασε τα λογιστικά φύλλα “Microsoft Excel 97” για το πρόγραμμα Η/Υ.

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος, 1999

B.N. Ξανθός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή

- | | | |
|------|---|----|
| 1.1. | Πλεονεκτήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή τάση..... | 17 |
| 1.2. | Σύγκριση του κόστους των αγωγών στη μεταφορά με Σ.Ρ. και Ε.Ρ..... | 18 |
| 1.3. | Πλεονεκτήματα του εναλλασσόμενου ρεύματος..... | 19 |
| 1.4. | Μειονεκτήματα του εναλλασσόμενου ρεύματος..... | 19 |

2. Διανομή

- | | | |
|-------|--|----|
| 2.1. | Σύγκριση βάρους αγωγών σε δίκτυο διανομής Σ.Ρ. 3 αγωγών και τριφασικό 4 αγωγών | 21 |
| 2.2. | Σύγκριση βάρους αγωγών σε δίκτυο διανομής Σ.Ρ. 2 αγωγών και τριφασικό 4 αγωγών με διατομή ουδέτερου τη μισή των φάσεων | 22 |
| 2.3. | Εναέριο δίκτυο χαμηλής τάσης με τροφοδοσία από τα δύο άκρα..... | 22 |
| 2.4. | Υπόγειο δίκτυο 220/380 V σε διπλό βρόχο..... | 24 |
| 2.5. | Γραμμή διανομής με ομοιόμορφη φόρτιση | 25 |
| 2.6. | Υπόγειο καλώδιο με ομοιόμορφη φόρτιση | 27 |
| 2.7. | Υπόγειο καλώδιο 220/380 V με συσσωρευμένα φορτία | 27 |
| 2.8. | Εναέρια γραμμή διανομής με συγκεντρωμένα φορτία | 28 |
| 2.9. | Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων | 28 |
| 2.10. | Γραμμές διανομής με μεταβλητή διατομή | 30 |
| 2.11. | Βέλτιστη θέση σημείου τροφοδοσίας | 35 |
| 2.12. | Επιμερισμός φορτίου μεταξύ παραλλήλων γραμμών | 36 |
| 2.13. | Διάφορα θέματα διανομής | 37 |
| 2.14. | Τυποποίηση τάσεων και μετασχηματιστών | 42 |
| 2.15. | Αγωγοί εναέριων γραμμών Μ.Τ. | 42 |
| 2.16. | Καλώδια υπόγειων γραμμών Μ.Τ. | 42 |
| 2.17. | Αγωγοί εναέριων δικτύων 230/400 V | 43 |
| 2.18. | Καλώδια υπόγειων δικτύων 230/400 V | 43 |
| 2.19. | Μετασχηματιστές διανομής 15/0,4 KV | 43 |
| 2.20. | Μετασχηματιστές διανομής 20/0,4 KV | 44 |

3. Γραμμές μεταφοράς μικρού μήκους

3.1. Μονοφασική γραμμή	45
3.2. Τριφασική γραμμή	47
3.3. Διάφορα θέματα γραμμών μικρού μήκους	47
3.4. Διασυνδεδετική γραμμή μεταξύ δύο Σταθμών Παραγωγής	50

4. Γραμμές μεταφοράς μεγάλου μήκους

4.1. Μέθοδος ισοδύναμου Π	53
4.2. Μέθοδος ισοδύναμου Τ	54
4.3. Χρήση ισοδύναμου Π και ισοδύναμου Τ	54
4.4. Βελτιωμένα ισοδύναμα κυκλώματα με συντελεστές διορθώσεως	56
4.5. Άνοδος της τάσης στο τέλος της γραμμής από την απώλεια του φορτίου	57
4.6. Απώλειες ισχύος σε ανοικτή γραμμή	59

5. Γραμμές μεταφοράς μεγάλου μήκους. Ακριβής λύση

5.0. Ανοικτή γραμμή	64
5.1. Βραχυκυκλωμένη γραμμή.....	65
5.2. Χαρακτηριστική ισχύς ή φυσική ισχύς μεταφοράς.....	65
5.3. Διάφορα θέματα γραμμών μεγάλου μήκους	66
5.4. Εξισώσεις Τάσεως και Εντάσεως	72
5.5. Χαρακτηριστικά γραμμών μεταφοράς	74
5.6. Εμπέδηση κύματος και ταχύτητα μεταδόσεως	75

6. Εξισώσεις ισχύος

6.1. Γραμμές με αμελητέα χωρητικότητα	76
6.2. Γραμμές με υπολογίσιμη χωρητικότητα	76
6.3. Ισχύς γραμμής μεγάλου μήκους	79

7. Εξισώσεις του δικτύου

7.1. Οι σταθερές του μετασχηματιστή	82
7.2. Σταθερές της σύγχρονης μηχανής	84
7.3. Δύο δίκτυα συνδεδεμένα σε σειρά	85
7.4. Δύο δίκτυα συνδεδεμένα παράλληλα	85
7.5. Τρία δίκτυα συνδεδεμένα σε σειρά	87
7.6. Διάφορα θέματα δικτύων	88

8. Κυκλικά διαγράμματα ισχύος

- 8.1. Κυκλικά διαγράμματα γραμμών μικρού μήκους98
- 8.2. Κυκλικά διαγράμματα γραμμών μεγάλου μήκους 105
- 8.3. Κυκλικά διαγράμματα γραμμής με σταθερές A, B, C, D 110
- 8.4. Υπολογισμός πτώσης τάσεως με σταθερή τάση παραλαβής 113
- 8.5. Υπολογισμός πτώσης τάσεως με σταθερή τάση αποστολής 115

9. Η ρύθμιση της τάσης

- 9.1. Βαθμωτοί ρυθμιστές τάσεως 117
- 9.2. Σύγχρονοι πυκνωτές 117
- 9.3. Θέμα ρυθμίσεως τάσεως 117
- 9.4. Όρια διακύμανσης της τάσης στα δίκτυα διανομής 121
- 9.5. Ρύθμιση της τάσης στις γραμμές διανομής 124

10. Ευστάθεια του συστήματος

- 10.1. Όρια ισχύος των γραμμών μεταφοράς 128
- 10.2. Ευστάθεια σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας 134
- 10.3. Μεταβατική ευστάθεια 137
- 10.4. Βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη μεταβατική ευστάθεια 138

11. Το φαινόμενο corona

- 11.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την εκκένωση corona 139
- 11.2. Ένταση ηλεκτρικού πεδίου και κρίσιμη τάση διασπάσεως 139
- 11.3. Η φύση της επιφάνειας του αγωγού και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες 141
- 11.4. Απώλεια ισχύος εξ αιτίας της corona 142
- 11.5. Διάφορες περιπτώσεις του φαινομένου corona 143

12. Κατανομή τάσης σε μια άλυσο μονωτήρων αναρτήσεως

- 12.1. Δακτύλιοι εξομαλύνσεως 147
- 12.2. Περιπτώσεις αλύσων με, ή χωρίς, δακτύλιο 147
- 12.3. Γενικευμένος τύπος κατανομής της τάσης σε άλυσο μονωτήρων 149

13. Εναέριες γραμμές. Βασικές αρχές μηχανικής στήριξης

13.1.	Στατική θεώρηση γης γραμμής	151
13.2.	Γραμμή με επικάλυψη πάγου και υπό την επίδραση ανέμου.....	152
13.3.	Υπολογισμός του βέλους κατασκευής της γραμμής	152
13.4.	Θέματα υπολογισμού βέλους	153
13.5.	Γραμμή στηριζόμενη σε διαφορετικά επίπεδα	156

14. Υπόγεια καλώδια

14.1.	Αντοχή σε φορτίο	158
14.2.	Διηλεκτρικές απώλειες	159
14.3.	Διηλεκτρική αντοχή	159
14.4.	Ένταση πεδίου σε μονοπολικό καλώδιο	159
14.5.	Οικονομική διάμετρος αγωγού	160
14.6.	Χρήση μονώσεως με μεταβλητή διηλεκτρική σταθερά	161
14.7.	Ιονισμός σε καλώδια με μόνωση από εμποτισμένο χαρτί	162

15. Σταθερές R, L, C των γραμμών μεταφοράς

15.1.	Αντίσταση	163
15.2.	Αυτεπαγωγή	164
15.3.	Χωρητικότητα	165
15.4.	Διάφορα θέματα καλωδίων και υπολογισμού R, L, C	167

16. Οδεύοντα κύματα

16.1.	Φυσική ταχύτητα μεταδόσεως.....	170
16.2.	Κυματική εμπέδηση	171
16.3.	Μετάδοση και ανάκλαση των οδευόντων κυμάτων	171
16.4.	Ζεύξη εναερίων και καλωδιακών γραμμών	172
16.5.	Μεταβατικά φαινόμενα οφειλόμενα σε απότομη διακοπή φορτίου	172
16.6.	Βλάβη μονώσεως της γραμμής	172
16.7.	Διαδοχικά τόξα προς γη	173
16.8.	Κεραυνοί	173
16.9.	Προστασία από αφύσικες αυξήσεις τάσεως	173
16.10.	Διάφορα θέματα οδευόντων κυμάτων	175

17. Υπολογισμοί βραχυκυκλωμάτων

17.1. Βασική τάση	179
17.2. Βασικά KVA	179
17.3. Περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων	180
17.4. Σχέση μεταξύ μιγαδικής ισχύος και τάσεων αποστολής και παραλαβής	193

18. Διάφορα θέματα δικτύων

18.1. – 18.17. Θέματα δικτύων	194
-------------------------------------	-----

19. Σύγχρονη τριφασική γεννήτρια

19.1. Η αντίδραση της περιελίξεως	220
19.2. Χαρακτηριστικές καμπύλες	220
19.3. Σύγχρονη εμπέδηση	221
19.4. Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων της γεννήτριας	222
19.5. Πτώση τάσεως στη γεννήτρια	223
19.6. Σύγχρονες γεννήτριες με εξέχοντες πόλους	224
19.7. Αναγκαίες συνθήκες για επιτυχή παράλληλη λειτουργία	225
19.8. Η διέγερση	226
19.9. Άπειροι ζυγοί	226
19.10. Ισχύς εξόδου γεννήτριας με εξέχοντες πόλους	228

20. Θέματα λειτουργίας της σύγχρονης γεννήτριας

20.1. – 20.22 Θέματα λειτουργίας της σύγχρονης γεννήτριας	229
---	-----

21. Μετασηματιστές

21.1. Μετασηματιστές με δύο τυλίγματα	254
21.2. Αυτομετασηματιστές.....	254
21.3. Θεωρία των μετασηματιστών ισχύος	255
21.4. Παράλληλη λειτουργία μετασηματιστών	257

22. Θέματα λειτουργίας των μετασηματιστών

22.1. - 22.11. Θέματα λειτουργίας των μετασηματιστών	263
--	-----

23. Σύγχρονοι κινητήρες

- 23.1. Το διανυσματικό διάγραμμα του Σ.Κ.275

24. Θέματα λειτουργίας των συγχρόνων κινητήρων

- 24.1. – 24.9. Θέματα λειτουργίας των συγχρόνων κινητήρων277

25. Κυκλικά διαγράμματα συγχρόνων μηχανών

- 25.1. Κυκλικό διάγραμμα σύγχρονου κινητήρα288
25.2. Κυκλικό διάγραμμα σύγχρονης γεννήτριας289

26. Ανάλυση σφαλμάτων στα ηλεκτρικά δίκτυα

- 26.1. Συμμετρικές συνιστώσες291
26.2. Ανάλυση μη συμμετρικού συστήματος εντάσεων293
26.3. Πτώση τάσεως.....293
26.4. Σχέσεις μεταξύ πολικών τάσεων και συμμετρικών συνιστωσών φασικών τάσεων293
26.5. Προσδιορισμός της ομοπολικής συνιστώσας τάσεων295
26.6. Προσδιορισμός της ομοπολικής συνιστώσας εντάσεων.....295
26.7. Προσδιορισμός της ευθείας συνιστώσας τάσεων296
26.8. Προσδιορισμός της αντίστροφης συνιστώσας τάσεων296
26.9. Προσδιορισμός της Z_0 μιας γεννήτριας296
26.10. Προσδιορισμός της Z_2 μιας γεννήτριας296
26.11. Γείωση του ουδέτερου κόμβου πηγής μέσω αντιστάσεως297
26.12. Συμμετρικές συνιστώσες τριών μη συμμετρικών εμπέδησεων297
26.13. Συμμετρικές συνιστώσες μη συμμετρικών αγωγιμοτήτων299
26.14. Υπολογισμός συμμετρικών συνιστωσών πτώσεως τάσεως300
26.15. Τιμές εντάσεων διαφόρων σφαλμάτων305
26.16. Εντάσεις στη ΜΤ από σφάλμα στη ΧΤ Μ/Σ διανομής308
26.17. Συμμετρικές συνιστώσες της εμπέδησης μιας γραμμής311
26.18. Συμμετρικές συνιστώσες της εμπέδησης ενός Μ/Σ ΥΤ/ΜΤ311
26.19. Μέθοδοι υπολογισμού ρευμάτων βραχυκυκλώσεως312
26.20. Υπολογισμός των φασικών τάσεων από τις πολικές313

27. Θέματα υπολογισμού σφαλμάτων στα δίκτυα

27.1.– 27.12. Θέματα υπολογισμού σφαλμάτων στα δίκτυα	315
---	-----

28. Μετρητικό σύστημα καταναλωτών μέσης τάσης

28.1. Στοιχεία του μετρητικού συστήματος	351
28.2. Συμφωνημένη ισχύς καταναλωτού	351
28.3. Παράδειγμα επιλογής Μ/Σ οργάνων	351
28.4. Σχέσεις μετασχηματισμού των Μ/Σ οργάνων	352
28.5. Μετρητές του μετρητικού συστήματος	352
28.6. Συνδεσμολογία μετρητικού συστήματος	352
28.7. Συμμετρικά συστήματα	354
28.8. Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων - εντάσεων στον καταναλωτή	354
28.9. Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων - εντάσεων στους μετρητές	354
28.10. Ομαλές συνθήκες λειτουργίας	355
28.11. Καταγραφόμενη πραγματική ισχύς, υπό ομαλές συνθήκες	355
28.12. Ισχύεις των στοιχείων R και T ως συναρτήσεις της εφφ	356
28.13. Καταγραφόμενη άεργη ισχύς, υπό ομαλές συνθήκες	356
28.14. Άεργες ισχύεις των στοιχείων R και T ως συναρτήσεις της εφφ	357
28.15. Γραφική παράσταση των συναρτήσεων ισχύος και άεργης ισχύος	358
28.16. Καταγραφόμενη πραγματική ενέργεια	359
28.17. Καταγραφόμενη άεργη ενέργεια	359

29. Ανωμαλίες μετρητικών συστημάτων καταναλωτών Μ.Τ.

29.1. Λειτουργία κάτω από συνθήκες ανωμαλίας.....	360
29.2. Εσφαλμένες σχέσεις μετασχηματισμού και συντελεστές διορθώσεως	360
29.3. Ανωμαλίες στους μετρητές	362
29.4. Άλλης φύσεως ανωμαλίες	363

30. Συγκεκριμένες περιπτώσεις ανωμαλιών

30.1. Βραχυκυκλωμένες σπείρες Μ/Σ εντάσεως (φάση T)	364
30.2. Βραχυκυκλωμένες σπείρες Μ/Σ εντάσεως (φάση R)	366

30.3.	Εσφαλμένη σχέση μετασχηματισμού M/Σ εντάσεως στη φάση T	367
30.4.	Εσφαλμένη σχέση μετασχηματισμού M/Σ εντάσεως στη φάση R	368
30.5.	Βραχυκυκλωμένο δευτερεύον M/Σ εντάσεως του στοιχείου T.....	368
30.6.	Ανοικτό πρωτεύον M/Σ τάσεως του στοιχείου T	370
30.7.	Βραχυκυκλωμένο δευτερεύον M/Σ εντάσεως του στοιχείου R	370
30.8.	Ανοικτό πρωτεύον M/Σ τάσεως του στοιχείου R	371
30.9.	Επιμερισμός καταγραφέντων μεγεθών μεταξύ στοιχείων R και T.....	372
30.10.	Υπολογισμός των σωστών καταναλώσεων με τις εξισώσεις ισχύος	373
30.11.	Παράδειγμα νεκρού στοιχείου T	374
30.12.	Παράδειγμα νεκρού στοιχείου R	375
30.13.	Πρωτεύον M/Σ εντάσεως του στοιχείου R συνδεδεμένο ανάποδα	376
30.14.	Λανθασμένη σχέση μετασχηματισμού M/Σ εντάσεως και ανάποδη σύνδεση.....	377
30.15.	Εσφαλμένη σχέση μετασχηματισμού M/Σ εντάσεως στη φάση T	378

31. Μετρητικό σύστημα καταναλωτών χαμηλής τάσης με M/Σ Εντάσεως

31.1.	Στοιχεία του μετρητικού συστήματος.....	380
31.2.	Τριφασικός μετρητής με M/Σ εντάσεως	380
31.3.	Συνδεσμολογία μετρητικού συστήματος (μ.σ)	380
31.4.	Λανθασμένες συνδέσεις	382
31.4.1 - 31.4.7	Επτά περιπτώσεις λανθασμένων συνδέσεων	382

32. Βελτίωση του συντελεστή ισχύος

32.1.	Τι είναι ο συντελεστής ισχύος μιας ηλεκτρικής συσκευής	387
32.2.	Συντελεστής ισχύος των κυριότερων ηλεκτρικών συσκευών	388
32.3.	Συνέπειες χαμηλού συντελεστή ισχύος.....	389
32.4.	Πώς βελτιώνεται ο συντελεστής ισχύος	396
32.5.	Μελέτη υπολογισμού πυκνωτών	399
32.6.	Αύξηση ισχύος ενός εργοστασίου	403
32.7.	Σύνδεση των πυκνωτών στη μέση τάση	404

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Βασικές Αρχές Επίλυσης Κυκλωμάτων

Π1	Μέθοδος των ρευμάτων των βρόχων	407
Π2	Μέθοδος των τάσεων των κόμβων	410
Π3	Συνδεσμολογίες αστέρος και τριγώνου	412
Π4	Εφαρμογή μετατροπής τριγώνου σε αστέρα	414
Π5	Το Θεώρημα του Thévenin	416
Π6	Εφαρμογή του θεωρήματος του Thévenin	417
Π7	Επίλυση κυκλώματος μη συμμετρικού φορτίου	419
Π8	Επίλυση κυκλώματος συμμετρικού φορτίου	422
Π9	Το θεώρημα του Millman	424
Π10	Εφαρμογή του Θεωρήματος Millman	425
Π11	Κυκλικά διαγράμματα γραμμής με αμελητέα χωρητικότητα.....	425
Π12	Κυκλικά διαγράμματα γραμμής με σημαντική χωρητικότητα	429
Π13	Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας.....	433
	<i>Βιβλιογραφία</i>	437
	Τυπολόγιο	439
	<i>Ενρετήριο κεφαλαίων.....</i>	449
	Προγράμματα Η/Υ.....	451

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Πλεονεκτήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με υψηλή τάση

Ας θεωρήσουμε μια γραμμή μεταφοράς μήκους l , διατομής a , η οποία μεταφέρει ισχύ P με τάση V και συντελεστή ισχύος $\cos\varphi$, αν το σύστημα είναι Ε.Ρ. (εναλλασσόμενο ρεύμα).

Έχουμε

$$P = VI\cos\varphi \Rightarrow I = \frac{P}{V\cos\varphi} .$$

Οι απώλειες ισχύος στη γραμμή είναι:

$$p = I^2R \Rightarrow p = \frac{P^2R}{V^2\cos^2\varphi} \quad (1/1)$$

όπου R είναι η ολική αντίσταση της γραμμής.

Η εκατοστιαία πτώση τάσεως

$$u\% = \frac{100P}{V^2} \cdot (R + X\tan\varphi) \quad (1/2)$$

όπου X είναι η ολική αντίδραση της γραμμής.

Εξ άλλου έχουμε $R = \frac{\rho l}{a} \Rightarrow a = \frac{\rho l}{R}$. Ο όγκος του αγωγού της γραμμής είναι al .

Άρα $al = \frac{\rho l^2}{R}$. Αλλά $R = \frac{\rho V^2 \cos^2\varphi}{P^2}$ (από την (1/1)). Τότε

$$al = \frac{\rho l^2 P^2}{P} \cdot \frac{1}{V^2 \cos^2\varphi} \quad (1/3)$$

Από τα πιο πάνω φαίνεται ότι:

1. Η απώλεια ισχύος είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της τάσης μεταφοράς και, σε Ε.Ρ., είναι επίσης αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου του συντελεστή ισχύος.
2. Η πτώση τάσεως είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της τάσης.

3. Ο όγκος και άρα το κόστος του υλικού του αγωγού, σε μια γραμμή δεδομένου μήκους, που λειτουργεί με δεδομένη απόδοση, δηλ. με δεδομένη απώλεια ισχύος, είναι αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της τάσης και του τετραγώνου του συντελεστή ισχύος.

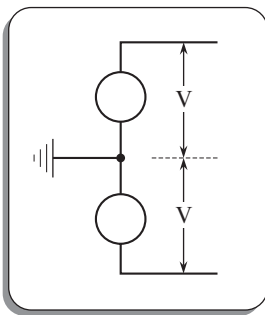
Αυτό δείχνει την αναγκαιότητα για μεταφορά ισχύος με υψηλές τάσεις και, αν το σύστημα είναι Ε.Ρ., με υψηλούς συντελεστές ισχύος.

1.2. Σύγκριση του κόστους των αγωγών στη μεταφορά με Σ.Ρ. και Ε.Ρ.

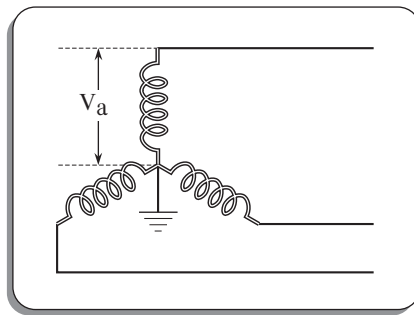
Θα θεωρήσουμε μόνο σύστημα Σ.Ρ., με 2 αγωγούς και τριφασικό Ε.Ρ. με 3 αγωγούς.

Για να συγκρίνουμε τα δύο συστήματα, θα θεωρήσουμε ότι η ίδια ισχύς μεταφέρεται στην ίδια απόσταση με ίσες απώλειες ισχύος στους αγωγούς και την ίδια μόνωση. Με αυτό το τελευταίο εννοούμε ότι η μέγιστη τιμή της τάσης ως προς γην είναι η ίδια στα δύο συστήματα.

Εστω V η τάση ως προς γην του συστήματος Σ.Ρ., το οποίο είναι γειωμένο στο μέσο σημείο, έτσι ώστε η τάση μεταφοράς να είναι $2V$, και έστω V_a η τάση ως προς γην του τριφασικού συστήματος Ε.Ρ.



Σχ. 1.2.1. Σ.Ρ.



Σχ. 1.2.2. Ε.Ρ.

Αν I και I_a είναι αντίστοιχα το Σ.Ρ. και Ε.Ρ., τότε για την ίδια ισχύ έχουμε:

$$2VI = 3V_a I_a \cos\varphi \Rightarrow \frac{I}{I_a} = \frac{3V_a \cos\varphi}{2V} .$$

Για την ίδια απώλεια ισχύος:

$$2I^2 R = 3I_a^2 R_a,$$

όπου R και R_a είναι η αντίσταση ενός αγωγού των αντιστοίχων συστημάτων.

Τότε

$$\frac{R_a}{R} = \frac{2I^2}{3I_a^2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{9V_a^2 \cos^2 \varphi}{4V^2} \Rightarrow \frac{R_a}{R} = \frac{3 \cos^2 \varphi}{2} \left(\frac{V_a}{V} \right)^2 \quad (1/4)$$

Αν K και K_a είναι το κόστος των αγωγών στο Σ.Ρ. και Ε.Ρ. αντίστοιχα, S και S_a οι αντίστοιχες διατομές, l το μήκος της γραμμής και x το κόστος του αγωγού ανά μονάδα όγκου, τότε:

$$K = 2Slx \quad \text{και} \quad K_a = 3S_a lx \Rightarrow \frac{K}{K_a} = \frac{2S}{3S_a}$$

Και επειδή οι διατομές είναι αντιστρόφως ανάλογες των αντιστάσεων, τότε:

$$\frac{K}{K_a} = \frac{2}{3} \cdot \frac{R_a}{R} \Rightarrow \frac{K}{K_a} = \left(\frac{V_a}{V} \right)^2 \cos^2 \varphi \quad (1/5)$$

Θεωρώντας ότι το Ε.Ρ. είναι ημιτονοειδές, τότε, για την ίδια μόνωση, έχουμε:

$$V = V_a \sqrt{2},$$

οπότε:

$$\frac{K}{K_a} = \frac{\cos^2 \varphi}{2} \quad (1/6)$$

Αφού $\cos \varphi \leq 1$, με τις προϋποθέσεις που αναφέραμε, το σύστημα Σ.Ρ. είναι πιο οικονομικό σε υλικό αγωγών από το Ε.Ρ.

1.3. Πλεονεκτήματα του εναλλασσόμενου ρεύματος

1. Οι εναλλασσόμενες τάσεις μπορούν να ανυψωθούν εύκολα και με μεγάλο βαθμό αποδόσεως σε υψηλές τάσεις μεταφοράς και να υποβιβαστούν στην τάση λειτουργίας του πελάτη με την ίδια ευκολία.
2. Οι γεννήτριες Ε.Ρ. μπορούν να παράγουν τάσεις υψηλότερες από τις παραγόμενες από γεννήτριες Σ.Ρ.
3. Οι απαιτούμενοι υποσταθμοί και εξοπλισμός είναι μικρότεροι και φθηνότεροι στο Ε.Ρ.
4. Οι υποσταθμοί με μετασχηματιστές έχουν μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως και απαιτούν ολιγότερη συντήρηση από υποσταθμούς, με στρεφόμενες μηχανές ή ανορθωτές.

1.4. Μειονεκτήματα του εναλλασσόμενου ρεύματος

1. Το κόστος των αγωγών σε μια δεδομένη γραμμή μεταφοράς, που λειτουργεί με ένα δεδομένο βαθμό αποδόσεως, είναι μεγαλύτερο από αυτό του Σ.Ρ.
2. Η πραγματική αντίσταση της γραμμής αυξάνει λόγω του επιδερμικού φαινομένου.

3. Υπάρχουν απώλειες στους μανδύες των καλωδίων.
4. Η αυτεπαγωγή και η χωρητικότητα της γραμμής αυξάνουν την πτώση της τάσεως.
5. Το όριο κορώνα είναι χαμηλότερο από αυτό του Σ.Ρ.
6. Η κατασκευή της γραμμής δεν είναι τόσο απλή όσο στο Σ.Ρ.
7. Οι στρόβιλοι και οι γεννήτριες πρέπει να περιστρέφονται με ταχύτητα που δεν είναι κατ' ανάγκη η πιο οικονομική.
8. Ηλεκτρολυτικά φορτία δεν μπορούν να εξυτηρηθούν άμεσα από χαμηλή τάση Ε.Ρ.
9. Πηγές, που λειτουργούν παράλληλα, πρέπει να είναι συγχρονισμένες.

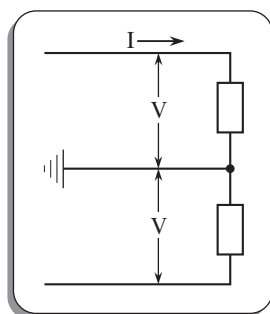
Συμπέρασμα: Το Ε.Ρ πλεονεκτεί στην παραγωγή και διανομή, αλλά το Σ.Ρ έχει το πλεονέκτημα στη μεταφορά.

Κεφάλαιο 2

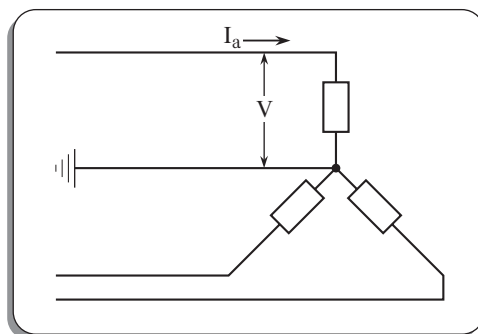
ΔΙΑΝΟΜΗ

2.1. Σύγκριση βάρους αγωγών σε δίκτυο διανομής Σ.Ρ 3 αγωγών και τριφασικό 4 αγωγών

Παραδοχές: Η ίδια τάση στον πελάτη, οι ίδιες απώλειες ισχύος, συμμετρικά φορτία, $\cos\phi=1$ στο Ε.Ρ. και αμελητέες απώλειες στους ουδέτερους αγωγούς.



Σχ. 2.1.1. Σ.Ρ.



Σχ. 2.1.2. Ε.Ρ.

Δεχόμεθα την ίδια ισχύ P .

$$P = 2VI = 3VI_a \Rightarrow \frac{I}{I_a} = \frac{3}{2}$$

$$p = 2I^2R = 3I_a^2R_a \Rightarrow \frac{R_a}{R} = \frac{2}{3} \left(\frac{I}{I_a} \right)^2 \Rightarrow \frac{R_a}{R} = \frac{3}{2}.$$

Έστω B και B_a τα βάρη των αγωγών στο Σ.Ρ. και Ε.Ρ. αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι: το βάρος ενός αγωγού δεδομένου μήκους είναι ανάλογο της διατομής του (S, S_a), και αγνοώντας το επιδερμικό φαινόμενο, είναι αντιστρόφως ανάλογο της αντίστασης (R, R_a). Άρα:

$$\frac{B}{B_a} = \frac{3S}{4S_a} = \frac{3}{4} \cdot \frac{R_a}{R} = \frac{3}{4} \cdot \frac{3}{2} \Rightarrow \frac{B}{B_a} = \frac{9}{8}.$$

Συμπέρασμα: Στο σύστημα Σ.Ρ. το βάρος αγωγών είναι μεγαλύτερο.

2.2. Σύγκριση βάρους αγωγών σε σύστημα Σ.Ρ. 2 αγωγών και τριφασικό 4 αγωγών με διατομή ουδέτερου τη μισή των φάσεων

Παραδοχές: P, p, V , τα ίδια, συμμετρικά φορτία και $\cos\varphi=1$

$$P = 2VI = 3VI_a \Rightarrow \frac{I}{I_a} = \frac{3}{2}$$

$$p = 2I^2R = 3I_a^2R_a \Leftrightarrow \frac{R_a}{R} = \frac{2}{3} \left(\frac{I}{I_a} \right)^2 = \frac{3}{2}$$

$$\frac{B}{B_a} = \frac{2S}{3,5S_a} = \frac{2}{3,5} \cdot \frac{R_a}{R} = \frac{2}{3,5} \cdot \frac{3}{2} = \frac{3}{3,5}$$

Συμπέρασμα: Το σύστημα Σ.Ρ. είναι πιο οικονομικό ως προς τους αγωγούς.

2.3. Εναέριο δίκτυο χαμηλής τάσης με τροφοδοσία από τα δύο άκρα

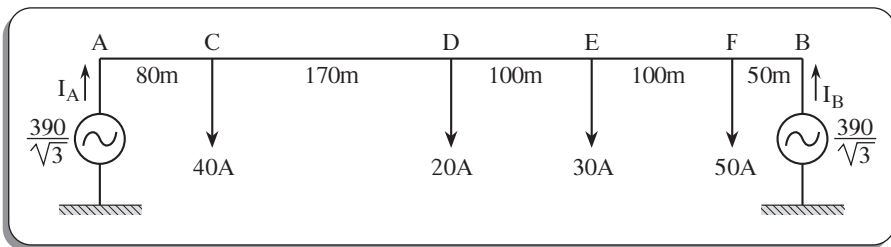
Μια τριφασική γραμμή διανομής, ονομαστικής τάσης 220/380 V, αποτελείται από 4 αγωγούς αλουμινίου $4 \times 50 \text{ mm}^2$ (ισοδύναμο χαλκού) και είναι κατασκευασμένη όπως τα δίκτυα χαμηλής τάσης της ΔΕΗ. Η γραμμή τροφοδοτείται στα δύο άκρα της από τριφασικές πηγές που έχουν πολική τάση 390 V. Τα φορτία της γραμμής είναι τριφασικά συμμετρικά και όλα έχουν συντελεστή ισχύος =1.

Στο σχήμα 2.3.1 φαίνεται μια φάση της γραμμής, καθώς και τα φορτία με τις αποστάσεις των.

Η γραμμή έχει εμπέδηση, ανά φάση $Z = r + jx = (0,401 + j0,270) \Omega/\text{Km}$.

Επειδή τα φορτία είναι συμμετρικά, ο ουδέτερος αγωγός δεν έχει ρεύμα. Να προσδιοριστεί η θέση και η τιμή της μέγιστης πτώσης τάσεως καθώς και η τιμή και διεύθυνση του ρεύματος στα διάφορα τμήματα της γραμμής.

Αν η πολική τάση στο σημείο τροφοδοσία Α συμβαίνει να είναι 391 V ενώ στο σημείο Β διατηρείται σταθερή στα 390 V, να βρεθεί η επανακατανομή των ρευμάτων στη γραμμή, θεωρώντας ότι τα φορτία παραμένουν αμετάβλητα.



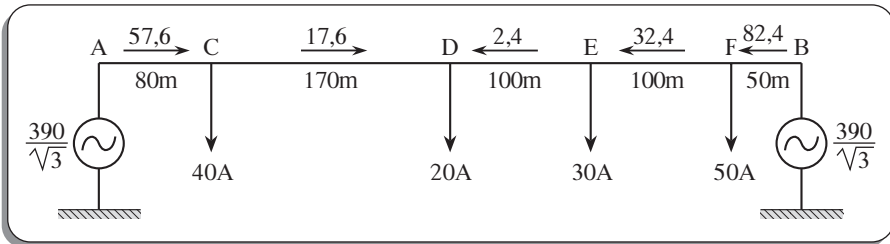
Σχ. 2.3.1.

Στο σχήμα 2.3.1. φαίνεται μία φάση της γραμμής. Λαμβάνουμε ροπές ως προς Α.

$$40 \cdot 80 + 20 \cdot 250 + 30 \cdot 350 + 50 \cdot 450 = 500 I_B \Rightarrow I_B = 82,4 \text{ A.}$$

Άρα $I_A = (40 + 20 + 30 + 50) - 82,4 = 57,6 \text{ A.}$

Η κατανομή του ρεύματος φαίνεται στο σχ. 2.3.2.



Σχ. 2.3.2.

Η μέγιστη πτώση τάσεως είναι στο σημείο D. Η τιμή της είναι:

$$\text{π.τ.} = 57,6 \cdot \frac{0,401}{1000} \cdot 80 + 17,6 \cdot \frac{0,401}{1000} \cdot 170 = 3,05 \text{ V.}$$

Επαλήθευση: $\text{π.τ.} = 82,4 \cdot \frac{0,401}{1000} \cdot 50 + 32,4 \cdot \frac{0,401}{1000} \cdot 100 + 2,4 \cdot \frac{0,401}{1000} \cdot 100 = 3,05 \text{ V.}$

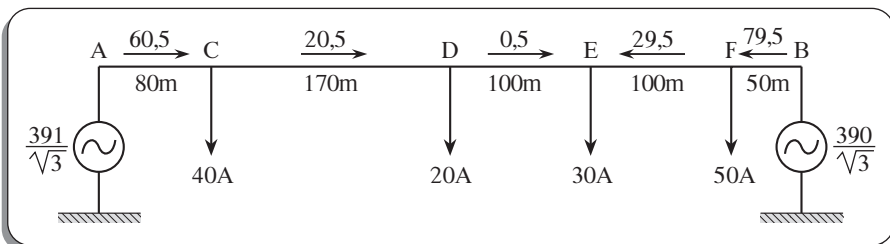
Αν $U_A = 391 \text{ V}$ και $U_B = 390 \text{ V}$, υπάρχει διαφορά δυναμικού στην φασική τάση, ίση με $1/\sqrt{3} \text{ V}$. Αυτή η διαφορά δυναμικού θα εξαναγκάσει ένα ρεύμα i να κυκλοφορήσει από το Α στο Β.

Η αντίσταση R_{AB} είναι $R_{AB} = \frac{0,401}{1000} \cdot 500 = 0,2 \Omega.$

Άρα $i = \frac{1/\sqrt{3}}{R_{AB}} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 0,2} = 2,9 \text{ A.}$

Το ρεύμα i προστίθεται στο I_A (θεώρημα της επαλληλίας).

Η νέα κατανομή των εντάσεων φαίνεται στο σχήμα 2.3.3.



Σχ. 2.3.3.

Τώρα, η μέγιστη πτώση τάσεως είναι στο E. Η τιμή της είναι:

$$\text{π.τ.} = 60,5 \cdot \frac{0,401}{1000} \cdot 80 + 20,5 \cdot \frac{0,401}{1000} \cdot 170 + 0,5 \cdot \frac{0,401}{1000} \cdot 100 = 3,36 \text{ V.}$$

Η τάση του σημείου E είναι:

$$V_E = \frac{391}{\sqrt{3}} - 3,36 = 222,4 \text{ V.}$$

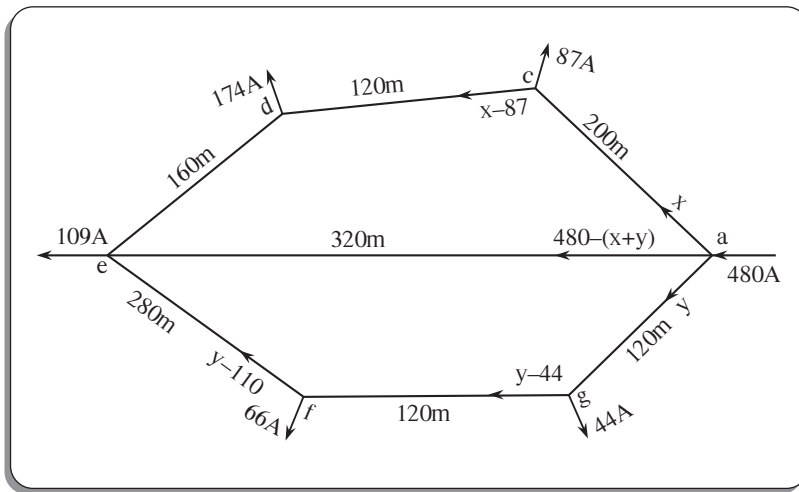
$$\text{Επαλήθευση: } V_E = \frac{390}{\sqrt{3}} - 79,5 \cdot \frac{0,401}{1000} \cdot 50 - 29,5 \cdot \frac{0,401}{1000} \cdot 100 = 222,4 \text{ V.}$$

2.4. Υπόγειο δίκτυο 220/380 V σε διπλό βρόχο

Το υπόγειο δίκτυο, που φαίνεται στο σχ. 2.4.1, τροφοδοτείται στο σημείο a, από τριφασική πηγή πολικής τάσης 396 V (φασική τάση $396/\sqrt{3} = 228,6 \text{ V}$). Δίνονται οι απομαστεύσεις φορτίου και το μήκος του καλωδίου μεταξύ δύο απομαστεύσεων.

Όλα τα φορτία είναι τριφασικά, συμμετρικά με $\cos\varphi = 1$.

Η μέγιστη πτώση τάσεως δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 8,6 V. Να γίνει επιλογή του κατάλληλου καλωδίου.



Σχ. 2.4.1.

Πρώτα θα βρούμε την κατανομή των εντάσεων στο δίκτυο, όπως κάναμε στο προηγούμενο.

$$200x + 120(x - 87) + 160(x - 261) = 320[480 - (x + y)] \quad (2/1)$$

$$120y + 120(y - 44) + 280(y - 110) = 320[480 - (x + y)] \quad (2/2)$$

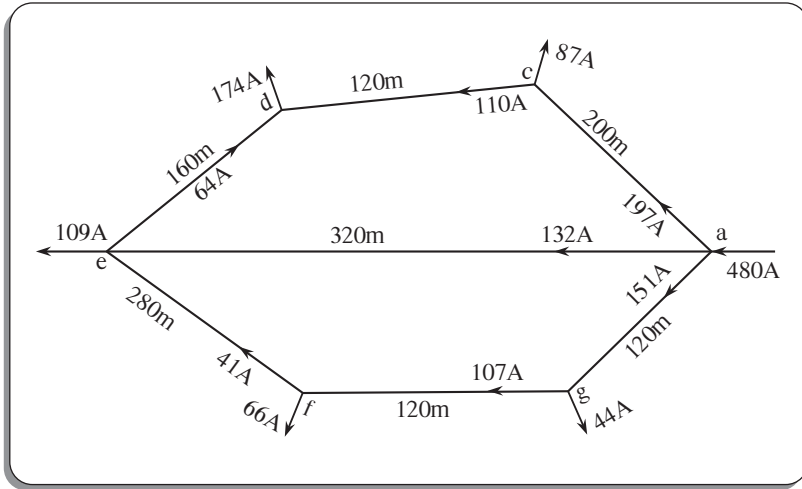
Από τις (2/1) και (2/2) προκύπτει:

$$x = 197 \text{ A.}$$

$$y = 151 \text{ A}$$

$$480 - (x+y) = 132 \text{ A.}$$

Στο σχ. 2.4.2 φαίνεται η κατανομή των εντάσεων.



Σχ. 2.4.2.

Όπως φαίνεται από την κατανομή των εντάσεων, η μέγιστη πτώση τάσεως είναι στο d. Η τιμή της είναι:

$$197 \cdot \frac{r}{1000} \cdot 200 + 110 \cdot \frac{r}{1000} \cdot 120 = 52,6 r$$

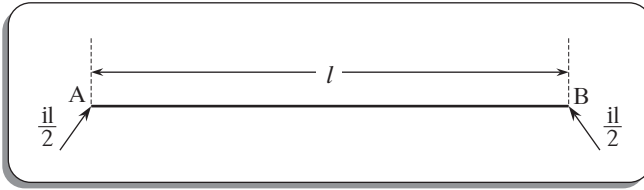
Πρέπει $52,6 r = 8,6 \Rightarrow r = 0,163 \Omega/\text{Km.}$

Το καλώδιο που θα επιλέξουμε πρέπει να έχει $r \leq 0,163 \Omega/\text{Km}$. Επιλέγουμε καλώδιο 220/380 V, τύπου ΝΑΚΒΑ $4 \times 240 \text{ mm}^2$, το οποίο έχει $r = 0,162 \Omega/\text{Km}$.

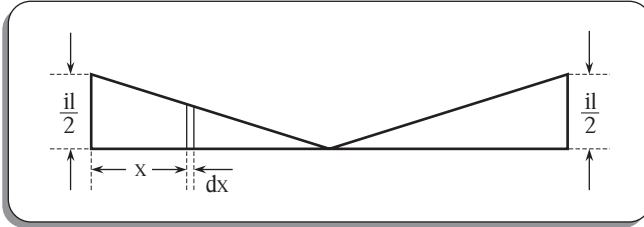
2.5. Γραμμή διανομής με ομοιόμορφη φόρτιση

Η περίπτωση ενός καλωδίου, τοποθετημένου κατά μήκος ενός δρόμου, με καταναλωτές σε κανονικά μικρά διαστήματα, προσεγγίζει πολύ σε αυτή μιας γραμμής διανομής με ομοιόμορφη φόρτιση που μελετάται με τον ακόλουθο τρόπο.

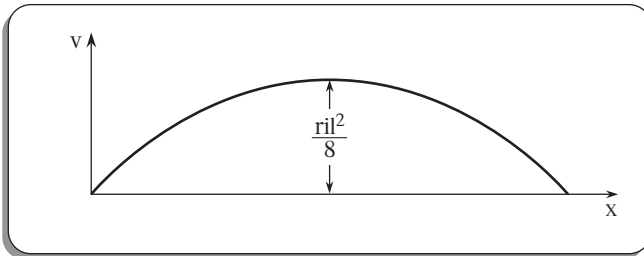
Εστω AB μια τέτοια γραμμή, μήκους l , που τροφοδοτείται από τις δύο πλευρές με την ίδια τάση και έχει φορτίο i ανά μονάδα μήκους. Το ρεύμα τροφοδοσίας, σε κάθε άκρο είναι $\frac{1}{2} il$ και το φορτίο πέφτει γραμμικά στο μηδέν, στο μέσο της γραμμής.



Σχ. 2.5.1.



Σχ. 2.5.2. Διάγραμμα φορτίσεως.



Σχ. 2.5.3. Διάγραμμα πτώσης τάσεως.

Η εξίσωση του ρεύματος, που διαρρέει το αριστερό μισό τμήμα της γραμμής είναι $I = \frac{il}{2} - ix$. Η αντίσταση του τμήματος dx είναι rdx , όπου r είναι η αντίσταση των 2 αγωγών (για μονοφασική γραμμή) της γραμμής ανά μονάδα μήκους της γραμμής. Το τμήμα dx διαρρέεται από ρεύμα $I = \frac{il}{2} - ix$.

Η πτώση τάσεως dv στο τμήμα dx είναι: $dv = \left(\frac{il}{2} - ix\right)rdx$.

Η πτώση τάσεως v στο σημείο της γραμμής, που απέχει απόσταση x ($x < l/2$) από το αριστερό άκρο, είναι:

$$v = \int_0^x \left(\frac{il}{2} - ix\right)rdx = \frac{il}{2}rx - \frac{irx^2}{2} \quad (x < l/2)$$

$$\frac{dv}{dx} = \frac{ilr}{2} - irx = 0 \Rightarrow x = l/2.$$

Η v είναι μια παραβολή που έχει μέγιστο στο σημείο $x = l/2$.

$$v_{\max} = \frac{ir}{2} \cdot \frac{l}{2} - \frac{ir}{2} \cdot \left(\frac{l}{2}\right)^2 \Rightarrow v_{\max} = \frac{rl}{8} l^2.$$

Οι εξισώσεις $I=f(x)$ και $v=f(x)$ ισχύουν για τη μισή γραμμή. Για την άλλη μισή, οι τιμές των I και v είναι συμμετρικές, όπως φαίνεται στα διαγράμματα φορτίσεως και πτώσης τάσεως. Αν η γραμμή τροφοδοτείται μόνο από τη μια πλευρά, τότε θεωρούμε ότι η γραμμή έχει μήκος $l/2$ και ισχύουν τα ίδια (το μισό από κάθε διάγραμμα).

2.6. Υπόγειο καλώδιο με ομοιόμορφη φόρτιση

Ένα υπόγειο καλώδιο μήκους $l=400$ m τροφοδοτείται με την ίδια τάση από τα δύο άκρα του. Το καλώδιο εξυπηρετεί ένα συμμετρικό τριφασικό φορτίο 217 KW (στα 220/380 V), το οποίο είναι ομοιόμορφα καταναμημένο σε όλο το μήκος του. Ο συντελεστής ισχύος του φορτίου είναι μονάδα.

Αν η μέγιστη πτώση τάσεως δεν πρέπει να υπερβαίνει το 3%, να γίνει επιλογή του κατάλληλου καλωδίου.

Αν I το ολικό φορτίο, τότε $217 = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot I \cdot 10^{-3} \Rightarrow I = 330$ A.

Η ένταση i , ανά μέτρο καλωδίου, είναι $i = \frac{330}{400} = 0,825$ A/m.

Η τιμή της μέγιστης πτώσης τάσεως είναι: $v_{\max} = \frac{3}{100} \cdot 220 = 6,6$ V.

Αν r είναι η αντίσταση μιας φάσεως ανά μέτρο καλωδίου, η μέγιστη πτώση τάσεως είναι:

$$v_{\max} = \frac{rl}{8} \cdot l^2 \Rightarrow 6,6 = \frac{r \cdot 0,825}{8} \cdot (400)^2 \Rightarrow r = 0,0004 \text{ } \Omega/\text{m} \quad \text{ή} \quad \mathbf{r=0,4 \text{ } \Omega/\text{Km.}}$$

Επειδή το φορτίο είναι συμμετρικό, ο ουδέτερος αγωγός δεν διαρρέεται από ρεύμα.

Επιλέγουμε καλώδιο 220/380 V, τύπου ΝΑΚΒΑ, $3 \times 95+50$ mm² το οποίο έχει $r = 0,401$ Ω/Km.

Ας σημειωθεί ότι το μέγιστο ρεύμα στο καλώδιο είναι $\frac{330}{2} = 165$ A.

2.7. Υπόγειο καλώδιο 220/380 με συσσωρευμένα φορτία

Έχουμε ένα υπόγειο καλώδιο $AD=0,3$ Km, το οποίο τροφοδοτείται από το άκρο Α. Σε απόσταση $d_1=AB=0,1$ Km υπάρχει συμμετρικό τριφασικό φορτίο $I_1=40$ A με $\cos\phi_1 = 0,707$. Σε απόσταση $d_2=AC=0,2$ Km υπάρχει συμ. τριφ. φορτίο $I_2 = 40$ A με $\cos\phi_2=1$. Σε απόσταση $d_3=AD=0,3$ Km υπάρχει συμ. τριφ. φορτίο 40 A με $\cos\phi_3=0,8$.

Αν η επιτρεπόμενη πτώση τάσεως δεν πρέπει να υπερβαίνει το 4,2%, να γίνει επιλογή του κατάλληλου καλωδίου.

$$v = \frac{4,2}{100} \cdot 220 = 9,24 \text{ V.}$$

Αν r = αντίσταση του καλωδίου ανά Km

x = άεργη αντίσταση του καλωδίου ανά Km τότε, η πτώση τάσεως v είναι:

$$\begin{aligned} v &= r(d_1 I_1 \cos \varphi_1 + d_2 I_2 \cos \varphi_2 + d_3 I_3 \cos \varphi_3) + x(d_1 I_1 \sin \varphi_1 + d_2 I_2 \sin \varphi_2 + d_3 I_3 \sin \varphi_3) \Rightarrow \\ \Rightarrow v &= r(0,1 \cdot 40 \cdot 0,707 + 0,2 \cdot 40 \cdot 1 + 0,3 \cdot 40 \cdot 0,8) + x(0,1 \cdot 40 \cdot 0,707 + 0,2 \cdot 40 \cdot 0 + 0,3 \cdot 40 \cdot 0,6) \Rightarrow \\ \Rightarrow v &= 20,428r + 10,028x. \text{ Επιτρεπόμενη π.τ.} = \frac{4,2}{100} \cdot 220 = 9,24 \text{ V.} \end{aligned}$$

Επιλέγουμε καλώδιο 220/380, τύπου ΝΑΚΒΑ, $4 \times 95 \text{ mm}^2$, το οποίο έχει:

$$r = 0,402 \text{ } \Omega/\text{Km}, \quad x = 0,086 \text{ } \Omega/\text{Km}$$

Τότε: $v = 20,428 \cdot 0,402 + 10,028 \cdot 0,086 = \mathbf{9,07 \text{ V.}}$

Το πρώτο τμήμα του καλωδίου (ΑΒ) διαρρέεται από το άθροισμα των τριών ρευμάτων

$$\begin{array}{r} I_1 = 28,28 - j28,28 \\ I_2 = 40 \quad +j0 \\ I_3 = 32 \quad -j24 \\ \hline I_0 = I_1 + I_2 + I_3 = 100,28 - j52,28 \end{array} \quad |I_0| = 113 \text{ A}$$

2.8. Εναέρια γραμμή διανομής με συγκεντρωμένα φορτία

Στο προηγούμενο, ας πούμε ότι αντί του υπογείου καλωδίου, είχαμε εναέρια γραμμή 220/380 V με αγωγούς αλουμινίου $4 \times 70 \text{ mm}^2$ (ισοδυνάμου χαλκού) με το ίδιο μήκος και τα ίδια φορτία.

Η πτώση τάσεως θα ήταν:

$$v = 20,428r + 10,028x$$

με $r = 0,301 \text{ } \Omega/\text{Km}$

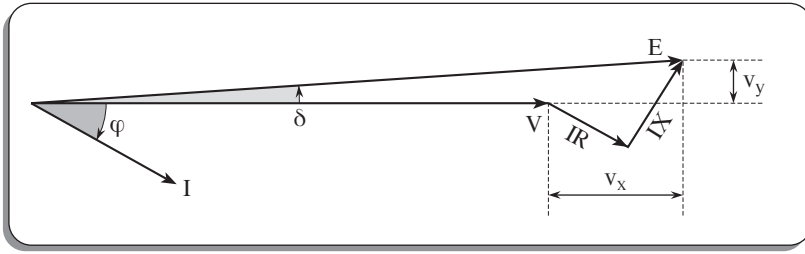
και $x = 0,261 \text{ } \Omega/\text{Km}$

Άρα $v = 20,428 \cdot 0,301 + 10,028 \cdot 0,261 = \mathbf{8,766 \text{ V.}}$

Παρατηρούμε ότι, σε αυτή την περίπτωση, η εναέρια γραμμή έχει λίγο καλύτερη πτώση τάσεως (και με μικρότερη διατομή αγωγών).

2.9. Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων

Έχουμε μια τριφασική γραμμή με σύνθετη αντίσταση $R + jX$. Η γραμμή τροφο-



Σχ. 2.9. Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων.

δοτείται με φασική τάση E από το ένα άκρο της. Στο άλλο άκρο, όπου η φασική τάση είναι V , υπάρχει συμμετρικό τριφασικό φορτίο I με συντελεστή ισχύος $\cos\varphi$.

$$\bar{V} = V$$

$$\bar{Z} = R + jX$$

$$\bar{I} = I\cos\varphi - jI\sin\varphi$$

$$\bar{E} = \bar{V} + \bar{I}\bar{Z} \Rightarrow \bar{E} = \bar{V} + (I\cos\varphi - jI\sin\varphi)(R + jX) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \bar{E} = (V + IR\cos\varphi + IX\sin\varphi) + j(IX\cos\varphi - IR\sin\varphi).$$

Αλλά $IR\cos\varphi + IX\sin\varphi = v_x$ και $IX\cos\varphi - IR\sin\varphi = v_y$.

Άρα

$$\bar{E} = (V + v_x) + jv_y \Rightarrow E^2 = (V + v_x)^2 + v_y^2 \Rightarrow V^2 + 2Vv_x - (E^2 - v_x^2 - v_y^2) = 0 \quad (2/3)$$

Η θετική ρίζα της (2/3) είναι:

$$V = \sqrt{E^2 - v_y^2} - v_x \quad (2/4)$$

$$\tan\delta = \frac{v_y}{V + v_x} \quad (2/5)$$

Από τις σχέσεις αυτές μπορεί να υπολογιστεί η E , όταν δίνεται η V , ή να υπολογιστεί η V όταν δίνεται η E .

2.9.1. Παράδειγμα

Μια ενιάτρια γραμμή 220/380 V, με αγωγούς αλουμινίου $4 \times 70 \text{ mm}^2$ (ισοδύναμου χαλκού), έχει μήκος 300 m. Στο άκρο της γραμμής υπάρχει συμμετρικό τριφασικό φορτίο 50 A με $\cos\varphi = 0,8$. Η φασική τάση στο φορτίο είναι $V = 220 \text{ V}$. Η γραμμή τροφοδοτείται από το άλλο άκρο με φασική τάση E . Ζητείται η E και η γωνία δ , μεταξύ V και E .

Η γραμμή έχει $z = r + jx = (0,301 + j0,261) \Omega/\text{Km}$

Άρα

$$R = 0,3 \cdot 0,301 = 0,0903 \, \Omega$$

$$X = 0,3 \cdot 0,261 = 0,0783 \, \Omega$$

$$v_x = I(R\cos\varphi + X\sin\varphi) = 50(0,0903 \cdot 0,8 + 0,0783 \cdot 0,6) = 5,96 \, \text{V}.$$

$$v_y = I(X\cos\varphi - R\sin\varphi) = 50(0,0783 \cdot 0,8 - 0,0903 \cdot 0,6) = 0,423 \, \text{V}.$$

$$E^2 = (V + v_x)^2 + v_y^2 \Rightarrow E^2 = (220 + 5,96)^2 + (0,423)^2 \Rightarrow \mathbf{E = 225,9604 \, \text{V}}.$$

$$\tan\delta = \frac{v_y}{V + v_x} = \frac{0,423}{220 + 5,96} \Rightarrow \mathbf{\delta = 0,107^\circ}.$$

Παρατηρήσεις

1. Η γωνία δ είναι πάρα πολύ μικρή
2. $I(X\cos\varphi - R\sin\varphi) = E\sin\delta$ είναι πολύ μικρό μέγεθος
3. Πρακτικά: $E = V + I(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$
Στην περίπτωσή μας, $I(R\cos\varphi + X\sin\varphi) = 6 \, \text{V}$. Άρα $E = 220 + 6 = 226 \, \text{V}$.

2.10. Γραμμές διανομής με μεταβλητή διατομή

Μερικές φορές συνιστάται, ένα καλώδιο μεγάλου μήκους, που τροφοδοτεί φορτία σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους, να αποτελείται από τμήματα με φθίνουσα διατομή, καθώς απομακρυνόμεθα από την πηγή. Με αυτό τον τρόπο, ο απαιτούμενος όγκος αγωγού της γραμμής μπορεί να ελαχιστοποιηθεί για δεδομένη επιτρεπόμενη πτώση τάσεως.

Ας θεωρήσουμε ένα στοιχειώδες μήκος dx του καλωδίου και έστω « a » η διατομή του στοιχείου και I το ρεύμα που το διαρρέει. Η αντίσταση του στοιχείου είναι $\rho \frac{dx}{a}$ και η αντίστοιχη πτώση τάσεως dv είναι $dv = I\rho \frac{dx}{a}$.

Τότε, η ολική πτώση τάσεως v είναι

$$v = \rho \int \frac{I}{a} dx.$$

Αφού η πτώση τάσεως είναι σταθερή, τότε:

$$\frac{dv}{da} = \rho \frac{I}{a} \cdot \frac{dx}{da} = 0 \quad (2/6)$$

Εξ άλλου, ο ολικός όγκος αγωγού στο καλώδιο είναι $\int a dx$. Ο όγκος αυτός είναι ελάχιστος, όταν:

$$a \frac{dx}{da} = 0 \quad (2/7)$$

Από τις (2/6) και (2/7), έχουμε:

$$a \frac{dx}{da} \propto \rho \frac{I}{a} \cdot \frac{dx}{da} \Rightarrow a \propto \sqrt{I} \quad (2/8)$$

Από τη σχέση (2/8) προκύπτει ότι το ολικό βάρος αγωγού είναι ελάχιστο, όταν οι διατομές του καλωδίου, μεταξύ διαδοχικών απομαστεύσεων, ευρίσκονται σε αναλογία προς τις τετραγωνικές ρίζες των ρευμάτων σε αυτά τα τμήματα.

Σημείωση: Η ΔΕΗ, στα υπόγεια καλώδια μέσης τάσης (15 και 20 KV) αποφεύγει το ακτινωτό σύστημα και οι γραμμές έχουν τη δυνατότητα να κλείνουν βρόχους μεταξύ των. Για το λόγο αυτό, τα υπόγεια καλώδια μέσης τάσης έχουν ενιαία διατομή.

Αντιθέτως, ο κορμός των εναερίων γραμμών μέσης τάσης κατασκευάζεται με αγωγούς ACSR 95 mm² και οι διακλαδώσεις και υποδιακλαδώσεις κατασκευάζονται με αγωγούς ACSR μικροτέρων διατομών.

Είσης, είναι συχνό το φαινόμενο, μια εναέρια γραμμή χαμηλής τάσης να έχει, τμηματικά, διάφορες διατομές.

Επανερχόμενοι στη θεωρία, είπαμε ότι η πτώση τάσεως είναι $I_0 \frac{l}{a} = IR$.

Αλλά η πτώση τάσεως v είναι $v = I(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$ και $v = IR$ μόνο όταν $\cos\varphi=1$ ($\sin\varphi = 0$).

Εξ άλλου, δεχτήκαμε ότι η ειδική αντίσταση των αγωγών είναι σταθερή.

Αλλά, οι αγωγοί ACSR δεν έχουν την ίδια ειδική αντίσταση για όλες τις διατομές. Αν θεωρήσουμε ότι η ειδική αντίσταση της διατομής ACSR 95 mm² ισχύει για τις άλλες διατομές, τότε θα είχαμε τις εξής αντιστάσεις ανά Km.

$$\text{ACSR } 95 \text{ mm}^2: \quad 0,215 = \rho \cdot \frac{1000}{95} \Rightarrow \rho = 0,020425 \text{ } \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$\text{ACSR } 50 \text{ mm}^2: \quad r = 0,020425 \cdot \frac{1000}{50} = 0,4085 \text{ } \Omega/\text{Km}$$

$$\text{ACSR } 35 \text{ mm}^2: \quad r = 0,020425 \cdot \frac{1000}{35} = 0,5836 \text{ } \Omega/\text{Km}.$$

$$\text{ACSR } 16 \text{ mm}^2: \quad r = 0,020425 \cdot \frac{1000}{16} = 1,2766 \text{ } \Omega/\text{Km}.$$

Τις αντιστάσεις αυτές χρησιμοποιούμε στο παράδειγμα που ακολουθεί.

2.10.1. Παράδειγμα

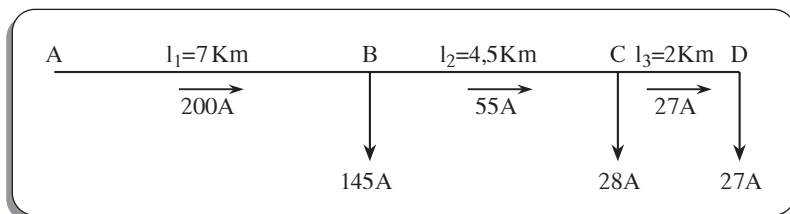
Μια εναέρια γραμμή 15 KV της ΔΕΗ τροφοδοτείται από το σημείο A με πολική τάση 15 KV+5%. Στο σημείο B, με AB = 7 Km, υπάρχει συμμετρικό τριφασικό φορτίο 145 A με $\cos\varphi=1$. Στο σημείο C, με BC = 4,5 Km, υπάρχει φορτίο 28A με $\cos\varphi=1$. Στο άκρο D της γραμμής υπάρχει φορτίο 27A με $\cos\varphi=1$ και CD = 2 Km.

Να βρεθούν οι διατομές των αγωγών ACSR στα τμήματα AB, BC και CD, αν η πολική τάση στο D δεν πρέπει να είναι χαμηλότερη από 15 KV.

Έχοντας υπόψη την τελευταία σημείωση, συμπληρώνουμε τα εξής:

Αν «a» είναι η διατομή ενός τμήματος, μήκους l , της γραμμής, που διαρρέεται από ρεύμα I, η πτώση τάσεως v στο τμήμα είναι:

$v \propto I_0 \frac{l}{a}$, όπου ρ είναι η ειδική αντίσταση του αγωγού.



Σχ. 2.10.1.

Επειδή

$$a \propto \sqrt{I} \Rightarrow v \propto I_Q \frac{l}{\sqrt{I}} \Rightarrow \boxed{v \propto l\sqrt{I}} \quad (2/9)$$

Η πολική τάση στην αρχή της γραμμής είναι

$$15 + \frac{5}{100} \cdot 15 = 15,75 \text{ KV} \quad \text{ή} \quad 15750 \text{ V.}$$

Αυτή αντιστοιχεί σε φασική τάση $\frac{15750}{\sqrt{3}} = 9093 \text{ V}$.

Σε πολική τάση 15 KV, αντιστοιχεί φασική τάση $\frac{15}{\sqrt{3}} = 8,66 \text{ KV}$ ή 8660 V.

Άρα η επιτρεπόμενη πτώση τάσεως είναι:

$$9093 - 8660 = 433 \text{ V.}$$

Αν οι πτώσεις τάσεως στα τμήματα AB, BC, CD είναι αντίστοιχα v_1, v_2, v_3 , τότε, σύμφωνα με τη σχέση (2/9), έχουμε

$$\frac{v_1}{433} = \frac{l_1 \sqrt{200}}{l_1 \sqrt{200} + l_2 \sqrt{55} + l_3 \sqrt{27}} = \frac{99}{142,76} \Rightarrow v_1 = 300,3 \text{ V.}$$

$$\frac{v_2}{433} = \frac{l_2 \sqrt{55}}{142,76} \Rightarrow v_2 = 101,2 \text{ V}$$

$$\frac{v_3}{433} = \frac{l_3 \sqrt{27}}{142,76} \Rightarrow v_3 = 31,5 \text{ V.}$$

Επαλήθευση: $v_1 + v_2 + v_3 = 433 \text{ V}$.

Αν r_1, r_2, r_3 είναι οι αντιστάσεις των αγωγών ανά Km στα τμήματα AB, BC, CD αντίστοιχα, τότε:

$$r_1 = \frac{300,3}{200 \cdot 7} = 0,215 \quad \Omega/\text{Km}, \text{ αντιστοιχεί σε ACSR } 95 \text{ mm}^2.$$

$$r_2 = \frac{101,2}{55 \cdot 4,5} = 0,4088 \quad \Omega/\text{Km}, \text{ αντιστοιχεί σε ACSR } 50 \text{ mm}^2.$$

$$r_3 = \frac{31,5}{27 \cdot 2} = 0,5833 \quad \Omega/\text{Km}, \text{ αντιστοιχεί σε ACSR } 35 \text{ mm}^2.$$

Σημείωση: Η θεωρία επαληθεύτηκε, διότι λάβαμε:

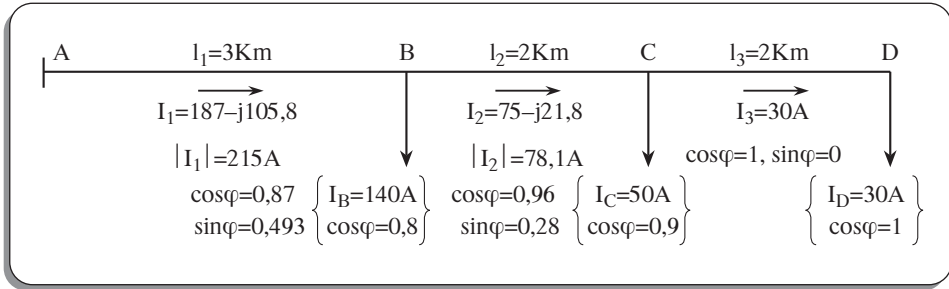
i) $\cos\varphi=1$.

ii) ενιαία τιμή της ειδικής αντίστασης των αγωγών, για όλες τις διατομές.

iii) διότι $\sqrt{200}/\sqrt{55}/\sqrt{27} = 95/50/35$ (δηλ. $a \propto \sqrt{I}$).

Βεβαίως, στην πράξη, ακολουθούμε άλλη μέθοδο, όπως στο παράδειγμα που ακολουθεί.

2.10.2. Παράδειγμα



Σχ. 2.10.2.

Μια εναέρια γραμμή 15 KV, με αγωγούς ACSR, που πρόκειται να κατασκευαστεί κατά το πρότυπο της ΔΕΗ, θα εξυπηρετήσει τα εξής συγκεντρωμένα τριφασικά συμμετρικά φορτία:

Στο B, $I_B = 140$ A με $\cos\varphi=0,8$ και $l_1 = AB = 3$ Km.

Στο C, $I_C = 50$ A με $\cos\varphi=0,9$ και $l_2 = BC = 2$ Km.

Στο D, $I_D = 30$ A με $\cos\varphi=1$ και $l_3 = CD = 2$ Km.

Η γραμμή θα τροφοδοτηθεί από το σημείο A.

Να επιλεγούν οι διατομές των αγωγών στα τμήματα AB, BC και CD λαμβάνοντας υπόψη ότι η ολική πτώση τάσεως να μη υπερβαίνει το 4% της ονομαστικής τάσης.

Αν η γραμμή τροφοδοτείται με τάση 15 KV+5%, να βρεθούν οι τάσεις στα σημεία B, C, και D.

Οι σύνθετες αντιστάσεις των εναερίων γραμμών της ΔΕΗ (με αγωγούς ACSR) είναι οι ακόλουθες:

$95 \text{ mm}^2: z = (0,215+j0,336) \ \Omega/\text{Km}$

$50 \text{ mm}^2: z = (0,404+j0,358) \ \Omega/\text{Km}$

$35 \text{ mm}^2: z = (0,574+j0,369) \ \Omega/\text{Km}$

$16 \text{ mm}^2: z = (1,260+j0,394) \ \Omega/\text{Km}$

Η πολική τάση τροφοδοσίας είναι $15 + \frac{5}{100} \cdot 15 = 15,75$ KV.

Η φασική τάση είναι $15,75/\sqrt{3} = 9,093 \text{ KV}$ ή 9093 V .

Η ονομαστική φασική τάση είναι $15/\sqrt{3} = 8,66 \text{ KV}$ ή 8660 V .

Στην περίπτωση μας, η επιτρεπόμενη πτώση τάσεως είναι:

$$\frac{4}{100} \cdot 8660 = 346,4 \text{ V.}$$

$$I_B = 140(0,8-j0,6) = 112-j 84$$

$$I_C = 50(0,9-j0,436) = 45-j 21,8$$

$$I_D = 30(1-j0) = \underline{30}$$

$$I_1 = I_B + I_C + I_D = 187-j105,8$$

Τμήμα AB

$l_1 = 3 \text{ Km}$. Θα γίνει δοκιμή με ACSR 95 mm².

$$I_1 = 187-j105,8 \quad |I_1| = 215 \text{ A} \quad \cos\varphi_1 = 0,87 \quad \sin\varphi_1 = 0,493.$$

$$z_1 = (0,215+j0,336) \Omega/\text{Km}.$$

Η πτώση τάσεως v_1 είναι:

$$v_1 = 215 (0,215 \cdot 3 \cdot 0,87 + 0,336 \cdot 3 \cdot 0,493) = 227,5 \text{ V.}$$

Η φασική τάση στο B είναι:

$$V_B = 9093 - 227,5 = 8865,5 \text{ V.}$$

Η πολική τάση στο B είναι:

$$U_B = 8865,5 \cdot \sqrt{3} = 15355 \text{ V} \quad \text{ή} \quad \mathbf{15,355 \text{ KV.}}$$

Τμήμα BC

$l_2 = 2 \text{ Km}$. Θα γίνει δοκιμή με ACSR 50 mm²

$$I_2 = 75-j21,8 \quad |I_2| = 78,1 \text{ A} \quad \cos\varphi_2 = 0,96 \quad \sin\varphi_2 = 0,28$$

$$z_2 = (0,404+j0,358) \Omega/\text{m}.$$

Η πτώση τάσεως v_2 είναι:

$$v_2 = 78,1(0,404 \cdot 2 \cdot 0,96 + 0,358 \cdot 2 \cdot 0,28) = 76,2 \text{ V.}$$

Η φασική τάση στο C είναι:

$$V_C = 8865,5 - 76,2 = 8789,3 \text{ V.}$$

Η πολική τάση στο C είναι:

$$U_C = 8789,3 \cdot \sqrt{3} = 15223 \text{ V} \quad \text{ή} \quad \mathbf{15,223 \text{ KV.}}$$

Τμήμα CD

$l_3 = 2 \text{ Km}$. Θα γίνει δοκιμή με ACSR 35 mm²

$$I_3 = 20 \text{ A} \quad \cos\varphi_3 = 1 \quad \sin\varphi_3 = 0$$

Η πτώση τάσεως v_3 είναι:

$$v_3 = 30 \cdot 0,574 \cdot 2 = 34,4 \text{ V.}$$

Η φασική τάση στο D είναι:

$$V_D = 8789,3 - 34,4 = 8754,9 \text{ V.}$$

Η πολική τάση στο D είναι:

$$U_D = 8754,9 \cdot \sqrt{3} = 15163 \text{ V} \quad \text{ή} \quad \mathbf{15,163 \text{ KV.}}$$

Η ολική πτώση τάσεως v είναι:

$$v = v_1 + v_2 + v_3 = 227,5 + 76,2 + 34,4 = 338,1 < 346,4$$

Άρα οι διατομές έχουν επιλεγεί σωστά .

Η φασική τάση στο D είναι:

$$V_D = 9093 - 338,1 = 8754,9 \text{ V}$$

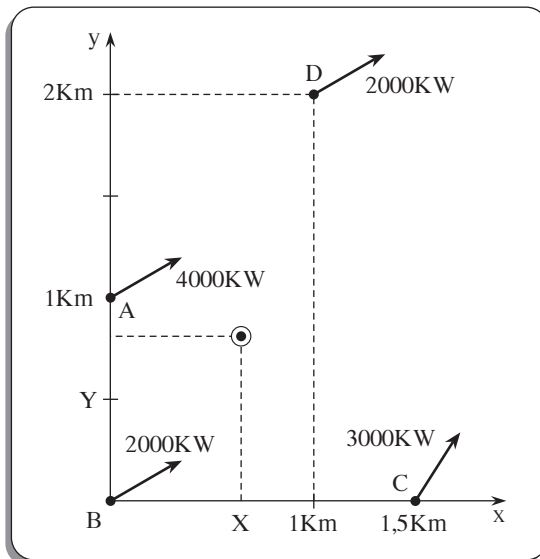
και η πολική τάση στο D είναι:

$$U_D = 8754,9 \cdot \sqrt{3} = 15163 \text{ V} \quad \text{ή} \quad U_D = 15,163 \text{ KV (επαλήθευση).}$$

Σημείωση: Στην πράξη, αν επρόκειτο για νέα γραμμή με αυτά τα αρχικά φορτία, θα χρησιμοποιούσαμε ενιαία διατομή 95 mm^2 στο μήκος των 7 Km, για να υπάρχουν περιθώρια μελλοντικών επεκτάσεων και εξυπηρέτησης νέων φορτίων.

2.11. Βέλτιση θέση σημείου τροφοδοσίας

Για παράδειγμα, να βρεθεί το πιο οικονομικό κέντρο διανομής στην περίπτωση τεσσάρων υποσταθμών A, B, C, D με φορτίο 4000 KW, 2000 KW, 3000 KW και 2000 KW αντίστοιχα, που είναι τοποθετημένοι όπως φαίνεται στο σχήμα 2.11.1.



Σχ. 2.11.1.

Το φορτίο του κέντρου διανομής είναι:

$$P = 4000 + 2000 + 3000 + 2000 = 11000 \text{ KW.}$$

Έστω X, Y οι συντεταγμένες του κέντρου διανομής.

Ροπές ως προς τον άξονα των x :

$$4000 \cdot 1 + 2000 \cdot 2 = 11000 Y \Rightarrow Y = \frac{8000}{11000} = \mathbf{0,727 \text{ Km.}}$$

Ροπές ως προς τον άξονα των y :

$$2000 \cdot 1 + 3000 \cdot 1,5 = 11000 X \Rightarrow X = \frac{6500}{11000} = \mathbf{0,591 \text{ Km.}}$$

2.12. Επιμερισμός φορτίου μεταξύ παραλλήλων γραμμών

Έστω $Z_1 = R_1 + jX_1$ και $Z_2 = R_2 + jX_2$ οι εμπεδήσεις δύο παραλλήλων γραμμών. Τότε, αν I_1 και I_2 είναι τα ρεύματα στις αντίστοιχες γραμμές και I το ολικό φορτίο, συμπεραίνουμε ότι:

$$I_1 Z_1 = I_2 Z_2 = IZ$$

όπου Z είναι η παράλληλη εμπέδηση των δύο γραμμών και

$$Z = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}.$$

$$\text{Άρα} \quad I_1 = I \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad \text{και} \quad I_2 = I \cdot \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}.$$

2.12.1. Παράδειγμα

Όλη η παραγόμενη ισχύς (5000 KW με $\cos\varphi=0,8$) ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού μεταφέρεται σε ένα υποσταθμό με δύο παράλληλες γραμμές που έχουν

$$Z_1 = 1,5 + j1,25 \quad \text{και} \quad Z_2 = 1 + j1,2.$$

Να βρεθεί η ισχύς που μεταφέρεται από κάθε γραμμή.

$$\text{Η φαινομένη ισχύς είναι} \quad S = \frac{5000}{0,8} = 6250 \text{ KVA}$$

$$\bar{S} = 6250(\cos\varphi + j\sin\varphi) \Rightarrow \bar{S} = 6250(0,8 + j0,6) \Rightarrow \bar{S} = 5000 + j3750$$

$$\bar{S} = 6250 \angle 36,87^\circ$$

$$\bar{Z}_1 = 1,5 + j1,25 = 1,95256 \angle 39,805^\circ$$

$$\bar{Z}_2 = 1,0 + j1,20 = 1,56205 \angle 50,194^\circ$$

$$\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 = 2,5 + j2,45 = 3,50036 \angle 44,421^\circ$$

$$\bar{S}_1 = \bar{S} \cdot \frac{\bar{Z}_2}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2} \Rightarrow \bar{S}_1 = \mathbf{2789 \text{ KVA} \angle 31,097^\circ}$$

$$2789 \cos(31,097) = 2388 \text{ KW} = P_1$$

$$2789 \sin(31,097) = 1440 \text{ KVAR} = Q_1$$

$$\bar{S}_1 = 2388 + j1440$$

$$\bar{S}_2 = \bar{S} \cdot \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_1 + Z_2} \Rightarrow \bar{S}_2 = \mathbf{3487 \text{ KVA} \angle 41,486^\circ}$$

$$3487 \cos(41,486) = 2612 \text{ KW} = P_2$$

$$3487 \sin(41,486) = 2310 \text{ KVAR} = Q_2$$

$$P = P_1 + P_2 = 2388 + 2612 = 5000 \text{ KW}, \quad Q = Q_1 + Q_2 = 1440 + 2310 = 3750.$$

2.13. Διάφορα θέματα διανομής

2.13.1. Θέμα

Ένας υποσταθμός τροφοδοτείται από ένα σταθμό παραγωγής με δύο παράλληλες γραμμές ίσου μήκους, που έχουν $\bar{Z}_1 = R + jX$ και $\bar{Z}_2 = R + j1,5X$. Η μεταφερόμενη από τις δύο γραμμές ισχύς είναι $S \text{ KVA}$ με $\cos\varphi = 0,8$.

Να βρεθεί πόση ισχύ μεταφέρει κάθε γραμμή, αν $R = X$.

$$\bar{S} = 0,8S + j0,6S = S \angle 36,87^\circ$$

$$\bar{Z}_1 = R + jR = 1,4142R \angle 45^\circ$$

$$\bar{Z}_2 = R + j1,5R = 1,8028R \angle 56,31^\circ$$

$$\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2 = 2R + j2,5R = 3,2016R \angle 51,34^\circ$$

$$\bar{S}_1 = \bar{S} \cdot \frac{\bar{Z}_2}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2} = S \angle 36,87^\circ \cdot \frac{1,8028R \angle 56,31^\circ}{3,2016R \angle 51,34^\circ} = \mathbf{0,563 S \angle 41,84^\circ}$$

$$\text{ή } \bar{S}_1 = 0,4195S + j0,3756S$$

$$\bar{S}_2 = \bar{S} \cdot \frac{\bar{Z}_1}{\bar{Z}_1 + \bar{Z}_2} = S \angle 36,87^\circ \cdot \frac{1,4142R \angle 45^\circ}{3,2016R \angle 51,34^\circ} = \mathbf{0,4417 S \angle 30,53^\circ}$$

$$\text{ή } \bar{S}_2 = 0,3805S + j0,2244S$$

$$\bar{S}_1 = 0,4195S + j0,3756S$$

$$\bar{S}_2 = 0,3805S + j0,2244S$$

$$\bar{S} = 0,8S + j0,6S$$

2.13.2. Θέμα

Ένα τριφασικό σύστημα 220/380 V, 4 αγωγών, τροφοδοτεί ένα φορτίο κινητήρων 100 KW με συντελεστή ισχύος 0,8. Τα μονοφασικά φορτία φωτισμού ($\cos\varphi=1$) στις 3 φάσεις είναι αντίστοιχα 5 KW, 8 KW και 10 KW.

Να βρεθεί το ρεύμα σε κάθε φάση και στον ουδέτερο.

Οι φασικές τάσεις είναι:

$$V_A = 220 \angle 0^\circ, \quad V_B = 220 \angle -120^\circ, \quad V_C = 220 \angle 120^\circ$$

Η φαινομένη ισχύς των κινητήρων είναι $S_\chi = \frac{100}{0,8} = 125 \text{ KVA}$

Άρα το ρεύμα των κινητήρων είναι $I_\chi = \frac{125}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 189,92 \text{ A.}$

Η ένταση αυτή, σε κάθε φάση είναι:

(Λαμβάνουμε υπόψη ότι $\cos\varphi = 0,8 \Rightarrow \varphi = 36,87^\circ$)

$$I_{\chi A} = 189,92 \angle -36,87^\circ = 151,93 - j 113,95$$

$$I_{\chi B} = 189,92 \angle -120 - 36,87^\circ = -174,66 - j 74,60$$

$$I_{\chi C} = 189,92 \angle +120 - 36,87^\circ = 22,73 + j 188,55$$

$$I_{\chi A} + I_{\chi B} + I_{\chi C} = 0 \text{ (επειδή είναι συμμετρικό σύστημα)}$$

Οι εντάσεις των φορτίων φωτισμού είναι:

$$I_{\varphi A} = \frac{5000}{220} \angle 0^\circ = 22,73$$

$$I_{\varphi B} = \frac{8000}{220} \angle -120^\circ = -18,18 - j 31,49$$

$$I_{\varphi C} = \frac{10000}{220} \angle 120^\circ = -22,73 + j 39,36$$

$$I_n = -18,18 + j 7,87 \quad |I_n| = 19,8 \text{ A}$$

I_n είναι το ρεύμα του ουδέτερου αγωγού και οφείλεται στο μη συμμετρικό φορτίο φωτισμού

Το ολικό ρεύμα, σε κάθε φάση είναι $\bar{I}_\chi + \bar{I}_\varphi$. Άρα:

$$I_A = 151,93 - j 113,95 + 22,73 = 174,66 - j 113,95$$

$$I_B = -174,66 - j 74,60 - 18,18 - j 31,49 = -192,84 - j 106,09$$

$$I_C = -22,73 + j 39,36 + 22,73 + j 188,55 = 0 + j 227,91$$

$$I_n = I_A + I_B + I_C = -18,18 + j 7,87$$

$$|I_A| = 208,5 \text{ A}$$

$$|I_B| = 220 \text{ A}$$

$$|I_C| = 227,9 \text{ A}$$

$$|I_n| = 19,8 \text{ A}$$