



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**ΑΝΑΔΙΑΡΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ  
ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗΝ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παπαγεωργίου Λουκάς-Δημήτριος

Επιβλέπων: Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2016





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

## ΑΝΑΔΙΑΡΡΥΘΜΙΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ ΜΕ ΣΤΟΧΟ ΤΗΝ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Παπαγεωργίου Λουκάς-Δημήτριος

Επιβλέπων: Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ..... 2016.

.....  
Ν. Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Σ. Παπαθανασίου  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....  
Π. Γεωργιλιάκης  
Επ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

**Αθήνα, Ιούλιος 2016**

.....  
Παπαγεωργίου Λουκάς-Δημήτριος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Παπαγεωργίου Λουκάς-Δημήτριος, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ένας από τους κυριότερους στόχους για κάθε εταιρεία διανομής ενέργειας είναι η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης του δικτύου διανομής (ΔΔ). Δεδομένου ότι οι ετήσιες απώλειες των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας στα διάφορα κράτη της ΕΕ εκτιμώνται κατά μέσο όρο σε 4% των ονομαστικών ρών ενέργειας σε αυτά, οι νέοι κανονισμοί της ΕΕ υποχρεώνουν πλέον τους διαχειριστές των δικτύων διανομής ενέργειας να προχωρήσουν σε βελτίωση της αποδοτικότητας των δικτύων τους. Η ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας και ισχύος στη λειτουργία του δικτύου μέσης τάσης συμβάλλει στην οικονομικότερη εκμετάλλευση του δικτύου αλλά συγχρόνως υλοποιεί και την απαίτηση για την προστασία του περιβάλλοντος μέσω της μείωσης των ρύπων και οδηγεί τελικά σε καλύτερη λειτουργία ενός ΔΔ.

Μια μέθοδος μέσω της οποίας μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση της αποδοτικότητας ενός ΔΔ είναι η επαναδιαμόρφωση του μέσω τηλεχειριζόμενων διακοπών, δηλαδή η μεταβολή της τοπολογίας του με σκοπό να μειωθούν οι απώλειες.

Συγκεκριμένα, σε ένα αστικό υπόγειο δίκτυο διανομής μέσης τάσης, οι γραμμές μέσης τάσης έχουν την μορφή ανοικτού βρόχου και επομένως οι διάφοροι Υ/Σ διανομής μπορούν να τροφοδοτηθούν από δύο τουλάχιστον διαφορετικούς δρόμους. Ο βρόχος τροφοδοτείται από δύο διακόπτες (feeders) που ανήκουν στον ίδιο ή σε διαφορετικούς Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ. Ο βρόχος συνήθως παραμένει λειτουργικά ανοικτός σε ένα διακόπτη ισχύος των Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ, για να υπάρχει άμεση δυνατότητα μεταφοράς φορτίων, λόγω της δυνατότητας τηλεχειρισμών, ενώ κανονικά θα έπρεπε να δημιουργείται η τομή της γραμμής ΜΤ σε ένα διακόπτη φορτίου Υποσταθμού Διανομής.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διατύπωση και επίλυση του προβλήματος της αναδιαμόρφωσης για γραμμές μέσης και χαμηλής τάσης ενός αστικού υπογείου δικτύου διανομής με τελικό στόχο της ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας και ισχύος, καθώς και το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την αναδιαμόρφωση αυτή.

Αρχικά, σε συνεργασία με το ΔΕΔΔΗΕ ορίσθηκε η έκταση του δικτύου διανομής, στο οποίο προτάθηκε η αναδιαρρύθμιση. Ακόμη δημιουργήθηκε βάση δεδομένων με τις χρονοσειρές των φορτίων των γραμμών (ημίωρες μετρήσεις έντασης), την εγκατεστημένη ισχύ των Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ, την συμφωνημένη ισχύ των πελατών Μέσης Τάσης, την τοπολογία του δικτύου, καθώς και τα διάφορα χαρακτηριστικά του.

Στην συνέχεια, ακολούθησε η δημιουργία ενός αλγορίθμου σε περιβάλλον C, ο οποίος, με κριτήριο την ελαχιστοποίηση των απωλειών, εντοπίζει τον διακόπτη αναχώρησης (feeder) που θα τροφοδοτεί το σύνολο της γραμμής ΜΤ και τον Υ/Σ διανομής, που ο ένας εκ των δύο διακοπών φορτίου του θα παραμείνει ανοικτός, ώστε να δημιουργηθεί η τομή του βρόχου.

Τέλος, υπολογίσθηκε επίσης το ετήσιο οικονομικό όφελος που θα προκύψει για τον ΔΕΔΔΗΕ, μετά την αναδιαρρύθμιση του δικτύου που εξετάστηκε. Επίσης πραγματοποιήθηκε μια εκτίμηση του οφέλους από την μη καταβολή του προστίμου για τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, καθώς έχει υπολογισθεί η μείωση του όγκου των εκπομπών.

## **ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ**

Επαναδιαμόρφωση δικτύου, αστικό υπόγειο δίκτυο διανομής μέσης τάσης, ελαχιστοποίηση απωλειών, βροχοειδές δίκτυο διανομής, ανοικτός βρόχος, βέλτιστη τομή

## ABSTRACT

One of the main goals for any electricity distribution company is the improvement of the efficiency of the distribution network. Given that the annual losses of an electricity grid in most of the EU countries are estimated at an average of 4% of the rated power flow, EU's regulations compel distribution network operators to improve the efficiency of their networks. The minimization of energy and power losses in a medium voltage distribution network contributes to a better utilization of the network, whilst also realizes the demand for the protection of the environment through the reduction of pollutants and finally leads to an optimized operation of a distribution network.

A method through which the enhancement of the efficiency of a distribution network can be achieved is the reconfiguration of it by sectionalizing switches, that is the modification of its form in order to reduce losses.

More specifically, in an urban, underground, medium voltage, distribution network, the distribution lines are in the form of an open loop. Therefore, the distribution substations can be powered by two different paths. The loop is powered by two feeders that belong either to different or to the same medium to low voltage substation. The loop usually remains open to one power switch of a high to medium voltage substation, so that there is the capability for instant load transfer, while it would be more proper if a section was created in the distribution line, via a sectionalizing switch of a distribution substation.

The purpose of this undergraduate thesis is the formulation and the solution of the problem of reconfiguration of distribution lines, as well as the calculation of the financial profit resulting from this practice.

Firstly, in cooperation with the Hellenic Distribution Network Operator, the range of the distribution network, that could undergo such a reconfiguration, was determined. Consequently, a database including the time series of the loads on the distribution lines, the power of the substations of the lines and the topology of the network along with its various characteristics was created.

Next, a C algorithm was created, that chooses the feeder that should supply the distribution line and the sectionalizing switch that must be opened in a substation in order for the losses to be minimized.

Finally, the annual financial profit for the Hellenic Distribution Network Operator was calculated. There is also an estimation of the profit resulting from avoiding the penalty for CO<sub>2</sub> emissions, as there the reduction of such emissions is also calculated.

## **KEY WORDS**

Network reconfiguration, underground urban medium voltage distribution network, loss minimization, open loop, optimal section



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε από τη φοιτητή Παπαγεωργίου Λουκά – Δημήτριο του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π κατά το ακαδημαϊκό έτος 2015-2016.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον υπεύθυνο καθηγητή μου ,κ. Ν.Χατζηαργυρίου για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας καθώς και τον κ Α. Ζαφειράκη για την υποστήριξη και καθοδήγηση που μου πρόσφερε καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμα τους καθηγητές του τμήματος για τις πολύτιμες γνώσεις που μου πρόσφεραν στα έτη φοίτησης μου, αλλά και την οικογένεια μου για την υποστήριξη, την κατανόηση και τη συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια.



## Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	13
ΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	13
1.1 Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας .....	13
1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .....	15
1.3 Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας .....	17
1.4 Μοντέλα Στοιχείων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	25
ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	25
2.1 Εισαγωγή .....	25
2.2 Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Διανομής(Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε) .....	26
2.3 Αγωγοί Δικτύου Διανομής .....	27
2.3.1 Αγωγοί από Χαλκό .....	27
2.3.2 Αγωγοί από Αλουμίνιο AAC (All Aluminum Conductors).....	28
2.3.3 Αγωγοί από Αλουμίνιο-Χάλυβα ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforcement) .....	28
2.3.4 Κράματα Αλουμινίου AAAC(All Aluminum Alloy Conductor) .....	29
2.3.5 Υπόγειο Καλώδιο ΝΑΕΚΒΑ 3x240mm <sup>2</sup> Al.....	29
2.3.6 Υπόγειο Καλώδιο ΝΑ2SXSΥ 3x240mm <sup>2</sup> + 25mm <sup>2</sup> Al.....	29
2.3.7 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Αγωγών Δικτύων Διανομής .....	30
2.4 Δομή Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	32
2.4.1 Εξοπλισμός Δικτύων Διανομής .....	33
2.4.2 Διακοπτικά Στοιχεία .....	34
2.5 Τοπολογία Δικτύων Διανομής ΜΤ .....	38
2.5.1 Εναέρια Δίκτυα ΜΤ .....	38
2.5.2 Υπόγεια Δίκτυα ΜΤ .....	40
2.5.3 Τοπολογία Δικτύων Διανομής ΧΤ.....	44
2.6 Το δίκτυο ως Γράφημα.....	47
2.7 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	53
ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	53
3.1 Εισαγωγή .....	53

3.2 Τοπολογία Δικτύου Διανομής .....	53
3.3 Στοιχεία Επιλεγμένου Δικτύου Διανομής(ΔΕΔΔΗΕ) .....	53
3.4 Τύποι Υπολογισμών Απωλειών στις Γραμμές Διανομής .....	54
3.4.1 Υπολογισμός $F_A$ , $m$ , $I_{max}$ .....	54
3.5 Στοιχεία Οικονομικής Ωφέλειας .....	59
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b> .....	<b>61</b>
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΩΔΙΚΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ .....	61
4.1 Εισαγωγή .....	61
4.2 Στοιχεία Υπολογισμού Αλγορίθμου .....	61
4.3 Τμήματα Αλγορίθμου .....	61
4.3.1 Διάβασμα Δεδομένων από Αρχείο .....	61
4.3.2 Διεξαγωγή Υπολογισμών.....	62
4.3.3 Σχεδίαση Δικτύου .....	70
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup></b> .....	<b>71</b>
<b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>71</b>
5.1 Εισαγωγή .....	71
5.2 Πραγματική Κατάσταση των Γραμμών .....	71
5.2.1 Οικονομικό Όφελος λόγω μείωσης εκπομπών CO <sub>2</sub> .....	73
5.3 Χρησιμοποίηση διαφορετικού τύπου καλωδίου μεταξύ των υποσταθμών .....	76
5.4 Συγκέντρωσης του συνόλου του φορτίου στην αρχή των γραμμών διανομής .....	77
5.5 Συγκέντρωσης του συνόλου του φορτίου στο τέλος των γραμμών διανομής .....	78
5.6 Σενάριο $m=1$ .....	79
5.7 Συνολικό Όφελος λόγω επαναδιαμόρφωσης δικτύου .....	80
<b>Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup></b> .....	<b>81</b>
<b>Συμπεράσματα -Μελλοντικές Προεκτάσεις</b> .....	<b>81</b>
6.1 Συμπεράσματα.....	81
6.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις .....	82
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>83</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</b> .....	<b>85</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</b> .....	<b>99</b>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

##### 1.1 Συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

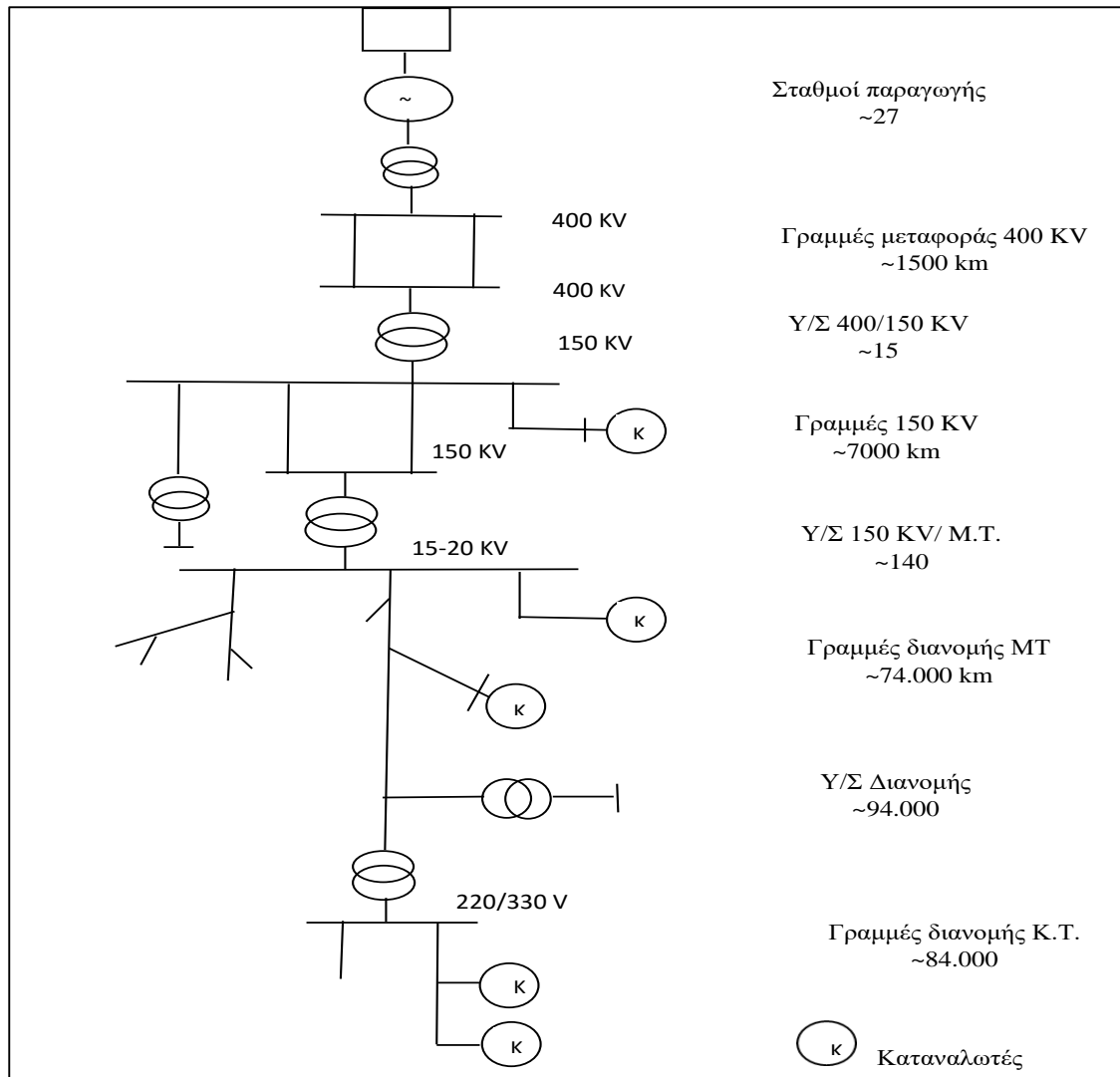
Ως Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας(ΣΗΕ) ορίζεται το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας(ΗΕ) σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης. Βασική προϋπόθεση ορθής λειτουργίας ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι η τροφοδότηση με ηλεκτρικό ρεύμα οπουδήποτε υπάρχει ζήτηση με το ελάχιστο κόστος και τις λιγότερες δυνατές οικολογικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Παράλληλα, εξασφαλίζεται σταθερή συχνότητα και τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης [1].

Για να φτάσει το ηλεκτρικό ρεύμα στους καταναλωτές ακολουθούνται τρεις ξεχωριστές λειτουργίες του ΣΗΕ: η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή [2]. Η ηλεκτρική ενέργεια, από το σημείο που θα παραχθεί μέχρι να καταναλωθεί ακολουθεί μια συνεχή ροή και είναι δύσκολο να αποθηκευτεί για αυτό και καταναλώνεται άμεσα. Για την παραγωγή της ΗΕ μετατρέπεται η θερμική ενέργεια των ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, πετρελαίου, φυσικού αερίου) ή η μηχανική ενέργεια των υδάτινων ροών και υδατοπτώσεων.

Τα ΣΗΕ ανάλογα με την έκταση τους, μπορούν να διακριθούν σε “Εθνικά Συστήματα” αν καλύπτουν το σύνολο μιας χώρας, “Περιφερειακά Συστήματα” αν τροφοδοτούν μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή και “Ιδιωτικά Συστήματα” στην περίπτωση κάλυψης των αναγκών ενός μεμονωμένου ιδιωτικού συγκροτήματος [1]. Παρά τις μεταξύ τους διαφορές στο μέγεθος, τα ΣΗΕ διαθέτουν κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ τους. Σήμερα, τα χρησιμοποιούμενα συστήματα είναι τριφασικά εναλλασσόμενου ρεύματος, συχνότητας 50 ή 60 Hz ενώ σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και

συστήματα συνεχούς ρεύματος για τη μεταφορά της ΗΕ. Οι γραμμές μεταφοράς και οι γραμμές διανομής μέσης τάσης έχουν τρεις αγωγούς φάσεων, ενώ οι γραμμές διανομής χαμηλής τάσης έχουν επιπλέον και ουδέτερο αγωγό. Σε ορισμένες περιπτώσεις συναντώνται και μονοφασικές γραμμές δύο αγωγών.

Οι πελάτες που είναι συνδεδεμένοι στα δίκτυα υψηλής και μέσης τάσης είναι συνήθως βιομηχανικοί καταναλωτές(τριφασική παροχή), ενώ στα δίκτυα χαμηλής τάσης συνδέονται πελάτες οικιακής και εμπορικής χρήσης(μονοφασική παροχή). Η ισχύς των εγκαταστάσεων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής καθορίζεται από τη συνολική μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος, αφού δεν υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας. Η συνολική κατανάλωση ενέργειας καθορίζει την ποσότητα των καυσίμων που χρησιμοποιούνται για την λειτουργία των σταθμών παραγωγής, ενώ η μορφή της καμπύλης ζήτησης περιγράφει χρονικά την απασχόληση των εγκαταστάσεων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής στους καταναλωτές [2].



**Σχήμα 1.1: Σχηματική Αναπαράσταση Ελληνικού ΣΗΕ [4]**

## 1.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

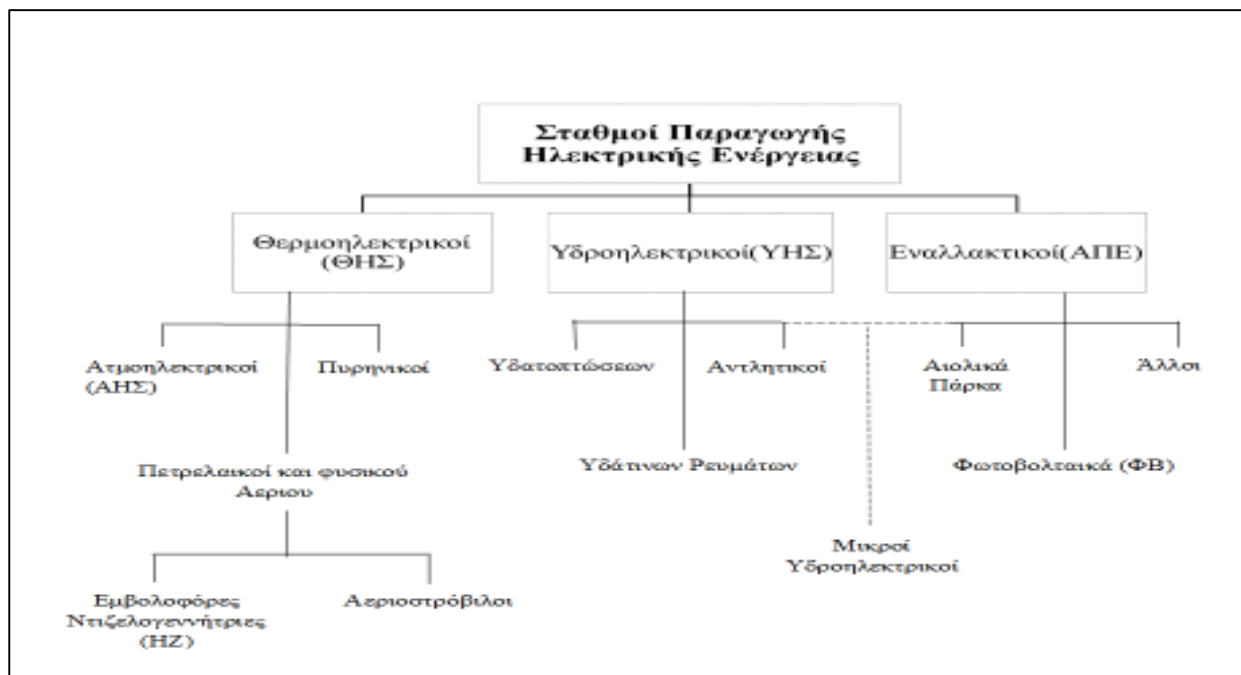
Ως παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται η διαδικασία που απαιτείται για τη μετατροπή μιας μορφής πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική [2]. Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο η μετατροπή κάποιας άλλης μορφής ενέργειας πρώτα σε μηχανική (κινητήριες, μηχανικές, στρόβιλοι) και στη συνέχεια σε ηλεκτρική μέσω γεννητριών. Ένα μεγάλο ποσοστό από την παρεχόμενη στον καταναλωτή ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται κυρίως από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς με την καύση ορυκτών καυσίμων( άνθρακας, λιγνίτης, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), από υδροηλεκτρικούς σταθμούς με τη ροή ή πτώση υδάτων, από πυρηνικούς σταθμούς με την πυρηνική σχάση(ουράνιο, θόριο, πλουτώνιο) και από ανανεώσιμες

πηγές ενέργειας(αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, γεωθερμία και βιομάζα). Η παραγωγή ΗΕ παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις από χώρα σε χώρα ανάλογα με τους διαθέσιμους εγχώριους ενεργειακούς πόρους, την ενεργειακή πολιτική της χώρας, αλλά και τις γεωλογικές, γεωφυσικές και κλιματολογικές ιδιαιτερότητες.



**Σχήμα 1.2: Εργοστάσιο Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας**





Σχήμα 1.3 : Τύποι σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας [11]

### 1.3 Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας

Με τον όρο μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας ορίζουμε το σύνολο διαδικασιών λειτουργίας, του ελέγχου των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο των σταθμών παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς που τροφοδοτούν τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης και από όπου αρχίζουν τα δίκτυα διανομής [2]. Το σύστημα μεταφοράς τροφοδοτεί επίσης τους μεγάλους καταναλωτές υψηλής τάσης, που είναι μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις με εγκαταστημένη ισχύ άνω των 10MW. Αυτοί οι καταναλωτές διαθέτουν δικό τους υποσταθμό υποβιβασμού της υψηλής τάσης (ΥΤ) σε μέση τάση (ΜΤ) , καθώς και εσωτερικά δίκτυα ΜΤ και χαμηλής τάσης (ΧΤ). Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών ΥΤ, τους υποσταθμούς ζεύξεως των δικτύων αυτών, τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διαφόρων τάσεων του δικτύου μεταφοράς και τέλος τους υποσταθμούς υποβιβασμού της ΥΤ σε ΜΤ(ΥΤ/ΜΤ) για την τροφοδότηση των δικτύων διανομής.

Τα συστήματα μεταφοράς έχουν κατά κανόνα βροχοειδή διάταξη. Με αυτόν τον τρόπο, υπάρχουν περισσότερες επιτρεπόμενες διαδρομές ροής ενέργειας και

εξυπηρετούνται καλύτερα οι σκοποί της μεταφοράς. Όσον αφορά τη μορφή των δικτύων μεταφοράς, αυτή μπορεί να είναι διαμήκης ή κυκλική ανάλογα με τη σχετική θέση των σταθμών παραγωγής ως προς τα κέντρα κατανάλωσης και την τοπογραφία της περιοχής την οποία διατρέχει.

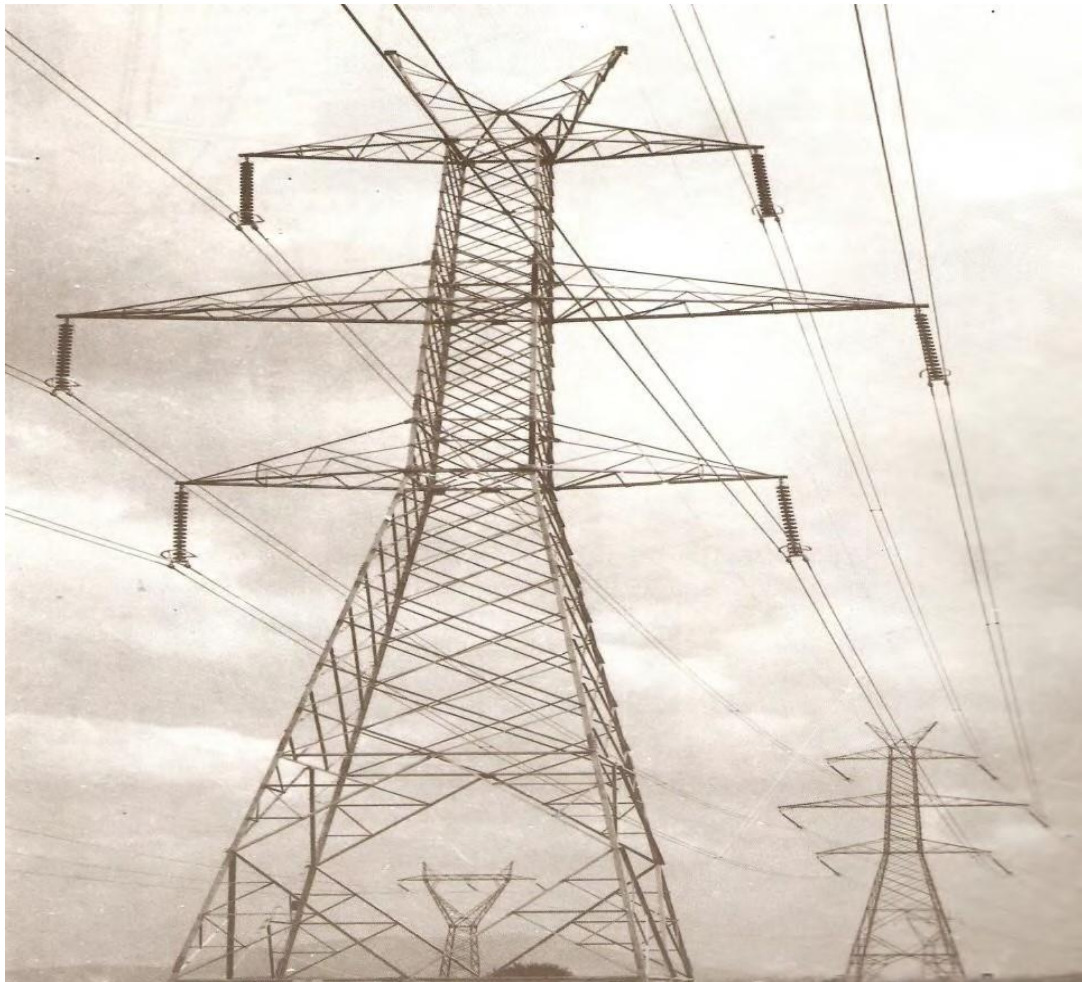
Η μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται υπό ΥΤ, διότι αυτό συνεπάγεται μικρότερες ηλεκτρικές απώλειες και άρα οικονομικότερη λειτουργία του συστήματος. Χρησιμοποιούνται διάφορα επίπεδα τάσεων μεταφοράς ανάλογα με την απόσταση και το μέγεθος ισχύος που μεταφέρεται. Σήμερα, τα επίπεδα αυτά της τάσης κυμαίνονται από 66 kV έως και 750kV και χωρίζονται σε τρεις βαθμίδες. Οι τάσεις μέχρι 220kV εντάσσονται στη βαθμίδα υψηλών τάσεων, από 275kV μέχρι 500kV στη βαθμίδα των υπερυψηλών τάσεων και οι τάσεις που ξεπερνούν τα 500kV στη βαθμίδα των εξαιρετικά υψηλών τάσεων. Πειραματικά, βρίσκονται υπό μελέτη και οι τάσεις 1100kV και 1500kV, οι οποίες πιθανότατα θα χρησιμοποιηθούν για την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας στο μέλλον. Όλα τα παραπάνω αφορούν τη μεταφορά ΗΕ με εναλλασσόμενο ρεύμα, όπως συμβαίνει συνήθως. Σε ορισμένες περιπτώσεις, εφαρμόζεται και η μεταφορά με συνεχές ρεύμα, η οποία έχει τα δικά της πλεονεκτήματα.

Το επίπεδο της τάσης μιας γραμμής μεταφοράς καθορίζεται από την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς, το οποίο αναλύεται στα επιμέρους κόστη εγκατάστασης, απωλειών και συντήρησης της γραμμής. Με την αύξηση της τάσης, οι ηλεκτρικές απώλειες μειώνονται σε αντίθεση με το κόστος εξοπλισμού, το οποίο αυξάνεται, καθιστώντας την αντίστοιχη μελέτη ιδιαίτερα σημαντική. Η τεχνολογική εξέλιξη των υλικών και η συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωση της ΗΕ, οδήγησαν στη χρησιμοποίηση όλο και υψηλότερων τάσεων στη μεταφορά.

Τα δίκτυα υπομεταφοράς μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μικρότερες αποστάσεις και ποσότητες, με τάσεις από 22kV έως 150kV, συνήθως από υποσταθμούς υποβιβασμού προς μικρότερα κέντρα κατανάλωσης [1]. Ο ρόλος τους είναι παρόμοιος με αυτόν των συστημάτων διανομής με τη διαφορά ότι καλύπτουν

μεγαλύτερα επίπεδα ισχύος και εντάσεως και η μεταφορά πραγματοποιείται υπό υψηλότερες τάσεις.

Οι γραμμές μεταφοράς αναχωρούν και καταλήγουν στους υποσταθμούς, οι οποίοι αποτελούν και τους κύριους κόμβους του συστήματος. Διακρίνονται σε υποσταθμούς ζεύξης ή διασύνδεσης και σε υποσταθμούς μετασχηματισμού. Στους πρώτους συνδέονται απλώς γραμμές χωρίς να πραγματοποιείται μετασχηματισμός τάσης, ενώ οι υποσταθμοί μετασχηματισμού αλλάζουν και το επίπεδο της τάσης είτε προς χαμηλότερη βαθμίδα(υποσταθμοί υποβιβασμού) είτε προς υψηλότερη(υποσταθμοί ανύψωσης).

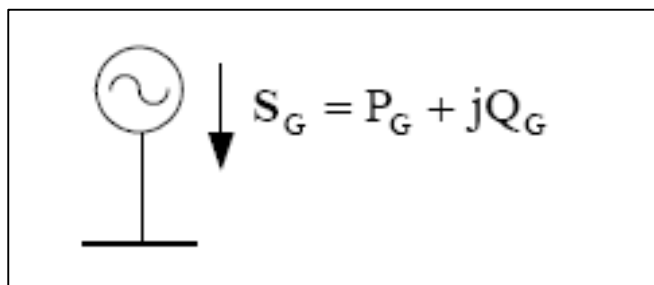


**Σχήμα 1.4: Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας [3]**

#### 1.4 Μοντέλα Στοιχείων Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η μοντελοποίηση των στοιχείων ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας [2]. Συγκεκριμένα δίνονται τα μοντέλα των γεννητριών, των γραμμών μεταφοράς, των εγκάρσιων πυκνωτών και αυτεπαγωγών, των μετασχηματιστών και των φορτίων.

Η κάθε γεννήτρια του ΣΗΕ παριστάνεται όπως στο παραπάνω σχήμα:



**Σχήμα 1.5: Παράσταση γεννήτριας [2]**

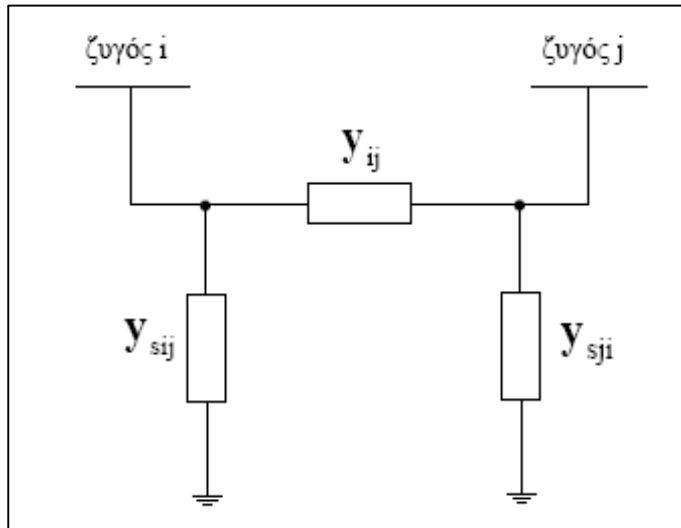
Όπου  $S_G$  η μιγαδική παραγόμενη ισχύς και ορίζεται ως  $S_G = P_G + jQ_G$  όπου:

- $P_G$  η πραγματική παραγόμενη ισχύς
- $Q_G$  η άεργος παραγόμενη ισχύς

Οι σύγχρονες γεννήτριες ρυθμίζονται συνεχώς από δύο διατάξεις ελέγχου:

1. Τον αυτόματο ρυθμιστή τάσης (APT)
2. Τον ρυθμιστή στροφών, οποίος κρατάει σταθερή την ενεργό παραγωγή προσαρμόζοντας την παραγόμενη μηχανική ισχύ της κινητήριας μηχανής.

Η κάθε γραμμή μεταφοράς του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας παριστάνεται με το ισοδύναμο π μοντέλο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.6 [2]:



**Σχήμα 1.6: Ισοδύναμο π-κύκλωμα γραμμής μεταφοράς**

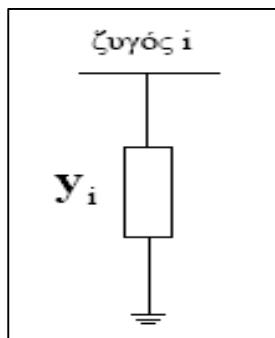
Στο Σχήμα 1.6 παρουσιάζονται οι αγωγιμότητες της γραμμής μεταφοράς. Οι αγωγιμότητες αυτές μπορούν να γραφούν σε μορφή μιγαδικού αριθμού ως εξής:

$$Y_{ij} = g_{ij} + jb_{ij}$$

$$Y_{sij} = g_{sij} + jb_{sij}$$

$$Y_{ijs} = g_{ijs} + jb_{ijs}$$

Οι εγκάρσιοι πυκνωτές και οι αυτεπαγωγές του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας παριστάνονται με μια απλή αγωγιμότητα ως προς γη.

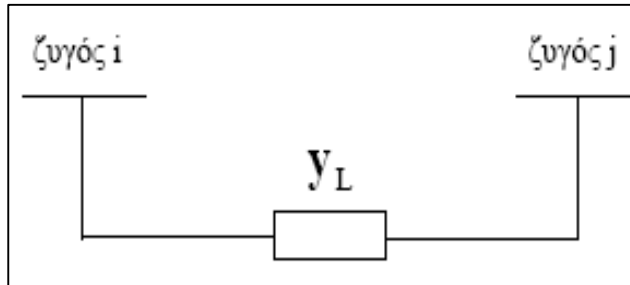


**Σχήμα 1.7 : Παράσταση εγκάρσιου στοιχείου [2]**

Η αγωγιμότητα  $y_i$  είναι της μορφής:  $y = jb_i$  όπου

1. Αν  $b_i > 0$  τότε πυκνωτής
2. Αν  $b_i < 0$  τότε αυτεπαγωγή

Οι μετασχηματιστές παριστάνονται με το απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωμα αγνοώντας την αγωγιμότητα μαγνήτισης. Οπότε, απεικονίζεται με μια αγωγιμότητα σειράς:



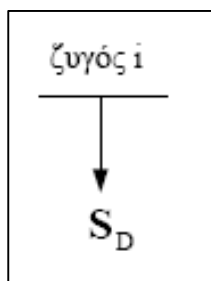
**Σχήμα 1.8 :** Παράσταση Μ/Σ σε ονομαστική σχέση μετασχηματισμού

Όπου  $Y_L = \frac{1}{R_{l\sigma} + jX_{l\sigma}}$

Το σχήμα αναφέρεται σε ένα μετασχηματιστή με ονομαστική σχέση μετασχηματισμού, τέτοια που να αντιστοιχεί στο λόγο των βασικών τάσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν επίσης μετασχηματιστές ρύθμισης, στους οποίους η σχέση μετασχηματισμού διαφέρει από το λόγο των ονομαστικών τάσεων. Στους μετασχηματιστές αυτούς πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η σχέση μετασχηματισμού ανάγοντας τις ανά μονάδα τιμές στο ένα από τα δύο τυλίγματα του.

Τα φορτία που συναντώνται χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

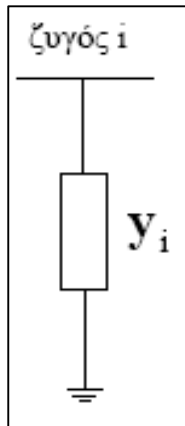
1. Τα φορτία σταθερού συντελεστή μιγαδικής ισχύος(ενεργού και άεργου)



**Σχήμα 1.9:** Παράσταση φορτίου σταθερού συντελεστή ισχύος [2]

Όπου  $S_D = P_D + j Q_D$

2. Τα φορτία με σταθερή σύνθετη αγωγιμότητα όπου  $y_i = g_i + jb_i$



Σχήμα 1.10 :Παράσταση φορτίου με σταθερή αγωγιμότητα [2]





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 2.1 Εισαγωγή

Με τον όρο διανομή ηλεκτρικής ενέργειας ορίζουμε το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με σκοπό την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης.

Τα δίκτυα διανομής είναι τριφασικά και ξεκινούν από το τέλος των υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ, όπου σταματά και το δίκτυο μεταφοράς. Σε αυτά ανήκουν το σύνολο των γραμμών ηλεκτροδότησης μέσης και χαμηλής τάσης μέχρι τους μετρητές ηλεκτρικής ενέργειας των καταναλωτών. Μετά από κάθε μετρητή ξεκινά η ιδιωτική εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση, που αποτελείται από το εσωτερικό δίκτυο διανομής και τις συσκευές κατανάλωσης. Η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας πραγματοποιείται σε δύο επίπεδα τάσης, στη μέση και στη χαμηλή. Γι' αυτό το λόγο, τα δίκτυα διανομής παρουσιάζουν δύο διακριτές βαθμίδες.

Το τμήμα του δικτύου που βρίσκεται υπό μέση τάση (ΜΤ) ονομάζεται πρωτεύον δίκτυο ή δίκτυο διανομής μέσης τάσης και εκτείνεται από τους υποσταθμούς υποβιβασμού ΥΤ/ΜΤ έως και τους μετασχηματιστές διανομής όπου γίνεται περαιτέρω υποβιβασμός της μέσης τάσης σε χαμηλή τάση. Από το πρωτεύον δίκτυο τροφοδοτούνται άμεσα με τριφασική παροχή τα φορτία μέσης τάσης, που ανήκουν συνήθως σε βιομηχανικούς καταναλωτές.

Το τμήμα του δικτύου μετά από τους μετασχηματιστές διανομής βρίσκεται σε χαμηλή τάση (ΧΤ) και ονομάζεται δευτερεύον δίκτυο ή δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης. Μέσω αυτού η ενέργεια μεταφέρεται στους πελάτες ΧΤ, που είναι κυρίως οικιακοί και εμπορικοί καταναλωτές[4].

Η βελτίωση της αποδοτικότητας της λειτουργίας των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας δεν αποτελούσε κύρια κατεύθυνση των διαχειριστών των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό το λόγο μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας χάνονται ως θερμικές και άλλες απώλειες. Σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες, οι ετήσιες απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας στα συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζονται κατά μέσο όρο σε 6%, με το 2% να αναφέρεται σε απώλειες στα δίκτυα μεταφοράς και το ποσοστό 4% να καταναλώνεται σε απώλειες στα δίκτυα διανομής. Τα παραπάνω ποσοστά αναφέρονται σε απώλειες ισχύος και ενέργειας σε γραμμές μεταφοράς υψηλής και μέσης τάσης και πρωτεύοντες και δευτερεύοντες υποσταθμούς υψηλής και μέσης τάσης αντίστοιχα [5].

Αποτέλεσμα των τελευταίων εξελίξεων στο τομέα της ενέργειας εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι διαχειριστές των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (Distribution System Operators ) είναι αναγκαίο να βελτιώσουν την αποδοτικότητα τους, με ενέργειες όπως τον περιορισμό των απωλειών των ηλεκτρικών δικτύων διανομής. Τα τελευταία χρόνια καθίσταται δυνατό και είναι σημαντικό να παρακολουθείται, να μετριέται και να βελτιώνεται η αποδοτικότητα των δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι βελτιώσεις έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση των λειτουργικών εξόδων με την υιοθέτηση συνδυασμού hardware και software εξοπλισμού ο οποίος θα έχει τη δυνατότητα να ενσωματωθεί στις υπάρχουσες υποδομές των ηλεκτρικών δικτύων [5].

## 2.2 Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Διανομής(Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε)

Η ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε.(Διαχειριστής του ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) δημιουργήθηκε με την απόσχιση του κλάδου διανομής της ΔΕΗ Α.Ε σύμφωνα με το Ν.4001/2011 και σε συμμόρφωση με οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, σχετικά με την οργάνωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, με σκοπό να υλοποιήσει τα καθήκοντα του Διαχειριστή του ελληνικού Δικτύου Διανομής. Είναι κατά 100% θυγατρική εταιρία της ΔΕΗ Α.Ε, παρόλα αυτά παρουσιάζει ανεξάρτητη διοικητική λειτουργία, εκπληρώνοντας όλες τις απαιτήσεις ανεξαρτησίας που ενσωματώνονται στο

παραπάνω νομικό πλαίσιο. Σκοπός της εταιρίας είναι η λειτουργία, η συντήρηση και η ανάπτυξη του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα και η διασφάλιση της διαφανούς και αμερόληπτης πρόσβασης των καταναλωτών και γενικότερα όλων των χρηστών του δικτύου. Ως εκ τούτου στοχεύει στην αξιόπιστη τροφοδοσία των καταναλωτών, στην ποιότητα τάσης του ρεύματος και στη διαρκή βελτίωση της παρεχόμενης εξυπηρέτησης. Αποστολή του ΔΕΔΔΗΕ είναι η ανάπτυξη και λειτουργία του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και των συστημάτων ηλεκτρισμού των μη διασυνδεδεμένων νησιών και η διασφάλιση ισότιμης πρόσβασης σε αυτά, όλων των καταναλωτών, παραγωγών και προμηθευτών, με διαφάνεια και σεβασμό στο περιβάλλον [9].

Οι τομείς δραστηριότητας του ΔΕΔΔΗΕ συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία :

1. Η ικανοποίηση αιτημάτων των χρηστών (νέες συνδέσεις καταναλωτών και παραγωγών, τροποποίηση παλαιών παροχών, μετατοπίσεις δικτύων).
2. Ανάπτυξη του δικτύου (ενισχύσεις, βελτιώσεις και εκσυγχρονισμός του δικτύου, κατασκευή κέντρων διανομής και γραμμών 150 kV ).
3. Εργασίες εκμετάλλευσης του δικτύου (λειτουργία του δικτύου διανομής, επιθεώρηση και συντήρηση του δικτύου, αποκατάσταση βλαβών, εξυπηρέτηση των χρηστών δικτύου στα γραφεία, καταμέτρηση των καταναλώσεων).
4. Η ομαλή και αποδοτική λειτουργία της αγοράς ηλεκτρισμού στο επίπεδο των δικτύων.
5. Η αξιόπιστη και οικονομική λειτουργία των αυτόνομων νησιωτικών ηλεκτρικών συστημάτων.

## 2.3 Αγωγοί Δικτύου Διανομής

### 2.3.1 Αγωγοί από Χαλκό

Ο χαλκός εμφανίζει υψηλή αγωγιμότητα και όταν είναι σκληρής εκλύσεως, έχει μεγάλη αντοχή. Κύριο τεχνικό μειονέκτημα του είναι το βάρος. Αν και βρίσκεται άφθονο στο περιβάλλον αποτελεί πλέον παρωχημένο υλικό. Τα πλεονεκτήματα του όμως είναι η καλή αγωγιμότητα και η ευκολία επεξεργασίας του. Οι αγωγοί χαλκού

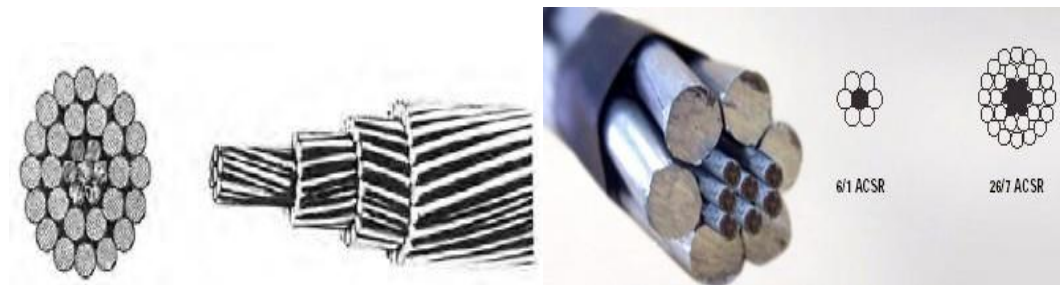
κατασκευάζονται σε τρεις μορφές, μαλακής, μέσης και σκληρής έλκυσης[6]. Οι μαλακής έλκυσης παρατηρούνται στις γραμμές με μικρά ανοίγματα ή με γειώσεις. Είναι εύκαμπτοι και ανθεκτικοί στο σπάσιμο ακόμα και υπό μεγάλο μηχανικό φορτίο. Οι αγωγοί μέσης έλκυσης συναντώνται σε μεσαία ανοίγματα σε αντίθεση με τους σκληρούς έλκυσης που χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερα. Οι τελευταίοι είναι και οι ισχυρότεροι. Η δύναμή τους όμως τους καθιστά δύσκολους στην επεξεργασία αλλά και κατά τη διάρκεια της εργασίας [6].

### 2.3.2 Αγωγοί από Αλουμίνιο AAC (All Aluminum Conductors)

Το αλουμίνιο πλεονεκτεί σε σχέση το χαλκό αφού είναι ελαφρύτερο και έχει μικρότερο κόστος. Μειονεκτεί ωστόσο στο γεγονός αφού έχει σημαντικά μικρότερη αγωγιμότητα από το χαλκό. Το ίδιο συμβαίνει και με τη μηχανική αντοχή του. Το αλουμίνιο σε συνήθης ατμοσφαιρικές συνθήκες οξειδώνεται επιφανειακά. Αυτή προστατεύει τον αγωγό από παραπέρα οξείδωση. Οι αγωγοί αλουμινίου χρησιμοποιούνται παραπάνω στις γραμμές χαμηλής τάσης. Στις γραμμές υψηλής τάσης δε χρησιμοποιούνται γιατί έχουν μικρή μηχανική αντοχή[6].

### 2.3.3 Αγωγοί από Αλουμίνιο-Χάλυβα ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforcement)

Το μειονέκτημα των αγωγών αλουμινίου λύνεται με τους αγωγούς ACRS(Aluminum conductor steel-reinforced cable). Ο χάλυβας αναλαμβάνει τη μηχανική αντοχή και το αλουμίνιο την ηλεκτροδότηση. Η τεχνική των συνεστραμμένων κλώνων αποσκοπεί στην ενσωμάτωση μέσα στον αγωγό αλουμινίου συρμάτων χάλυβα , τα οποία ενισχύουν την απαιτούμενη μηχανική αντοχή του. Οι αγωγοί αυτοί που στο κέντρο τους έχουν κλώνους χάλυβα και γύρω τους έχουν κλώνους αλουμινίου, ονομάζονται αγωγοί αλουμινίου με ενίσχυση χάλυβα. Οι κλώνοι χάλυβα είναι τοποθετημένοι σε στρώματα και αποτελούν τον πυρήνα του αγωγού. Η επιλογή της κατάλληλης συνθέσεως του αγωγού εξαρτάται από τις μηχανικές και ηλεκτρικές απαιτήσεις της γραμμής[6].



**Σχήμα 2.1 : Αγωγός τύπου AAC**

### 2.3.4 Κράματα Αλουμινίου AAAC(All Aluminum Alloy Conductor)

Τα τελευταία χρόνια κατασκευάστηκαν και χρησιμοποιούνται αγωγοί από κράματα αλουμινίου με άλλα μέταλλα, όπως το μαγνήσιο και το πυρίτιο. Οι αγωγοί αυτοί διακρίνονται για τη μεγαλύτερη μηχανική αντοχή τους, ώστε να ικανοποιούν τις μηχανικές απαιτήσεις χωρίς προσθήκη χάλυβα. Πλεονεκτήματα των αγωγών από κράματα είναι ότι εμφανίζουν ομοιογένεια λόγω της οποίας αποφεύγονται ηλεκτρολυτικές διαβρώσεις[6].

### 2.3.5 Υπόγειο Καλώδιο ΝΑΕΚΒΑ 3x240mm<sup>2</sup> Al

Το καλώδιο αυτό είναι ένα τριπολικό ΜΤ και από την ονομασία του είναι εμφανής η δομή του[17]. Συγκεκριμένα:

**N:** Καλώδιο σύμφωνα με τους κανονισμούς VDE (Γερμανικοί κανονισμοί).

**A:** Ηλεκτροτεχνικό Αλουμίνιο (E-Al) σαν αγωγός.

**E:** Καλώδιο τριφασικό με 3 μανδύες.

**K:** Μανδύας από μόλυβδο (Pb) που παρουσιάζει ευκαμψία και χημική αντοχή.

**B:** Ενίσχυση με χαλύβδινες ταινίες.

**A:** Στρώμα προστατευτικό από εμποτισμένες ίνες γιούτας.

### 2.3.6 Υπόγειο Καλώδιο ΝΑ2SXSΥ 3x240mm<sup>2</sup> + 25mm<sup>2</sup> Al

Ένας ακόμα τύπος καλωδίου, που το τελευταίο διάστημα αντικαθιστά μεγάλο μέρος του προηγούμενου τύπου λόγω της ανανέωσης του υπόγειου δικτύου, περιέχει τέσσερα μονοπολικά καλώδια. Οι τρεις από τους τέσσερις αγωγούς, που χωροταξικά

τοποθετούνται συνεστραμμένοι μεταξύ τους με σκοπό να εξασφαλίζεται η εξίσωση των αμοιβαίων επαγωγών, αποτελούν τις φάσεις και έχουν διατομή  $240\text{mm}^2$ . Το τελευταίο καλώδιο παρουσιάζει χαρακτηριστικά μονωμένου αγωγού, ο οποίος οδεύει παράλληλα με τους υπόλοιπους αγωγούς σε απόσταση 20cm και γειώνεται σε όλο το μήκος του. Ο σκοπός λειτουργίας του είναι η δημιουργία ισοδυναμικής επιφάνειας κατά μήκος της γραμμής με αποτέλεσμα να μειώνεται ο κίνδυνος της βηματικής τάσης σε περίπτωση σφάλματος. Η διατομή του είναι  $25\text{mm}^2$ . Τα καλώδια αυτού του τύπου ονομάζονται επίσης και XLPE [17].

Από την ονομασία NA2XSY είναι προφανής η δομή των καλωδίων:

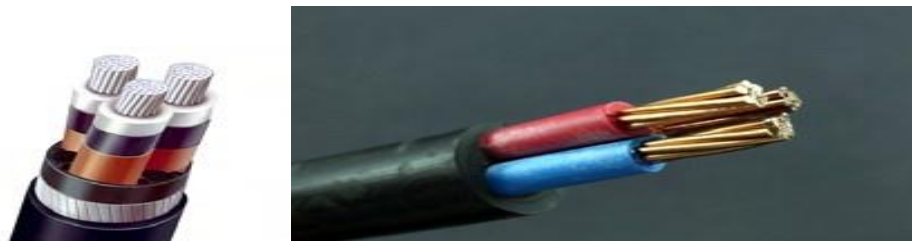
**N:** Καλώδιο σύμφωνα με τους κανονισμούς VDE (Γερμανικοί κανονισμοί).

**A:** Ηλεκτροτεχνικό Αλουμίνιο (E-Al) σαν αγωγός.

**2X:** Μόνωση δικτυωμένου πολυαιθυλενίου (XLPE).

**S:** Μανδύας από χαλκό

**Y:** Αντιδιαβρωτικός μανδύας από PVC για προστασία του μανδύα χαλκού από τη διάβρωση. Θα μπορούσαμε να είχαμε και πολυαιθυλένιο.



**Σχήμα 2.2 : Αγωγός τύπου NA2SXSXSY  $3 \times 240\text{mm}^2 + 25\text{mm}^2$  Al**

### 2.3.7 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Αγωγών Δικτύων Διανομής

Στους πίνακες 2.1 και 2.2 δίδονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των αγωγών Μ.Τ. και Χ.Τ. αντίστοιχα που χρησιμοποιούνται στα Ελληνικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας [7].

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΓΩΓΩΝ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ**

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ [mm <sup>2</sup> ]	ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ R [Ω/km]	ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ L [Ω/km]	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΕΝΤΑΣΗ [A]	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ C [μF/km]
1	ACSR	95	0,215	0,336	400	-
2		16	1,260	0,394	127	-
3		35	0,574	0,369	197	-
4		50	0,404	0,358	266	-
5	AAAC	35	1,070	0,389	145	-
6		70	0,565	0,368	215	-
7		185	0,204	0,336	415	-
8	CU	16	1,248	0,412	115	-
9		35	0,591	0,387	175	-
10		50	0,401	0,375	230	-
11		95	0,218	0,358	360	-
12	NAHEKBA	150	0,246	0,116	235	0,530
13		240	0,167	0,108	305	0,380
14	XLPE	3x240+25	0,162	0,115	410	0,270
15	ACSR-R	16	1,150	0,369	133	-
16	ΣΥΝΕΣΤΡ.	3x50+50	0,825	0,142	173	0,180

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2: ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΓΩΓΩΝ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ**

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ [mm <sup>2</sup> ]	ΩΜΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ R [Ω/km]	ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ L [Ω/km]	ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΕΝΤΑΣΗ [A]
1	AL	16	1,248	0,330	130
2		35	0,591	0,306	205
3		50	0,401	0,294	260
4		70	0,301	0,284	325
5	CU	16	1,248	0,330	115
6		35	0,591	0,306	175
7		50	0,401	0,294	230
8		70	0,301	0,284	280
9	ΣΥΝΕΣΤΡ.	3x35+54,6	0,972	0,100	119
10		3x70+54,6	0,496	0,100	180
11		3x120+54,6	0,284	0,083	280
12	ΝΑΚΒΑ	3x95+50	0,379	0,084	216
13		3x150+70	0,256	0,084	278
14	XLPE	3x95+35	0,378	0,071	216
15		3x150+50	0,243	0,071	278

Οι ωμικές αντιστάσεις των γυμνών αγωγών αντιστοιχούν σε θερμοκρασία 50 °C ενώ για τα καλώδια στη μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία τους. Οι διατομές των αγωγών ACSR και AI δεν είναι πραγματικές, αλλά αντίστοιχες ισοδύναμου χαλκού. Οι διατομές των άλλων αγωγών είναι πραγματικές.

#### 2.4 Δομή Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Σε αντίθεση με τα δίκτυα μεταφοράς που παρουσιάζουν συνήθως παρόμοια χαρακτηριστικά κατασκευής, η μορφολογία των δικτύων διανομής εξαρτάται από το είδος και την πυκνότητα των φορτίων των καταναλωτών, που καθορίζονται από την χωροταξική διαμόρφωση μιας χώρας. Κατασκευαστικά τα δίκτυα διανομής (ΔΔ) διακρίνονται σε εναέρια ή υπέργεια δίκτυα και υπόγεια δίκτυα.



**ΕΝΑΕΡΙΑ Η ΥΠΕΡΓΕΙΑ ΔΙΚΤΥΑ:** είναι λιγότερο ακριβά στην υλοποίησή τους από τα υπόγεια δίκτυα και για αυτό το λόγο και πιο εύκολα να αξιοποιηθούν. Καταλαμβάνουν ωστόσο σημαντικό χώρο, η διάθεση του είναι συνήθως αδύνατη σε πυκνοκατοικημένες περιοχές πόλεων. Γι' αυτό το λόγο η κατασκευή εναέριων δικτύων προσφέρεται ιδιαίτερα στις αγροτικές περιοχές ή μικρές πόλεις που γενικά χαρακτηρίζονται από μικρή πυκνότητα φορτίου και την δυνατότητα που υπάρχει για την τήρηση των ελάχιστων αποστάσεων εγκατάστασης των αγωγών. Ωστόσο, το πιο σημαντικό τους πλεονέκτημα είναι ότι ευνοούν τον γρηγορότερο εντοπισμό και αποκατάσταση πιθανής βλάβης [4].

**ΥΠΟΓΕΙΑ ΔΙΚΤΥΑ:** κατασκευάζονται τα δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσεις στα κέντρα των πόλεων , για λόγους αισθητικής αλλά και λόγω δυσκολίας διαθέσεως του αναγκαίου χώρου. Επίσης στις περιοχές αυτές η μεγάλη πυκνότητα φορτίου καθιστά συχνά αναγκαία την κατασκευή υποσταθμών ΜΤ/ΧΤ , οι οποίοι είναι με την σειρά τους εγκαταστημένοι στο έδαφος ή στην επιφάνεια του εδάφους σε κατάλληλα διαμορφωμένους οικισμούς. Μεγάλο μειονέκτημα αποτελεί η δυσκολία εύρεσης της βλάβης και ο μεγάλος χρόνος αποκατάστασής της.

Οποσδήποτε το θέμα της επιλογής του κατάλληλου δικτύου για μια συγκεκριμένη περιοχή, αποτελεί ένα σύνθετο τεχνοοικονομικό πρόβλημα , επειδή κατά την σχεδίαση πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη και η μελλοντική του εξέλιξη[4].

#### 2.4.1 Εξοπλισμός Δικτύων Διανομής

Παρά τις διαφορές που εμφανίζονται μεταξύ των δικτύων διανομής ανά περιοχές, όλα τους φέρουν βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία.

##### 2.4.1.1 Υποσταθμοί Μεταφοράς

Τα δίκτυα διανομής ξεκινούν από τους υποσταθμούς μεταφοράς ΥΤ/ΜΤ. Οι υποσταθμοί έχουν εγκαταστημένο εξοπλισμό προστασίας και χειρισμού του δικτύου. Συγκεκριμένα περιλαμβάνουν αποζεύκτες, αυτόματους διακόπτες, εν σειρά ή εν παραλλήλω χωρητικότητες, γειώσεις, μετρικές ή άλλες συσκευές. Οι παραπάνω

διακόπτες , οι οποίοι χρησιμεύουν για την διακοπή και αποκατάσταση της ροής ισχύος μαζί με τους μετασχηματιστές που μετασχηματίζουν την τάση αποτελούν τις σπουδαιότερες συσκευές των υποσταθμών μεταφοράς[1].

#### 2.4.1.2 Υποσταθμοί Διανομής

Το δίκτυο διανομής καταλήγει στους Υ/Σ διανομής, οι οποίοι υποβιβάζουν το επίπεδο τάσης έτσι ώστε μέσω των γραμμών διανομής να φτάσει η ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές ΧΤ. Ο υποβιβασμός πραγματοποιείται στους μετασχηματιστές που είναι το κύριο εξάρτημα των υποσταθμών. Εκτός της ισχύος τους, οι Υ/Σ διανομής χαρακτηρίζονται και από το είδος τους, όπου ανάλογα με το χώρο που εγκαθίστανται διακρίνονται σε εσωτερικούς, εναέριους και υπόγειους. Κάθε Υ/Σ χωρίζεται σε τρία κύρια τμήματα: το τμήμα ή κυψέλες ΜΤ , ο Μ/Σ και το τμήμα ή κυψέλες ΧΤ. Στα εναέρια δίκτυα οι μικρότεροι από αυτούς κατασκευάζονται για προσάρτηση σε στύλους. Αντίθετα, στα υπόγεια δίκτυα τοποθετούνται σε υπόγεια πολυκατοικιών ή ακόμα και κάτω από πλατείες [1].

#### 2.4.2 Διακοπτικά Στοιχεία

Περιστασιακά, είναι επιθυμητό να υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα στη σύνδεση των τμημάτων μιας γραμμής σε ένα σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, κυρίως στις γραμμές τροφοδοσίας. Διακόπτες τοποθετούνται σε στρατηγικά σημεία έτσι ώστε η σύνδεση ανάμεσα σε δυο τμήματα γραμμής να μπορεί να επιτευχθεί ή να διακοπεί. Οι διακόπτες ποικίλουν στην ταξινόμηση τους (ανάλογα με το ποσό του ρεύματος που μπορούν να άγουν) και την ικανότητα διακοπής φορτίου (ανάλογα με το ποσό του ρεύματος που μπορούν να διακόψουν με το άνοιγμα τους). Ο χειρισμός τους γίνεται χειροκίνητα, αυτόματα ή ελεγχόμενα εξ αποστάσεως. Οι διακόπτες χρησιμεύουν στα δίκτυα για την εκτέλεση των διαφόρων χειρισμών, δηλαδή την ζεύξη-απόζευξη τμημάτων του δικτύου. Οι κύριες κατηγορίες είναι[6]:

#### *2.4.2.1 Αποζεύκτες (A/Z-isolators or disconnectors )*

Είναι οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για το άνοιγμα( ή το κλείσιμο) ενός κυκλώματος, είτε όταν το ρεύμα που διακόπτεται (ή αποκαθίστανται ) είναι αμελητέο, είτε όταν δεν επέρχεται ουσιαστική μεταβολή στην τάση μεταξύ των πόλων όταν ανοίγει (ως αμελητέα θεωρούνται π.χ τα χωρητικά ρεύματα των μονωτήρων, των ζυγών, των μετασχηματιστών τάσεως ή και πολύ μικρού μήκους καλωδίων). Πρόκειται δηλαδή για διακόπτες που δεν έχουν ισχύ διακοπής[4].

#### *2.4.2.2 Γειωτές*

Είναι επίσης διακόπτες χωρίς ισχύ διακοπής και χρησιμεύουν για να ανοίγουν τα ηλεκτροστατικά φορτία μετά την απόζευξη.

#### *2.4.2.3 Διακόπτες Φορτίου (Δ/Φ – Switches )*

Είναι οι συσκευές που έχουν την ικανότητα να διακόπτουν, ή να αποκαθιστούν εντάσεις σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας του κυκλώματος καθώς και να αποκαθιστούν αλλά όχι και να διακόπτουν περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων. Ένας Δ/Φ ο οποίος, όταν είναι στην ανοικτή θέση ικανοποιεί τις περιπτώσεις απομονώσεως που ορίζονται για τον αντίστοιχο A/Z, ονομάζεται διακόπτης Φορτίου-Αποζεύκτη . Οι διακόπτες φορτίου χρησιμοποιούνται στη μέση τάση[4].

#### *2.4.2.4 Διακόπτες Ισχύος (βραχυκυκλώσεως, Δ/Ι- Circuit Breakers)*

Είναι οι συσκευές που έχουν την ικανότητα να διακόπτουν ή να αποκαθιστούν εντάσεις υπό κανονικές συνθήκες του κυκλώματος αλλά κυρίως υπό ορισμένες μη κανονικές συνθήκες, όπως είναι η περίπτωση βραχυκυκλώματος.

Η τοποθέτηση διακοπών στα δίκτυα διανομής πραγματοποιείται όχι μόνο για την προστασία του συστήματος, δηλαδή για την απομόνωση και επισκευή του σφάλματος, αλλά και για να είναι δυνατή η διαχείριση της αναδιαμόρφωσης του δικτύου. Στο δίκτυο περιλαμβάνονται δύο κατηγορίες διακοπών αυτοί που είναι ανοικτοί σε κανονική κατάσταση λειτουργίας ( normally open switches) και αυτοί που είναι κλειστοί (normally closed switches) [14]. Η χρήση των ανοικτών διακοπών είναι

πολύ σημαντική καθώς υπάρχουν γραμμές οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται στην κανονική λειτουργία του δικτύου, αλλά έχουν ως στόχο τη δημιουργία συνδέσεων μεταξύ κατάλληλων σημείων των κύριων γραμμών διανομής [12]. Έτσι σε περίπτωση αποσύνδεσης ορισμένων γραμμών τροφοδότησης, δεν διακόπτεται η ροή ηλεκτρικής ενέργειας που υπό άλλες συνθήκες θα έμεναν εκτός δικτύου. Ειδικότερα το τελευταίο διάστημα με την ανάπτυξή του απομακρυσμένου ελέγχου διαδραματίζουν ένα σημαντικό κομμάτι του αυτοματισμού του δικτύου. Συγκεκριμένα ο χειριστής μπορεί απομακρυσμένα να αλλάζει εύκολα την τοπολογία του δικτύου. Η επαναδιαμόρφωση του δικτύου με χρήση διακοπών έχει δύο στόχους:

1. τη μείωση των απωλειών ενέργειας που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των δαπανών των εταιριών διανομής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τη μείωση της εκπομπής CO<sub>2</sub>. Αυτή η μείωση των εκπομπών στοχεύει στην προστασία του περιβάλλοντος καθώς και στη μείωση προστίμων λόγω αυξημένων εκπομπών.
2. Ανακούφιση του δικτύου από τις υπερτάσεις.

#### **2.4.2.5 Χωρητικές Αντισταθμίσεις**

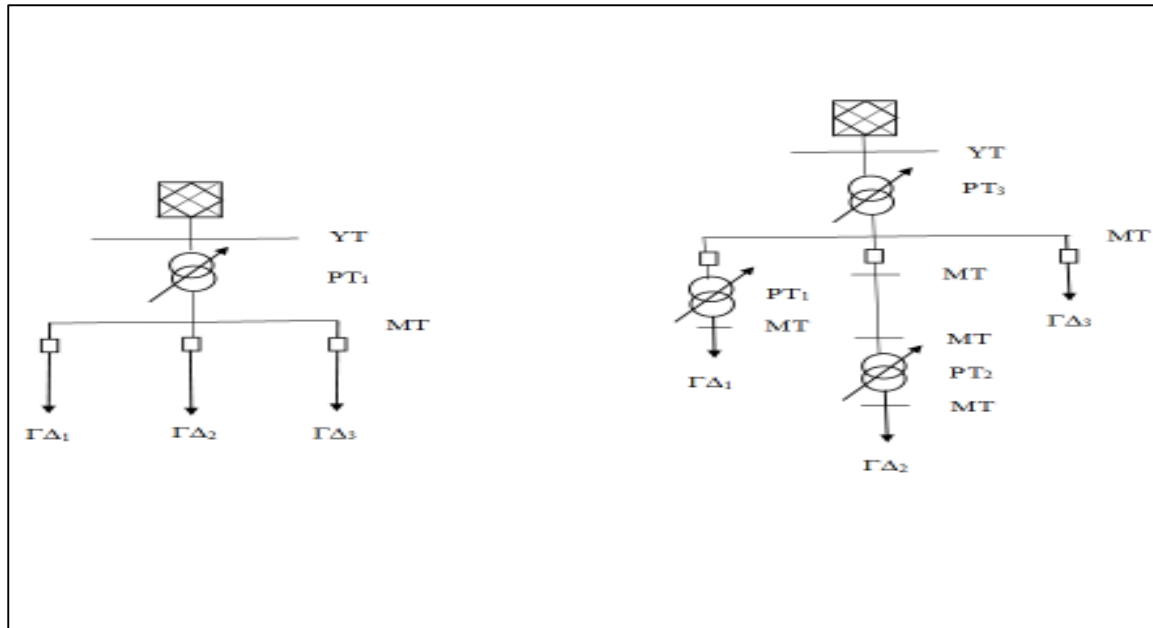
Για την ρύθμιση της τάσης, στα ΔΔ παρατηρούνται συχνά εγκάρσιοι πυκνωτές. Αντίθετα, η χρήση πυκνωτών σειράς είναι περιορισμένη διεθνώς για τη ρύθμιση της τάσης. Οι εγκάρσιοι πυκνωτές τοποθετούνται στους κόμβους MT των Υ/Σ ΥΤ/MT με σκοπό να εξυπηρετούν τις ανάγκες του συστήματος μεταφοράς. Αντίθετα, όταν τοποθετούνται επί των γραμμών διανομής MT, η τοποθέτησή τους στοχεύει αποκλειστικά τα συστήματα διανομής. Η σύνδεση των εγκάρσιων πυκνωτών είναι είτε μόνιμη ( οπότε χαρακτηρίζονται μόνιμοι πυκνωτές ή σταθεροί πυκνωτές ή μη αποζεύξιμοι πυκνωτές) είτε πραγματοποιείται μέσω διακοπών και διατάξεων αυτοματισμού (οπότε χαρακτηρίζονται αποζεύξιμοι πυκνωτές). Βασικό εξάρτημα της διάταξης αυτοματισμού αποτελεί ο ηλεκτρονόμος τάσης, ο οποίος προκαλεί τη ζεύξη των πυκνωτών, όταν η τάση πέσει κάτω από τα προκαθορισμένα όρια (οπότε η ζεύξη των πυκνωτών ανυψώνει την τάση), ή την απόζευξη των πυκνωτών όταν η τάση υπερβεί μια άλλη προκαθορισμένη τιμή. Βασικό μειονέκτημα των μόνιμων πυκνωτών

είναι ότι συμβάλουν μόνο στην ικανοποίηση του ορίου της μέσης τιμής της τάσης αλλά όχι στην ικανοποίηση του ορίου διακύμανσής της [10].

#### **2.4.2.6 Μετασχηματιστής με Σύστημα Αλλαγής Τάσης υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ)**

Ένας σημαντικός τρόπος για την διατήρηση της τάσης εντός των προκαθορισμένων ορίων σε ένα δίκτυο διανομής είναι οι Μ/Σ ΥΤ/ΜΤ που διαθέτουν Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ) [10]. Το ΣΑΤΥΦ είναι ένας ρυθμιστής τάσης που αλλάζει το λόγο μετασχηματισμού με σκοπό η τάση των ζυγών ΜΤ να μην ξεπερνά τα επιτρεπτά όρια και είναι συχνά ενσωματωμένος στους Μ/Σ ισχύος των υποσταθμών ΥΤ/ΜΤ αλλά και στους ρυθμιστές τάσης που τοποθετούνται σε διάφορα σημεία του δικτύου.

Η ρύθμιση του επιπέδου τάσης πραγματοποιείται με την αλλαγή λήψης στο τύλιγμα ρύθμισης του Μ/Σ, μέσω ενός αντιστροφέα. Η αλλαγή της λήψης στο πρωτεύον τύλιγμα του Μ/Σ αλλάζει την τάση στο δευτερεύον, αφού η επαγόμενη τάση ανά σπείρα παραμένει σταθερή. Συνήθως, η ρύθμιση τάσης κυμαίνεται σε ποσοστό  $\pm 10\%$  με βήμα αλλαγής 1%, αλλά μπορεί να φτάσει σε ορισμένες περιπτώσεις και το 15%. Έτσι, ένα ΣΑΤΥΦ ενσωματωμένο σε ένα Μ/Σ 150/20 kV με το τύλιγμα ρύθμισης να βρίσκεται στα 150 kV έχει 21 λήψεις στο πρωτεύον. Κατά την αλλαγή της λήψης, η ροή της ισχύος διακόπτεται. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση δύο κινητών επαφών για την αλλαγή της λήψης. Αν χρησιμοποιούνταν μια επαφή, θα δημιουργούνταν ισχυρό τόξο και άρα διακοπή της ροής ισχύος για πού μικρό χρονικό διάστημα [1]. Στην αλλαγή λήψης με δύο επαφές, πρώτα πρέπει να κλείσει η επαφή στη δεύτερη λήψη και μετά να ανοίξει η αντίστοιχη της προηγούμενης, με αποτέλεσμα βέβαια τη στιγμή που είναι και οι δύο κλειστές να αναπτύσσεται πολύ μεγάλο ρεύμα καταπονώντας τις επαφές στα τυλίγματα. Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίζεται συνήθως με την τοποθέτηση ωμικών ή επαγωγικών αντιστάσεων μεταξύ των δύο επαφών.

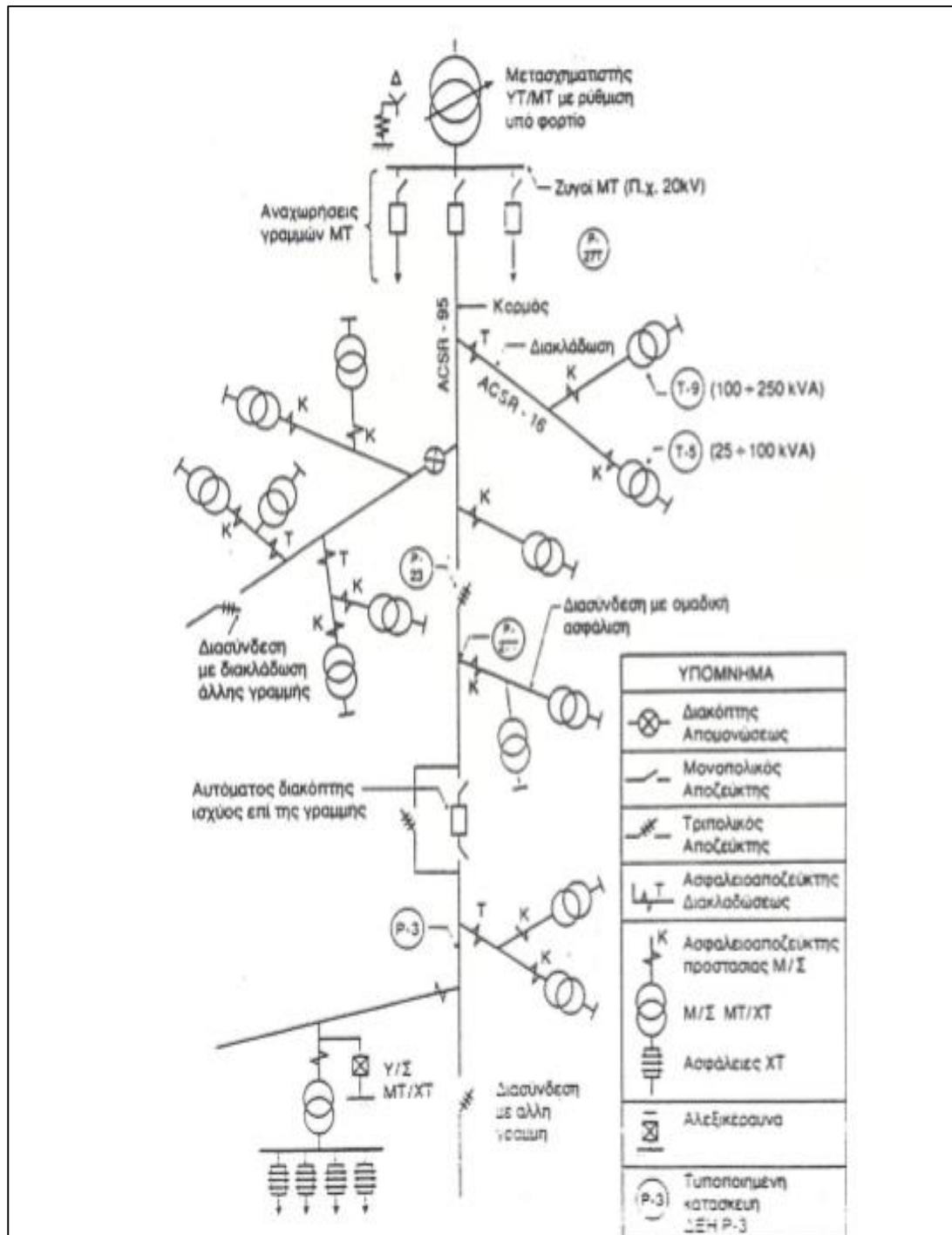


Σχήμα 2.3: Θέση εγκατάστασης ΣΑΤΥΦ [10]

## 2.5 Τοπολογία Δικτύων Διανομής ΜΤ

### 2.5.1 Εναέρια Δίκτυα ΜΤ

Η συνήθης τοπολογία των εναέριων δικτύων ΜΤ είναι δενδροειδής. Αυτά τα δίκτυα αποτελούνται από τον κορμό, ο οποίος δημιουργείται από αγωγούς μεγάλης διανομής και τις διακλαδώσεις, οι οποίες συνδέονται συνήθως με Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ. Οι διακλαδώσεις κατασκευάζονται με αγωγούς μικρότερης διανομής από ότι ο κορμός, αφού σε αυτές μεταφέρεται μικρότερη ισχύ από ότι στον κορμό.



**Σχήμα 2.5: Ακτινικό εναέριο δίκτυο ΜΤ [4]**

Η τροφοδότηση της γραμμής του κορμού στο ένα άκρο της, πραγματοποιείται από τους ζυγούς ΜΤ του Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ μέσω ενός Δ/Ι εξοπλισμένου με τις κατάλληλες προστασίες, ενώ στο άλλο άκρο της μπορεί να διασυνδέεται μετά από χειρισμό με άλλη γραμμή του ίδιου ή άλλου Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ. Κατά μήκος του κορμού μπορούν να τοποθετούνται όλα τα είδη διακοπών. Συγκεκριμένα οι Α/Ζ και οι Δ/Φ

χρησιμοποιούνται για να απομονώνεται ο κορμός κατά τμήματα ενώ τα υπόλοιπα τμήματα να έχουν την δυνατότητα να τροφοδοτούνται κανονικά.

### 2.5.2 Υπόγεια Δίκτυα ΜΤ

Στα υπόγεια δίκτυα ΜΤ η χρονοβόρα διαδικασία εύρεσης βλάβης, αλλά και η δύσκολη και ακριβή αποκατάσταση της, σε σχέση με τα εναέρια, είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία δικτύων με πιο σύνθετες τοπολογίες από την ακτινική. Σε αυτές τις τοπολογίες ακολουθείται ο κανόνας να υπάρχει δυνατότητα μετά από μια βλάβη, να είναι δυνατή η επανατροφοδότηση των Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ από άλλη οδό, μετά την πραγματοποίηση συγκεκριμένων χειρισμών ή και αυτόματα, χωρίς να χρειάζεται κατά ανάγκη επισκευή της βλάβης. Τα τρία βασικά σχήματα που περιγράφουν αυτές τις τοπολογίες είναι[4] :

Το βροχοειδές, που διακρίνεται από το γεγονός ότι οι γραμμές σχηματίζουν τμήματα βρόχου, που αρχίζουν και τελειώνουν στον ίδιο Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ. Παραλλαγές του σχήματος αυτού είναι :

1. Δίκτυο με ανοικτούς ή κλειστούς διακτυλίους 2.6(α)
2. Δίκτυο σε Υ/Σ διασύνδεσης 2.6 (β)
3. Δίκτυο με ενδιάμεσους Υ/Σ ΜΤ 2.6(γ)

Κατά τη λειτουργία ενός βροχοειδούς δικτύου διανομής δεν χρησιμοποιείται ο παραλληλισμός των Υ/Σ τροφοδοσίας, δηλαδή η ταυτόχρονη τροφοδότηση μιας γραμμής από δύο ή περισσότερους Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ. Έτσι, στα βροχοειδή σχήματα ένας από τους Δ/Φ εισόδου ή εξόδου σε ένα Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ πρέπει να παραμείνει ανοικτός.

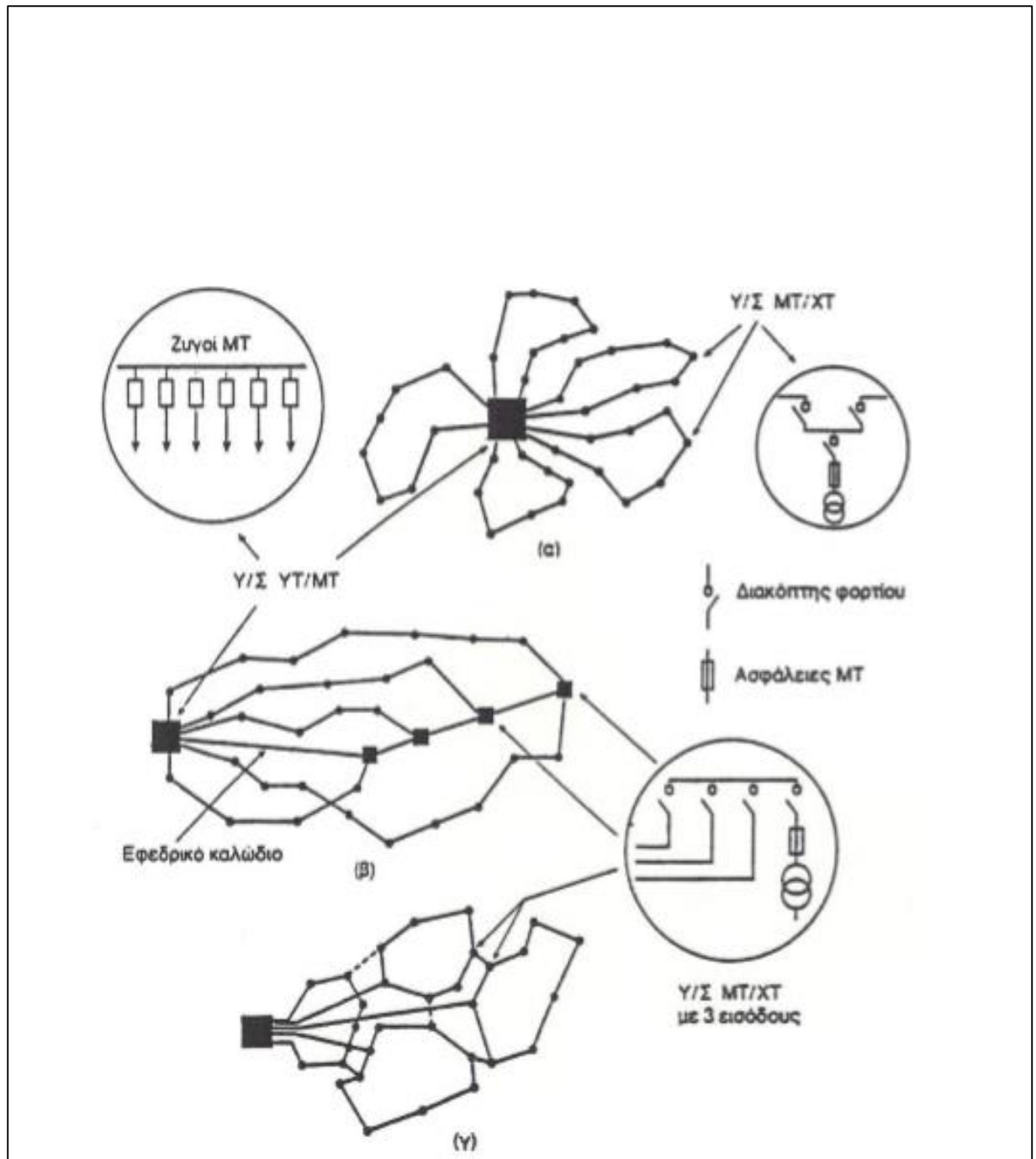
Το ατρακτοειδές, που χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι οι γραμμές αρχίζουν από ένα Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ και καταλήγουν σε έναν άλλο ή καταλήγουν σε έναν Υ/Σ Ζεύξης. Στα ατρακτοειδή σχήματα παραμένουν συχνά ανοικτοί οι διακόπτες των ζυγών ΜΤ των Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ ή του Υ/Σ Ζεύξης για κάθε γραμμή. Σε περίπτωση σφάλματος σε οποιοδήποτε σημείο της γραμμής ανοίγει ο Δ/Ι που προστατεύει τη γραμμή στην αναχώρηση της από τον Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ. Στη συνέχεια, όταν βρεθεί η θέση του σφάλματος



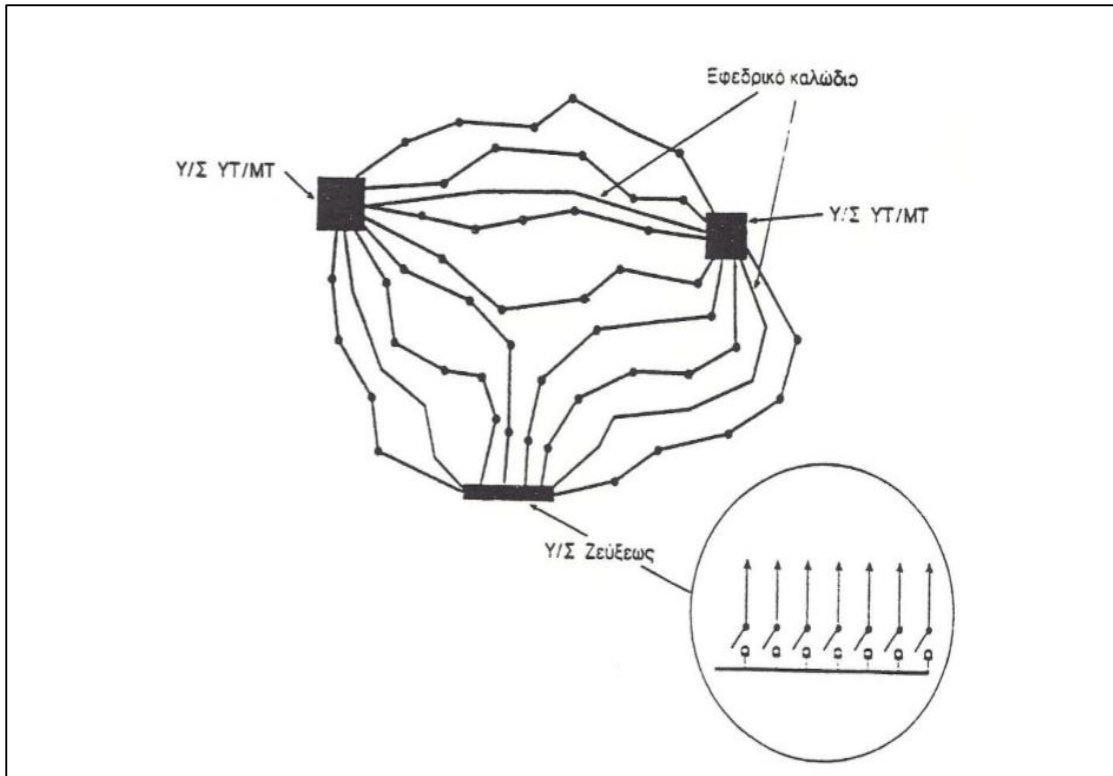
το αντίστοιχο τμήμα απομονώνεται με το άνοιγμα των εκατέρωθεν Δ/Φ και τα λοιπά τμήματα ανατροφοδοτούνται [4].

Επίσης, συχνά συναντάται το σχήμα διπλής τροφοδότησης, το οποίο συνίσταται από παράλληλες ακτινικές γραμμές. Σε κάθε Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ καταλήγουν δύο γραμμές τροφοδοσίας εκ των οποίων η μία είναι εφεδρική. Η κανονική και η εφεδρική γραμμή τροφοδοσίας δεν πρέπει να λειτουργούν ταυτόχρονα, για αυτό οι αντίστοιχοι Δ/Φ συνδέονται μεταξύ τους (μανδάλωση), ώστε να αποκλείεται να παραμείνουν ταυτόχρονα κλειστοί.

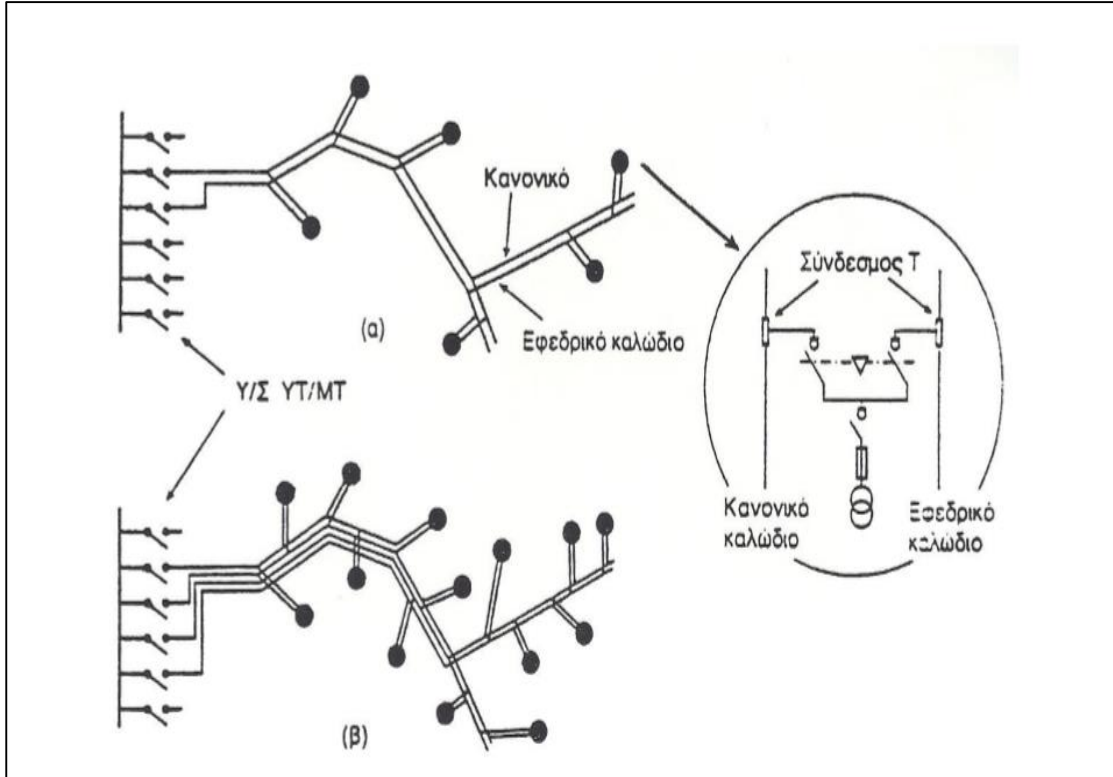
Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ότι σε όλα τα υπόγεια δίκτυα διανομής ΜΤ η λειτουργία παραμένει ακτινική ανεξάρτητου τοπολογίας. Στην πράξη εμφανίζονται δίκτυα ως συνδυασμοί των σχημάτων βροχοειδούς.



Σχήμα 2.6: Βροχειδή σχήματα υπόγειου καλωδιακού δικτύου ΜΤ[4]



Σχήμα 2.7: Ατρακτοειδές σχήμα υπόγειου καλωδιακού δικτύου ΜΤ [4]



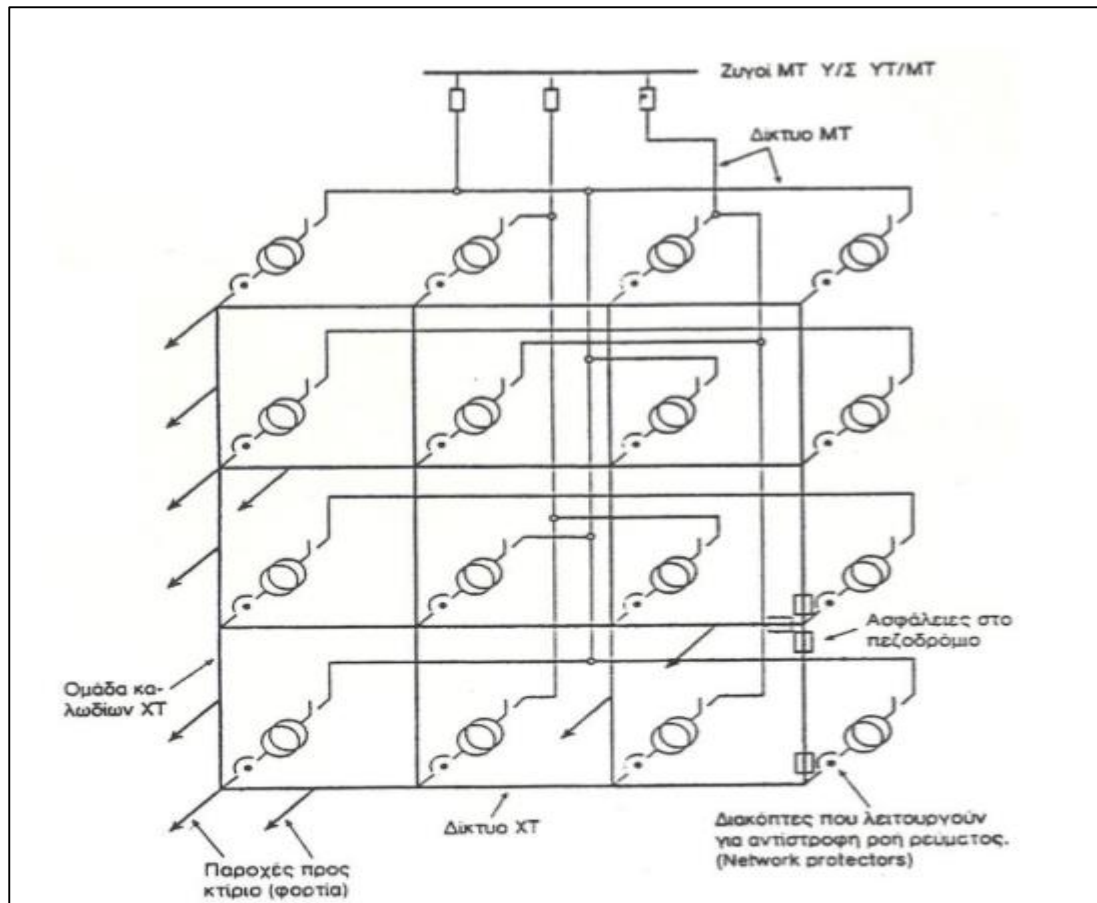
Σχήμα 2.8: Διπλής τροφοδότησης α) Σε αρχική β) Σε επόμενη φάση ανάπτυξης[4]

Το βροχοειδές δίκτυο με μορφή πετάλων γύρω από Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ παρουσιάζει το πλεονέκτημα της απλότητας, αλλά δεν υποστηρίζει την πλήρη αξιοποίηση των καλωδίων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην περίπτωση που υπάρξει βλάβη μεταξύ του τμήματος που συνδέει τον Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ με τον πρώτο Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ να υπάρχει δυνατότητα τροφοδοσίας από την άλλη οδό όλων των Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ.

Αντίθετα, τα υπόλοιπα δύο είδη βροχοειδούς δικτύου επιτρέπουν την καλύτερη αξιοποίηση των καλωδίων, είτε μέσου εφεδρικού καλωδίου με Υ/Σ διασύνδεσης, είτε μέσω ενδιάμεσων Υ/Σ, ώστε να εξυπηρετούνται περισσότεροι του ενός βρόχοι. Το ατρακτοειδές δίκτυο εκμεταλλεύεται ακόμη περισσότερο την ικανότητα των καλωδίων ενώ ευνοεί περισσότερο μια ενδεχόμενη επέκταση του δικτύου. Βέβαια επιβαρύνεται από τον Υ/Σ Ζεύξης. Τέλος, στο δίκτυο διπλής τροφοδότησης όταν συμβεί βλάβη διακόπτεται η τροφοδοσία σε όλους τους Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ, ενώ η επανατροφοδότηση γίνεται με μεταγωγή στο εφεδρικό καλώδιο. Έτσι, ο χρόνος επανατροφοδότησης ελαχιστοποιείται. Βασικό μειονέκτημα αυτού του δικτύου είναι ότι παρουσιάζει δυσκολίες επέκτασης, λόγω κατασκευαστικών δυσκολιών, ιδιαίτερα όταν πρόκειται να αναπτυχθεί σε στενούς αστικούς χώρους[4].

### 2.5.3 Τοπολογία Δικτύων Διανομής ΧΤ

Στην πλειοψηφία τους τα δίκτυα διανομής ΧΤ, τόσο τα εναέρια όσο και τα υπόγεια καλωδιακά, λειτουργούν ακτινικά. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές, που απαντώνται τα κλειστά δίκτυα λειτουργίας. Τα κλειστά δίκτυα λειτουργίας είναι κυρίως υπόγεια και έρχονται να καλύψουν την απαίτηση του πολύ υψηλού βαθμού συνέχειας στην τροφοδότηση των καταναλωτών, όπως συμβαίνει στις μεγαλουπόλεις. Αυτά τα δίκτυα είναι ουσιαστικά δικτυωτά πλέγματα ΧΤ.



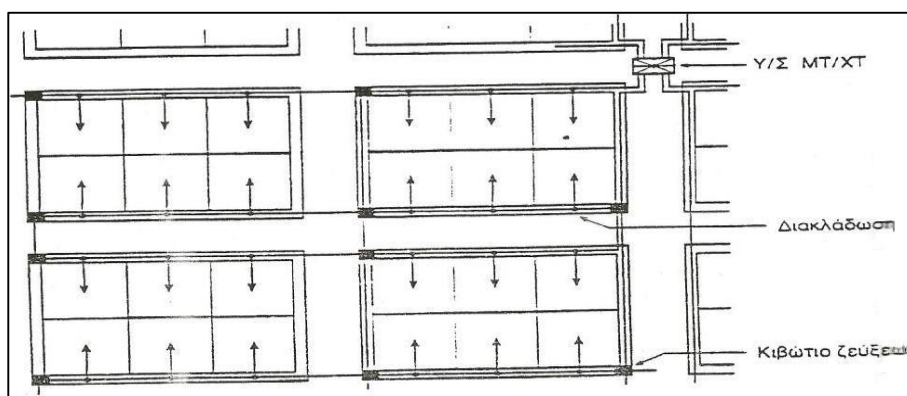
**Σχήμα 2.9: Διάταξη κλειστού δικτύου ΧΤ [4]**

Στο κλειστό δίκτυο πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη μέριμνα όσον αφορά την προστασία έναντι σφαλμάτων που συμβαίνουν στη γραμμή ΜΤ, όσο και στο ίδιο το δίκτυο. Στην περίπτωση που συμβεί σφάλμα (βραχυκύκλωμα) σε μια γραμμή ΜΤ προκαλείται αυτόματα άνοιγμα των  $\Delta/I$  ΧΤ των Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ, ώστε να αποφευχθεί η αντίστροφη ροή ρεύματος στους Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ και ουσιαστικά η ανακύκλωση του βραχυκυκλώματος. Η τροφοδοσία βέβαια δεν χρειάζεται να διακοπεί, εάν οι υπόλοιπες γραμμές ΜΤ λειτουργούν κανονικά. Η προστασία στη ΧΤ γίνεται μέσω αυτομετασχηματιστών, οι οποίοι απομονώνουν τη γραμμή ΧΤ που έγινε το σφάλμα. Τα κλειστά δίκτυα έχουν εν γένει τις λιγότερες απώλειες, αλλά απαιτούν πολύ στενή παρακολούθηση της ανακατανομής φορτίων με το χρόνο [4].

Η ακτινική λειτουργία των δικτύων διανομής ΧΤ, υλοποιείται σε διάφορες τοπολογίες. Πρώτα στα εναέρια δίκτυα των οποίων η τοπολογία περιγράφεται από το ακτινικό σχήμα και ύστερα στα υπόγεια καλωδιακά δίκτυα. Τα βασικά σχήματα

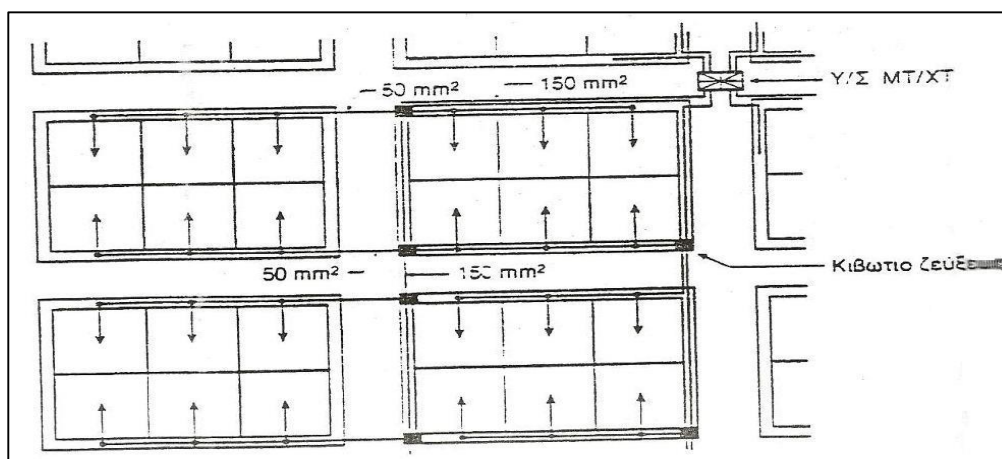
που περιγράφουν τις τοπολογίες των υπόγειων δικτύων διανομής ΧΤ έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Χρησιμοποιούνται καλώδια ενιαίας διατομής. Επίσης το δίκτυο διαμορφώνεται ώστε να μπορεί να λειτουργήσει με διπλή τροφοδότηση(μετά από χειρισμούς) κάθε πλευράς οικοδομικού τετραγώνου.



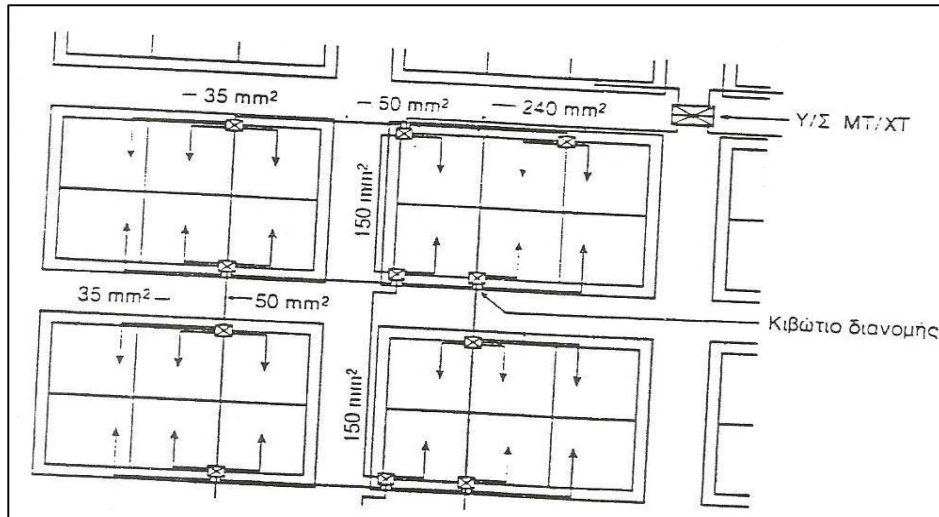
**Σχήμα 2.10 : Υπόγειο δίκτυο ΧΤ με δυνατότητα διπλής τροφοδότησης[4]**

2. Διαμορφώνονται κύριοι βρόχοι, ανά δύο αναχωρήσεις από τον Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ αλλά η παροχή των καταναλωτών γίνεται ακτινικά με καλώδιο μικρότερης διατομής



**Σχήμα 2.11: Υπόγειο δίκτυο ΧΤ με απλή τροφοδότηση των καταναλωτών[4]**

3. Δεν συναντώνται κλειστοί βρόχοι, ενώ παρατηρούνται καλώδια πολλών διατομών, ώστε να τηρούνται οι περιορισμοί φόρτισης και πτώσης τάσεως



Σχήμα 2.12: Υπόγειο δίκτυο ΧΤ με "κιβώτιο διανομής"[4]

## 2.6 Το δίκτυο ως Γράφημα

Το ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να παρασταθεί και να περιγραφεί ως γράφημα. Στην περίπτωση αυτή οι ζυγοί Υ/Σ τροφοδοσίας ή φορτίων αντιστοιχούν στους κόμβους του γραφήματος, ενώ τα τμήματα τριφασικών ή μονοφασικών γραμμών μεταξύ δύο συνεχόμενων ζυγών αντιστοιχούν στους κλάδους του. Έτσι, κάθε ηλεκτρικό δίκτυο υπακούει στα θεωρήματα και τους κανόνες που διέπουν τη Θεωρία των Γραφημάτων (Graph Theory). Παρακάτω ακολουθούν στοιχεία αυτής της θεωρίας [8].

**Γράφος(ή γράφημα) G**, ονομάζεται ένα διατεταγμένο ζεύγος συνόλων  $(V, E)$ , όπου  $V$  είναι μη κενό σύνολο στοιχείων και  $E$  ένα σύνολο μη διατεταγμένων ζευγών του  $V$  δηλαδή:

$$E \subseteq \binom{V}{2}$$

Τα στοιχεία του μη κενού συνόλου  $V$  λέγονται κορυφές ή κόμβοι (vertices, nodes) του γραφού. Τα στοιχεία του συνόλου  $E$  λέγονται ακμές ή πλευρές (edges) και μπορούν να συμβολιστούν με ένα γράμμα. Αν  $e = \{u_1, u_2\}$  είναι ακμή ενός γραφού  $G$ , αυτή ενώνει ή συνδέει τις κορυφές  $u_1, u_2$  του  $G$  και μπορεί να συμβολιστεί επίσης ως  $u_1 u_2$  ή  $u_2 u_1$ . Οι κορυφές  $u_1, u_2$  λέγονται άκρα (endpoints) της ακμής  $e$ . Από τον ορισμό του γραφού προκύπτει ότι μια ακμή δεν μπορεί να έχει ως άκρα την ίδια κορυφή. Επειδή η ακμή  $e$  τις συνδέει, λέγονται γειτονικές κορυφές στο  $G$ . Αν  $u_1, u_2$  είναι γειτονικές κορυφές στο  $G$ , τότε η ακμή  $u_1 u_2$  προσπίπτει στις  $u_1$  και  $u_2$ . Δύο ακμές που

προσπίπτουν στην ίδια κορυφή είναι γειτονικές ακμές στο  $G$ . Για την κατασκευή του διαγράμματος, κάθε κορυφή του γράφου σχεδιάζεται με ένα σημείο, μια κουκίδα και κάθε ακμή με ένα τμήμα καμπύλης γραμμής. Από τον τρόπο κατασκευής του διαγράμματος, είναι φανερό πως δεν υπάρχει μοναδικός τρόπος σχεδίασης ενός γράφου. Ο αριθμός των κορυφών ενός γράφου  $G(V,E)$  ονομάζεται τάξη του  $G$  και συμβολίζεται  $|V|$  και ο αριθμός των ακμών του, μέγεθος του  $G$  και συμβολίζεται με  $|E|$ .

**Βαθμός** ενός γράφου  $G(V,E)$  μιας κορυφής  $u \in V$  ονομάζεται ο αριθμός των ακμών του  $G$  που προσπίπτουν στην  $u$  και συμβολίζεται με  $d(u)$ . Ένας γράφος για τον οποίο ισχύει  $d(u)=k$  για κάθε κορυφή του, λέγεται  $k$ -κανονικός γράφος.

### Θεώρημα

Το άθροισμα των βαθμών όλων των κορυφών ενός γράφου, ισούται αριθμητικά με το διπλάσιο του αριθμού των ακμών του. Δηλαδή σε ένα γράφο  $G(V,E)$  ισχύει:

$$\sum_{v \in V} d(v) = 2 |E|$$

**Απόδειξη:** Εφόσον κάθε πλευρά προσπίπτει σε δύο κορυφές θα προσφέρει δύο μονάδες στο άθροισμα των βαθμών, μια μονάδα για κάθε κορυφή που είναι άκρο της πλευράς αυτής.

Σε ένα γράφο  $G$ , μια πεπερασμένη ακολουθία εναλλάξ κορυφών και ακμών του  $G$  που αρχίζει και τελειώνει σε κορυφή και που κάθε ακμή του περιέχεται στην ακολουθία προσπίπτει στην κορυφή που προηγείται και σε αυτήν που έπεται, λέγεται δρόμος ή διαδρομή στο  $G$ . Αν σε έναν δρόμο ενός γράφου κάθε ακμή του δρόμου εμφανίζεται μόνο μία φορά, ο δρόμος λέγεται **δρομίσκος ή μονοπάτι**. Επίσης, ένας δρόμος στον οποίο κάθε κορυφή και κάθε ακμή του εμφανίζονται ακριβώς μια φορά ονομάζεται **απλό μονοπάτι**. Ένας δρόμος που είναι κλειστό μονοπάτι λέγεται **κύκλος(cycle)**, ο απλός βρόχος στη θεωρία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Ένας δρόμος που είναι απλό κλειστό μονοπάτι λέγεται απλός κύκλος(simple cycle). Ένας γράφος λέγεται συνεκτικός αν αποτελείται από μία μόνο συνιστώσα. Αν ο αριθμός των συνιστωσών είναι μεγαλύτερος του ένα τότε ο γράφος είναι μη συνεκτικός. Προφανώς ένας γράφος είναι συνεκτικός, αν για κάθε ζεύγος κορυφών του γράφου υπάρχει ένα μονοπάτι τουλάχιστον, που τις συνδέει [8].



**Δέντρο** ονομάζεται ένας συνεκτικός γράφος που δεν περιέχει κύκλους. **Δάσος** λέγεται κάθε γράφος που δεν περιέχει κύκλους. Οι συνεκτικές συνιστώσες ενός δάσους είναι δέντρα. Με βάση τον ορισμό του δέντρου διατυπώνονται οι εξής ισοδύναμες εκφράσεις-θεωρήματα για ένα απλό γράφημα  $T$ ,  $n$  κορυφών.

1. Το  $T$  είναι δέντρο
2. Το  $T$  έχει  $n-1$  πλευρές και κανένα κύκλο.
3. Το  $T$  έχει  $n-1$  πλευρές και είναι συνεκτικό.
4. Το  $T$  είναι συνεκτικό και κάθε πλευρά του είναι γέφυρα.
5. Το  $T$  δεν έχει κύκλους, αλλά αν προστεθεί μία πλευρά στο  $T$  μεταξύ ενός ζεύγους μη γειτονικών κορυφών σχηματίζεται ακριβώς ένας κύκλος.

Ακολουθούν οι αλγόριθμοι:

### **Αλγόριθμος Kruskal**

Ο αλγόριθμος ξεκινάει με δάσος  $n$  δέντρων, που το καθένα αποτελείται από ένα κόμβο και τίποτα άλλο. Σε κάθε βήμα δύο διαφορετικά δέντρα του δάσους, συνδέονται μεταξύ τους σε ένα μεγαλύτερο δέντρο. Έτσι έχουμε ολοένα λιγότερα, αλλά μεγαλύτερα δέντρα στο δάσος, μέχρι τελικά να καταλήξουμε σ' ένα δέντρο. Σε κάθε βήμα, από τις πλευρές διαλέγουμε μια που έχει το ελάχιστο κόστος. Αν αυτή συνδέει κόμβους που ανήκουν στο ίδιο δέντρο, τότε την απορρίπτουμε και δεν την εξετάζουμε πάλι, επειδή θα δώσει κύκλο και έτσι θα καταστρέψει το δέντρο. Είτε αυτή, είτε μια από τις επόμενες στη σειρά ελάχιστου κόστους, θα συνδέει κόμβους από δύο διαφορετικά δέντρα, οπότε την συμπεριλαμβάνουμε, συνδέοντας έτσι τα δύο δέντρα σε ένα μεγαλύτερο [8].

### **Αλγόριθμος Prim**

Επιλέγεται πρώτα μια τυχαία κορυφή, που υποθέτουμε είναι η  $V_1$ . Έτσι αρχικοποιούνται δύο σύνολα δεικτών,  $O=\{1\}$  και  $\Pi=\{2, \dots, n\}$ . Το  $O$  θα περιέχει πάντα τους δείκτες εκείνων των κορυφών που έχουν οριστικά προσαρτηθεί στο δέντρο  $T$ . Ήδη στο δέντρο  $T$  έχει προσαρτηθεί η  $V_1$ . Το σύνολο των δεικτών  $\Pi$ , περιέχει τους υπόλοιπους δείκτες  $\Pi=\{1, \dots, n\}-O$ , δηλαδή τους δείκτες εκείνων των κορυφών που δεν έχουν ακόμα συνδεθεί οριστικά σε κάποιο κόμβο του  $T$ . Σε κάθε κύκλο του

αλγορίθμου θα συνδέεται και μια νέα κορυφή στο  $T$ , όχι αναγκαστικά με τη σειρά αρίθμησης. Όταν συνδεθούν όλες οι κορυφές θα έχουμε  $O=\{1, \dots, n\}$  και  $\Pi=0$ . Αυτό βέβαια σημαίνει τον τερματισμό του αλγορίθμου. Η νέα κορυφή θα επιλέγεται, ώστε κάθε φορά με την μέθοδο της απληστίας: μεταξύ όλων των πλευρών  $G$  που συνδέουν τις κορυφές που έχουν ήδη εισαχθεί στο  $T$  με τις υπόλοιπες, διαλέγουμε μια με ελάχιστο κόστος [8].

Στην πλειονότητα τους τα ηλεκτρικά δίκτυα παρίστανται ως επίπεδα γραφήματα. Ο όρος επίπεδο γράφημα αναφέρεται στο γράφημα που μπορεί να επανασχεδιαστεί στο επίπεδο, έτσι ώστε όλες οι πλευρές του να μην τέμνονται.

## 2.7 Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Οι μέθοδοι που ασχολούνται με την βέλτιστη αναδιαμόρφωση του δικτύου διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες [4]:

- Η πρώτη κατηγορία ασχολείται με το σχηματισμό της αντικειμενικής συνάρτησης κόστους στην οποία γίνεται ελαχιστοποίηση με περιορισμούς. Με αυτόν τον τρόπο το πρόβλημα αναφέρεται και εξαρτάται από τη λύση του γενικότερου προβλήματος του βέλτιστου σχεδιασμού της αναπτύξεως του δικτύου.
- Η δεύτερη κατηγορία ασχολείται με την βήμα προς βήμα αλλαγή της τοπολογίας και συνδεσμολογίας του δικτύου και την εύρεση της βέλτιστης λύσης που οδηγεί σε ελάχιστες απώλειες του δικτύου.
- Επίσης, έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι που βασίζονται στη λύση των ρών φορτίου και τον υπολογισμό των απωλειών στα δίκτυα, αλλά σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι κατάλληλες για υπολογισμούς και ανάλυση των συστημάτων διανομής. Δύο από τις πιο γνωστές μεθόδους αυτής της κατηγορίας είναι η μέθοδος Newton-Raphson και η Gauss-Seidel. Οι δύο παραπάνω μέθοδοι βασίζονται στην προσέγγιση με πίνακες και απαιτούν χρόνο και πολλές επαναλήψεις. Παρόλα αυτά το τελευταίο διάστημα χρησιμοποιούνται τροποποιημένες μέθοδοι της παραπάνω τεχνικής.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί αλγόριθμοι που λύνουν το πρόβλημα βέλτιστης αναδιαμόρφωσης των δικτύων διανομής.

### **Αλγόριθμος Εσωτερικού Σημείου**

Ο Karmarkar δημιούργησε ένα αλγόριθμο για την λύση προβλημάτων γραμμικού προγραμματισμού, ο οποίος δεν υπολόγιζε τη βέλτιστη λύση ακολουθώντας μια σειρά σημείων κοντά στους περιορισμούς, αλλά ακολουθώντας μια διαδρομή διαμέσου του εσωτερικού των περιορισμών απευθείας για τη βέλτιστη λύση του περιοριστικού ορίου [13]. Αυτή η λύση ήταν πιο γρήγορη από τους συμβατικούς γραμμικούς αλγόριθμους. Αργότερα ο Gill απέδειξε τη σχέση μεταξύ του αλγόριθμου του Karmarkar και του αλγόριθμου λογαριθμικού φραγμού και έγινε η βάση για την λύση προβλημάτων βέλτιστης ροής φορτίου.

Ο αλγόριθμος εσωτερικού σημείου:

- Δε γίνεται διάκριση μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών( αποθηκεύονται στο διάνυσμα  $x$ )
- Οι ισωτικοί περιορισμοί είναι της μορφής  $g(x)=0$
- Οι ανισωτικοί είναι της μορφής  $h-\leq h(x)\leq h+$
- Χρήση της μεθόδου Newton-Raphson για τη λύση των μη γραμμικών εξισώσεων

### **Γενετικοί Αλγόριθμοι**

Πρόκειται για μια μη αριθμητική ακέραια μέθοδο. Οι γενετικοί αλγόριθμοι λειτουργούν χρησιμοποιώντας μεγάλες δυαδικές σειρές για την αναπαράσταση διαδοχικών εναλλακτικών λύσεων με σκοπό την παραγωγή της βέλτιστης. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τα δυαδικά 0 και 1 για να αναπαραστήσει ανοικτούς και κλειστούς διακόπτες αντίστοιχα. Από τις αποδεκτές λύσεις ,συνδυάζει ευνοϊκά χαρακτηριστικά προσπαθώντας να δημιουργήσει καλύτερα χαρακτηριστικά. Οι γενετικοί αλγόριθμοι αποτελούν βελτίωση της μεθόδου Monte-Carlo[14].

### **Αλγόριθμος βέλτιστης αναδιαμόρφωσης των κλάδων του συστήματος σε δίκτυα διανομής**

Ο αλγόριθμος του Qiuyu Peng και Steven H. Low λύνει ένα συνδυασμένο πρόβλημα μη γραμμικού προγραμματισμού. Έτσι, αναπτύχθηκε για την βελτιστοποίηση και την αναδιαμόρφωση των κλάδων του δικτύου. Σε κάθε βήμα μεταφέρονται μερικά φορτία από έναν τροφοδότη σε έναν άλλο με κριτήριο να μειώνεται το συνολικό κόστος απωλειών ενέργειας. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να μην μπορεί να μεταφερθεί κανένα φορτίο μεταξύ των δύο τροφοδοτών. Χρησιμοποίησαν AC ροή φορτίου για να λύσουν το πρόβλημα και απέδειξαν ότι ο αλγόριθμός τους είναι βέλτιστος όταν τα μεγέθη της τάσης είναι ίδια σε όλους τους ζυγούς του εξεταζόμενου συστήματος [15].

### **Τροποποιημένος αλγόριθμος βέλτιστης αναζήτησης βακτηριακής τροφής**

Ο παραπάνω αλγόριθμος λύνει το μη γραμμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης και η κατάσταση των διακοπών(ανοικτοί ή κλειστοί ) αποφασίζεται σύμφωνα με την συμπεριφορά των βακτηρίων αναζητώντας την τροφή τους. Συγκεκριμένα τα βακτήρια στην διαδικασία αυτή αποφασίζουν αν θα κινηθούν προς μια προκαθορισμένη ή διαφορετική κατεύθυνση με κριτήριο την αναζήτηση θρεπτικών συστατικών. Ο αλγόριθμος συγκλίνει γρήγορα λόγω του ότι τα υγιή βακτήρια αναπαράγονται και τα μη υγιή καταστρέφονται. Αυτό γίνεται και στα δίκτυα διανομής όπου στην αρχική κατάσταση με τη λύση των εξισώσεων φορτίου υπολογίζονται οι απώλειες ισχύος με τη βοήθεια των υπολογισμένων ρευμάτων και τάσεων. Οι κόμβοι που έχουν απώλειες κάτω από μια προκαθορισμένη τιμή απαλείφονται από το βρόχο ενώ οι υπόλοιπες αναπαράγονται ακολουθώντας τη διαδικασία αναζήτησης τροφής των βακτηρίων [16].

Στην παρούσα διπλωματική μελετάται το πρόβλημα αναδιαμόρφωσης του δικτύου διανομής με την χρήση διακοπών. Συγκεκριμένα, μελετώνται όλες οι πιθανές τοπολογίες του δικτύου και για καθεμία από αυτές οι απώλειες ενέργειας. Αφού μελετηθούν όλες οι πιθανές τοπολογίες συγκρίνοντας τις απώλειες σε καθεμία από αυτές επιλέγεται η τοπολογία με τις ελάχιστες απώλειες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 3.1 Εισαγωγή

Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η παρουσίαση των εξισώσεων που χρησιμοποιούνται με σκοπό την επίλυση του προβλήματος της βέλτιστης αναδιαμόρφωσης του δικτύου. Συγκεκριμένα, περιγράφεται η εξίσωση των απωλειών ενέργειας στις γραμμές διανομής και αυτή του κόστους οι οποίες πρέπει να ελαχιστοποιηθούν.

#### 3.2 Τοπολογία Δικτύου Διανομής

Η μελέτη αφορά το υπόγειο δίκτυο διανομής της Θεσσαλονίκης και λαμβάνει στοιχεία για τις γραμμές των Υ/Σ ΜΤ της Δόξας, Αγ. Δημητρίου, Ν. Ελβετίας και Μ. Μπότσαρη. Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν δεκατέσσερις γραμμές διανομής. Η ονομασία των γραμμών διανομής αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο υποδεικνύει τον αρχικό Υ/Σ ΜΤ και το δεύτερο τον Υ/Σ ΜΤ που προσπίπτει η γραμμή.

#### 3.3 Στοιχεία Επιλεγμένου Δικτύου Διανομής(ΔΕΔΔΗΕ)

Σε συνεργασία με τον ΔΕΔΔΗΕ δημιουργήθηκε μια Βάση Δεδομένων με τα παρακάτω στοιχεία[11]:

- Χρονοσειρές των φορτίων των γραμμών (ημίωρες μετρήσεις έντασης των διακοπών αναχώρησης των γραμμών ΜΤ)
- Εγκαταστημένη ισχύς των Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ
- Συμφωνημένη ισχύς των πελατών Μέσης Τάσης
- Τοπολογία του Δικτύου (διαδοχική σειρά τροφοδοσίας Υ/Σ)
- Τα χαρακτηριστικά του Δικτύου (μήκος, είδος αγωγού, διατομή, ηλεκτρικά χαρακτηριστικά)

### 3.4 Τύποι Υπολογισμών Απωλειών στις Γραμμές Διανομής

Για την ελαχιστοποίηση των απωλειών στις γραμμές του υπόγειου δικτύου διανομής χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω συνάρτηση:

$$P_{\text{απ}} = P_{\text{ενερ.}} + P_{\text{ισχ.}} \quad \text{Όπου}$$

$P_{\text{απ}}$ : Απώλειες ενέργειας για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα

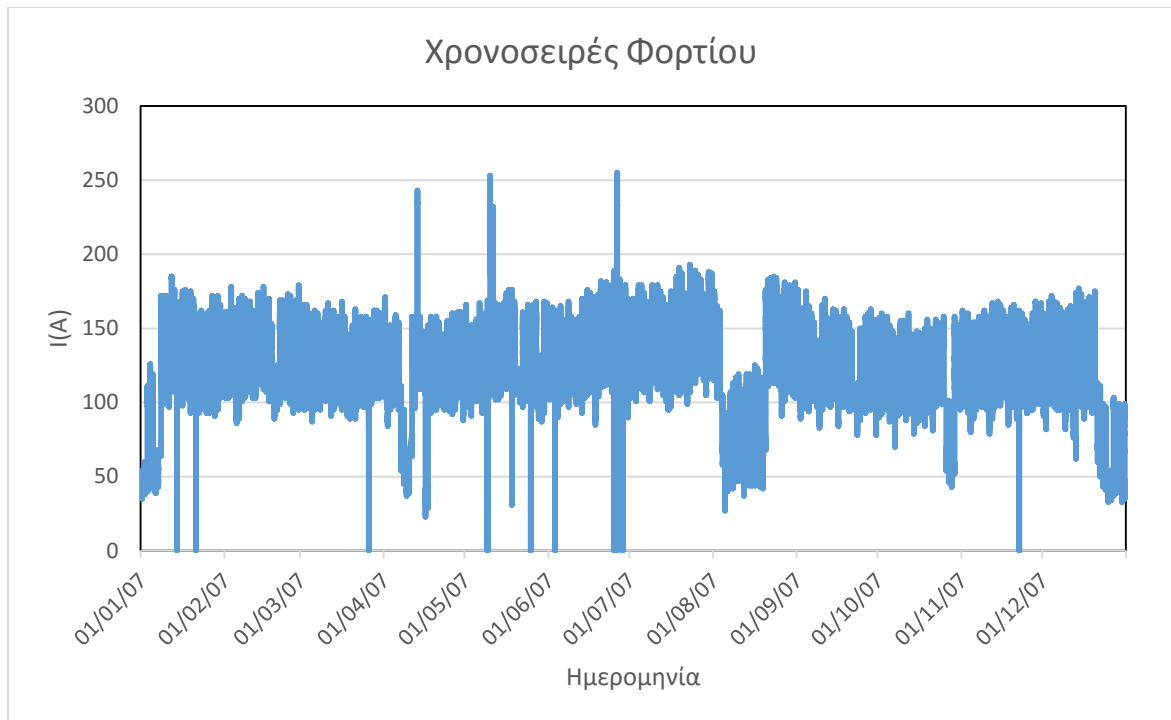
$P_{\text{ισχ.}}$ : Απώλειες ισχύος τη στιγμή του εθνικού μεγίστου

$$P_{\text{ενερ}} = R \cdot I_{\text{max}}^2 \cdot F_A \cdot 8760$$

Όπου  $F_A$  είναι ο συντελεστής απωλειών και υπολογίζεται μέσω του ετήσιου συντελεστή φορτίου  $F$ .

#### 3.4.1 Υπολογισμός $F_A$ , $m$ , $I_{\text{max}}$

Για τον υπολογισμό των συντελεστών φορτίου ( $F$ ) και ετεροχρονισμού απωλειών ισχύος ( $m$ ), των γραμμών MT χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις εντάσεων του συστήματος SCADA. Ειδικότερα, για κάθε γραμμή μέσης τάσης και για ένα έτος λειτουργίας, υπήρχαν διαθέσιμες 17520 μετρήσεις έντασης, δεδομένου ότι η λήψη των μετρήσεων γίνεται ανά ημίωρο. Προκειμένου να εκληφθεί αντιπροσωπευτικά η μέγιστη φόρτιση της γραμμής, έγινε εισαγωγή των μετρήσεων κάθε γραμμής σε γράφημα. Έτσι έχοντας μια πλήρη εποπτική εικόνα της φόρτισης της κάθε γραμμής, απορρίφθηκαν υψηλές φορτίσεις που οφείλονται σε βραχυχρόνιες μεταφορές φορτίων και επιλέχθηκε η πλέον αντιπροσωπευτική τιμή της μέγιστης φόρτισης της. Παρακάτω φαίνεται ένα χαρακτηριστικό γράφημα που απεικονίζεται η γραμμή 27I\_40VIII από τα δεδομένα.



**Σχήμα 3.1: Προφίλ Ζήτησης Γραμμής**

Προφανώς σύμφωνα με το διάγραμμα  $I_{max}=188A$  και απορρίπτονται όπως προαναφέρθηκε τα βραχυπρόθεσμα φορτία που προστίθενται κατά διαστήματα και φτάνουν μέχρι τα 250A. Όμοια υπολογίστηκε το  $I_{max}$  και για τις υπόλοιπες δοσμένες γραμμές.

Ο συντελεστής φορτίου  $F$  αποτελεί μια σημαντική ένδειξη για το τρόπο που χρησιμοποιείται το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας μιας εταιρίας. Κάθε ηλεκτρική εταιρία επιδιώκει βέλτιστο συντελεστή φορτίου, δηλαδή περίπου ίσου με 1,00, γιατί τα δίκτυα δημιουργήθηκαν με σκοπό η βέλτιστη λειτουργία τους να επιτυγχάνεται στην αιχμή του φορτίου. Γι' αυτό το λόγο χρεώνουν περισσότερο τους βιομηχανικούς καταναλωτές όταν έχουν χαμηλό συντελεστή φορτίου.

$$F = \frac{\text{ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΟΥ ΑΠΟΡΡΟΦΑΤΑΙ}}{\text{ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΥΠΟ ΜΕΓΙΣΤΗ ΙΣΧΥ}} = \frac{\int_0^T p(t) dt}{T \cdot P_{max}} = \frac{\sum_{n=1}^{15720} I_n \cdot 0.5}{8760 \cdot I_{max}}$$

$$F_A = \frac{\int_0^T i^2(t) dt}{T \cdot I_{max}^2} = 0.3 \cdot F + 0.7 \cdot F^2$$

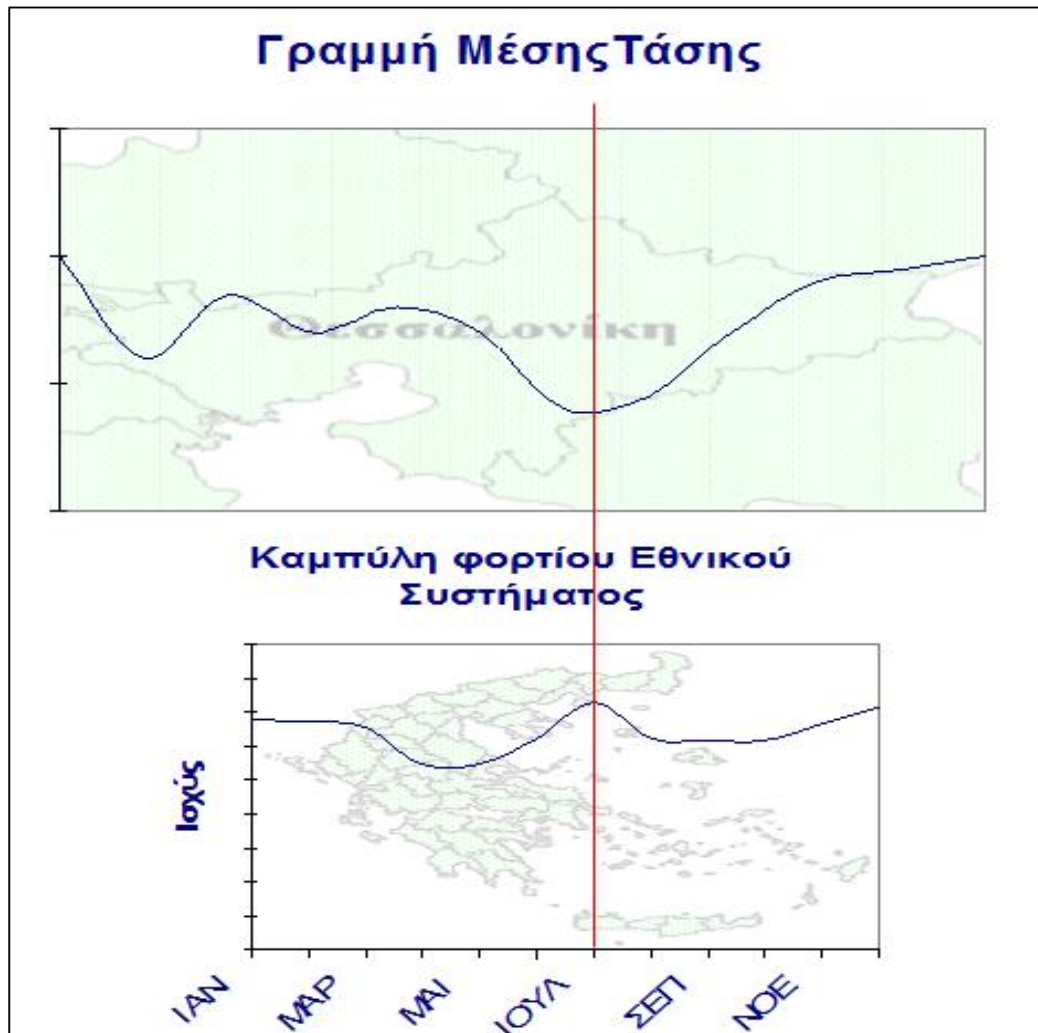
$$P_{\text{ισχ}} = R \cdot I_{max}^2 \cdot m$$

Όπου  $m$  είναι ο συντελεστής ετεροχρονισμού απωλειών ισχύος και ισούται με :

$$m = \left( \frac{I_a}{I_{max}} \right)^2$$

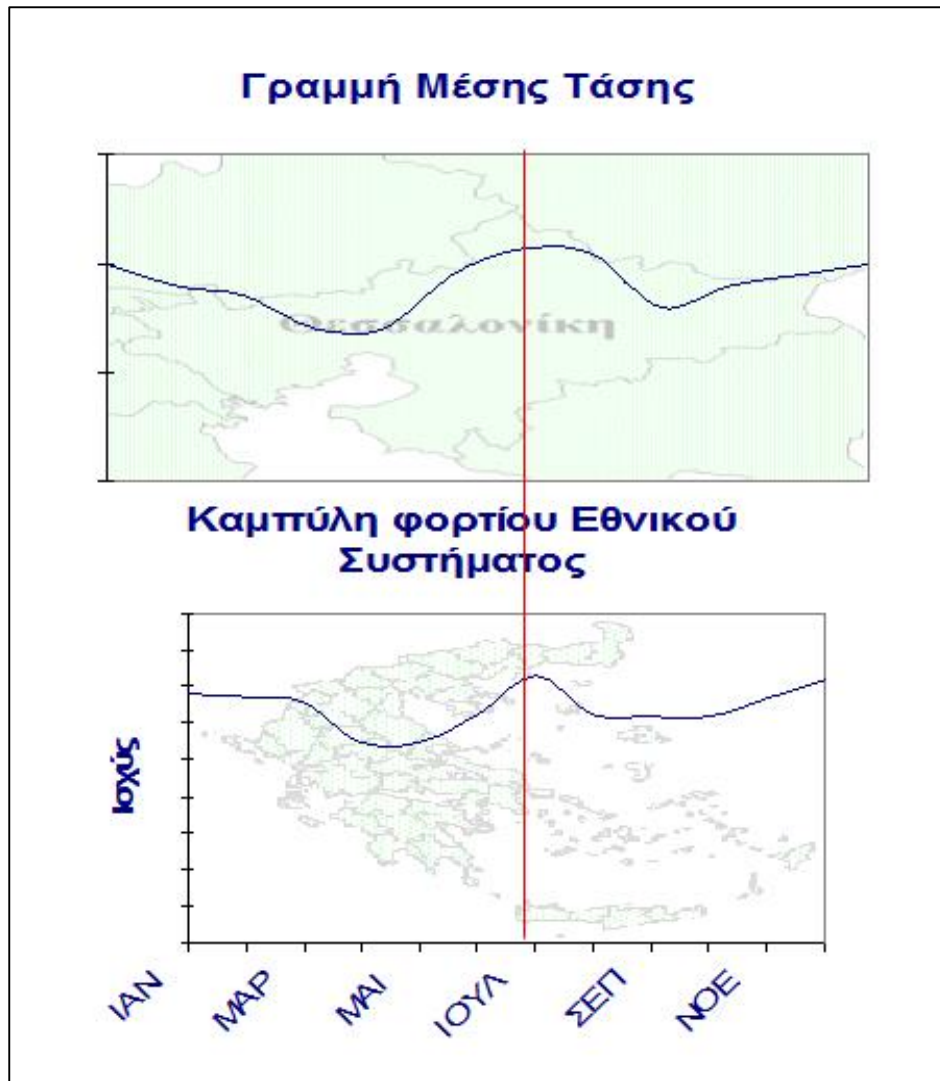
όπου:  $I_a$  η φόρτιση της γραμμής κατά την αιχμή του Εθνικού Συστήματος και

$I_{max}$  η μέγιστη φόρτιση της γραμμής



Σχήμα 3.2 : Περίπτωση  $m \ll 1$





Σχήμα 3.2 : Περίπτωση  $m \approx 1$

Άρα τελικά έχουμε:  $P_{\text{απ}} = P_{\text{ενερ.}} + P_{\text{ισχ.}} = R \cdot I_{\text{max}}^2 \cdot F_A \cdot 8760 + R \cdot I_{\text{max}}^2 \cdot m$

Μετά από υπολογισμούς σύμφωνα με την παραπάνω μεθοδολογία προκύπτει ο υπολογισμός των  $F_A$ ,  $m$ ,  $I_{\text{max}}$

**Πίνακας 3.1: Υπολογισμός  $I_{max}$**

Αριθμός Γραμμής	Όνομα Γραμμής	$I_{max}$
1	22VIII__25IV	153
2	23VIII__42IV	143
3	27I__40VIII	188
4	27VIII__48IV	120
5	29VIII__37IV	98
6	30I__24VIII	111
7	36VIII__29IV	191
8	38VIII__29I	57
9	39VIII__36IV	137
10	42VIII__58IV	151
11	43VIII__26IV	111
12	49I__30VIII	184
13	51VIII__25I	113
14	52VIII__55IV	97

Μετά τον υπολογισμό του  $I_{max}$  υπολογίζονται και τα  $m, F_A$

**Πίνακας 3.2 : Υπολογισμός  $F_A, m$**

Αριθμός Γραμμής	Όνομα Γραμμής	$F_A$	$M$
1	22VIII__25IV	0.331	0.428
2	23VIII__42IV	0.314	0.373
3	27I__40VIII	0.229	0.253
4	27VIII__48IV	0.235	0.206
5	29VIII__37IV	0.276	0.131
6	30I__24VIII	0.316	0.428
7	36VIII__29IV	0.309	0.432

8	38VIII__29I	0.349	0.477
9	39VIII__36IV	0.351	0.670
10	42VIII__58IV	0.295	0.398
11	43VIII__26IV	0.279	0.328
12	49I__30VIII	0.285	0.333
13	51VIII__25I	0.214	0.203
14	52VIII__55IV	0.188	0.139

### 3.5 Στοιχεία Οικονομικής Ωφέλειας

Άλλη μια συνάρτηση η οποία πρέπει να ελαχιστοποιηθεί είναι αυτή του κόστους των απωλειών στις γραμμές. Το κόστος απωλειών ισχύος και ενέργειας υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$K = 0.003 \cdot R \cdot (m \cdot \alpha \cdot 8760 \cdot \beta \cdot F_A) \cdot L \cdot I_{\max}^2$$

όπου: **R** Ωμική αντίσταση γραμμής σε (Ω/km)

**m** Συντελεστής ετεροχρονισμού απωλειών ισχύος

**α** Κόστος ισχύος (€/kW\*έτος)

**β** Κόστος ενέργειας (€/kWh)

**F<sub>A</sub>** Συντελεστής απωλειών

**F** Ετήσιος συντελεστής φορτίου

**L** Μήκος γραμμής(km)

**I<sub>max</sub>** Ετήσιο μέγιστο φορτίο της γραμμής (A)

Η ελαχιστοποίηση της παραπάνω συνάρτησης γίνεται υλοποιώντας όλες οι πιθανές τοπολογίες και υπολογίζοντας για καθεμία από αυτές το συνολικό κόστος απωλειών. Τελικά συγκρίνονται τα κόστη απωλειών για όλες τις τοπολογίες και επιλέγεται αυτή με τις λιγότερες που είναι και η βέλτιστη. Αναλυτικότερη παρουσίαση πραγματοποιείται στο επόμενο κεφάλαιο.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι γραμμές διανομής που μελετήθηκαν καθώς και οι υποσταθμοί που απαρτίζουν κάθε μια από αυτές.

**Πίνακας 3.3: Πίνακας Γραμμών-Υποσταθμών**

	ΓΡΑΜΜΗ ΜΤ	Υ/Σ1	Υ/Σ2	Υ/Σ3	Υ/Σ4	Υ/Σ5	Υ/Σ6	Υ/Σ7	Υ/Σ8	Υ/Σ9	Υ/Σ10	Υ/Σ11	Υ/Σ12	Υ/Σ13	Υ/Σ14	Υ/Σ15	Υ/Σ16	Υ/Σ17
1	22VIII_25IV	B-51	B-62	B-291	B-54	B-55	B-310	B-56	B-311	B-305	B-246	B-250	B-248X	ο				
2	23VIII_42IV	T-54	T-52	T-51	T-72	B-369	B-74	B-367	B-371	B-373	B-314	B-372	B-315X	B-379	ο			
3	27I_40VIII	Θ-86	T-4	T-13	T-513	T-530	T-30	T-634	T-531	T-31	T-34	T-35	T-15X	T-53	ο			
4	27VIII_48IV	T-553	T-57	T-58	T-36	T-60	T-560	T-56	T-656	T-661	T-678	T-578	T-78	T-77	T-559	T-673	B-79X	ο
5	29VIII_37IV	B-206	B-197	B-195	B-199	B-31	B-532	B-201	B-34	B-236	B-203	B-557	B-57	ο				
6	30I_24VIII	T-1	T-10	T-12	T-11	B-64	B-335	B-135	T-30X	B-337	B-343	B-341	B-67	ο				
7	36VIII_29IV	B-26	B-107X	B-107	B-109	B-147	B102	B-109X	B-147X	B-113	B-111	B-33X	B-117	B-119	B-120	ο		
8	38VIII_29I	T-50	B-345	B-68	B-333	B-63	B-329	B-323	B-46	B-319	B-317	T-510	Θ-87	ο				
9	39VIII_36IV	B-353	B-70	B-71	B-355	B-358	B-361	B-360	B-72	B-365	B-73X	B-76X	B-73	B-75	B-375	ο		
10	42VIII_58IV	B-349	B-53	B-58	B-359	B-312	B-315	ο										
11	43VIII_26IV	T-772	T-59	T-659	T-73	T-775	T-575	T-75	T-74	T-96	T-97	T-98	T-95	T-595	T-92	T-90	ο	
12	49I_30VIII	Θ-88X	B-207	B-3	B-151	B-153	B-4	B-155	B-157	B-160	B-9X	B-163	B-500	B-9	B-167	ο		
13	51VIII_25I	T-537	T-40	T-38	T-540	T-22	T-20	T-19	T-518	T-18	T-16X	T-17	T-38	T-15	T-14	T-2	Θ-690	Θ-691
14	52VIII_55IV	B-346	T-37	T-39	T-562	T-662	T-561	T-61	T-573	T-596	T-93	ο						

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΩΔΙΚΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

#### 4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε με σκοπό τη βέλτιστη αναδιαμόρφωση των υπόγειων δικτύων διανομής. Πρόκειται για ένα μη γραμμικό πρόβλημα βελτιστοποίησης. Η υλοποίηση του αλγόριθμου πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον C.

#### 4.2 Στοιχεία Υπολογισμού Αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος που δημιουργήθηκε με σκοπό της ελαχιστοποίηση των απωλειών:

1. Επιλέγει τον διακόπτη αναχώρησης(feeder) που τροφοδοτεί το σύνολο της γραμμής.
2. Επιλέγει τον Υ/Σ Διανομής που ο ένας από τους διακόπτες φορτίου του θα παραμένει λειτουργικά ανοικτός, για την δημιουργία της τομής του βρόχου.
3. Υπολογίζει επίσης το ετήσιο οικονομικό όφελος που θα προκύψει για τον ΔΕΔΔΗΕ, μετά την αναδιαρρύθμιση του Δικτύου.
4. Το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την μη καταβολή του προστίμου για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> καθώς έχει υπολογισθεί η μείωση του όγκου των εκπομπών.

#### 4.3 Τμήματα Αλγορίθμου

Ο αλγόριθμος αποτελείται από 3 τμήματα:

1. Το πρώτο τμήμα περιλαμβάνει την λήψη και εισαγωγή των δεδομένων από το αρχείο.
2. Τους υπολογισμούς που γίνονται με σκοπό να υπολογιστούν τα παραπάνω στοιχεία.
3. Τον σχεδιασμό του δικτύου πριν και μετά τη βέλτιστη τομή του βρόχου.

##### 4.3.1 Διάβασμα Δεδομένων από Αρχείο

Στις μεταβλητές του προγράμματος αποθηκεύονται αντίστοιχα :

1. στη name1[i] η ονομασία της κάθε γραμμής
2. στη name[i] η ονομασία των υποσταθμών κάθε γραμμής

3. στη  $n$  ο αριθμός των υποσταθμών
4. στην  $F_A$  ο συντελεστής απωλειών
5. στην  $m$  ο συντελεστής ετεροχρονισμού φορτίου
6. στην  $I_{max}$  το μέγιστο ρεύμα γραμμής
7. στην  $t_r$  αποθηκεύεται από ποιόν  $Y/\Sigma$  ΜΤ τροφοδοτείται ολόκληρη η γραμμή χωρίς την αναδιαμόρφωση του δικτύου.
8. στον πίνακα  $P[i]$  οι ονομαστικές ισχύς των υποσταθμών.
9. στον πίνακα  $L[i]$  τα μήκη των γραμμών μεταξύ των υποσταθμών διανομής.
10. στον πίνακα  $R[i]$  ο τύπος καλωδίου που χρησιμοποιείται σε κάθε τμήμα γραμμής μεταξύ των υποσταθμών.

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται είναι τριών ειδών:

1. Αλουμινίου 240 με  $R=0.162 \Omega/km$
2. NKBA-150 με  $R=0.2233 \Omega/km$
3. ACS-95 με  $R=0.215 \Omega/km$

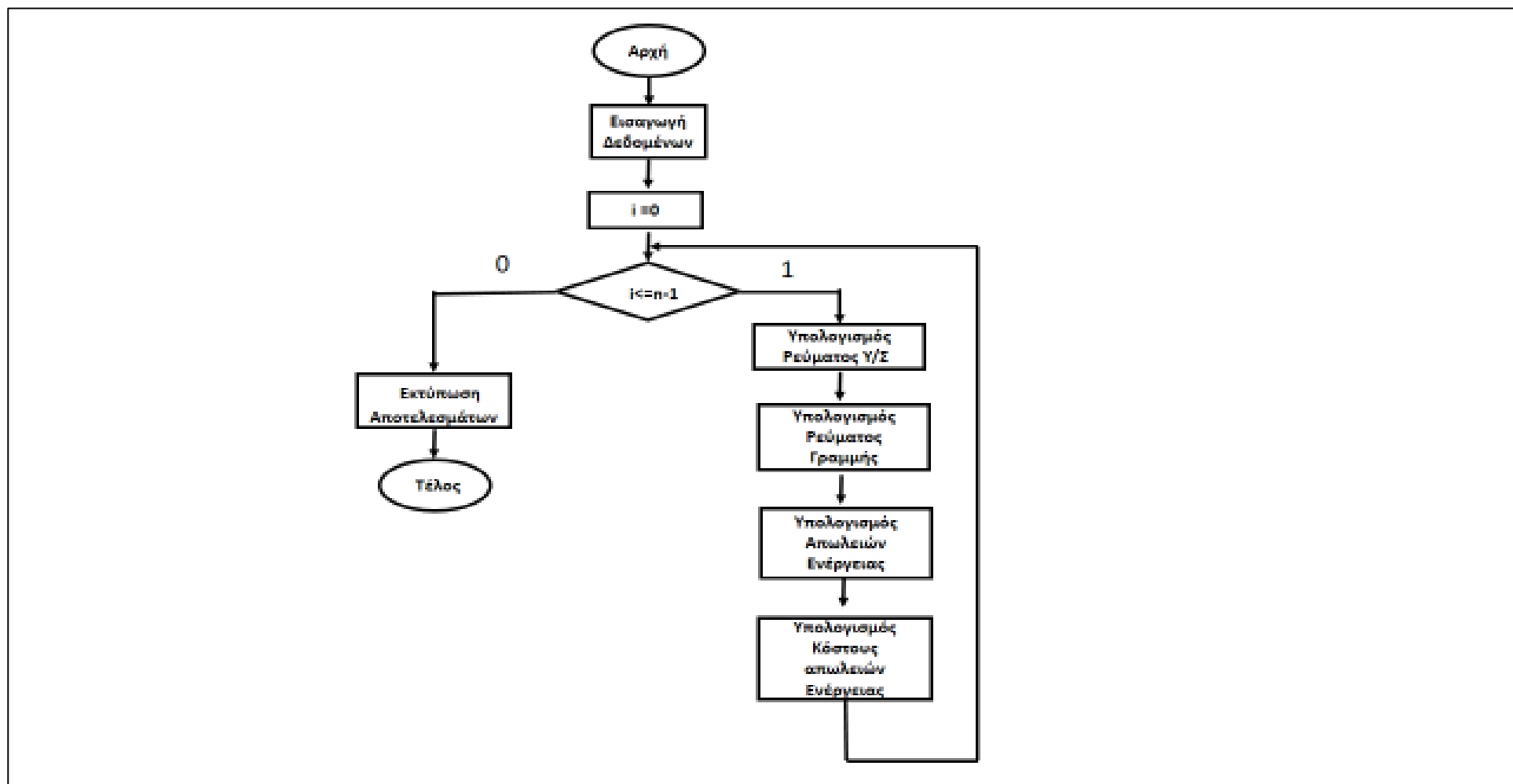
Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα εισαγωγής δεδομένων της γραμμής 1:

1. 22VIII\_25IV
2. B-51,B-62,B-291,B-54,B-55,B-310,B-56,B-311,B-305,B-246,B-250,B-248X
3. 12
4. 0.331
5. 0.428
6. 153
7. 2
8. 750 630 630 1000 500 630 1030 630 1000 1130 630 500
9. 0.460 0.470 0.140 0.160 0.180 0.200 0.210 0.200 0.200 0.600 0.220 0.060 1.300
10. 0.162 0.2233 0.162 0.2233 0.2233 0.162 0.2233 0.2233 0.162 0.2233 0.162  
0.162 0.162

#### 4.3.2 Διεξαγωγή Υπολογισμών

- Αρχικά υπολογίζεται η συνολική ισχύς όλων των υποσταθμών της κάθε γραμμής και αποθηκεύεται στη μεταβλητή  $s$
- Υπολογίζεται και αποθηκεύεται στον πίνακα  $I_{\text{υπ}} [i]$  το ρεύμα που καταναλώνει ο κάθε υποσταθμός που ισούται με τη ισχύ του υποσταθμού προς την συνολική ισχύ όλων των υποσταθμών πολλαπλασιασμένο με  $I_{max}$

$$I_{\text{υπ}} [i] = (I_{\text{max}} \cdot P[i]) / (\sum_{i=1}^n P[i])$$



Σχήμα 4.1 : Διάγραμμα Ροής του Λογισμικού που αναπτύχθηκε(Περίπτωση 1<sup>η</sup>)

## 1. Τροφοδότηση ολόκληρης της γραμμής από τον Υ/Σ ΜΤ 1

Σύμφωνα με το διάγραμμα 4.1:

- Στον πίνακα  $I_1[i]$  αποθηκεύεται το ρεύμα γραμμής που ρέει μετά από κάθε υποσταθμό και ισούται με το ρεύμα γραμμής που ρέει μετά το προηγούμενο υποσταθμό μειωμένο κατά το ρεύμα που καταναλώνει ο τρέχων υποσταθμός. Η επανάληψη πραγματοποιείται από  $i=1$  μέχρι  $i=n-1$ .

Αρχικοποίηση ρεύματος γραμμής :  $I_1[0] = I_{\max} - I_{\text{υπ}}[0]$

Τύπος που χρησιμοποιείται στην επαναληπτική διαδικασία:

$$I_1[i] = I_1[i - 1] - I_{\text{υπ}}[i]$$

- Αφού έχει υπολογιστεί το ρεύμα  $I_1[i]$  υπολογίζονται οι απώλειες ενέργειας(kWh) και το κόστος απωλειών ενέργειας(€) σε κάθε τμήμα της γραμμής και αποθηκεύονται στις μεταβλητές  $P_{\alpha\pi 1}$  και  $K_1$  όπως φαίνεται παρακάτω. Η επανάληψη πραγματοποιείται από 0 μέχρι  $n-1$ .

Αρχικοποίηση απωλειών και κόστους απωλειών ενέργειας:

$$K_1 = (0.003 \cdot R[0] \cdot (m \cdot \alpha + 8760 \cdot \beta \cdot F_A)) \cdot L[0] \cdot I_{\max}^2$$

$$P_{\alpha\pi 1} = (I_{\max}^2 \cdot R[0] \cdot L[0]) \cdot (8760 \cdot F_A + m)$$

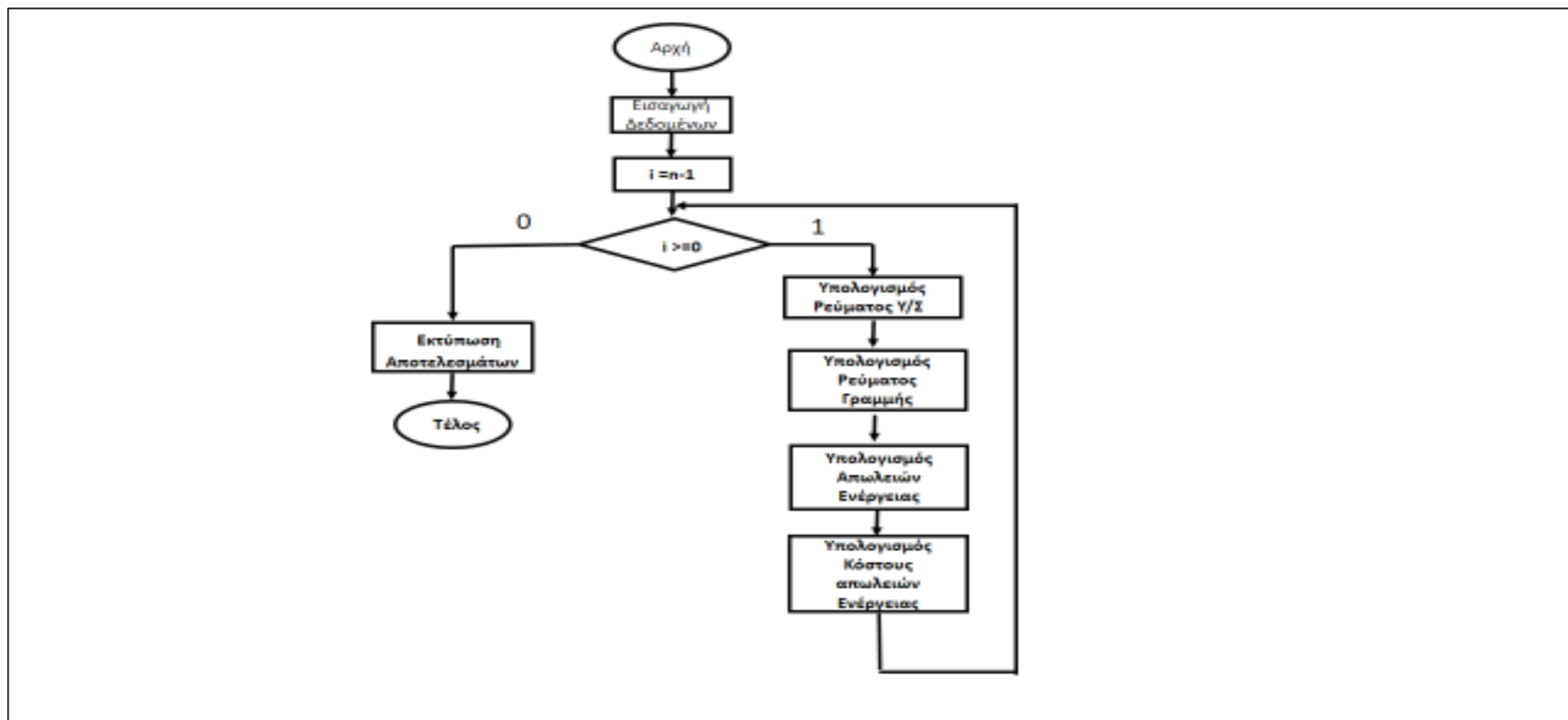
Τύπος που χρησιμοποιείται στην επαναληπτική διαδικασία:

$$P_{\alpha\pi 1} = P_{\alpha\pi 1} + (I_1[i] \cdot I_1[i] \cdot L[i + 1] \cdot R[i+1] \cdot (8760 \cdot F_A + m))$$

$$K_1 = K_1 + ((0.003 \cdot R[i+1] \cdot (m \cdot \alpha + 8760 \cdot \beta \cdot F_A)) \cdot L[i + 1] \cdot I_1[i] \cdot I_1[i])$$

- Τέλος προστίθενται οι απώλειες ενέργειας σε κάθε τμήμα της γραμμής και υπολογίζονται οι συνολικές απώλειες της γραμμής.
- Αντίστοιχα ακολουθείται η ίδια διαδικασία και για το κόστος απωλειών ενέργειας.





Σχήμα 4.2 : Διάγραμμα Ροής του Λογισμικού που αναπτύχθηκε(Περίπτωση 2<sup>η</sup>)

## 2. Τροφοδότηση ολόκληρης της γραμμής από τον Υ/Σ ΜΤ2

- Στον πίνακα  $I_2[i]$  αποθηκεύεται το ρεύμα γραμμής που ρέει μετά από κάθε υποσταθμό και είναι ίσο με το ρεύμα γραμμής που ρέει μετά το προηγούμενο υποσταθμό μειωμένο κατά το ρεύμα που καταναλώνει ο τρέχων υποσταθμός. Η επανάληψη ξεκινά από  $n-2$  μέχρι 0.

$$\text{Αρχικοποίηση: } I_2[n-1] = I_{\max} - I_{\text{υπ}}[n-1]$$

Τύπος που χρησιμοποιείται στην επαναληπτική διαδικασία:

$$I_2[i] = I_2[i+1] - I_{\text{υπ}}[i]$$

- Αφού έχει υπολογιστεί το ρεύμα  $I_2[i]$  υπολογίζονται οι απώλειες ενέργειας(kWh) και το κόστος απωλειών ενέργειας(€) σε κάθε τμήμα της γραμμής και αποθηκεύονται στις μεταβλητές  $P_{\text{απ2}}$  και  $K_2$  όπως φαίνεται παρακάτω. Η επανάληψη πραγματοποιείται από  $n-1$  μέχρι 0

Αρχικοποίηση:

$$P_{\text{απ2}} = (I_{\max}^2 \cdot L[n] \cdot R[n]) \cdot (8760 \cdot F_A + m);$$

$$K_2 = (0.003 \cdot R[n] \cdot (m \cdot \alpha + 8760 \cdot \beta \cdot F_A)) \cdot L[n] \cdot I_{\max}^2$$

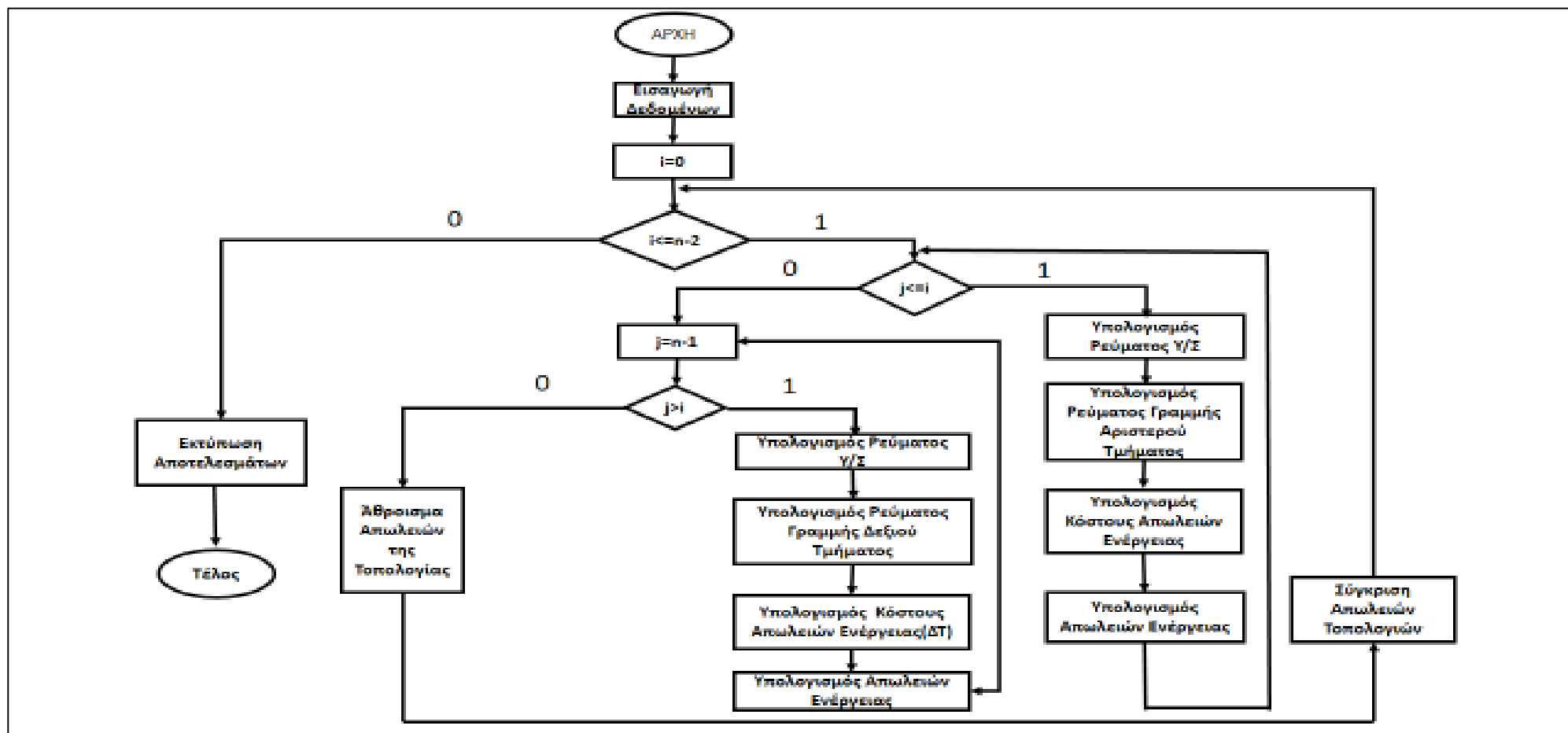
Τύπος που χρησιμοποιείται στην επαναληπτική διαδικασία:

$$P_{\text{απ2}} = P_{\text{απ2}} + (I_2[i]^2 \cdot L[i] \cdot R[i]) \cdot (8760 \cdot F_A + m);$$

$$K_2 = K_2 + ((0.003 \cdot R[i] \cdot (m \cdot \alpha + 8760 \cdot \beta \cdot F_A)) \cdot L[i] \cdot (I_2[i])^2$$

- Τέλος προστίθενται οι απώλειες ενέργειας σε κάθε τμήμα της γραμμής και υπολογίζονται οι συνολικές απώλειες της γραμμής.
- Αντίστοιχα ακολουθείται η ίδια διαδικασία και για το κόστος απωλειών ενέργειας

Τελικά συγκρίνονται οι απώλειες και το κόστος ενέργειας που προκύπτουν αν τροφοδοτηθεί όλη η γραμμή από τον Υ/Σ ΜΤ 1 ή τον Υ/Σ ΜΤ 2 και επιλέγεται η πιο συμφέρουσα λύση καθώς και τα χρήματα που εξοικονομήθηκαν λόγω αυτής της επιλογής.



Σχήμα 4.3 : Διάγραμμα Ροής του Λογισμικού που αναπτύχθηκε(Περίπτωση 3<sup>η</sup>)

### 3. Υπολογισμός της βέλτιστης τομής του βρόχου

Για να υπολογιστεί η βέλτιστη τομή του βρόχου πραγματοποιούνται όλες οι πιθανές τοπολογίες και υπολογίζονται για καθεμία από αυτές οι συνολικές απώλειες ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κάθε γραμμή να χωρίζεται σε δύο τμήματα που το κάθε τμήμα τροφοδοτείται από ένα Υ/Σ ΜΤ. Στη συνέχεια υπολογίζονται και προστίθενται οι επιμέρους απώλειες και το κόστος ισχύος σε κάθε τμήμα και των δύο νέων γραμμών αντίστοιχα. Η διαδικασία συνεχίζεται για όλες τις δυνατές τοπολογίες και υπολογίζονται τα δύο παραπάνω μεγέθη. Αφού ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία επιλέγεται η τοπολογία που εξασφαλίζει τις λιγότερες απώλειες άρα και το βέλτιστο κόστος απωλειών. Έστω μια γραμμή με  $n$  υποσταθμούς στην οποία πραγματοποιείται η τομή του βρόχου μετά τον υποσταθμό  $i$ . Το αρχικό ρεύμα κάθε τμήματος της γραμμής θα ισούται με:

$$I_{αρ} = \left( \frac{\sum_{j=1}^i P[j]}{\sum_{j=1}^n P[j]} \right) * I_{max} = s_1$$

$$I_{δε} = \left( \frac{\sum_{j=i+1}^n P[j]}{\sum_{j=1}^n P[j]} \right) * I_{max} = s_2$$

Δηλαδή, το μέγιστο ρεύμα  $I_{max}$  μοιράζεται στις δύο δημιουργούμενες γραμμές ανάλογα με το ποσοστό της εγκαταστημένης ισχύος σε καθεμία από αυτές.

- Για το πρώτο τμήμα της γραμμής :
  1. Στον πίνακα  $I_{αρ}[i]$  αποθηκεύεται το ρεύμα γραμμής που ρέει μετά από κάθε υποσταθμό και ισούται με το ρεύμα γραμμής που ρέει μετά το προηγούμενο υποσταθμό μειωμένο κατά το ρεύμα που καταναλώνει ο τρέχων υποσταθμός. Η επανάληψη πραγματοποιείται από  $j=1$  μέχρι  $j=i$ .  
Αρχικοποίηση :  $I_{αρ}[0] = I_{αρ} - I_{υπ}[0]$   
Τύπος που χρησιμοποιείται στην επαναληπτική διαδικασία :  
 $I_{αρ}[j] = I_{αρ}[j - 1] - I_{υπ}[j]$
  2. Αφού έχει υπολογιστεί το ρεύμα  $I_{αρ}[i]$  υπολογίζονται οι απώλειες ενέργειας(kWh) και το κόστος απωλειών(€) σε κάθε τμήμα της γραμμής και αποθηκεύονται στη μεταβλητή  $P_{απα}$  και  $K_α$  όπως φαίνεται παρακάτω. Η επανάληψη πραγματοποιείται από 0 μέχρι  $n-1$

Αρχικοποίηση:

$$P_{\alpha\pi\alpha} = (I_{\alpha\rho}^2 \cdot R [0] \cdot L[0]) \cdot (8760 \cdot F_A + m)$$

$$K_{\alpha} = 0.003 \cdot (I_{\alpha\rho}^2 \cdot R [0] \cdot L[0]) \cdot (m \cdot \alpha + 8760 \cdot \beta \cdot F_A)$$

Τύπος που χρησιμοποιείται στην επαναληπτική διαδικασία:

$$P_{\alpha\pi\alpha} = P_{\alpha\pi\alpha} + (I_{\alpha\rho}[j]^2 \cdot L[j + 1] \cdot R[j+1]) \cdot (8760 \cdot F_A + m)$$

$$K_{\alpha} = 0.003 \cdot (I_{\alpha\rho}[j]^2 \cdot L[j + 1] \cdot R[j+1]) \cdot (m \cdot \alpha + 8760 \cdot \beta \cdot F_A)$$

- Για το δεύτερο τμήμα της γραμμής:

1. Στον πίνακα  $I_{\delta\epsilon}[i]$  αποθηκεύεται το ρεύμα γραμμής που ρέει μετά από κάθε υποσταθμό και ισούται με το ρεύμα γραμμής που ρέει μετά το προηγούμενο υποσταθμό μειωμένο κατά το ρεύμα που καταναλώνει ο τρέχων υποσταθμός. Η επανάληψη πραγματοποιείται από  $j=n-2$  μέχρι  $j=i$

Αρχικοποίηση:

$$I_{\delta\epsilon}[n - 1] = I_{\delta\epsilon} - I_{\upsilon\pi}[n - 1]$$

Τύπος που χρησιμοποιείται στην επαναληπτική διαδικασία:

$$I_{\delta\epsilon}[j] = I_{\delta\epsilon}[j + 1] - I_{\upsilon\pi}[j]$$

2. Αφού έχει υπολογιστεί το ρεύμα  $I_{\delta\epsilon}[i]$  υπολογίζονται οι απώλειες ενέργειας(kWh) και το κόστος απωλειών ενέργειας(€) σε κάθε τμήμα της γραμμής και αποθηκεύονται στις μεταβλητές  $P_{\alpha\pi\delta}$  και  $K_{\delta}$  όπως φαίνεται παρακάτω. Η επανάληψη πραγματοποιείται από  $j=n-1$  μέχρι  $j=i$ .

Αρχικοποίηση:

$$P_{\alpha\pi\delta} = (I_{\delta\epsilon}^2 \cdot R[n] \cdot L[n]) \cdot (8760 \cdot F_A + m)$$

$$K_{\delta} = 0.003 \cdot (I_{\delta\epsilon}^2 \cdot R[n] \cdot L[n]) \cdot (m \cdot \alpha + 8760 \cdot \beta \cdot F_A)$$

Τύπος που χρησιμοποιείται στην επαναληπτική διαδικασία:

$$P_{\alpha\pi\delta} = P_{\alpha\pi\delta} + (I_{\delta\epsilon}[j] \cdot R[j] \cdot L[j]) \cdot (8760 \cdot F_A + m)$$

$$K_{\delta} = K_{\delta} + 0.003 \cdot (I_{\delta\epsilon}[j] \cdot R[j] \cdot L[j]) \cdot (m \cdot \alpha + 8760 \cdot \beta \cdot F_A)$$

Τέλος προστίθενται οι απώλειες  $P_{\alpha\pi\delta} + P_{\alpha\pi\alpha}$  και αποθηκεύονται στον πίνακα  $P_{\alpha\pi\omega\lambda}[i]$ .

Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται για όλες τις πιθανές τοπολογίες. Αφού έχουν υπολογιστεί στον πίνακα  $P_{\alpha\pi\omega\lambda}[i]$  οι απώλειες της γραμμής για κάθε πιθανή τοπολογία, επιλέγεται αυτή με τις λιγότερες απώλειες ενέργειας η οποία είναι και η βέλτιστη. Οι ελάχιστες απώλειες ενέργειας αποθηκεύονται στη μεταβλητή  $min$  και ο

υποσταθμός που πραγματοποιείται η βέλτιστη τομή στη μεταβλητή  $k$ . Όμοια διαδικασία παρατηρείται και για την ελαχιστοποίηση του κόστους απωλειών.

Επίσης υπολογίζονται πόσο μειώθηκαν οι απώλειες ενέργειας μετά την πραγματοποίηση της βέλτιστης τομής του βρόχου και πόσα χρήματα εξοικονομήθηκαν εξαιτίας αυτής της επιλογής.

### 4.3.3 Σχεδίαση Δικτύου

Για την σχεδίαση του δικτύου χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη της C `ezdib.c` και `ezdib.h`.

Η συνάρτηση `Sxima( char names[][10], int A, int M, int T )` δέχεται ως ορίσματα:

1. Τον πίνακα `name` που έχουν αποθηκευτεί οι ονομασίες των υποσταθμών
2. `A` που είναι η αρχή του πίνακα `name`
3. `M` το σημείο που πραγματοποιείται η βέλτιστη τομή του βρόχου
4. `T` που είναι η θέση του τελευταίου υποσταθμού

Η μεταβλητή:

1. `hdib` χρησιμοποιείται για την δημιουργία της εικόνας και ορίζονται τα `pixels` δημιουργίας της.
2. `hfont` χρησιμοποιείται για την επιλογή γραμματοσειράς.
3. `ezb_fill_rect` που χρησιμοποιείται για την δημιουργία ορθογώνιων που αντιπροσωπεύουν τους υποσταθμούς διανομής.
4. `ezd_line` δημιουργεί τις γραμμές με τις οποίες ενώνονται οι υποσταθμοί.
5. `ezd_text` που τοποθετεί την ονομασία των υποσταθμών στα ορθογώνια που έχουν δημιουργηθεί.

Για τον σχεδιασμό του δικτύου πριν την βέλτιστη τομή του βρόχου πραγματοποιείται επαναληπτική διαδικασία από `A`(αρχή) μέχρι `T`(τέλος), ενώ για το σχεδιασμό των δύο τμημάτων γραμμής που προκύπτουν μετά τη βέλτιστη τομή πραγματοποιούνται επαναληπτικές διαδικασίες από `A` μέχρι `M`(σημείο πραγματοποίησης τομής) και από `M+1` μέχρι `T` αντίστοιχα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εφαρμογών του αλγόριθμου βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης σε δίκτυα διανομής. Η μελέτη ασχολήθηκε με τις γραμμές των υποσταθμών μέσης τάσης του υπόγειου δικτύου της Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα με τις γραμμές που ξεκινούν από τους υποσταθμούς που βρίσκονται στις παρακάτω περιοχές :

- Υποσταθμός Δόξας ( I )
- Υποσταθμός Ευόσμου (II)
- Υποσταθμός Αγ. Δημητρίου (III)
- Υποσταθμός Ν. Ελβετίας( IV )
- Υποσταθμός Μ. Μπότσαρη( VIII )

Η μελέτη περιλαμβάνει δεκατέσσερις γραμμές που ξεκινούν είτε προσπίπτουν σε έναν από τους παρακάτω Υ/Σ. Εκτός από τη πραγματική κατάσταση των γραμμών μελετήθηκαν και άλλα τέσσερα σενάρια για τις συγκεκριμένες γραμμές και πως αυτά επηρεάζουν τη βέλτιστη τομή του βρόχου:

1. Σενάριο χρησιμοποίησης διαφορετικού τύπου καλωδίου σύνδεσης μεταξύ των Υ/Σ.
2. Σενάριο συγκέντρωσης του συνόλου του φορτίου στην αρχή των γραμμών διανομής.
3. Σενάριο συγκέντρωσης του συνόλου του φορτίου στο τέλος των γραμμών διανομής.
4. Σενάριο με συντελεστή ετεροχρονισμού φορτίου  $m \approx 1$

#### 5.2 Πραγματική Κατάσταση των Γραμμών

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα κόστη απωλειών ενέργειας στις γραμμές διανομής όταν:

- Ολόκληρη η γραμμή τροφοδοτείται αποκλειστικά από τον Υ/Σ ΜΤ που βρίσκεται στην αρχή της γραμμής.
- Ολόκληρη η γραμμή τροφοδοτείται αποκλειστικά από τον Υ/Σ ΜΤ που βρίσκεται στο τέλος της γραμμής.
- Πραγματοποιείται η βέλτιστη τομή του βρόχου.

**Πίνακας 5.1 : Κόστος απωλειών ενέργειας στις υπόγειες γραμμές διανομής**

Όνομα Γραμμής	Βέλτιστη τομή	Κόστος ενέργειας Υ/Π 1 (€)	Κόστος ενέργειας Υ/Π 2 (€)	Παρούσα Τροφοδοσία γραμμής*	Κόστος Βέλτιστης τομής (€)	Όφελος (€)**	Όφελος (%)
22VIII__25IV	B-56	3729,66	5215,43	2	1535,65	3679,79	70,55
23VIII__42IV	B-74	3339,8	3375,56	1	1075,43	2264,37	67,79
27I__40VIII	T -30	4454,22	4047,37	1	1628,75	2825,48	63,43
27VIII__48IV	T -678	1878,02	3279,31	1	845,57	1032,46	54,97
29VIII__37IV	B-31	1732,44	806,95	1	416,37	1316,08	75,96
30I__24VIII	B-64	2264,71	1614,52	2	738,75	875,77	54,24
36VIII__29IV	B-147	10414,09	6019,36	2	2881,66	3137,70	52,12
38VIII__29I	B-329	510,05	672,49	2	182,31	490,18	72,89
39VIII__36IV	B-72	2189,15	5080,05	1	1060,17	1128,99	51,57
42VIII__58IV	B-359	1362,9	3803,67	1	693,25	669,65	49,13
43VIII__26IV	T -75	2495,9	2342,3	1	907,04	1588,86	63,65
49I__30VIII	B-155	5072,95	6752,6	1	1955,24	3117,72	61,45
51VIII__25I	T -19	1817,3	1264,9	1	512,69	1304,61	71,78
52VIII__55IV	T -561	715,58	1669,08	1	361,36	354,23	49,50
Συνολικά						23785,89	

\* ο αριθμός 1 ή 2 υποδεικνύει τροφοδοσία ολόκληρης της γραμμής από τον Υ/Σ1 ή Υ/Σ2 αντίστοιχα.

\*\* Κόστος ενέργειας παρούσας τροφοδοσίας-Κόστος ενέργειας βέλτιστης τομής

Από τον πίνακα 5.1 φαίνεται ότι στις περιπτώσεις των γραμμών 22VIII\_\_25IV , 27I\_\_40VIII , 29VIII\_\_37IV , 38VIII\_\_29I , 43VIII\_\_26IV , 51VIII\_\_25I δεν έχει γίνει η βέλτιστη επιλογή του Υ/Σ ΜΤ που θα τροφοδοτεί αποκλειστικά τις γραμμές με



κριτήριο τη μείωση του κόστους ενέργειας . Επίσης, παρατηρείται ότι με την πραγματοποίηση της βέλτιστης τομής του βρόχου εξοικονομούνται πάνω από το 50% των χρημάτων λόγω μειωμένων απωλειών ενέργειας.

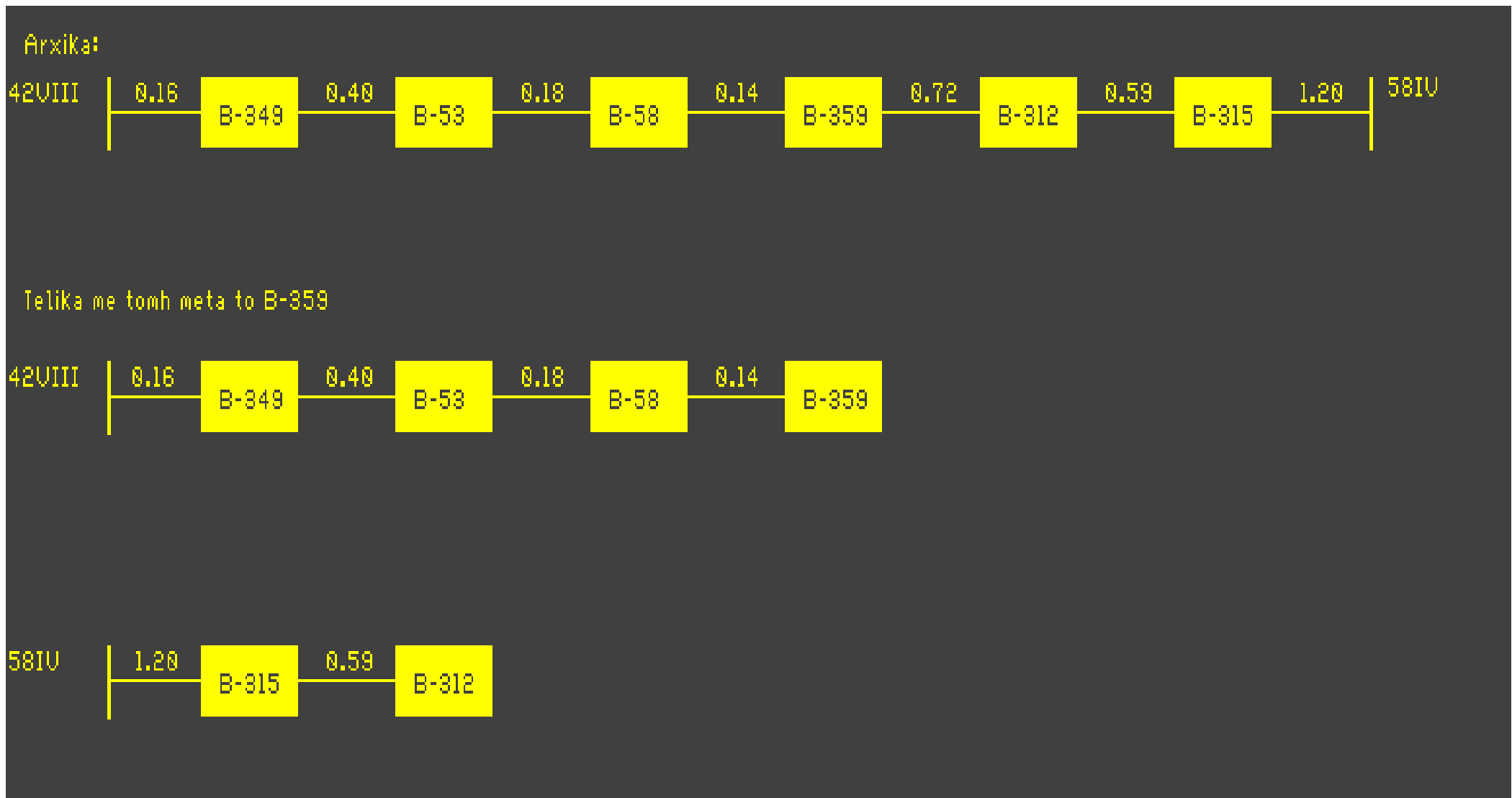
### 5.2.1 Οικονομικό Όφελος λόγω μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub>

Επίσης, ένας από τους πιο σημαντικούς στόχους των διαχειριστών δικτύων διανομής είναι η ελαχιστοποίηση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Η παρούσα μελέτη μειώνει τις απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας στα συστήματα διανομής. Έτσι προκύπτει όφελος από την μη καταβολή του προστίμου για τις εκπομπές CO<sub>2</sub> λόγω της μείωσης του όγκου των εκπομπών. Για τον υπολογισμό αυτό λήφθηκαν υπόψη:

1. Ο μέσος συντελεστής εκπομπών CO<sub>2</sub> του συνολικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής, ο οποίος για την Ελλάδα είναι 0.82 tCO<sub>2</sub>/ MWh.
2. Η μέση χρηματιστηριακή τιμή επιβάρυνσης των εταιριών ηλεκτρικής ενέργειας λόγω εκπομπών CO<sub>2</sub> ισούται με 5.93 €/ tCO<sub>2</sub>.

**Πίνακας 5.2: Οικονομικό όφελος λόγω μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub>**

Όνομα Γραμμής	CO <sub>2</sub> (€)
22VIII__25IV	86,63
23VIII__42IV	53,87
27I__40VIII	67,79
27VIII__48IV	25,36
29VIII__37IV	33,73
30I__24VIII	20,24
36VIII__29IV	73,11
38VIII__29I	11,46
39VIII__36IV	25,05
42VIII__58IV	15,68
43VIII__26IV	37,85
49I__30VIII	74,32
51VIII__25I	31,80
52VIII__55IV	8,83
Συνολικά	565,72



Σχήμα 5.1 :Σχεδιασμός δικτύου πριν και μετά τη βέλτιστη τομή

C:\Users\papag\Desktop\ergasiaMeSxima1\ergasia\Project1.exe

```
epelexe grammi apo 1-14 10
epelexes tin grammi 42VIII_58IV
oi apwleies an trofodothsw olokliri ti grammi apo ton Y/S 42VIII einai 6562.185 KWh
to kostos apwleias isxuos apo ton Y/S 42VIII einai 1362.90 euro
oi apwleies an trofodothsw olokliri ti grammi apo ton Y/S 58IV einai 18314.153 KWh
to kostos apwleias isxuos apo ton Y/S 58IV einai 3803.67 euro
einai protimiteo na trofodotisw olokliri tin grammi apo ton Y/S 42VIII
trofodotw ti grammi apo ton Y/Spou mou eksasfalizei ligoteres apwleies
oi apwleies an pragmatopoihsu tomh meta ton uposta8mo B-349 einai 12793.984 KWh
oi apwleies an pragmatopoihsu tomh meta ton uposta8mo B-53 einai 6613.906 KWh
oi apwleies an pragmatopoihsu tomh meta ton uposta8mo B-58 einai 4347.180 KWh
oi apwleies an pragmatopoihsu tomh meta ton uposta8mo B-359 einai 3337.916 KWh
oi apwleies an pragmatopoihsu tomh meta ton uposta8mo B-312 einai 3586.119 KWh
i veltisti tomi tha pragmatopoih8ei meta ton uposta8mo B-359
oi elaxistes apwleies einai 3337.916 kWh
to kostos apwleias isxuos apo tin veltisti tomi einai 693.25 euro
an ulpoihsu th velptisth tomi tis grammis eksoikonomw se katanalwsh 3224.269 kWh kai 669.65 euro
8a eksoikonomisw logw tis meiwshs twv rupwv 15.68 euro
-----
Process exited after 2.987 seconds with return value 0
Press any key to continue . . .
```

Σχήμα 5.2 : Απεικόνιση Αποτελεσμάτων Αλγορίθμου

### 5.3 Χρησιμοποίηση διαφορετικού τύπου καλωδίου μεταξύ των υποσταθμών

Τα καλώδια που χρησιμοποιήθηκαν είναι τριών ειδών:

1. Αλουμινίου 240 με  $R=0.162 \Omega/\text{km}$
2. NKBA-150 με  $R=0.2233 \Omega/\text{km}$
3. ACS-95 με  $R=0.215 \Omega/\text{km}$

Παρόλα αυτά οι περισσότερες γραμμές που μελετήθηκαν αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από καλώδια αλουμινίου 240. Για αυτό το λόγο επιχειρήθηκε μελέτη της επίπτωσης της αλλαγής του καλωδίου, που αντικαταστάθηκε με καλώδιο NKBA-150.

#### 5.3 Κόστος απωλειών ενέργειας στις υπόγειες γραμμές διανομής(με χρήση διαφορετικών καλωδίων)

Όνομα Γραμμής	Βέλτιστη Τομή	Κόστος ενέργειας Υ/Π 1 (€)	Κόστος ενέργειας Υ/Π 2 (€)	Βέλτιστη Τομή(€)	Όφελος(€)	Ποσοστιαία Μεταβολή(%)
<b>22VIII__25IV</b>	<b>B-311</b>	<b>4301,35</b>	<b>6622,72</b>	<b>1922,80</b>	<b>4699,92</b>	<b>70,96</b>
23VIII__42IV	B-74	4168,82	4546,4	1447,25	2721,57	65,28
27I__40VIII	T -30	6139,68	5578,88	2245,06	3894,62	63,43
27VIII__48IV	T -678	2588,66	4520,2	1165,52	1423,13	54,97
29VIII__37IV	B-31	2387,99	1112,3	573,92	1814,08	75,96
30I__24VIII	B-64	3121,68	2225,45	1018,29	1207,16	54,24
36VIII__29IV	B-147	14354,74	8297,06	3972,07	4324,99	52,12
38VIII__29I	B-329	703,06	926,97	251,30	675,66	72,88
39VIII__36IV	B-72	3017,57	7002,33	1461,33	1556,19	51,57
42VIII__58IV	B-359	1878,62	5242,96	955,58	923,04	49,13
43VIII__26IV	T -75	3440,34	3228,63	1250,25	2190,08	63,65
49I__30VIII	B-155	6734,75	9097,56	2631,08	4130,67	61,33
<b>51VIII__25I</b>	<b>T -518</b>	<b>2504,96</b>	<b>1743,54</b>	<b>706,69</b>	<b>1798,27</b>	<b>71,78</b>

52VIII__55IV	T -561	986,36	2300,65	498,09	488,27	49,50
--------------	--------	--------	---------	--------	--------	-------

Από πίνακα 5.3 παρατηρείται ότι στις γραμμές που αποτελούνται από ένα είδος καλωδίου, η αντικατάστασή του δεν επιφέρει αλλαγή στη θέση της τομής του βρόχου και λόγω της μεγαλύτερης αντίστασής του αυξάνει το κόστος των απωλειών. Αντίθετα στις γραμμές που αποτελούνται από περισσότερα είδη καλωδίων η αντικατάσταση τους με διαφορετικά είδη καλωδίων είναι πιθανό να επιφέρει αλλαγές στη βέλτιστη τομή του βρόχου όπως συμβαίνει στις γραμμές 22VIII\_\_25IV και 51VIII\_\_25I ενώ παράλληλα αυξάνεται και το κόστος απωλειών ενέργειας.

#### 5.4 Συγκέντρωση του συνόλου του φορτίου στην αρχή των γραμμών διανομής

Πραγματοποιήθηκε τοποθέτηση μεγάλου μέρους του φορτίου στην αρχή των γραμμών κι διαπιστώθηκε όπως φαίνεται η αλλαγή της βέλτιστης τομής του βρόχου. Το αποτέλεσμα, όπως ήταν αναμενόμενο(λόγω της συγκέντρωσης των παραπάνω φορτίων στο αριστερό τμήμα της γραμμής) ήταν η μετατόπιση της τομής κατά έναν υποσταθμό αριστερά.

**Πίνακας 5.4: Συσχέτιση αρχικής βέλτιστης τομής με αυτή του σεναρίου 2**

Όνομα Γραμμής	Βέλτιστη Τομή (Αρχικά)	Βέλτιστη Τομή (με συγκέντρωση φορτίου στην αρχή της γραμμής)
22VIII__25IV	B-56	B-310
23VIII__42IV	B-74	B-74
27I__40VIII	T -30	T-30
27VIII__48IV	T -678	T-661
29VIII__37IV	B-31	B-199
30I__24VIII	B-64	B-64
36VIII__29IV	B-147	B-109
38VIII__29I	B-329	B-329
39VIII__36IV	B-72	B-72
42VIII__58IV	B-359	B-359
43VIII__26IV	T -75	T-75

49I__30VIII	B-155	B-4
51VIII__25I	T -19	T-19
52VIII__55IV	T -561	T-61

### 5.5 Συγκέντρωση του συνόλου του φορτίου στο τέλος των γραμμών διανομής

Πραγματοποιήθηκε τοποθέτηση μεγάλου μέρους του φορτίου στην αρχή των γραμμών κι διαπιστώθηκε όπως φαίνεται η αλλαγή της βέλτιστης τομής του βρόχου. Το αποτέλεσμα, όπως ήταν αναμενόμενο(λόγω της συγκέντρωσης των παραπάνω φορτίων στο δεξί τμήμα της γραμμής) ήταν η μετατόπιση της τομής κατά έναν υποσταθμό δεξιά στις περισσότερες γραμμές.

**Πίνακας 5.4: Συσχέτιση αρχικής βέλτιστης τομής με αυτή του σεναρίου 3**

Όνομα Γραμμής	Βέλτιστη Τομή (Αρχικά)	Βέλτιστη Τομή (με συγκέντρωση φορτίου στο τέλος της γραμμής)
22VIII__25IV	B-56	B-311
23VIII__42IV	B-74	B-367
27I__40VIII	T -30	T-30
27VIII__48IV	T -678	T-678
29VIII__37IV	B-31	B-31
30I__24VIII	B-64	B-335
36VIII__29IV	B-147	B-109X
38VIII__29I	B-329	B-323
39VIII__36IV	B-72	B-365
42VIII__58IV	B-359	B-359
43VIII__26IV	T -75	T-74
49I__30VIII	B-155	B-157
51VIII__25I	T -19	T-518
52VIII__55IV	T -561	T-61

## 5.6 Σενάριο $m \approx 1$

Επίσης μελετήθηκε το σενάριο του υψηλού συντελεστή ετεροχρονισμού απωλειών ισχύος. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η φόρτιση κάθε γραμμής διανομής κατά την αιχμή του συστήματος είναι μέγιστη. Στον πίνακα 5.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Όπως ήταν αναμενόμενο, η αλλαγή του συντελεστή ετεροχρονισμού  $m$  αυξάνει τις απώλειες και το κόστος απωλειών ενέργειας αλλά δεν επηρεάζεται η θέση της βέλτιστης τομής του βρόχου, ούτε η ποσοστιαία μεταβολή του κόστους ενέργειας.

**Πίνακας 5.5: Κόστος απωλειών ενέργειας στις υπόγειες γραμμές διανομής( με  $m \approx 1$ )**

Όνομα Γραμμής	Βέλτιστη Τομή	Κόστος ενέργειας Υ/Π 1 (€)	Κόστος ενέργειας Υ/Π 2 (€)	Βέλτιστη Τομή(€)	Όφελος(€)	Ποσοστιαία Μεταβολή(%)
22VIII__25IV	B-56	4370,78	6111,96	1799,62	4312,34	70,55
23VIII__42IV	B-74	4010,19	4053,14	1291,3	2718,89	67,79
27I__40VIII	T -30	5927,11	5385,73	2167,33	3759,78	63,43
27VIII__48IV	T -678	2536,48	4429,09	1142,03	1394,45	54,97
29VIII__37IV	B-31	2323,12	1082,08	558,33	1764,8	75,96
30I__24VIII	B-64	2637,02	1879,94	860,2	1019,74	54,24
36VIII__29IV	B-147	12298,62	7108,62	3403,13	3705,49	52,12
38VIII__29I	B-329	585,54	772,01	209,29	562,72	72,89
39VIII__36IV	B-72	2382,07	5527,73	1153,59	1228,48	51,57
42VIII__58IV	B-359	1638,02	4571,5	833,2	804,83	49,13
43VIII__26IV	T -75	3100,96	2910,13	1126,92	1974,04	63,65
49I__30VIII	B-155	6268,77	8344,34	2616,13	3852,63	61,45
51VIII__25I	T -19	2514,44	1750,14	709,36	1805,08	71,78

52VIII_55IV	T -561	1060,58	2473,77	535,57	525,01	49,50
-------------	--------	---------	---------	--------	--------	-------

### 5.7 Συνολικό Όφελος λόγω επαναδιαμόρφωσης δικτύου

Ο υπολογισμός του οικονομικού οφέλους για τις δεκατέσσερις γραμμές υπολογίζεται από το άθροισμα:

$$\text{Ετήσιο Συνολικό όφελος} = \text{ΣCO}_2 + \text{Σαπωλειών}$$

όπου:

ΣCO<sub>2</sub> : Συνολικό οικονομικό όφελος λόγω μείωσης εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Σαπωλειών : Συνολικό οικονομικό όφελος λόγω ελαχιστοποίησης απωλειών ενέργειας.

$$\text{Άρα Ετήσιο Συνολικό όφελος} = 565,72 + 23785,89 = 24351,61 \text{ €}$$

### Εκτίμηση του οφέλους σε περίπτωση καθολικής εφαρμογής της αναδιαμόρφωσης στο σύνολο του Δικτύου της χώρας

Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΔΕΔΔΗΕ το ελληνικό υπόγειο δίκτυο διανομής απαρτίζεται από 700 υπόγειες γραμμές ΜΤ. Άρα, σε περίπτωση καθολικής εφαρμογής της επαναδιαμόρφωσης το ετήσιο οικονομικό όφελος κατά προσέγγιση θα είναι:

$$\text{Ετήσιο Όφελος Καθολικής Εφαρμογής} = 24351,61 \cdot (700/14) = 1.217.580,50\text{€}$$

Το αποτέλεσμα αναδεικνύει το μεγάλο οικονομικό όφελος του ΔΕΔΔΗΕ άρα και την ανάγκη επαναδιαμόρφωσης των δικτύων διανομής.



## Κεφάλαιο 6°

### Συμπεράσματα -Μελλοντικές Προεκτάσεις

#### 6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η επαναδιαμόρφωση του δικτύου Μέσης Τάσης, με στόχο την μείωση των απωλειών ενέργειας μέσω τηλεχειριζόμενων διακοπών. Η τοποθέτηση διακοπών στα δίκτυα διανομής πραγματοποιείται, όχι μόνο για την προστασία του συστήματος, δηλαδή για την απομόνωση και επισκευή του σφάλματος, αλλά και για να είναι δυνατή η διαχείριση της αναδιαμόρφωσης του δικτύου. Η επαναδιαμόρφωση με χρήση διακοπών έχει στόχο τη μείωση των δαπανών των εταιριών ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και την μείωση εκπομπών CO<sub>2</sub>. Αυτή η μείωση των εκπομπών στοχεύει στην προστασία του περιβάλλοντος καθώς και στη μείωση προστίμων λόγω αυξημένων εκπομπών. Επίσης, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και στην ανακούφιση των δικτύων από υπερτάσεις.

Η επαναδιαμόρφωση των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ανήκει στην κατηγορία βελτιστοποίησης προβλημάτων ακέραίου, γραμμικού ή μη γραμμικού προγραμματισμού. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται με την ανάπτυξη λογισμικού στο προγραμματιστικό περιβάλλον C, με την βήμα προς βήμα αλλαγή της τοπολογίας και συνδεσμολογίας του δικτύου και την εύρεση της βέλτιστης λύσης που οδηγεί σε ελάχιστες ωμικές απώλειες του δικτύου και κόστος απωλειών ενέργειας. Συγκεκριμένα λήφθηκαν υπόψη ο ετήσιος συντελεστής φορτίου (F), ο συντελεστής ετεροχρονισμού(m) και η μέγιστη φόρτιση των γραμμών διανομής. Επίσης, παρατηρήθηκε ότι το μήκος των γραμμών αλλά και οι τύποι των χρησιμοποιούμενων καλωδίων, διαδραματίζουν κρίσιμο παράγοντα για τη βέλτιστη αναδιαμόρφωση και τη μείωση των απωλειών στο δίκτυο. Σε συνεργασία με το ΔΕΔΔΗΕ αναπτύχθηκε μια βάση δεδομένων βασισμένη σε πραγματικά δίκτυα. Συγκεκριμένα, για το υπόγειο δίκτυο διανομής της Θεσσαλονίκης το όφελος που προέκυψε από την επαναδιαμόρφωση του δικτύου, κυμάνθηκε από 50% έως 70%. Το ποσοστό αυτό

αποδεικνύει πως οι παραπάνω χειρισμοί μπορούν να αποφέρουν σημαντικό χρηματικό όφελος στον διαχειριστή δικτύων διανομής.

## 6.2 Μελλοντικές Προεκτάσεις

Η παρούσα διπλωματική μπορεί να προεκταθεί στο μέλλον με:

1. Ενσωμάτωση των περιορισμών τάσης και ρεύματος, που θα εξασφαλίζει τη ευστάθεια και αποφόρτιση των δικτύων.
2. Συνδυασμό ευνοϊκών χαρακτηριστικών με σκοπό τη μείωση των πιθανών βέλτιστων τοπολογιών, που θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου εκτέλεσης του αλγορίθμου.
3. Τοποθέτηση συσσωρευτών σε συγκεκριμένα σημεία του δικτύου με σκοπό την περαιτέρω μείωση των απωλειών και τη ρύθμιση τάσης.
4. Επέκταση του αλγορίθμου για τον υπολογισμό της βέλτιστης τομής του βρόχου σε μη κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Β.Κ Παπαδιάς “Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής ενέργειας” , Τόμος Ι, Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1985
- [2] Κ. Βουρνάς, Γ. Κονταξής, “ Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας ”, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα Οκτώβριος 2010
- [3] John J. Grainger, William D. Stevenson, JR. , “ Power System Analysis “ , Mcgraw-Hill International Editions
- [4] Μιχ. Π. Παπαδόπουλος, “ Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας “, Τόμος Ι, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 1994
- [5] Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας-Εξοικονόμηση ενέργειας μέσω έξυπνων δικτύων <http://energypress.gr/sites/default/files/media/ENERGYPAPERS022015.pdf>
- [6] Β.Κ Παπαδιάς “Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999
- [7] Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Αγωγών Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας <http://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TMA403/ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ%20ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ%20ΑΓΩΓΩΝ%20ΔΙΚΤΥΩΝ%20ΔΙΑΜΗΣ%20ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ%20ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.pdf>
- [8] Σ. Ζάχος, Ν. Κοζύρης, “Θεωρητική Πληροφορική, Γλώσσες Προγραμματισμού, Οργάνωση Υπολογιστών”, Αθήνα 2006
- [9] [www.deddie.gr](http://www.deddie.gr)
- [10] Π.Σ Γεωργιλιάκης, “Σύγχρονα Συστήματα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας “
- [11] Κ.Βουρνάς, Β.Κ Παπαδιάς, Κ.Ντελκής, “ Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας”, Εκδόσεις Συμμετρία
- [12] Mesut E. Baran, Felix F. Wu, “Network Reconfiguration in Distribution Systems for Loss Reduction and Load Balancing”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, No. 2, Apr. 1989.
- [13] Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg , “ Power Generation Operation and Control”, John Willey & Sons, Inc. Editions
- [14] H. Lee Willis , “ Power Distribution Planning Reference Book”, Marcel Dekker Editions
- [15] Qiuyu Peng and Steven H. Low Engr. & App. Sci., Caltech, CA, “Optimal Branch Exchange for Feeder Reconfiguration in Distribution Networks”
- [16] S. Naveen, K. Sathish Kumar , K. Rajalakshmi , “Distribution system reconfiguration for loss minimization using modified bacterial foraging optimization algorithm”

[17]Π. Αποστολίδου, Σ. Τσιούγκος “Μελέτη της Επίδρασης της Αλλαγής του Επιπέδου Τάσης Από 15,75 kV ΣΕ 21 kV στη Στάσιμη Κατάσταση Λειτουργίας του Δικτύου Διανομής Θεσσαλονίκης”

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### Πηγαίος Κώδικας

Παρακάτω παρατίθεται ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε:

```
#include <stdio.h>

#include <string.h>

#include "ezdib.h"

int n, k, tr;

float L[20];

char name[100][10];

char name1[2][10];

void Sxima(char names[][10], int A, int M, int T);

int ProcessLine(FILE *fp, int show) {

int lmax, i, j;

float l1[20], P[20], s, lup[20], Fa, m, l2[20], s1, s2, lri, lle, ll[20], lr[20], a,
b, R[20], tnco2, kco2, ka, kr, kat[100];

double Pap1, Pap2, Papl, Papr, Papt[20], min, K1, K2, ;

char ch, C[10000], C1[1000];

int w, z, o;

char * token;

a = 60;

b = 0.06;

for (i = 0; i < 10000; i++)

C[i] = '\0';

/* Diavasma apo arxeio */

if (feof(fp))

return 0;

w = 0;

while ((ch = fgetc(fp)) != '\n') {
```

```

        C1[w] = ch;
        w = w + 1;
        if (feof(fp))
            return 0;
    }
    token = strtok(C1, "_");
    z = 0;
    while (token != NULL) {
        strcpy(name1[z], token);
        z = z + 1;
        token = strtok(NULL, "_");
    }
    w = 0;
    while ((ch = fgetc(fp)) != '\n') {
        C[w] = ch;
        w = w + 1;
        if (feof(fp))
            return 0;
    }
    token = strtok(C, ",");
    z = 0;
    while (token != NULL) {
        strcpy(name[z], token);
        z = z + 1;
        token = strtok(NULL, ",");
    }
    fscanf(fp, "%d", &n);
    if (feof(fp))
        return 0;

```

```

fscanf(fp, "%f", &Fa);
if (feof(fp))
    return 0;
fscanf(fp, "%f", &m);
if (feof(fp))
    return 0;
fscanf(fp, "%d", &lmax);
if (feof(fp))
    return 0;
fscanf(fp, "%d", &tr);
if (feof(fp))
    return 0;
s = 0;
for (i = 0; i <= n - 1; i++) {
    fscanf(fp, "%f", &P[i]);
    s = s + P[i];
}
for (i = 0; i <= n; i++)
    fscanf(fp, "%f", &L[i]);
for (i = 0; i <= n; i++)
    fscanf(fp, "%f", &R[i]);
if (!show)
    return 1;
/* ypologismoi */
printf(" epelexes tin grammi %s_%s \n",name1[0],name1[1]);
for (i = 0; i <= n - 1; i++) {
    lup[i] = (lmax * P[i]) / s;
}
l1[0] = lmax - lup[0];

```

```

for (i = 1; i <= n - 1; i++) {
    I1[i] = I1[i - 1] - lup[i];
}

K1 = (0.003 * R[0] * (m * a + 8760 * b * Fa)) * L[0] * Imax * Imax;
Pap1 = (Imax * Imax * R[0] * L[0]) * (8760 * Fa + m);
for (i = 0; i <= n - 1; i++) {
    Pap1 = Pap1 + (I1[i] * I1[i] * L[i + 1] * R[i+1] * (8760 * Fa + m));
    K1 = K1 + ((0.003 * R[i+1] * (m * a + 8760 * b * Fa)) * L[i + 1] * I1[i] * I1[i]);
}

Pap1=Pap1/1000;

printf(" oi apwleies an trofodothsw olokliri ti grammi apo ton Y/S %s einai %.3f KWh
\n",name1[0], Pap1);

printf(" to kostos apwleias isxuos apo ton Y/S %s einai %.2f euro \n ",name1[0],K1);
for (i = 0; i <= n - 1; i++)
I2[i] = 0;
I2[n - 1] = Imax - lup[n - 1];
for (i = n - 2; i >= 0; i = i - 1) {
I2[i] = I2[i + 1] - lup[i];
}

Pap2 = (Imax * Imax * L[n] * R[n]) * (8760 * Fa + m);
K2 = (0.003 * R[n] * (m * a + 8760 * b * Fa)) * L[n] * Imax * Imax;
for (i = n - 1; i >= 0; i = i - 1) {
    Pap2 = Pap2 + (I2[i] * I2[i] * L[i] * R[i]) * (8760 * Fa + m);
    K2 = K2 + ((0.003 * R[i] * (m * a + 8760 * b * Fa)) * L[i] * I2[i] * I2[i]);
}

Pap2=Pap2/1000;

printf("oi apwleies an trofodothsw olokliri ti grammi apo ton Y/S %s einai %.3f KWh
\n ",name1[1],Pap2);

printf("to kostos apwleias isxuos apo ton Y/S %s einai %.2f euro \n ",name1[1],K2);
if (Pap2 > Pap1) {

```



```

printf("einai protimiteo na trofodotisw olokliri tin grammi apo ton Y/S %s
\n",name1[0]);

if (tr==2) {

printf(" den trofodotw thn grammi apo to metaxhmatisti pou mou eksasfalizei
ligoteres apoleies \n");

printf(" an trofodotisw apo ton Y/S %s oloklhrh th grammi eksoikonmw
katalalwsh %.3f KWh kai eksoikonmw %.2f euro \n",name1[0],Pap2-Pap1,K2-K1);

}

else printf(" trofodotw ti grammi apo toN Y/Spou mou eksasfalizei ligoteres
apwleies\n");

}

else {

printf("einai protimiteo na trofodotisw olokliri tin grammi apo ton Y/S %s
\n",name1[1]);

if (tr==2) printf(" trofodotw ti grammi apo ton Y/S pou mou eksasfalizei tis
ligoteres apwleies \n");

else printf(" an trofodotisw apo ton Y/S %s eksoikonw se katalalwsh %.3f KWh
kai eksoikonmw %.2f euro \n",name1[1],Pap1-Pap2,K1-K2);

}

for (i = 0; i <= n - 2; i++) {

s1 = 0;

for (j = 0; j <= i; j = j + 1) {

s1 = s1 + P[j];

}

s2 = 0;

for (j = i + 1; j <= n - 1; j = j + 1) {

s2 = s2 + P[j];

}

lle = (s1 / s) * lmax;

lri = (s2 / s) * lmax;

ll[0] = lle - lup[0];

for (j = 1; j <= i; j++) {

```

```

    ll[j] = ll[j - 1] - lup[j];
}

Papl = 0;

Papl = (lle * lle * R [0]* L[0]) * (8760 * Fa + m);
ka = 0.003*(lle * lle * R [0]* L[0])* (Fa * 8760 * b + m * a);
for (j = 0; j <= i; j++) {
    Papl = Papl + (ll[j] * ll[j] * L[j + 1] * R[j+1]) * (8760 * Fa + m);
    ka=ka+0.003*(ll[j] * ll[j] * L[j + 1] * R[j+1])* (Fa * 8760 * b + m * a);
}

lr[n - 1] = lri - lup[n - 1];
for (j = n - 2; j > i; j--) {
    lr[j] = lr[j + 1] - lup[j];
}

Papr = 0;

Papr = (lri * lri * R[n] * L[n]) * (8760 * Fa + m);
kr= 0.003*(lri * lri * R[n] * L[n])* (Fa * 8760 * b + m * a);
for (j = n - 1; j > i; j--) {
    Papr = Papr + (lr[j] * lr[j] * R[j] * L[j]) * (8760 * Fa + m);
    kr=kr+0.003*(lr[j] * lr[j] * R[j] * L[j])* (Fa * 8760 * b + m * a);
}

Papt[i] = 0;

Papt[i] = Papr + Papl;

kat[i]=kr+ka

Papt[i]=Papt[i]/1000;

printf(" oi apwleies an pragmatopoihsw tomh meta ton uposta8mo %s einai %.3f
KWh \n", name[i], Papt[i]);
}

min = 900000000;

k = 0;

for (i = 0; i <= n - 2; i++) {

```

```

if (Papt[i] < min) {
    min = Papt[i];
    k = i;
}
}

printf(" i veltisti tomi tha pragmatopoih8ei meta ton uposta8mo %s \n ", name[k]);
printf("oi elaxistes apwleies einai %.3f kWh \n", min);

printf(" to kostos apwleias isxuos apo tin veltisti tomi einai %.2f euro \n ", kat[k]);

    if (tr==1) {

printf("an ulpoihs w th velptisth tomi tis grammis eksoikonow se katanalwsh %.3f
kWh kai %.2f euro\n",Pap1-min,K1-kat[k]);

tnco2=((Pap1-min)/1000)*0.82;

kco2=tnco2*5.93;

printf(" 8a eksoikonomisw logw tis meiwsis tw n rupwn %.2f euro",kco2);

        }

    if (tr==2) {

printf("an ulpoihs w th velptisth tomi tis grammis eksoikonow se katanalwsh %.3f
kWh kai %.2f euro\n",Pap2-min,K2-kat[k]);

tnco2=((Pap2-min)/1000)*0.82;

kco2=tnco2*5.93;

printf(" 8a eksoikonomisw logw tis meiwsis tw n rupwn %.2f euro",kco2);

    }

return 1;
}

int main() {
char ch;
int i, o;
FILE *fp = fopen("C:/Users/papag/Desktop/Grammes2.txt", "r");
if (fp == NULL)
{

```

```

fprintf(stderr, "Apetyxe to anoigma tou arxeiou Grammes2.txt\n");
return -1;
}
printf(" epelexe grammi apo 1-14 ");
scanf("%d", &o);
if (o < 1 || o > 14)
{
fprintf(stderr, "Mi egyri epilogi grammis\n");
return -1;
}
i = 1;
while (ProcessLine(fp, i == o)) {
if (i == o)
break;
i++;
}
/* prepei na diavastoun 2 allages grammis gia na proxorisei stin epomeni grammi
trofodosias */
while ((ch = fgetc(fp)) != '\n'){
if (feof(fp))
break;
}
while ((ch = fgetc(fp)) != '\n') {
if (feof(fp))
break;
}
}
fclose(fp);
// Ftiaxnei to sxima
Sxima(name, 0, k+1, n);
system("mspaint ./test.jpg");

```

```

return 0;
}
void Sxima(char names[][10], int A, int M, int T)
{
    int b = 0, x, y, i;
    int platosKoutiou = 50;
    int ypsosKoutiou = 25;
    int thesiKoutiouX = 50, thesiKoutiouY = 0;
    HEZDIMAGE hDib;
    HEZDFONT hFont;
    char *fname = "test.jpg";
    char lstr[128];
    // Dimiourgei thn eikonas
    hDib = ezd_create(1920, -280, 32, 0);
    if (hDib){
        // Vazei ta xrwmata pou tha xrisimopoihsei
        ezd_set_color_threshold(hDib, 0x80);
        ezd_set_palette_color(hDib, 0, 0x806000);
        ezd_set_palette_color(hDib, 1, 0x000000);
        // To background einai kitrino
        ezd_fill(hDib, 0x404040);
        // Epilogh grammatoseiras
        hFont = ezd_load_font(EZD_FONT_TYPE_MEDIUM, 0, 0);
        ezd_text(hDib, hFont, "Arxika:", -1, 10, 10, 0xffff00);
        // Arxiko sxima
        // Arxiki grammh
        ezd_line(hDib, 2 + platosKoutiou, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou + ypsosKoutiou / 2,
        thesiKoutiouX + 2 * platosKoutiou, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou + ypsosKoutiou / 2,
        0xffff00);
        //Arxiko keimeno

```

```

ezd_text(hDib, hFont, name1[0], -1, 2, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou + ypsosKoutiou
/ 2 - 10, 0xffff00);

// Zografizei to mikos

sprintf(lstr, "%.2f", L[0]);

ezd_text(hDib, hFont, lstr, -1, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou + ypsosKoutiou / 2 - 20 +
platosKoutiou, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou + ypsosKoutiou / 2 - 10, 0xffff00);

// Katheti grammh

ezd_line(hDib, 2 + platosKoutiou, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou, 2 + platosKoutiou,
platosKoutiou, 0xffff00);

ezd_line(hDib, 3 + platosKoutiou, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou, 3 + platosKoutiou,
platosKoutiou, 0xffff00);

// Zografizei ta koutia

for (i = A; i < T; i++){

x = thesiKoutiouX + i * 100 + platosKoutiou;

y = thesiKoutiouY + ypsosKoutiou;

// Zografizei to kouti kai to onoma tou stathmou

ezd_fill_rect(hDib, x, y, x + platosKoutiou, y + ypsosKoutiou, 0xffff00);

ezd_text(hDib, hFont, names[i], strlen(names[i]), x + 10, y + 10, 0x404040);

ezd_line(hDib, x + platosKoutiou, y + ypsosKoutiou / 2, x + 2 * platosKoutiou, y +
ypsosKoutiou / 2, 0xffff00);

// Zografizei to mikos

sprintf(lstr, "%.2f", L[i + 1]);

ezd_text(hDib, hFont, lstr, -1, x + platosKoutiou - 10 + platosKoutiou / 2, y +
ypsosKoutiou / 2 - 10, 0xffff00);

}

// Katheti grammh

ezd_line(hDib, thesiKoutiouX + i * 100 + platosKoutiou, thesiKoutiouY +
ypsosKoutiou, thesiKoutiouX + i * 100 + platosKoutiou, platosKoutiou, 0xffff00);

ezd_line(hDib, thesiKoutiouX + i * 100 + platosKoutiou + 1, thesiKoutiouY +
ypsosKoutiou, thesiKoutiouX + i * 100 + platosKoutiou+1, platosKoutiou, 0xffff00);

```

```

ezd_text(hDib, hFont, name1[1], -1, thesiKoutiouX + i * 100 + platosKoutiou+10,
thesiKoutiouY + ypsosKoutiou, 0xffff00);

// Sxima meta thn tomi

thesiKoutiouY = 100;

sprintf(lstr, "Telika me tomh meta to %s", names[M-1]);

ezd_text(hDib, hFont, lstr, -1, 10, 100, 0xffff00);

// Arxiki grammh

ezd_line(hDib, 2 + platosKoutiou, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou + ypsosKoutiou / 2,
thesiKoutiouX + 2 * platosKoutiou, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou + ypsosKoutiou / 2,
0xffff00);

ezd_text(hDib, hFont, name1[0], -1, 2, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou + ypsosKoutiou
/ 2 - 10, 0xffff00);

// Zografizei to mikos

sprintf(lstr, "%.2f", L[A]);

ezd_text(hDib, hFont, lstr, -1, platosKoutiou / 2 - 10 + platosKoutiou, thesiKoutiouY +
ypsosKoutiou + ypsosKoutiou / 2 - 10, 0xffff00);

// Katheti grammh

ezd_line(hDib, 2 + platosKoutiou, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou, 2 + platosKoutiou,
thesiKoutiouY + platosKoutiou, 0xffff00);

                ezd_line(hDib, 3 + platosKoutiou, thesiKoutiouY +
ypsosKoutiou, 3 + platosKoutiou, thesiKoutiouY + platosKoutiou, 0xffff00);

// Zografizei ta koutia

for (i = A; i < M; i++){

    x = thesiKoutiouX + i * 100 + platosKoutiou;

    y = thesiKoutiouY + ypsosKoutiou;

// Zografizei to kouti kai to onoma tou stathmou

ezd_fill_rect(hDib, x, y, x + platosKoutiou, y + ypsosKoutiou, 0xffff00);

ezd_text(hDib, hFont, names[i], strlen(names[i]), x + 10, y + 10, 0x404040);

    if (i == M - 1) continue;

ezd_line(hDib, x + platosKoutiou, y + ypsosKoutiou / 2, x + 2 * platosKoutiou, y +
ypsosKoutiou / 2, 0xffff00);

// Zografizei to mikos

```

```

sprintf(lstr, "%.2f", L[i + 1]);

ezd_text(hDib, hFont, lstr, -1, x + platosKoutiou - 10 + platosKoutiou / 2, y +
ypsosKoutiou / 2 - 10, 0xffff00);
}

thesiKoutiouY = 200;

// Arxiki grammh

ezd_text(hDib, hFont, name1[1], -1, 2, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou + ypsosKoutiou
/ 2 - 10, 0xffff00);

ezd_line(hDib, 2 + platosKoutiou, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou + ypsosKoutiou / 2, 2
+ 2*platosKoutiou, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou + ypsosKoutiou / 2, 0xffff00);

// Zografizei to mikos

sprintf(lstr, "%.2f", L[T]);

ezd_text(hDib, hFont, lstr, -1, 2 + platosKoutiou / 2 - 10 + platosKoutiou,
thesiKoutiouY + ypsosKoutiou + ypsosKoutiou / 2 - 10, 0xffff00);

// Katheti grammh

ezd_line(hDib, 2 + platosKoutiou, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou, 2 + platosKoutiou,
thesiKoutiouY + platosKoutiou, 0xffff00);

ezd_line(hDib, 2 + 1 + platosKoutiou, thesiKoutiouY + ypsosKoutiou, 2 + 1 +
platosKoutiou, thesiKoutiouY + platosKoutiou, 0xffff00);

// Zografizei ta koutia

for (i = M; i < T; i++){
x = thesiKoutiouX + (i - M) * 100 + platosKoutiou;
y = thesiKoutiouY + ypsosKoutiou;

// Zografizei to kouti kai to onoma tou stathmou

ezd_fill_rect(hDib, x, y, x + platosKoutiou, y + ypsosKoutiou, 0xffff00);

ezd_text(hDib, hFont, names[M+T-i-1],
strlen(names[M+T-i-1]), x + 10, y + 10, 0x404040);

if (i == T - 1) continue;

ezd_line(hDib, x + platosKoutiou, y + ypsosKoutiou / 2, x + 2 * platosKoutiou, y +
ypsosKoutiou / 2, 0xffff00);

// Zografizei to mikos

sprintf(lstr, "%.2f", L[T-(i-M)-1]);

```



```
ezd_text(hDib, hFont, lstr, -1, x + platosKoutiou - 10 + platosKoutiou / 2, y +
ypososKoutiou / 2 - 10, 0xffff00);
    }

// Apothikeuei thn eikona
ezd_save(hDib, fname);

/// Apodesmeuei thn grammatoseira
if (hFont)
    ezd_destroy_font(hFont);
// Apodesmeuei thn eikona
if (hDib)
    ezd_destroy(hDib);
}
}
```



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΗΚΟΥΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

	ΓΡΑΜΜΗ ΜΤ	ΜΗΚΟΣ l1	ΜΗΚΟΣ l2	ΜΗΚΟΣ l3	ΜΗΚΟΣ l4	ΜΗΚΟΣ l5	ΜΗΚΟΣ l6	ΜΗΚΟΣ l7	ΜΗΚΟΣ l8	ΜΗΚΟΣ l9	ΜΗΚΟΣ l10	ΜΗΚΟΣ l11	ΜΗΚΟΣ l12	ΜΗΚΟΣ l13	ΜΗΚΟΣ l14	ΜΗΚΟΣ l15	ΜΗΚΟΣ l16	ΜΗΚΟΣ l17	ΜΗΚΟΣ l18
1	22VIII_25IV	0,460	0,470	0,140	0,160	0,180	0,200	0,210	0,200	0,200	0,600	0,220	0,060	1,300	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	23VIII_42IV	0,600	0,130	0,310	0,200	1,000	0,150	0,180	0,120	0,080	0,140	0,280	0,340	0,280	0,720	0,000	0,000	0,000	0,000
3	27I_40VIII	1,000	0,480	0,180	0,130	0,270	0,140	0,260	0,210	0,090	0,090	0,110	0,300	0,630	0,610	0,000	0,000	0,000	0,000
4	27VIII_48IV	0,690	0,220	0,210	0,510	0,200	0,130	0,500	0,080	0,520	0,300	0,180	0,140	0,130	0,290	0,890	0,600	1,440	0,000
5	29VIII_37IV	0,540	1,760	0,030	0,170	0,100	0,240	0,050	0,200	0,340	0,100	0,260	0,100	0,520	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	30I_24VIII	1,140	0,280	0,200	0,140	0,340	0,050	0,200	0,120	0,410	0,130	0,080	0,080	0,900	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	36VIII_29IV	2,400	0,080	0,050	0,180	0,280	0,500	0,140	0,300	0,200	0,140	0,140	0,300	0,380	0,600	0,420	0,000	0,000	0,000
8	38VIII_29I	0,510	0,230	0,300	0,510	0,200	0,480	0,400	0,220	0,230	0,170	0,390	0,310	0,900	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	39VIII_36IV	0,200	0,220	0,170	0,350	0,220	0,350	0,280	0,130	0,180	0,080	0,130	0,110	0,350	0,620	1,210	0,000	0,000	0,000
10	42VIII_58IV	0,160	0,400	0,180	0,140	0,720	0,590	1,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	43VIII_26IV	1,060	0,300	0,120	0,860	0,400	0,130	0,110	0,090	0,360	0,070	0,240	0,300	0,210	0,220	0,160	1,440	0,000	0,000
12	49I_30VIII	0,160	1,310	0,300	0,190	0,270	0,190	0,220	0,210	0,180	0,300	0,100	0,210	0,170	0,140	1,500	0,000	0,000	0,000
13	51VIII_25I	1,210	0,290	0,170	0,130	0,150	0,180	0,280	0,200	0,110	0,290	0,140	0,090	0,360	0,200	0,330	0,390	0,200	0,500
14	52VIII_55IV	0,060	1,010	0,120	0,410	0,300	0,180	0,210	0,700	0,530	1,080	1,600	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

ΠΙΝΑΚΑΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

	ΓΡΑΜΜΗ ΜΤ	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ1	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ2	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ3	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ4	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ5	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ6	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ7	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ8	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ9	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ10	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ11	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ12	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ13	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ14	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ15	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ16	ΙΣΧΥΣ Υ/Σ17
1	22VIII_25IV	750	630	630	1000	500	630	1030	630	1000	1130	630	500	0	0	0	0	0
2	23VIII_42IV	630	1000	630	630	630	1030	630	630	630	630	630	400	630	0	0	0	0
3	27I_40VIII	630	630	1000	630	630	630	630	630	750	630	630	400	630	0	0	0	0
4	27VIII_48IV	1000	630	630	630	630	630	500	630	630	1000	630	630	630	630	630	630	630
5	29VIII_37IV	630	750	630	630	630	750	630	1130	630	1030	630	630	0	0	0	0	0
6	30I_24VIII	630	630	630	630	1000	630	630	1000	630	630	750	1000	0	0	0	0	0
7	36VIII_29IV	1000	1600	500	630	630	160	800	500	630	630	1500	500	1130	630	0	0	0
8	38VIII_29I	1000	630	630	630	500	630	630	500	630	630	630	630	0	0	0	0	0
9	39VIII_36IV	630	630	1260	500	630	750	630	630	630	400	250	750	630	630	0	0	0
10	42VIII_58IV	630	1000	630	630	630	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	43VIII_26IV	630	630	630	630	630	1260	630	630	630	630	630	630	630	630	1030	0	0
12	49I_30VIII	1880	1000	500	630	630	1000	630	1000	1000	400	630	1130	1000	630	0	0	0
13	51VIII_25I	630	500	630	630	630	630	630	630	500	500	630	630	1000	630	630	1260	630
14	52VIII_55IV	630	630	630	630	630	1030	630	630	630	630	0	0	0	0	0	0	0

