



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

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ  
ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Β. Καραμήτρος

Επιβλέπων : Νικόλαος Χατζηαργυρίου Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2019





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

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ  
ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Κωνσταντίνος Β. Καραμήτρος

**Επιβλέπων : Νικόλαος Χατζηαργυρίου Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 10<sup>η</sup> Οκτωβρίου 2019.

.....

Νικόλαος Χατζηαργυρίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Στάυρος Παπαθανασίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Πάυλος Γεωργιλάκης  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Αθήνα, Οκτώβριος 2019**

.....  
Κωνσταντίνος Β. Καραμήτρος

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

Copyright ©, Κωνσταντίνος Καραμήτρος, 2019

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 την χρήση τη 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

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η βελτιστοποίηση του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της Θεσσαλονίκης μέσω της έυρεσης ανοικτών σημείων σε νέες θέσεις. Αρχικά επιδιώκουμε μια αναδιάταξη του δικτύου μέσω της οποίας στοχεύουμε στην μείωση των ετήσιων απωλειών ενεργού ισχύος. Επιπλέον εξετάζεται η τοποθέτηση τηλεχειριζόμενων διακοπών, σε σχέση με το αποτέλεσμα της αναδιάταξης, οι οποίοι συμβάλουν στην βελτίωση της αξιοπιστίας του δικτύου.

Αρχικά, σε συνεργασία με τον ΔΕΔΔΗΕ μου δόθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα ώστε να προχωρήσω στην σχεδίαση του τμήματος του προς μελέτη δικτύου που μας ενδιαφέρει, συγκεκριμένα το τμήμα μεταξύ των υποσταθμών Μπότσαρη και Νέα Ελβετία αλλά και οι αναχωρήσεις αυτών προς άλλους υποσταθμούς. Επιπλέον μου δόθηκαν τα φορτία για όλες τις γραμμές διανομής των δύο υποσταθμών για το όλο έτος 2015 ανά μισή ώρα τα οποία ήταν απαραίτητα για την προσωμείωση πραγματικών συνθηκών αιχμής στο δίκτυο, ώστε να καταλήξουμε στην βέλτιστη αναδιάταξη.

Ο σχεδιασμός του δικτύου καθώς και όλες οι απαραίτητες δοκιμές σε αυτό έγιναν με το πρόγραμμα DIgSILENT PowerFactory 15.1, το οποίο παρέχει μια πληθώρα εφαρμογών για συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας όπως θα παρουσιαστεί στην εργασία. Έπειτα αφού εντοπίστηκε η βέλτιστη αναδιάταξη εξετάστηκαν κάποια διαφορετικά σενάρια για τον προσδιορισμό των δεικτών αξιοπιστίας με έμφαση στους δείκτες SAIDI, SAIFI και ENS καθώς και στα οικονομικά οφέλη που προκύπτουν από την ελαχιστοποίηση του τελευταίου.

Τέλος, γίνεται η εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά στην αναδιάταξη που εκτελέσαμε στο δίκτυο και τις οφέλειες αυτής τόσο σε οικονομικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο αξιοπιστίας αλλά και αποκατάστασης της ισχύος στο δίκτυο μετά από κάποια βλάβη, αλλά και ένας συλλογικός απολογισμός του οικονομικού όφελους τόσο από την αναδιάταξη αυτή καθ'αυτή όσο και από την τοποθέτηση τηλεχειριζόμενων διακοπών.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Δίκτυα διανομής, βέλτιστη αναδιάταξη τοπολογίας, τηλεχειριζόμενοι διακόπτες, δείκτες αξιοπιστίας, ελαχιστοποίηση απωλειών, αποκατάσταση βλάβης

## **ABSTRACT**

The purpose of this thesis is to optimize Thessaloniki's electricity distribution network by finding open points in new locations. We are initially seeking a redesign of the grid through which we aim to reduce annual active power losses. In addition, consideration is given to the installation of remote-control switches, in relation to the effect of grid's rearrangement, which help to improve the reliability of the network.

Initially, in collaboration with HEDNO I was given the necessary data to proceed with the design of the section of the network to be studied, namely the section between Botsari and Nea Elvetia and their departures to other substations. Moreover I was given loads for all the distribution lines of the two substations for the whole year 2015 per half hour, which were necessary to simulate real peak conditions in the network in order to achieve optimal rearrangement.

The design of the grid and all the necessary tests on it were done with DIGSILENT PowerFactory 15.1, which provides a variety of applications for electricity systems as will be presented in the project. Then after the optimal rearrangement was identified, different scenarios were tested to determine the reliability indicators with emphasis on the SAIDI, SAIFI and ENS indicators as well as on the economic benefits of minimizing the latter.

Finally, we draw conclusions about the redeployment that we have done to the network and its benefits both on a financial level and at a level of reliability but also on restoring power to the network after some damage, but also a collective account of the financial benefits of both this rearrangement itself as well as the installation of remote control switches.

## **KEY WORDS**

distribution networks, topology optimal rearrangement, remote control switches, reliability indicators, loss minimization, damage recovery



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2018-2019. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χατζηαργυρίου, καθηγητή της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΕΜΠ που μου εμπιστεύτηκε το συγκεκριμένο θέμα και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με έναν τομέα που βρίσκεται στην κορυφή του ενδιαφέροντός μου. Επιπλέον θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω τον κ. Ζαφειράκη για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές και ιδιαιτέρως τον κ. Βουμβουλάκη για την υπομονή, την προθυμία και την σημαντική βοήθεια και καθοδήγηση του σε όλη την διάρκεια της συγκεκριμένης εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, Βασίλη και Ρένα για την υπομονή, την διακριτική καθοδήγησή τους και την εμπιστοσύνη που μου έχουν δείξει από νεαρή ηλικία, την αδερφή μου Αλεξάνδρα που συνεχώς μου συμπαραστέκεται και με στηρίζει καθώς και τους φίλους και συμφοιτητές μου που ήταν πάντα δίπλα μου και ο ρόλος τους ήταν καθοριστικός όποτε απαιτήθηκε.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Εισαγωγή.....	1
1.2	Αντικείμενο της εργασίας.....	2
1.3	Δομή της εργασίας.....	2

### Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1	Εισαγωγή.....	3
2.2	Ανάλυση δικτύων διανομής.....	5
2.2.1	Εισαγωγή.....	5
2.2.2	Ο Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Διανομής (Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε).....	5
2.2.3	Κατηγορίες Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	6
2.2.4	Εξοπλισμός Δικτύων Διανομής.....	7
2.2.5	Τοπολογία και Λειτουργία Δικτύων Διανομής ΜΤ.....	12

### Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

3.1	Απώλειες Δικτύου.....	17
3.2	Υπολογισμός Απωλειών.....	18
3.2.1	Εκτίμηση των απωλειών επί των γραμμών του Δικτύου.....	19
3.2.2	Επιμερισμός των τεχνικών απωλειών επί των γραμμών στο Πρωτεύον και το Δευτερεύον Δίκτυο.....	21
3.2.3	Απώλειες Ενεργού Ισχύος Δικτύων Διανομής.....	23

## **Κεφάλαιο 4° : ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

4.1	Εισαγωγικά στοιχεία.....	24
4.2	Συχνές μέθοδοι για τη βελτίωση της αποδοτικότητας.....	25
4.3	Οι περιορισμοί για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, μελλοντικές επεκτάσεις και έξυπνα δίκτυα διανομής.....	27
4.4	Βελτίωση της αποδοτικότητας του ΔΔ μέσω της αναδιάταξης της τοπολογίας του.....	28
4.5	Γενικές παρατηρήσεις για την αναδιάταξη του ΔΔ.....	29
4.6	Η αναδιάταξη μιας γραμμής ΜΤ με χρήση διακοπών.....	31

## **Κεφάλαιο 5° : ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΖΟΜΕΝΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ**

5.1	Διακόπτες Εισαγωγικά.....	32
5.2	Τηλεχειριζόμενοι Διακόπτες.....	32
5.3	Μέθοδοι Ελέγχου Λειτουργίας Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	34
5.3.1	Κεντρικός Έλεγχος.....	34
5.3.2	Αποκεντρωμένος Έλεγχος ΜεΔ .....	34
5.4	Δείκτες Αξιοπιστίας.....	35
5.4.1	Παράμετροι αξιοπιστίας .....	35
5.4.2	Δείκτης μέσης συχνότητας διακοπών του συστήματος .....	36
5.4.3	Δείκτης μέσης διάρκειας διακοπών του συστήματος.....	36
5.4.4	Δείκτης μέσης διάρκειας διακοπών του πελάτη .....	36

## **Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> : ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ POWERFACTORY**

6.0.1	Power Factory.....	37
6.0.2	Συναρτήσεις Power Factory.....	38
6.1	Ανάλυση Ροής Φορτίου.....	39
6.1.1	Κανονικές συνθήκες συστήματος.....	40
6.1.2	Μη φυσιολογικές συνθήκες συστήματος.....	40
6.2	Backbone Calculation.....	41
6.3	Tie Open Point Optimization.....	42
6.3.1	Λειτουργία του TOPO.....	42
6.3.2	Διαμόρφωση και εκτέλεση του TOPO.....	43
6.4	Quasi-Dynamic Simulation.....	44
6.5	Optimal Remote Control Switch Placement.....	47
6.5.1	Διαδικασία βέλτιστης τοποθέτης τηλεχειριζόμενων διακοπών.....	47
6.5.2	Αντικειμενική Συνάρτηση.....	47
6.5.3	Αριθμός RCS.....	48
6.6	Βέλτιστη αποκατάσταση ισχύος.....	48
6.6.1	Ανάλυση σφάλματος.....	48
6.6.2	Εκκαθάριση βλαβών.....	49
6.6.3	Απομόνωση σφάλματος.....	50
6.6.4	Επαναφορά ισχύος.....	50
6.6.5	Load Shedding.....	51
6.6.6	Εκκαθάριση σφάλματος.....	52
6.6.7	Ανακούφιση υπερφόρτωσης και απόρριψη φορτίου.....	54

## **Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup> : ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ**

7.1	Διαδικασία.....	55
-----	-----------------	----

7.1.1	Εισαγωγή.....	55
7.2	Σχεδιασμός δικτύου.....	56
7.3	Έρευνα ανοιχτών σημείων στο δίκτυο (Tie Open Point Optimization)....	60
7.4	Επιλογή βέλτιστης αναδιάταξης.....	64
7.4.1	Αρχική μορφή δικτύου.....	65
7.4.2	Η μορφή του δικτύου μετά την αναδιάταξη ανοιχτών σημείων.....	65
7.4.3	Φορτία ανά μετασχηματιστή πριν και μετά την αναδιάταξη.....	66
7.5	Τοποθέτηση τηλεχειριζόμενων διακοπών και έλεγχος αξιοπιστίας.....	68
7.6	Έλεγχος αξιοπιστίας .....	70
7.6.1	Έλεγχος αξιοπιστίας στην αρχική διάταξη του δικτύου.....	73
7.6.2	Έλεγχος αξιοπιστίας μετά την αναδιάταξη.....	74
7.7	Θέσεις τοποθέτησης τηλεχειριζόμενων διακοπών.....	75
7.8	Βέλτιστη επαναφορά ισχύος (Optimal Power Restoration).....	80
7.9	Συμπεράσματα.....	85
7.10	Μελλοντικές επεκτάσεις.....	86

## **Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup> : ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**



## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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, πρέπει να εξασφαλίζεται σταθερή συχνότητα και τάση καθώς και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης.

Για να φτάσει το ηλεκτρικό ρεύμα στους καταναλωτές ακολουθούνται τρεις ξεχωριστές λειτουργίες του ΣΗΕ: η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή. Η ηλεκτρική ενέργεια, από το σημείο που θα παραχθεί μέχρι να καταναλωθεί, ακολουθεί μια συνεχή ροή και είναι δύσκολο να αποθηκευτεί. Για αυτό το λόγο 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.

Η βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας της λειτουργίας των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ως τώρα δεν αποτελούσε συχνά προτεραιότητα των διαχειριστών των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα σημαντικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνονται ως θερμικές και άλλες απώλειες. Στην πραγματικότητα, οι ετήσιες απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας στα συστήματα μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εκτιμώνται κατά μέσο όρο σε 6% στα κράτη μέλη της ΕΕ ( 6,5% στην Ελλάδα) [2]. Υποθέτοντας ότι ποσοστό 2% αντιστοιχεί σε απώλειες στα δίκτυα μεταφοράς και ποσοστό 4% αντιστοιχεί σε απώλειες στα δίκτυα διανομής, η συνολική απώλεια σε ετήσια βάση, σε λειτουργικά κόστη, εκτιμάται σε χρηματική αξία 7 δισεκατομμύρια ευρώ σε κατανάλωση ενέργειας. Τα παραπάνω ποσοστά αφορούν απώλειες ισχύος και ενέργειας σε γραμμές μεταφοράς υψηλής και μέσης τάσης και πρωτεύοντες και δευτερεύοντες υποσταθμούς υψηλής και μέσης τάσης αντίστοιχα.

Ως αποτέλεσμα των πρόσφατων δυναμικών εξελίξεων στο χώρο της ενέργειας εντός της ΕΕ, οι διαχειριστές των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (Distribution System Operators - DSOs) θα πρέπει να βελτιώσουν την αποδοτικότητα τους, με μέτρα όπως τον περιορισμό των απωλειών των ηλεκτρικών δικτύων διανομής τους κατά 1.5% κάθε χρόνο. Επιπλέον, επιφορτίζονται με την εύρεση νέων διαδικασιών ενσωμάτωσης «έξυπνων δικτύων – smart grids» στα υφιστάμενα δίκτυα διανομής με μεγάλη διασπορά σε θέσεις που ως τώρα κατείχαν μόνο καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας[3].

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.

## 1.2 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η συγκεκριμένη εργασία έχει ως αντικείμενο την μελέτη μίας καλύτερης αναδιάταξης ανοικτών σημείων στο δίκτυο με σκοπό την ανάδειξη των ωφελών που προκύπτουν από αυτή από την μείωση των απωλειών. Επιπλέον στοχεύει να αναδείξει εξίσου το θέμα της βέλτιστης τοποθέτησης ενός αριθμού τηλεχειριζόμενων διακοπών, που εμφανίζουν οφέλη τόσο στον τομέα της αξιοπιστίας όσο και οικονομικά. Με λίγα λόγια θα μπορούσαμε να πούμε πως το αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας είναι να αναδείξει πως με κάποιες ενέργειες χαμηλού κόστους και σχετικά απλής υλοποίησης μπορούν να προκύψουν αρκετά σημαντικά θετικά αποτελέσματα.

## 1.3 ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η παρούσα εργασία οργανώνεται σε 8 κεφάλαια :

- Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται μια εισαγωγή στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και έπειτα περιγράφεται εκτενώς το τμήμα της διανομής αυτής. Παρουσιάζεται ο εξοπλισμός του συστήματος διανομής και οι διάφορες τοπολογίες του.
- Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται αναφορά στα διάφορα είδη απωλειών στο δίκτυο και παρουσιάζονται ανα κατηγορίες.
- Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται η αναδιαμόρφωση ενός δικτύου φαινομής ηλεκτρικής ενέργειας ως ένα μέσο βελτίωσης της αποδοτικότητας του, μεταξύ των τρόπων που προτιμώνται δίνεται έμφαση στην αναδιάταξη του δικτύου με τη χρήση διακοπών που είναι και το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει στη συγκεκριμένη εργασία.
- Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται αναφορά στους διακόπτες αλλά και συγκεκριμένα στους τηλεχειριζόμενους και έπειτα εισάγεται η έννοια της αξιοπιστίας και αναφέρονται οι δείκτες αξιοπιστίας που θα μας απασχολήσουν στην συγκεκριμένη μελέτη.
- Στο **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζεται το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της εργασίας και αναλύονται όλες οι λειτουργίες του που χρησιμοποιήθηκαν.
- Στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζεται κατά βήμα η διαμόρφωση του προβλήματος βελτιστοποίησης από τον σχεδιασμό του δικτύου μέχρι τελικά την επίλυση καθώς γίνεται και εξαγωγή συμπερασμάτων και κάποιες προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

## **2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας αποτελούνται από ένα σύνολο εγκαταστάσεων τα οποία συνεργάζονται με σκοπό την παραγωγή, την μεταφορά και την διανομή ηλεκτρικής ενέργειας. Σκοπός του είναι να προσφέρει στους καταναλωτές ηλεκτρική ενέργεια συνεχώς με ικανοποιητική αξιοπιστία.

### **Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας**

Περιλαμβάνει τους σταθμούς παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος και τους μετασχηματιστές ανύψωσης της τάσης για τη μεταφορά του υπό υπερυψηλή (YYT) και υψηλή τάση (YT). Η σύγχρονη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας έχει θεμελιωθεί στη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των ορυκτών καυσίμων και της μηχανικής ενέργειας των υδάτινων ροών και των υδατοπτώσεων σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω θερμικών και υδροηλεκτρικών σταθμών αντίστοιχα, καθώς και αξιοσημείωτη είναι τα τελευταία χρόνια η διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, γεωθερμία και βιομάζα). Ανάλογα με τους διαθέσιμους ενεργειακούς πόρους, την ενεργειακή πολιτική και τις ιδιαίτερες γεωλογικές συνθήκες κάθε χώρας, υπάρχει διαφοροποίηση στην δομή της ηλεκτροπαραγωγής της.

### **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 ξεκινούν τα δίκτυα διανομής [1]. Η μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται υπό YT, 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.



- **Σύστημα Μεταφοράς**

Διασυνδέει όλους τους μεγάλους σταθμούς παραγωγής καθώς και διαφορετικά συστήματα μεταξύ τους και μεταφέρει τις μεγάλες ποσότητες ισχύος προς τα κέντρα κατανάλωσης. Αποτελεί το νωτιαίο μυελό του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας και λειτουργεί στα μέγιστα δυνατά επίπεδα τάσης. Περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών ΥΥΤ και ΥΤ, τους υποσταθμούς ζεύξεων των δικτύων αυτών και τους υποσταθμούς μετασχηματισμού μεταξύ των διάφορων επιπέδων τάσεων που χρησιμοποιούνται.

- **Σύστημα υπομεταφοράς**

Μεταφέρει ισχύ σε μικρότερες ποσότητες και αποστάσεις υπό χαμηλότερη τάση από υποσταθμούς μεταφοράς σε υποσταθμούς διανομής μικρότερων κέντρων κατανάλωσης, στην ίδια περιοχή μείζονος φορτίου. Σημειώνεται ότι οι μεγάλοι βιομηχανικοί καταναλωτές τροφοδοτούνται συνήθως απευθείας από το σύστημα υπομεταφοράς. Όσο το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας επεκτείνεται και δημιουργείται αναγκαιότητα για μεταφορά υπό υψηλότερα επίπεδα τάσης, οι παλιότερες γραμμές μεταφοράς υποβιβάζονται σε λειτουργία υπομεταφοράς, καθιστώντας σχετικά δύσκολη τη διάκριση μεταξύ δικτύων υπομεταφοράς και μεταφοράς.

### **Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας**

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.[1] Τα δίκτυα διανομής (ΔΔ) 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.

Ένα ΣΠ και ΣΜ μπορεί να λειτουργεί μεμονωμένο ή διασυνδεδεμένο με ένα ή περισσότερα άλλα γειτονικά συστήματα. Η διασύνδεση γίνεται συνήθως σε επίπεδο εθνικών συστημάτων, και προσφέρει ορισμένα τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα στη λειτουργία του κάθε συστήματος. Αξίζει, επιπλέον, να αναφερθεί πως τρία γενικά, αλλά ταυτόχρονα βασικά, χαρακτηριστικά σχεδίασης και αναφοράς ενός ηλεκτρικού δικτύου είναι η τάση, η ισχύς βραχυκύκλωσης και η στάθμη μόνωσης αυτού. Τάση του δικτύου είναι η μέγιστη τάση λειτουργίας των ηλεκτρικών γραμμών. Ισχύς βραχυκύκλωσης του δικτύου είναι η συμβατική ισχύς που αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ, η οποία αποδίδεται στο δίκτυο σε περίπτωση τριφασικού βραχυκυκλώματος μέσα σε αυτό. Η στάθμη μόνωσης του δικτύου αναφέρεται συνήθως στην τιμή της κρουστικής αντοχής αυτού, δηλαδή της διηλεκτρικής αντοχής της μόνωσης του εξοπλισμού των υποσταθμών σε κρουστικές υπερτάσεις τυποποιημένης μορφής [1], [4].

## 2.2 ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 2.2.1 Εισαγωγή

Η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια παρέχεται στους καταναλωτές ΜΤ και ΧΤ. Τα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΔΗΕ) είναι τριφασικά και φτάνουν μέχρι τον μετρητή της παρεχόμενης στον καταναλωτή ενέργειας. Μετά τον μετρητή αρχίζει η εσωτερική ηλεκτρική εγκατάσταση, η οποία περιλαμβάνει 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:

- Η **διανομή ΜΤ ή αλλιώς πρωτεύουσα διανομή**, και η διανομή ΧΤ ή αλλιώς δευτερεύουσα διανομή. Τα δίκτυα διανομής ΜΤ τροφοδοτούνται από τους υποσταθμούς υποβιβασμού της τάσης, από ΥΤ σε ΜΤ, και τροφοδοτούν τους υποσταθμούς διανομής και τους καταναλωτές ΜΤ. Οι καταναλωτές ΜΤ είναι κατά κύριο λόγο βιομηχανικοί καταναλωτές με τριφασικές παροχές και οι γραμμές διανομής που τους τροφοδοτούν αποτελούνται από τρεις αγωγούς φάσεων.
- Τα **δίκτυα διανομής ΧΤ** έχουν σαν αφετηρία τους υποσταθμούς διανομής, όπου η ΜΤ υποβιβάζεται σε ΧΤ μέσω μετασχηματιστών διανομής, που αποτελούν τον βασικό εξοπλισμό των υποσταθμών. Στα δίκτυα ΧΤ συνδέονται πελάτες οικιακής και εμπορικής χρήσης, που ενίοτε έχουν μονοφασικές παροχές, που δημιουργούν ασύμμετρες φορτίσεις. Οι γραμμές διανομής ΧΤ αποτελούνται από τρεις αγωγούς φάσεων και διαθέτουν, επιπλέον, και ουδέτερο αγωγό.

### 2.2.2 Ο Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Διανομής (Δ.Ε.Α.Δ.Η.Ε)

Η ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε. (Διαχειριστής του ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας) συστάθηκε με την απόσχιση του κλάδου διανομής της ΔΕΗ Α.Ε. έπειτα από οδηγία της ΕΕ, σχετικά με την οργάνωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας. Παρά το γεγονός ότι αποτελεί εταιρεία θυγατρική της ΔΕΗ, έχει ανεξάρτητη λειτουργία και διοίκηση. Σκοπό του ΔΕΔΔΗΕ αποτελεί η λειτουργία, η συντήρηση και η ανάπτυξη του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Ακόμη, στοχεύει στην αξιόπιστη τροφοδοσία των καταναλωτών, στην ποιότητα τάσης του ρεύματος και στη διαρκή βελτίωση της ποιότητας εξυπηρέτησης. Ένας ακόμα στόχος είναι η ανάπτυξη και λειτουργία του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας των μη διασυνδεδεμένων νησιών και η διασφάλιση ισότιμης πρόσβασης σε αυτά, όλων των καταναλωτών, παραγωγών και προμηθευτών, με διαφάνεια και αντικειμενικότητα.

### 2.2.3 Κατηγορίες Δικτύων Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η κατασκευαστική διαμόρφωση των ΔΔΗΕ σχετίζεται άμεσα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά δόμησης των περιοχών, και γενικότερα, του τρόπου χωροταξικής διαμόρφωσης κάθε χώρας. Τα δίκτυα κατηγοριοποιούνται σε εναέρια/υπέργεια και υπόγεια, με κριτήριο τον τρόπο κατασκευής τους.

- Τα **εναέρια δίκτυα** είναι φθηνότερα στην κατασκευή τους και έχουν καλύτερη αποκατάσταση βλαβών σε σχέση με τα υπόγεια, καταλαμβάνουν, όμως, σημαντικό χώρο, η διάθεση του οποίου είναι συχνά αδύνατη σε σχετικά πυκνοκατοικημένες περιοχές. Η κατασκευή εναέριων δικτύων προσφέρεται στις αγροτικές περιοχές ή μικρές πόλεις, αφού καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο, ο οποίος είναι δύσκολα διαθέσιμος σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Ακόμη, οι αγροτικές περιοχές και οι μικρές πόλεις χαρακτηρίζονται από μικρή πυκνότητα φορτίου και από τη δυνατότητα για την τήρηση των ελάχιστων αποστάσεων εγκατάστασης των αγωγών, γεγονός που αποτελεί άλλον έναν παράγοντα ευνοϊκό για τη δημιουργία τέτοιων δικτύων. Σημαντικό τους πλεονέκτημα είναι ότι ευνοούν τον γρηγορότερο εντοπισμό και την αποκατάσταση πιθανής βλάβης, ενώ είναι λιγότερο δαπανηρά από τα υπόγεια δίκτυα.
- Τα **υπόγεια δίκτυα** έχουν ελάχιστη επίπτωση στην αισθητική του περιβάλλοντος χώρου, σε αντίθεση με τα εναέρια δίκτυα που επιβαρύνουν αισθητικά το περιβάλλον. Αποτελούν δίκτυα μέσης και χαμηλής τάσης στα κέντρα των πόλεων, για λόγους αισθητικής και έλλειψης διαθέσιμου χώρου. Η μεγάλη πυκνότητα φορτίων στις μεγάλες πόλεις, επιβάλλει την κατασκευή υποσταθμών ΜΤ/ΧΤ, που είναι 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.

Η μορφή των ΔΔΗΕ είναι κατά κανόνα ακτινική (radial) ή βροχοειδής (meshed). Η ακτινική λειτουργία του δικτύου διανομής έγκειται στο γεγονός ότι όλα τα φορτία του δικτύου τροφοδοτούνται από το ένα μόνο άκρο τους. Έτσι, οι κλάδοι του δικτύου δεν συνδέονται μεταξύ τους, αλλά διαδίδονται ακτινικά από την κεντρική τροφοδοσία προς τα υπόλοιπα σημεία του δικτύου. Αντίθετα, στη βροχοειδή λειτουργία, τα δίκτυα διανομής είναι κλειστά, μέσω των βρόχων που σχηματίζουν οι γραμμές. Η βροχοειδής μορφή επιτρέπει οικονομία των γραμμών για τον ίδιο βαθμό εξυπηρέτησης και προσφέρει εναλλακτική τροφοδότηση σε περίπτωση βλαβών, ενώ η ακτινική απλοποιεί και διευκολύνει ζητήματα προστασίας του δικτύου και ροής της ενέργειας. Σημειώνεται, ότι πολλά ΔΔΗΕ έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να μετατρέπονται από ακτινικά σε βροχοειδή και αντίστροφα, με τον χειρισμό κατάλληλων διακοπών ή αποζευκτών.

Η κατασκευή κατάλληλου δικτύου για μια περιοχή αποτελεί ένα σύνθετο τεχνοοικονομικό πρόβλημα, αφού κατά την σχεδιάσή του πρέπει να υπολογίζεται και η μελλοντική του εξέλιξη.

## 2.2.4 Εξοπλισμός Δικτύων Διανομής

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα από τα βασικά δομικά στοιχεία ενός δικτύου διανομής.

### 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 και λοιπές συσκευές.

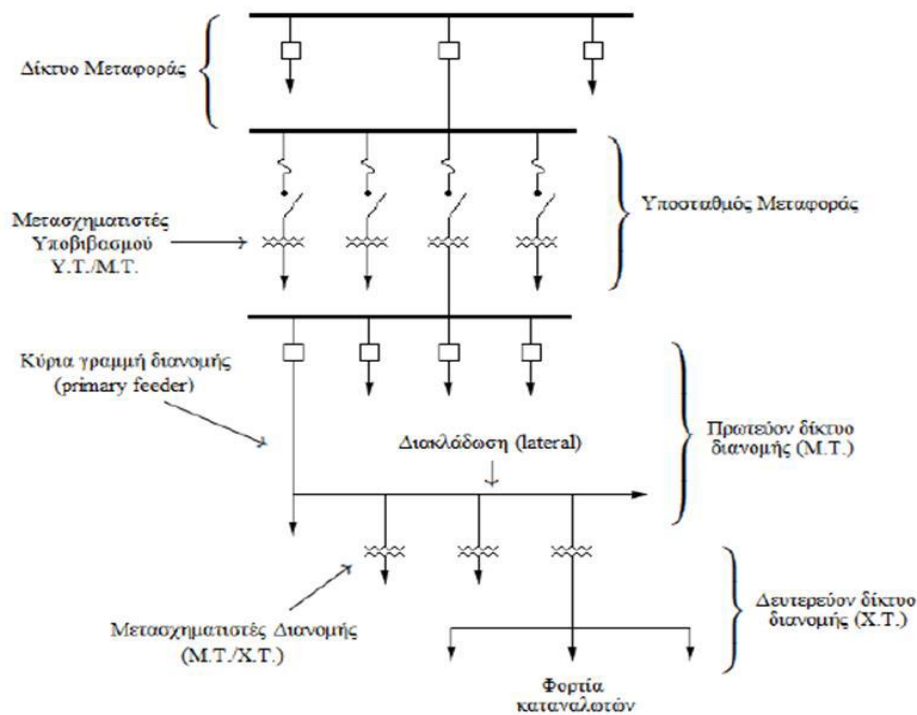
### Υποσταθμοί Διανομής

Το δίκτυο διανομής καταλήγει στους Υ/Σ διανομής, οι οποίοι υποβιβάζουν το επίπεδο τάσης έτσι ώστε να φτάσει η ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές ΧΤ. Εξοπλίζονται από Μ/Σ διαφόρων τυποποιημένων μεγεθών ονομαστικής ισχύος από 50 έως και 1000KVA, η ισχύς που προσφέρουν είναι μικρή και κατασκευάζονται μέσα στα αστικά κέντρα σε σημεία που εξυπηρετούν καλύτερα τους καταναλωτές. Κάθε Υ/Σ χωρίζεται σε τρία κύρια τμήματα: το τμήμα ή κυψέλες ΜΤ, το Μ/Σ και το τμήμα ή κυψέλες ΧΤ. Στα εναέρια δίκτυα, για ελαχιστοποίηση του κόστους εγκατάστασης τους, οι μικρότεροι από αυτούς κατασκευάζονται για προσάρτηση σε στύλους. Αντίθετα, στα υπόγεια δίκτυα τοποθετούνται σε υπόγειους θαλάμους, φρεάτια ή ακόμα και στο εσωτερικό των κτιρίων.

### Μετασχηματιστές

Στον πυρήνα κάθε εναλλασσόμενου συστήματος ενέργειας βρίσκονται οι μετασχηματιστές (Μ/Σ). Αυτοί αλλάζουν τα επίπεδα τάσης και ρεύματος της ενεργειακής ροής, διατηρώντας (εκτός από ένα μικρό μέρος από ηλεκτρικές απώλειες) την ίδια συνολική ενεργειακή ροή. Οι μετασχηματιστές κατασκευάζονται βάσει προκαθορισμένων προδιαγραφών και αγοράζονται σε μεγάλες ποσότητες. Οι μετασχηματιστές αντιμετωπίζουν δύο τύπους ηλεκτρικών απωλειών: τις απώλειες εν κενώ φορτίο (απώλειες πυρήνα ή σιδήρου) και τις απώλειες πλήρους φορτίου. Οι μετασχηματιστές είναι διαθέσιμοι σε ποικίλα μεγέθη, τύπους και χωρητικότητες [5]. Χρησιμοποιούνται στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας σε τρεις κύριες περιοχές:

- για την ανύψωση της τάσης σε Υ.Τ. στα εργοστάσια παραγωγής (20kV/150kV ή 20kV/400kV)
- για την μεταφορά της ενέργειας (150kV/20kV ή 400kV/20kV)
- για τη διανομή της ενέργειας στους καταναλωτές (20kV/400V)



Σχήμα 1 : Διάγραμμα δομής τυπικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας

- **Μετασχηματιστής με σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο (ΣΑΤΥΦ)**

Ο πλέον βασικός μηχανισμός για την διατήρηση της τάσης εντός των επιτρεπτών ορίων σε ένα δίκτυο διανομής είναι οι Μ/Σ ΥΤ/ΜΣ που διαθέτουν Σύστημα Αλλαγής Τάσης Υπό Φορτίο (ΣΑΤΥΦ). Το ΣΑΤΥΦ είναι ένας διακριτός ρυθμιστής τάσης που αλλάζει το λόγο μετασχηματισμού ώστε η τάση των ζυγών ΜΤ να μην ξεπερνά τα προκαθορισμένα όρια και είναι συνήθως 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 ΥΤ του Μ/Σ, προκειμένου να ελαχιστοποιείται η ένταση του ρεύματος για λόγους ασφάλειας. Η αλλαγή της λήψης στο πρωτεύον τύλιγμα του Μ/Σ αλλάζει την τάση στο δευτερεύον, αφού η επαγόμενη τάση ανά σπείρα παραμένει σταθερή.

- **Χωρητικές αντισταθμίσεις**

Οι υποσταθμοί αλλά και οι μετασχηματιστές διανομής συνήθως διαθέτουν εγκατεστημένες συστοιχίες πυκνωτών με σκοπό τη ρύθμιση της τάσης αλλά και τη διόρθωση του συντελεστή ισχύος των γραμμών του δικτύου. Η σύνδεση των πυκνωτών είναι δυνατόν να γίνει σε σειρά ή παράλληλα με τις γραμμές. Η εγκατάσταση εν σειρά χωρητικών αντισταθμίσεων έχει πολύ περιορισμένες εφαρμογές και για το λόγο αυτό επιλέγεται σε ελάχιστες περιπτώσεις. Αντίθετα, ευρεία χρήση συναντούν οι πυκνωτές που συνδέονται παράλληλα με τις γραμμές και ονομάζονται εγκάρσιοι πυκνωτές ή εγκάρσιες αντισταθμίσεις. Αυτό συμβαίνει λόγω της δυνατότητάς τους να παρέχουν άεργο ισχύ στο δίκτυο, αντισταθμίζοντας έτσι μέρος της άεργου κατανάλωσης από τις αντιδράσεις των γραμμών. Με την τοποθέτησή τους σε ζυγούς του δικτύου συμβάλλουν επίσης στη μείωση της πτώσης τάσης μεταξύ των γραμμών του, αλλά και στη μεταβολή του συντελεστή ισχύος προς τη μονάδα. Οι πυκνωτές συμπεριλαμβάνουν μεγάλο κόστος για το δίκτυο, ανάλογα με τον τύπο τους και τη θέση τους σε αυτό. Έχουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα εάν τοποθετηθούν κοντά στους καταναλωτές, αλλά το κόστος αυτό είναι υπερβολικά μεγαλύτερο σε σχέση με την τοποθέτησή τους κοντά στους υποσταθμούς [14].

- **Ρυθμιστής Τάσης**

Οι ρυθμιστές τάσης είναι αυτομετασχηματιστές που τοποθετούνται κατά μήκος του δικτύου διανομής, για την αντιμετώπιση του φαινομένου της πτώσης τάσης. Με τον τρόπο αυτό οι καταναλωτές στο τέλος μιας γραμμής διανομής έχουν παρόμοιο επίπεδο τάσης με εκείνους στην εκκίνηση.

Σε γραμμές μεγάλου μήκους που χαρακτηρίζονται από υψηλή φόρτιση τοποθετούνται περισσότεροι από ένας ρυθμιστές τάσης. Στις περιπτώσεις αυτές το ΣΑΤΥΦ δεν μπορεί να κρατήσει τις τάσεις εντός ορίων λόγω του μήκους των γραμμών και της υψηλής τους φόρτισης και μόνο η τοποθέτηση ρυθμιστών τάσης σε σειρά διορθώνουν το πρόβλημα ανυψώνοντας σταδιακά την τάση.

- **Καλώδια Μέσης Τάσης**

Για την μέση τάση υπάρχουν διάφοροι τύποι καλωδίων όπως τα ΝΑΚΒΑ, ΝΗΚΒΑ, ΝΑΗΚΒΑ, ΝΗΣΥ και άλλα. Οι αγωγοί των καλωδίων αυτών κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό και σπανιότερα από αλουμίνιο, το οποίο χρησιμοποιείται ως αγωγός σε καλώδια με διατομή μεγαλύτερη των 35 mm<sup>2</sup>. Ένα βασικό πλεονέκτημα του αλουμινίου συγκριτικά με το χαλκό είναι το μικρότερο βάρος του καλωδίου και η χαμηλή τιμή του.

Ένα από τα καλώδια που χρησιμοποιούνται συχνότερα είναι τα ΝΗΣΥ. Τα παραπάνω καλώδια διαθέτουν χάλκινο αγωγό και η μόνωσή τους περιλαμβάνει τις εξής στρώσεις: ημιαγωγίμη ταινία μετά τον χάλκινο αγωγό, θερμοπλαστική ύλη PVC υψηλής αντοχής, μια ακόμη στρώση

ημιαγώγιμης ταινίας, στρώση από χάλκινα συρματίδια σε ελικοειδή διάταξη, χάλκινη ταινία που περικλείει τα παραπάνω και τέλος εξωτερική μόνωση από PVC.

Τονίζεται ότι στις διακλαδώσεις των γραμμών MT χρησιμοποιούνται κατά κανόνα καλώδια μικρότερης διατόμης, από τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τον κύριο κορμό της γραμμής MT, αφού στις διακλαδώσεις έχουμε μεταφορά μικρότερης ισχύος.

## Διακοπτικά Στοιχεία

Η ανάγκη για χειρισμό και προστασία των χειριστών των εγκαταστάσεων οδήγησε στην ανάπτυξη ορισμένων ειδών διακοπών. Με την χρήση των διακοπών καθίσταται δυνατή η απομόνωση διαφόρων τμημάτων του για λόγους ασφάλειας, συντήρησης ή επισκευής χωρίς να διακόπεται η παροχή ενέργειας στο υπόλοιπο δίκτυο. Ο χειρισμός τους γίνεται χειροκίνητα, αυτόματα ή ελεγχόμενα εξ αποστάσεως. Οι κύριες κατηγορίες είναι:

1. **Αποξεύκτες (A/Z-isolators or disconnectors )**: ονομάζονται οι συσκευές που απομονώνουν από την παροχή ένα κύκλωμα που έχει ήδη τεθεί εκτός τάσης λειτουργίας ή διαρρέεται από αμελητέο ρεύμα. Το ρεύμα αυτό οφείλεται κυρίως στα χωρικά ρεύματα των μονωτήρων, των ζυγών και των μετασχηματιστών.[3]
  - ταχείας τήξεως (τύπου K): χρησιμοποιούνται για την προστασία των Υ/Σ διανομής.
  - βραδείας τήξεως (τύπου T): χρησιμοποιούνται για την προστασία όλων των διακλαδώσεων από τον κορμό της γραμμής.
2. **Διακόπτες Φορτίου (Δ/Φ – Switches )**: ονομάζονται οι συσκευές που έχουν την ικανότητα να διακόπτουν ή να αποκαθιστούν εντάσεις υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας του κυκλώματος καθώς και να αποκαθιστούν αλλά όχι και να διακόπτουν περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων[3]. Στα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη είναι οι *διακόπτες απομόνωσης (sectionalizing switches)*, που συνδέουν δύο τμήματα γραμμών της ίδιας γραμμής τροφοδοσίας. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους *διακόπτες διασύνδεσης (tie switches)*, που είναι ανοικτοί κατά την κανονική λειτουργία του δικτύου. Κλείνοντας τους δημιουργείται ένας βρόχος, με τη σύνδεση δύο διαφορετικών γραμμών τροφοδοσίας. Οι παραπάνω κατηγορίες διακοπών συμβάλουν στην αναδιαμόρφωση του δικτύου διανομής.

3. **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 λειτουργία τους ελέγχεται από τους εξής ηλεκτρονόμους (H/N)[3] :

- H/N Στιγμιαίας Λειτουργίας για σφάλματα Φάσεων (ΣΛΦ)
- H/N Στιγμιαίας Λειτουργίας για σφάλματα Γης (ΣΛΓ)
- H/N Χρονικής Καθυστέρησης Φάσεων (ΧΚΦ)
- H/N Χρονικής Καθυστέρησης Γης (ΧΚΓ).

4. **Διακόπτες Απομόνωσης (Δ/Α - Sectionalizing Switches)**: Οι διακόπτες απομόνωσης λειτουργούν σε σφάλματα που συμβαίνουν σε διακλαδώσεις δικτύων. Διεγείρονται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης και από τους κύκλους λειτουργίας του διακόπτη ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής. Μετράνε με εσωτερικό μηχανισμό, αμέσως μόλις περάσει από αυτούς το ρεύμα βραχυκυκλώματος, τους κύκλους λειτουργίας. Στον τελευταίο κύκλο ανοίγουν, αφού ανοίξει ο διακόπτης ισχύος. Στην συνέχεια ο διακόπτης ισχύος κλείνει και μένει κλειστός, ενώ ο Δ/Α μένει ανοικτός. Η τροφοδότηση των λοιπών καταναλωτών Μ.Τ. υφίσταται μόνο τις διακοπές που προέρχονται από τους κύκλους λειτουργίας του διακόπτη ισχύος στην αναχώρηση της γραμμής. Πλεονέκτημα των διακοπών απομόνωσης έναντι των ασφαλειών είναι ότι δεν χρειάζονται αλλαγή και έχουν πλήρη συνεργασία με τον διακόπτη ισχύος στην αναχώρηση. Η επανάφευξη τους γίνεται είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα αφού πρώτα βέβαια αποκατασταθεί το σφάλμα από συνεργείο της ΔΕΗ [13].

Έτσι υπάρχουν διακόπτες κανονικά κλειστοί υπό τάση, οι οποίοι συνδέουν τις γραμμές μεταξύ τους κατά την κανονική λειτουργία του δικτύου και άλλοι που είναι κανονικά ανοικτοί και κλείνουν μόνον όταν κριθεί απαραίτητο. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται επαναδιαμόρφωση του δικτύου ανακατευθύνοντας τη ροή ισχύος σε διαφορετικά τμήματα του [13].



## 2.2.5 Τοπολογία και Λειτουργία Δικτύων Διανομής ΜΤ

- Εναέρια Δίκτυα ΜΤ

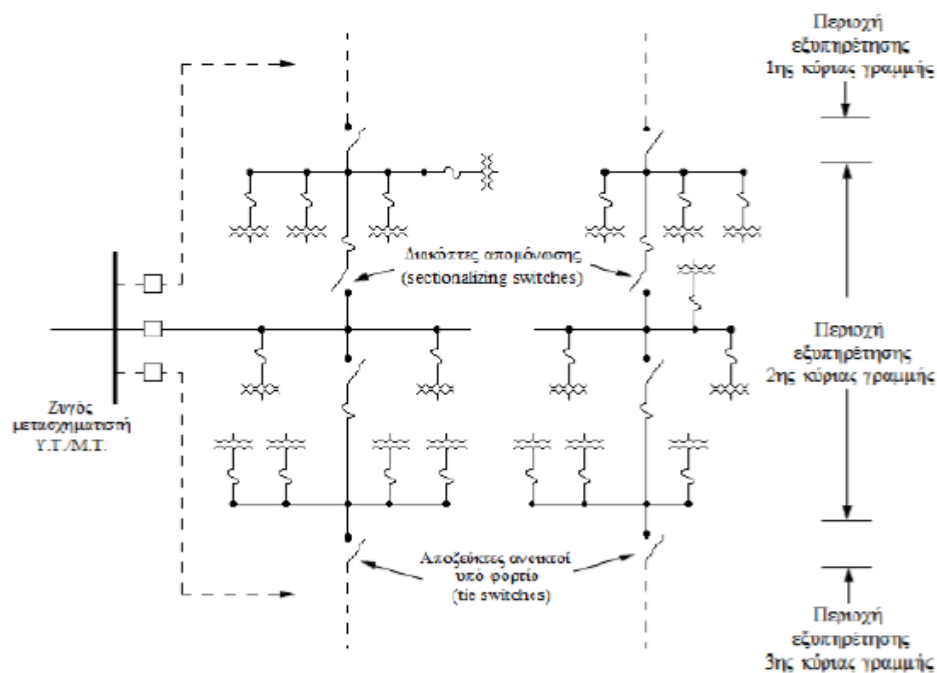
Η μορφή των εναέριων δικτύων ΜΤ είναι δενδροειδής. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από την κύρια γραμμή, τον κορμό, που κατασκευάζεται από αγωγούς μεγάλης διανομής, και τις διακλαδώσεις, οι οποίες συνδέονται συνήθως με Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι διακλαδώσεις κατασκευάζονται με αγωγούς μικρότερης διατομής απ' ότι ο κορμός, αφού σε αυτές μεταφέρεται μικρότερη ισχύς.[3]

Η τροφοδότηση της γραμμής του κορμού στο ένα άκρο της, γίνεται 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 εγκατασταθούν όλα τα είδη διακοπών. Ειδικότερα οι Α/Ζ και οι Δ/Φ εγκαθίστανται ώστε ο κορμός να απομονώνεται κατά τμήματα ενώ τα υπόλοιπα τμήματα να μπορούν να τροφοδοτούνται κανονικά.

Συνεπώς, η τοπολογία των εναέριων δικτύων ΜΤ είναι ακτινική όπως και η λειτουργία τους.

### Ακτινικά Δίκτυα

Τα περισσότερα συστήματα διανομής σχεδιάζονται ακτινικά (Σχήμα 2.4), κύριο χαρακτηριστικό των οποίων είναι ότι υπάρχει μόνο ένα μονοπάτι ανάμεσα σε έναν καταναλωτή και τον υποσταθμό. Η ηλεκτρική ροή ρέει αποκλειστικά μακριά από τον υποσταθμό και προς τους καταναλωτές μέσω μιας και μοναδικής διαδρομής, η οποία εάν διακοπεί έχει ως αποτέλεσμα την ολική απώλεια ενέργειας προς τον καταναλωτή. Η υπεροχή της τοπολογίας αυτής βασίζεται σε δύο συντριπτικά πλεονεκτήματα: είναι πολύ οικονομικότερη λύση σε σχέση με τις άλλες δύο εναλλακτικές και είναι απλούστερη στο σχεδιασμό, στην κατασκευή και στη λειτουργικότητά της. Στην αντίπερα όχθη, τα ακτινικά συστήματα τροφοδοσίας είναι λιγότερο αξιόπιστα απ' ότι τα κυκλικά ή τα δικτυωτά συστήματα καθότι υπάρχει μόλις μια διαδρομή ανάμεσα στον υποσταθμό και τον κάθε καταναλωτή. Έτσι εάν κάποιο στοιχείο κατά μήκος της διαδρομής αποτύχει, έχουμε ως αποτέλεσμα την απώλεια ενέργειας [15].



Σχήμα 2 : Ακτινικό δίκτυο διανομής

- Υπόγεια Δίκτυα ΜΤ

Στα υπόγεια δίκτυα ΜΤ η δυσκολία εύρεσης βλάβης, αλλά και η δύσκολη και χρονοβόρα αποκατάσταση της, σε σχέση με τα εναέρια, οδήγησε σε πιο σύνθετες τοπολογίες από την ακτινική. Εκεί πρέπει να υπάρχει δυνατότητα επανατροφοδότησης των Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ από άλλη οδό, έπειτα από μια βλάβη. Το εναλλακτικό σενάριο τροφοδοσίας εφαρμόζεται μετά την εκτέλεση ορισμένων χειρισμών ή και αυτόματα, χωρίς να προηγείται κατά ανάγκη επισκευή της βλάβης. Τα βασικά σχήματα που περιγράφουν αυτές τις τοπολογίες είναι :

Το βροχοειδές, με βασικό χαρακτηριστικό τις γραμμές που σχηματίζουν τμήματα βρόχου και οι οποίες αρχίζουν και τελειώνουν στον ίδιο Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ. Αποτελεί μια εναλλακτική λύση για το ακτινικό σχεδιασμό είναι το κυκλικό σύστημα που αποτελείται από ένα σχέδιο διανομής με δυο μονοπάτια ανάμεσα στην πηγή ενέργειας (υποσταθμός) και κάθε πελάτη.

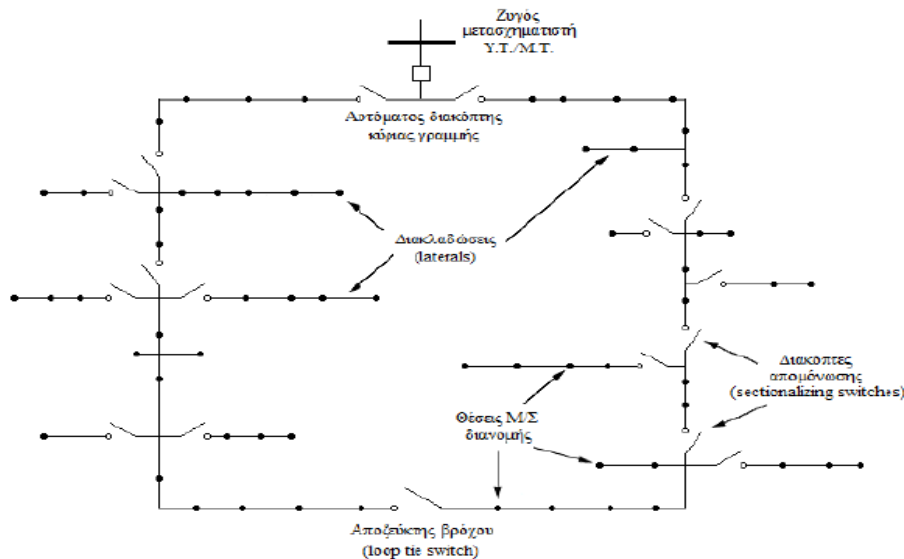
Το σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε η παροχή να διατηρείται ανεξάρτητα απ' το που βρίσκεται ένα «ανοιχτό» σημείο πάνω στο βρόχο. Ένα τέτοιο σύστημα τροφοδοσίας είναι ελάχιστα πιο περίπλοκο από ένα ακτινικό, καθώς η ενέργεια συνήθως ρέει από δυο πλευρές προς την μέση και σε όλες τις περιπτώσεις μπορεί να πάρει μόνο μια από τις δύο οδούς. Αλλά εάν σχεδιαστεί βάσει σωστών προδιαγραφών, το βροχοειδές σύστημα είναι πιο αξιόπιστο από τα ακτινικά δίκτυα. Η παροχή υπηρεσιών δεν θα διακοπεί στην πλειοψηφία των πελατών οποτεδήποτε ένα τμήμα βγει

εκτός, επειδή δεν υπάρχει μονόπλευρη κατεύθυνση σε κανένα βρόχο. Το κύριο μειονέκτημα των βροχοειδών συστημάτων είναι η χωρητικότητα και το κόστος [15].

Παραλλαγές του σχήματος αυτού είναι :

1. Δίκτυο με ανοικτούς ή κλειστούς διακτυλίους
2. Δίκτυο σε Y/Σ διασύνδεσης
3. Δίκτυο με ενδιάμεσους Y/Σ MT

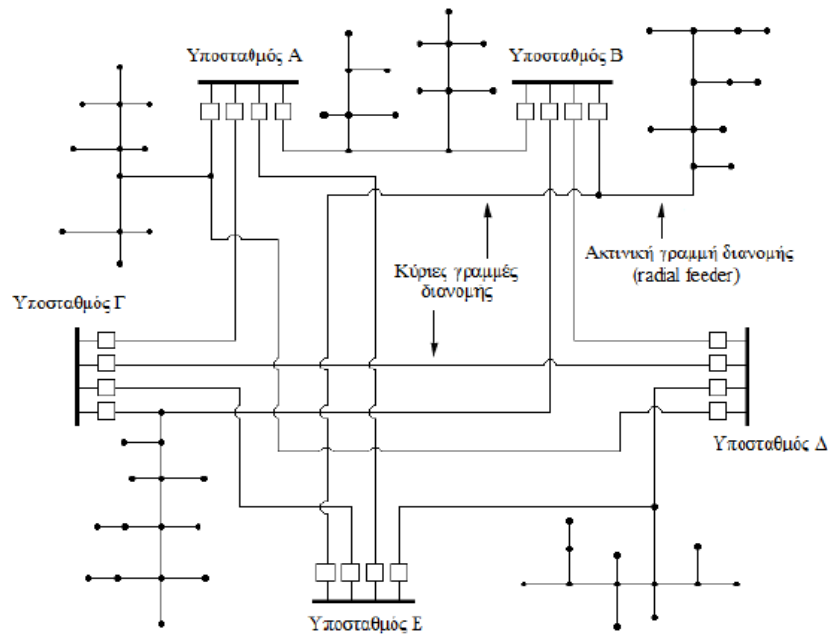
Κατά τη λειτουργία ενός βροχοειδούς δικτύου διανομής δεν ενδείκνυται ο παραλληλισμός των Y/Σ τροφοδοσίας, δηλαδή η ταυτόχρονη τροφοδότηση μιας γραμμής από δύο ή περισσότερους Y/Σ YT/MT. Έτσι, στα βροχοειδή σχήματα ένας από τους Δ/Φ εισόδου ή εξόδου σε ένα Y/Σ YT/MT πρέπει να παραμείνει ανοικτός.



Σχήμα 3 : Βροχοειδές δίκτυο διανομής

- Το ατρακτοειδές, με βασικό χαρακτηριστικό τις γραμμές που αρχίζουν από έναν Y/Σ YT/MT και καταλήγουν σε έναν άλλο ή σε έναν Y/Σ Ζεύξης. Στα ατρακτοειδή σχήματα παραμένουν συχνά ανοικτοί οι διακόπτες των ζυγών MT των Y/Σ YT/MT ή του Y/Σ Ζεύξης για κάθε γραμμή. Σε περίπτωση σφάλματος σε οποιοδήποτε σημείο της γραμμής προκαλείται άνοιγμα του Δ/Ι, που προστατεύει τη γραμμή στην αναχώρησή της από τον Y/Σ YT/MT. Στη συνέχεια, αφού η θέση του σφάλματος εντοπιστεί, το αντίστοιχο τμήμα απομονώνεται με το άνοιγμα των εκατέρωθεν Δ/Φ και τα λοιπά τμήματα επανατροφοδοτούνται.

- Τα δικτυωτά συστήματα διανομής είναι τα πιο περίπλοκα, τα πιο αξιόπιστα και σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις και το πιο οικονομικό σύστημα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα δίκτυο περιλαμβάνει πολλά μονοπάτια ανάμεσα σε όλα τα σημεία του. Η ροή ενέργειας ανάμεσα σε οποιαδήποτε δυο σημεία συνήθως χωρίζεται σε διαφορετικά μονοπάτια και αν εμφανιστεί βλάβη, το σύστημα άμεσα και αυτόματα αλλάζει την κατεύθυνση ροής. Ένα δίκτυο διανομής σχεδόν πάντα περιλαμβάνει συμπλέγματα ακτινικών τροφοδοσιών και ένα δευτερεύον δικτυωτό σύστημα (ένα δικτυωτό πλέγμα από ηλεκτρικά ισχυρούς αγωγούς που συνδέουν όλους μαζί τους πελάτες σε βασική τάση χρησιμοποίησης). Τα δικτυωτά συστήματα είναι πολύ πιο ακριβά από τα ακτινικά συστήματα διανομής, αλλά όχι πάντα και απαιτούν μόλις μια μικρή ποσότητα χωρητικής αγωγιμότητας μεγαλύτερη από ένα κυκλικό σύστημα. Το κύριο μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι ότι είναι πολύ πιο περίπλοκα από όλες τις υπόλοιπες μορφές διανομής και έτσι είναι πολύ δύσκολα στην ανάλυση και τη σχεδίαση [15].



Σχήμα 4 : Δικτυωτό δίκτυο διανομής

- 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 και για αυτό οι αντίστοιχοι Δ/Φ συνδέονται μεταξύ τους (μανδάλωση), ώστε να αποκλείεται να παραμείνουν ταυτόχρονα κλειστές.

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

## ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

### 3.1 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ( ΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΔΙΑΝΟΜΗ )

- Τεχνικές απώλειες στις γραμμές μέσης τάσης (ΜΤ). Στην Ευρώπη τα δίκτυα διανομής μέσης τάσης συνήθως διαμορφώνονται σε τοπολογίες ανοικτών βρόχων και υιοθετούν πολιτικές ελέγχου προκειμένου να είναι σε θέση να απομονώσουν ένα σφάλμα και να αποκαταστήσουν τη μεταφορά ισχύος. Τα «κανονικά ανοικτά» σημεία των βρόχων βρίσκονται σε στρατηγικά επιλεγμένες θέσεις για να μεγιστοποιήσουν τη ποιότητα εξυπηρέτησης, δηλ., χαμηλή διάρκεια διακοπής (low interruption duration - SAIDI) και χαμηλή συχνότητα διακοπής (low interruption frequency - SAIFI). Εντούτοις αυτή η στρατηγική δεν ελαχιστοποιεί τις απώλειες των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Τεχνικές απώλειες στις γραμμές διανομής χαμηλής τάσης Οι τεχνικές απώλειες στα δίκτυα διανομής μέσης τάσης (ΜΤ) αντιπροσωπεύουν περίπου 3% των συνολικών απωλειών της διεσπαρμένης ηλεκτροπαραγωγής. Οι θερμικές απώλειες λόγω φαινομένου Joule αντιπροσωπεύουν 70% αυτών των απωλειών[11] σε συνάρτηση με την εκτίμηση φορτίων του δικτύου. Περισσότερες απώλειες εμφανίζονται στο δίκτυο διανομής χαμηλής τάσης (ΧΤ). Οι απομακρυσμένοι καταναλωτές χαμηλής τάσης λόγω χαμηλής φόρτισης και μεγάλων μηκών καλωδίων φορτίζουν ανισομερώς τους μετασχηματιστές διανομής του ίδιου δικτύου διανομής ΧΤ. Αυτές οι δυσαναλογίες στο ποσοστό φόρτισης προκαλούν τις θερμικές απώλειες στα καλώδια και τους μετασχηματιστές λόγω του υψηλότερου ρεύματος στους αγωγούς των φάσεων και του ουδέτερου. Αυτές οι απώλειες εκτιμώντας σε λειτουργικό κόστος από 200€ ως 1.000€ ευρώ ανά υποσταθμό διανομής ΜΤ/ΧΤ το χρόνο.

Παρακάτω φαίνονται ενδεικτικά κάποιες απώλειες για το έτος 2015.

Έτος	Έγχυση από Σύστημα ( $E_1$ ) [MWh]	Έγχυση από ΑΠΕΔικτύου ( $E_2$ ) [MWh]	Έγχυση από ΦΒ στεγών ( $E_3$ ) [MWh]	Έγχυση από ΑΣΠ & Η/Ζ ( $E_4$ ) [MWh]	Συνολική έγχυση $E=(E1+E2+E3+E4)$ [MWh]	Καταναλώσεις ΜΤ & ΧΤ ( $K$ ) [MWh]	Απώλειες ( $\Delta E=E-K$ ) [MWh]	Ποσοστό απωλειών [%]
2015	37.459.859	4.256.253	457.277	2.262	42.175.651	38.462.693	3.712.958	8,8%

### 3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Γενικά, οι απώλειες των μετασχηματιστών διακρίνονται στις απώλειες σιδήρου και στις απώλειες χαλκού. Οι απώλειες σιδήρου είναι πρακτικά ανεξάρτητες του φορτίου (υπάρχουν ακόμη και όταν ο μετασχηματιστής λειτουργεί εν κενώ) και οφείλονται κατά ένα μέρος στα δινορεύματα εντός του σιδηρομαγνητικού πυρήνα του μετασχηματιστή καθώς και στο φαινόμενο της μαγνητικής υστέρησης. Οι απώλειες χαλκού αντιπροσωπεύουν τις απώλειες Joule λόγω της ωμικής αντίστασης των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή και συνεπώς εξαρτώνται από το φορτίο του μετασχηματιστή. Κάθε μετασχηματιστής χαρακτηρίζεται από μία εγγυημένη στάθμη απωλειών σιδήρου και μία εγγυημένη στάθμη απωλειών χαλκού με αναφορά στην ονομαστική ισχύ του μετασχηματιστή.

Δεδομένου ότι οι απώλειες σιδήρου είναι ανεξάρτητες του φορτίου, για εγγυημένη στάθμη απωλειών  $\Delta P_{Fe}$ , οι ετήσιες απώλειες ενέργειας σιδήρου προκύπτουν από τη σχέση:

$$\Delta E_{Fe} = P_{\Delta Fe} * 8760 \quad (1)$$

Για δεδομένο φορτίο  $S$  (kVA ή MVA) οι απώλειες ισχύος χαλκού ενός μετασχηματιστή δίνονται από τη σχέση:

$$\Delta P_{Cu} = \Delta P'_{Cu} \cdot \left(\frac{S}{N}\right)^2 \quad (2)$$

όπου  $N$  : η ονομαστική ισχύς του μετασχηματιστή (kVA ή MVA)

$\Delta P'_{Cu}$  : η εγγυημένη στάθμη απωλειών χαλκού

Οι ετήσιες απώλειες ενέργειας χαλκού δίνονται από τη σχέση:

$$\Delta E_{Cu} = \sum_{I=1}^{8760} \Delta P'_{Cu} \cdot \left[\frac{S_i}{N}\right]^2 \quad (3)$$

Εάν δεν είναι διαθέσιμη η χρονοσειρά των φορτίσεων οι ετήσιες απώλειες ενέργειας χαλκού μπορούν να υπολογιστούν με βάση τη μέγιστη ετήσια φόρτιση και τον ετήσιο συντελεστή φορτίου ως εξής:

$$\Delta E_{Cu} = \Delta P'_{Cu} * \left(\frac{S_{max}}{N}\right)^2 * F_A * 8760 \quad (4)$$

Όπου

$S_{max}$  : το ετήσιο μέγιστο φορτίο του μετασχηματιστή (kVA ή MVA)

$F_A$  : ο συντελεστής απωλειών

Ο συντελεστής  $F_A$  δίνεται από τη γνωστή σχέση [2], [3]:

$$F_A = 0.3F + 0.7F^2 \quad (5)$$

όπου

$F$  : ο ετήσιος συντελεστής φορτίου του μετασχηματιστή

Γενικά, ο συντελεστής φορτίου  $F$  για μια χρονική περίοδο  $T$  ορίζεται ως ο λόγος του μέσου προς το μέγιστο φορτίο για τη χρονική περίοδο αυτή και εκφράζει τις ισοδύναμες ώρες λειτουργίας υπό μέγιστο φορτίο στο διάστημα  $[0, T]$ .

### 3.2.1 Εκτίμηση των απωλειών επί των γραμμών του Δικτύου

#### 5.1 Γενικά

Όταν ένα τμήμα εναερίου ή υπογείου τριφασικού δικτύου διαρρέεται από ρεύμα  $I$  οι απώλειες ισχύος είναι:

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2 \quad (6)$$

με  $R = R_0 \cdot L \quad (7)$

όπου

$R_0$  : η ωμική αντίσταση της μίας φάσης ανά μονάδα μήκους

$L$  : το μήκος του τμήματος

Το φορτίο που διοχετεύεται μέσα από το τμήμα είναι:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (8)$$



οπότε

$$\Delta P = \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi} R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \quad (9)$$

Εάν το φορτίο ενός τμήματος κατανέμεται ομοιόμορφα καθ' όλο το μήκος του, αποδεικνύεται ότι οι απώλειες ισχύος είναι το ένα τρίτο έναντι της περίπτωσης που όλο το τμήμα διαρρέεται από το ρεύμα I, δηλαδή:

$$\Delta P = R_0 \cdot L \cdot I^2 \quad (10)$$

Αυτό που ενδιαφέρει είναι η απώλεια ενέργειας  $\Delta E$  ή ο συντελεστής απωλειών  $\Delta E/E$ , όπου E η ενέργεια που διοχετεύεται από το τμήμα σε χρονικό διάστημα T (1 ώρα, 1 ημέρα, 1 έτος...). Η απώλεια αυτή δίνεται γενικά από τη σχέση:

$$\Delta E = 3R \int_0^T i^2(t) dt \quad (11)$$

Εφόσον είναι γνωστή η ωριαία χρονοσειρά φορτίσεων του τμήματος, ο τύπος μετασχηματίζεται στην ακόλουθη διακριτή μορφή:

$$\Delta E = 3R \sum_1^{8760} i^2(t)$$

### 3.2.2 Επιμερισμός των τεχνικών απωλειών επί των γραμμών στο Πρωτεύον και το Δευτερεύον Δίκτυο

Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζεται το ισοζύγιο ενέργειας (εγχύσεις, απώλειες, καταναλώσεις) για το δίκτυο ΜΤ και το δίκτυο ΧΤ. Χάριν απλότητας αγνοείται το πάрко μετασχηματιστών ΜΤ/ΜΤ. Το ισοζύγιο ενέργειας περιγράφεται από τις παρακάτω σχέσεις :

$$\text{ΕισΕΔ} = \Delta\text{Ε}_{\text{ΜΣ ΥΤ/ΜΤ}} + \Delta\text{Ε}_{\text{ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΤ}} + \text{ΚΕ}_{\text{ΜΤ}} + \text{ΕισΕΔ}_{\text{ΧΤ}}$$

$$\text{ΕισΕΔ}_{\text{ΧΤ}} = \Delta\text{Ε}_{\text{ΜΣ ΜΤ/ΧΤ}} + \Delta\text{Ε}_{\text{ΓΡΑΜΜΩΝ ΧΤ}} + \text{ΚΕ}_{\text{ΧΤ}} + \Delta\text{Ε}^*$$

Όπου

ΕισΕΔ : η συνολική εισερχόμενη στο Δίκτυο ποσότητα ενέργειας

$\Delta\text{Ε}_{\text{ΜΣ ΥΤ/ΜΤ}}$  : οι συνολικές απώλειες των μετασχηματιστών ΥΤ/ΜΤ

$\Delta\text{Ε}_{\text{ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΤ}}$  : οι συνολικές απώλειες επί των γραμμών ΜΤ

$\text{ΚΕ}_{\text{ΜΤ}}$  : οι συνολικές καταναλώσεις των Πελατών ΜΤ

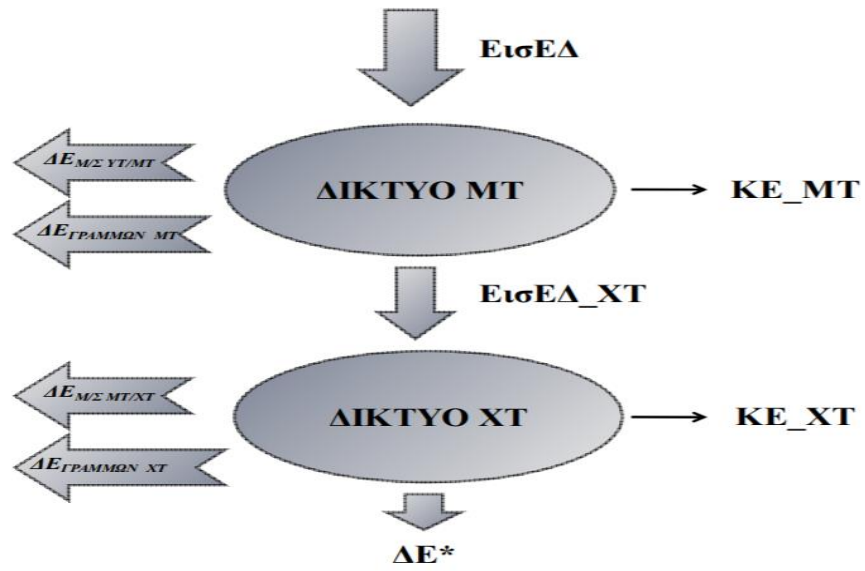
$\text{ΕισΕΔ}_{\text{ΧΤ}}$  : η συνολική έγχυση ενέργειας στην πλευρά ΜΤ των υποσταθμών ΜΤ/ΧΤ

$\Delta\text{Ε}_{\text{ΜΣ ΜΤ/ΧΤ}}$  : οι συνολικές απώλειες των μετασχηματιστών ΜΤ/ΧΤ

$\Delta\text{Ε}_{\text{ΓΡΑΜΜΩΝ ΧΤ}}$  : οι συνολικές απώλειες επί των γραμμών ΧΤ

$\text{ΚΕ}_{\text{ΧΤ}}$  : οι συνολικές καταναλώσεις των Πελατών ΧΤ

$\Delta\text{Ε}^*$  : οι συνολικές μη τεχνικές απώλειες



Σχήμα 5 : Ισοζύγιο ενέργειας στο Πρωτεύον και Δευτερέον Δίκτυο

### 3.2.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Οι απώλειες ενεργού ισχύος των δικτύων διανομής είναι σημαντικές σε σχέση με την ισχύ που διανέμεται στους καταναλωτές. Εμφανίζονται, εξαιτίας του ότι οι αγωγοί των τριφασικών γραμμών διανομής καθώς και τα τυλίγματα των μετασχηματισμών που χρησιμοποιούνται παρουσιάζουν ωμική αντίσταση, με αποτέλεσμα να παράγονται θερμικές απώλειες, οι οποίες υπολογίζονται ως εξής:

$$P = 3I^2R$$

όπου:

I : Η τιμή του ρεύματος που διαρρέει μία φάση της γραμμής διανομής.

R : Η τιμή της αντίστασης ανά φάση της γραμμής διανομής.

Στο ελληνικό δίκτυο οι ετήσιες απώλειες ενέργειας στη Μέση & Χαμηλή Τάση, δηλαδή στα Δίκτυα Διανομής, είναι της τάξης του 6.5%, ενώ στην Υψηλή τάση 4%. Συνεπώς, οι απώλειες ενεργού ισχύος αποτελούν ένα σημαντικό μέρος της παραγόμενης ισχύος και για αυτό ακριβώς το λόγο είναι πολύ σημαντική η μείωσή τους.

Το ότι οι απώλειες που καταγράφονται στο τμήμα της διανομής είναι υψηλότερες σε σχέση με αυτές στη μεταφορά, δικαιολογείται από το γεγονός του ότι η τιμή του ρεύματος, από την οποία εξαρτώνται οι θερμικές απώλειες, είναι αντιστρόφως ανάλογη της τάσης (χαμηλή τάση – υψηλή τιμή ρεύματος).

Τέλος, αναφέρονται ορισμένοι τρόποι μείωσης των απωλειών ενεργού ισχύος σε ένα δίκτυο διανομής, οι οποίοι είναι οι εξής:

- Αύξηση της διατομής των αγωγών.
- Διείσδυση διεσπαρμένης παραγωγής.
- Μείωση του ρεύματος με διόρθωση συντελεστή ισχύος μέσω αντιστάθμισης αέργου ισχύος.
- Ανασχηματισμός της τοπολογίας του δικτύου

## ΕΠΑΝΑΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΔΗΕ

### 4.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Οι νέες τεχνολογίες και προκλήσεις οδηγούν τους διαχειριστές των ΔΔΗΕ να προχωρήσουν σε σημαντικές αλλαγές τα επόμενα χρόνια. Τα νέα μέσα που έχουν αναπτυχθεί, όπως αισθητήρες και υλικό ελέγχου, έχουν σημαντικό ρόλο στο σύστημα διαχείρισης του ΔΔΗΕ, αφού δίνουν τη δυνατότητα για ευκολότερη αυτοματοποιημένη ανίχνευση και απομόνωση σφαλμάτων, αυτοματοποιημένη αποκατάσταση βλαβών, αυτοματοποιημένο έλεγχο της τάσης και της άεργου ισχύος, κ.ά. Όλα τα παραπάνω βοηθούν στη δημιουργία ενός οικονομικότερου αλλά και πιο ευέλικτου ΔΔΗΕ, με αποτέλεσμα να βρίσκουν όλο και περισσότερες εφαρμογές στις μέρες μας. Η διαμόρφωση του δικτύου έχει ουσιαστικό ρόλο στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα δίκτυα διανομής ΜΤ που βρίσκονται σε περιοχές αγροτικές είναι συνήθως εναέρια. Σε αυτά τα δίκτυα με μικρό αριθμό διακλαδώσεων, το πρόβλημα επιλογής της βέλτιστης συνδεσμολογίας είναι περιορισμένο, ενώ ο βαθμός εξυπηρέτησης που επιτυγχάνεται εξαρτάται κυρίως από την καλή επιλογή των προστασιών και των μέσων ρύθμισης της τάσης.

Αντίθετα, σε ένα αστικό δίκτυο με πληθώρα διασυνδέσεων, υπάρχει ένα πλήθος πιθανών σχημάτων επαναδιαμόρφωσης και η επιλογή της βέλτιστης συνδεσμολογίας αποτελεί σύνθετο πρόβλημα, ενώ είναι περιορισμένες οι δυνατότητες επιλογής των προστασιών και των μέσων ρύθμισης της τάσης. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, ότι ο καθορισμός της βέλτιστης λειτουργίας ενός ΔΔΗΕ αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα λόγω της πολυπλοκότητας και της μεταβαλλόμενης φόρτισης του ΔΔΗΕ. Τα ΔΔΗΕ είναι, ίσως, το σημαντικότερο τμήμα ενός ΣΗΕ και αξίζει ιδιαίτερη προσοχή καθώς τα περισσότερα σφάλματα, που οδηγούν σε διακοπή, συμβαίνουν εκεί και υπάρχει και μεγάλες απώλειες ισχύος. Επομένως, στόχος είναι η βέλτιστη λειτουργία του ΔΔΗΕ με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Όλα τα παραπάνω συντελούν στην προσπάθεια εύρεσης της βέλτιστης επαναδιαμόρφωσης του ΔΔΗΕ, χωρίς να παραβιάζονται οι λειτουργικοί περιορισμοί του δικτύου, κάτι που στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται με τον αγγλικό όρο Optimal Distribution Network Reconfiguration (ODNR). Το ODNR βελτιώνει την αξιοπιστία του δικτύου διανομής και οδηγεί σε οικονομικότερη και φιλικότερη προς το περιβάλλον λειτουργία του [5], [6]. Ένα ΔΔΗΕ λειτουργεί βέλτιστα όταν είναι σε θέση να τροφοδοτεί το φορτίο του με τις ελάχιστες δυνατές απώλειες και να εξυπηρετεί βέλτιστα τους καταναλωτές [7]. Αυτό συμβάλει στην αξιοπιστία του δικτύου, δηλαδή στο να τροφοδοτούνται συνεχώς οι καταναλωτές, χωρίς διακοπές, καθώς και στη σταθερότητα της τάσης τροφοδότησης των καταναλωτών. Επιπλέον, ένα σύγχρονο ΔΔΗΕ λειτουργεί ακόμα πιο αποδοτικά όταν συνδέονται ΜΔΠ σε αυτό. Συνεπώς, οι παράγοντες που καθορίζουν τη βέλτιστη λειτουργία ενός δικτύου διανομής είναι οι απώλειες ισχύος, η αξιοπιστία, η σταθερότητα της τάσης και η διείσδυση ΜΔΠ στο δίκτυο [5].

Μέσα στην επόμενη εικοσαετία αναμένεται ότι θα πραγματοποιηθούν σημαντικές αλλαγές στον τομέα των δικτύων διανομής. Οι σύγχρονοι αισθητήρες και το υλικό ελέγχου που έχει αναπτυχθεί αποτελούν βασικά δομικά στοιχεία των συστημάτων διαχείρισης των δικτύων διανομής και λογισμικών κέντρων ελέγχου ενέργειας, τα οποία με τη σειρά τους βρίσκουν εφαρμογή σε αυτόματα συστήματα ανίχνευσης και απομόνωσης σφαλμάτων, αυτόματα συστήματα

αποκατάστασης βλαβών και αυτόματα συστήματα ελέγχου της τάσης και της άεργου ισχύος. Όλα τα παραπάνω συνεισφέρουν στην οικονομική λειτουργία των δικτύων διανομής και γι' αυτό πολλές εταιρείες παροχής ηλεκτρισμού έχουν ήδη εγκαταστήσει τέτοια συστήματα

Τα συστήματα διανομής αποτελούν την κύρια πηγή απωλειών των ΣΗΕ, ενώ οι περισσότερες διακοπές παροχής οφείλονται σε σφάλματα που συμβαίνουν σε δίκτυα διανομής. Έτσι, ένα πολύ σημαντικό θέμα σχετικά με τα δίκτυα διανομής είναι με ποιόν τρόπο μπορεί να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή λειτουργία τους. Το παραπάνω αναφέρεται στην διεθνή βιβλιογραφία ως “distribution system optimization problem” (DSO), και ορίζεται ως «η κάλυψη της ζήτησης του δικτύου με τον πιο οικονομικό, αξιόπιστο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο, ενώ παράλληλα τηρούνται όλοι οι λειτουργικοί περιορισμοί».[7] Ακόμη, με τον τρόπο αυτό είναι δυνατός και ο προγραμματισμός της μελλοντικής επέκτασης ενός δικτύου διανομής.

Θεωρείται πως ένα δίκτυο διανομής λειτουργεί με το βέλτιστο δυνατό τρόπο εάν τροφοδοτεί το φορτίο του έτσι ώστε οι απώλειες να είναι οι ελάχιστες δυνατές και η ποιότητα εξυπηρέτησης των καταναλωτών βέλτιστη. Η ποιότητα εξυπηρέτησης όμως συνίσταται στην αξιοπιστία του δικτύου, δηλαδή τη συνέχεια παροχής ηλεκτρικής ενέργειας και τη σταθερότητα της τάσης τροφοδότησης των καταναλωτών. Συμπερασματικά, η βέλτιστη λειτουργία καθορίζεται από τις απώλειες, την αξιοπιστία και τη σταθερότητα της τάσης.

#### 4.2 Συχνές μέθοδοι για τη βελτίωση της αποδοτικότητας

Στην βιβλιογραφία οι μέθοδοι βελτίωσης της αποδοτικότητας που αναφέρονται πιο συχνά είναι οι ακόλουθες:

- **Αναδιαμόρφωση της τοπολογίας του δικτύου μέσω διακοπών:** Στην μέθοδο αυτή επικεντρώνεται η παρούσα εργασία και γίνεται αναλυτικότερη επεξήγησή της παρακάτω.
- **Βέλτιστη τοποθέτηση πυκνωτή:** Η μέθοδος αυτή είναι εφαρμόσιμη σε δίκτυα διανομής υψηλής τάσης. Ο πυκνωτής ως γνωστόν αποτελεί μια πηγή άεργου ισχύος και αφού μειώνει την επαγωγική αντίδραση, τελικά μειώνει και τις απώλειες άεργου ισχύος της γραμμής. Οι πυκνωτές σε ένα δίκτυο διανομής χρησιμοποιούνται για την βελτίωση του συντελεστή ισχύος καθώς και την ρύθμιση των τάσεων με την προσφορά άεργου ισχύος για αντιστάθμιση. Πολλές βιβλιογραφικές αναφορές έχουν ως αντικείμενο την βέλτιστη τοποθέτηση πυκνωτή σε δίκτυα διανομής με στόχο τον έλεγχο της τάσης και τελικά την ελαχιστοποίηση των απωλειών. Οι κύριες προκλήσεις της μεθόδου αυτής είναι η επιλογή του σωστού αριθμού πυκνωτών που πρέπει να τοποθετηθούν και η επιλογή του μεγέθους των πυκνωτών αυτών. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής έγιναν αντιληπτά μετά τη

δεκαετία του '40. Παλαιότερα, οι πυκνωτές τοποθετούνταν κυρίως στους υποσταθμούς, ενώ από το 1950 και έπειτα οι πυκνωτές άρχισαν να τοποθετούνται στις γραμμές διανομής, κοντά στα φορτία που αυτές τροφοδοτούν. Πολλοί ερευνητές έχουν αξιοποιήσει αλγορίθμους προκειμένου να καταστήσουν την μείωση απωλειών περισσότερο αποτελεσματική, όπως αλγορίθμους γραμμικού και μη γραμμικού προγραμματισμού, αναζήτηση tabu, γενετικό αλγόριθμο, αλγορίθμους ασαφούς λογικής (fuzzy logic), αλγόριθμο βελτιστοποίησης αποικιών των μυρμηγκιών (ant colony optimization) και άλλους.

- **Αξιοποίηση διεσπαρμένης παραγωγής:** Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, «η διεσπαρμένη παραγωγή αποτελεί την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από εγκαταστάσεις που είναι αρκετά μικρότερες από την κύρια παραγωγή ενέργειας και μπορούν να συνδεθούν σχεδόν σε οποιοδήποτε σημείο ενός ΣΗΕ.»[8] Τα τελευταία χρόνια η διεξόδυση της διεσπαρμένης παραγωγής έχει γίνει εντονότερη και προσφέρει πλεονεκτήματα όπως η προστασία του περιβάλλοντος μέσω της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), καλύτερη διαχείριση της συμφόρησης στα δίκτυα μεταφοράς και διανομής, διατήρηση της τάσης στα επιθυμητά όρια και τελικά ελαχιστοποίηση των απωλειών. Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στις μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και διακρίνονται στις ΑΠΕ (ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, συστήματα εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας, μικρά υδροηλεκτρικά και συστήματα ηλιοθερμίας), μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (μηχανές εσωτερικής καύσης, γεωθερμία, βιομάζα, κυψέλες καυσίμου) και συνδυασμός των παραπάνω κατηγοριών παραγωγής. Το ζήτημα της διεσπαρμένης παραγωγής έχει απασχολήσει τους ερευνητές καθώς η προσπάθεια εστιάζεται στην μέγιστη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων της διεσπαρμένης παραγωγής, χωρίς την παραβίαση των περιορισμών που επιτάσσουν η υποδομή και η λειτουργία των υπαρχόντων ΣΗΕ. Για την ελαχιστοποίηση των απωλειών μέσω της διεσπαρμένης παραγωγής αξιοποιούνται πάλι αλγοριθμικές τεχνικές όπως ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης σμήνους μελισσών (bee colony algorithm), αλγόριθμοι ασαφούς λογική, γενετικοί αλγόριθμοι, ο αλγόριθμος particle swarm optimization και άλλοι.

### 4.3 Οι περιορισμοί για τη βελτίωση της αποδοτικότητας, μελλοντικές επεκτάσεις και έξυπνα δίκτυα διανομής

Οι δυνατότητες βελτιστοποίησης της λειτουργίας εξαρτώνται άμεσα από τη διαμόρφωση του δικτύου. Για παράδειγμα, σε ένα εναέριο ακτινικό αγροτικό δίκτυο μέσης τάσης με μικρό αριθμό διακλαδώσεων, το πρόβλημα επιλογής της βέλτιστης συνδεσμολογίας είναι περιορισμένο, ενώ ο βαθμός εξυπηρέτησης που επιτυγχάνεται εξαρτάται κυρίως από την καλή επιλογή των προστασιών και των μέσων ρύθμισης της τάσης. Αντίθετα, σε ένα αστικό δίκτυο με πολλές δυνατότητες διασυνδέσεων υπάρχει ένα πλήθος πιθανών σχημάτων και η επιλογή της βέλτιστης συνδεσμολογίας αποτελεί σύνθετο πρόβλημα, ενώ είναι περιορισμένες οι δυνατότητες επιλογής των προστασιών και των μέσων ρύθμισης της τάσης. Αν ληφθεί υπόψη η πολυπλοκότητα των δικτύων διανομής και η συνεχώς μεταβαλλόμενη φόρτισή τους, είναι προφανές ότι ο καθορισμός της βέλτιστης λειτουργίας αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα. Η ανάπτυξη των δικτύων διανομής, δηλαδή η κατασκευή νέων έργων και η αντικατάσταση των υφιστάμενων, πραγματοποιείται σταδιακά, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ικανοποιητική εξυπηρέτηση των καταναλωτών, των οποίων το πλήθος και το φορτίο συνεχώς μεταβάλλονται. Ο ορθός σχεδιασμός της ανάπτυξης ενός δικτύου διανομής επηρεάζει άμεσα τόσο τον βαθμό εξυπηρέτησης των καταναλωτών όσο και τις δαπάνες υλοποίησης των έργων ανάπτυξης του για την εξυπηρέτηση των καταναλωτών. Βέβαια, η βελτιστοποίηση της λειτουργίας ενός δικτύου διανομής, καθώς και η κατασκευή επεκτάσεων οφείλουν να ακολουθούν βασικούς περιορισμούς όπως οι εξής:

- i. Όλοι οι καταναλωτές θα πρέπει να συνεχίσουν να τροφοδοτούνται κανονικά.
- ii. Η ακτινική διάταξη του δικτύου θα πρέπει να διατηρείται.
- iii. Οι τάσεις των κόμβων θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια.
- iv. Οι νέοι κλάδοι που τυχόν προστίθενται στο δίκτυο δεν θα πρέπει να ξεφεύγουν από υπάρχοντες περιορισμούς.

Επιπλέον, η λήψη των αποφάσεων κατά τον σχεδιασμό της ανάπτυξης των δικτύων διανομής πρέπει να βασίζεται στο συνολικό κόστος, που προκύπτει από την εξέταση του θέματος κατά μία περίοδο αρκετών ετών (π.χ. δέκα έτη) κατά την οποία θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όχι μόνο οι δαπάνες κατασκευής νέων έργων αλλά και οι δαπάνες εκμετάλλευσης (λειτουργία και συντήρηση), το κόστος των απωλειών, καθώς και ο διαφορετικός βαθμός ποιότητας εξυπηρέτησης που επιτυγχάνεται ανάλογα με το έργο που υλοποιείται κάθε φορά.

Κατά την διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, τα κίνητρα που παρέχουν κυβερνήσεις ανεπτυγμένων χωρών για την ενίσχυση της οικονομίας τους οδηγούν σε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για τα δίκτυα διανομής. Την πρόοδο και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των δικτύων διανομής ενισχύουν και οι νέες τεχνολογίες στους τομείς των τηλεπικοινωνιών, της πληροφορικής, των ηλεκτρονικών ισχύος και του αυτομάτου ελέγχου. Έτσι, ενθαρρύνεται η έρευνα και η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και υπηρεσιών σχετικών



με τα δίκτυα διανομής. Οι καινοτομίες αυτές μετασχηματίζουν πλέον τα δίκτυα διανομής σε έξυπνα δίκτυα διανομής. Τα χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων διανομής συνοψίζονται παρακάτω:

- Αυξημένη συμμετοχή των καταναλωτών και δυνατότητα σύνδεσης όλων των μονάδων διανεμημένης παραγωγής και διανεμημένης αποθήκευσης.
- Δυνατότητα εισαγωγής νέων προϊόντων, υπηρεσιών και αγορών
- Αυξημένη αξιοπιστία και ποιότητα ισχύος
- Βέλτιστη χρήση του εξοπλισμού του δικτύου διανομής
- Δυνατότητα αυτοθεραπείας (self-healing) για την αντιμετώπιση των διαταραχών του συστήματος διανομής
- Ανθεκτικότητα ενάντια σε φυσικές καταστροφές, επιθέσεις και κυβερνοεπιθέσεις

Η εξέλιξη αυτή των δικτύων διανομής οδηγεί σε μεταβολές στην λειτουργία και στην ανάπτυξή τους. Για παράδειγμα, σχετικά με τη λειτουργία τους, οι δυνατότητες ελέγχου και εποπτείας σε πραγματικό χρόνο και τα εξελιγμένα σχήματα προστασίας και αυτοματοποίησης, ίσως οδηγήσουν στη δυνατότητα λειτουργίας των γραμμών διανομής σε διαμόρφωση κλειστού βρόχου. Όσον αφορά την ανάπτυξη, απαιτείται περαιτέρω διερεύνηση πάνω στις μεθοδολογίες, τα κριτήρια και τα εργαλεία που μπορούν να οδηγήσουν στην μετάβαση από τα υφιστάμενα δίκτυα διανομής στα έξυπνα δίκτυα διανομής.

#### **4.4 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΔΔ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΑΝΑΔΙΑΤΑΞΗΣ ΤΗΣ ΤΟΠΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ**

Υπάρχουν δύο βασικοί λόγοι οι οποίοι μπορούν να οδηγήσουν στην ανάγκη επαναδιαμόρφωσης ενός δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Ο πρώτος σχετίζεται με τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου, με στόχο την ελαχιστοποίηση των απωλειών του δικτύου και τον ισομερισμό των εξυπηρετούμενων φορτίων μεταξύ των κύριων γραμμών διανομής. Ο δεύτερος λόγος που μπορεί να οδηγήσει σε επαναδιαμόρφωση ενός δικτύου διανομής είναι η αποκατάσταση της λειτουργίας του σε περίπτωση μόνιμου σφάλματος κάποιου στοιχείου του. Ο στόχος στην περίπτωση αυτή είναι αφενός η εξυπηρέτηση όσο το δυνατόν περισσότερων φορτίων, ειδικά αυτών που χαρακτηρίζονται ως κρίσιμα, και αφετέρου η γρήγορη και αποτελεσματική επαναφορά του δικτύου σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας με κατάλληλο χειρισμό των διαθέσιμων διακοπτικών μέσων. Η διακύμανση των τάσεων των ζυγών εντός επιτρεπτών ορίων καθώς και η διατήρηση της ακτινικής μορφής του δικτύου αποτελούν τα απαραίτητα ζητούμενα στις περισσότερες περιπτώσεις επαναδιαμόρφωσης του δικτύου [3].

Η αναδιαμόρφωση της τοπολογίας των δικτύων διανομής, αποτελεί μια μέθοδο ελέγχου μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η βέλτιστη λειτουργία του δικτύου και αποτελεί ακόμη ένα σημαντικό κομμάτι της μελέτης του αυτομάτου ελέγχου. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, ο διαχειριστής του δικτύου προσαρμόζει την δομή του ανάλογα με τις ανάγκες που προκύπτουν κάθε στιγμή μέσω διακοπών. Ο στόχος της διαδικασίας αυτής είναι να βρεθεί το ακτινικό δίκτυο που εξασφαλίζει την τροφοδότηση όλων των φορτίων με τις ελάχιστες δυνατές απώλειες, με παράλληλη ικανοποίηση όλων των περιορισμών της λειτουργίας του δικτύου. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται μέσω διακοπών που είναι εγκατεστημένοι στους κλάδους του δικτύου. Συγκεκριμένα, κάθε φορά επιλέγεται η κατάσταση των διακοπών αυτών, δηλαδή εάν θα είναι ανοιχτοί ή κλειστοί. Ακόμη, όταν παρουσιάζεται ένα σφάλμα στο δίκτυο, τότε ο διαχειριστής οφείλει να το απομονώσει, φροντίζοντας να χάσουν την ηλεκτροδότηση, όσο το δυνατόν λιγότεροι καταναλωτές. Συμπερασματικά, η αναδιαρρύθμιση ενός δικτύου διανομής μπορεί να συνεισφέρει στη βελτίωση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας στο δίκτυο καθώς της εξοικονόμησης οικονομικών πόρων. Κατά συνέπεια, η μελέτη του προβλήματος αυτού παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον.

#### **4.5 Γενικές παρατηρήσεις για την αναδιάταξη του ΔΔ**

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές αναφορές σχετικά με την αναδιαρρύθμιση των δικτύων διανομής. Το πρόβλημα αυτό αποτελεί ουσιαστικά ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης και εντάσσεται στα προβλήματα βελτιστοποίησης ακέραιου, γραμμικού ή μη γραμμικού προγραμματισμού. Ο χαρακτηρισμός ως γραμμικός ή μη γραμμικός προγραμματισμός σχετίζεται με τη μέθοδο επίλυσης του δικτύου διανομής.

Οι αλγόριθμοι επίλυσης ενός τέτοιου προβλήματος μπορούν να χωριστούν στις εξής κατηγορίες:

- Τυπικοί μαθηματικοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης, όπως ο λεγόμενος «άπληστος» αλγόριθμος αναζήτησης (greedy search algorithm), που όμως δύσκολα εφαρμόζεται σε δίκτυα μεγάλης έκτασης
- Ευριστικοί αλγόριθμοι (heuristic algorithms), που περιλαμβάνουν την μέθοδο εναλλαγής κλάδου (branch exchange method) και την μέθοδο ιδανικής ροής φορτίου (optimal flow pattern method).
- Αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence), που περιλαμβάνουν αλγορίθμους όπως τον γενετικό αλγόριθμο, τον αλγόριθμο tabu search, τον αλγόριθμο particle swarm optimization και τον αλγόριθμο simulated annealing. Οι παραπάνω μέθοδοι οδηγούν σε βελτιστοποίηση με πολύ καλά αποτελέσματα, αλλά είναι δυνατόν να επηρεαστούν από το μέγεθος του δικτύου, τις αρχικές συνθήκες και άλλους παράγοντες οδηγώντας τελικά σε μεγάλο χρόνο υπολογισμού.

Μπορούν όμως να σημειωθούν ορισμένες παρατηρήσεις όσον αφορά τις μεθόδους αναδιαμόρφωσης των ΔΔ, που υπάρχουν στην βιβλιογραφία.

Αρχικά, το μεγαλύτερο κομμάτι της έρευνας πάνω στην αναδιαμόρφωση των ΔΔ δε λαμβάνει υπόψη την «αβεβαιότητα» ενός δικτύου. Η αβεβαιότητα παραμέτρων όπως η παραγωγή από μονάδες ΔΠ, η ζήτηση των φορτίων και τα κόστη ισχύος και ενέργειας που μεταβάλλονται, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη, αφού με τον τρόπο αυτόν δημιουργείται ένα πιο ρεαλιστικό μοντέλο για τα ΔΔ, το οποίο τελικά οδηγεί σε πιο πρακτικές και υλοποιήσιμες λύσεις.

Στις μέρες μας, η κατασκευή νέων Υ/Σ διανομής είναι εξαιρετικά δύσκολη και σε ορισμένες περιπτώσεις αδύνατη, λόγω οικονομικών, περιβαλλοντικών και άλλων περιορισμών. Έτσι, προκειμένου να καλυφθεί η επιπλέον ζήτηση ισχύος πρέπει να χρησιμοποιηθούν μονάδες ΔΠ και πυκνωτές. Στην υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με την αναδιάταξη της τοπολογίας ΔΔ ωστόσο, δεν λαμβάνεται υπόψη η τοποθέτηση πυκνωτών και μονάδων ΔΠ.

Ακόμη, τα ΔΔ στην πραγματικότητα έχουν συνήθως αρκετά μεγάλη έκταση, και οι περισσότερες υπάρχουσες στρατηγικές βελτιστοποίησης έχουν δοκιμασθεί σε ΔΔ μικρού μεγέθους στα πλαίσια της έρευνας. Η επαλήθευση των μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί σε ερευνητικό πλαίσιο είναι απαραίτητη. Επίσης, ορισμένες βιβλιογραφικές αναφορές δεν λαμβάνουν υπόψη περιορισμούς στα επίπεδα της τάσης ή στην τελική διάταξη του δικτύου μετά τον ανασχηματισμό του. Τέτοιοι περιορισμοί όμως ενδέχεται να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα και επομένως πρέπει να μελετηθούν επαρκώς. Επιπλέον, είναι σημαντικό μαζί με το τεχνικό αποτέλεσμα να δίνεται σημασία στο οικονομικό και περιβαλλοντικό. Πολλές μελέτες για την αναδιάταξη ενός ΔΔ δίνουν βάρος σε μια μόνο πλευρά του σύνθετου αυτού προβλήματος.

Παρά το γεγονός ότι έχουν αναπτυχθεί αρκετοί αλγόριθμοι βελτιστοποίησης για τα ΔΔ, είναι αναγκαίο να αναπτυχθούν και άλλοι πιο αποδοτικοί αλγόριθμοι, οι οποίοι μπορούν να οδηγήσουν στην εξεύρεση καθολικών λύσεων, δηλαδή τεχνικές που δεν επιλύουν μόνο συγκριμένα προβλήματα. Τέτοιοι αλγόριθμοι ονομάζονται μετά-ευριστικοί. (metaheuristic optimization techniques). Οι παράμετροι ελέγχου των μετά-ευριστικών τεχνικών βελτιστοποίησης επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την υπολογιστική τους απόδοση και ικανότητα. Στην διεθνή βιβλιογραφία ωστόσο, δεν υπάρχει σχεδόν καμία έρευνα σχετικά με την ρύθμιση των παραμέτρων αυτών.

Τέλος, παρά την σημαντική πρόοδο στον τομέα του σχεδιασμού επεκτάσεων των ΔΔ, σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες χρησιμοποιούνται ακόμη εμπειρικές μέθοδοι και τεχνικές για την επέκταση ενός ΔΔ. Έτσι, απαιτείται κατάλληλη κατάρτιση των διαχειριστών των δικτύων στις χώρες αυτές, ώστε να αξιοποιήσουν τα πλεονεκτήματα των σύγχρονων τεχνικών επέκτασης ενός δικτύου.

#### 4.6 Η αναδιάταξη μιας γραμμής MT με χρήση διακοπών

Στην Ευρώπη, τα δίκτυα διανομής MT συνήθως διαμορφώνονται σε τοπολογίες ανοικτών βρόχων. Αυτό σημαίνει ότι μια γραμμή MT, στην οποία συνδέονται υποσταθμοί διανομής και πελάτες MT, έχει τη δυνατότητα να τροφοδοτηθεί από δύο διαφορετικούς δρόμους. Συγκεκριμένα τροφοδοτείται από τους διακόπτες αναχώρησης (feeders) που ανήκουν στον ίδιο ή σε διαφορετικούς Υ/Σ YT-MT. Ο βρόχος αυτός παραμένει λειτουργικά ανοικτός σε έναν από τους δύο διακόπτες ισχύος των Υ/Σ YT-MT. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργείται η δυνατότητα για άμεση μεταφορά φορτίων σε περίπτωση σφάλματος, λόγω των δυνατών τηλεχειρισμών που μπορούν να λάβουν χώρα σε έναν Υ/Σ YT-MT.

Ένα εναλλακτικό σενάριο τροφοδοσίας μιας υπόγειας γραμμής MT, αποτελεί η δημιουργία τομής στη γραμμή αυτή μέσω ενός διακόπτη φορτίου κάποιου Υ/Σ διανομής. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να μειωθούν σημαντικά οι απώλειες του δικτύου. Επειδή όμως έτσι μεταβάλλεται η τοπολογία του δικτύου, θεωρούμε ότι πραγματοποιούμε μια αναδιαρρύθμιση της γραμμής, χωρίζοντας την σε δύο τμήματα, καθένα από τα οποία τροφοδοτείται από διαφορετικό διακόπτη αναχώρησης.

Στην παρούσα εργασία, η αναδιάρθρωση του δικτύου συνίσταται στην εύρεση του διακόπτη φορτίου ενός Υ/Σ διανομής, ο οποίος πρέπει να ανοίξει, προκειμένου η γραμμή να χωριστεί σε δύο τμήματα, οδηγώντας τελικά στην μείωση των απωλειών ενέργειας, υπό την δεδομένη τοπολογία και τα δεδομένα φορτία στους υποσταθμούς.

Η βέλτιστη θέση ενός ανοικτού διακόπτη σε ένα δίκτυο διανομής, άρα και οι ροές ενέργειας και ισχύος, εξαρτώνται από την πραγματική ζήτηση ισχύος. Η απαίτηση ισχύος και ενέργειας μεταβάλλεται δυναμικά καθ' όλη τη διάρκεια μιας δεδομένης ημέρας και επηρεάζεται επίσης και από τις εποχές του χρόνου. Αυτές οι μεταβολές φορτίων ίσως έχουν επίδραση στις βέλτιστες θέσεις των ανοικτών διακοπών ενός βρόχου σε ένα δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι επομένως απαραίτητη η χρήση μιας εφαρμογής με δυνατότητες πολλαπλής διαμόρφωσης του δικτύου διανομής με σκοπό τη δοκιμή πολλών διαφορετικών διαμορφώσεων ώστε να προτείνεται μια επιλογή ικανή να προσδιορίσει τις βέλτιστες θέσεις των «κανονικών ανοικτών» αποζευκτών-φορτίου και αυτομάτων διακοπών ισχύος. Η κατάλληλη διαμόρφωση του δικτύου διανομής θα αποφασίζεται από τον διαχειριστή του δικτύου διανομής, με βάση τα κριτήρια που αναφέρθηκαν.

Σημειώνεται ότι προκειμένου να είναι δυνατή η αναδιαμόρφωση του δικτύου, τίθεται η προϋπόθεση της εγκατάστασης τηλεχειριζόμενων διακοπών. Ακόμη, εάν στο δίκτυο διανομής υπάρχουν σημαντικοί πελάτες MT, όπως για παράδειγμα νοσοκομεία ή βιομηχανίες, τότε αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη στον τρόπο αναδιάταξης του δικτύου. Τέλος, η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται πιο συχνά σε δίκτυα διανομής XT και παρότι παρουσιάζει σημαντικά αποτελέσματα στην ελαχιστοποίηση των απωλειών, απαιτεί σύνθετους αριθμητικούς υπολογισμούς βελτιστοποίησης, ανάλογα με την έκταση και την τοπολογία του δικτύου, και πρέπει να λαμβάνει υπ' όψιν τα όρια φόρτισης των γραμμών και των μετασχηματιστών στους υποσταθμούς.

## 5.1 Διακόπτες Εισαγωγικά

Με τη χρήση των διακοπών είναι δυνατή η απομόνωση διαφόρων τμημάτων του δικτύου για λόγους ασφαλείας, συντήρησης ή επισκευής διατηρώντας παράλληλα την παροχή ενέργειας στο υπόλοιπο δίκτυο. Με την τοποθέτησή τους σε κατάλληλα σημεία μπορούν να ελαχιστοποιήσουν το εκάστοτε μέρος που αποσυνδέεται αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία του δικτύου. Απαιτείται βέβαια κατάλληλος σχεδιασμός των γραμμών ώστε να μπορούν σε τέτοιες περιπτώσεις να παρέχουν εναλλακτικές οδούς παροχής ενέργειας σε σημεία του δικτύου. Για το λόγο αυτό σε κάποια δίκτυα σχεδιάζονται γραμμές οι οποίες υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν λαμβάνουν μέρος στην τροφοδότηση, αλλά ως σκοπό έχουν τη δημιουργία συνδέσεων μεταξύ κατάλληλων σημείων των κυρίων γραμμών διανομής του δικτύου. Αυτές ονομάζονται γραμμές διασύνδεσης (tie lines). Ως αποτέλεσμα, σε περίπτωση αποσύνδεσης μιας ή περισσότερων γραμμών τροφοδότησης, μπορεί να αποκατασταθεί η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των γραμμών διασύνδεσης σε σημεία που ειδάλλως θα έμεναν εκτός δικτύου. Υπάρχουν επομένως διακόπτες κανονικά κλειστοί, οι οποίοι συνδέουν τις γραμμές μεταξύ τους κατά την φυσιολογική λειτουργία του δικτύου και άλλοι που είναι κανονικά ανοικτοί και κλείνουν μόνον όταν κριθεί απαραίτητο. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται επαναδιαμόρφωση του δικτύου ανακατευθύνοντας τη ροή ισχύος σε διαφορετικά τμήματά του. Οι κανονικά κλειστοί ονομάζονται διακόπτες απομόνωσης ενώ οι κανονικά ανοικτοί λέγονται αποζεύκτες ανοικτοί υπό φορτίο. Οι διακόπτες και των δύο κατηγοριών μπορούν να είναι χειροκίνητοι ή τηλεχειριζόμενοι.

## 5.2 Τηλεχειριζόμενοι Διακόπτες

Ο τηλεχειρισμός είναι εφικτός με διάφορες μεθόδους. Για σχετικά μικρές αποστάσεις είναι δυνατή η χρήση της τεχνολογίας "φέροντος ρεύματος" μια μέθοδος ΑΜ μετάδοσης που χρησιμοποιεί τα καλώδια του ίδιου του δικτύου για μετάδοση σημάτων χαμηλής ενέργειας. Για μεγαλύτερες αποστάσεις χρησιμοποιείται ασύρματη επικοινωνία με ραδιοκύματα, ή ακόμα χρήση τηλεφωνικών γραμμών για μετάδοση των σημάτων ελέγχου. Η χρήση των διακοπών για επαναδιαμόρφωση του δικτύου δεν συμβαίνει μόνο λόγω αποσύνδεσης κάποιου τμήματος τροφοδότησης. Σε σύγχρονα δίκτυα δίνεται η δυνατότητα χρήσης τηλεχειριζόμενων διακοπών για μεταβολή της τοπολογίας τους σε πραγματικό χρόνο. Αυτό μπορεί να συμβεί σε περίπτωση που κατά τη λειτουργία του δικτύου παρατηρηθεί παραβίαση διαφόρων περιορισμών, όπως για παράδειγμα των σχετικών με τα επίπεδα τάσης ή ρεύματος των γραμμών. Τότε, με κατάλληλη σύνδεση/αποσύνδεση γραμμών μέσω χειρισμών διακοπών, σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να εντοπιστεί μια τοπολογία του δικτύου η οποία να εξασφαλίζει την παροχή ενέργειας σε όλα τα φορτία και ταυτόχρονα να επαναφέρει όλα τα μεγέθη εντός των απαιτούμενων ορίων λειτουργίας. Αντίστοιχη διαδικασία μπορεί να ακολουθηθεί έχοντας ως σκοπό όχι μόνο την αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας του δικτύου, αλλά και το οικονομικό όφελος του διαχειριστή, με την ελαχιστοποίηση του κόστους λειτουργίας του δικτύου. Σε αυτό το πλαίσιο χαρακτηριστική πρακτική, που έχει αποτελέσει και αποτελεί ακόμα στόχο πολλών προβλημάτων βελτιστοποίησης, είναι η εύρεση των χειρισμών των διακοπών του δικτύου με τους οποίους επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των απωλειών ισχύος στις γραμμές του [13].

Η σύγχρονη τάση για βελτίωση των δεικτών ποιότητας παρεχόμενης ενέργειας προϋποθέτει την αυτοματοποίηση του δικτύου ΜΤ μέσω απομακρυσμένου ελέγχου και εποπτείας του εγκατεστημένου σε αυτό εξοπλισμού.

Στο πλαίσιο αυτό, ο ΔΕΔΔΗΕ τα επόμενα χρόνια πρόκειται να προμηθευτεί και να εγκαταστήσει ένα σημαντικό πλήθος τηλεχειριζόμενων διακοπών φορτίου (Τ/Χ Δ/Φ) και τηλεχειριζόμενων Διακοπών Αυτόματης Επαναφοράς (Τ/Χ Δ/ΑΕ) στο εναέριο δίκτυο ΜΤ. Από την εγκατάσταση των εν λόγω Διακοπών θα προκύψουν:

Οφέλη ως προς τη λειτουργία του δικτύου:

- Βελτίωση του δείκτη ποιότητας παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. SAIDI, SAIFI κ.λπ.), μέσω της αυτόματης λειτουργία των υπόψη Διακοπών καθώς και μέσω τηλεχειρισμών και τηλεοπτείας στο δίκτυο ΜΤ.
- Ασφάλεια τροφοδοσίας των δικτύων λόγω απόρριψης φορτίων (π.χ. αρδευτικών φορτίων) για την αντιμετώπιση κρίσιμων καταστάσεων του Συστήματος, (π.χ. μη δυνατότητα κάλυψης του φορτίου λόγω έλλειψης ισχύος παραγωγής).
- Βελτίωση της προστασίας του δικτύου.
- Βελτίωση διαχείρισης ποιότητας της τάσης κατά μήκος των δικτύων.
- Περιορισμός των απωλειών ενέργειας λόγω καλύτερης διαχείρισης των δικτύων.
- Βελτίωση της εποπτείας των δικτύων με τη διαθεσιμότητα πληροφοριών από τα συστήματα τηλεοπτείας και επομένως ασφαλέστερη και αποτελεσματικότερη λειτουργία του δικτύου.

Οφέλη ως προς την απόδοση:

- Μείωση του λειτουργικού κόστους του ΔΕΔΔΗΕ, λόγω καλύτερης αξιοποίησης του υφιστάμενων ανθρωπίνων πόρων, (π.χ. περιορισμός της απασχόλησης μισθωτών σε επιτόπιους χειρισμούς).
- Μείωση της απολεσθείσας ενέργειας λόγω ταχύτερου εντοπισμού βλαβών στο δίκτυο και μείωσης των τεχνικών απωλειών.
- Μείωση της καταπόνησης των στοιχείων δικτύου ΜΤ κατά την διαδικασία επαναφοράς δικτύου μετά από διακοπή λόγω σφάλματος.
- Μείωση του κινδύνου ζημιών σε σημαντικό και ακριβό εξοπλισμό Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ.
- Περαιτέρω αξιοποίηση των νέων συστημάτων SCADA.
- Απόκτηση νέας τεχνογνωσίας από το προσωπικό της Επιχείρησης με τη χρήση των νέων συστημάτων.

## **5.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Η δυνατότητα τηλεχειρισμού τους στις σύγχρονες εγκαταστάσεις έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη τεχνικών που ρυθμίζουν ολόκληρα τμήματα δικτύου με ταυτόχρονο χειρισμό όλων των στοιχείων ελέγχου που βρίσκονται σε αυτά μέσω ευφυών συστημάτων. Ανάλογα με την κλίμακα στην οποία επιδιώκουν τον έλεγχο του δικτύου, τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε κεντρικού και αποκεντρωμένου ελέγχου.

### **5.3.1 Κεντρικός Έλεγχος**

Τα συστήματα κεντρικού ελέγχου έχουν τη δυνατότητα χειρισμού του συνόλου των στοιχείων ενός δικτύου από ένα κεντρικό σημείο. Συγκεντρώνοντας επαρκή δεδομέναμετρήσεων από διάφορους ζυγούς σε επιλεγμένα σημεία του δικτύου (δεδομένου ότι αυτό είναι επαρκώς παρατηρήσιμο), το κεντρικό σύστημα υπολογίζει τις τιμές λειτουργίας των μεγεθών σε κάθε σημείο αυτού και έτσι μπορεί να επιβλέπει τη λειτουργία τους. Με την εμφάνιση κάποιας διαταραχής, το σύστημα καταστρώνει και επιλύει ένα ολικό πρόβλημα βελτιστοποίησης, από το οποίο προκύπτουν τα νέα σημεία λειτουργίας των στοιχείων ελέγχου. Μπορεί να κριθούν απαραίτητες κινήσεις διακοπών, αλλαγή επιπέδων τάσης των Μ/Σ με ΣΑΤΥΦ, ζεύξη/απόζευξη χωρητικών αντισταθμίσεων, ή και περιορισμός παραγωγής γεννητριών διεσπαρμένης παραγωγής που μπορεί να είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο. Ο κεντρικός έλεγχος παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι επιτυγχάνει το βέλτιστο σημείο ελέγχου για ολόκληρο του δίκτυο, με τις λύσεις που εξάγει να εξασφαλίζουν την καλύτερη δυνατή οικονομική διαχείριση του συνόλου των στοιχείων του δικτύου. Ο μεγάλος όγκος, ωστόσο, των δεδομένων που απαιτούν επεξεργασία έχει ως αποτέλεσμα να απαιτείται πολύς χρόνος για την εξαγωγή λύσης, ιδιαίτερα σε δίκτυα με μεγάλο αριθμό ζυγών. Ένα χαρακτηριστικό πεδίο εφαρμογής του κεντρικού ελέγχου σε δίκτυα διανομής αποτελεί η επίλυση του προβλήματος βέλτιστης ροής ισχύος [12].

### **5.3.2 Αποκεντρωμένος Έλεγχος ΜεΔ**

Τα συστήματα αποκεντρωμένου ελέγχου λειτουργούν αντίστοιχα με αυτά του κεντρικού όσον αφορά τη μέθοδο συγκέντρωσης δεδομένων και την διατύπωση του προβλήματος βελτιστοποίησης. Η διαφορά βρίσκεται στο ότι υπάρχουν πολλά διανεμημένα σημεία ελέγχου σε όλο το δίκτυο, καθένα από τα οποία είναι υπεύθυνο για την τοπική επίβλεψη και ρύθμιση ενός συγκεκριμένου τμήματος. Το συνολικό πρόβλημα βελτιστοποίησης λοιπόν διατυπώνεται ως μικρότερα τοπικά υποπροβλήματα που καλούνται να επιλυθούν από κάθε σύστημα με χρήση των τοπικών σε αυτό στοιχείων. Αν και στις περισσότερες περιπτώσεις εξασφαλίζεται σημαντική εξοικονόμηση χρόνου με αυτή την τεχνική, η λύση στην οποία καταλήγει το σύστημα είναι η βέλτιστη εν γένει μόνο τοπικά και όχι για όλο το δίκτυο. Επίσης θα παρατηρηθεί δυσκολία εύρεσης λύσεων σε ακραίες περιπτώσεις που κάποια διαταραχή του δικτύου για την εξάλειψή της απαιτεί τη συμμετοχή πολλών και απομακρυσμένων σημείων ελέγχου.

## 5.4 ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ

Στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, η αξιοπιστία είναι ένα μέγεθος που μπορεί να υπολογιστεί, να μετρηθεί, να αξιολογηθεί και να σχεδιαστεί, στα πλαίσια της λειτουργίας και της ανάπτυξης του δικτύου. Ως αξιοπιστία ορίζεται η ικανότητα ενός συστήματος να φέρει εις πέρας με επιτυχία τη λειτουργία για την οποία είναι σχεδιασμένο, κατά την προσδοκώμενη διάρκεια ζωής του και υπό τις συνθήκες λειτουργίας που θα συναντήσει. Ιδανικά, από την πλευρά του καταναλωτή, η αξιοπιστία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας μεταφράζεται σε αδιάκοπη παροχή ενέργειας από την παραγωγή στην κατανάλωση.

Πρακτικά, για τους καταναλωτές τα κύρια στοιχεία αξιοπιστίας ενός συστήματος ενέργειας για τους καταναλωτές είναι η συχνότητα και η διάρκεια των διακοπών στο επίπεδο της κατανάλωσης, δηλαδή στα φορτία. Όσο λοιπόν το φορτίο μεγαλώνει, το σύστημα διανομής επεκτείνεται για να ικανοποιήσει τη ζήτηση και η ανάγκη για αύξηση της αξιοπιστίας του συστήματος είναι όλο και πιο επιτακτική.

### 5.4.1 Παράμετροι αξιοπιστίας

Το δίκτυο διανομής με ακτινική λειτουργία είναι ένα σύστημα που αποτελείται από ένα σύνολο εξαρτημάτων σε σειρά όπως: γραμμές, καλώδια, αποζεύκτες, ζυγοί κ.α. Για έναν καταναλωτή συνδεδεμένο σε οποιοδήποτε σημείο του συστήματος, θα πρέπει όλα τα εξαρτήματα μεταξύ του σημείου σύνδεσης και του σημείου παροχής να είναι σε λειτουργία. Υπάρχουν τρεις βασικές παράμετροι αξιοπιστίας [9]:

ο ρυθμός βλαβών  $\lambda_s = \sum_i \lambda_i$ , όπου  $\lambda_i$  είναι το  $i$ -οστό περιστατικό βλάβης,

ο αναμενόμενος ετήσιος χρόνος εκτός λειτουργίας  $U_s = \sum \lambda_i \cdot r_i$ , όπου  $r_i$  είναι διάρκεια διακοπής της  $i$ -οστής βλάβης.

ο μέσος χρόνος εκτός λειτουργίας  $r_s = \frac{U_s}{\lambda_s} = \frac{\sum \lambda_i \cdot r_i}{\sum_i \lambda_i}$ .

Αυτές οι παράμετροι χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των δεικτών φορτίου. Ωστόσο, οι κύριοι αυτοί δείκτες δεν αποτυπώνουν πάντα ενδελεχώς την απόδοση και την απόκριση του συστήματος. Για παράδειγμα, οι ίδιοι δείκτες αποτιμούνται ανεξάρτητα από το αν οι συνδεδεμένοι πελάτες (φορτία) στο σύστημα είναι είτε ένας είτε 100 ή αν το μέσο φορτίο είναι 10 kW ή 100 kW. Για να αποτυπωθεί η δριμύτητα μιας διακοπής παροχής του συστήματος, υπολογίζονται επιπρόσθετοι δείκτες αξιοπιστίας, οι οποίοι σταθμίζουν το ίδιο κάθε καταναλωτή. Έτσι, για τους δείκτες αυτούς, ένας μικρός αστικός καταναλωτής είναι εξίσου σημαντικός με έναν μεγάλο βιομηχανικό καταναλωτή [10].



#### 5.4.2 Δείκτης μέσης συχνότητας διακοπών του συστήματος

Ο δείκτης μέσης συχνότητας διακοπών του συστήματος (ΔΜΣΔΣ, System Average Interruption Frequency Index - SAIFI) ορίζεται ως εξής:

$$\Delta\text{ΜΣΔΣ} = \frac{\sum_i \lambda_i N_i}{\sum_i N_i} = \frac{\text{σύνολο βλαβών πελατών}}{\text{σύνολο εξυπηρετούμενων πελατών}} \left( \frac{\text{βλάβες}}{\text{πελάτη}} \text{ έτος} \right)$$

όπου  $N_i$  είναι ο αριθμός των πελατών (καταναλωτών) στο φορτίο του δικτύου.

Ο ΔΜΣΔΣ είναι ένα μέγεθος που δείχνει πόσες διακοπές υφίσταται ένας μέσος πελάτης σε έναν χρόνο. Για έναν προκαθορισμένο αριθμό πελατών, ο μόνος τρόπος να βελτιωθεί ο δείκτης αυτός, είναι να μειωθεί ο αριθμός των βλαβών στις οποίες υπόκεινται οι πελάτες.

#### 5.4.3 Δείκτης μέσης διάρκειας διακοπών του συστήματος

Ο δείκτης μέσης διάρκειας διακοπών του συστήματος (ΔΜΔΔΣ, System Average Interruption Duration Indicator - SAIDI) ορίζεται από τη σχέση:

$$\Delta\text{ΜΔΔΣ} = \frac{\sum_i U_i \cdot N_i}{\sum_i N_i} = \frac{\text{συνολική διάρκεια πελατών εκτός λειτουργίας}}{\text{σύνολο εξυπηρετούμενων πελατών}} \left( \frac{\text{ώρες}}{\text{πελάτη}} \cdot \text{έτος} \right)$$

όπου  $U_i$  είναι η ετήσια διάρκεια διακοπών.

Ο ΔΜΔΔΣ μετράει πόσες ώρες εκτός λειτουργίας θα βιώσει ένας μέσος πελάτης μέσα σε ένα έτος. Για έναν σταθερό αριθμό πελατών, ο ΔΜΔΔΣ μπορεί να βελτιωθεί είτε μειώνοντας τον αριθμό των διακοπών, είτε μειώνοντας τη διάρκεια των διακοπών αυτών.

#### 5.4.4 Δείκτης μέσης διάρκειας διακοπών του πελάτη

Ο δείκτης μέσης διάρκειας διακοπών του πελάτη ( ΔΜΔΔΠ, Customer Average Interruption Duration Indicator - CAIDI) ορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση.

$$\Delta\text{ΜΔΔΠ} = \frac{\sum_i U_i \cdot N_i}{\sum_i \lambda_i \cdot N_i} = \frac{\text{συνολική διάρκεια πελατών εκτός λειτουργίας}}{\text{σύνολο βλαβών πελατών}} \left( \frac{\text{ώρες}}{\text{βλάβες}} \right)$$

Ο ΔΜΔΔΠ μετράει πόσο διαρκεί μια μέση βλάβη, δηλαδή μια μέση διακοπή παροχής. Ο δείκτης αυτός μπορεί να βελτιωθεί μειώνοντας τη διάρκεια των διακοπών αλλά και να μικρύνει από την αύξηση των βλαβών. Συνεπώς, η μείωση του ΔΜΔΔΠ δεν σημαίνει απαραίτητα βελτίωση της αξιοπιστίας.

# ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ POWER FACTORY

## 6.0.1 Power Factory

Το πρόγραμμα υπολογισμού PowerFactory, όπως γράφτηκε από το DIgSILENT, είναι ένα εργαλείο κατασκευασμένο για χρήση μέσω υπολογιστή, για την ανάλυση των συστημάτων μεταφοράς, διανομής και βιομηχανικής ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι σχεδιασμένο ως προηγμένο ολοκληρωμένο και διαδραστικό πακέτο λογισμικού αφιερωμένο στην ανάλυση και τον έλεγχο συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, προκειμένου να επιτευχθούν οι κύριοι στόχοι του σχεδιασμού και της βελτιστοποίησης της λειτουργίας τους.

Το "DIgSILENT" είναι ένα ακρωνύμιο για την "DIgital SImuLation of Electrical NeTworks". Το DIgSILENT έκδοση 7 ήταν το πρώτο λογισμικό ανάλυσης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο με ενσωματωμένο γραφικό διασύνδεσης μιας γραμμής. Αυτό το διαδραστικό μονογραμμικό διάγραμμα περιελάμβανε λειτουργίες σχεδίασης, δυνατότητες επεξεργασίας και όλες τις σχετικές στατικές και δυναμικά χαρακτηριστικά υπολογισμού.

Το PowerFactory σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από ειδικευμένους μηχανικούς και προγραμματιστές με πολλά χρόνια εμπειρία τόσο στην ανάλυση του ηλεκτρικών συστημάτων όσο και στο πεδίο του προγραμματισμού. Η ακρίβεια και η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που ελήφθησαν με το PowerFactory έχει επιβεβαιωθεί σε μεγάλο αριθμό υλοποιήσεων, από οργανισμούς που ασχολούνται με τον σχεδιασμό και τη λειτουργία των συστημάτων ηλεκτροδότησης σε όλο τον κόσμο.

Για την αντιμετώπιση των αναγκών των χρηστών του προγράμματος ανάλυσης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, το PowerFactory σχεδιάστηκε ως ολοκληρωμένο εργαλείο μηχανικής για να παρέχει μια ολοκληρωμένη πληθώρα λειτουργιών ανάλυσης ισχύος σε ένα ενιαίο εκτελέσιμο πρόγραμμα. Βασικά χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν:

Βασικές λειτουργίες PowerFactory:

1. Ορισμός, τροποποίηση και οργάνωση περιπτώσεων. αριθμητικές ρουτίνες πυρήνα, λειτουργίες εξόδου και τεκμηρίωσης.
2. Ολοκληρωμένη διαδραστική γραφική απεικόνιση δεδομένων.
3. Στοιχείο συστήματος τροφοδοσίας και βάση δεδομένων περίπτωσης βάσης.
4. Ολοκληρωμένες λειτουργίες υπολογισμού (π.χ. υπολογισμός παραμέτρων γραμμής και μηχανής βάσει γεωμετρικών ή σχετικά με την πινακίδα κυκλοφορίας πληροφοριών).
5. Ρύθμιση δικτύου συστήματος τροφοδοσίας με διαδραστική ή on-line πρόσβαση SCADA.
6. Γενική διεπαφή για συστήματα χαρτογράφησης με βάση υπολογιστή.

Χρησιμοποιεί μία ενιαία βάση δεδομένων, με τα απαιτούμενα δεδομένα για όλο τον εξοπλισμό ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. δεδομένα γραμμών, δεδομένα γεννήτριας, δεδομένα προστασίας, δεδομένα αρμονικών, δεδομένα ελεγκτή), πράγμα που σημαίνει ότι το PowerFactory μπορεί εκτελέσει εύκολα όλες τις λειτουργίες προσομοίωσης συστημάτων ΗΕ μέσα σε ένα ενιαίο προγραμματιστικό περιβάλλον - λειτουργίες όπως ροή φορτίου, υπολογισμός βραχυκυκλώματος, ανάλυση αρμονικών, συντονισμός προστασίας, υπολογισμός σταθερότητας και τυπική ανάλυση.

## 6.0.2 Συναρτήσεις προσομοίωσης του Power Factory

Το PowerFactory ενσωματώνει μια πλήρη λίστα λειτουργιών προσομοίωσης, συμπεριλαμβανομένων των ακόλουθων:

- Ανάλυση ροής φόρτωσης, επιτρέποντας δίκτυα δικτύων AC ή / και DC με μίγματα και μικτά δίκτυα 1-, 2- και 3-φάσεων
- Ανάλυση δικτύου χαμηλής τάσης
- Ανάλυση βραχέων κυκλωμάτων, για δικτυωμένα και μικτά δίκτυα εναλλασσόμενου ρεύματος 1-, 2- και 3-φάσεων.
- Αρμονική Ανάλυση
- Προσομοίωση RMS (προσομοίωση χρονικού πεδίου για την ανάλυση σταθερότητας)
- Προσομοίωση EMT (προσομοίωση χρονικού πεδίου των ηλεκτρομαγνητικών μεταβατικών φαινομένων)
- Ανάλυση ιδιοτιμών
- Αναγνώριση παραμέτρων μοντέλου
- Ανάλυση έκτακτης ανάγκης
- Ανάλυση Αξιοπιστίας
- Ανάλυση επάρκειας παραγωγής
- Βέλτιστη ροή ισχύος
- Βελτιστοποίηση Δικτύου Διανομής
- Ανάλυση προστασίας
- Μείωση δικτύου
- Εκτίμηση καταστάσεων

## 6.1 Ανάλυση Ροής Φορτίου

### Εισαγωγή

Κάθε φορά που αξιολογείται η λειτουργία και ο έλεγχος των συστημάτων ισχύος, τα ερωτήματα που συνήθως αντιμετωπίζουμε είναι τα εξής

- Είναι αποδεκτές οι τάσεις κάθε ζυγού στο ΣΗΕ;
- Ποια είναι η φόρτωση του κάθε διαφορετικού τμήματος του εξοπλισμού στο σύστημα; (μετασηματιστές, γραμμές μεταφοράς, γεννήτριες κ.λπ.)
- Πώς μπορώ να επιτύχω την καλύτερη λειτουργία του ΣΗΕ;
- Το σύστημα τροφοδοσίας έχει κάποια αδυναμία (ή αδυναμίες); Εάν ναι, πού βρίσκονται και πώς μπορώ να τα αντισταθμίσω;

Παρόλο που μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η παραπάνω ερωτήσεις θα προέκυπταν μόνο κατά την ανάλυση της συμπεριφοράς των "υφιστάμενων" συστημάτων ηλεκτροδότησης, οι ίδιες ερωτήσεις μπορούν να διατυπωθούν όταν η εργασία σχετίζεται με την ανάλυση των "μελλοντικών" συστημάτων ή "σταδίων επέκτασης" ενός ήδη υπάρχοντος συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. όπως η αξιολόγηση του αντίκτυπου του να θέσουμε σε λειτουργία μια γραμμή μεταφοράς ή έναν σταθμό ηλεκτροπαραγωγής ή τον αντίκτυπο της ανακαίνισης ή τον παροπλισμό του εξοπλισμού (π.χ. κλείσιμο ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής, επειδή έχει φθάσει το προσδόκιμο ζωής του).

Το να λαμβάνουμε υπόψη αυτές τις δύο πτυχές: 1) Παρούσα λειτουργία και 2) Μελλοντική λειτουργία, υποδεικνύει το πως πρέπει να αναλύονται τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Από τη μια πλευρά, ένας μηχανικός λειτουργίας ή ελέγχου απαιτεί σχετικές πληροφορίες να είναι διαθέσιμες σε αυτόν σχεδόν αμέσως, δηλαδή πρέπει να είναι σε θέση να γνωρίζει με κάποιο τρόπο τη συμπεριφορά του συστήματος ισχύος κάτω από διαφορετικές διαμορφώσεις που μπορούν να εμφανιστούν (για παράδειγμα με το άνοιγμα ή κλείσιμο των διακοπών σε έναν υποσταθμό). Από την άλλη πλευρά, ένας μηχανικός σχεδιασμού απαιτεί να κατακτήσει την συμπεριφορά του συστήματος ακόμα και όταν αυτό αντικατοπτρίζει ενισχύσεις που δεν έχουν ακόμη κατασκευαστεί λαμβάνοντας υπόψη την αντίστοιχη ετήσια και / ή μηνιαία αύξηση του φορτίου. Ανεξάρτητα από την προοπτική, ο μηχανικός πρέπει να είναι σε θέση να καθορίσει εκ των προτέρων τη συμπεριφορά του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας προκειμένου να βρεθεί, για παράδειγμα, η βέλτιστη διαμόρφωση λειτουργίας ή ανίχνευση πιθανής αδυναμίας και να υποδεικνύει λύσεις και εναλλακτικές.

Οι υπολογισμοί ροής φορτίου χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε σταθερή κατάσταση χωρίς βλάβη (βραχυκύκλωμα). Όπου η σταθερή κατάσταση ορίζεται ως μια κατάσταση στην οποία όλες οι μεταβλητές και οι παράμετροι θεωρείται ότι είναι

σταθερές κατά την περίοδο παρατήρησης. Μπορούμε να το σκεφτούμε αυτό σαν "λήψη μιας εικόνας" του συστήματος ισχύος σε μια δεδομένη χρονική στιγμή.

Ο υπολογισμός της ροής φορτίου μπορεί να καθορίσει τις ροές ενεργού και αέργου ισχύος για όλους τους κλάδους, το επίπεδο της τάσης και τις φάσεις αυτών για όλους τους κόμβους.

Οι κύριες περιοχές για την εφαρμογή των υπολογισμών ροής φορτίου μπορούν να χωριστούν σε φυσιολογικές και μη φυσιολογικές (Κατάσταση έκτακτης ανάγκης) ως εξής:

### 6.1.1 Κανονικές συνθήκες συστήματος

- Υπολογισμός φορτίων ζυγών, απώλειες συστήματος και προφίλ τάσης.
- Απαιτήσεις βελτιστοποίησης, όπως ελαχιστοποίηση των απωλειών του συστήματος, ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής, βελτιστοποίηση ανοικτών σημείων σε κατανεμημένα δίκτυα κ.λπ.
- Υπολογισμός αρχικών συνθηκών σταθερής κατάστασης για προσομοιώσεις σταθερότητας ή υπολογισμούς βραχυκυκλώματος χρησιμοποιώντας την μέθοδο υπέρθεσης.

### 6.1.2 Μη φυσιολογικές συνθήκες συστήματος

- Υπολογισμός φορτίων διακλάδωσης, απώλειες συστήματος και προφίλ τάσης.
- Ανάλυση έκτακτης ανάγκης, αξιολόγηση ασφάλειας δικτύων.
- Απαιτήσεις βελτιστοποίησης, όπως ελαχιστοποίηση των απωλειών του συστήματος, ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής, βελτιστοποίηση ανοικτών σημείων σε κατανεμημένα δίκτυα κ.λπ.
- Επαλήθευση των συνθηκών του συστήματος κατά τους υπολογισμούς αξιοπιστίας.
- Αυτόματος προσδιορισμός των βέλτιστων στρατηγικών επαναφοράς του συστήματος.
- Βελτιστοποίηση της απόρριψης φορτίων.
- Υπολογισμός αρχικών συνθηκών σταθερής κατάστασης για προσομοιώσεις σταθερότητας ή υπολογισμούς βραχυκυκλώματος χρησιμοποιώντας την πλήρη μέθοδο υπέρθεσης (ειδικές περιπτώσεις).

## 6.2 Backbone Calculation

Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των κύριων διαδρομών ανάμεσα σε γειτονικούς τροφοδότες που συνδέονται μέσω ανοικτών σημείων, τα οποία μπορούν να χρησιμεύσουν για την αποκατάσταση του χαμένου φορτίου σε περίπτωση βλάβης σε μια γραμμή-τροφοδότη. Η εντολή δημιουργεί αντικείμενα στον φάκελο Δεδομένα δικτύου (ElmBbone) με τα στοιχεία του δικτύου που αποτελούν συστατικά του κορμού(backbone). Αυτό απλοποιεί την απεικόνιση των κύριων διαδρομών μεταξύ των γραμμών-τροφοδοτών, ιδιαίτερα στα μεγάλα δίκτυα διανομής όπου οι κύριες διαδρομές μπορεί να μην είναι εμφανείς από το μονογραμμικό σχέδιο.

Τα αντικείμενα Backbone δημιουργούνται για όλους τους τροφοδότες ή ένα σύνολο τροφοδοτών που έχει καθοριστεί από το χρήστη, με βάση το φορτίο διαδρομής, δομή δικτύου ή κριτήρια μεθόδου βαθμολόγησης. Η λειτουργία μπορεί προαιρετικά να θεωρήσει υπάρχοντες τηλεχειριζόμενους διακόπτες σε ανοικτά σημεία και τη διαθεσιμότητα συνδέσεων σε εναλλακτικούς μετασχηματιστές ή υποσταθμούς κατά τη δημιουργία Backbone.

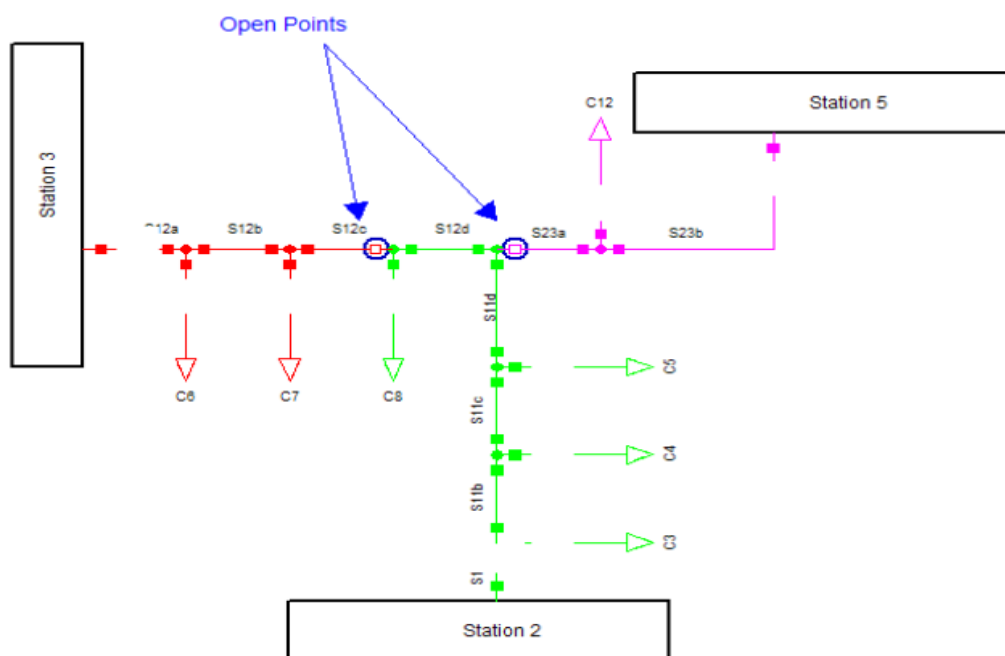
Από τις επιλογές του Backbone, μπορείτε να προβάλετε τα περιεχόμενα (στοιχεία) του Backbone, να επισημανθούν στο σχέδιο του δικτύου (mark in graphic) και να ελεγχθούν. Το κουμπί Backbone χρησιμοποιείται για να βεβαιωθούμε ότι η λειτουργία backbone εξακολουθεί να ορίζει μια έγκυρη διαδρομή τροφοδότησης που ταιριάζει με τις υπολογισμένες παραμέτρους.

## 6.3 Tie Open Point Optimization

Η λειτουργία του Tie Open Point Optimization είναι να βελτιστοποιεί ένα ακτινικό δίκτυο που αποτελείται από συνδεδεμένες γραμμές διανομής με το να καθορίζει τις βέλτιστες θέσεις όπου θα υπάρχουν ανοιχτά σημεία στο δίκτυο. Αυτά τα σημεία μπορούν να αλλάζουν από το εργαλείο TOPO με το άνοιγμα και κλείσιμο διακοπών με σκοπό το δίκτυο να βελτιστοποιείται.

### 6.3.1 Λειτουργία του TOPO

Η λειτουργία του TOPO εξηγείται καλύτερα αν χρησιμοποιήσουμε ένα παράδειγμα. Ας θεωρήσουμε το δίκτυο που απεικονίζεται παρακάτω



Σχήμα 6 : Παράδειγμα εφαρμογής του εργαλείου TOPO

Το παραπάνω δίκτυο αποτελείται από τρεις γραμμές διανομής, μία για κάθε έναν από τους τρεις υποσταθμούς. Κάθε γραμμή ξεκινάει από έναν υποσταθμό και τελειώνει σε ένα από τα ανοιχτά σημεία. Τα δύο ανοιχτά σημεία που έχουμε στο συγκεκριμένο δίκτυο δεν είναι απαραίτητα τα βέλτιστα.

Για παράδειγμα, μπορεί να είναι καλύτερο από οικονομικής άποψης (δηλαδή λιγότερες απώλειες δικτύου και / ή μικρότερη επίπτωση διακοπών) να μετατοπίσουμε αυτά τα ανοιχτά σημεία κλείνοντας τους ανοιχτούς διακόπτες και ανοίγοντας δύο διακόπτες σε διαφορετικές θέσεις στις γραμμές. Ο σκοπός του είναι να καθορίσει τις βέλτιστες θέσεις αυτών των δύο διακοπών αυτόματα. Επιπρόσθετα το εργαλείο αυτό μπορεί αυτόματα να λάβει υπόψη θερμικούς περιορισμούς και περιορισμούς τάσεις στο δίκτυο – για παράδειγμα μπορεί να είναι βέλτιστο από

οικονομικής πλευράς να μετακινήσουμε ένα ανοιχτό σημείο γιατί έτσι θα μειωθούν οι απώλειες του συστήματος , όμως κάτι τέτοιο θα μπορούσε να προκαλέσει υπερφότωση σε ένα καλώδιο.

Το εργαλείο TOPO απαιτεί να έχουν καθοριστεί οι γραμμές διανομής για το τμήμα του δικτύου που θέλουμε να βελτιστοποιήσουμε. Επιπλέον το TOPO λειτουργεί μόνο σε ακτινικά δίκτυα τα δίκτυα που είναι βροχοειδή δεν μπορούν να βελτιστοποιηθούν αυτόματα. Ακόμη οι γραμμές προς βελτιστοποίηση δεν πρέπει να έχουν υπερφορτισμένα στοιχεία ή παραβιάσεις τάσεις στο βασικό σενάριο.

### 6.3.2 Διαμόρφωση και εκτέλεση του TOPO

Αφού επιλέξουμε το TOPO από το Distribution Network Tools , έχουμε την δυνατότητα να επιλέξουμε αν θέλουμε να το εφαρμόσουμε σε κάποιες συγκεκριμένες γραμμές διανομής ή σε όλο το δίκτυο.

- Μπορούμε να επιλέξουμε μια απο τις αντικειμενικές συναρτήσεις που παρέχει το πρόγραμμα (minimization of losses, optimization of reliability indices , cost optimization), στην συγκεκριμένη μελέτη επέλεξα minimization of losses.
- Υπάρχει ακόμα η επιλογή για την αναπαράσταση του δικτύου ‘‘Balanced positive sequence’’ ή ‘‘Unbalanced’’. Επίσης ,προεραϊτικά ,μπορούμε να ελέγξουμε και να αλλάξουμε τις ρυθμίσεις της εντολής ροής φορτίου που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των απωλειών και να προσδιορίσουμε τους περιορισμούς του συστήματος κάνοντας κλικ στο μπλε βέλος επιλογής δίπλα στην εντολή ροής φορτίου.
- Επιπλέον , επιλέγουμε που θέλουμε να αποθηκευτεί το αποτέλεσμα(Operation Scenario) και την μορφή που θα έχουν τα αποτελέσματα ως προς την παρουσίαση (πρίν και μετά).
- Όσον αφορά στην επιλογή των Constrains ενα θέλουμε να συμπεριλάβουμε περιορισμούς τάσης ή θερμικούς παριορισμούς θα πρέπει να τους καθορίσουμε απο αυτήν την επιλογή. Τόσο για τους θερμικούς παριορισμούς όσο και για αυτούς της τάσης υπάρχει η δυνατότητα να καθορίσεις καθολικούς για όλο το δίκτυο (Global constrains) ή μεμονωμένα για κάθε στοιχείο που σε ενδιαφέρει(Individual constrains).
- Υπάρχει ακόμη η επιλογή consider voltage drop/rise έτσι το σύστημα αν σε κάποιο ανοιχτό σημείο παρατηρήσει κάποια απότομη παραβίαση του επιπέδου τάσης το αποκλείει απο την επιλογή του να είναι το βέλτιστο.



## 6.4 Quasi-Dynamic Simulation

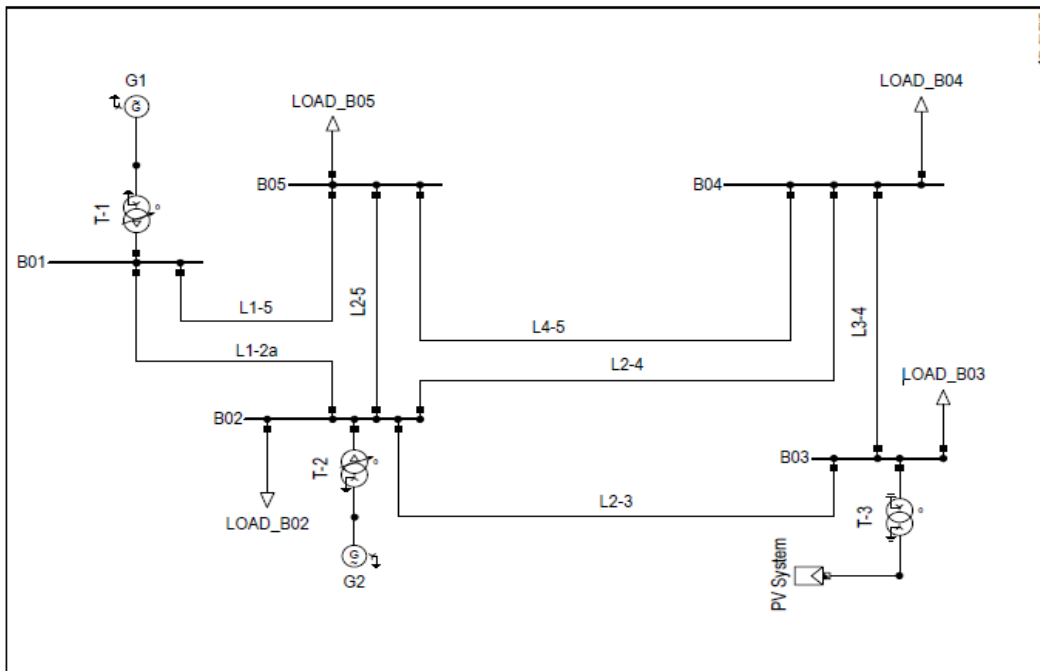
Ο υπολογισμός της ροής φορτίου θεωρεί το δίκτυο υπό ένα ενιαίο σύνολο συνθηκών λειτουργίας. Στα περισσότερα ηλεκτρικά συστήματα, οι μηχανικοί ενδιαφέρονται για την απόδοση του συστήματος κατά τη λειτουργία του υπο τις χειρότερες συνθήκες. Ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητας του δικτύου, μπορεί να είναι δύσκολη να κατανοήσουμε διαισθητικά ποια λειτουργικά σενάρια και καταστάσεις δικτύου προκαλούν τέτοιες συνθήκες. Συνεπώς, για να καθορίσουν τις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας, οι μηχανικοί πρέπει συχνά να τρέξουν αρκετές διαφορετικές προσομοιώσεις ροής φορτίου σε ένα εύρος συνθηκών λειτουργίας. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με τη μοντελοποίηση της εξάρτησης του δικτύου από την ώρα, επειδή οι περισσότερες λειτουργικές παράμετροι έχουν μια υποκείμενη εξάρτηση από την ώρα. Για παράδειγμα:

- Το φορτίο εξαρτάται από το χρόνο λόγω ημερησίας και εποχιακής μεταβολής κυκλικού φορτίου.
- Οι ανανεώσιμες πηγές όπως η ηλιακή ενέργεια και η ισχύς του ανέμου ποικίλλουν ανάλογα με την ηλιοφάνεια και την ταχύτητα του ανέμου οι οποίες με τη σειρά τους είναι συναρτήσεις του χρόνου.
- Οι διακυμάνσεις του δικτύου, οι διακοπές λειτουργίας συντήρησης, οι βλάβες και οι μη προγραμματισμένες διακοπές έχουν συνήθως κάποια χρονική εξάρτηση.
- Η βαθμολογία του εξοπλισμού μπορεί επίσης να αλλάξει λόγω των επιδράσεων του ανέμου και της θερμοκρασίας.

Συχνά, όταν εξετάζεται η μεταβολή της ροής φορτίου με την πάροδο του χρόνου, ο μηχανικός δεν ασχολείται με παραλλαγές στη χρονική κλίμακα των δευτερολέπτων, μάλλον ενδιαφέρονται περισσότερο για το πώς είναι η απόδοση του δικτύου αλλάζοντας την κλίμακα των λεπτών σε ώρες. Είναι βέβαια δυνατό να τρέξετε μια δυναμική προσομοίωση με σαφώς διαμορφωμένους ελεγκτές και ούτω καθεξής και να την τρέξετε για αρκετές ώρες ή και περισσότερο πραγματικό χρόνο για να προσομοιώσετε ένα τέτοιο δίκτυο. Ωστόσο, αυτό θα απαιτούσε μεγάλη υπολογιστική προσπάθεια και, επιπλέον, συνεπάγεται περιττή πολυπλοκότητα εάν μας ενδιαφέρουν μόνο οι συνθήκες ροής φορτίου σταθερής κατάστασης. Συνεπώς, θωρήθηκε μια εύλογη και ρεαλιστική προσέγγιση για την προσομοίωση των λεγόμενων "οιονεί δυναμικών" φαινομένων το να χρησιμοποιείται μια σειρά υπολογισμών ροής φορτίου και να είναι ενσωματωμένη σε παραμέτρους εξαρτημένες από το χρόνο.

Το PowerFactory περιλαμβάνει ένα ειδικό εργαλείο υπολογισμού ροής φορτίου που ονομάζεται Quasi-Dynamic Simulation. Αυτό το εργαλείο ολοκληρώνει μια σειρά προσομοιώσεων ροής φορτίου σε χρονική απόσταση, ενώ δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη επιλογής της περιόδου προσομοίωσης και του μεγέθους του βήματος προσομοίωσης. Η προσομοίωση αυτή χρησιμοποιεί τα βασισμένα στο χρόνο χαρακτηριστικά παραμέτρων, τις παραλλαγές, στάδια επέκτασης και προγραμματισμένες διακοπές.

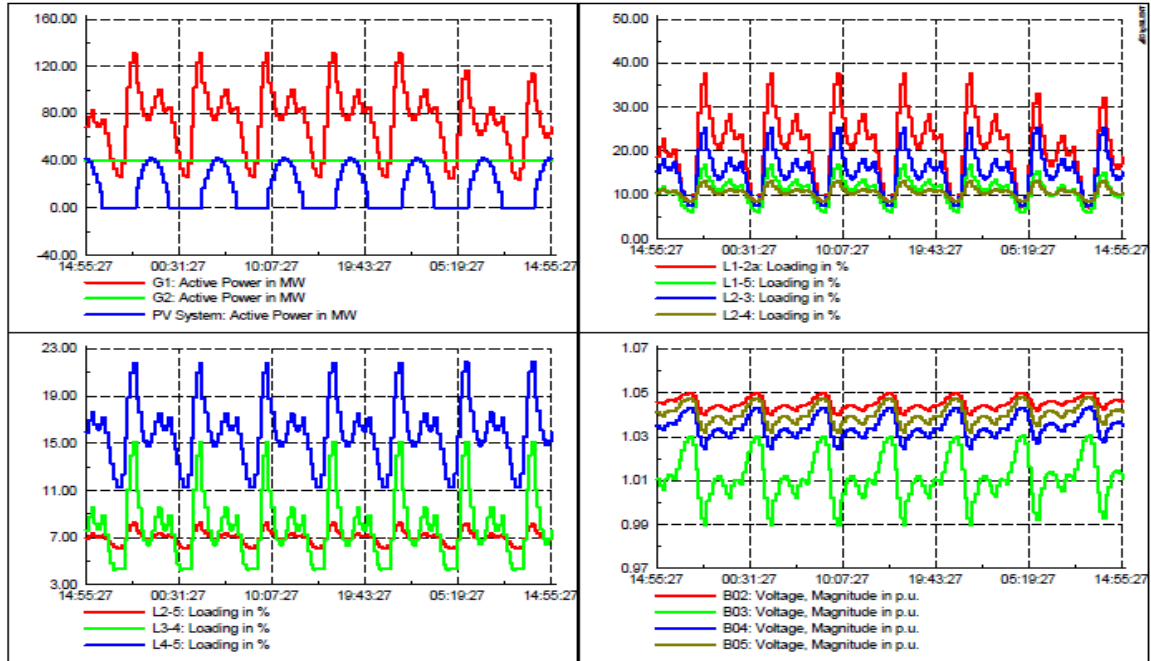
Εξετάζετε ένα απλοποιημένο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που αποτελείται από τέσσερα φορτία, δύο συμβατικά σύγχρονα μηχανές και ένα ηλιακό φωτοβολταϊκό σταθμό που συνδέεται με γραμμές μεταφοράς. Ένα μονογραμμικό διάγραμμα του δικτύου αυτού φαίνεται στο σχήμα 25.2.1



Σχήμα 7 : Μονογραμμικό διάγραμμα του δικτύου του παραδείγματος

Σε αυτή την περίπτωση, το φορτίο θα ποικίλλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας, η ηλιακή ισχύς θα ποικίλει επίσης ανάλογα στην ηλιακή ακτινοβολία και κατά συνέπεια οι συμβατικές γεννήτριες θα έπρεπε να παράγουν διαφορετικά επίπεδα παραγωγής για την εξισορρόπηση του φορτίου και της παραγωγής του συστήματος. Ο μηχανικός ίσως να ενδιαφέρεται δείτε τη θερμική φόρτιση της γραμμής και την τάση στο δίκτυο για μια περίοδο, για παράδειγμα, μία εβδομάδα ή ίσως ακόμη η εποχιακή διακύμανση κατά τη διάρκεια ενός έτους. Αρχεία DPL ή Python μπορούν να γραφτούν για να επιτευχθεί αυτό, ωστόσο, χρησιμοποιώντας τα ενσωματωμένα χαρακτηριστικά παραμέτρων στο PowerFactory και χρησιμοποιώντας το εργαλείο Quasi-Dynamic Simulation είναι δυνατό να ολοκληρωθούν τέτοιες προσομοιώσεις πολύ αποτελεσματικά.

Το σχήμα 8 δείχνει ένα παράδειγμα του τύπου εξόδου που παράγεται χρησιμοποιώντας αυτό το εργαλείο. Η εικόνα δείχνει ένα σαφές κυκλικό πρότυπο στην έξοδο παραγωγής, τη φόρτιση γραμμής και τις τάσεις του ζυγού. Μετά καθορίζοντας τις κρίσιμες περιπτώσεις, όπως μια προσομοίωση, ο μηχανικός μπορεί επίσης να θέλει να συμπληρώσει λεπτομερέστερα προσομοιώσεις RMS ή EMT, σε τέτοιες περιπτώσεις για τη διερεύνηση δυνητικών βραχυπρόθεσμων προβλημάτων. Με αυτόν τον τρόπο, το Quasi-Dynamic Simulation μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως χρήσιμο εργαλείο διαλογής.



Σχήμα 8 : Ένα παράδειγμα εβδομαδιαίων ροών ισχύος στο σύστημα του παραδείγματος που υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας το Quasi-Dynamic Simulation.

## 6.5 Optimal Remote Control Switch Placement

Μετά τον υπολογισμό των Backbones μπορεί να εκτελεστεί η λειτουργία RCS Placement προκειμένου να εντοπιστούν οι βέλτιστες θέσεις των τηλεχειριζόμενων διακοπών που έχουμε στην διάθεση μας. Η λειτουργία αυτή επι της ουσίας βελτιστοποιεί την τοποθέτηση ενός συγκεκριμένου αριθμού τηλεχειριζόμενων διακοπών ανά γραμμή διανομής ή ανά backbone , με μια αντικειμενική συνάρτηση που ελαχιστοποιεί την μη παρεχόμενη ενέργεια( ENS), ισοροπεί τον δείκτη ENS ή ελαχιστοποιεί το προσδοκώμενο κόστος διακοπής – Expected Interruption Costs (EIC). Η εντολή βέλτιστης τοποθέτησης τηλεχειροζόμενων διακοπών (Optimal RCS Placement) είναι ένα ευρετικό εργαλείο σχεδιασμού και μπορεί να προηγηθεί μίας λεπτομερούς ανάλυσης αξιοπιστίας.

Για τη διεξαγωγή βέλτιστης τοποθέτησης RCS, τα δεδομένα αξιοπιστίας θα πρέπει να καθορίζονται στη σελίδα αξιοπιστία στοιχείων γραμμής (δεν λαμβάνονται υπόψη οι διακοπές λειτουργίας άλλων στοιχείων).

Εάν πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος διακοπόμενου φορτίου, πρέπει να καθοριστεί ένα συνολικό τιμολόγιο ενέργειας. Η συγκεκριμένη λειτουργία απαιτεί επίσης οι γραμμές διανομής να λειτουργούν γραμμικά.

### 6.5.1 Διαδικασία βέλτιστης τοποθέτης τηλεχειριζόμενων διακοπών

Αρχικά πρέπει να καθοριστούν οι γραμμές τροφοδότησης που ενδιαφέρουν το χρήστη για τον υπολογισμό Optimal RCS Placement. Για να καθορίσει ο χρήστης ποιά Backbones θέλει να συμπεριλάβει πρέπει να επιλέξει το Active Backbones.

### 6.5.2 Αντικειμενική Συνάρτηση

Η αντικειμενική συνάρτηση για την λειτουργία αυτή μπορεί να καθοριστεί σε μία απο τις παρακάτω:

- Ελαχιστοποίηση του δείκτη ENS μέσω της εγκατάστασης ενός συγκεκριμένου αριθμού RCS ανά γραμμή / backbone , για να ελαχιστοποιηθεί η μη παρεχόμενη ενέργεια.
- Εξισορρόπηση του δείκτη ENS μέσω της εγκατάστασης ενός βέλτιστου αριθμού τηλεχειριζόμενων διακοπών ανά φίντερ / backbone. Αυτή επιλογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάποιες περιπτώσεις που θέλουμε να σχεδιάσουμε το δίκτυο με τέτοιο τρόπο που να εξυπηρετεί δίκαια τους πελάτες όταν έχει πολλούς μεγάλους και λίγους μικρούς.
- Ελαχιστοποίηση του δείκτη EIC εγκαθιστώντας ένα βέλτιστο ή σταθερό αριθμό RCS ανά γραμμή διανομής / backbone για να ελαχιστοποιηθεί το αναμενόμενο κόστος διακοπής.

### 6.5.3 Αριθμός RCS

- Με αντικειμενική συνάρτηση την ελαχιστοποίηση του ENS , καθορίζεται :
  - Ο αριθμός των νέων RCS ανά γραμμή/backbone.
- Με αντικειμενική συνάρτηση την εξισορρόπηση του ENS ή την ελαχιστοποίηση του EIC επιλέγουμε την βελτιστοποίηση του αριθμού των RCS ή την βέλτιστη τοποθέτηση ενός συγκεκριμένου αριθμού νέων διακοπών που επιθυμούμε.
  - Καθορίζουμε τον ακριβή αριθμό των RCS ή έστω τον μέγιστο αριθμό αυτών ανά γραμμή/ backbone.
  - Αν η αντικειμενική συνάρτηση είναι να ελαχιστοποιηθεί ο δείκτης EIC πρέπει να εισάγουμε δεδομένα για το ετήσιο κόστος ανα RCS σε € / έτος.

## 6.6 Βέλτιστη αποκατάσταση ισχύος

### 6.6.1 Ανάλυση σφάλματος

Η προσομοίωση της απόκρισης του συστήματος σε συγκεκριμένα απρόβλεπτα (ComContingency) ονομάζεται « Ανάλυση Επιπτώσεων Σφάλματος »( Failure Effect Analysis). Ο αλγόριθμος καταμέτρησης κατάστασης συστήματος χρησιμοποιεί την λειτουργία FEA για να αναλύσει τα ακόλουθα βήματα μετά από μια επείγουσα κατάσταση:

- Εκκαθάριση βλαβών.
- Απομόνωση σφαλμάτων.
- Αποκατάσταση ισχύος.
- Ανακούφιση υπερφόρτωσης;
- Περιορισμός παραμέτρων τάσης.
- Μεταφορά φορτίου.
- Στένωση φορτίου. Shedding

Η ανάλυση FEA για την αξιολόγηση του δικτύου μπορεί να εξετάσει ή να αγνοήσει τους περιορισμούς. Για την ανακούφιση από υπερφόρτωση, ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί μια ροή φορτίου εναλλασσόμενου ρεύματος για την αναζήτηση υπερφορτωμένων κλάδων και αν υπάρχουν, τότε εντοπίζονται και προσπαθεί να τα επιλύσει, πρώτα με τη μεταφορά

φορτίου και δεύτερον με την απόρριψη φορτίου. Εάν δεν υπάρχουν περιορισμοί στην FEA, τότε δεν απαιτείται ροή φορτίου για κάθε κατάσταση και κατά συνέπεια η προσομοίωση είναι πολύ πιο γρήγορη.

Για κάθε προσομοιωμένη αποτυχία, δημιουργείται ένα συμβάν με τον αλγόριθμο FEA. Εάν ο υπολογισμός χρησιμοποιεί χαρακτηριστικά φορτίου, δημιουργείται ένα συμβάν για κάθε συνδυασμό βλάβης και κατάστασης φορτίου. Ομοίως, όταν γίνονται πλάνα συντήρησης (προγραμματισμένες διακοπές), υπάρχουν περισσότερες καταστάσεις για κάθε συνδυασμό διακοπής και έκτακτης ανάγκης.

### **6.6.2 Εκκαθάριση βλαβών**

Το βήμα εκκαθάρισης βλάβης του FEA προϋποθέτει 100% επιλεκτικότητα της προστασίας. Συνεπώς, υποτίθεται ότι τα ρελέ που είναι πιο κοντά στην αστοχία θα καθαρίσουν το σφάλμα. Εάν ληφθούν υπόψη οι αστοχίες προστασίας / διακοπής στο FEA, θεωρείται ότι η επόμενη πλησιέστερη συσκευή προστασίας (μετά την αποτυχημένη συσκευή) έχει 100% εκλεκτικότητα.

Όπως περιγράφεται στο (Protection/Switch Failures), το PowerFactory δεν θεωρεί ξεχωριστά σφάλμα προστασίας και διακόπτη, αντ' αυτού αυτά συγκεντρώνονται μαζί. Στη φάση προεπεξεργασίας της αξιολόγησης αξιοπιστίας, όλοι οι διακόπτες στο σύστημα που μπορούν να ενεργοποιηθούν από ένα ρελέ ή μια ασφάλεια έχουν επισημανθεί ως "διακόπτες προστασίας".

Για να εκκαθαρίσετε το σφάλμα, ο FEA ξεκινά μια τοπολογική αναζήτηση από τα ελαττωματικά στοιχεία για να εντοπίσει το πλησιέστερο προστατευτικό διακόπτη/ες που μπορεί να καθαρίσει το σφάλμα. Αυτοί οι διακόπτες ανοίγουν στη συνέχεια για να τερματίσουν την εκκαθάριση βλάβης φάση του FEA. Εάν δεν είναι δυνατό να απομονωθεί το σφάλμα επειδή δεν υπάρχει κατάλληλη προστασία τότε θα εκτυπωθεί ένα μήνυμα σφάλματος και θα ολοκληρωθεί η αξιολόγηση αξιοπιστίας.

### 6.6.3 Απομόνωση σφάλματος

Το επόμενο βήμα της FEA είναι να προσπαθήσει να αποκαταστήσει την παροχή ενέργειας σε υγιή τμήματα δικτύου. Το κάνει αυτό διαχωρίζοντας το ελαττωματικό τμήμα από το υγιές ανοίγοντας τους διακόπτες διαχωρισμού.

Η διαδικασία διαχωρισμού σφαλμάτων χρησιμοποιεί την ίδια τοπολογική αναζήτηση για διακόπτες όπως η φάση εκκαθάριση βλάβης. Η φάση διαχωρισμού σφαλμάτων ξεκινά μια τοπολογική αναζήτηση από τα εξαρτήματα που έχουν υποστεί βλάβη για να εντοπίσει τους πλησιέστερους διακόπτες που θα απομονώσουν τη βλάβη. Αυτοί οι διακόπτες ανοίγουν στη συνέχεια. Σημείωση, όλοι οι κλειστοί διακόπτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διαχωρίσουν την πληγείσα περιοχή. Η περιοχή που περικλείεται από τα αναγνωρισμένα διακόπτες διαχωρισμού σφαλμάτων ονομάζεται «χωρισμένη περιοχή». Η χωρισμένη περιοχή είναι μικρότερη ή ίση με, την «προστατευόμενη περιοχή». Ποτέ δεν θα εκτείνεται πέρα από την «προστατευόμενη περιοχή».

Το υγιές τμήμα που βρίσκεται μέσα στην «προστατευόμενη περιοχή», αλλά εκτός της «χωρισμένης περιοχής» ονομάζεται "Αποκατασταθείσα περιοχή", επειδή η ενέργεια μπορεί να αποκατασταθεί σε αυτήν την περιοχή.

### 6.6.4 Επαναφορά ισχύος

Η διαδικασία αποκατάστασης ισχύος του FEA ενεργοποιεί τις υγιείς περιοχές του συστήματος αφού η διαδικασία διαχωρισμού των σφαλμάτων έχει απομονώσει την πληγείσα περιοχή. Σημειώστε ότι μόνο οι ανοιχτοί διακόπτες που είναι ενεργοποιημένοι για χρήση στην αποκατάσταση ισχύος θα θεωρηθούν από το PowerFactory ως υποψήφιοι διακόπτες για αποκατάσταση ισχύος. Επιπλέον, το PowerFactory χρησιμοποιεί μια διαδικασία "έξυπνης αποκατάστασης ενέργειας" που επίσης λαμβάνει υπόψη την κατεύθυνση της αποκατάστασης ισχύος και της προτεραιότητας (στάδιο) του διακόπτη. Ο ταχύτερος υποψήφιος διακόπτης επιλέγεται πάντα όταν υπάρχουν περισσότερες από μία εναλλακτικές λύσεις αποκατάστασης. Κάθε αποκατασταθείσα περιοχή που επανασυνδέεται στο παρεχόμενο δίκτυο ονομάζεται "αποκατεστημένη" περιοχή.

Εάν δεν είναι δυνατές οι πράξεις εναλλαγής της κατάστασης των διακοπών για να επιστρέψετε τα φορτία και τα τερματικά σε μια χωριστή περιοχή στην υπηρεσία, τότε αυτά τα φορτία και οι ακροδέκτες θα παραμείνουν διακοπτόμενα για τη μέση διάρκεια της επισκευής, δηλαδή συνήθως αρκετές ώρες. Εντούτοις, εάν είναι δυνατές οι ενέργειες μεταγωγής για την επιστροφή των φορτίων και των ακροδεκτών στην υπηρεσία, αυτά θα διακόπτονται μόνο για το χρονικό διάστημα που απαιτείται για το άνοιγμα όλων των αποζευκτών (separators) και για το κλείσιμο όλων των διακοπών αποκατάστασης ισχύος. Οι επιπτώσεις των αναβαθμίσεων του δικτύου, συμπεριλαμβανομένης της βελτιωμένης αυτοματοποίησης και του απομακρυσμένου ελέγχου των διακοπών (με μείωση των χρόνων ενεργοποίησης του διακόπτη), μπορεί να αναλυθεί.

### 6.6.5 Load Shedding

Υπάρχουν τρεις βασικές παραλλαγές της απόρριψης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

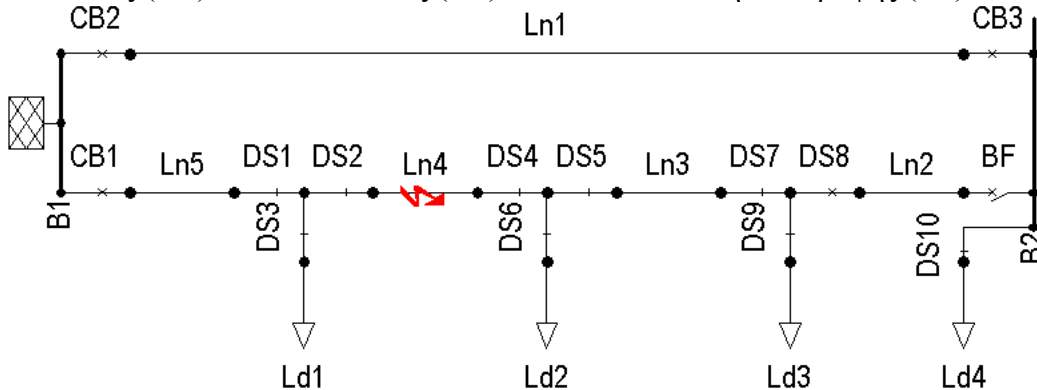
- Βέλτιστη απόρριψη φορτίου.
- Βέλτιστη απομάκρυνση φορτίου κατά προτεραιότητα.
- Διακριτή βέλτιστη απόρριψη φορτίου.

Η βέλτιστη απόρριψη φορτίου προϋποθέτει ότι όλα τα φορτία μπορούν να απορριφθούν με ακρίβεια (άπειρος αριθμός βημάτων). Το PowerFactory προσπαθεί να βρει μια λύση που ανακουφίζει την υπερφόρτωση με τον μικρότερο δυνατό αριθμό απόρριψης φορτίων.

Το PowerFactory χρησιμοποιεί δείκτες γραμμικής ευαισθησίας για να επιλέξει πρώτα τα φορτία αυτά με οποιαδήποτε συμβολή στην υπερφόρτωση. Έπειτα ξεκίνησε μια γραμμική βελτιστοποίηση για να βρει την καλύτερη επιλογή απόρριψης. Το ελάχιστο ποσό απορριπτόμενου φορτίου που προκύπτει ονομάζεται «Power Shed», επειδή ισούται με το ελάχιστο φορτίο που πρέπει να απορριφθεί για να μετριαστεί η υπερφόρτωση μετά την αποκατάσταση ισχύος. Η απόρριψη ισχύος πολλαπλασιάζεται με τη διάρκεια της κατάστασης του συστήματος για να πάρει το «Energy Shed». Η συνολική ενέργεια που απορρίπτεται για όλες τις πιθανές καταστάσεις του συστήματος καταγράφεται μετά την ολοκλήρωση της αξιολόγησης της αξιοπιστίας και αναφέρεται ως "System Energy Shed" (SES).

Τα φορτία απορρίπτονται αυτόματα με βάση την προτεραιότητά τους, με το PowerFactory να προσπαθεί να αποβάλει φορτία χαμηλής προτεραιότητας, πριν από τα υψηλής προτεραιότητας, όπου είναι δυνατόν.

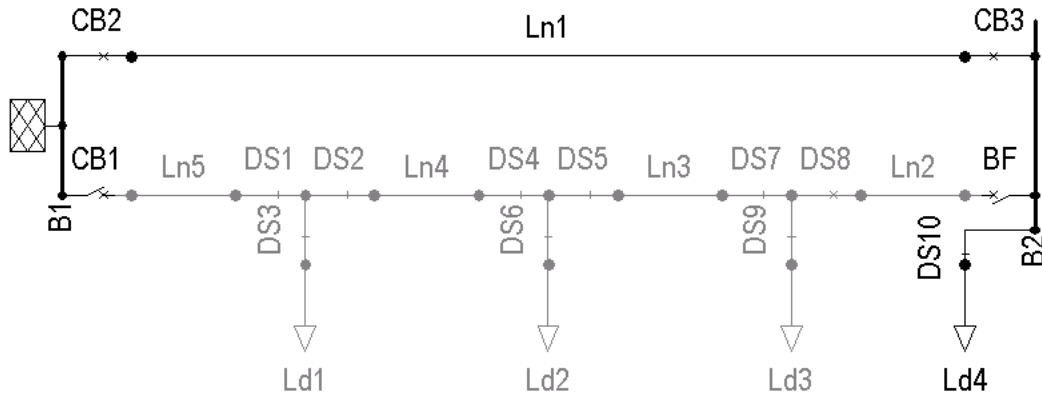
Το σχήμα δείχνει ένα απλό δίκτυο που περιλαμβάνει τέσσερα φορτία, διάφορους διακόπτες (CB) και αποσυνδέτες (DS) και έναν διακόπτη επιστροφής (BF).





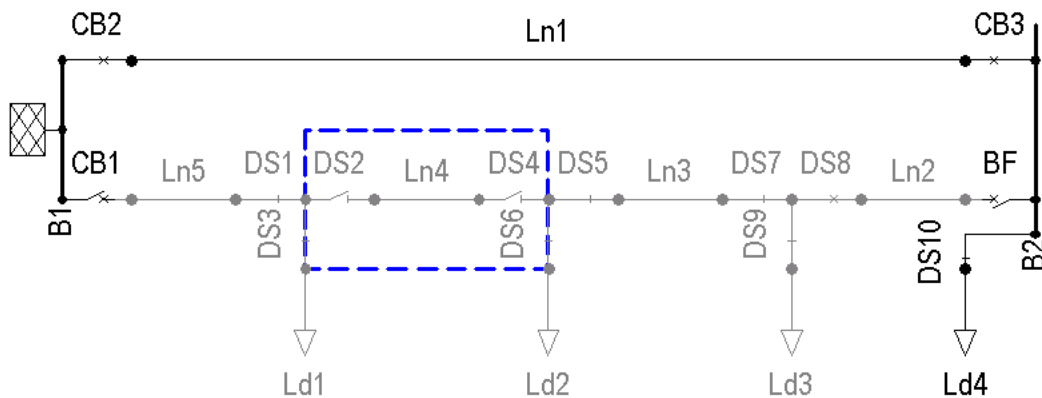
### 6.6.6 Εκκαθάριση σφάλματος

Η περιοχή που απομονώνεται από τη διαδικασία εκκαθάρισης βλαβών ονομάζεται "προστατευόμενη περιοχή". Το παρακάτω σχήμα δείχνει το παράδειγμα δικτύου αφού οι λειτουργίες απομάκρυνσης σφάλματος έχουν ανοίξει το διακόπτη προστασίας "CB1". Η προστατευόμενη περιοχή είναι η περιοχή που περιέχει όλους τους διακόπτες, τις γραμμές και τα φορτία μεταξύ του «CB1» και του back-feed διακόπτη "BF". Επομένως, κατά την εκκαθάριση αυτού του σφάλματος, τα φορτία 1, 2 και 3 διακόπτονται.



### Απομόνωση σφάλματος

Το παρακάτω σχήμα δείχνει το δίκτυο του παραδείγματος με τους διακόπτες διαχωρισμού «DS2» και «DS4» ανοικτούς. Η διαχωρισμένη περιοχή περιέχει τώρα μόνο την γραμμή Ln4 που έχει το σφάλμα. Τώρα υπάρχουν δύο αποκατασταθείσες περιοχές σύμφωνα με την απομόνωση σφάλματος. Την περιοχή που περιέχει το φορτίο 1 και την περιοχή που περιέχει τα φορτία 2 και 3.

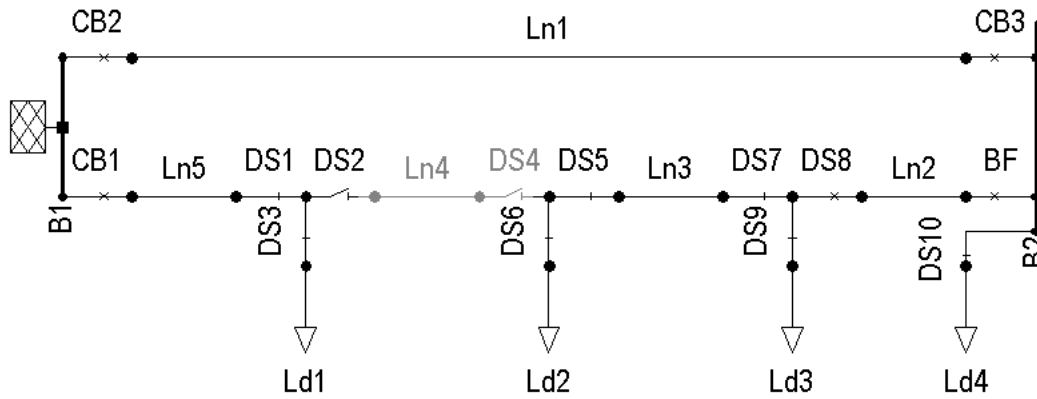


Αφού ολοκληρωθεί η φάση διαχωρισμού σφαλμάτων, οι ακόλουθες διακοπτικές ενέργειες απαιτούνται για την αποκατάσταση της τροφοδοσίας στις δύο ξεχωριστές «αποκατασταθείσες» περιοχές:

- Ο διακόπτης διαχωρισμού «DS2» είναι «τηλεχειριζόμενος» και έχει χρόνο μεταγωγής 1 λεπτών.

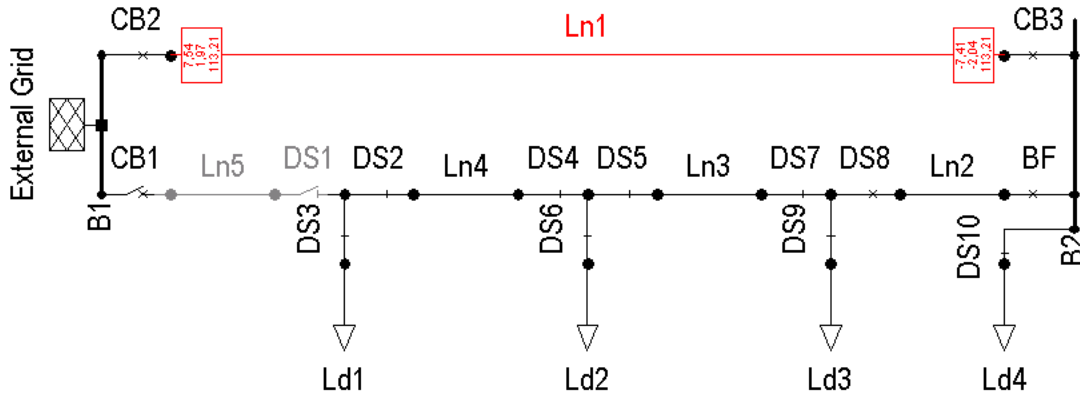
- Η ισχύς στο φορτίο 1 αποκαθίσταται με το κλείσιμο (ξανά) του διακόπτη προστασίας «CB1» που είναι επίσης τηλεχειριζόμενος.
- Συνεπώς, το φορτίο 1 επαναφέρεται σε 3 λεπτά (= 0,05 ώρες).
- Η ισχύς στα φορτία 2 και 3 αποκαθίσταται κλείνοντας τον διακόπτη back-feed, "BF".
- Επειδή ο διακόπτης back-feed έχει χρόνο ενεργοποίησης 15 λεπτών, τα φορτία 2 και 3 αποκαθίστανται 0,5 ώρες.

Το δίκτυο βρίσκεται τώρα σε κατάσταση μετά τη βλάβη όπως απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



### 6.6.7 Ανακούφιση υπερφόρτωσης και απόρριψη φορτίου

Το παρακάτω σχήμα δείχνει μια υπερφόρτωση γραμμής στην κατάσταση μετά τη βλάβη στο δίκτυο του παραδείγματος : η γραμμή 'Ln1' φορτώθηκε στο 113%.



Σε αυτό το παράδειγμα, τα φορτία 1, 2, 3 και 4 συμβάλλουν στην υπερφόρτιση της γραμμής στο LN1 και συνεπώς στο φορτίο θα φραζόταν με βάση τις επιλογές φραγής φορτίου και τις προτεραιότητες που ορίζει ο χρήστης για να ανακουφίσει τον περιορισμό.

## 7.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 7.1.1 Εισαγωγή

Ξεκινώντας την επεξεργασία των δεδομένων το πρώτο πράγμα που έπρεπε να γίνει ήταν να προσπαθήσω να διαμορφώσω τις γραμμές με τέτοιο τρόπο ώστε το τμήμα του προς μελέτη δικτύου να είναι μορφολογικά όσο το δυνατόν πιο κοντά στο λειτουργικό σχέδιο του κέντρου ελέγχου του ΔΕΔΔΗΕ. Αυτό έγινε τόσο για μεγαλύτερη ευκολία κατά την επεξεργασία των δεδομένων, διότι το μεγάλο πλήθος γραμμών, φορτίων κ.λ.π. καθιστούσε πολύ εύκολο το να γίνει κάποιο λάθος, όσο και για να είναι πιο εύκολο στο τέλος αφού έβρισκα ποια ήταν η βέλτιστη αναδιάταξη του δικτύου να μπορεί να υπάρχει μια εμφανής σύγκριση μεταξύ της προηγούμενης και της νέας τοπολογίας μετά την προσθήκη των τηλεχειριζόμενων διακοπών.

Το τελικό αποτέλεσμα οπτικά είναι αρκετά κοντά στο λειτουργικό σχέδιο με την διαφορά ότι κάποιες γραμμές στο λειτουργικό φαίνονται πολύ πιο απλές από ότι είναι στην πραγματικότητα διότι παραλείπεται ένα μεγάλο πλήθος φορτίων. Συνεπώς, το τμήμα του δικτύου που μας ενδιαφέρει και σχεδίασα στο PowerFactory προέκυψε κάπως πιο περίπλοκο διότι εμπεριέχει όλα τα φορτία των γραμμών όπως πραγματικά είναι. Κατά τον σχεδιασμό δόθηκε ιδιαίτερα μεγάλη προσοχή στα σημεία που είναι “ανοικτά” στο δίκτυο δηλαδή που έχουν διακόπτες, πράγμα το οποίο πολλές φορές δεν ήταν εμφανές και έπρεπε να γίνει πιο προσεκτικός έλεγχος. Καθώς γινόταν τμηματικά η σύνθεση του δικτύου μεταξύ των υποσταθμών Μπότσαρη και Νέα Ελβετία, διενεργούσα τακτικά ροή φορτίου προκειμένου να ελέγγω εάν μέχρι στιγμής το δίκτυο είναι καλώς σχεδιασμένο.

Αφού σχεδιάστηκε επιτυχώς το τμήμα του προς μελέτη δικτύου πέρασα στην έναρξη των δοκιμών προκειμένου να καταλήξουμε στην βέλτιστη αναδιάταξη αυτού. Πρέπει να σημειωθεί πως για να καταλήξουμε στην βέλτιστη αναδιάταξη έπρεπε να γίνουν κάποιες δοκιμές με πραγματικά φορτία και συγκεκριμένα την αιχμή αυτών. Έτσι μου παραχωρήθηκε από τον ΔΕΔΔΗΕ ένα αρχείο Excel με τις τιμές όλων των φορτίων για τους υποσταθμούς Μπότσαρη και Νέα Ελβετία για ένα ολόκληρο έτος, συγκεκριμένα το 2015, ανα μισή ώρα. Έπειτα, από επεξεργασία του αρχείου βρήκα δύο χειμερινές αιχμές (πρωινή, βραδινή) και δύο καλοκαιρινές (πρωινή, βραδινή). Έτσι δημιούργησα μια σύζευξη των δεδομένων του δικτύου με τον χρόνο, συγκεκριμένα δημιούργησα ένα Time Characteristic για κάθε έναν Feeder, εισάγοντας ένα αρχείο με τα δεδομένα των φορτίων για το 2015 και έτσι υπήρχε η δυνατότητα βάζοντας την ημερομηνία και την ώρα που θέλω το δίκτυο να παίρνει τα δεδομένα που θέλω. Συνεπώς προκειμένου να βρω την βέλτιστη θέση για την τοποθέτηση των τηλεχειριζόμενων διακοπών χρησιμοποίησα το εργαλείο tie open point optimization με δεδομένα τα φορτία της αιχμής.

Στη συνέχεια εφόσον το δίκτυο ήταν πλήρως σχεδιασμένο και ανταποκρινόταν στις πραγματικές συνθήκες εφάρμοσα την λειτουργία Tie Open Point Optimization (TOPO), που αποτελεί και το κέντρο του ενδιαφέροντος μου στη συγκεκριμένη εργασία. Έπειτα, εφόσον έχουμε εκτελέσει TOPO έχουν προκύψει τέσσερις νέες τοπολογίες (μία για καθμία από τις αιχμές που προανέφερα) με ανοικτά σημεία σε νέες θέσεις στο δίκτυο και το ζητούμενο πλέον είναι να εντοπίσουμε ποιά από αυτές είναι η βέλτιστη ή ίσως και κάποιος συνδυασμός αυτών. Στη νέα αυτή τοπολογία τέλος θα εφαρμοστεί η λειτουργία Optimal RCS Placement. Αφού βρούμε την νέα τοπολογία

σχεδιάζουμε τέσσερα διαφορετικά σενάρια στα οποία θα εφαρμόσουμε την λειτουργία βέλτιστης τοποθέτησης τηλεχειριζόμενων διακοπών (Optimal RCS Placement), όπως θα αναφερθούν αναλυτικά στη συνέχεια. Για την επιλογή του βέλτιστου από αυτά τα σενάρια θα εφαρμόσουμε την λειτουργία ελέγχου αξιοπιστίας (Reliability Assessment), και στην συγκεκριμένη περίπτωση ο δείκτης αξιοπιστίας που θα καθορίσει κατά βάση την επιλογή μας θα είναι αυτός της μη παρεχόμενης ενέργειας (ENS). Τέλος, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αποκατάστασης ισχύος έπειτα από βλάβη.

## 7.2 Σχεδιασμός δικτύου

Αφού μου παραχωρήθηκαν τα δεδομένα των γραμμών σε μορφή dat files , αυτές εισήχθησαν στο Power Factory και ξεκίνησε η διαδικασία σχεδιασμού του προς μελέτη τμήματος του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας της Θεσσαλονίκης.

Κατά τον σχεδιασμό έγινε και επιλογή των Feeders , οι οποίοι ταυτίζονται και με τις αναχωρήσεις των υποσταθμών και έτσι προέκυψαν 58 συνολικά Feeders , 23 για τον υποσταθμό Μπότσαρη και 35 για τον υποσταθμό Ν.Ελβετία. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι αναχωρήσεις των δύο υποσταθμών είναι σαφώς περισσότερες, αλλά εμάς μας ενδιαφέρουν αρχικά οι γραμμές που εκκινούν από τον έναν και καταλήγουν στον άλλο υποσταθμό, ή οι γραμμές που εκκινούν από κάποιον από τους δύο υποσταθμούς και καταλήγουν σε κάποιον ανοικτό διακόπτη στο δίκτυο. Δεν συμπεριλήφθηκαν αναχωρήσεις που εκκινούν από άλλους υποσταθμούς και καταλήγουν στους δύο υπο μελέτη υποσταθμούς ,καθώς το ενδιαφέρον της συγκεκριμένης μελέτης εντοπίζεται σε αυτό το κομμάτι του δικτύου.

Έτσι αφού τοποθέτησα τους δύο ζυγούς αναφοράς έναν για τον υποσταθμό Μπότσαρη και έναν για τον Ν.Ελβετία ξεκίνησα να τοποθετώ διαδοχικά τις γραμμές ακολουθώντας το λειτουργικό σχέδιο και φροντίζοντας να καταχωρώ τους Feeders σε ξεχωριστά Cubicles (Cub) για να αποφευχθεί κάποιο μπερδεμα στο δίκτυο. Πέραν των γραμμών που εκκινούν από τον έναν υποσταθμό και καταλήγουν στον άλλον συνδεδεμένες με έναν διακόπτη πριν και έναν μετά την αναχώρηση υπήρχαν και γραμμές που ενώ ξεκινούν από κάποιον υποσταθμό συνδέονται σε κάποια θέση του δικτύου με κάποια άλλη γραμμή ή με κάποιον ζυγό φορτίου (junction node). Στις συγκεκριμένες περιπτώσεις κάποιες φορές η σύνδεση γίνεται με διακόπτη και άλλες με απευθείας σύνδεση της γραμμής στο στοιχείο του δικτύου που μας υποδεικνύει το λειτουργικό σχέδιο.

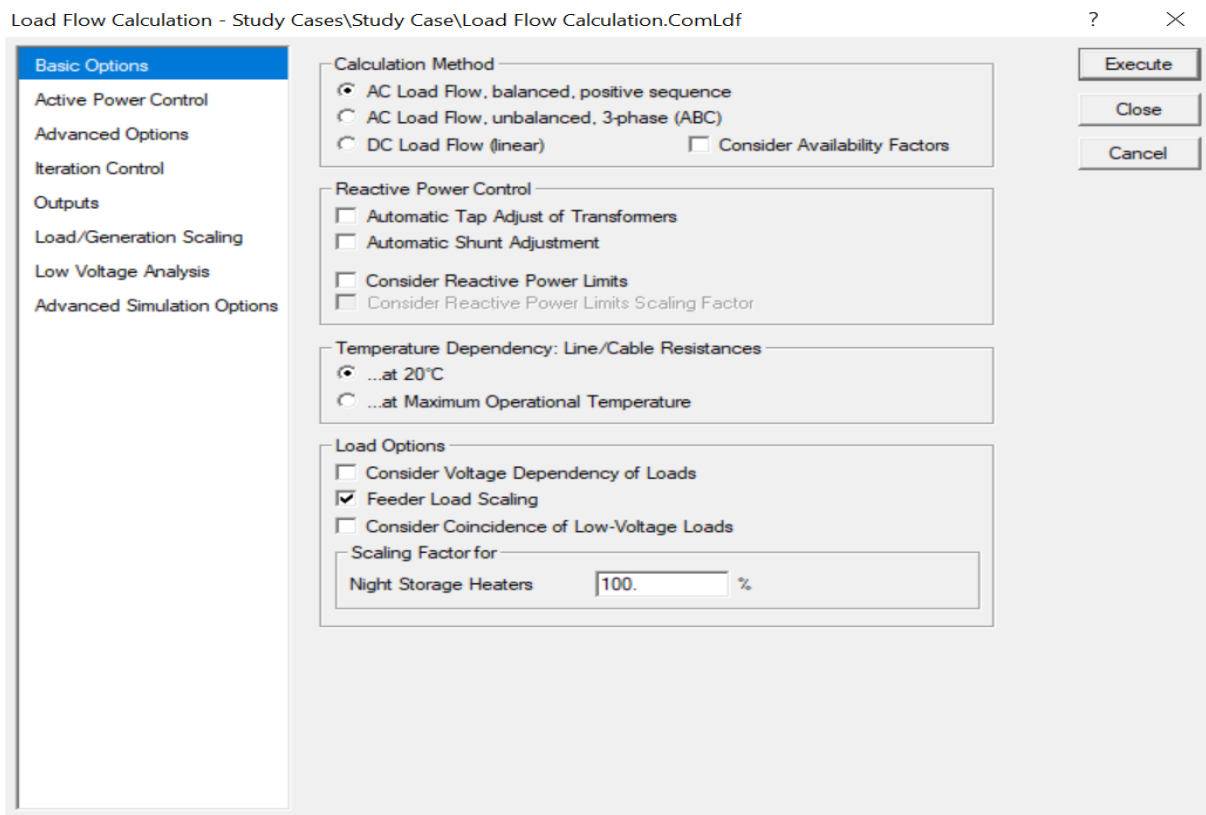
Κατα διαστήματα στη διάρκεια του σχεδιασμού ήταν απαραίτητο να διενεργείται ροή φορτίου για να εξασφαλίσουμε την ορθότητα του σχεδιασμού έως εκείνη την στιγμή.

Η ροή φορτίου είναι μία διαδικασία που εκτελείται τυπικά και εύκολα στο PowerFactory με πληθώρα επιλογών παραμέτρων στις ρυθμίσεις της. Ωστόσο, η διόρθωση του δικτύου σε περίπτωση που η ροή φορτίου δεν έδινε τα αναμενόμενα αποτελέσματα αποτελούσε μια πιο δύσκολη διαδικασία με διάφορες δοκιμές που πρέπει κανείς να εκτελέσει για να εντοπίσει το πρόβλημα. Το λογισμικό, ωστόσο, παρέχει κάποια εργαλεία ανίχνευσης σφαλμάτων όπως για παράδειγμα το radiality check που μετά από επιλογή το πρόγραμμα χρωματίζει με χρώμα της

επιλογής μας σημεία στο δίκτυο που έχει παραβιαστεί ο ακτινικός χαρακτήρας του δικτύου. Κλασική περίπτωση ενός τέτοιου σφάλματος για παράδειγμα είναι σε ένα τμήμα του δικτύου να υπάρχει διπλή γραμμή πράγμα που το λογισμικό το αντιλαμβάνεται ως ανωμαλία του δικτύου, εάν δεν έκανες τις απαραίτητες ρυθμίσεις, δηλαδή να δηλώσεις ότι στο συγκεκριμένο τμήμα υπάρχουν δύο παράλληλες γραμμές τις οποίες πιθανόν να αντιλαμβάνεται σαν μία.

Καθώς και άλλες περιπτώσεις παραβίασης της ακτινικής μορφής του δικτύου που έχουν να κάνουν με σχεδιαστικά λάθη αλλά και δυσκολίες που οφείλονται στη μορφή του δικτύου αυτού καθεαυτού και δεν έχει ιδιαίτερο νόημα να αναφερθούν.

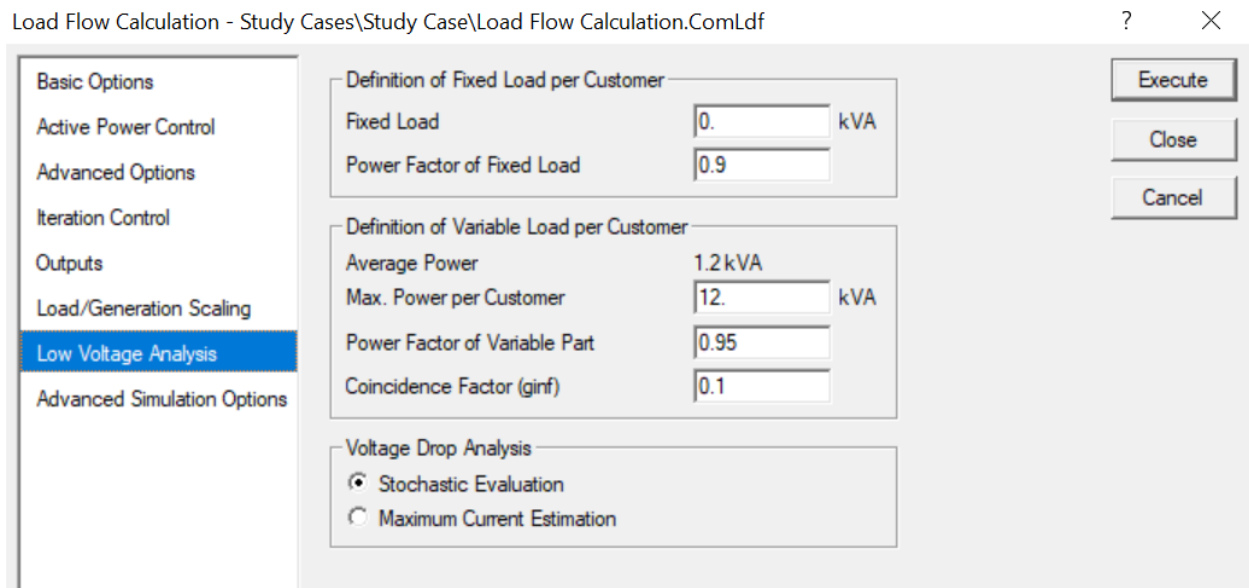
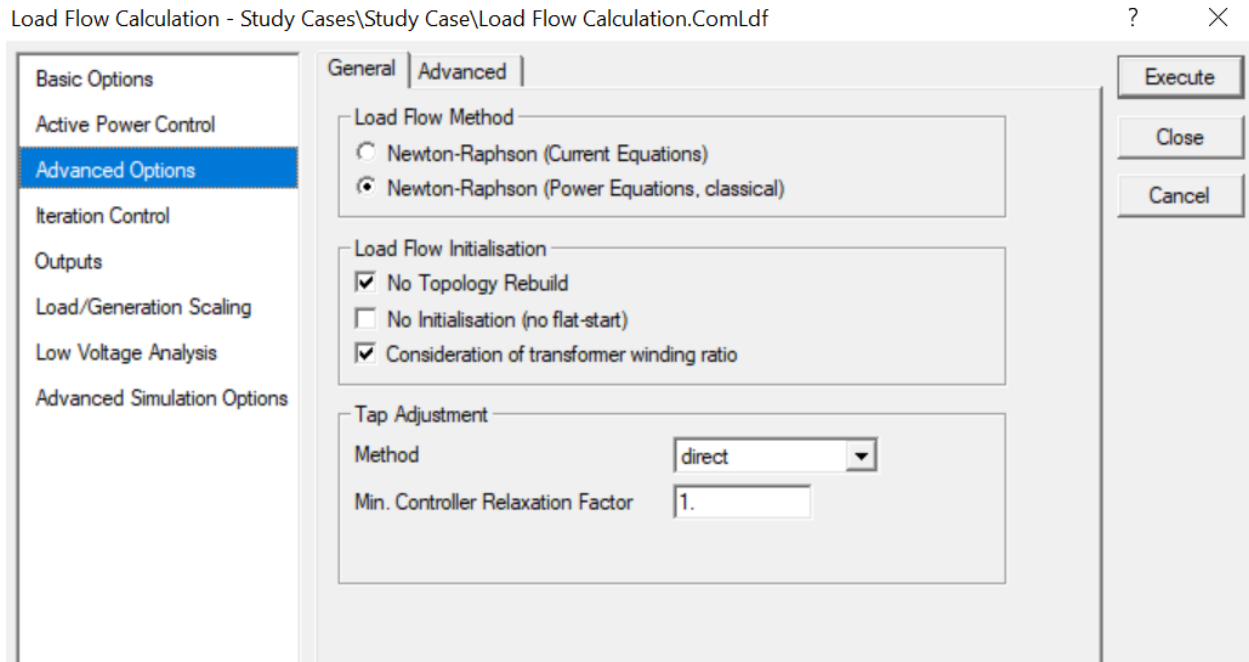
Όσον αφορά στη ροή φορτίου παρατίθενται κάποιες εικόνες παρακάτω για περαιτέρω κατανόηση.



Όπως φαίνεται υπάρχει μία πληθώρα επιλογών που μπορεί κανείς να ρυθμίσει πριν εκτελέσει την ροή φορτίου σύμφωνα με την μορφή και τις απαιτήσεις του δικτύου του.

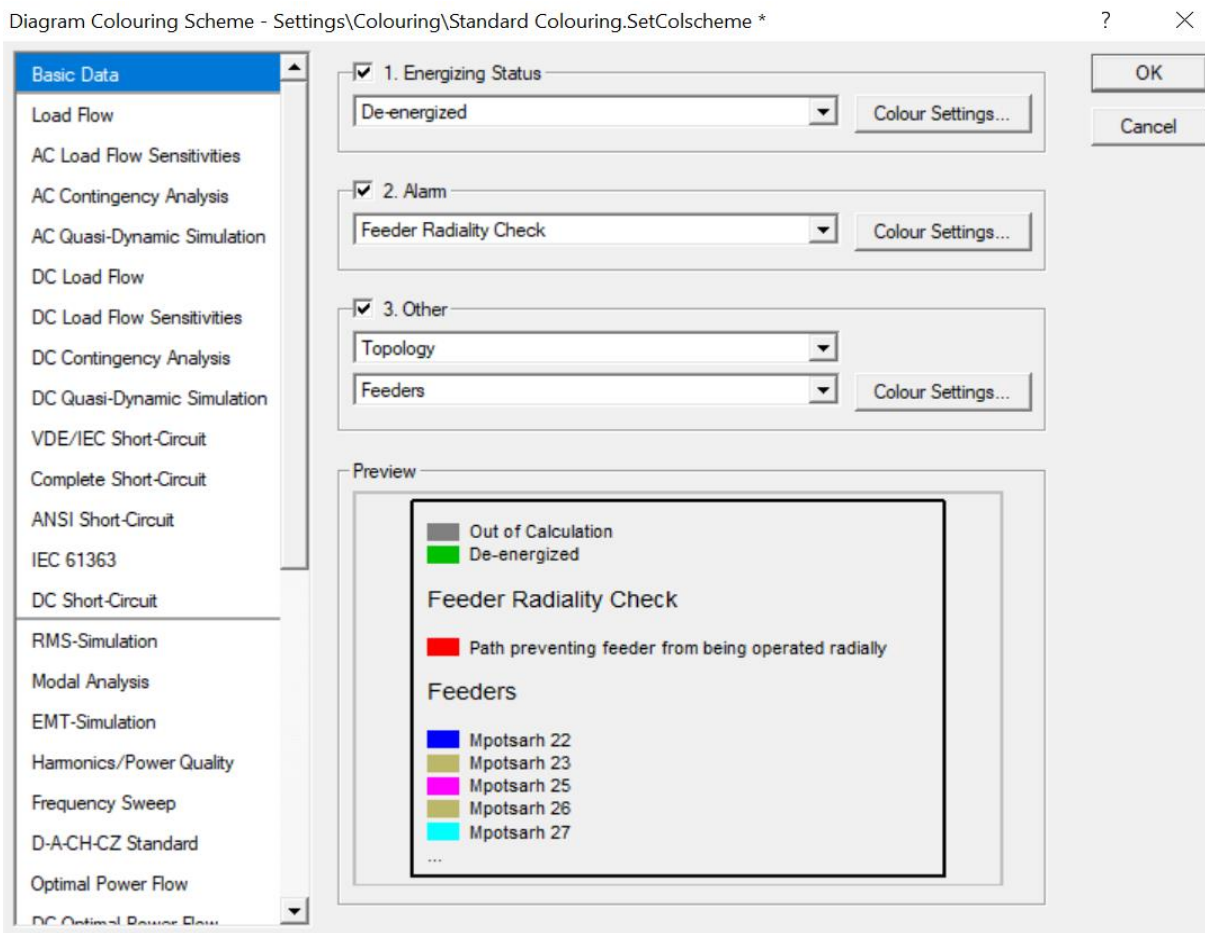
Συγκεκριμένα κάποιες επιλογές που έκανα ενδεικτικά πέραν αυτών που φαίνονται είναι οι παρακάτω:

Επιλέξαμε τις κλασικές εξισώσεις ισχύος της επαναληπτικής μεθόδου Newton-Raphson όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως λόγω της πολυπλοκότητας του δικτύου παρέχεται η επιλογή διαφορετικού χρώματος σε κάθε feeder, το οποίο επί της ουσίας υποδεικνύει το έβρος τροφοδοσίας του.

Αυτή η λειτουργία αποτέλεσε σημαντική διευκόλυνση, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλούς ελέγχους, όπως φαίνεται ενδεικτικά στην παρακάτω εικόνα.



Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε χρωματική επιλογή στην κατάσταση ενέργειας, στον έλεγχο ακτινικότητας και διαφορετικό χρώμα για να ξεχωρίζουμε τις γραμμές τροφοδοσίας (feeders).

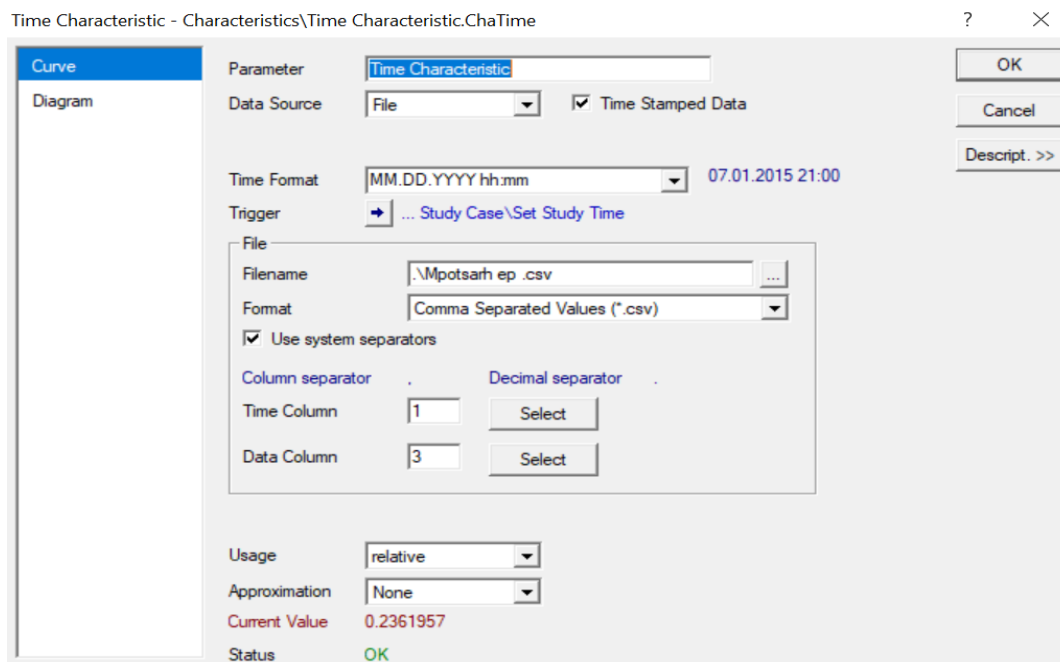


### 7.3 Εύρεση ανοιχτών σημείων στο δίκτυο (Tie Open Point Optimization)

Αρχικά προτού εκτελέσω την λειτουργία TOPO ασχολήθηκα με την επεξεργασία των δεδομένων των φορτίων που μου δόθηκαν από τον ΔΕΔΔΗΕ, καθώς για την συγκεκριμένη λειτουργία ήταν σημαντικό να δώσω στο δίκτυο πραγματικές τιμές φορτίων. Συνεπώς μου παραχωρήθηκαν δύο Excel με τα δεδομένα των φορτίων ένα για καθέναν υποσταθμό, στα οποία τα δεδομένα αφορούσαν ολόκληρο το έτος 2015 και περιέχουν τα φορτία όλου τους έτους ανά μισή ώρα.

Όσον αφορά στην επεξεργασία του, βρήκα το συνολικό φορτίο για καθέναν υποσταθμό ανά μισή ώρα στη συνέχεια και έπειτα το συνολικό και για τους δύο υποσταθμούς. Από τα συνολικά αυτά φορτία επέλεξα τέσσερις αιχμές δύο χειμερινές (πρωινή-βραδινή) και δύο καλοκαιρινές (πρωινή-βραδινή), για τις τέσσερις αυτές αιχμές θα εκτελέσουμε και την λειτουργία για την εύρεση των βέλτιστων ανοικτών σημείων.

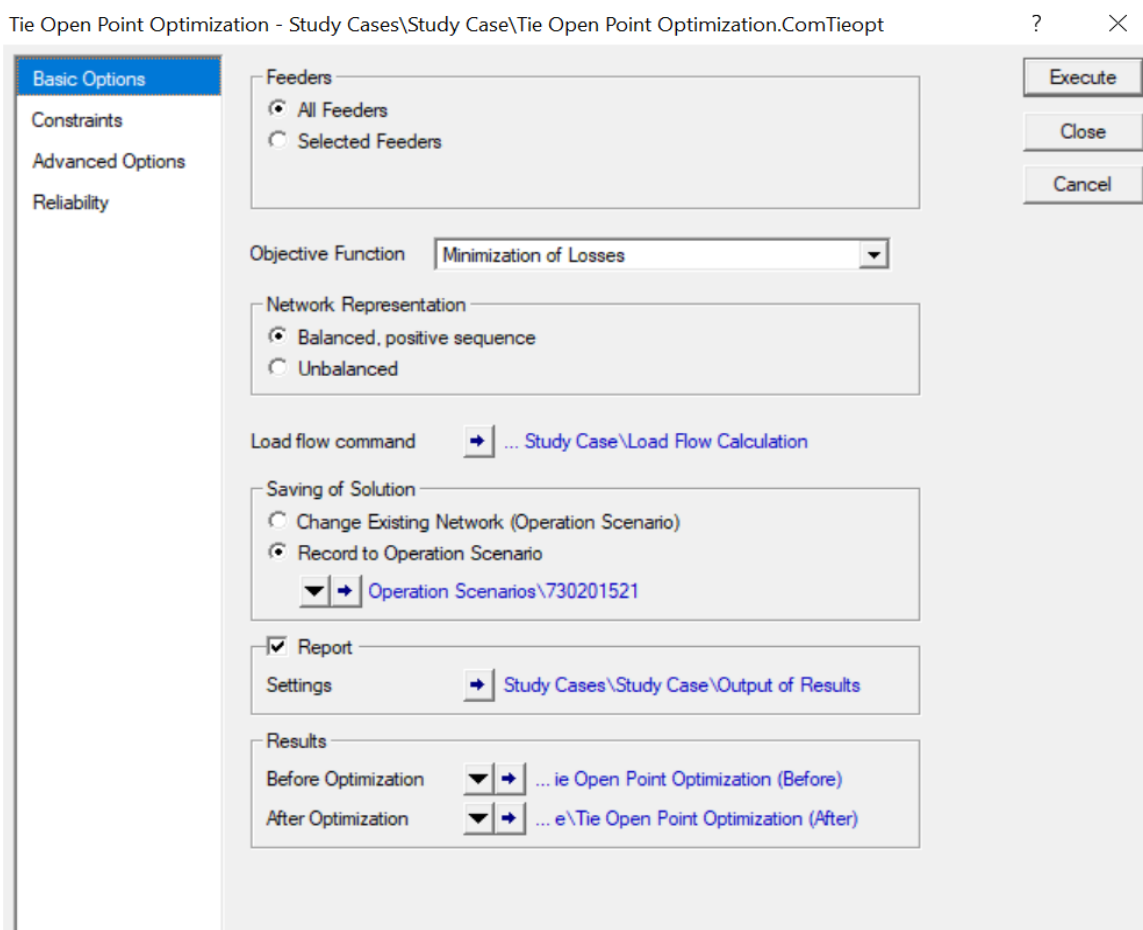
Για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε αυτή την σύζευξη με τον χρόνο ήταν απαραίτητη η δημιουργία Time Characteristics. Πρόκειται για μία ρύθμιση που βρίσκεται στην Operational Library του Project και πρέπει να γίνει για κάθε feeder. Επί της ουσίας δίνουμε την δυνατότητα στο πρόγραμμα να αντλεί τις τιμές των φορτίων ανά χρονική στιγμή (στην συγκεκριμένη περίπτωση η ελάχιστη χρονική στιγμή είναι το μισάωρο) από το excel που είναι καταχωρημένα τα δεδομένα.



Το μόνο που διαφέρει για κάθε διαφορετικό Feeder του κάθε υποσταθμού είναι ότι αλλάζει η στήλη των δεδομένων (data column), ενώ για κάποιον άλλο υποσταθμό τουλάχιστον στη περίπτωση μας πρέπει να αλλάξει και ο φάκελος άντλησης των δεδομένων.

Αφού γίνουν τα παραπάνω πρὶν ἀκόμα γίνει το TOPO πρέπει να εκτελέσουμε την διαδικασία Backbone Calculation, λειτουργία η οποία βρίσκεται εξίσου στα distribution Network Tools ὡπως και το TOPO. Αυτό που επιδιώκουμε μέσω της συγκεκριμένης λειτουργίας είναι να εντοπισθούν ὅλοι οι δυνατοὶ “δρόμοι” και είναι ἀπαραίτητο πρὶν το TOPO.

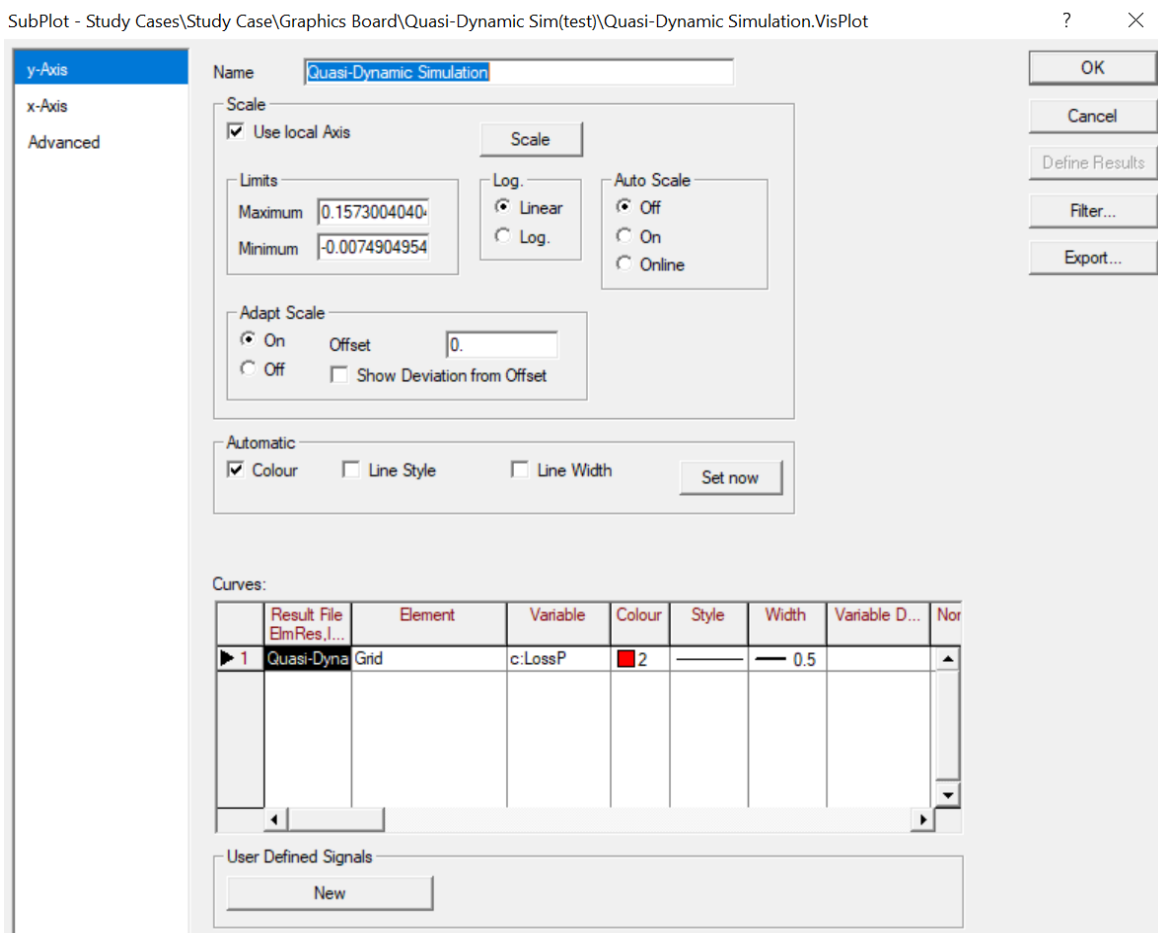
Ἐτσι καταλήγουμε στην διαδικασία εὐρέσης των βέλτιστων ανοικτῶν σημείων, στη συγκεκριμένη περίπτωση θα εξεταστούν τέσσερα σενάρια-περιπτώσεις για τέσσερις αιχμές που ἔχουμε ἐπιλέξει ὡπως προαναφέρθηκε.



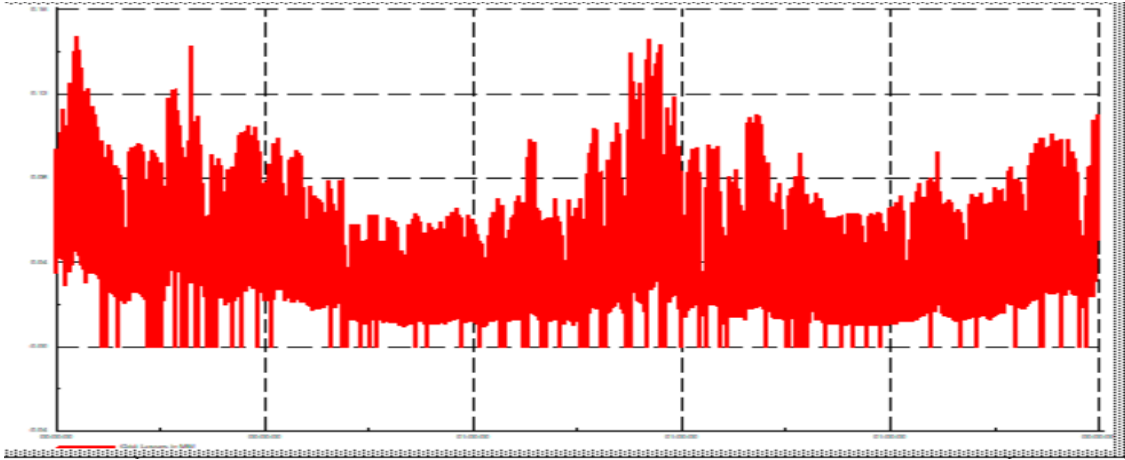
Ὅπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα ο βασικὸς περιορισμὸς που μας ἐνδιαφέρει εἶναι η ελαχιστοποίηση των ἀπωλειῶν. Εκτελούμε, λοιπόν, τα τέσσερα TOPO και για κάθε ἓνα καθορίζουμε στις χρονικὲς ρυθμίσεις, την ημερομηνία και την ὥρα της αιχμῆς και φυσικὰ τα ἀποθηκεύουμε σε διαφορετικὰ Operation Scenario.

Το βασικό κριτήριο επιλογής της βέλτιστης αναδιάταξης στην περίπτωση μας είναι η μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος. Από τα αποτελέσματα της λειτουργίας TOPO που διενεργήσαμε προέκυψε πως στη χειμερινή μεσημεριανή αιχμή με την αναδιάταξη που προκύπτει από το πρόγραμμα πετυχαίνουμε 39.25% μείωση των απωλειών, στην χειμερινή βραδινή 37.44 % μείωση, στην καλοκαιρινή μεσημεριανή 30.53 % και η καλοκαιρινή βραδινή 30.56% μείωση.

Ωστόσο, μας ενδιαφέρει η καινούρια διάταξη που θα προκύψει να δημιουργεί την καλύτερη συνολική μείωση των απωλειών σε όλο το έτος και όχι μόνο με βάση τα φορτία στην ώρα της αιχμής. Για αυτό το λόγο για κάθε ένα από τα τέσσερα TOPO που δημιουργήσαμε τρέχουμε ένα Quasy Dynamic Simulation με τα δεδομένα φορτίων για όλο το έτος 2015.



Στο Quasi-Dynamic Simulation βάζουμε ως μεταβλητή το LossP δηλαδή της απώλειες ενεργούς ισχύος και αφού τρέξει προκύπτει ένα διάγραμμα όπου στον κάθετο άξονα είναι οι απώλειες και στον οριζόντιο ο χρόνος όπως παρακάτω.

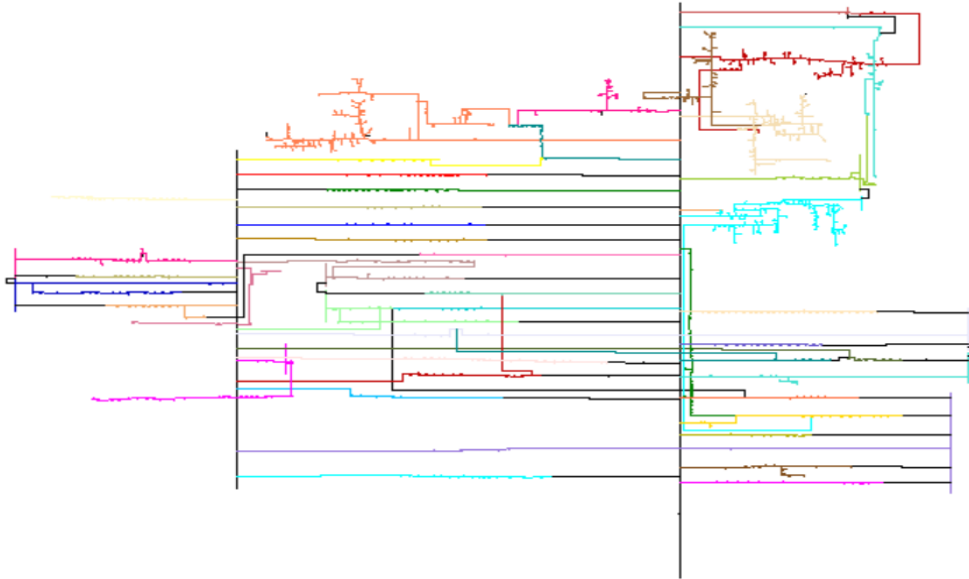


#### 7.4 Επιλογή βέλτιστης αναδιάταξης

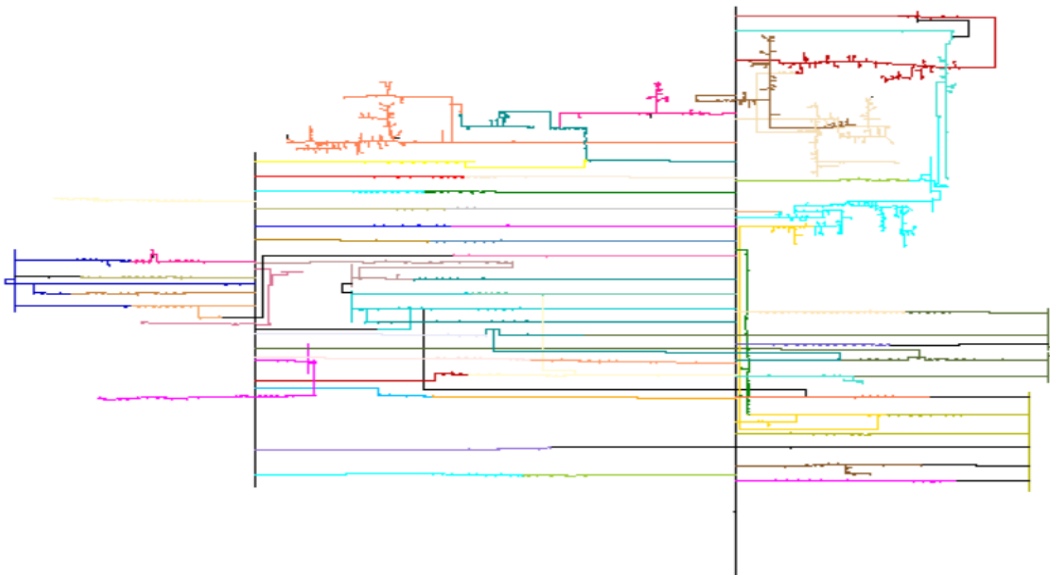
Επειδή απο την μορφή του διαγράμματος δεν μπορούμε να βγάλουμε εύκολα συμπεράσματα για τα επίπεδα των απωλειών και πόσο μάλλον να επεξεργαστούμε τα αποτελέσματα, κάνουμε εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε ένα αρχείο της μορφής .csv για κάθε Quasi Dynamic Simulation και έπειτα συγκεντρώνουμε όλα τα αποτελέσματα σε ένα excel. Η πρώτη στήλη αντιστοιχεί σε αυτή του χρόνου που ξεκινά απο 01/01/2015 στις 24:00 και καταλήγει 12/31/2015 με βήμα μία ώρα. Στις επόμενες στήλες τοποθετούμε τα δεδομένα των απωλειών ανά αιχμή και σε μία στήλη τα δεδομένα των απωλειών που είχε το δίκτυο πριν προκύψει κάποια αναδιάταξη. Στη συνέχεια βρίσκουμε τις συνολικές απώλειες ενεργούς ισχύος ανά σενάριο αναδιάταξης και υπολογίζουμε την μεταβολή των απωλειών από την αρχική κατάσταση σε σχέση με καθεμία αναδιάταξη. Από αυτή την διαδικασία προέκυψε ότι την μεγαλύτερη μείωση σε επίπεδο έτους την πετυχαίνουμε αν εφαρμόσουμε την αναδιάταξη που προκύπτει απο το TOPO στην περίπτωση της μεσημεριανής καλοκαιρινής αιχμής.

	01.08.2015 15:30 TOPO	01.08.2015 20:30 TOPO	<b>07.21.2015 14:30 TOPO</b>	07.30.2015 21:00 TOPO	BASELINE
<b>Σύνολο Απωλειών(MWh)</b>	1708.36	1705.95	1629.74	1643.47	2430.53
<b>Μείωση στην αιχμή</b>	39.25%	37.44%	30.53%	30.56%	-
<b>Απώλειες Οκτώβριος- Μάρτιος(MWh)</b>	928.24	927.46	904.73	906.49	1387.13
<b>Απώλειες Απρίλιος- Σεπτέμβριος(MWh)</b>	780.12	778.5	725.01	736.97	1043.4
<b>Μείωση Οκτώβριος- Μάρτιος</b>	33.08%	33.14%	34.78%	34.65%	-
<b>Μείωση Απρίλιος- Σεπτέμβριος</b>	25.23%	25.39%	30.51%	29.37%	-
<b>Συνολική Μείωση</b>	29.71%	29.81%	<b>32.95%</b>	32.38%	

#### 7.4.1 ΑΡΧΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ



#### 7.4.2 ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΔΙΑΤΑΞΗ ΑΝΟΙΧΤΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ



### 7.4.3 Φορτία ανά μετασχηματιστή πριν και μετά την αναδιάταξη

#### Νέα Ελβετία

Μετασχηματιστής	Αναχώρηση	Πριν	Μετά
<b>1</b>	<b>21</b>	4.48	5.37
	<b>22</b>	0	2.45
	<b>23</b>	0	2.77
	<b>24</b>	0	1.92
	<b>25</b>	4.17	4.07
	<b>26</b>	0	2.03
	<b>27</b>	3.52	3.56
	<b>29</b>	1.98	2.33
	<b>31</b>	0.12	0.12
	<b>33</b>	5.51	4.36
	<b>Σύνολο</b>	<b>19.78</b>	<b>28.98</b>
<b>2</b>	<b>34</b>	2.04	2.04
	<b>35</b>	3.2	3.24
	<b>36</b>	6.54	5.27
	<b>44</b>	2.17	2.17
	<b>45</b>	1	2.23
	<b>Σύνολο</b>	<b>14.95</b>	<b>14.95</b>
<b>3</b>	<b>47</b>	3.9	2.7
	<b>48</b>	3.59	1.41
	<b>50</b>	1.78	1.78
	<b>52</b>	3.39	3.39
	<b>53</b>	6.16	4.39
	<b>54</b>	1.02	2.44
	<b>55</b>	2.62	2.89
	<b>56</b>	2.23	2.23
	<b>57</b>	0	1.45
	<b>59</b>	0	1.7
	<b>61</b>	3.27	3.05
	<b>62</b>	0	2.39
	<b>63</b>	2.17	5.31
	<b>64</b>	0	1.91
<b>65</b>	2.75	2.75	
<b>68</b>	0	1.58	

	<b>69</b>	6.29	4.27
	<b>71</b>	2.29	2.02
	<b>72</b>	3.57	3.57
	<b>73</b>	0	1.66
	<b>Σύνολο</b>	<b>45.03</b>	<b>49.89</b>

### Μπότσαρη

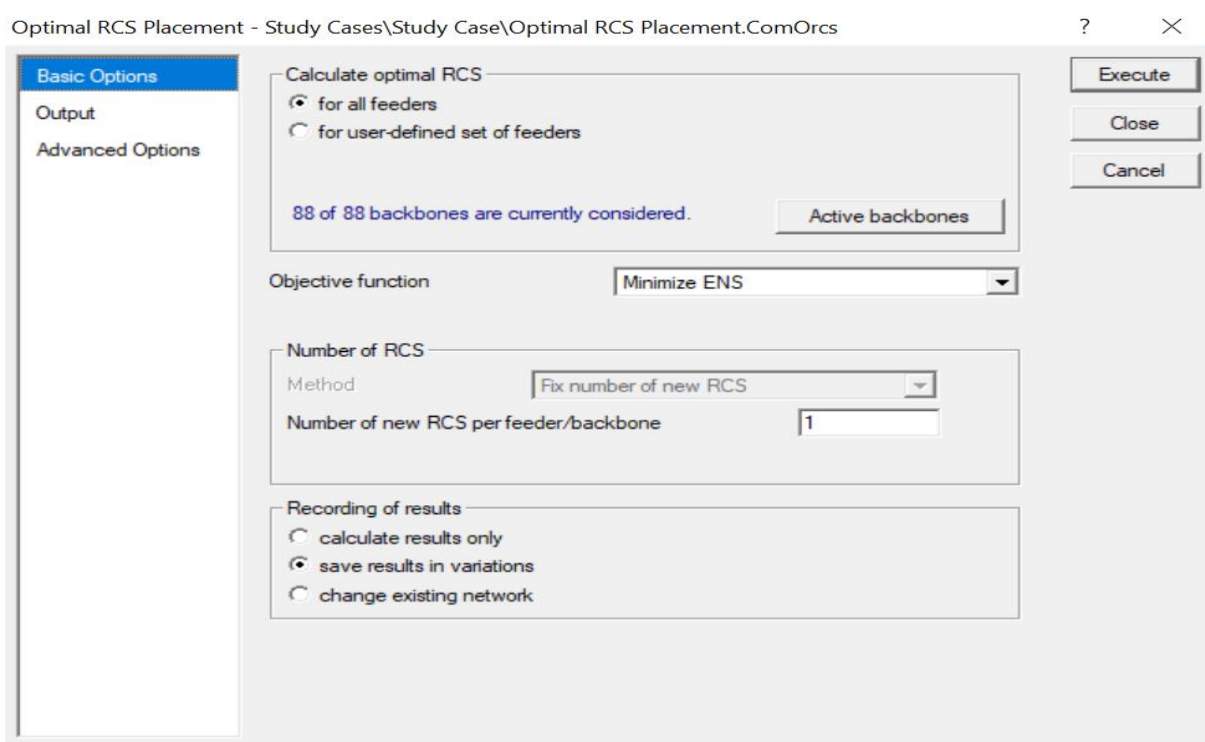
Μετασχηματιστής	Αναχώρηση	Πριν	Μετά
<b>1</b>	<b>22</b>	3.71	1.8
	<b>23</b>	3.71	2.14
	<b>25</b>	4.62	4.62
	<b>26</b>	1.98	1.98
	<b>27</b>	0	2.17
	<b>28</b>	2.29	2.15
	<b>29</b>	0.62	0.62
	<b>31</b>	3.07	1.62
	<b>Σύνολο</b>	<b>20</b>	<b>17.1</b>
<b>2</b>	<b>36</b>	3.6	1.46
	<b>37</b>	4.29	1.9
	<b>39</b>	4.73	3.03
	<b>41</b>	0	3.01
	<b>42</b>	4.29	1.83
	<b>43</b>	4.35	2.32
	<b>44</b>	2.81	1.15
	<b>46</b>	1.65	4.67
	<b>Σύνολο</b>	<b>25.72</b>	<b>19.37</b>
<b>3</b>	<b>49</b>	2.96	2.96
	<b>50</b>	3.77	2.28
	<b>51</b>	3.46	3.46
	<b>52</b>	1.59	1.59
	<b>53</b>	3.85	2.47
	<b>54</b>	3.78	1.86
	<b>56</b>	3.97	0
	<b>Σύνολο</b>	<b>23.38</b>	<b>14.61</b>

Παρατηρούμε πως τα όρια των μετασχηματιστών (50 MW) δεν παραβιάζονται.



## 7.5 Τοποθέτηση τηλεχειριζόμενων διακοπών και έλεγχος αξιοπιστίας

Αφού έχουμε καταλήξει στην βέλτιστη αναδιάταξη περνάμε στο στάδιο τοποθέτησης των τηλεχειριζόμενων διακοπών. Έτσι χρησιμοποιούμε την λειτουργία Remote Control Switch Placement (RCS Placement), ρυθμίζοντας τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας σύμφωνα με τις παραμέτρους που εξυπηρετούν την μελέτη μας.



Στην παραπάνω εικόνα για παράδειγμα φαίνεται μια απο τις επιλογές που έχουμε κάνει στην συγκεκριμένη λειτουργία, που είναι η τοποθέτηση ενός τηλεχειριζόμενου διακόπτη πέραν των υπαρχόντων και τα αποτελέσματα να αποθηκεύονται σε variations προκειμένου να μπορούμε να ενεργοποιήσουμε, όποτε επιθυμούμε τους τηλεχειριζόμενους διακόπτες για να κάνουμε κάποια δοκιμή με ή χωρίς αυτούς.

Πρέπει να σημειωθεί πως στο δίκτυο προϋπήρχαν κάποιοι τηλεχειριζόμενοι διακόπτες στις αναχωρήσεις των υποσταθμών για να μπορεί γράψαμε στην αντίστοιχη βιβλιοθήκη ένα μικρό script που κάνει αυτόν το διαχωρισμό.

Μία άλλη επιλογή που κάναμε όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα είναι ο χρόνος ανταπόκρισης του διακόπτη που στην περίπτωση του χειροκίνητου τον θέσαμε 15 λεπτά όση είναι δηλαδή περίπου η μέση ώρα που χρειάζεται το συνεργείο για να φτάσει και να τον ανοίξει, ενώ στην περίπτωση του τηλεχειριζόμενου η απαιτούμενη ώρα ανταπόκρισης είναι 1 λεπτό.

Optimal RCS Placement - Study Cases\Study Case\Optimal RCS Placement.ComOrcs \*

Basic Options  
Output  
Advanced Options

RCS placement  
 on selected backbones simultaneously  
 for selected backbones separately

Backbones for RCS placement  
 all backbones of feeder  
 only for backbones of order N <=

Detailed output of results

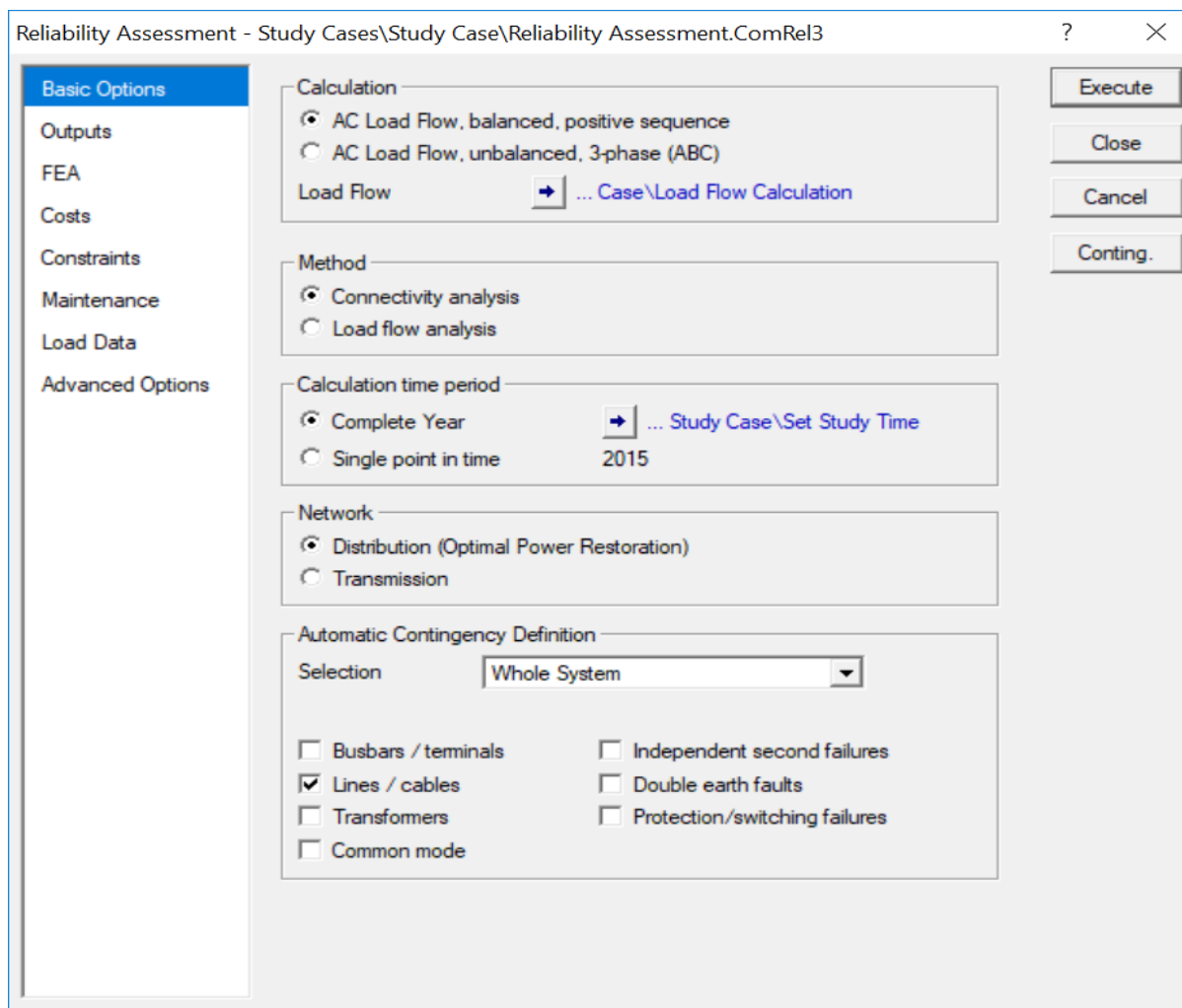
Switching Time  
Time to actuate RCS  min.  
Time to actuate manual switches  min.

Load flow calculation [...oad Flow Calculation](#)

Execute  
Close  
Cancel

## 7.6 Έλεγχος αξιοπιστίας

Η λειτουργία που μας βοηθάει να εκτελέσουμε τον έλεγχο αξιοπιστίας είναι το Reliability Assessment, λειτουργία που έχει μια πληθώρα ρυθμίσεων και επιλογών όπως φαίνεται και παρακάτω.



Μία απο τις σημαντικότερες ρυθμίσεις είναι αυτή του Load Data. Προκειμένου να εκτελεστεί η αξιολόγηση αξιοπιστίας είναι απαραίτητη η δημιουργία κάποιων Load States στα οποία καταχωρούμε την πιθανότητα εμφάνισης των φορτίων του έτους 2015, αφού πρώτα ομαδοποιήσουμε τα φορτία και κάνουμε τους απαραίτητους υπολογισμούς στο excel. Αυτό γίνεται κυρίως για απλούστευση των υπολογισμών που θα κληθεί να εκτελέσει το πρόγραμμα και για μεγαλύτερη ταχύτητα εκτέλεσης.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η μορφή των Load States.

	Loads	Peak	Unit	
1	Load_A-5x	0.38	MW	
2	Load_A-5x	0.1249	Mvar	
3	Load_A-248x	0.7125	MW	
4	Load_A-248x	0.23418	Mvar	
5	Load_A-250	0.5985	MW	
6	Load_A-250	0.19671	Mvar	
7	Load_A-246	1.0735	MW	
8	Load_A-246	0.35284	Mvar	
9	Load_A-305	0.95	MW	
10	Load_A-305	0.31225	Mvar	
11	Load_A-311	0.5985	MW	

	1	2	3	4
► Probability [%]	0.206733	4.99114	21.89604	50.2776
Load_A-5x [MW]	0.38	0.3135	0.2565	0.1
Load_A-5x [Mvar]	0.1249	0.103042	0.084307	0.0624
Load_A-248x [MW]	0.7125	0.587812	0.480937	0.3562
Load_A-248x [Mvar]	0.234187	0.193204	0.158076	0.11709
Load_A-250 [MW]	0.5985	0.493762	0.403987	0.2992
Load_A-250 [Mvar]	0.196717	0.162291	0.132784	0.09835
Load_A-246 [MW]	1.0735	0.885637	0.724612	0.5367
Load_A-246 [Mvar]	0.352842	0.291094	0.238168	0.17642
Load_A-305 [MW]	0.95	0.78375	0.64125	0.47
Load_A-305 [Mvar]	0.31225	0.257606	0.210768	0.15612
Load_A-311 [MW]	0.5985	0.493762	0.403987	0.2992

Για να διαμορφώσουμε τα load states και επομένως τις πιθανότητες εμφάνισης φορτίων ανά ομάδες αρχικά δημιουργούμε μια στήλη με το συνολικό φορτίο ανά γραμμή διανομής για όλο το έτος 2015 με τα δεδομένα που έχουμε δηλαδή ανά μισή ώρα. Στη συνέχεια, κατατάσσουμε τα φορτία σε 5 κατηγορίες σε σχέση με το σε τι ποσοστό της μέγιστης αιχμής (5432.61 A) αντιστοιχούν.

Οι κατηγορίες αυτές ήταν:

- 0.9-1
- 0.75-0.9
- 0.5-0.75
- 0.25-0.5
- 0-0.25

Στη συνέχεια βρήκαμε το πλήθος των φορτίων όλου του δικτύου που αντιστοιχούν σε καθεμία από αυτές τις κατηγορίες και μετά από αυτό αναλογά με το πλήθος φορτίων που είχε κάθε κατηγορία σε σχέση με τα συνολικά φορτία υπολογίσαμε την πιθανότητα εμφάνισης ενός στοιχείου από κάθε κατηγορία.

Για να ελέγξουμε την αξιοπιστία σε σχέση με τους τηλεχειριζόμενους διακόπτες εκτελέσαμε 6 διαφορετικά σενάρια:

1. Έλεγχος αξιοπιστίας (Reliability Assessment) στο αρχικό δίκτυο χωρίς τηλεχειριζόμενους διακόπτες(RCS).
2. Έλεγχος αξιοπιστίας (Reliability Assessment) στο αρχικό δίκτυο με έναν (επιπλέον) τηλεχειριζόμενο διακόπτη(RCS).
3. Έλεγχος αξιοπιστίας (Reliability Assessment) στο αρχικό δίκτυο με δύο (επιπλέον) τηλεχειριζόμενους διακόπτες(RCS).
4. Έλεγχος αξιοπιστίας (Reliability Assessment) στο δίκτυο με την βέλτιστη αναδιάταξη που επιλέξαμε από το TOPO χωρίς τηλεχειριζόμενους διακόπτες(RCS).
5. Έλεγχος αξιοπιστίας (Reliability Assessment) στο δίκτυο με την βέλτιστη αναδιάταξη που επιλέξαμε από το TOPO με ένα τηλεχειριζόμενο διακόπτη(RCS).
6. Έλεγχος αξιοπιστίας (Reliability Assessment) στο δίκτυο με την βέλτιστη αναδιάταξη που επιλέξαμε από το TOPO με δύο τηλεχειριζόμενους διακόπτες(RCS).

Όσον αφορά στον έλεγχο της αξιοπιστίας οι δείκτες που μας απασχολούν είναι οι :

- **ENS** (Energy Not Supplied)
- **SAIFI** (δείχνει πόσες διακοπές υφίσταται ένας μέσος πελάτης σε έναν χρόνο)
- **SAIDI** (μετράει πόσες ώρες εκτός λειτουργίας θα βιώσει ένας μέσος πελάτης μέσα σε ένα έτος)

Αναλυτικότερα τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των 6 σεναρίων που αναφέραμε παραπάνω μέσω της λειτουργίας Reliability Assesment είναι τα παρακάτω:

#### 7.6.1 Έλεγχος αξιοπιστίας στην αρχική διάταξη του δικτύου

- 1) Στην περίπτωση που εκτελούμε έλεγχο αξιοπιστίας στην αρχική τοπολογία του δικτύου (BASELINE Scenario) χωρίς να επιλέξουμε την τοποθέτηση περαιτέρω τηλεχειριζόμενων διακοπών από τους ήδη υπάρχοντες προκύπτουν, οι παρακάτω τιμές για τους τρεις δείκτες αξιοπιστίας που μας ενδιαφέρουν :

$$\text{SAIFI} = 0.401051 \text{ I/Ca}$$

$$\text{SAIDI} = 0.685 \text{ h/Ca}$$

$$\text{ENS} = 41.067 \text{ MWh/a}$$

- 2) Στην περίπτωση που εκτελούμε έλεγχο αξιοπιστίας στην αρχική τοπολογία του δικτύου (BASELINE Scenario) έχοντας επιλέξει την τοποθέτηση ενός επιπλέον τηλεχειριζόμενου διακόπτη από τους ήδη υπάρχοντες, προκύπτουν οι παρακάτω τιμές για τους τρεις δείκτες αξιοπιστίας που μας ενδιαφέρουν :

$$\text{SAIFI} = 0.401051 \text{ I/Ca}$$

$$\text{SAIDI} = 0.584 \text{ h/Ca}$$

$$\text{ENS} = 33.757 \text{ MWh/a}$$

- 3) Στην περίπτωση που εκτελούμε έλεγχο αξιοπιστίας στην αρχική τοπολογία του δικτύου (BASELINE Scenario) έχοντας επιλέξει την τοποθέτηση δύο επιπλέον τηλεχειριζόμενων διακοπών απο τους ήδη υπάρχοντες, προκύπτουν οι παρακάτω τιμές για τους τρεις δείκτες αξιοπιστίας που μας ενδιαφέρουν :

$$SAIFI = 0.401051 \text{ I/Ca}$$

$$SAIDI = 0.525 \text{ h/Ca}$$

$$ENS = 29.095 \text{ MWh/a}$$

### 7.6.2 Έλεγχος αξιοπιστίας μετά την αναδιάταξη

- 4) Στην περίπτωση που εκτελούμε έλεγχο αξιοπιστίας στη τοπολογία που προκύπτει μετα την αναδιάταξη (TOPO) χωρίς να επιλέξουμε την τοποθέτηση περαιτέρω τηλεχειριζόμενων διακοπών απο τους ήδη υπάρχοντες προκύπτουν, οι παρακάτω τιμές για τους τρεις δείκτες αξιοπιστίας που μας ενδιαφέρουν:

$$SAIFI = 0.352336 \text{ I/Ca}$$

$$SAIDI = 0.640 \text{ h/Ca}$$

$$ENS = 38.461 \text{ MWh/a}$$

- 5) Στην περίπτωση που εκτελούμε έλεγχο αξιοπιστίας στη τοπολογία που προκύπτει μετα την αναδιάταξη (TOPO) έχοντας επιλέξει την τοποθέτηση ενός επιπλέον τηλεχειριζόμενου διακόπτη απο τους ήδη υπάρχοντες, προκύπτουν οι παρακάτω τιμές για τους τρεις δείκτες αξιοπιστίας που μας ενδιαφέρουν:

$$SAIFI = 0.352336 \text{ I/Ca}$$

$$SAIDI = 0.556 \text{ h/Ca}$$

$$ENS = 31.925 \text{ MWh/a}$$

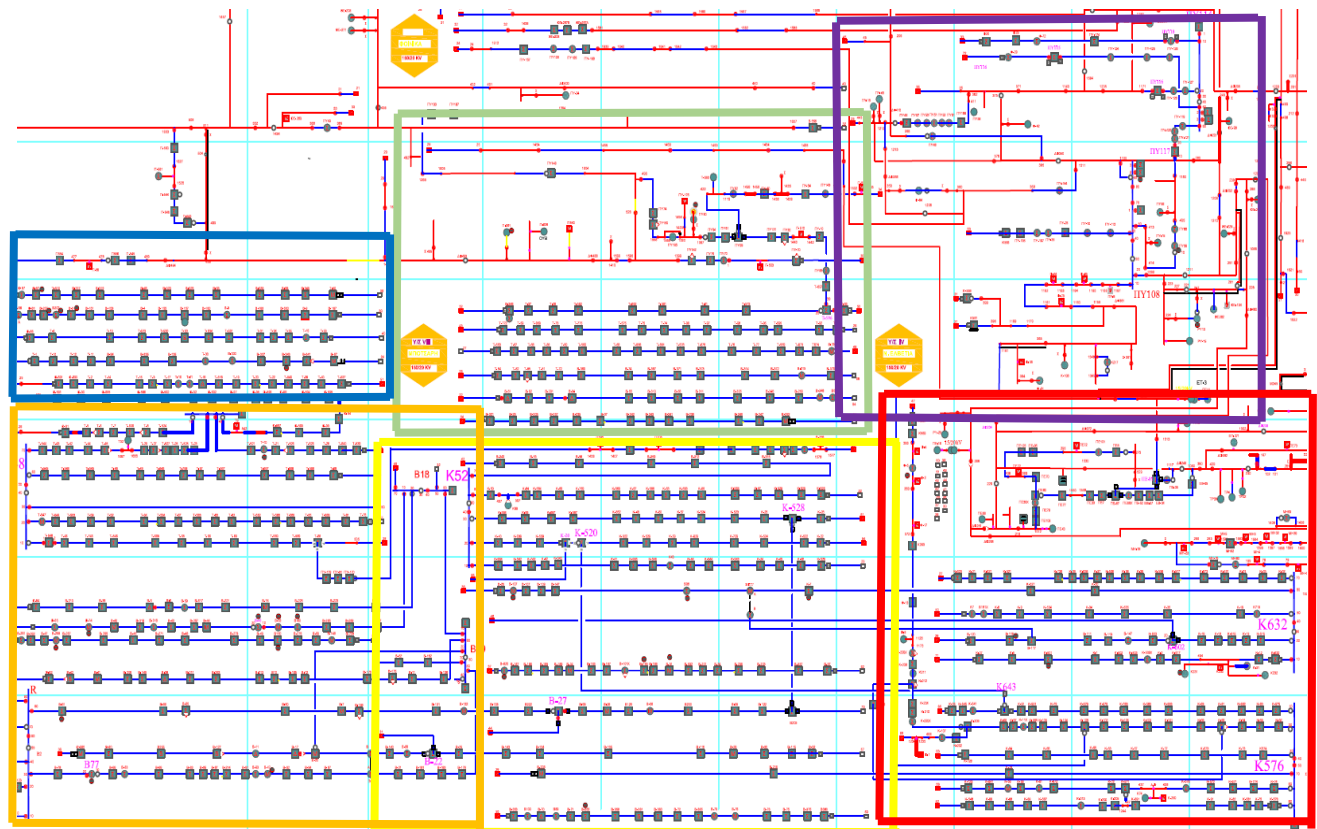
- 6) Στην περίπτωση που εκτελούμε έλεγχο αξιοπιστίας στη τοπολογία που προκύπτει μετα την αναδιάταξη (TOPO) ) έχοντας επιλέξει την τοποθέτηση δύο επιπλέον τηλεχειριζόμενων διακοπών απο τους ήδη υπάρχοντες, προκύπτουν οι παρακάτω τιμές για τους τρεις δείκτες αξιοπιστίας που μας ενδιαφέρουν :

$$SAIFI = 0.352336 \text{ I/Ca}$$

$$SAIDI = 0.519 \text{ h/Ca}$$

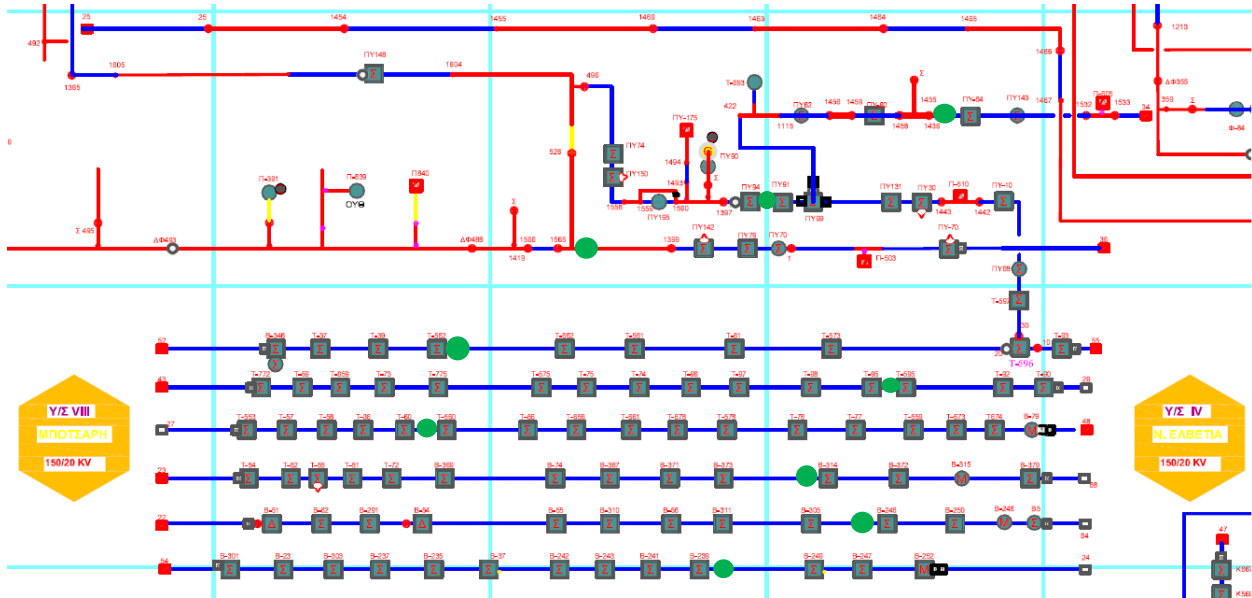
$$ENS = 28.851 \text{ MWh/a}$$

## 7.7 Θέσεις τοποθέτησης τηλεχειριζόμενων διακοπών

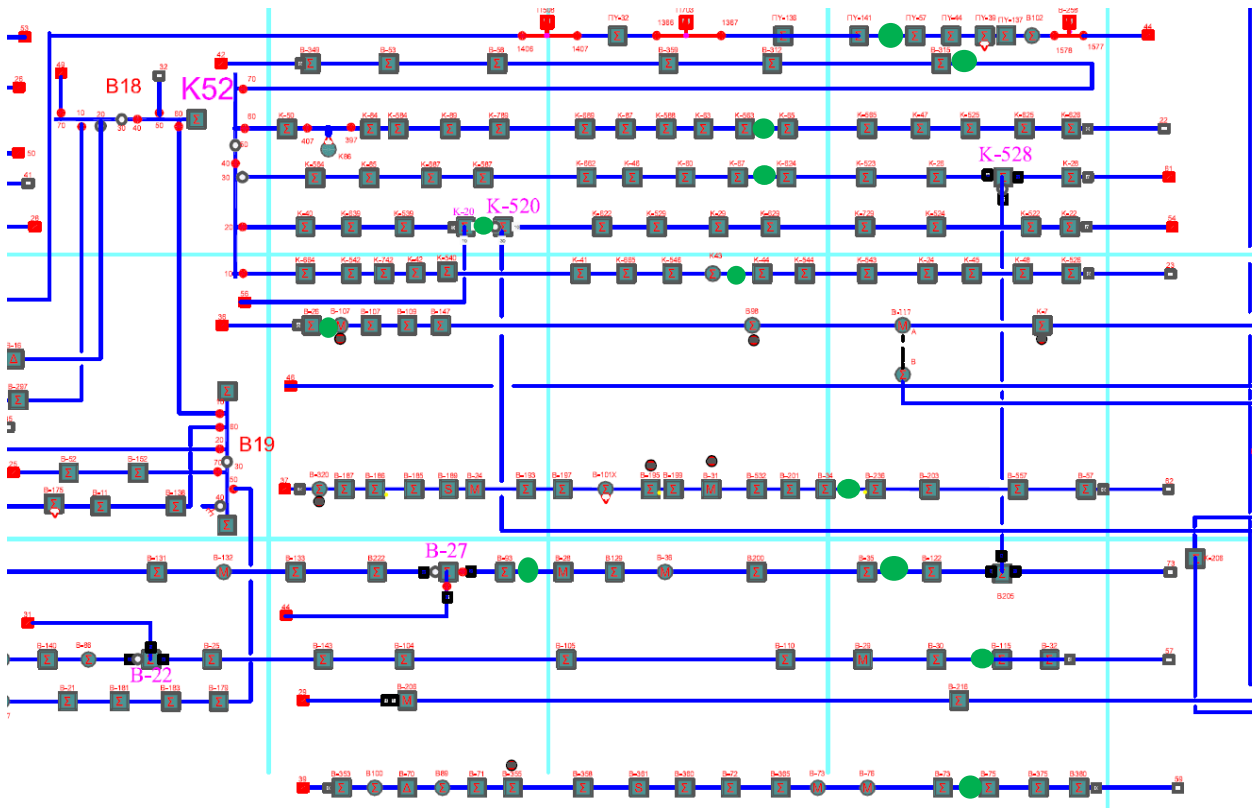




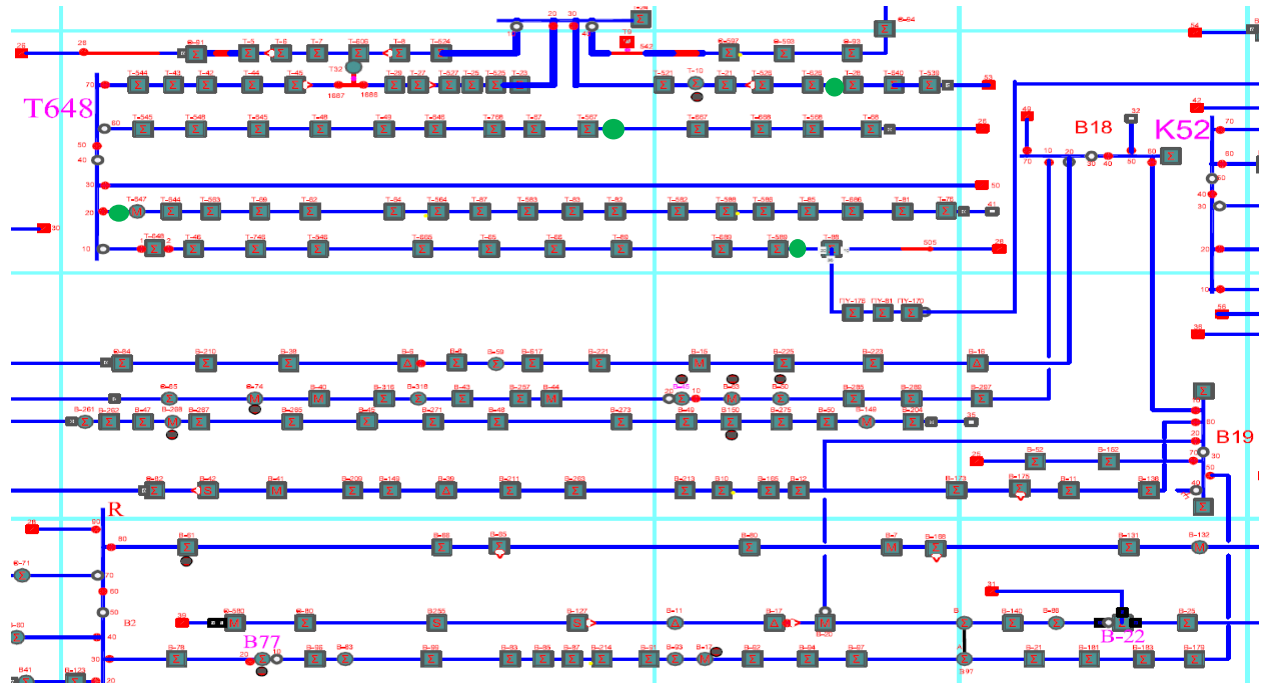
# ΠΕΡΙΟΧΗ 1 ●



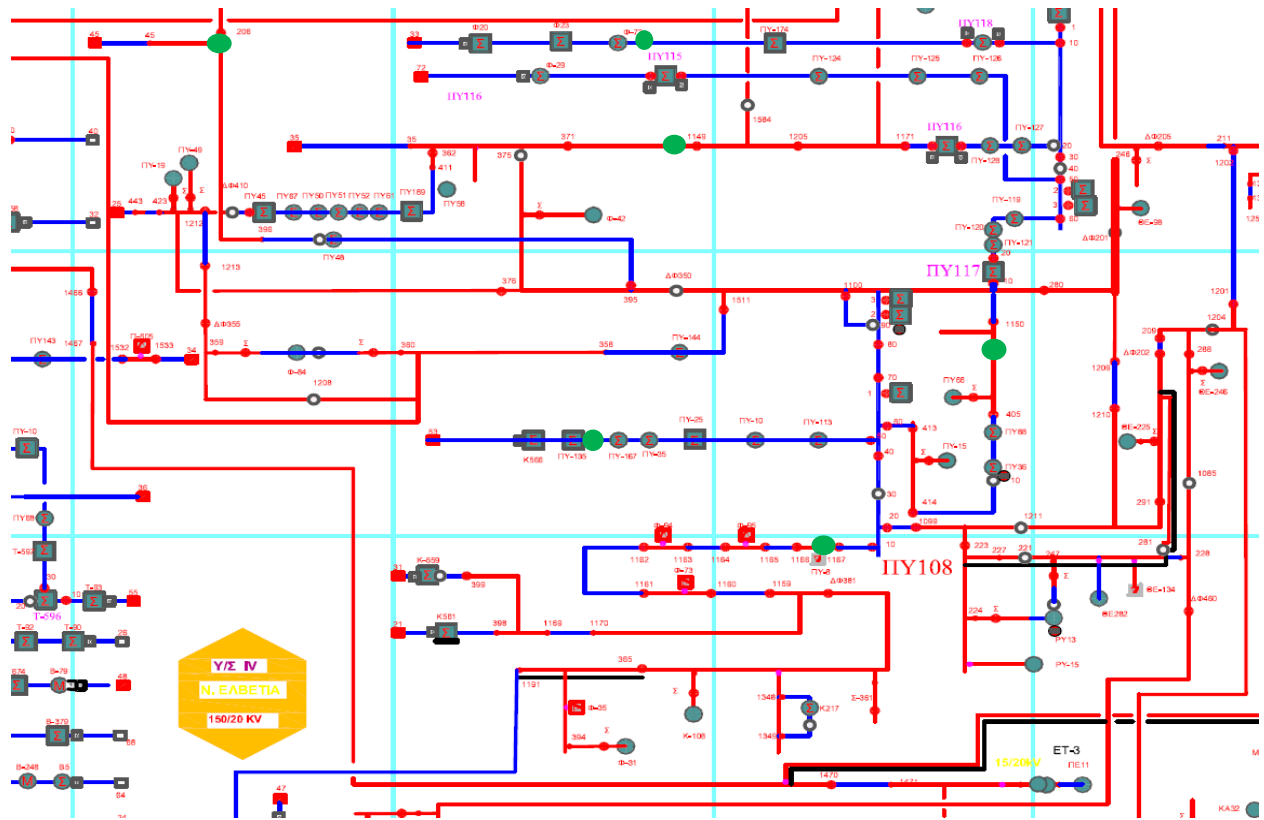
# ΠΕΡΙΟΧΗ 2 ●



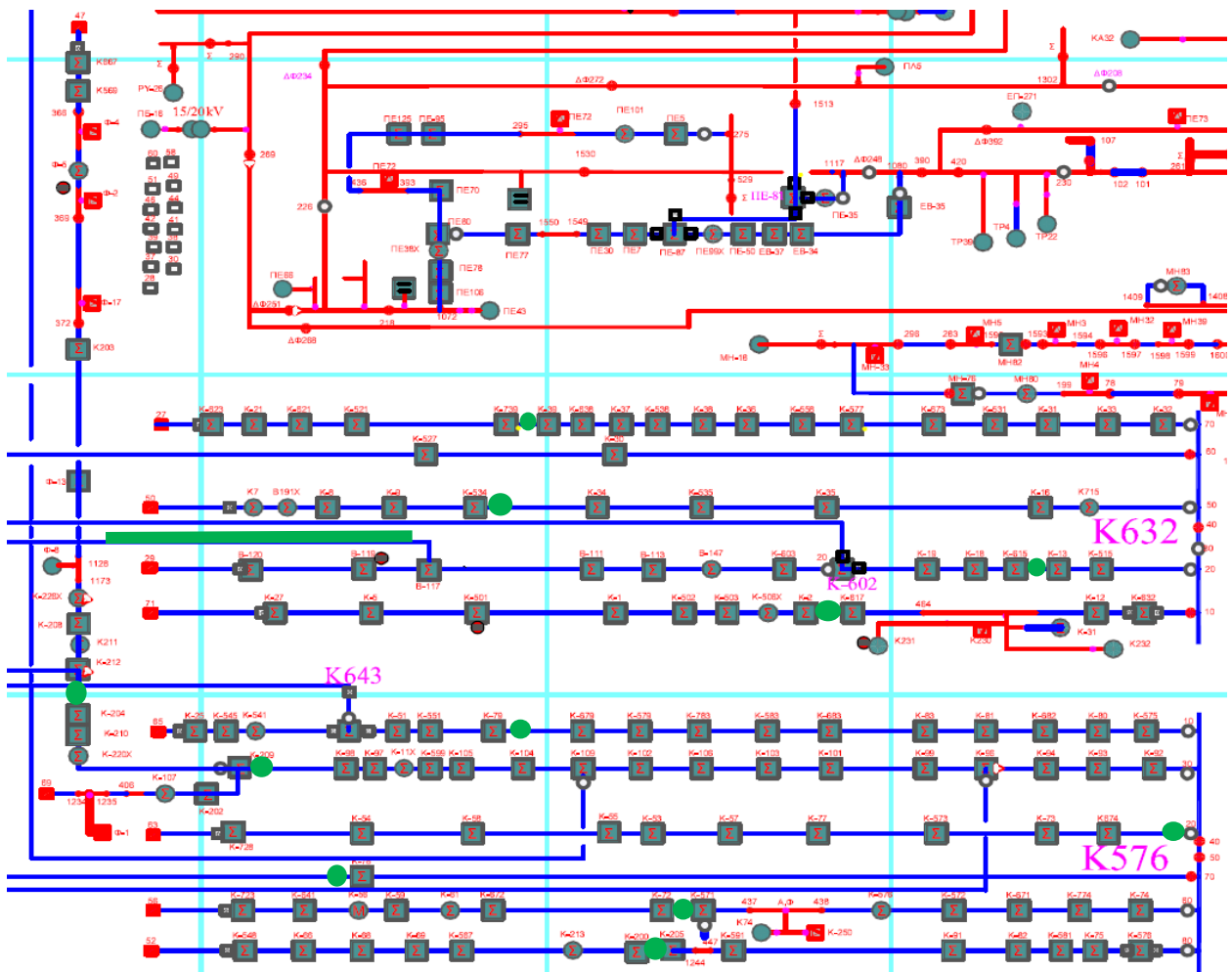
### ΠΕΡΙΟΧΗ 3



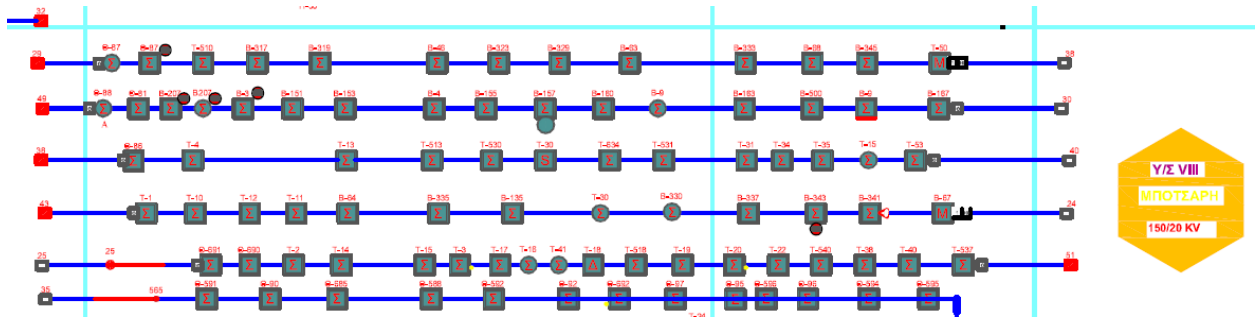
### ΠΕΡΙΟΧΗ 4



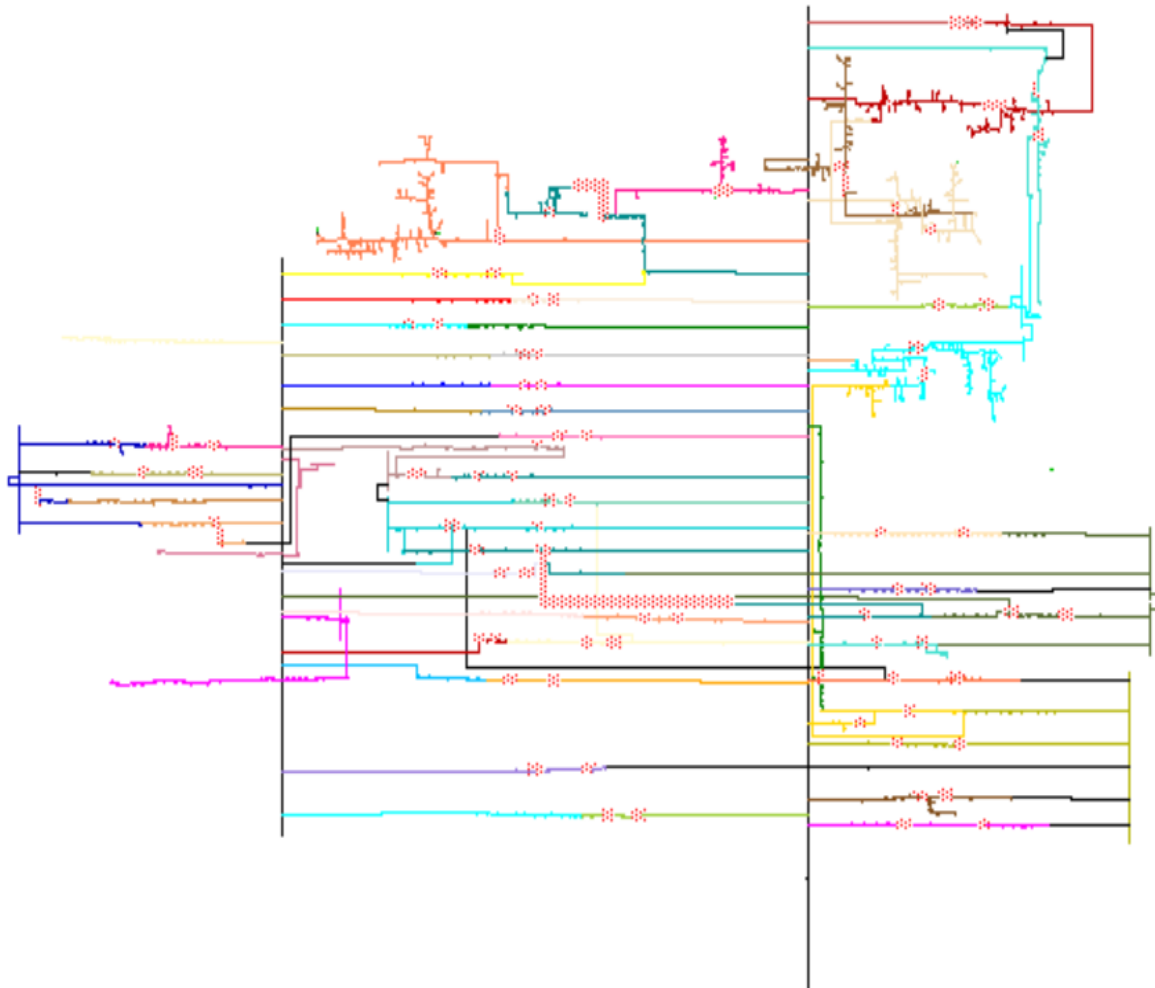
# ΠΕΡΙΟΧΗ 5



# ΠΕΡΙΟΧΗ 6

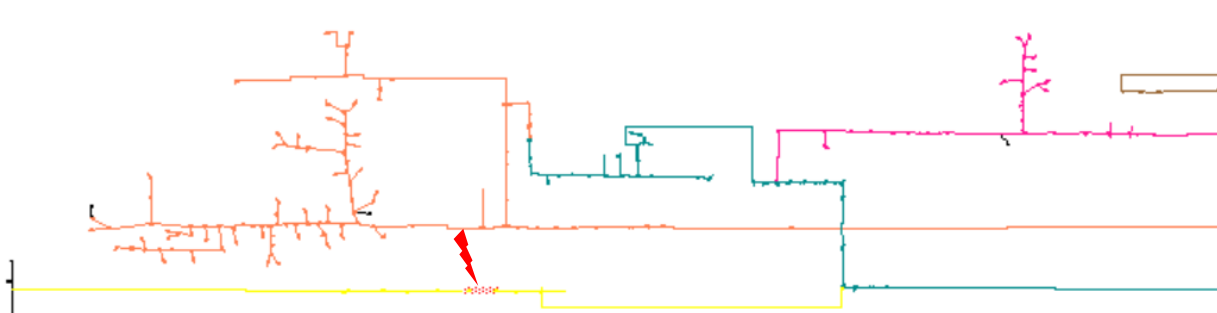


## Βέλτιστη Τοποθέτηση 2 Τηλεχειριζόμενων Διακοπών ανά Γραμμή Διανομής

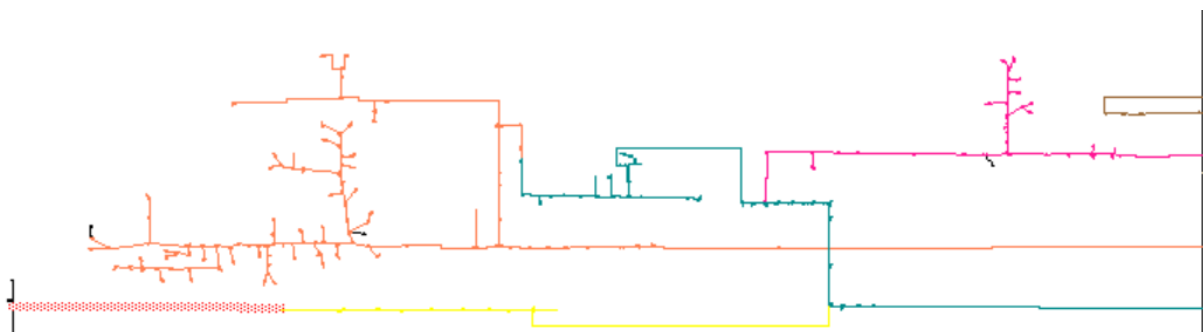


## 7.8 Βέλτιστη επαναφορά ισχύος (Optimal Power Restoration)

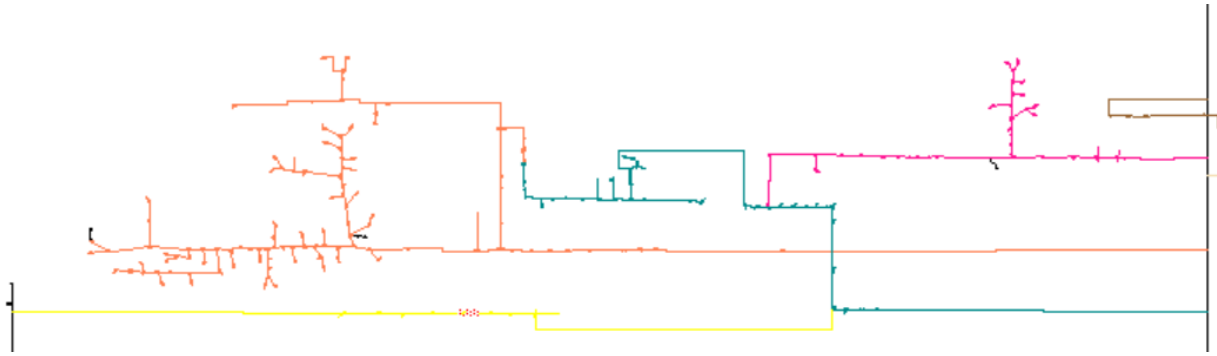
Στην γραμμή διανομής του σχήματος (κίτρινη) επιλέγουμε την γραμμή που έχει επισημανθεί με κόκκινο να υπόκειται σε βλάβη.



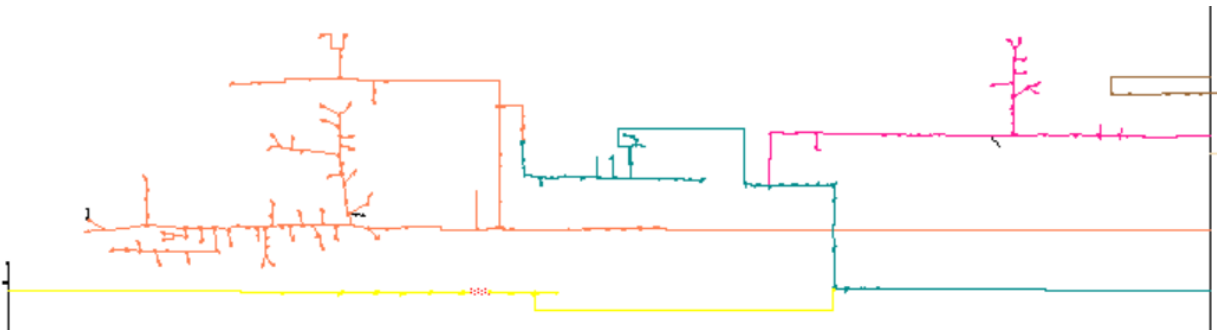
- 1) Αρχικά ανοίγει απευθείας ο τηλεχειριζόμενος διακόπτης της αναχώρησης της συγκεκριμένης γραμμής διανομής στον υποσταθμό, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί και επισημαίνεται επίσης με κόκκινο. Θεωρούμε ότι ο συγκεκριμένος διακόπτης ανταποκρίνεται απευθείας επομένως απαιτείται χρόνος 0:00 min.



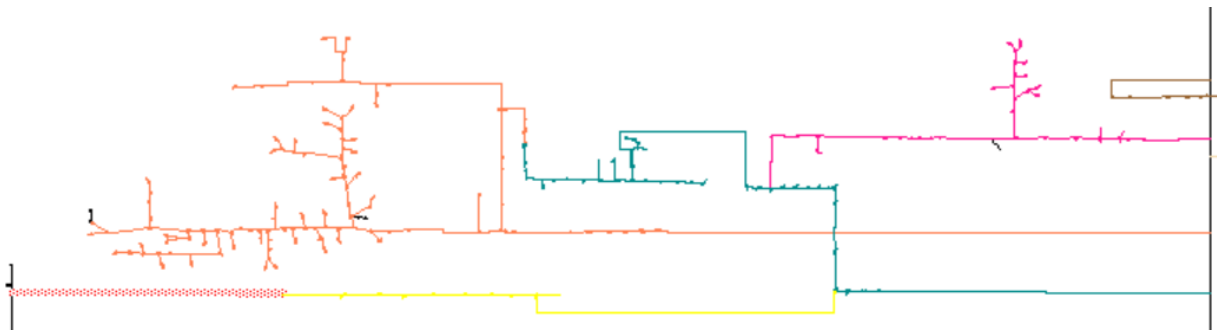
- 2) Αμέσως μετά ανοίγεται χειροκίνητα από το συνεργείο ο αποζεύκτης που βρίσκεται από την μία μεριά της βλάβης στον πλησιέστερο υποσταθμό. Θεωρούμε ότι απαιτείται χρόνος 15:00 min.



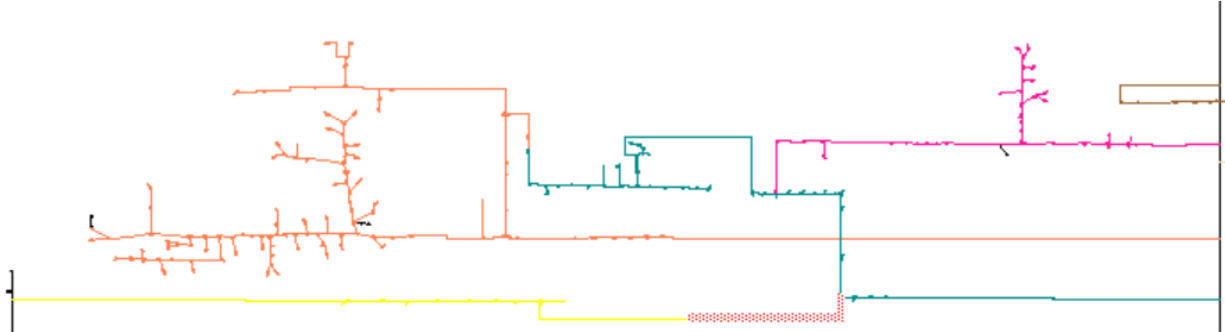
- 3) Έπειτα το συνεργείο ανοίγει πάλι χειροκίνητα τον αποζεύκτη που βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να απομονώνεται η βλάβη. Θεωρούμε ομοίως ότι απαιτείται χρόνος 15:00 min.



- 4) Αφού η βλάβη έχει απομονωθεί κλείνει ο τηλεχειριζόμενος διακόπτης στην αναχώρηση του υποσταθμού διανομής ώστε να επαναφέρει την τροφοδοσία στα φορτία που βρίσκονται στο τμήμα της γραμμής από αυτόν μέχρι λίγο πριν την βλάβη, αυτή την φορά θεωρούμε ότι ο χρόνος που απαιτείται είναι 1:00 min.



- 5) Τέλος το συνεργείο κλείνει χειροκίνητα τον διακόπτη που ενώνει την συγκεκριμένη γραμμή διανομής που έχει υποστεί την βλάβη με την γραμμή που αποτελεί συνέχεια της (πράσινη στο σχήμα) ώστε να αποκατασταθεί η τροφοδοσία και στους υπόλοιπους πελάτες.



Συνεπώς ο συνολικός χρόνος που απαιτήθηκε για να απομονωθεί η βλάβη και να επανέλθει η λειτουργία στο υπόλοιπο τμήμα του δικτύου είναι 46 λεπτά. Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να τυχαίνει ο διακόπτης που ενώνει δύο γραμμές διανομής να είναι τηλεχειριζόμενος, σε μία τέτοια περίπτωση θα χρειαζόταν 1 λεπτό για να κλείσει και όχι 15 όπως εδώ, οπότε ο απαιτούμενος χρόνος επαναφοράς θα ήταν 32 λεπτά.

Πρέπει να αναφερθεί πως η διαδικασία που ακολουθεί το πρόγραμμα έτσι όπως εξάγονται τα αποτελέσματα φαίνεται αρκετά απλή σχετικά με την πραγματική διαδικασία που ακολουθείται για τον εντοπισμό μίας βλάβης. Αυτό συμβαίνει διότι το πρόγραμμα λαμβάνει υπόψιν ότι έχουμε ενδεικτικά διέλευσης σφάλματος, δηλαδή ότι υπάρχει δυνατότητα να καταλαβαίνει από ποιά πλευρά προέρχεται η βλάβη από τις ίδιες του τις ρυθμίσεις.

Στην πραγματικότητα κάποιοι απο τους πιο συνήθεις τρόπους εντοπισμού της βλάβης είναι:

- Η παρακολούθηση του ρεύματος βραχυκύκλωσης, αν αυτό είναι μεγάλο η βλάβη είναι σχετικά κοντά.
- Το άνοιγμα της γραμμής διανομής περίπου στη μέση ή σε κάποιο κρίσιμο φορτίο και η δυαδική αναζήτηση του σφάλματος.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα αποτελέσματα της λειτουργίας Optimal Power Restoration για βλάβη στην γραμμή που θεωρήσαμε και παραπάνω (line 7(5)) όπως αυτά εξάγονται απο το πρόγραμμα.

Contingency: n-1					
Fault location (n-1)					
Component:	Line	7(5)	Line		
Network:	Grid				
Repair Duration:	10.00 h	(600 min)			
Failure frequency:	0.003	1/a			
Summary of failure effects					
	Power		Customers		
Interrupted:	570.6 kW		9		
Restored:	570.6 kW (100.0 %)		9 (100.0 %)		
Energy not supplied	341.0 kWh				
	1/failure		Yearly	Yearly (load state)	
Interruption costs:	0.0 k\$		0.000 k\$/a	*100.00 % = 0.000 k\$/a	
Time [min]	Step	Action	Device	Station:	
0:00	Protection	Open	Breaker/Swit		
					Interrupted: 570.6 kW
15:00	Manual	Open	Switch		
					Interrupted: 570.6 kW
					Restored Power: 0.0 kW ( 0.0 %)
					Restored Customers: 0 ( 0.0 %)
					Totally Restored Power: 0.0 kW ( 0.0 %)
					Totally Restored Customers: 0 ( 0.0 %)
					ENS: (0:00 - 15:00) 142.7 kWh
					Total ENS: 142.7 kWh
30:00		Open	Switch		
					Interrupted: 570.6 kW
					Restored Power: 0.0 kW ( 0.0 %)
					Restored Customers: 0 ( 0.0 %)
					Totally Restored Power: 0.0 kW ( 0.0 %)
					Totally Restored Customers: 0 ( 0.0 %)
					ENS: (15:00 - 30:00) 142.7 kWh
					Total ENS: 285.3 kWh
31:00		Close	Breaker/Swit		
					Interrupted: 184.7 kW
					Restored Power: 386.0 kW ( 67.6 %)
					Restored Customers: 6 ( 66.7 %)
					Totally Restored Power: 386.0 kW ( 67.6 %)
					Totally Restored Customers: 6 ( 66.7 %)
					ENS: (30:00 - 31:00) 9.5 kWh
					Total ENS: 294.8 kWh
46:00		Close	Switch		
					Interrupted: 0.0 kW
					Restored Power: 184.7 kW ( 32.4 %)
					Restored Customers: 3 ( 33.3 %)
					Totally Restored Power: 570.6 kW (100.0 %)
					Totally Restored Customers: 9 (100.0 %)
					ENS: (31:00 - 46:00) 46.2 kWh
					Total ENS: 341.0 kWh
600:00	Repair:				
					ENS: (46:00 - 600:00) 0.0 kWh
					Total ENS: 341.0 kWh



## 7.9 Οικονομικά οφέλη μετατροπών στο δίκτυο

- **Αναδιάταξη Ανοικτών Σημείων**

Από την αναδιάταξη των ανοικτών σημείων στο δίκτυο πετυχαίνουμε 32.95% μείωση των απωλειών ενεργού ισχύος συγκεκριμένα απο 2430.53 MWh που ήταν οι απώλειες στην αρχική- υπάρχουσα τοπολογία του δικτύου με την αναδιάταξη γίνονται 1629.74 MWh.

Άρα έχουμε  $2430.53 \text{ MWh} - 1629.74 \text{ MWh} = 800.79 \text{ MWh}$  εξοικονομούνται.

Αν υποθέσουμε πως η τιμή της MWh είναι 60€ τότε εξοικονομούμαι:

$$60 \text{ €/MWh} * 800.79 \text{ MWh} = 48047.4 \text{ € ετησίως.}$$

- **Τοποθέτηση Τηλεχειριζόμενων Διακοπών**

Σύμφωνα με την εκτίμηση που έγινε απο το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο το 2018 για την αξία του χαμένου φορτίου στην Ελλάδα ( JRC TECHNICAL REPORTS-Societal appreciation of energy security-Volume 4: Value of Lost Load – Greece), γίνεται η θεώρηση οτι η αξία του χαμένου φορτίου ισούται με 7.1 € / kWh.

Συνεπώς αν γίνει σύγκριση μεταξύ του δείκτη ENS της υπάρχουσας τοπολογίας και του αντίστοιχου της τοπολογίας σύμφωνα με την οποία προκύπτει ελαχιστοποίηση των απωλειών για την τοποθέτηση ενός τηλεχειριζόμενου διακόπτη ανά γραμμή διανομής προκύπτουν τα εξής:

$$\text{ENS}_1 = 41.067 \text{ MWh/a}$$

$$\text{ENS}_5 = 31.925 \text{ MWh/a}$$

$$\text{ENS}_1 - \text{ENS}_5 = 41.067 \text{ MWh/a} - 31.925 \text{ MWh/a} = 9.142 \text{ MWh/a} \quad \text{ή} \quad 9142 \text{ kWh/a}$$

Άρα το οικονομικό όφελος είναι:

$$O = 9142 \text{ kWh/a} * 7,1 \text{ € / kWh} = 64908,2 \text{ € / έτος}$$

## 7.9 Συμπεράσματα

- Αρχικά συμπεραίνουμε πως με την αναδιάταξη ανοικτών σημείων στο δίκτυο που είναι μια καθόλου δαπανηρή ενέργεια πετυχαίνουμε ένα αρκετά σημαντικό οικονομικό όφελος. Μάλιστα αυτό το ποσό εξοικονομείται σε ένα κομμάτι του δικτύου μεταξύ δύο υποσταθμών διανομής στο ανατολικό τμήμα της Θεσσαλονίκης αν η αναδιάταξη γινόταν σε μεγαλύτερη κλίμακα η δυσκολία της μελέτης θα ήταν σαφώς μεγαλύτερη αλλά το οικονομικό όφελος θα ήταν εξαιρετικά σημαντικό.
- Το ίδιο ισχύει και για την τοποθέτηση τηλεχειριζόμενων διακοπών η οποία είτε συνδυάζεται με την αναδιάταξη ανοικτών σημείων είτε όχι επιτυγχάνει αντίστοιχα σημαντικό όφελος με την μείωση της μη παρεχόμενης ενέργειας, όντας βέβαια πιο δαπανηρή λόγω του κόστους των διακοπών.
- Παρατηρούμε επίσης πως με αυτές τις απλές ενέργειες βελτιώνεται σημαντικά και η αξιοπιστία του δικτύου και σημειώνεται βελτίωση του δείκτη ποιότητας παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ( SAIDI, SAIFI ). Επιπλέον επιτυγχάνεται σημαντικός περιορισμός των απωλειών ενέργειας μέσω της καλύτερης διαχείρισης του δικτύου. Καθώς είναι εφικτή και η καλύτερη αξιοποίηση των ανθρωπίνων πόρων σε μια βλάβη αφού, όπως φαίνεται, με την χρήση των τηλεχειριζόμενων διακοπών ο χρόνος αποκατάστασης μειώνεται δραστικά.
- Εν τέλη συμπεραίνουμε πως το δίκτυα διανομής είναι ένα σύστημα με δυναμικό χαρακτήρα που για να μπορούμε να το μελετήσουμε σωστά πρέπει ανά διαστήματα να ανανεώνουμε τα δεδομένα μας για αυτό και όπως φαίνεται μπορεί να υπάρξει σημαντική βελτίωση σε συστήματα που θεωρούμε ότι δουλεύουν με βέλτιστο τρόπο πριν προσεγγίσουμε οι ίδιοι το πρόβλημα.

## 7.1 Μελλοντικές επεκτάσεις

- Θα ήταν αρκετά χρήσιμο σαν μια μελλοντική έρευνα να ληφθούν ολοκληρωμένες μετρήσεις για τα φορτία ανά υποσταθμό ΜΤ, καθώς στην συγκεκριμένη περίπτωση έγινε ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου στους υποσταθμούς. Όπως και αν ληφθούν παράλληλα υπόψη τα κρίσιμα φορτία πράγμα που μπορεί να δημιουργήσει τροποποιήσεις στην τελική τοποθέτηση των τηλεχειριζόμενων διακοπών.
- Λαμβάνοντας υπόψιν ότι τα δεδομένα των φορτίων αλλάζουν απο ώρα σε ώρα, ανάλογα με την εποχή ή ακόμα και με το πέρας των χρόνων θα ήταν πολύ χρήσιμο να αναπτυχθεί μια εφαρμογή με δυνατότητες πολλαπλής διαμόρφωσης του δικτύου διανομής με σκοπό τη δοκιμή πολλών διαφορετικών διαμορφώσεων ώστε να προτείνεται μια επιλογή ικανή να προσδιορίσει τις βέλτιστες θέσεις των «κανονικών ανοικτών» αποζευκτών-φορτίου και αυτομάτων διακοπών ισχύος.
- Θα ήταν σημαντικό σε μελλοντική αντίστοιχη μελέτη αντί για μετρήσεις ρεύματος που είχαμε εμείς τα δεδομένα να είναι μετρήσεις ζήτησης ισχύος και να συμπεριληφθούν δεδομένα απο μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής που ενδεχομένως υπάρχουν στην περιοχή.
- Σε μελλοντική φάση θα μπορούσε να δοθεί πλήθος αποτελεσμάτων αντίστοιχων βελτιστοποιήσεων σε ένα νευρονικό δίκτυο καθώς και δεδομένα παραμέτρων όπως τα σημαντικά φορτία και αυτό να εκπαιδευτεί στο να αναδιαμορφώνει κατάλληλα το δίκτυο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Βουρνάς Κ., Κονταξής Γ., *Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 2010
- [2] Π.Σ. Γεωργιλιάκης, *Σύγχρονα Συστήματα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας*, Ηλεκτρονικό Βιβλίο, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (ΣΕΑΒ), Αθήνα 2015
- [3] Μ.Π Παπαδόπουλος, *Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας*, τόμος 1 για τους σπουδαστές της σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, ΕΜΠ, Αθήνα 1994
- [4] Β. Κ. Παπαδιάς, *Ανάλυση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας*, τόμ. Ι, Μόνιμη Κατάσταση Λειτουργίας. Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 1985.
- [5] J.C. Lopez, M. Lavorato, and M.J. Rider, "Optimal reconfiguration of electrical distribution systems considering reliability indices improvement," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 78, pp. 837–845, June 2016.
- [6] P.L. Cavalcante, J.C. López, J.F. Franco, M.J. Rider, A.V. Garcia, M.R.R. Malveira, L.L. Martins, and L.C.M. Direito, "Centralized self-healing scheme for electrical distribution systems," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 7, pp. 145–155, Jan. 2016
- [7] B. Amanulla, S. Chakrabarti, and S.N. Singh, "Reconfiguration of power distribution systems considering reliability and power loss," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 27, pp. 918–926, Apr. 2012.
- [8] Ackerman T., Anderson G., Soder L., *Distributed Generation: A Definition*, *Electric Power Systems Research*, Vol. 57, No. 3, pp. 195-204, April 2001
- [9] Ε. Διαλυνάς, *Ανάλυση αξιοπιστίας τεχνολογικών συστημάτων*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρίας, 1998, p. 225.
- [10] P. Mazidi and G. N Sreenivas, "Reliability Analysis of A Radial Distributed Generation Distribution System," *Int. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 3, pp. 82–88, Jan. 2013.
- [11] Dr. Georgios Papaefthymiou, Christina Beestermöller, Ann Gardiner, "Ecofys Incentives to improve energy efficiency in EU Grids", 15 April 2013
- [12] M. J. Dolan, E. M. Davidson, G.W. Ault, K.R.W. Bell and S.D.J. McArthur, "Distribution power flow management utilizing an online constraint programming method," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 4, no. 2, pp. 798–805, Mar. 2013.
- [13] M. E. Baran and F. F Wu, "Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 4, no. 2, pp. 1401– 1497, Apr. 1989.
- [14] T. Gönen, *Electric power distribution system engineering*, 2nd ed, CRC Press, 2008.

[15]H. Lee Willis, *Power Distribution Planning Reference Book*, New York 1997.

[16]International Energy Agency (IEA Statistics © OECD/IEA, <http://www.iea.org/stats/index.asp>), “Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries and Energy Statistics of OECD Countries, and United Nations, Energy Statistics Yearbook”.

[17]Michel Clemence, Renzo Coccioni, Alain Glatigny , “How Utility Electrical Distribution Networks can save Energy in the Smart Grid Era”, Schneider Electric, 2013.