



**ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ
ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΑΥΡΟΣ ΣΟΛΔΑΤΟΣ

Επιβλέποντες Καθηγητές:

Ελευθέριος Τσουκαλάς
Καθηγητής Π.Θ.

Δημήτρης Μπαργιώτας
Συνεργαζόμενος Διδάσκοντας Μ.Π.Σ.

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ



ΒΟΛΟΣ 2017



RESEARCH OF ADMINISTRATION OF ELECTRICITY
TRANSMISSION AND DISTRIBUTION NETWORKS

DIPLOMA THESIS

STAVROS SOLDATOS

Supervisors:

Eleftherios Tsoukalas
Professor UTH

Mpargiotas Dimitris
Cooperating Teaching Teacher

**DEPARTMENT OF
ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING**



VOLOS 2017

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με αφορμή την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Τσουκαλά Ελευθέριο για την καθοδήγησή του καθ' όλη την πορεία και τις χρήσιμες συμβουλές του, καθώς και τον κ. Μπαργιώτα Δημήτρη ως συνεπιβλέποντα της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδακτορικό φοιτητή κ. Νικηφόρο Φαϊντί για την πολύτιμη βοήθειά του όποτε αυτή την χρειάστηκα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά και τους φίλους μου για τη θερμή υποστήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου..

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αντικείμενο είναι η ανάλυση ροών φορτίου και σφαλμάτων δικτύων με τα προγράμματα προσομοίωσης ηλεκτρικής ενέργειας PowerWorld και GridLAB-D. Σκοπός είναι η εξαγωγή συμπερασμάτων για τη σωστή και ικανοποιητική λειτουργία του συστήματος μεταφοράς και διανομής, καθώς και προτάσεις βελτιώσεων σε πιθανές περιπτώσεις σφαλμάτων.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας και περιγράφονται τα συστήματα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Στη συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα συμμετρικά και ασύμμετρα σφάλματα ενός ΣΗΕ, οι συνέπειες αυτών και οι τρόποι αντιμετώπισής τους. Επίσης, αναλύονται οι γειώσεις ανάλογα με το είδος του ΣΗΕ εφόσον είναι ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια μιας ηλεκτρικής εγκατάστασης.

Έπειτα, στο τρίτο κεφάλαιο γίνονται προσομοιώσεις δικτύων μεταφοράς υψηλής και υπερυψηλής τάσης ενός δικτύου εννέα ζυγών της IEEE καθώς και το blackout που είχε γίνει στο βορειοανατολικό κομμάτι των Ηνωμένων Πολιτειών και Καναδά 14-15 Αυγούστου του 2003 και ακολουθούν τα συμπεράσματα αυτών των προσομοιώσεων.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται το GridLAB-D. Το συγκεκριμένο σύστημα προσομοίωσης, βοηθάει περισσότερο όσους ασχολούνται με συστήματα διανομής ενέργειας. Είναι ένα διαρκώς αναπτυσσόμενο εργαλείο και ανανεώνονται διαρκώς τα χαρακτηριστικά του, ενώ μπορεί να συνεργαστεί και με άλλα εργαλεία, όπως το MATLAB.

Στην τελευταία ενότητα, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για τα παραπάνω εργαλεία.

ABSTRACT

This dissertation aims to analyze load flows and network problems with PowerWorld and GridLAB-D power simulation programs. The purpose is to draw conclusions about the correct and satisfactory operation of the transmission and distribution system, as well as suggestions for improvement in possible cases of errors.

More specifically, the first chapter introduces the electrical energy systems and describes the systems for generation, transmission and distribution of electricity.

Subsequently, the second chapter analyzes the symmetrical and asymmetrical errors of an electricity system, their consequences and the ways to deal with them. Also, grounding is analyzed according to the type of electricity system since it is one of the most important parts of an electrical installation.

Subsequently, in the third chapter simulations of high and ultra high voltage transmission networks of a IEEE nine weighbridge network as well as the blackout made in the northeastern part of the United States and Canada 14-15 August 2003 are made and follow the conclusions of these simulations.

Finally, the fourth chapter analyzes GridLAB-D. This particular simulation system is more helpful to those involved in power distribution systems. It is a constantly growing tool and constantly renews its features while it can work with other tools like MATLAB.

In the last section, useful conclusions are drawn for the above tools.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- 1.1 Πηγές ενέργειας
- 1.2 Κατηγορίες καταναλωτών
- 1.3 Δομή ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας
 - 1.3.1 Σύστημα Παραγωγής
 - 1.3.2 Σύστημα Μεταφοράς
 - 1.3.3 Σύστημα Διανομής
- 1.4 Συνοψίζοντας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

- 2.1 Ανάλυση συμμετρικών και ασύμμετρων σφαλμάτων
- 2.2 Ταξινόμηση βραχυκυκλωμάτων ανάλογα με τη διάρκεια
- 2.3 Συνέπειες βραχυκυκλωμάτων
- 2.4 Τρόποι αντιμετώπισης βραχυκυκλωμάτων
- 2.5 Γειώσεις και αλεξικέραυνα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ POWERWORLD

- 3.1 Πρόβλημα προσομείωσης γραμμών μεταφοράς
- 3.2 Προσομείωση δικτύου της IEEE υψηλής τάσης εννέα ζυγών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ GRIDLAB-D

- 4.1 Λόγοι χρήσης του GridLAB-D
- 4.2 Δυνατότητες
- 4.3 Τρόπος Χρήσης του GridLAB-D
 - 4.3.1 Αρχεία εισόδου
 - 4.3.2 Εκτέλεση
 - 4.3.3 Αρχεία εξόδου
 - 4.3.4 Μοντέλο GridLAB-D
 - 4.3.5 Δημιουργία Μοντέλου με GLM αρχεία
 - 4.3.6 Εκτέλεση μοντέλου
 - 4.3.7 Βελτίωση μοντέλου
 - 4.3.8 Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση αντικειμένων
 - 4.3.9 Συσχέτιση με άλλα αντικείμενα
 - 4.3.10 Δημιουργία πληθυσμών αντικειμένων
 - 4.3.11 Ενσωμάτωση πληροφοριών
 - 4.3.12 Παραγωγή αποτελεσμάτων

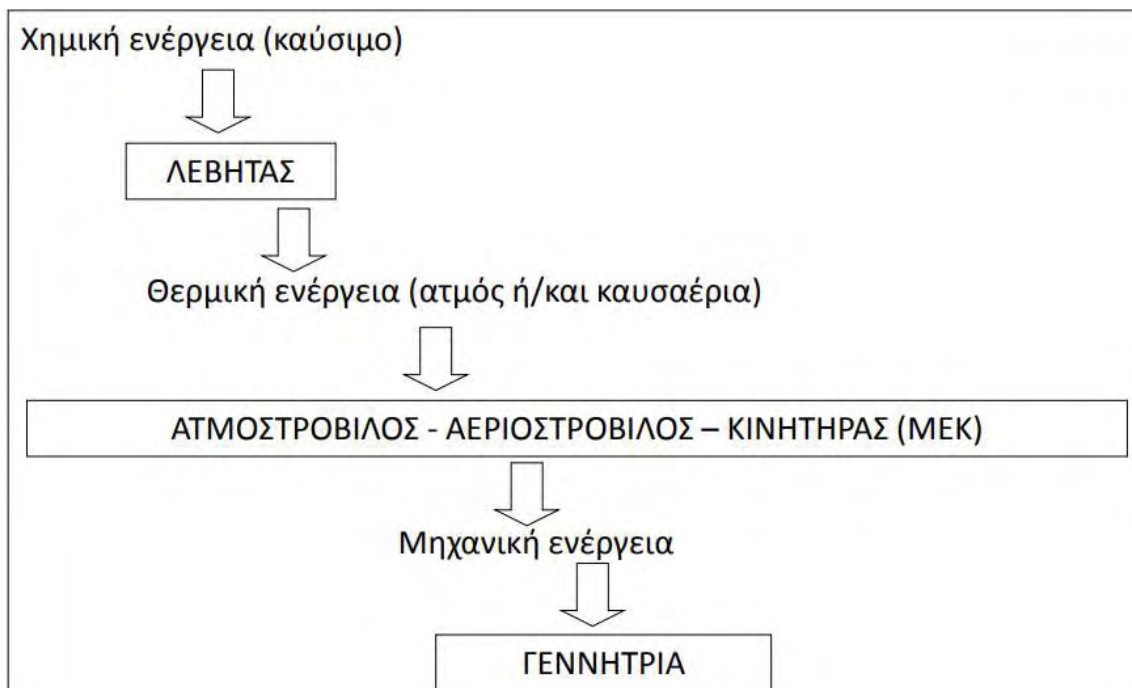
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Σεμπεράσματα

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Πηγές ενέργειας

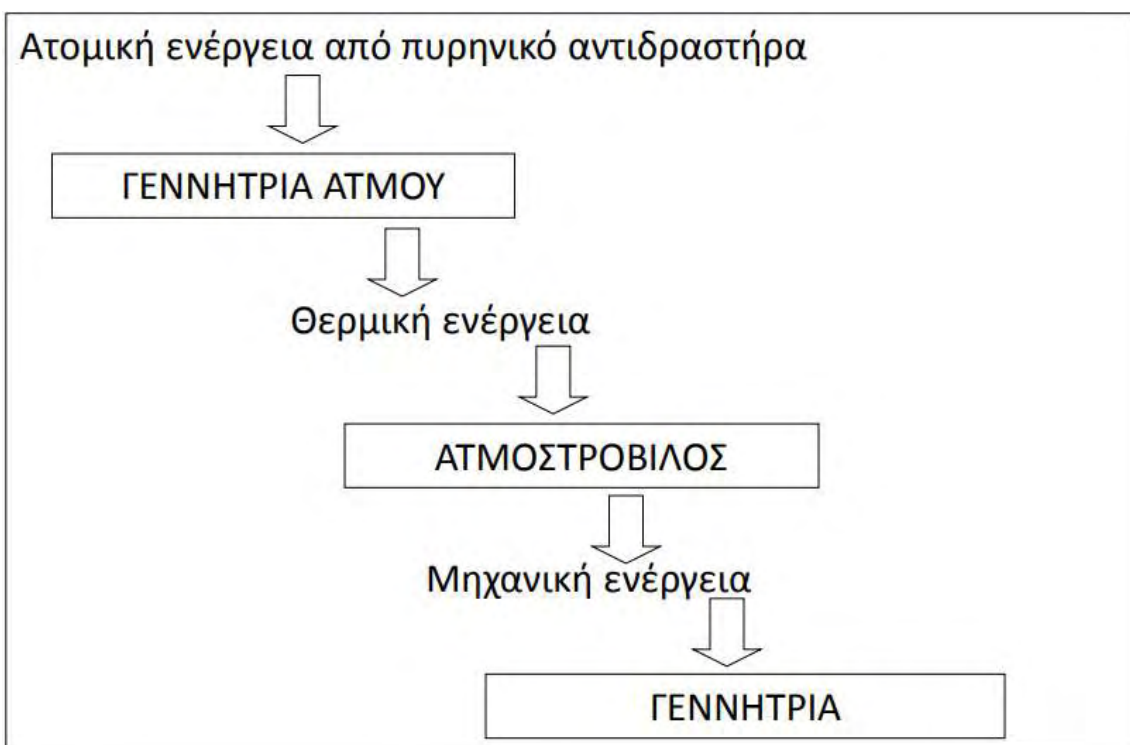
Η αύξηση του επιπέδου διαβίωσης, σχετίζεται άμεσα με την καταναλισκόμενη ενέργεια. Η ανθρωπότητα δαπανά καθημερινά για τις διάφορες δραστηριότητες, τεράστια ποσά ενέργειας. Τις κύριες πηγές ενέργειας σήμερα, αποτελούν τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο). Η εντατική χρήση των ορυκτών καυσίμων αλλά και της πυρηνικής ενέργειας, τα τελευταία χρόνια, ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για τα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα που αντιμετωπίζει ο πλανήτης μας και έχουν άμεσο αντίκτυπο στις κλιματικές συνθήκες, αλλά και στις συνθήκες ζωής πάνω στον πλανήτη γενικότερα. Τα ορυκτά καύσιμα εκπέμπουν τοξικά αέρια (διοξείδιο το θείου και οξείδιο του αζώτου) τα οποία δημιουργούν αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Ακόμη οι ενεργειακές ανάγκες αυξάνονται αφού αυξάνεται ο πληθυσμός της γης με γοργούς ρυθμούς, αλλά και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου πολλαπλασιάζει τις δραστηριότητές του, οι οποίες τελικά απαιτούν κατανάλωση ενέργειας. Για τους λόγους αυτούς έχουμε στραφεί και σε εναλλακτικές μορφές ενέργειας, δηλαδή τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) όπως είναι η ηλιακή, η αιολική, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμική και η ενέργεια από βιομάζα. Οι ΑΠΕ είναι καθαρή μορφές ενέργειας, φιλικές προς το περιβάλλον και πρακτικά ανεξάντλητες εφόσον είναι ανανεώσιμες.



Σχήμα 1: Μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας-συμβατικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 1: Λιγνιτικός ΣΠΗΕ ΔΕΗ



Σχήμα 2: Μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας-πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 2: Πυρηνικό εργοστάσιο στη Γαλλία



Εικόνα 3: Πόλη Τσέρνομπιλ

Στην παραπάνω εικόνα 3 βλέπουμε το Τσέρνομπιλ μετά το καταστροφικό ατύχημα στο πυρηνικό εργοστάσιο. Μπορούμε να διακρίνουμε τους έρημους δρόμους και τα σπίτια.



Σχήμα 3: Μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας-υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 4: Υδροηλεκτρικά Φράγματα της ΔΕΗ

1.2 Κατηγορίες καταναλωτών

Ανάλογα με το σκοπό που χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια, οι καταναλωτές μπορούν να διακριθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Οικιακοί καταναλωτές
- Εμπορικοί καταναλωτές
- Βιομηχανικοί καταναλωτές

Τα εμπορικά και τα βιομηχανικά φορτία εμφανίζονται κατά τις εργάσιμες μέρες και ώρες ενώ τα αστικά-οικιακά παρουσιάζονται εκτός ωρών αιχμής. Η εγκαταστημένη ισχύς του συστήματος, πρέπει να καλύπτει την στιγμιαία ισχύ της κατανάλωσης. Συνεπώς η μέγιστη ζήτηση ενός καταναλωτή είναι μικρότερη από την εγκαταστημένη ισχύ του. Ορίζουμε ως συντελεστής ζήτησης ζ (demand factor) σε έναν καταναλωτή, το λόγο της μέγιστης ζήτησης

προς τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ. Δηλαδή

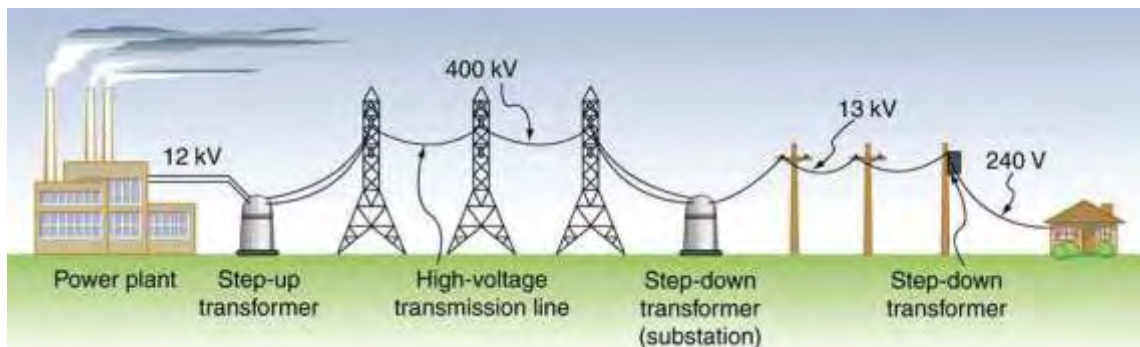
$$Z = P_m / P_{εγκ} \quad (1.1)$$

1.3 Δομή ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια, αποτελεί την πιο καθαρή και φιλική προς το περιβάλλον μορφή ενέργειας. Η εύκολη μεταβολή των χαρακτηριστικών της (τάση και ένταση), η αποδοτική μεταφοράς της και η μετατροπή της σε άλλες μορφές ενέργειας την έχουν καταστήσει μια ευρέως διαδεδομένη μορφή ενέργειας για την κάλυψη των καταναλωτικών αναγκών σε παγκόσμιο επίπεδο.

Ως Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (Σ.Η.Ε.), ορίζεται το σύνολο των εγκαταστάσεων, του εξοπλισμού, των μέσων και γενικότερα όλων των υποδομών, που απαιτούνται για την ασφαλή και ποιοτική εξυπηρέτηση των αναγκών ενός συνόλου καταναλωτών διεσπαρμένων γεωγραφικά σε ηλεκτρική ενέργεια, σε τοπικό, σε εθνικό ή ακόμα και σε διεθνές επίπεδο. Δηλαδή, ο σκοπός ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, είναι η συνεχής (απρόσκοπτη), η ασφαλής και η ποιοτική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από τα κέντρα παραγωγής προς τα κέντρα κατανάλωσης.

Προϋποθέσεις καλής λειτουργίας είναι να παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια όπου υπάρχει ζήτηση, με το ελάχιστο κόστος σε οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο και ταυτόχρονα να εξασφαλίζεται σταθερή συχνότητα (50Hz για το ελληνικό δίκτυο), τάση και υψηλή αξιοπιστία τροφοδότησης.



Εικόνα 5: Απεικόνιση ΣΗΕ

Τα σύγχρονα Σ.Η.Ε., μπορούν να διακριθούν στα ακόλουθα τμήματα:

- Σύστημα Παραγωγής
- Σύστημα Μεταφοράς
- Σύστημα διανομής

1.3.1 Σύστημα Παραγωγής

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει τους σταθμούς(κέντρα) παραγωγής με τάση παραγωγής 11-15.75KV, μαζί με τους απαιτούμενους υποσταθμούς για την ανύψωση της τάσης μέσω μετασχηματιστών ανύψωσης σε κατάλληλη τιμή (στα ελληνικά δίκτυα υπερυψηλή τάση 400KV και υψηλές τάσεις 150KV & 66KV) και την είσοδό της στο σύστημα μεταφοράς.

Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται είτε με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είτε με συμβατικές. Το είδος των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μια χώρα, εξαρτάται από το είδος των φυσικών πηγών ενέργειας που διαθέτει. Η Ελλάδα εκμεταλλεύεται τα πλούσια αποθέματα λιγνίτη που διαθέτει το υπέδαφος της και ακόμα και μέχρι σήμερα το 40-50% περίπου της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από λιγνιτικές μονάδες. Ένα ποσοστό της τάξης του 17% προέρχεται από μονάδες φυσικού αερίου, 10% από μονάδες πετρελαίου, 10% από μονάδες υδροηλεκτρικούς σταθμούς, 6% από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και 7% από τις διασυνδέσεις με χώρες του εξωτερικού. Στα νησιωτικά δίκτυα, τα οποία στο μεγαλύτερο ποσοστό τους δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο, λειτουργούν ως αυτόνομα συστήματα και παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια, κυρίως μέσω πετρελαϊκών μονάδων.



Εικόνα 6: Ελληνικό σύστημα παραγωγής ενέργειας

Με βάση τα συνολικά εκμεταλλεύσιμα αποθέματα λιγνίτη της χώρας και τον προγραμματιζόμενο ρυθμό κατανάλωσης στο μέλλον, υπολογίζεται ότι τα αποθέματα αυτά

επαρκούν για περισσότερο από 50 χρόνια. Μέχρι σήμερα οι εξορυχθείσες ποσότητες λιγνίτη δεν ξεπερνούν το 20% των συνολικών αποθεμάτων. Εκτός από λιγνίτη η Ελλάδα διαθέτει και ένα μεγάλο κοιτάσμα Τύρφης στην περιοχή των Φιλιππων (Ανατολική Μακεδονία). Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα στο κοιτάσμα εκτιμώνται σε 4 δις κυβικά μέτρα και αντιστοιχούν με 125 εκ. ΤΠΠ.

Οι τύποι σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συμβατικών καυσίμων είναι:

1.Θερμοηλεκτρικοί

- Ατμοηλεκτρικοί
- Ντηζελοηλεκτρικοί
- Πυρηνικοί

2.Υδροηλεκτρικοί

- Υδαταπτώσεων
- Υδάτινου ρεύματος
- Αντλητικοί

Όμως, όπως είπαμε και παραπάνω, η διαρκής μείωση των αποθεμάτων των φυσικών πόρων, οδήγησε τις έρευνες για εντονότερη,οικονομικότερη και αποδοτικότερη εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

1.3.2 Σύστημα Μεταφοράς

Το σύστημα μεταφοράς ενός Σ.Η.Ε. ,περιλαμβάνει όλο τον απαιτούμενο εξοπλισμό για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορα επίπεδα υψηλής τάσης, μεταξύ των κέντρων παραγωγής και των κέντρων κατανάλωσης, καθώς και για τη διασύνδεση με άλλα Σ.Η.Ε.. Πιο συγκεκριμένα, περιλαμβάνει τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσης(66KV ή 150KV ή 400KV), τους υποσταθμούς ζεύξης των δικτύων αυτών, τους υποσταθμούς για τη μετατροπή των τάσεων σε διάφορα επίπεδα τιμών κατάλληλα για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας, τους υποσταθμούς για τη διασύνδεση των διαφορετικών Σ.Η.Ε., καθώς επίσης και τους υποσταθμούς από υψηλή σε μέση τάση για τη διασύνδεση με τα δίκτυα διανομής. Υπάρχουν βέβαια και καταναλωτές Υ.Τ.(κυρίως βιομηχανικές μονάδες μεγάλης ισχύος) που τροφοδοτούνται απευθείας από τα δίκτυα υπομεταφοράς (150KV,66KV) μέσω κατάλληλων υποσταθμών.Η μεταφορά γίνεται σε υψηλή τάση για να μειωθούν οι απώλειες ισχύος I^2R , αφού η μεταφορά γίνεται σε μεγάλες αποστάσεις αλλά και για να αυξηθεί η δυνατότητα μεταφοράς ισχύος της γραμμής.

Λόγοι καλύτερης εξυπηρέτησης, αποδοτικότερης λειτουργίας, καθώς και αυξημένης αξιοπιστίας σε σχέση με τη συνέχεια τροφοδότησης των καταναλωτών, έχουν επιβάλλει στα δίκτυα μεταφοράς τη βροχοειδή διάταξη.

Σε ένα βροχοειδές σύστημα μεταφοράς ο κάθε υποσταθμός συνδέεται με το υπόλοιπο δίκτυο μέσω δύο ή περισσότερων γραμμών μεταφοράς, οπότε σε περίπτωση βλάβης της μίας, τα φορτία των εκάστοτε υποσταθμών συνεχίζουν να τροφοδοτούνται από την παραγωγή μέσω της δευτέρας γραμμής. Αντίθετα, σε ένα ακτινικό σύστημα μεταφοράς, μια ενδεχόμενη βλάβη της γραμμής μεταφοράς έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την αποκοπή των φορτίων των ακόλουθων υποσταθμών από το σύστημα.

Πράγματι σε αντίθεση με την ακτινική, η βροχοειδής διάταξη εξασφαλίζει περισσότερους συνδυασμούς διαδρομών της ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση και την αποδοτικότερη εξυπηρέτηση φορτίου.

Τα δίκτυα υπομεταφοράς αποτελούν υποσυστήματα των δικτύων μεταφοράς. Σε σχέση

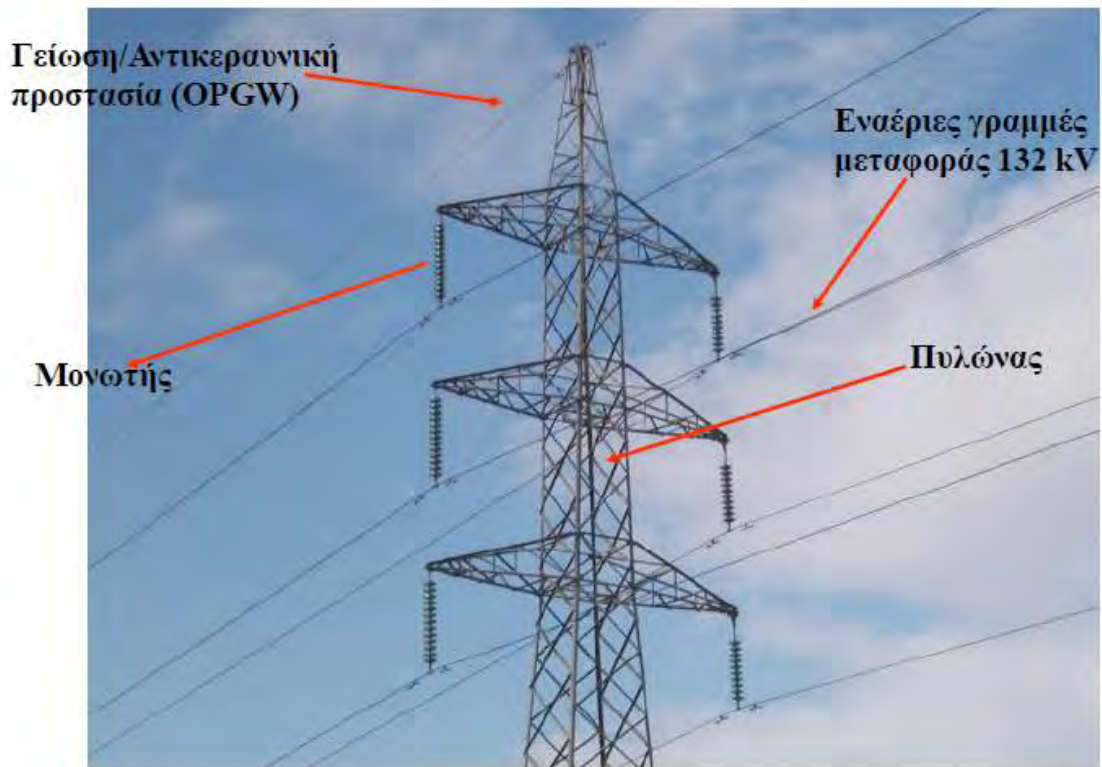
με τα δίκτυα μεταφοράς, τα δίκτυα υπομεταφοράς τροφοδοτούνται μέσω υποσταθμών από τους ζυγούς παραγωγής, με επίπεδα τιμών της υψηλής τάσης χαμηλότερα από εκείνα των δικτύων μεταφοράς. Ο ρόλος των συστημάτων υπομεταφοράς είναι ακριβώς ο ίδιος με εκείνο των συστημάτων μεταφοράς με τις διαφορές ότι, μεταφέρουν μικρότερα ποσά ενέργειας, σε μικρότερες αποστάσεις και σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών υψηλής τάσης.



Εικόνα 7: Υποσταθμός ΥΤ/ΥΥΤ

Οι υποσταθμοί είναι κόμβοι στο δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού και περιλαμβάνουν τα παρακάτω στοιχεία:

- Μετασχηματιστές (μεταβάλλουν την τάση και την ένταση)
- Ασφαλειοδιακόπτες(circuit breakers) (ανοίγουν το κύκλωμα σε περίπτωση σφάλματος)
- Διακόπτες αποσύνδεσης (disconnect switches)
- Μετασχηματιστές τάσης και έντασης (voltage and current transformers)(για σκοπούς μετρήσεων)
- Προστατευτικές συσκευές υπέρτασης(surge arresters) (για προστασία από κεραυνούς και από υπέρταση στο κύκλωμα)



Εικόνα 8: Πυλώνας ή Πύργος

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε τα συστατικά στοιχεία των γραμμών μεταφοράς:

- Πυλώνας ή πύργος, στον οποίο στηρίζονται οι αγωγοί των εναέριων γραμμών
- Μονωτήρες, μέσω των οποίων αναρτώνται στους πυλώνες οι αγωγοί γραμμών
- Αγωγοί κυρίως από χαλκό και αλουμίνιο
- Γείωση/αντικεραυνική προστασία

Τη σπονδυλική στήλη του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς αποτελούν οι τρεις γραμμές διπλού κυκλώματος των 400 kV, που μεταφέρουν ηλεκτρισμό, κυρίως από το σπουδαιότερο για την χώρα μας ενεργειακό κέντρο παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας. Στη περιοχή αυτή, παράγεται περίπου το 70% της συνολικής ηλεκτροπαραγωγής της χώρας που στη συνέχεια μεταφέρεται στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης της Κεντρικής και Νότιας Ελλάδας, που καταναλώνεται περίπου το 65% της ηλεκτρικής ενέργειας.

Το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς διαθέτει επιπλέον γραμμές των 400 kV καθώς επίσης εναέριες, υπόγειες γραμμές και υποβρύχια καλώδια των 150 kV που συνδέουν την Άνδρο και τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας, Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς, καθώς και μία υποβρύχια διασύνδεση της Κέρκυρας με την Ηγουμενίτσα στα 66 kV.

	400kV	Σ.Ρ. (D.C.) 400kV	150 kV	66 kV	ΣΥΝΟΛΟ
ΕΝΑΕΡΙΕΣ	2.647	107	8.152	39	10.945
ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ	0,58		140	15	155
ΥΠΟΓΕΙΕΣ	30		101		131
ΣΥΝΟΛΟ	2.677	107	8.393	54	11.232

Πίνακας 1: Γραμμές μεταφοράς (χλμ. όδευσης)

Την 31η Δεκεμβρίου 2013 το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς αποτελείτο από 11.232 χλμ. γραμμών μεταφοράς, όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα.

1.3.3 Σύστημα Διανομής

Με τον όρο «διανομή» της ηλεκτρικής ενέργειας, εννοούμε το σύνολο της υλικοτεχνικής υποδομής (υποσταθμοί, δίκτυα διανομής, διατάξεις διακοπής, ελέγχου και προστασίας) μέσω της οποίας η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στα κέντρα κατανάλωσης μέσης και χαμηλής τάσης. Τα δίκτυα διανομής, παραλαμβάνουν την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται μέσω των δικτύων μεταφοράς από τα κέντρα παραγωγής και τροφοδοτούν τις καταναλώσεις μέσης και χαμηλής τάσης. Δηλαδή, μέσω των δικτύων διανομής, η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται σε όλη την εξυπηρετούμενη περιοχή, μέχρι και τον τελευταίο καταναλωτή.

Ανάλογα με το μέγεθος της τάσης τροφοδοσίας τους, τα δίκτυα διανομής διακρίνονται σε δίκτυα διανομής μέσης τάσης (Μ.Τ.) και σε δίκτυα διανομής χαμηλής τάσης (Χ.Τ.). Για τον ελλαδικό χώρο οι τιμές Μ.Τ. είναι τα 6,6KV και 22KV. Η τροφοδοσία των δικτύων αυτών γίνεται από τα δίκτυα μεταφοράς, μέσω κατάλληλων υποσταθμών Υ.Τ/Μ.Τ.. Τα δίκτυα Μ.Τ. είναι συνήθως βροχοειδή, αλλά λειτουργούν και ακτινικά. Η βροχοειδής δομή, επιτρέπει οικονομία γραμμών, μεγαλύτερη αξιοπιστία και συνέχεια της τροφοδότησης, για τον ίδιο βαθμό εξυπηρέτησης. Αντίθετα, η ακτινική δομή χαρακτηρίζεται από τη απλότητα των μέσων προστασίας και της ροής ενέργειας.

Το είδος των περιοχών κατανάλωσης (αστικές, βιομηχανικές, κ.λ.π.), καθώς επίσης και η πυκνότητα των φορτίων και της δόμησης, καθορίζουν τον τύπο των δικτύων Μ.Τ., αν είναι δηλαδή υπόγεια ή εναέρια. Έτσι, στο κέντρο των πόλεων ή σε περιοχές μεγάλης πυκνότητας φορτίου τα δίκτυα Μ.Τ. είναι υπόγεια, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές τα δίκτυα είναι εναέρια.

Τα δίκτυα Χ.Τ. (230/400V), αναχωρούν από τους σταθμούς διανομής Μ.Τ./Χ.Τ. και καταλήγουν μέχρι τα φυσικά όρια των καταναλωτών Χ.Τ.. Έχουν ακτινική δομή και στις πυκνοκατοικημένες περιοχές είναι υπόγεια.

Το ότι σε κάθε χώρα ακόμα και μεταξύ διαφορετικών πόλεων της ίδιας χώρας, τα δίκτυα διανομής εμφανίζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (σε αντίθεση με τα δίκτυα μεταφοράς τα οποία είναι διεθνώς όμοια), οφείλεται στο γεγονός ότι τα δίκτυα διανομής συνδέονται άμεσα με τα ιδιαίτερα στοιχεία δόμησης, την πυκνότητα φορτίου, τις ιδιομορφίες των πόλεων, καθώς και με το γενικότερο τρόπο χωροταξικής διαμόρφωσης της κάθε χώρας.



Εικόνα 9



Εικόνα 10

Συνοψίζοντας η τροφοδότηση(σύνδεση) των καταναλωτών από το ΣΗΕ , γίνεται ανάλογα με τη μέγιστη απορροφούμενη ισχύς τους.Για το ελληνικό σύστημα της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού(Δ.Ε.Η.), διακρίνουμε τις ακόλουθες τρεις κατηγορίες καταναλωτών :

- Καταναλωτές υψηλής τάσης (Υ.Τ.) στα 150 KV, για ισχύς $\geq 10\text{MW}$
- Καταναλωτές μέσης τάσης (Μ.Τ.) στα 20 KV, για ισχύς $\geq 200\text{KW}$
- Καταναλωτές χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) στα 230/400 V, για ισχύς $\leq 200\text{KW}$

Έτσι όλη η ενέργεια που παράγεται στους σταθμούς παραγωγής, αρχικά μεταφέρεται σε κοντινούς μετασχηματιστές που μετασχηματίζουν τη χαμηλή τάση της ηλεκτρικής ενέργειας σε υψηλή.Με αυτό τον τρόπο η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με τις γραμμές μεταφοράς σε πολύ μεγάλες αποστάσεις με λιγότερες απώλειες, καθώς οι σταθμοί παραγωγής είναι συνήθως μακριά από μεγάλα αστικά κέντρα.Το δίκτυο μεταφοράς, οδηγεί την ηλεκτρική ενέργεια στους υποσταθμούς μέσης και χαμηλής, στους οποίους μετατρέπεται η τάση της ηλεκτρικής ενέργειας από υψηλή σε μέση και χαμηλή τάση, προκειμένου με τη βοήθεια εναέριων γραμμών να διανεμηθεί σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν μέση τάση και σε σπίτια συνήθως μέσω υπόγειων γραμμών που χρησιμοποιούν χαμηλή τάση.

Ένα ΣΗΕ καλείται να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις του συνόλου των καταναλωτών που ανήκουν στην επικράτεια του.Καθαρά τεχνικο-οικονομικοί λόγοι επιβάλλουν εφόσον αυτό είναι εφικτό, τη διασύνδεση του εθνικού ΣΗΕ και με άλλα ΣΗΕ της ίδιας χώρας(στην περίπτωση ιδιωτικών ηλεκτρικών εταιριών) ή άλλων γειτονικών χωρών.

2.1 Ανάλυση συμμετρικών και ασύμμετρων σφαλμάτων

Με τον όρο βραχυκύκλωμα(ή σφάλμα) σε ένα Σ.Η.Ε. χαρακτηρίζουμε οποιαδήποτε λειτουργική κατάσταση που συμβάλλει στη ροή των ρευμάτων στους διάφορους κλάδους του συστήματος, πολύ μεγαλύτερου μεγέθους από τα αντίστοιχα κατά την ονομαστική λειτουργία και τα οποία προκαλούνται από απότομες αλλαγές της τοπολογίας του δικτύου. Τα σφάλματα αυτά προέρχονται, όταν μία ή περισσότερες από τις φάσεις του δικτύου έρθει σε επαφή με τη γη, είτε απευθείας είτε μέσω αντίστασης σφάλματος, ή και στις περιπτώσεις όπου 2 ή περισσότερες φάσεις έρθουν σε επαφή μεταξύ τους είτε απευθείας είτε μέσω αντίστασης σφάλματος.

Επομένως τα βραχυκυκλώματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- 3-φασικό συμμετρικό σφάλμα
- 1-φασικό σφάλμα προς γη
- 2-φασικό σφάλμα χωρίς γη
- 2-φασικό σφάλμα με γη

Στατιστικά, τα περισσότερα σφάλματα εμφανίζονται στα εξωτερικά μέρη του δικτύου, όπως στις γραμμές μεταφοράς και στους μονωτήρες, τα οποία είναι εκτεθειμένα στις έντονες καιρικές συνθήκες (π.χ. κεραυνοί, χιονοπτώσεις) και λιγότερο στα εσωτερικά μέρη του δικτύου, όπως στις γεννήτριες και στους μετασχηματιστές(π.χ. λόγω καταστροφής της μόνωσης). Σφάλματα επίσης, είναι δυνατόν να προκληθούν μετά από εσφαλμένους χειρισμούς ή και από ατυχήματα.

Η ανάλυση των σφαλμάτων γίνεται με την χρήση της μεθόδου συμμετρικών συνιστωσών η οποία επιτρέπει τον προσδιορισμό των τάσεων και των ρευμάτων σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου. Στις εξισώσεις(2.1) και (2.2) φαίνεται σε μητρική μορφή η σχέση μεταξύ φασικών μεγεθών και συμμετρικών συνιστωσών τάσης και ρεύματος.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha^{(0)} \\ V_\alpha^{(1)} \\ V_\alpha^{(2)} \end{bmatrix} = \tilde{A} \begin{bmatrix} V_\alpha^{(0)} \\ V_\alpha^{(1)} \\ V_\alpha^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} V_\alpha^{(0)} \\ V_\alpha^{(1)} \\ V_\alpha^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \tilde{A}^{-1} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

(2.1)

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_\alpha^{(0)} \\ I_\alpha^{(1)} \\ I_\alpha^{(2)} \end{bmatrix} = \tilde{A} \begin{bmatrix} I_\alpha^{(0)} \\ I_\alpha^{(1)} \\ I_\alpha^{(2)} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_\alpha^{(0)} \\ I_\alpha^{(1)} \\ I_\alpha^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \tilde{A}^{-1} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

(2.2)

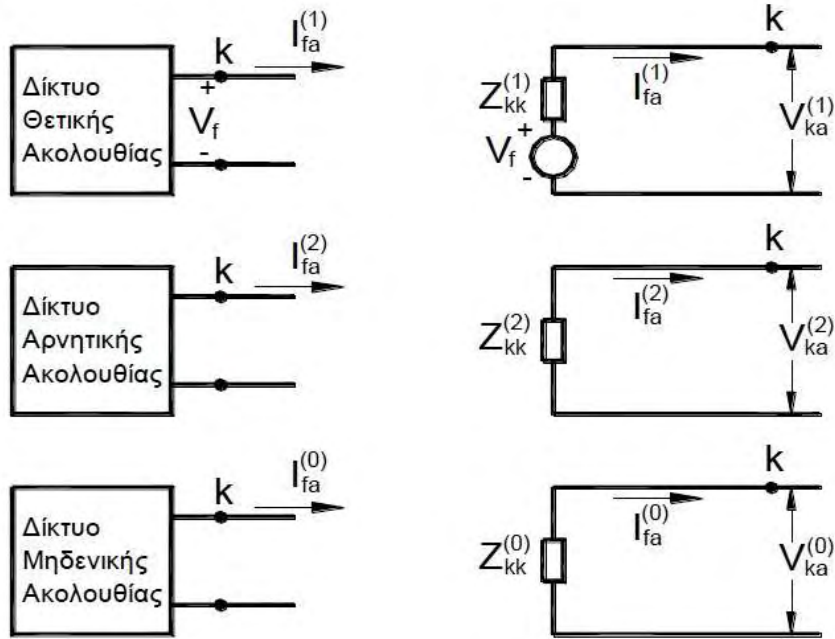
Τα μονοφασικά ακολουθιακά δίκτυα παρουσιάζονται στο σχήμα 4 , στη σχέση (2.3) παρουσιάζονται οι εξισώσεις που περιγράφουν τις τάσεις των ακολουθιακών κυκλωμάτων στο ζυγό (j) για ένα σφάλμα στο ζυγό (k) του δικτύου, ενώ στη σχέση (2.4) παρουσιάζονται οι ακολουθιακές τάσεις για τον ζυγό(k).

$$\begin{aligned} V_{j\alpha}^{(0)} &= -Z_{jk}^{(0)} I_{f\alpha}^{(0)} \\ V_{j\alpha}^{(1)} &= V_{jf} - Z_{jk}^{(1)} I_{f\alpha}^{(1)} \\ V_{j\alpha}^{(2)} &= -Z_{jk}^{(2)} I_{f\alpha}^{(2)} \end{aligned}$$

(2.3)

$$\begin{aligned} V_{k\alpha}^{(0)} &= -Z_{kk}^{(0)} I_{f\alpha}^{(0)} \\ V_{k\alpha}^{(1)} &= V_f - Z_{kk}^{(1)} I_{f\alpha}^{(1)} \\ V_{k\alpha}^{(2)} &= -Z_{kk}^{(2)} I_{f\alpha}^{(2)} \end{aligned}$$

(2.4)



Σχήμα 4

Στα πλαίσια της ακόλουθης ανάλυσης βραχυκυκλωμάτων σημειώνεται ότι:

- Τα ρεύματα τα οποία ρέουν στο δίκτυο προς το σημείο του σφάλματος από τις φάσεις a,b και c συμβολίζονται ως I_{fa}, I_{fb} και I_{fc} .
- Οι τάσεις ως προς γη σε οποιοδήποτε ζυγό (j) του συστήματος συμβολίζονται ως V_{ja}, V_{jb} και V_{jc} .
- Οι δείκτες 1,2 και 0 καθορίζουν τα μεγέθη θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας.
- Η φασική τάση ως προς τον ουδέτερο στο σημείο του σφάλματος συμβολίζεται ως V_f .
- Η $Z_{ij}^{(x)}$ είναι η σύνθετη αντίσταση που βρίσκεται στην θέση (i,j) του πίνακα σύνθετων αντιστάσεων κάθε ακολουθιακού κυκλώματος.

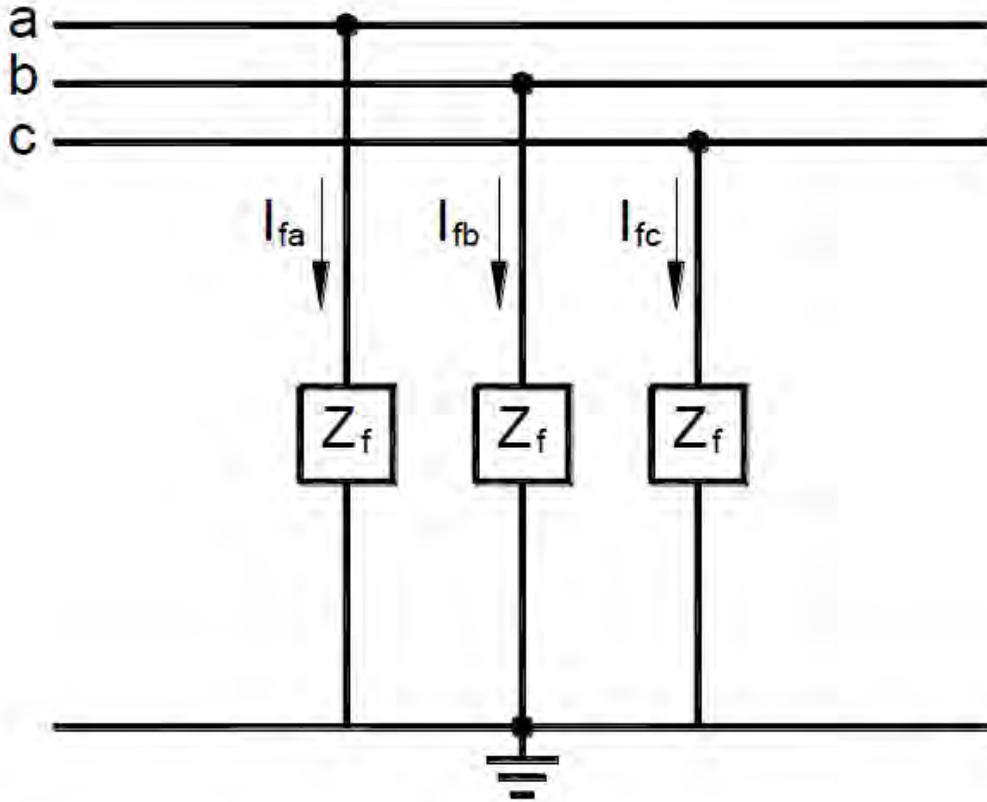
Τριφασικό συμμετρικό σφάλμα

Η ανάλυση μπορεί να γίνει ή στη μία φάση(1Φ) εξαιτίας της συμμετρικότητας ή στις τρεις φάσεις(3Φ). Ένα 3-φασικό σφάλμα με αντίσταση σφάλματος Z_f παρουσιάζεται στο σχήμα 5 ενώ οι συνθήκες που ισχύουν περιγράφονται στις παρακάτω εξισώσεις:

$$V_a = I_{fa} \cdot Z_f$$

$$V_b = I_{fb} \cdot Z_f \quad (2.5)$$

$$V_c = I_{fc} \cdot Z_f$$



Σχήμα 5

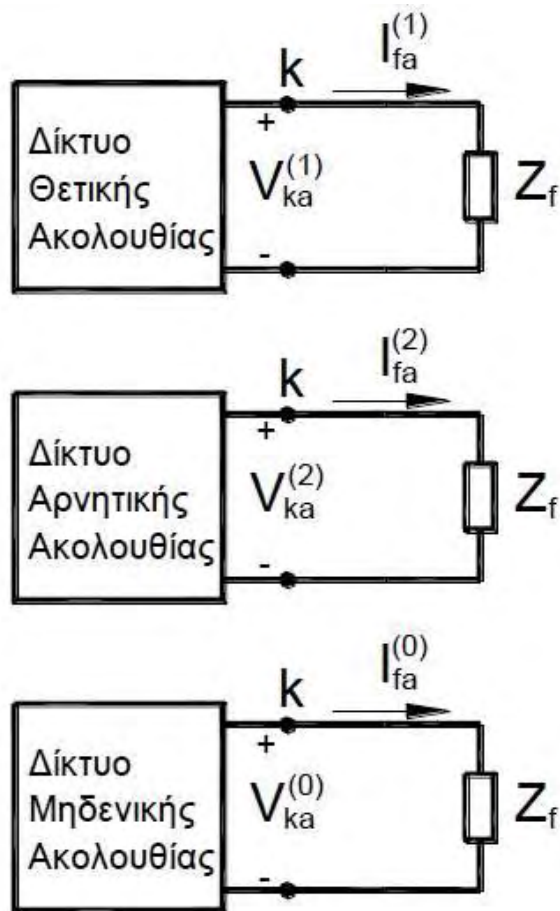
Η αντίστοιχη μητρική σχέση παρουσιάζεται στην εξίσωση (2.6) :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_f & 0 & 0 \\ 0 & Z_f & 0 \\ 0 & 0 & Z_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix}$$

Από την σχέση 2.6 με τη χρήση των μητρών μετασχηματισμού μπορεί να γραφεί η μητρική εξίσωση που περιγράφει τα μεγέθη με συμμετρικές συνιστώσες στην παρακάτω εξίσωση (2.7):

$$\begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \tilde{A}^{-1} \begin{bmatrix} Z_f & 0 & 0 \\ 0 & Z_f & 0 \\ 0 & 0 & Z_f \end{bmatrix} \tilde{A} \begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_f & 0 & 0 \\ 0 & Z_f & 0 \\ 0 & 0 & Z_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix}$$

Από την εξίσωση(2.7) γίνεται αντιληπτό ότι τα 3 δίκτυα ακολουθίας είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους .Αυτό είναι αναμενόμενο αφού το σύστημα διατηρεί τη συμμετρία του μετά την επιβολή ενός συμμετρικού 3-φασικού σφάλματος.Η συνδεσμολογία των 3 δικτύων ακολουθίας φαίνεται στο σχήμα 6.



Σχήμα 6

Αντικαθιστώντας τη σχέση (2.7) στην (2.4) προκύπτουν οι σχέσεις (2.8) και (2.9) που περιγράφουν τις ακολουθιακές τάσεις και ρεύματα κατά την διάρκεια του σφάλματος.

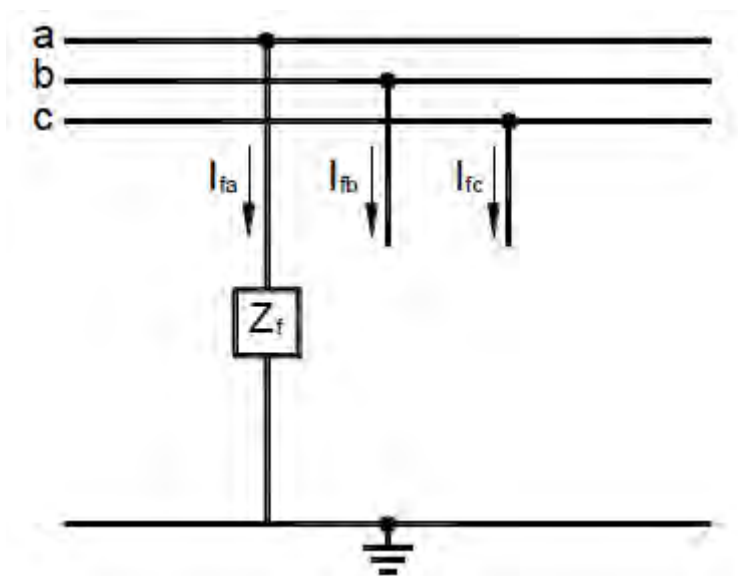
$$\begin{aligned}
 I_{fa}^{(0)} &= 0 \\
 I_{fa}^{(1)} &= \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \\
 I_{fa}^{(2)} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ka}^{(0)} &= 0 \\
 V_{ka}^{(1)} &= V_f \frac{Z_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \\
 V_{ka}^{(2)} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

Σε περίπτωση μηδενικής αντίστασης σφάλματος ($Z_f=0$), η τάση θετικής ακολουθίας στο σημείο του σφάλματος είναι μηδενική.

Μονοφασικό σφάλμα προς γη

Το μονοφασικό σφάλμα αγωγού a προς γη με αντίσταση σφάλματος Z_f περιγράφεται στο σχήμα 7, ενώ στη σχέση (2.10) περιγράφονται οι συνθήκες του σφάλματος.



Σχήμα 7

$$I_{fb} = 0$$

$$I_{fc} = 0$$

$$V_{ka} = Z_f I_{fa} \quad (2.10)$$

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (2.2) και (2.10) προκύπτουν οι συμμετρικές συνιστώσες των ρευμάτων.

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Από τη μητρική μορφή της σχέσης (2.13) έχουμε:

$$I_{fa}^{(0)} = I_{fa}^{(1)} = I_{fa}^{(2)} = \frac{1}{3} I_{fa} \quad (2.12)$$

Αντικαθιστώντας την (2.12) στην (2.4) προκύπτει:

$$\begin{aligned} V_{k\alpha}^{(0)} &= -Z_{kk}^{(0)} I_{f\alpha}^{(0)} \\ V_{k\alpha}^{(1)} &= V_f - Z_{kk}^{(1)} I_{f\alpha}^{(0)} \\ V_{k\alpha}^{(2)} &= -Z_{kk}^{(2)} I_{f\alpha}^{(0)} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Στη συνέχεια, προσθέτοντας κατά μέλη τις εξισώσεις της σχέσης (2.13):

$$V_{k\alpha} = V_{k\alpha}^{(0)} + V_{k\alpha}^{(1)} + V_{k\alpha}^{(2)} = V_f - \left(Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} \right) I_{f\alpha}^{(0)} = 3Z_f I_{f\alpha}^{(0)} \quad (2.14)$$

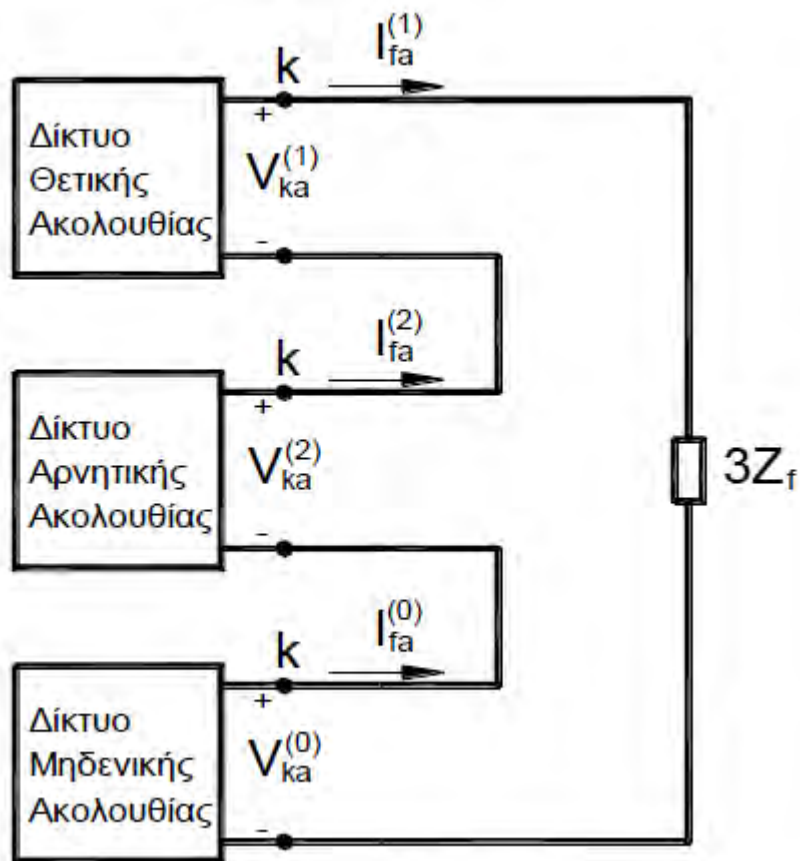
Τελικά προκύπτει:

$$I_{f\alpha}^{(0)} = I_{f\alpha}^{(1)} = I_{f\alpha}^{(2)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.15)$$

Οι τάσεις των ακολουθιακών δικτύων στο σημείο του σφάλματος προκύπτουν από τον συνδυασμό των σχέσεων (2.13) και (2.15).

$$\begin{aligned} V_{k\alpha}^{(0)} &= -Z_{kk}^{(0)} I_{f\alpha}^{(0)} = -V_f \frac{Z_{kk}^{(0)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \\ V_{k\alpha}^{(1)} &= V_f - Z_{kk}^{(1)} I_{f\alpha}^{(0)} = V_f \frac{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \\ V_{k\alpha}^{(2)} &= -Z_{kk}^{(2)} I_{f\alpha}^{(0)} = -V_f \frac{Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \end{aligned} \quad (2.16)$$

Από την σχέση (2.14) γίνεται αντιληπτό ότι τα ακολουθιακά δίκτυα είναι συνδεδεμένα εν σειρά μεταξύ τους μέσω της σύνθετης αντίστασης $3Z_f$. Η σύνδεση των ακολουθιακών δικτύων παρουσιάζονται στο σχήμα 8.



Σχήμα 8

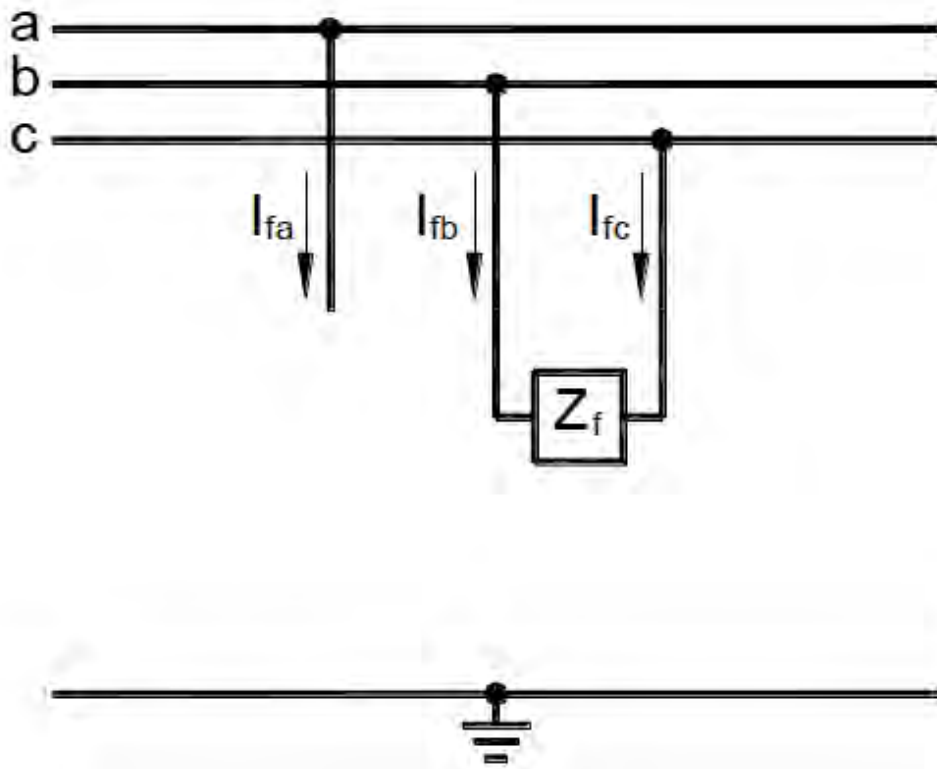
Σε περίπτωση μηδενικής αντίστασης σφάλματος ($Z_f = 0$), τότε οι αρχικές συνθήκες διαμορφώνονται ως εξής:

$$\begin{aligned}
 I_{fb} &= 0 \\
 I_{fc} &= 0 \\
 V_{ka} &= Z_f I_{fa}
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

Τα ρεύματα και τις τάσεις στο σημείο του σφάλματος εκφράζονται από τις σχέσεις (2.15) και (2.16) θέτοντας $Z_f = 0$.

Διφασικό σφάλμα χωρίς γη

Το διφασικό σφάλμα χωρίς γη μεταξύ των αγωγών b, c με αντίσταση σφάλματος Z_f περιγράφεται στο σχήμα 9, ενώ στη σχέση (2.18) περιγράφονται οι συνθήκες του σφάλματος.



Σχήμα 9

$$\begin{aligned}
 I_{fa} &= 0 \\
 I_{fb} &= -I_{fc} \\
 V_{kb} - V_{kc} &= Z_f I_{fb}
 \end{aligned}
 \tag{2.18}$$

Σύμφωνα με τις συνθήκες του σφάλματος, τα ρεύματα ακολουθίας δίνονται σε μητρική μορφή ως εξής:

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_{fb} \\ -I_{fb} \end{bmatrix}$$

(2.19)

Συνεπώς έχουμε:

$$\begin{aligned}
 I_{fa}^{(0)} &= 0 \\
 I_{fa}^{(1)} &= -I_{fa}^{(2)}
 \end{aligned}
 \tag{2.20}$$

Από την παραπάνω σχέση γίνεται αντιληπτό ότι το δίκτυο μηδενικής ακολουθίας δεν εμπλέκεται στους υπολογισμούς για το 2-φασικό σφάλμα χωρίς γη. Αναλύοντας τα φασικά μεγέθη της 3ης εξίσωσης της σχέσης (2.20) σε συμμετρικές συνιστώσες προκύπτουν τα εξής:

$$\begin{aligned}
V_{kb} - V_{kc} &= Z_f I_{fb} \rightarrow (V_{kb}^{(1)} + V_{kb}^{(2)}) - (V_{kc}^{(1)} + V_{kc}^{(2)}) = (I_{fb}^{(1)} + I_{fb}^{(2)}) Z_f \\
&\rightarrow (V_{kb}^{(1)} - V_{kc}^{(1)}) + (V_{kb}^{(2)} - V_{kc}^{(2)}) = (I_{fb}^{(1)} + I_{fb}^{(2)}) Z_f \\
&\rightarrow (\alpha^2 - \alpha) (V_{k\alpha}^{(1)} - V_{k\alpha}^{(2)}) = (\alpha^2 I_{f\alpha}^{(1)} + \alpha I_{f\alpha}^{(2)}) Z_f
\end{aligned}$$

Αντικαθιστώντας την σχέση (2.20) προκύπτει:

$$V_{k\alpha}^{(1)} - V_{k\alpha}^{(2)} = I_{f\alpha}^{(1)} Z_f \quad (2.21)$$

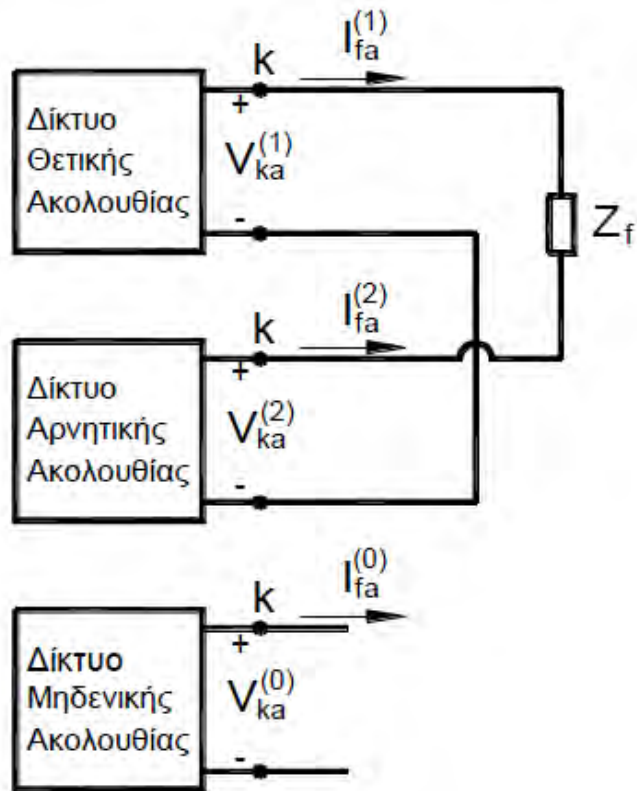
Τέλος αντικαθιστώντας την σχέση (2.21) στην (2.4) έχουμε:

$$V_f - I_{f\alpha}^{(1)} Z_{kk}^{(1)} - I_{f\alpha}^{(2)} Z_{kk}^{(2)} = I_{f\alpha}^{(1)} Z_f \Leftrightarrow I_{f\alpha}^{(1)} = -I_{f\alpha}^{(2)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.22)$$

Οι ακολουθιακές τάσεις στο σημείο του σφάλματος δίνονται από τις εξισώσεις της σχέσης (2.23).

$$\begin{aligned}
V_{k\alpha}^{(0)} &= -Z_{kk}^{(0)} I_{f\alpha}^{(0)} = 0 \\
V_{k\alpha}^{(1)} &= V_f - Z_{kk}^{(1)} I_{f\alpha}^{(0)} = V_f \frac{Z_{kk}^{(2)} + Z_f}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \\
V_{k\alpha}^{(2)} &= -Z_{kk}^{(2)} I_{f\alpha}^{(0)} = V_f \frac{Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.23)
\end{aligned}$$

Στο σχήμα 10 παρουσιάζεται η συνδεσμολογία των ακολουθιακών δικτύων για την περίπτωση του διαφασικού σφάλματος χωρίς γη. Από τις σχέσεις γίνεται αντιληπτό ότι τα δίκτυα θετικής και αρνητικής ακολουθίας συνδέονται παράλληλα μέσω της αντίστασης Z_f , ενώ το δίκτυο μηδενικής ακολουθίας παραμένει ανοιχτοκυκλωμένο.



Σχήμα 10

Σε περίπτωση μηδενικής αντίστασης σφάλματος ($Z_f = 0$), τότε οι αρχικές συνθήκες διαμορφώνονται ως εξής:

$$I_{fa} = 0$$

$$I_{fb} = -I_{fc}$$

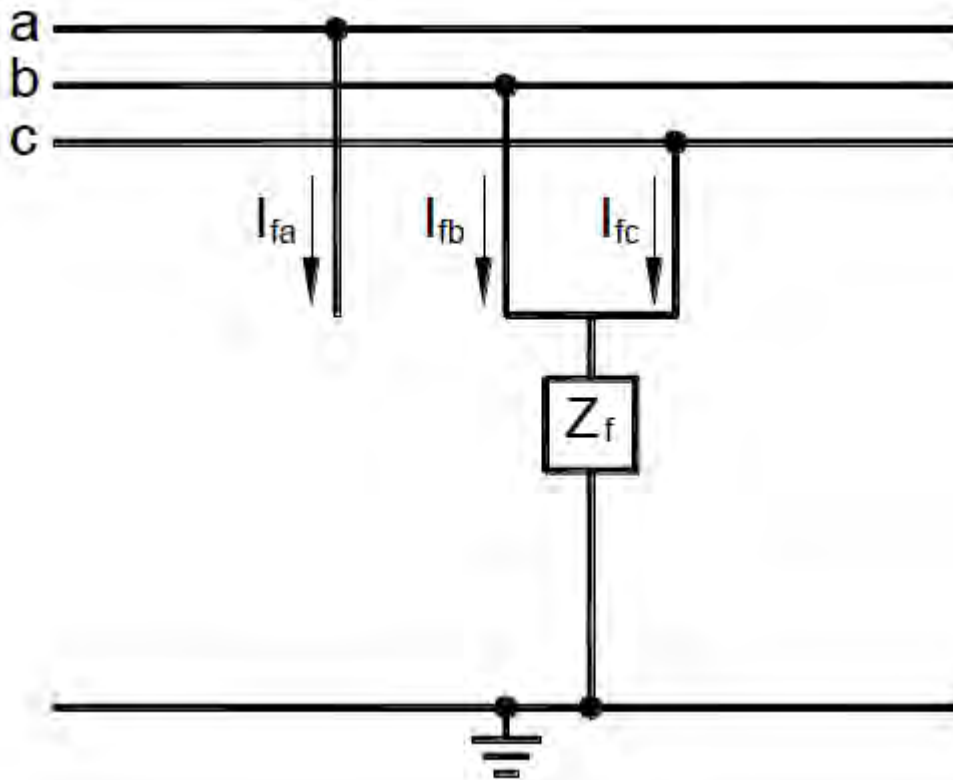
$$V_{kb} - V_{kc} = 0$$

(2.24).

Τα ρεύματα και τις τάσεις στο σημείο του σφάλματος εκφράζονται από τις σχέσεις (2.22) και (2.23) θέτοντας $Z_f = 0$.

Διφασικό σφάλμα με γη

Το διφασικό σφάλμα προς γη μεταξύ των αγωγών b, c με αντίσταση σφάλματος Z_f περιγράφεται στο σχήμα 11, ενώ στη σχέση (2.25) περιγράφονται οι συνθήκες του σφάλματος.



Σχήμα 11

$$\begin{aligned}
 I_{fa} &= 0 \\
 V_{kb} &= V_{kc} = Z_f(I_{fb} + I_{fc})
 \end{aligned}
 \tag{2.25}$$

Το ρεύμα την φάσης a είναι μηδενικό, συνεπώς το ρεύμα μηδενικής ακολουθίας είναι:

$$I_{f\alpha}^{(0)} = \frac{I_{fb} + I_{fc}}{3}
 \tag{2.26}$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (2.25) και (2.26) έχουμε για τις τάσεις:

$$V_{kb} = V_{kc} = 3Z_f I_{f\alpha}^{(0)}
 \tag{2.27}$$

Η μητρική σχέση των συμμετρικών συνιστωσών είναι η εξής:

$$\begin{bmatrix} V_{ka}^{(0)} \\ V_{ka}^{(1)} \\ V_{ka}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{kb} \\ V_{kb} \\ V_{kb} \end{bmatrix}
 \tag{2.28}$$

Προκύπτει ότι η τάση θετικής και αρνητικής ακολουθίας είναι ίσες:

$$V_{k\alpha}^{(1)} = V_{k\alpha}^{(2)} \quad (2.29)$$

Από την 1η γραμμή της μητρικής σχέσης (2.28) ισχύει:

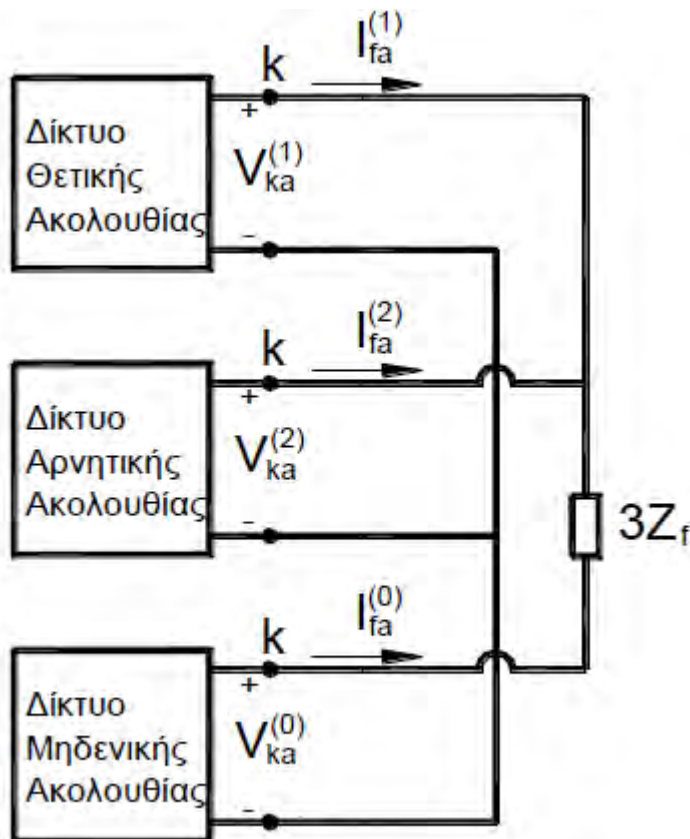
$$\begin{aligned} 3V_{k\alpha}^{(0)} = V_{k\alpha} + 2V_{kb} &= (V_{k\alpha}^{(0)} + V_{k\alpha}^{(1)} + V_{k\alpha}^{(2)}) + 2(3Z_f I_{f\alpha}^{(0)}) \Leftrightarrow 2V_{k\alpha}^{(0)} - 2(3Z_f I_{f\alpha}^{(0)}) \\ &= V_{k\alpha}^{(1)} + V_{k\alpha}^{(2)} \end{aligned}$$

Αντικαθιστώντας την σχέση (2.29) στην παραπάνω εξίσωση και παρατηρώντας ότι $I_{fa} = 0$ έχουμε τις εξής σχέσεις:

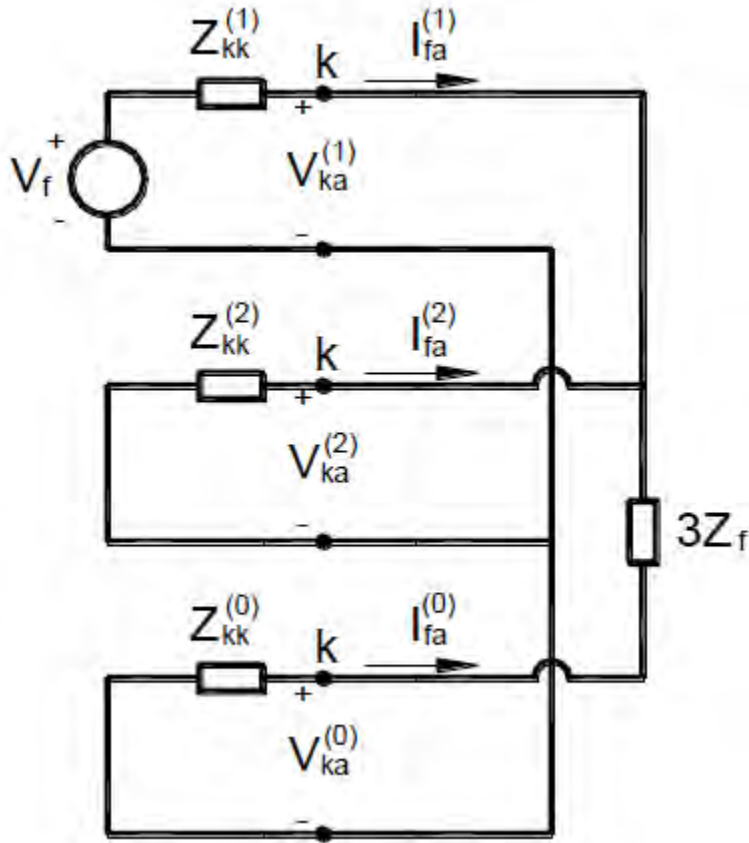
$$V_{k\alpha}^{(0)} - 3Z_f I_{f\alpha}^{(0)} = V_{k\alpha}^{(1)} = V_{k\alpha}^{(2)} \quad (2.30)$$

$$I_{f\alpha}^{(0)} + I_{f\alpha}^{(1)} + I_{f\alpha}^{(2)} = 0 \quad (2.31)$$

Από τις σχέσεις (2.30) και (2.31) γίνεται αντιληπτό ότι τα τρία δίκτυα ακολουθίας συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Τα δίκτυα θετικής και αρνητικής ακολουθίας συνδέονται απευθείας, ενώ το δίκτυο μηδενικής ακολουθίας συνδέεται με τα δύο πρώτα μέσω της σύνθετης αντίστασης βραχυκύκλωσης $3Z_f$. Η συνδεσμολογία των ακολουθιακών κυκλωμάτων παρουσιάζεται στα σχήματα 12 και 13.



Σχήμα 12



Σχήμα 13

Από την συνδεσμολογία των ισοδύναμων κυκλωμάτων Thevenin προκύπτει:

$$I_{fa}^{(1)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)} + \frac{Z_{kk}^{(2)}(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)}{Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f}} = \frac{V_f(Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)}{Z_{kk}^{(1)}(Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f) + Z_{kk}^{(2)}(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)} \quad (2.32)$$

Εφαρμόζοντας διαίρετες τάσης στα ισοδύναμα κυκλώματα Thevenin μπορούν να υπολογισθούν τα ρεύματα μηδενικής και αρνητικής ακολουθίας ως εξής:

$$I_{fa}^{(2)} = -I_{fa}^{(1)} \frac{Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f}{Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f} = -\frac{V_f(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)}{Z_{kk}^{(1)}(Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f) + Z_{kk}^{(2)}(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)} \quad (2.33)$$

$$I_{fa}^{(0)} = -I_{fa}^{(1)} \frac{Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f} = -\frac{V_f Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)}(Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f) + Z_{kk}^{(2)}(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)} \quad (2.34)$$

Τέλος, αντικαθιστώντας τις εξισώσεις (2.33) και (2.34) στην σχέση (2.6) προκύπτουν οι ακολουθιακές τάσεις:

$$V_{k\alpha}^{(0)} = -Z_{kk}^{(0)} I_{f\alpha}^{(0)} = V_f \frac{Z_{kk}^{(0)} Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} (Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f) + Z_{kk}^{(2)} (Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)} \quad (2.35)$$

$$V_{k\alpha}^{(1)} = V_{k\alpha}^{(2)} = -Z_{kk}^{(2)} I_{f\alpha}^{(2)} = V_f \frac{(Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f) Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} (Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f) + Z_{kk}^{(2)} (Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f)} \quad (2.36)$$

Αν η σύνθετη αντίσταση σφάλματος είναι μηδενική τότε για τον υπολογισμό των ακολουθιακών τάσεων και ρευμάτων αντικαθιστούμε στις σχέσεις (2.33) έως (2.36) $Z_f = 0$, ενώ αν η αντίσταση σφάλματος είναι πολύ μεγάλη ($Z_f \rightarrow \infty$) τότε το δίκτυο μηδενικής ακολουθίας ανοικτοκυκλώνεται και το σφάλμα περιγράφεται σαν τα διαστικά σφάλματος χωρίς γη.

2.2 Ταξινόμηση βραχυκυκλωμάτων ανάλογα με τη διάρκεια

- **Υπερταγέα μεταβατικά φαινόμενα:** Συνήθως δημιουργούνται από (i) κεραυνούς τα οποία δε μπορούν να ελεγχθούν και (ii) διακόπτες(υπερτάσεις ή υποτάσεις που δεν είναι καταστροφικές αλλά δημιουργούν προβλήματα ευστάθειας).Δε δημιουργούν προβλήματα στις γεννήτριες ούτε στους κινητήρες αλλά ούτε και στα φορτία.
- **Ταχεία μεταβατικά φαινόμενα:** Δημιουργούνται από την κακοκαιρία(κεραυνοί.πέσιμο δέντρων,δυνατός αέρας οπότε πέσιμο γραμμών,κόψιμο γραμμής άρα πάει στη γη), ατυχήματα(πχ να πέσει μία κολώνα, το πολύ βάρος του χιονιού στις γραμμές).
- **Βραδέα μεταβατικά φαινόμενα:** Είναι τα πιο σημαντικά και χρειάζεται να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση εξαιτίας της διάρκειάς τους.Συνήθως είναι βραχυκυκλώματα σε ζωτικής σημασίας γραμμές και οδηγούν σε σοβαρές διαταραχές μεταβατικής κατάστασης εξαιτίας των προκυπτουσών ταλαντώσεων του δρομέα των μηχανών.Άρα κάνω ολοκληρωμένες μελέτες μεταβατικής ευστάθειας, αποσυγχρονισμό, μελέτες ρύθμισης διακοπών

Αξίζει να τονισούμε ότι σοβαρές διαταραχές δημιουργούνται από το άνοιγμα/κλείσιμο διακοπών, ιδιαίτερα όταν το κλείσιμο γίνει σε χρονική στιγμή μέγιστης τάσης.

2.3 Συνέπειες βραχυκυκλωμάτων

- Μεγάλα ρεύματα σημαίνει υπερθέρμανση αγωγών το οποίο σημαίνει καταστροφή υλικού, μονώσεων κ.λ.π.
- Δημιουργία υποτάσεων στο δίκτυο
- Αφού πέφτουν οι τάσεις πολύ , μπορεί να υπάρξει διακοπή τροφοδοσίας

2.4 Τρόποι αντιμετώπισης βραχυκυκλωμάτων

Εκκαθάριση μέσω ηλεκτρικών διακοπών ισχύος (με τη χρήση ηλεκτρονόμων). Το ρεύμα βραχυκύκλωσης είναι το ρεύμα που ρέει από τις γραμμές προς τη γη και εξαρτάται από τη γείωση των Μ/Σ και των μηχανών. Το ρεύμα ρέει από αγωγούς απευθείας στη γη ή μέσω γειώσεων των Μ/Σ ή των γεννητριών και κινητήρων.

Ο βασικός εξοπλισμός προστασίας υπερέντασης που χρησιμοποιείται στα ΣΗΕ, αλλά και σε βιομηχανικά δίκτυα, είναι:

- Διακόπτες ισχύος
- Ασφάλειες
- Διακόπτες αυτόματης επαναφοράς
- Ηλεκτρονόμοι υπερέντασης

Οι ηλεκτρονόμοι υπερέντασης είναι η πιο κοινή μορφή προστασίας η οποία χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση των σφαλμάτων στα συστήματα ισχύος. Δεν πρέπει να τοποθετούνται σαν αποκλειστικό μέσω προστασίας συστημάτων ενάντια στις υπερφορτίσεις, καθώς η προστασία υπερέντασης πρέπει να δουλεύει μόνο υπό καταστάσεις σφαλμάτων. Ωστόσο, οι ρυθμίσεις των ηλεκτρονόμων επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιμετωπίζονται τόσο οι υπερφορτίσεις σε κάποιο βαθμό όσο και οι καταστάσεις υπερέντασης.

2.5 Γειώσεις και αλεξικέραυνα

Ένα πολύ σημαντικό θέμα είναι οι γειώσεις διότι τα τελευταία χρόνια σημειώθηκαν σοβαρά ατυχήματα από αυτή την αιτία.

Ο στερεός φλοιός της γης αποτελείται από διάφορα συστατικά(μίγματα χημικών ενώσεων ή καθαρά στοιχεία) από τα οποία τα κυριότερα είναι:

- Τα διάφορα οξείδια, όπως του αργιλίου, του πυριτίου, του σιδήρου, του μαγνησίου, του νικελίου, του χαλκού κλπ.
- Τα διάφορα άλατα, όπως είναι το ανθρακικό ασβέστιο(ασβεστόλιθος, μάρμαρο κλπ) το θειϊκό ασβέστιο(γύψος), τα αλκαλικά άλατα κλπ.
- Τα διάφορα αυτούσια χημικά στοιχεία(χρυσός, άργυρος, υδράργυρος, χαλκός, θείο, άνθρακας κλπ)
- Ποσότητες νερού που διαφέρουν ανάλογα με τη θέση του εδάφους, την εποχή, τη χρήση, το είδος, την πυκνότητα του εδάφους κλπ.

Όλα τα παραπάνω συστατικά τα βλέπουμε σαν χώμα, πέτρες, άμμο ή νερό ή μίγματα από αυτά τα υλικά. Από τα συστατικά της γης άλλα παρουσιάζουν μεγάλη αγωγιμότητα(αυτοφυή μέταλλα) άλλα μικρότερη(άνθρακες και ηλεκτρολύτες), άλλα πιο μικρή(άλατα και οξείδια) κι άλλα μηδενική. Το έδαφος όμως στο σύνολό του είναι μίγμα από πολλά συστατικά και παρουσιάζει μέση αγωγιμότητα που διαφέρει από τόπο σε τόπο και από εποχή σε εποχή. Αυτό συμβαίνει διότι η κατανομή των διαφόρων συστατικών δεν είναι ομοιόμορφη σε όλα τα σημεία της γης. Σε ένα βραχύδες έδαφος θα έχουμε μεγάλη ειδική αντίσταση εδάφους και μικρή αγωγιμότητα. Αντίθετα σε ένα έδαφος αργιλοαμμώδες θα έχουμε μικρότερη ειδική αντίσταση εδάφους και μεγαλύτερη

αγωγιμότητα, που θα γίνει πιο μεγάλη αν αυξηθεί η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό. Ακόμη μεγαλύτερη αγωγιμότητα παρουσιάζει ένα έδαφος που περιέχει σε μεγάλη ποσότητα αγωγιμα οξείδια, άλατα, άνθρακα κλπ.

Ο παρακάτω πίνακας μας δίνει τις μέσες τιμές της ειδικής αντίστασης ρ για διάφορα είδη εδάφων.

Είδος εδάφους	Ειδική αντίσταση [Ωm]
Βάλτος	30-100
Αργιλώδες, πηλώδες ή αγρού	100
Οργανωμένη γη	90-150
Μπετόν	150-500
Υγρό χαλίκι	200-400
Στεγνό χαλίκι	1000-2000
Πετρώδες έδαφος	1000-3000

Επίδραση του είδους του εδάφους στην τιμή της ειδικής αντίστασής του

Πίνακας 2

Συνεπώς είναι πολύ σημαντικό να μετράμε την αντίσταση των γειώσεων με κατάλληλα όργανα

Γείωση είναι η ένωση ενός σημείου ενός κυκλώματος ή ενός ξένου προς το κύκλωμα μεταλλικού αντικειμένου με μία εγκατάσταση γείωσης. Εγκατάσταση γείωσης είναι ένα ή περισσότερα συνδεδεμένα ηλεκτρόδια γείωσης. Η γείωση μπορεί να είναι συνεχής ή να διακόπτεται παρεμβάλλοντας ένα διάκενο σπινθηριστή, οπότε μιλάμε για ανοιχτή γείωση. Η τελευταία συναντάται, όχι όμως κατά κανόνα, σε εγκαταστάσεις αλεξικεραυνών.

Κάθε αγωγιμη σύνδεση με τη γη ονομάζεται γείωση. Κάθε γείωση διακρίνεται από τα παρακάτω χαρακτηριστικά στοιχεία:

- Από το σκοπό για τον οποίο γίνεται (γείωση αλεξικέραυνου, γείωση μέσω επικοινωνίας, γείωση ουδετέρου κόμβου, γείωση προστασίας σε εσωτερικές εγκαταστάσεις κλπ)
- Από την αντίσταση γείωσης
- Από τον τρόπο κατασκευής της ο οποίος εξαρτάται από το έδαφος και τα υπάρχοντα μέσα.

Οι γειώσεις, ανάλογα με το σκοπό που πρόκειται να εξυπηρετήσουν, διακρίνονται σε τρία είδη:

1. Γειώσεις προστασίας

Μέθοδοι γειώσεων προστασίας:

- **Ουδετέρωση**
- **Άμεση**

Μέθοδοι άμεσης γειώσης:

- Στο δίκτυο ύδρευσης
- Τεχνητή γείωση

Μέθοδοι τεχνητής γείωσης:

- Με μεταλλική πλάκα
- Με σωλήνες ή πασσάλους
- Με ταινίες ή συρματόσχοινα
- Θεμελιακή
- Με ηλεκτρονόμο διαφυγής

2. Γειώσεις λειτουργίας

3. Γειώσεις ασφαλείας

Γείωση προστασίας ονομάζουμε την αγώγιμη σύνδεση με τη γη, όλων των μεταλλικών τμημάτων μιας εγκατάστασης, πάνω στα οποία δε θέλουμε να εμφανισθεί επικίνδυνη τάση. Αυτές οι γειώσεις γίνονται σε κάθε ηλεκτρική εγκατάσταση και έχουν σα σκοπό την προστασία των ανθρώπων από την παρουσία επικίνδυνης τάσης πάνω στα μεταλλικά μέρη των συσκευών που σε κανονική λειτουργία δε θα είχαν τάση. Αυτή είναι και η κυριότερη και πιο διαδεδομένη γείωση που συναντάμε, αφού δεν υπάρχει ηλεκτρική εγκατάσταση (κατοικίας ή γραφείου ή καταστήματος ή εργοστασίου), που να μην έχει τη γείωση της.

Γείωση λειτουργίας ονομάζουμε τη γείωση εκείνη που αποτελεί μέρος του κυκλώματος λειτουργίας μιας εγκατάστασης. Στην περίπτωση αυτή, η γείωση λειτουργίας είναι απαραίτητη για την κανονική λειτουργία του κυκλώματος. Τέτοιες γειώσεις συναντάμε σε πολλές περιπτώσεις, από τις οποίες κυριότερες μπορούμε να πούμε ότι είναι:

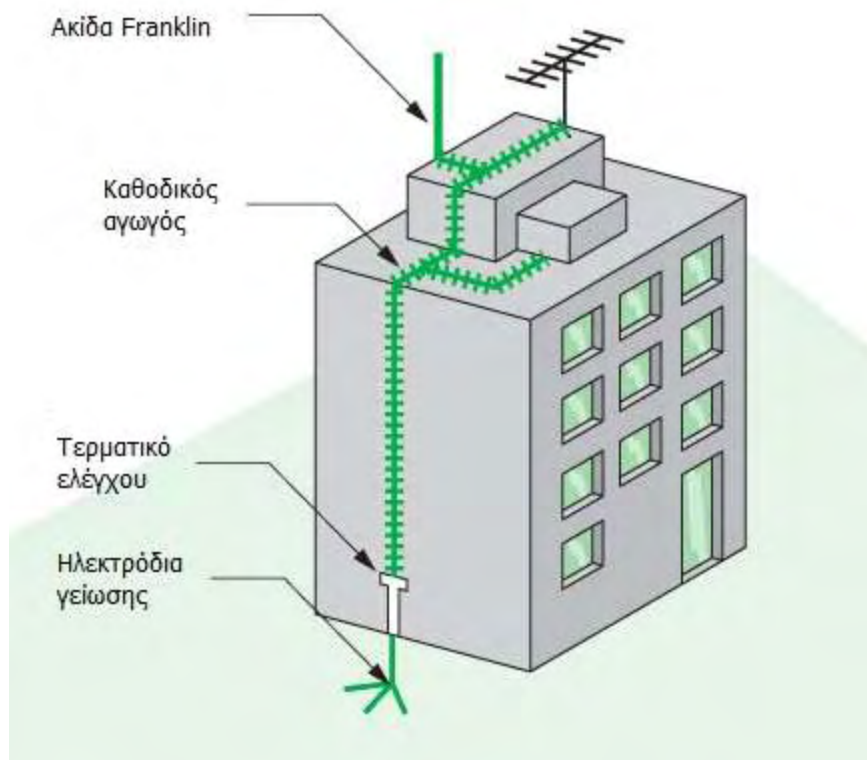
- Η γείωση του ουδέτερου κόμβου του μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης (πχ 15KV/220-380V)
- Η κατά διαστήματα γείωση του ουδέτερου ενός δικτύου χαμηλής τάσης
- Η γείωση της σιδηροτροχιάς (ράγας) του ηλεκτρικού σιδηροδρόμου ή των τραμ ώστε η ράγα μαζί με τη γη να αποτελέσουν τον ένα αγωγό του κυκλώματος λειτουργίας
- Η χρησιμοποίηση της γης σε δεύτερου αγωγού σε τηλεγραφικές και τηλεφωνικές γραμμές με τη βοήθεια δύο γειώσεων στα άκρα της γραμμής.
- Γενικά όπου χρησιμοποιείται η γη με τη βοήθεια ακραίων γειώσεων σαν αγωγός για τη λειτουργία ενός κυκλώματος.

Γείωση ασφαλείας μπορούμε να ονομάσουμε κάθε γείωση που χρησιμεύει για τη μεταφορά στατικών ηλεκτρικών φορτίων στη γη. Κυριότερες γειώσεις αυτής της κατηγορίας μπορούμε να πούμε ότι είναι οι γειώσεις των αλεξικέραυνων που χρησιμοποιούνται για την απ'ευθείας ανταλλαγή ηλεκτρικών φορτίων ανάμεσα στη γη και ένα ηλεκτρισμένο νέφος, για την αποφυγή των συνεπειών ενός κεραυνού.

Τα αλεξικέραυνα διαφέρουν ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους και με το σκοπό που εξυπηρετούν. Διαφέρει δηλαδή ένα αλεξικέραυνο κτιρίου από ένα αντίστοιχο ηλεκτρικού δικτύου ή υποσταθμού.

Τα αλεξικέραυνα των κτιριακών εγκαταστάσεων τα διακρίνουμε σε αλεξικέραυνα τύπου ακίδων (Franklin ή Faraday) και αλεξικέραυνα ιονισμού (ραδιενεργά).

Ωστόσο τα αλεξικέραυνα δεν είναι πάντοτε αποτελεσματικά.

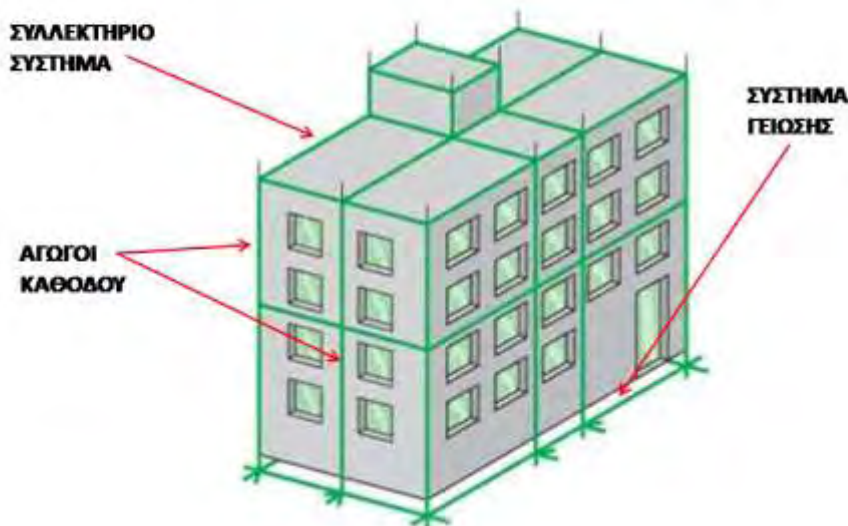


Εικόνα 11: Αλεξικέραυνο τύπου ακίδων (Franklin)

Παραπάνω βλέπουμε στην εικόνα την πιο απλή περίπτωση που το αλεξικέραυνο αποτελείται από μία κατακόρυφη ράβδο, που το πάνω άκρο της φέρει ακίδα και το κάτω συνδέεται με τη γη. Χρησιμοποιείται σε κτίρια μικρών διαστάσεων όπως καπνοδόχους εργοστασίων κλπ.

Πιο αποτελεσματικό μπορεί να θεωρηθεί το αλεξικέραυνο τύπου Faraday όπου το άνω άκρο αποτελείται από πολλές ακίδες και το κάτω άκρο από πολλές γειώσεις. Το κόστος όμως εγκατάστασης είναι μεγαλύτερο από αυτό του τύπου Franklin.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ – ΓΕΙΩΜΕΝΟΣ ΚΛΩΒΟΣ



Εικόνα 12: Αλεξικέραυνο τύπου ακίδων (Faraday-γειωμένος κλωβός)

Τα αλεξικέραυνα ιονισμού στη θέση της ακίδας έχουν ειδική κεφαλή με ραδιενεργό υλικό.

Η γείωση προστασίας μπορεί να γίνει κατά 3 τρόπους:

1) Άμεση γείωση: Σε αυτή χρησιμοποιούμε αποκλειστικά τη γη σαν αγωγό που θα διευκολύνει τη ροή ισχυρού ρεύματος (με τη βοήθεια ηλεκτροδίων γείωσης) ικανού να προκαλέσει την τήξη(κάψιμο) της συντηκτικής ασφάλειας ή τη διακοπή της αυτόματης ασφάλειας μέσα σε χρόνο 5 δευτερολέπτων από τη στιγμή που η τάση διαρροής θα ξεπεράσει τα 50 V. Συνδέουμε τα μεταλλικά τμήματα της εγκατάστασης στα οποία δε θέλουμε να εμφανισθεί επικίνδυνη τάση, απ'ευθείας με τη γη. Για τη σύνδεση αυτή χρησιμοποιούμε τα μεταλλικά δίκτυα των σωληνώσεων τη ύδρευσης(αν υπάρχουν) ή ηλεκτρόδια τεχνητών γειώσεων ή και τα 2 μαζί(σωλήνες ύδρευσης και ηλεκτρόδια τεχνητής γείωσης). Από όλη την Ελλάδα η άμεση γείωση εφαρμόζεται μόνο στην περιοχή της πρωτεύουσας όπου δε δημιουργήθηκαν ακόμη οι κατάλληλες συνθήκες για την εφαρμογή της ουδετέρωσης.

Η άμεση γείωση είναι η πιο δύσκολη και πολυδάπανη, επειδή πρέπει να εξασφαλίσουμε πολύ μικρή αντίσταση γείωσης. Η μικρή γείωση είναι εκείνη που συντελεί στη δημιουργία μεγάλου ρεύματος προς τη γη και τη γρήγορη απόζευξη του κυκλώματος από το οποίο θα προκληθεί διαρροή προς τα μεταλλικά μέρη της εγκατάστασης. Κάποια μέρα η γείωση αυτή θα καταργηθεί και στην περιοχή της πρωτεύουσας για να εφαρμοστεί η μέθοδος της ουδετέρωσης. Τότε όχι μόνο θα περιττεύει αυτή η μέθοδος αλλά θα είναι κι επικίνδυνη (και απαγορευμένη) η συνύπαρξη της μεθόδου αυτής με τη μέθοδο της ουδετέρωσης σύμφωνα με το άρθρο 19 των κανονισμών εσωτερικών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

2)Ουδετέρωση: Αυτή η μέθοδος γείωσης προστασίας εφαρμόζεται σε όλη την Ελλάδα, με εξαίρεση την περιοχή της πρωτεύουσας που προαναφέραμε. Σε αυτή τη μέθοδο, σαν αγωγός γείωσης χρησιμοποιείται ο ίδιος ο ουδέτερος του δικτύου. Αυτή η μέθοδος είναι ασφαλέστερη από την άμεση γείωση, όταν ο ουδέτερος μαζί με τις γειώσεις του, παρουσιάζει πολύ μικρή αντίσταση.

Τα γειωτά μεταλλικά τμήματα της εγκατάστασης συνδέονται με τον αγωγό γείωσης όπως και στην άμεση γείωση. Ο αγωγός γείωσης που σύμφωνα με την παράγραφο 5 του άρθρου 21 των κανονισμών πρέπει να διακρίνεται από το συνδυασμό κίτρινου και πράσινου χρώματος (σε κίτρινες και πράσινες λωρίδες) είναι ανεξάρτητος από τον αγωγό σ' όλη την εγκατάσταση.

Η σύνδεση του αγωγού γείωσης με τον ουδέτερο γίνεται μέσα στο κιβώτιο του μετρητή της ΔΕΗ. Απ' αυτό το σημείο σύνδεσης, αναχωρεί κι ο αγωγός γείωσης που συνδέεται με το ηλεκτρόδιο γείωσης.

Αυτό το ηλεκτρόδιο γείωσης μπορεί να αποτελείται από γαλβανισμένο σιδηροσωλήνα. Σε αυτή την περίπτωση δε μας ενδιαφέρει η αντίσταση γείωσης, αφού η προστασία εξασφαλίζεται από τον ίδιο τον ουδέτερο.

Σε μεγάλες εγκαταστάσεις (μεγάλα εργοστάσια) η σύνδεση του αγωγού γείωσης στον ουδέτερο γίνεται χωριστά σε κάθε πίνακα αφού γίνει ταυτόχρονη σύνδεση σε τοπικό βοηθητικό ηλεκτρόδιο. Κατ' εξαίρεση μπορεί να καταργηθεί εντελώς ο αγωγός γείωσης, μετά από συγκατάθεση της ΔΕΗ, σε εγκαταστάσεις που επιτηρούνται μόνιμα από ειδικευμένο προσωπικό σύμφωνα με το άρθρο 19 των κανονισμών.

Η συνύπαρξη των δύο αυτών μεθόδων γείωσης στην ίδια εγκατάσταση ή στο ίδιο δίκτυο απαγορεύεται. Με το άρθρο 19 του κανονισμού Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων δίνεται η δυνατότητα στο διανομέα ηλεκτρικής ενέργειας να χρησιμοποιήσει ταυτόχρονα και τα 2 συστήματα με τους παρακάτω περιορισμούς:

- Η αντίσταση γείωσης και του ουδετέρου να μην ξεπερνάει το 1 ΩΜ.
- Η διάρκεια της συνύπαρξης να περιορίζεται στον απόλυτα απαραίτητο χρόνο που θα χρειασθεί για τη μετάβαση από το σύστημα της άμεσης γείωσης στο σύστημα της ουδετέρωσης.

3)Προστασία με αποζεύκτη διανομής : Όταν λέμε αποζεύκτης διαφυγής ή διακόπτης διαφυγής ή ηλεκτρονόμος διαφυγής ή ρελαί διαφυγής εννοούμε ένα όργανο απόζευξης, το οποίο, με την εμφάνιση επικίνδυνων τάσεων επαφής στα μεταλλικά στοιχεία (που κανονικά δεν πρέπει να έχουν τάση), διακόπτει αυτόματα την παροχή τάσης με τη βοήθεια της ίδιας της τάσης επαφής που θα εμφανισθεί.

Η γείωση αυτού του είδους, αποτελεί μια γενική μέθοδο γείωσης προστασίας, όταν είναι αδύνατη η εφαρμογή άλλης μεθόδου.

Όταν είναι δυνατή η αποτελεσματική προστασία με την άμεση γείωση ή την ουδετέρωση, δεν καταφεύγουμε στη χρήση αποζεύκτη διαφυγής.

Η χρησιμοποίηση αποζεύκτη διαφυγής θεωρείται απαραίτητη στις παρακάτω περιπτώσεις:

1. Όταν στο δίκτυο της περιοχής εφαρμόζεται η άμεση γείωση, η οποία είναι αδύνατη από την κακή αγωγιμότητα του εδάφους (έδαφος από βράχο ή ξερά χαλίκια κλπ.)
2. Όταν στην περιοχή εφαρμόζεται η ουδετέρωση και η εγκατάσταση βρίσκεται στο άκρο της γραμμής διακλάδωσης, όπου η προστασία με ουδετέρωση είναι αδύνατη.

Οι αποζεύκτες (διακόπτες) διαφυγής διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

1. Στους διακόπτες διαφυγής τάσης (Δ.Δ.Τ.)
2. Στους διακόπτες διαφυγής έντασης (Δ.Δ.Ε.)

Ο **διακόπτης διαφυγής τάσης** μπορεί να είναι διπολικός, όταν η τροφοδοτική γραμμή είναι μονοφασική, ή τετραπολικός όταν η τροφοδοτική γραμμή είναι τριφασική.

Μέσα από το διακόπτη περνάνε όλες οι φάσεις κι ο ουδέτερος.

Οι επαφές του διακόπτη στην κανονική λειτουργία είναι κλειστές και το κύκλωμα λειτουργεί κανονικά.

Όταν παρουσιαστεί από διαρροή μία τάση στα γειωμένα μέρη της εγκατάστασης το πηνίο του αποζεύκτη βρίσκεται σε διαφορά δυναμικού, αφού το ένα του άκρο τροφοδοτείται με την τάση διαρροής και το άλλο συνδέεται με τη γη. Αυτό θα έχει ως συνέπεια να κινηθεί μέσα από το πηνίο ένα ρεύμα που θα εξαρτάται από τη διαφορά δυναμικού και την αντίσταση της βοηθητικής γείωσης, σύμφωνα με τη σχέση:

$$I = U_{\text{διαρροής}}/R_{\text{γείωσης}}$$

Η αντίσταση του πηνίου δεν επηρεάζει αισθητά αυτό το ρεύμα, αφού είναι σημαντικά μικρότερη από την αντίσταση της βοηθητικής γείωσης.

Όταν η τάση επαφής που βρίσκεται στα γειωμένα μεταλλικά τμήματα πλησιάζει τα όρια της επικίνδυνης (50 V) , το ρεύμα που θα περνάει από το ρελαί προς τη γη, θα είναι αρκετό να διεγείρει το πηνίο και να τραβήξει τις κινητές επαφές του αποζεύκτη, ώστε να διακόψει την τροφοδότηση της εγκατάστασης.

Έτσι με αυτή τη διακοπή παύει και η παρουσία της διαρροής προς τα γειωμένα μεταλλικά τμήματα της εγκατάστασης.

Μετά το άνοιγμα, ο αποζεύκτης παραμένει ανοικτός μέχρι που να γίνει επαναφορά του με το χέρι.

Αυτή η χειροκίνητη επαναφορά, μας επιτρέπει να διαπιστώσουμε τη διαρροή αφού όσο συνεχίζεται η εμφάνιση επικίνδυνης τάσης, ο αποζεύκτης θα διακόπτει το κύκλωμα, πράγμα που θ'αντιληφθεί αμέσως ο χειριστής.

Οι **διακόπτες διαφυγής έντασης (ρελαί προστασίας)** που τους συναντάμε συχνά στους πίνακες των κατοικιών και γενικά των μικρών εγκαταστάσεων ονομάζονται και «διαφορικοί» αποζεύκτες, επειδή η λειτουργία τους βασίζεται στη σύγκριση των εντάσεων που διαρρέουν τους τροφοδοτικούς αγωγούς.

Αν π.χ. σε μία μονοφασική εγκατάσταση διαφέρει η ένταση που διαρρέει τον αγωγό φάσης από εκείνη που διαρρέει τον ουδέτερο, σημαίνει ότι κάποιο ρεύμα διαρρέει προς τη γη απ' άλλο δρόμο.

Αυτό συνήθως συμβαίνει, όταν υπάρχει διαρροή προς τη γη μέσα από τα γειωμένα μεταλλικά μέρη της εγκατάστασης, ή ακόμα κι από τα αγείωτα όταν έχουν μια αξιόλογη επαφή με αγώγιμο δάπεδο.

Αυτή η ανισότητα των ρευμάτων (εισόδου και εξόδου) στον αποζεύκτη, επενεργεί σε ειδικό ευαίσθητο μηχανισμό, που προκαλεί αμέσως τη διακοπή του κυκλώματος.

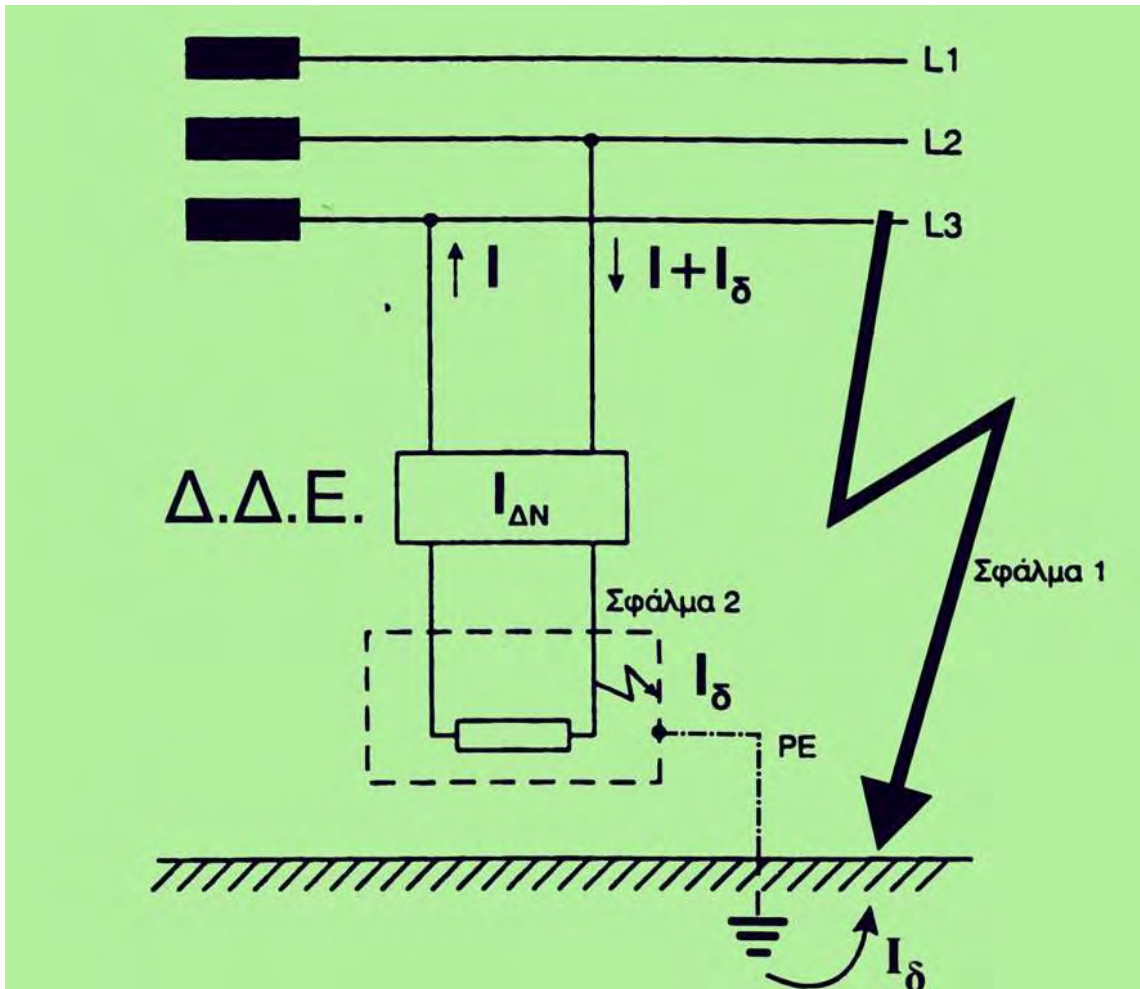
Επειδή οι πιο πολλές εγκαταστάσεις παρουσιάζουν μέσα από τις συσκευές κάποιο πολύ μικρό ρεύμα διαρροής, οι κατασκευαστές ρυθμίζουν την ευαισθησία των αποζευκτών στα 25 mA, ώστε να μη διακόπτεται το κύκλωμα με την παραμικρή διαρροή.

Αν λάβουμε υπόψη μας, ότι το ρεύμα που περνάει από το ανθρώπινο σώμα σε περίπτωση ηλεκτροπληξίας, δεν φθάνει πάντα στα 25mA αντιλαμβανόμαστε ότι αυτά τα όργανα δεν προστατεύουν αποτελεσματικά το άνθρωπο που θα πιάσει ένα γυμνό αγωγό φάσης.

Η προστασία γίνεται, επειδή η τάση διαρροής συνήθως εμφανίζεται στα μεταλλικά μέρη της εγκατάστασης, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν ρεύμα μεγαλύτερο από 25 mA.

Αν μεταβάλλουμε την ευαισθησία του αποζεύκτη, μπορούμε να τον φτιάξουμε ώστε να λειτουργεί με διαρροή πολύ μικρότερη από 25mA. Τότε θα προστατεύει αποτελεσματικά ακόμα και τον άνθρωπο που θα έρθει σε επαφή με αγωγό φάσης, αλλά θα διακόπτει το κύκλωμα με την παραμικρή διαρροή, προκαλώντας έτσι λειτουργικά προβλήματα.

Τέλος να πω όταν ο Δ.Δ.Ε. χρησιμοποιείται σε εργοτάξια, χρειάζεται συνεχή παρακολούθηση διότι τα διάφορα συνεργεία των οικοδομών, χρησιμοποιούν μηχανήματα με αισθητή διαρροή, πράγμα που οδηγεί τους διάφορους τεχνίτες στην αχρήστευση των ηλεκτρονόμων, με βραχυκύκλωση ή αφαίρεση ή σύνδεση συσκευών πριν από αυτούς.



Εικόνα 13: Διακόπτης διαφυγής έντασης

Τρόποι άμεσης γείωσης:

1. Γείωση στο δίκτυο ύδρευσης: Η γείωση στο δίκτυο ύδρευσης μπορεί να γίνει αν υπάρχουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- Να επιτρέπει τη γείωση η υδροδότηρια επιχείρηση
- Να υπάρχει μεταλλικό δίκτυο νερού σε μεγάλη έκταση
- Να υπάρχει συνεχόμενη ροή νερού
- Να έχει καθιερωθεί η σύνδεση στο δίκτυο σαν αποδεκτό σύστημα γείωσης (από τη ΔΕΗ)
- Η τάση να μην ξεπερνάει τα 250 V σε σχέση με τη γη.

Για να γειώσουμε στο δίκτυο ύδρευσης εγκαταστάσεις υψηλότερης τάσης, πρέπει να έχουμε ειδική γραπτή συγκατάθεση της επιχείρησης ύδρευσης. Τα τελευταία χρόνια έχουν εγκατασταθεί πολλά δίκτυα ύδρευσης με πλαστικούς σωλήνες. Μόνο κεντρικοί αγωγοί μεγάλης διαμέτρου και αγωγοί μεγάλων πιέσεων γίνονται με μεταλλικούς σωλήνες, που κι αυτών η αγωγιμότητα διακόπτεται από τα ενδιάμεσα πλαστικά δίκτυα. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να αποφεύγεται η χρησιμοποίηση του δικτύου ύδρευσης σαν αποκλειστικού μέσου γείωσης. Πρέπει όμως

ανεξάρτητα από τη γενική μέθοδο γείωσης (άμεση ή ουδετέρωση) και ανεξάρτητα από την οποιαδήποτε τεχνητή γείωση, να συνδέεται στον αγωγό γείωσης και το δίκτυο ύδρευσης όσο μικρό κι αν είναι. Τούτο ορίζεται και από το άρθρο 20 των κανονισμών εσωτ. ηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

- 2. Τεχνητές γειώσεις:** Από τους όρους και τις δυσκολίες που αναφέρθηκαν στα παραπάνω για τη γείωση στο δίκτυο ύδρευσης, βγαίνει το συμπέρασμα ότι η άμεση γείωση μπορεί να είναι μόνο τεχνητή, και πολύ σπάνια μπορεί να γίνει στο δίκτυο ύδρευσης.

Οι τεχνητές γειώσεις γίνονται σ' αγωγίμο έδαφος με τη χρήση καταλλήλων ηλεκτροδίων ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη αγωγιμότητα με τι μικρή αντίσταση γείωσης. Τα ηλεκτρόδια γείωσης πρέπει να παρουσιάζουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής με υγρό αγωγίμο έδαφος. Ανεξάρτητα όμως από τον τρόπο που θα κατασκευαστεί μία τεχνητή γείωση, σημασία έχει σωστή της μέτρηση και η αποτελεσματικότητά της σε μία διαρροή.

Πολλοί έμποροι προσφέρουν διάφορους τύπους από ραβδόμορφα ηλεκτρόδια, που τα χαρακτηρίζουν σαν ιδιαίτερα αποτελεσματικά παρασύροντας πολλούς κατασκευαστές σε λαθεμένες επιλογές. Θα πρέπει σ' αυτό το σημείο να τονίσω ότι η αντίσταση γείωσης δε μειώνεται με «θαυματουργά» ηλεκτρόδια, παρά μόνο με αγωγίμο έδαφος και σημαντικά μεγάλη επιφάνεια επαφής των ηλεκτροδίων με τη γη.

Τύπος εδάφους	Αντίσταση εδάφους R_E	Αντίσταση γείωσης					
		Βάθος ηλεκτροδίου γείωσης (mt)			Ταινία γείωσης (mt)		
	ΩM	3mt	6mt	10mt	5mt	10mt	20mt
Πολύ υγρό χώμα	30	10	5	3	12	6	3
Γεωργικό, εύφορο παχύ χώμα & αργιλώδη εδάφη	100	33	17	10	40	20	10
Αμμώδη ή από πυλό χώμα	150	50	25	15	60	30	15
Υγρά αμμώδη εδάφη	300	66	33	20	80	40	20
Μπετό	500	-	-	-	160	80	40
Υγρό χαλίκι	400	160	80	48	200	100	50
Ξηρό αμμώδες έδαφος	1.000	330	165	100	400	200	100
Στεγνό χαλίκι	1.000	330	165	100	400	200	100
Πετρώδες έδαφος	3.000	1.000	500	300	1.200	600	300

Αντίσταση γείωσης ανάλογα τον τύπο εδάφους & ανάλογα το βάθος εγκίσσης του ηλεκτροδίου γείωσης

Πίνακας 3

Γειωμένα και αγείωτα δίκτυα μεταφοράς ή διανομής ηλεκτρικής ενέργειας:

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να δώσω ένα παράδειγμα ώστε να γίνει κατανοητό γιατί

χρησιμοποιούμε γειωμένα δίκτυα μεταφοράς ή διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και όχι αγείωτα.

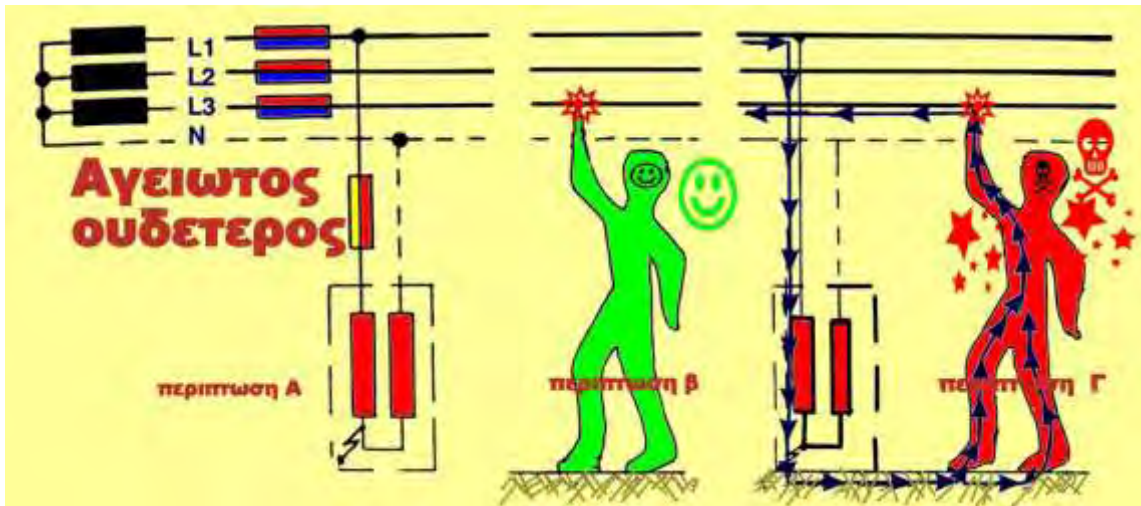
Έστω ότι έχουμε ένα δίκτυο με τρεις φάσεις και τον ουδέτερο αγείωτο. Αν ένας άνθρωπος πιάσει κάποια από τις τρεις φάσεις δε θα πάθει ηλεκτροπληξία διότι δεν κλείνει κύκλωμα. Εάν όμως μία από τις τρεις φάσεις έρθει σε επαφή με τη γη (από το σώμα ενός κινητήρα, από διαρροή σε κάποιον θερμοσίφωνα ή από διαρροή σε οπλισμένο καλώδιο κλπ) και ο άνθρωπος πιάσει μία από τις τρεις φάσεις τότε ο άνθρωπος όχι μόνο κλείνει κύκλωμα αλλά βρίσκεται και ανάμεσα σε 2 φάσεις (380V). Εκεί δηλαδή που ο άνθρωπος ανύποπτος για τον κίνδυνο έπιασε τη φάση που πριν δε τον χτυπούσε, τώρα βρέθηκε ξαφνικά στην πολική τάση των 380 V.

Έστω τώρα ότι έχουμε ένα δίκτυο με 3 φάσεις και τον ουδέτερο αγωγό γειωμένο. Εάν κάποιος πιάσει έναν αγωγό τότε θα βρεθεί ανάμεσα στη φάση και τον ουδέτερο και θα δεχθεί το χτύπημα από τη φασική τάση (220 V). Σε αυτή την περίπτωση όμως γνωρίζει καλά τον κίνδυνο και αποφεύγει το πιάσιμο του αγωγού. Πέρα από τη γνώση του κινδύνου, μπορούμε να πάρουμε και τα απαραίτητα μέτρα προστασίας από κάθε επικίνδυνη τάση, με την προφύλαξη ή μόνωση των στοιχείων που έχουν τάση, ή με τη γείωση των συσκευών και μεταλλικών επιφανειών των εγκαταστάσεων.

Η πείρα έχει αποδείξει ότι είναι μικρότερος ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας σε γειωμένο δίκτυο που γνωρίζουμε την απειλή της φασικής τάσης (220 V) από τον κίνδυνο να βρεθούμε ξαφνικά και ανύποπτοι στην πολική τάση (380 V). Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η γείωση του ουδέτερου αγωγού γίνεται για λόγους ασφαλείας. Έτσι βγαίνει το συμπέρασμα ότι το αγείωτο δίκτυο ή δε χτυπάει καθόλου, ή χτυπάει σε ανύποπτο χρόνο με την πολική του τάση (ύπουλα και δυνατά) με σοβαρή αύξηση του κινδύνου για τον άνθρωπο. Αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο γειώνουμε τον ουδέτερο κόμβο του μετασχηματιστή και κατ'έκταση τον ουδέτερο αγωγό του δικτύου.

Η γείωση προστασίας αποβλέπει στην προστασία από την εμφάνιση επικίνδυνης τάσης (πάνω από 50 V) στα μεταλλικά μέρη μιας εγκατάστασης που σε κανονικές συνθήκες δεν έχουν τάση. Κάθε μεταλλικό περίβλημα συσκευής ή γραμμής θα μπορούσε να βρεθεί με τάση, μετά από μία βλάβη της μόνωσης. Ο κίνδυνος αυτός γίνεται σημαντικά μικρότερος (μέχρι και μη υπολογίσιμος) όταν χρησιμοποιούμε συσκευές και γραμμές με διπλή μόνωση. Η διπλή όμως μόνωση σε κάθε εγκατάσταση ή κάθε συσκευή δεν είναι εύκολο πράγμα. Γι' αυτό καταφεύγουμε στη γείωση που είναι υποχρεωτική σε κάθε εσωτερική εγκατάσταση.

Η γείωση προστασίας έχει σαν σκοπό τη διακοπή της τροφοδότησης (της τάσης) σε κάθε κύκλωμα που θα εμφανιστεί στα μεταλλικά γειωμένα περιβλήματα επικίνδυνη τάση. Αν εξαιρέσουμε τις περιπτώσεις αποζευκτών διαφυγής, η διακοπή του κυκλώματος βασίζεται στο κάψιμο της αντίστοιχης ασφάλειας από ένα μεγάλο ρεύμα που θα κινηθεί προς τον ουδέτερο κόμβο της πηγής (γεννήτριας ή μετασχηματιστή) μέσα από τον αγωγό γείωσης και τη γη.

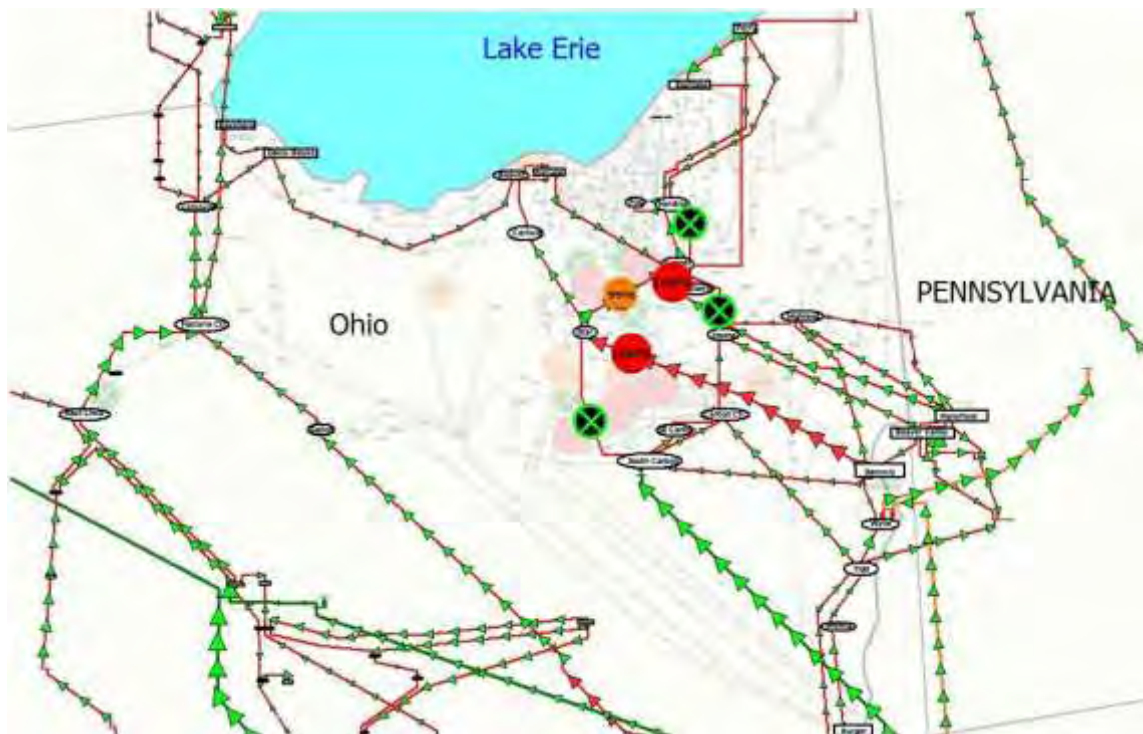


Εικόνα 14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΟΜΕΙΩΣΕΙΣ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ POWERWORLD

PowerWorld Simulator: Είναι ένα διαδραστικό πακέτο συστημάτων προσομείωσης που σχεδιάστηκε για να προσομειώνει την λειτουργία της υψηλής τάσης σε συστήματα ενέργειας σε

ένα χρονικό πλαίσιο που κυμαίνεται από μερικά λεπτά έως και αρκετές ημέρες. Το λογισμικό περιέχει ένα πακέτο ανάλυσης ροής ισχύος ικανό να λύσει αποτελεσματικά συστήματα έως και 250.000 buses.



Εικόνα 15

Η έκδοση 1.0 δημιουργήθηκε τον Μάιο του 1994 στο Πανεπιστήμιο του Illinois Urbana/Champaign από τον καθηγητή Thomas Overbye (Ph.D.).

Η PowerWorld Corporation ιδρύθηκε το 1996 με στόχο την περαιτέρω ανάπτυξη και εμπορευματοποίηση του εργαλείου του προσομοιωτή.

Η έκδοση 19 του προσομοιωτή διαφέρει πολύ από τις πρώτες εκδόσεις και έχει εξελιχθεί σε μία ισχυρή ανάλυση ηλεκτρικού συστήματος και περιβάλλον απεικόνισης ικανό να επιλύσει πολύ μεγάλα συστήματα.

3.1 Πρόβλημα προσομείωσης γραμμών μεταφοράς

Ένα από τα μεγαλύτερα blackout που συνέβησαν ποτέ στην ιστορία του πλανήτη ήταν αυτό στο βορειοανατολικό κομμάτι των Ηνωμένων Πολιτειών και Καναδά 14-15 Αυγούστου του 2003. Αρχικά ο Καναδός υπουργός Άμυνας John McCallum ισχυρίστηκε ότι το η αιτία οφείλεται σε μία διακοπή ενός πυρηνικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Πενσυλβάνια, την οποία στη συνέχεια αρνήθηκε η κρατική υπηρεσία έκτακτης ανάγκης. Αυτό που συνέβη στην πραγματικότητα ήταν μία γραμμή ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης στο βόρειο Οχάιο όπου οι γραμμές μεταφοράς του δικτύου καλύφθηκαν-ακουμπούσαν από-σε μεγάλα δέντρα με αποτέλεσμα τη διακοπή της γραμμής μεταφοράς. Όταν το σύστημα συναγερμού πήγε να προειδοποιήσει την εταιρία FirstEnergy Corporation απέτυχε και στη συνέχεια το περιστατικό αγνοήθηκε. Στα επόμενα 90 λεπτά οι διαχειριστές συστημάτων προσπάθησαν να καταλάβουν τη συνέβη ενώ άλλες τρεις γραμμές μεταφοράς απενεργοποιήθηκαν, ως συνέπεια, της αποτυχίας

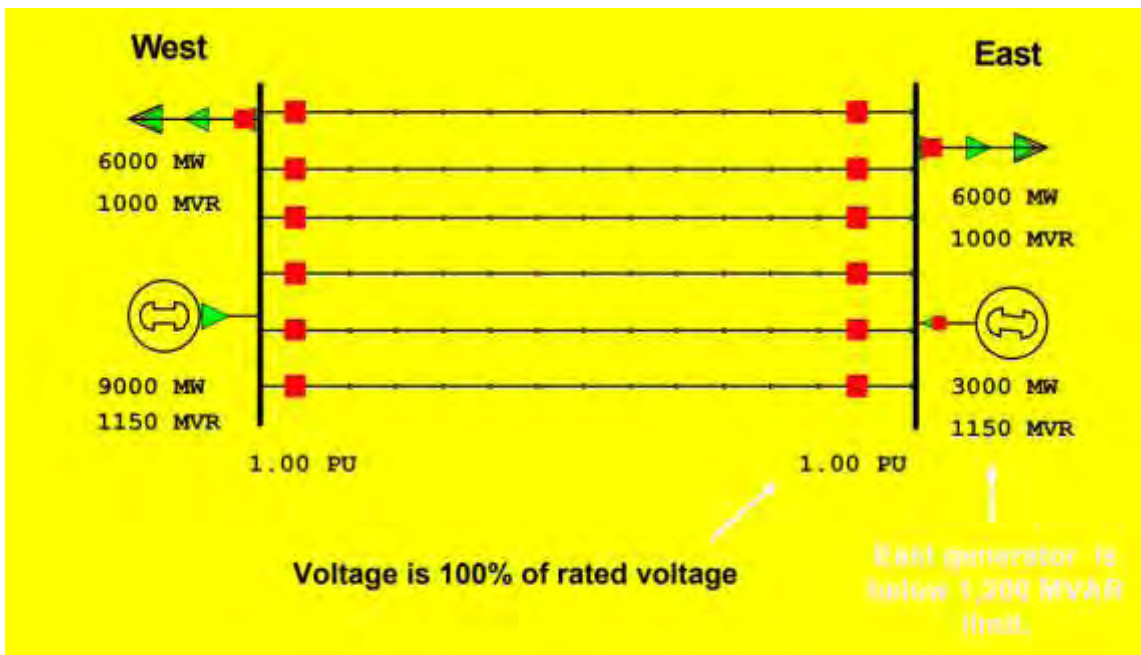
της πρώτης γραμμής. Έτσι ξεκίνησε ένα φαινόμενο domino και μέχρι τις 4:05μ.μ. ο νοτιοανατολικός Καναδάς και 8 βορειοανατολικά αμερικανικά κράτη δεν είχαν ρεύμα. Αυτό επηρέασε 50 εκατομμύρια άνθρωπους για δύο ημέρες με συνέπεια να χάσουν της ζωή τους 6 άνθρωποι και να προκληθούν ζημιές ύψους 6 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Το περιστατικό προκάλεσε μία κοινή ομάδα εργασίας των ΗΠΑ και του Καναδά για να ελαχιστοποιηθούν οι μελλοντικές ζημιές.



Εικόνα 16

Θα προσπαθήσω να προσομειώσω τις διαδοχικές απώλειες των γραμμών μεταφοράς με τον προσομειωτή PowerWorld για να καταλάβουμε τι συνέβη στο περίπου:

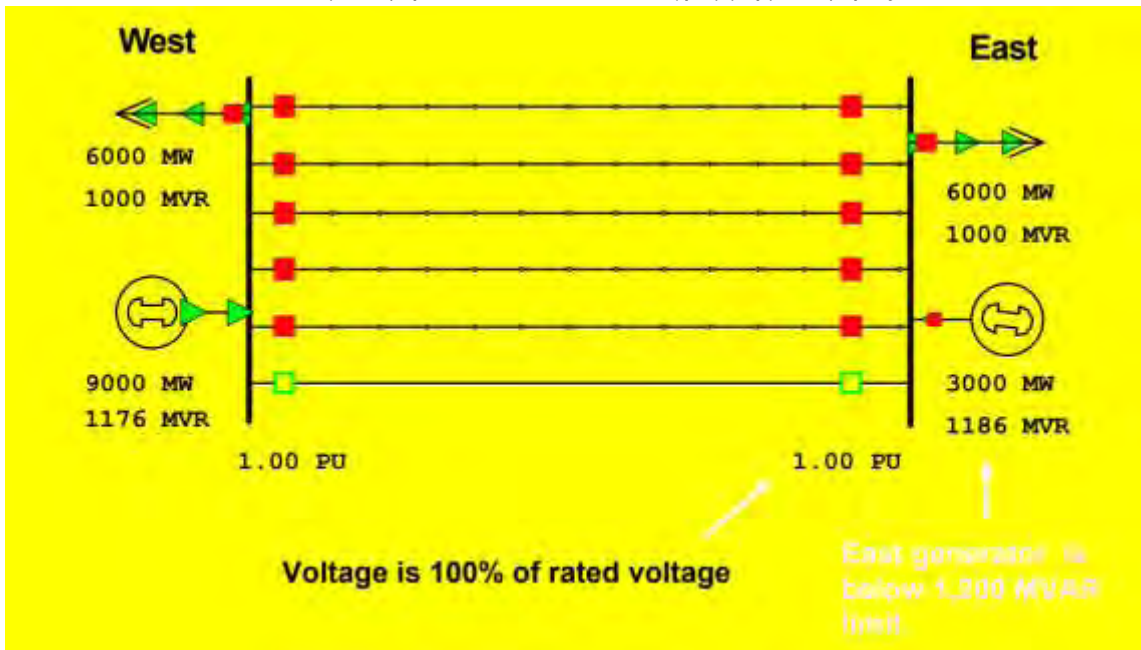
Περίπτωση 1: Όλες οι γραμμές μεταφοράς σε λειτουργία.
3.000MW μεταφέρονται- 500 MW ανά γραμμή μεταφοράς.



Εικόνα 17

Περίπτωση 2: Μία γραμμή μεταφοράς εκτός λειτουργίας.

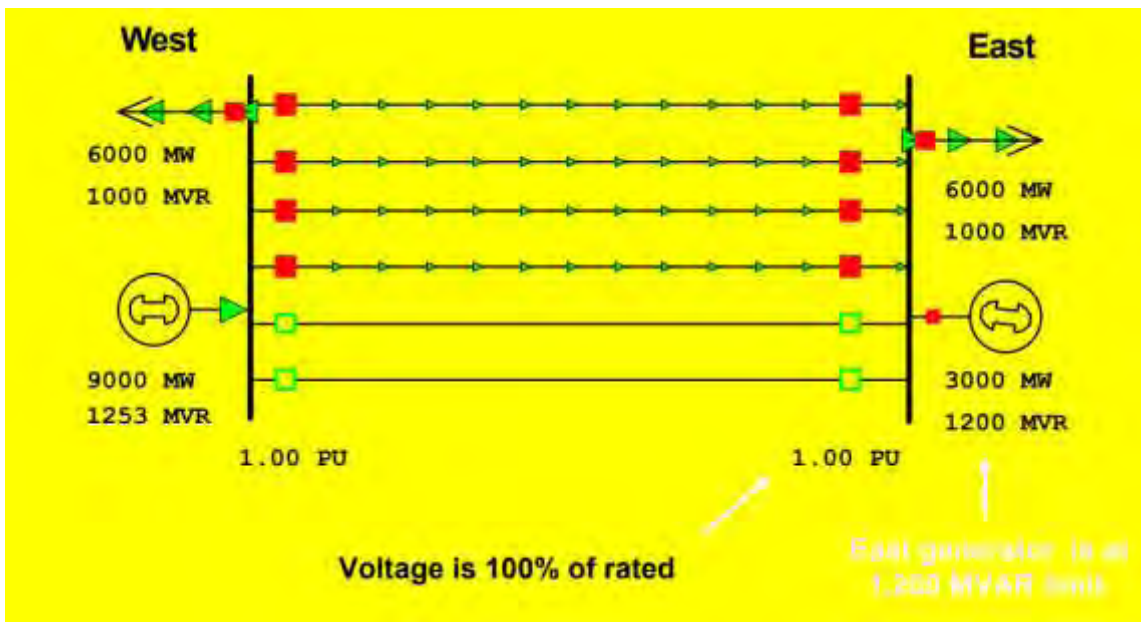
3.000 MW μεταφέρονται- 600 MW ανά γραμμή μεταφοράς.



Εικόνα 18

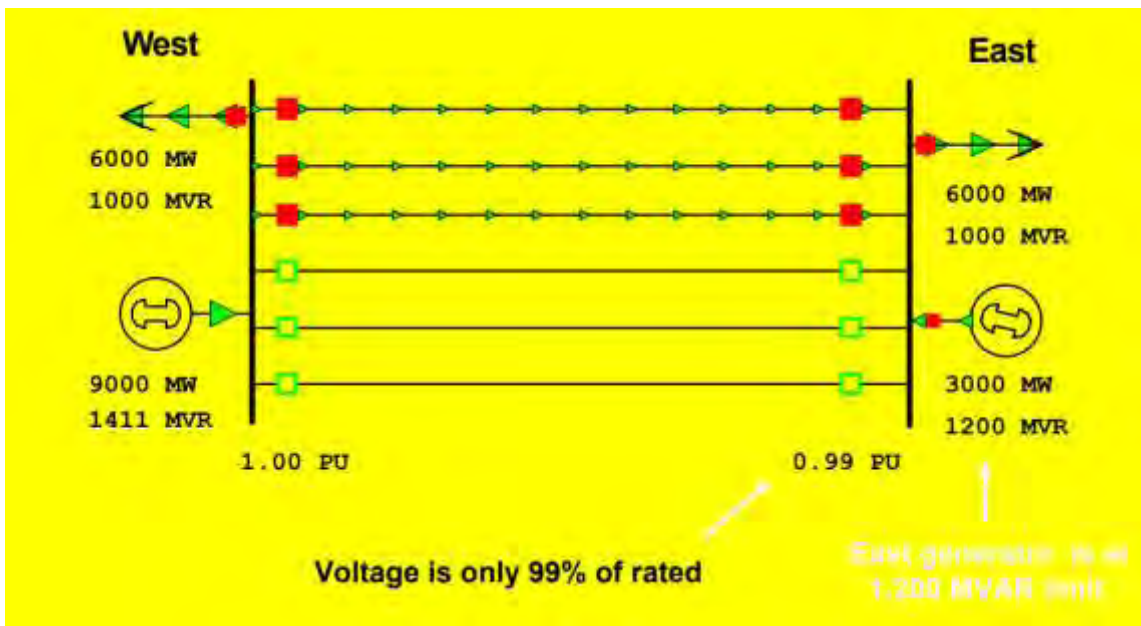
Περίπτωση 3: Δύο γραμμές μεταφοράς εκτός λειτουργίας.

3.000 MW μεταφέρονται- 750 MW ανά γραμμή μεταφοράς.



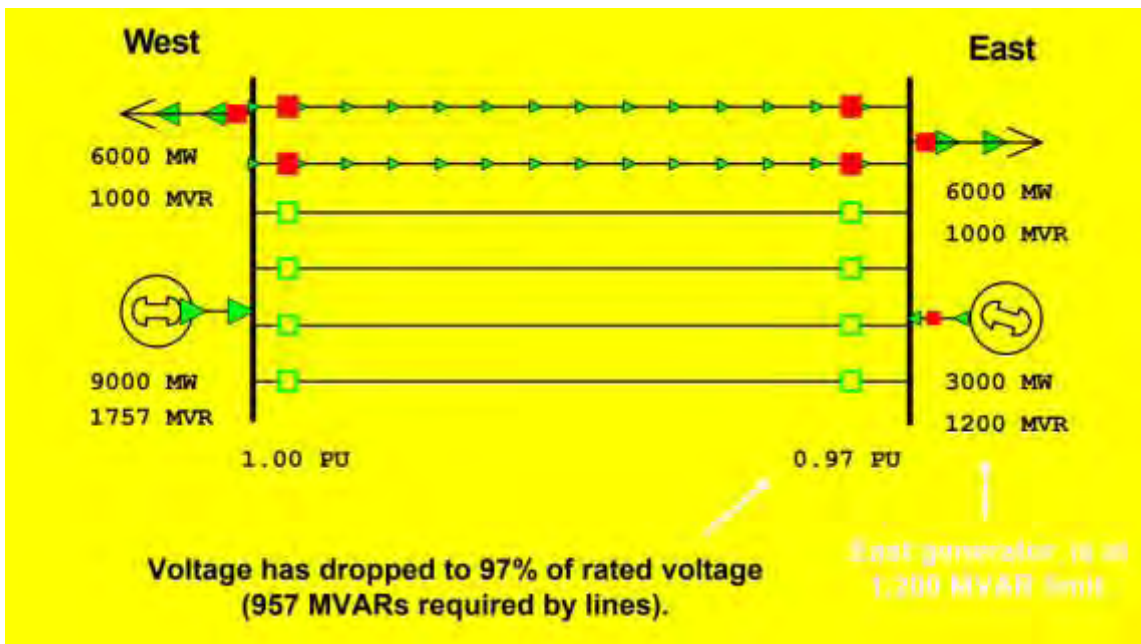
Εικόνα 19

Περίπτωση 4: Τρεις γραμμές μεταφοράς εκτός λειτουργίας.
3.000 MW μεταφέρονται- 1000 MW ανά γραμμή μεταφοράς.



Εικόνα 20

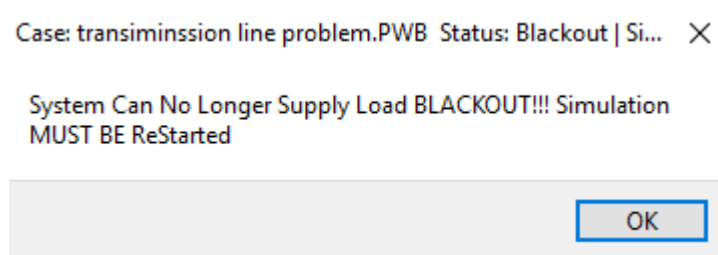
Περίπτωση 5: Τέσσερις γραμμές μεταφοράς εκτός λειτουργίας.
3.000 MW μεταφέρονται- 1500 MW ανά γραμμή μεταφοράς.



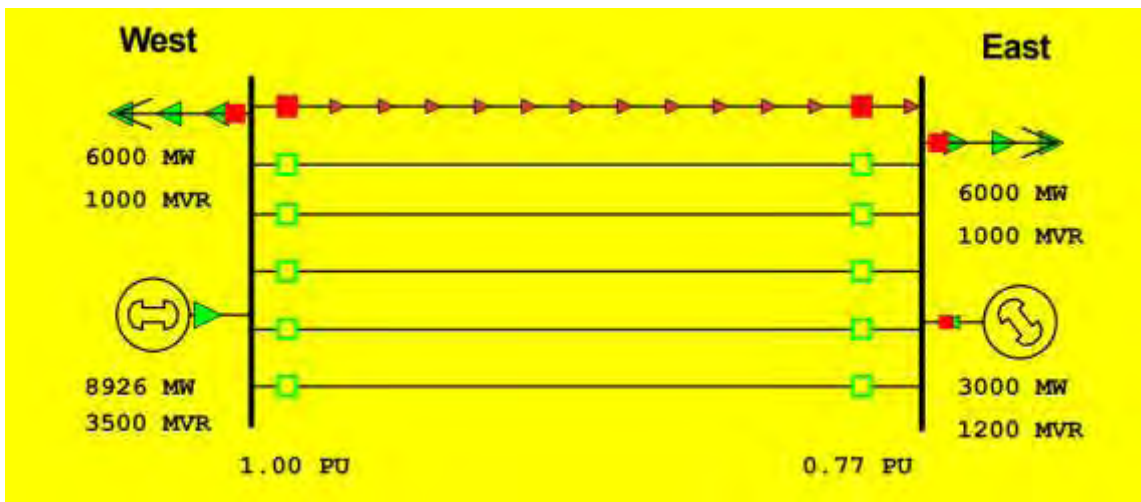
Εικόνα 21

Περίπτωση 6: Πέντε γραμμές μεταφοράς εκτός λειτουργίας(Blackout).

Αυτή η προσομοίωση δε θα μπορούσε να λύσει την περίπτωση μεταφοράς 3.000 MW με πέντε γραμμές μεταφοράς εκτός λειτουργίας. Παρατηρούμε ότι όσες περισσότερες γραμμές μεταφοράς βγαίνουν διαδοχικά (φαινόμενο domino) εκτός λειτουργίας τόσο η τάση της αέργου ισχύος της γεννήτριας του ανατολικού κόμβου αυξάνεται. Παρόλο που η προσφορά της τάσης της αέργου ισχύος είναι απεριόριστη την τελευταία περίπτωση εξακολουθεί να μην είναι αρκετή να διατηρήσει την τάση στο EAST bus.



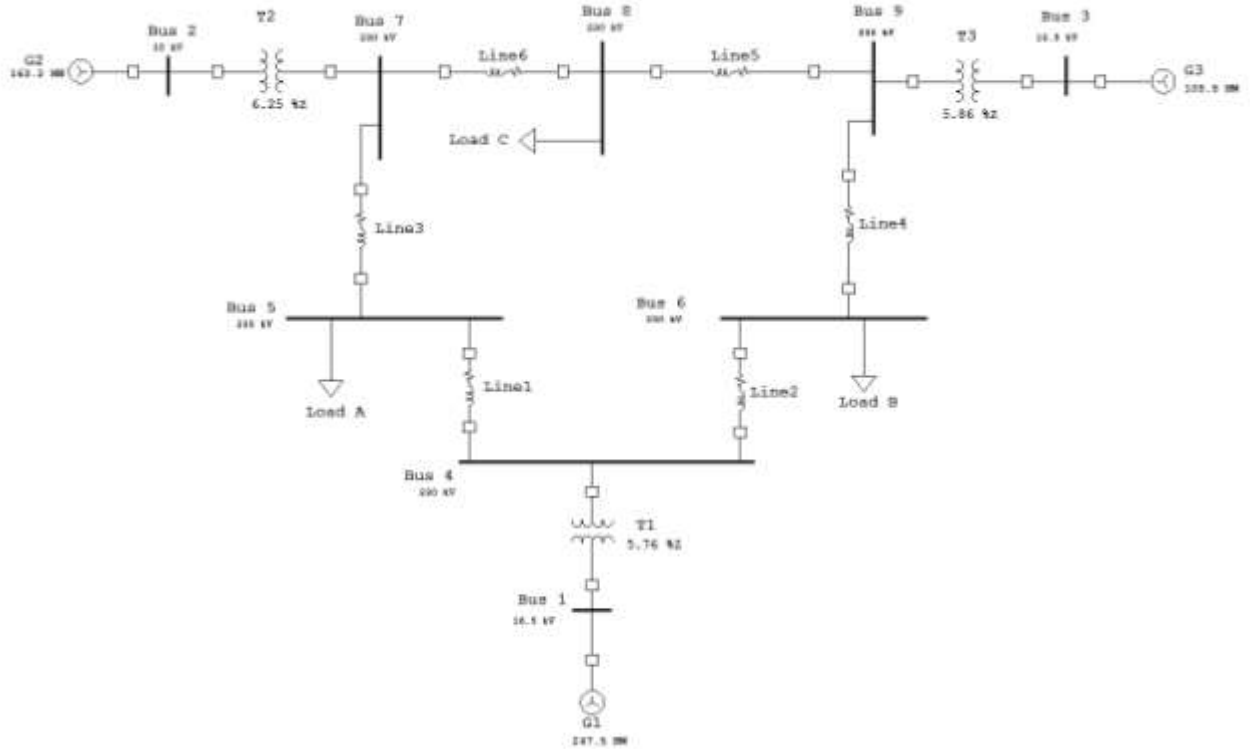
Εικόνα 22



Εικόνα 23

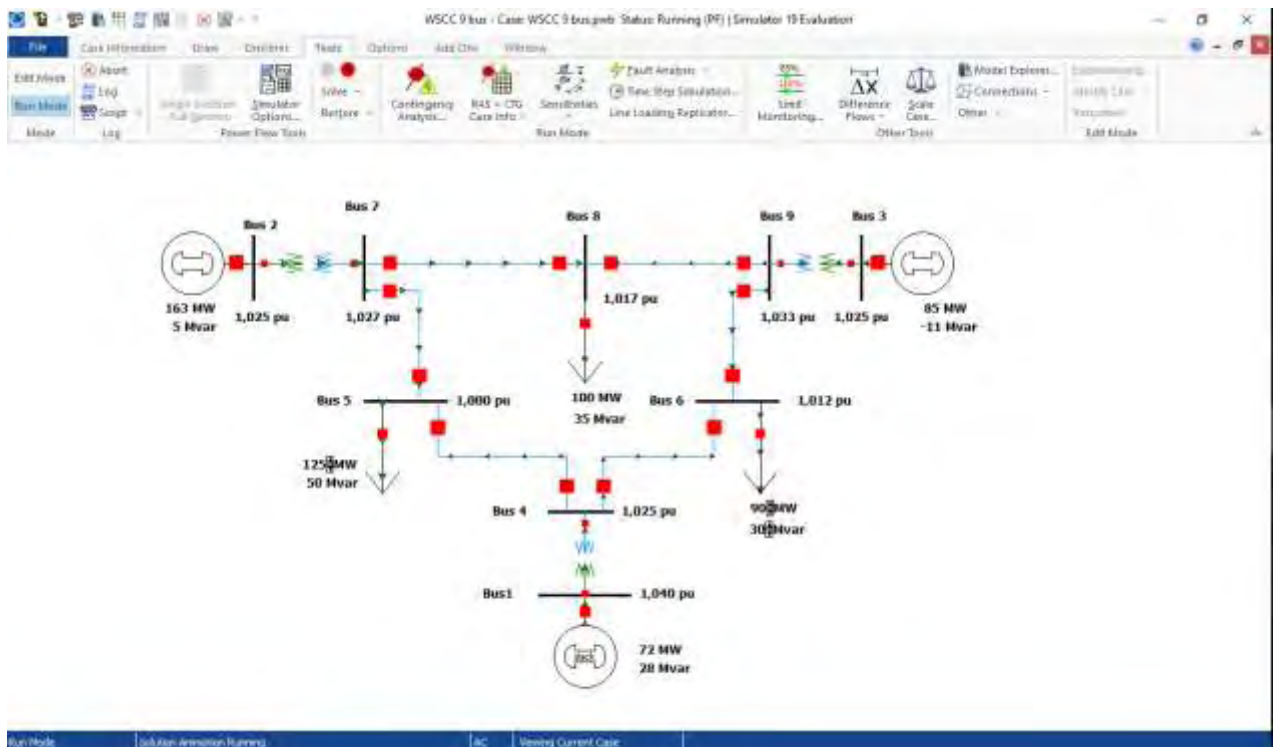
3.2 Προσομείωση δικτύου της IEEE υψηλής τάσης εννέα ζυγών

Στη συνέχεια θα παρουσιάσω ενδεικτικά αποτελέσματα από την προσομείωση ενός μικρού προτύπου ΣΗΕ της IEEE με το PowerWorld Simulator . Θα γίνει μία εκτέλεση ροής φορτίου και το μοντέλο συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί είναι το μοντέλο εννέα ζυγών της IEEE. Το μονογραμμικό σχέδιο του συστήματος βρίσκεται στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 24: Αναπαράσταση συστήματος εννέα ζυγών της IEEE

Η μοντελοποίηση του συγκεκριμένου συστήματος στο πρόγραμμα PowerWorld φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 25

Αναπαράσταση συστήματος εννέα ζυγών της IEEE στο PowerWorld

Μετά την εκτέλεση προσομοίωσης του συστήματος για ανάλυση ροής φορτίου με βάση ισχύος τα 100MVA τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω:

Model Explorer: Buses - Case: WSCC 9 bus.pwb Status: Paused | Simulator 19 Evaluation

File Case Information Draw Onlines Tools Options Add On's Window

Edit Mode Abort Log Single Solution - Full Newton Simulator Options... Restore Contingency Analysis... RAS - CTG Case Info... Sensitivities Time Step Simulation... Line Loading Replicator... Limit Monitoring... Difference Flows... Scale Case... Other... Model Explorer Connection...

Mode Log Power Flow Tools Run Mode Other Tools

Explore Fields

Recent Network

- Branches By Type
- Branches Input
- Branches State
- Buses
- DC Transmission Lin
- Generators
- Impedance Corredh
- Line D-FACTS Device
- Line Shunts
- Loads
- Mismatches
- Multi-Terminal DC
- Switched Shunts
- Three-Winding Tran
- Transformer Control
- Voltage Control Grc
- VSC DC Transmission

Aggregations

- Areas
- Balancing Authority
- Data Maintainers
- Injection Groups
- Interfaces
- Islands
- Multi-Section Lines
- MW Transactions
- Networks
- Owners
- Substations
- Super Areas

Open New Explorer Search Search Now: Options *

Run Mode Solution Animation Stopped AC Viewing Current Case

Filter: Advanced: v Bus Find.. Remove Quick Filter..

Number	Name	Area Name	Nom KV	PU Volt	Volt (KV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar
1	Bus 1	1	16,50	1,04000	17,160	0,00			71,63	27,91
2	Bus 2	1	16,00	1,02500	16,450	9,35			163,00	4,90
3	Bus 3	1	13,80	1,01500	14,145	5,14			85,00	-11,45
4	Bus 4	1	230,00	1,02551	235,821	-2,22				
5	Bus 5	1	230,00	0,99972	229,936	-3,68	125,00	50,00		
6	Bus 6	1	230,00	1,01229	232,619	-5,57	90,00	30,00		
7	Bus 7	1	230,00	1,02683	236,171	9,80				
8	Bus 8	1	230,00	1,01727	233,971	1,34	100,00	35,00		
9	Bus 9	1	230,00	1,03269	237,519	2,44				

Εικόνα 26

Παρατηρούμε πως οι τάσεις των ζυγών συμπίπτουν με τις ονομαστικές τιμές τους οπότε δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα ροής ισχύος με το συγκεκριμένο σενάριο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ GRIDLAB-D

Το GridLAB-D είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης και ανάλυσης συστημάτων διανομής ενέργειας, το οποίο παρέχει σημαντικές πληροφορίες στους χρήστες που σχεδιάζουν ή διαχειρίζονται συστήματα διανομής. Αναπτύχθηκε στο Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), χρηματοδοτούμενο τόσο από τη βιομηχανία όσο και από ακαδημαϊκούς χώρους.

Το GridLAB-D είναι ένα ευέλικτο περιβάλλον προσομοίωσης, το οποίο μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα μεγάλο αριθμό άλλων εργαλείων για διαχείριση και ανάλυση δεδομένων. Ο πυρήνας του GridLAB-D είναι ένας περίπλοκος αλγόριθμος, που μπορεί να συντονίζει ταυτόχρονα την κατάσταση εκατομμυρίων ανεξάρτητων μεταξύ τους συσκευών, κάθε μία από τις οποίες περιγράφεται από πολλαπλές διαφορικές εξισώσεις. Τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου αλγορίθμου σε σχέση με άλλους προσομοιωτές, είναι ότι μπορεί να διαχειριστεί ασυνήθιστες καταστάσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια, μπορεί να διαχειριστεί μεγάλες χρονικές αλλαγές, από δευτερόλεπτα έως έτη, και μπορεί να ενσωματωθεί σε άλλα εργαλεία.

Γενικά, το GridLAB-D εξετάζει με λεπτομέρεια, την αλληλεπίδραση κάθε μέρους ενός συστήματος διανομής με τα υπόλοιπα.

4.1 Λόγοι χρήσης του GridLAB-D

Τα περισσότερα εργαλεία ακόμα και σήμερα, δεν παρέχουν τις δυνατότητες ανάλυσης που χρειάζονται, ώστε να μελετηθούν οι μελλοντικές αντιδράσεις ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, η διαρκής εξέλιξη της επιστήμης της πληροφορικής σε συνδυασμό με τις πολλαπλές και αλληλοκαλυπτόμενες αγορές ενέργειας και τις νέες πολιτικές διανομής ενέργειας οδηγούν σε αβεβαιότητα για το μέλλον αυτού του τομέα.

Το GridLAB-D παρέχει δυνατότητες που υποστηρίζουν τη σχεδίαση και την ανάλυση τεχνολογιών αυτόματης διανομής ενέργειας, με πολλές βελτιστοποιήσεις, συντονισμό συσκευών, αξιοπιστία, αναγνώριση σφαλμάτων και επίλυσή τους. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα μοντελοποίησης της συμπεριφοράς των καταναλωτών.



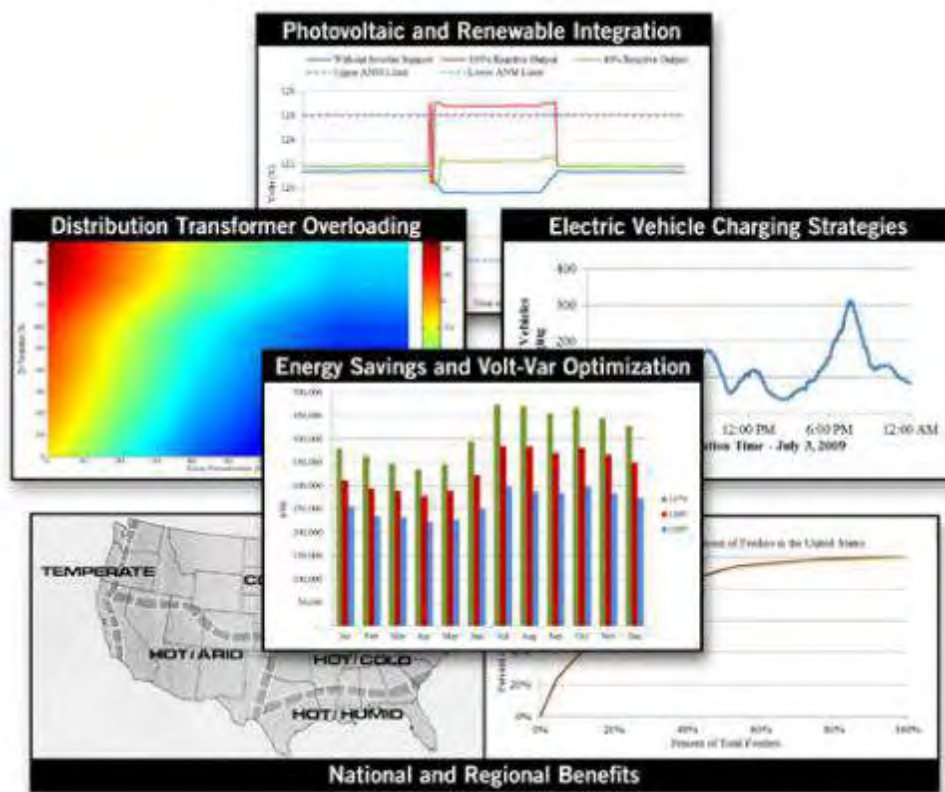
Εικόνα 27

4.2 Δυνατότητες

Το GridLAB-D, με το να επιτρέπει να γίνεται η μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος διανομής σε χρονικές περιόδους από δευτερόλεπτα έως χρόνια, παρέχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει της αντιδράσεις ανάμεσα σε φυσικά φαινόμενα, συστήματα εταιριών, αγορές και ιδιώτες και πως όλα αυτά μαζί επηρεάζουν το σύστημα διανομής.

Πιο αναλυτικά, υποστηρίζονται τριφασικά συστήματα ενέργειας, η δυνατότητα χρήσης τελικού φορτίου για χιλιάδες σπίτια και συσκευές, καταναμημένα παραγωγή και αποθήκευση ενέργειας, αυτοματοποιημένη κατανομή ενέργειας.

Επίσης, λόγω του υψηλού επιπέδου API που χρησιμοποιεί μπορεί να αλληλεπιδρά με άλλα εργαλεία ενώ υπάρχει και η δυνατότητα ορισμού ζώνης ώρας ώστε να χρησιμοποιείται σε διάφορες χώρες.



Εικόνα 28

4.3 Τρόπος χρήσης του GridLAB-D

4.3.1 Αργεία εισόδου

Το GridLAB-D χρησιμοποιεί δύο βασικά είδη αρχείων εισόδου, τα .glm και τα .xml. Τα .glm χρησιμοποιούνται για να συνθέσουν τον πληθυσμό των αντικειμένων και για να κωδικοποιήσουν τη συμπεριφορά τους. Τα .xml χρησιμοποιούνται για να γίνεται σωστή ενσωμάτωση βιβλιοθηκών που προϋπάρχουν.

Μέχρι και τώρα, δεν υπάρχει κάποιο εργαλείο για την επεξεργασία των .glm αρχείων, ωστόσο το GldEditor είναι υπό ανάπτυξη. Τα αρχεία .xml μπορούν να προβληθούν

χρησιμοποιώντας XSL/CSS editors που βρίσκονται ανακοινωμένοι στην επίσημη ιστοσελίδα του GridLAB-D.

4.3.2 Εκτέλεση GridLAB-D

Το GridLAB-D μπορεί να εκτελεστεί δίνοντας την εντολή `gridlabd myfile`. Επίσης, παρέχεται η δυνατότητα να περαστούν ορίσματα από την γραμμή εντολών, τα οποία αξιολογούνται και εκτελούνται με τη σειρά που εμφανίζονται.

4.3.3 Αρχεία εξόδου

Για την παραγωγή των αρχείων εξόδου υπάρχουν επίσης δύο τρόποι. Ο πρώτος και πιο απλός, είναι με το να δώσουμε την εντολή `-o myfile.xml`

Ο δεύτερος τρόπος, είναι χρησιμοποιώντας το `tape module` αντικείμενα ώστε να παραχθούν χρονικές σειρές συγκεκριμένων τιμών για όλο το μοντέλο.

4.3.4 Μοντέλο GridLAB-D (na dw tit ha kanw me ta kena stis paragrafous)

Ένα GridLAB-D μοντέλο είναι αποθηκευμένο είτε σε GLM είτε σε XML αρχείο, παρόλα αυτά υπάρχουν συνήθως και άλλα αρχεία που το συνοδεύουν για τη σωστή υλοποίησή του.

Τα δύο αυτά αρχεία έχουν κάποιες διαφορές. Το XML είναι πιστή αναπαράσταση του ακριβούς μοντέλου που προσομοιώνεται. Το GLM όμως, μπορεί να παρέχει πληροφορίες για παραμέτρους και στατιστικά στοιχεία.

Γενικότερα, χρησιμοποιούνται συνήθως τα GLM αρχεία για να περιγραφούν τα μοντέλα, ενώ τα XML για προβολή των αποτελεσμάτων και για την ανταλλαγή δεδομένων με άλλες εφαρμογές.

Ένα παράδειγμα θα ήταν το εξής. Έστω ότι θέλουμε να ορίσουμε ένα σπίτι, το οποίο θα έχει ένα εμβαδό (`floor_area`) 2500 sf με απόκλιση των 250 sf.

Ο ορισμός ως GLM θα είναι ως εξής:

```
1 module residential;
2   object house {
3     floor_area random.normal(2500,250);
4   };
```

Εικόνα 29

Ο παραπάνω κώδικας θα παράξει αυτόματα τον XML κώδικα που θα είναι ο εξής:

```
1 <module>
2   <residential/>
3 </module>
4 <house>
5   <floor_area>2534.2 sf</floor_area>
6 </house>
```

Εικόνα 30

Το GLM αρχείο όρισε το floor_area με τυχαία τιμή και απόκλιση. Έτσι, αν τρέχαμε το GridLAB-D πολλές φορές με τον ίδιο κώδικα, θα μπορούσαμε να δούμε διαφορετικές τιμές για το floor_area σε κάθε εκτέλεση. Γενικά όμως οι τιμές θα κυμαίνονταν σε ένα μέσο όρο των 2500 sf με μία απόκλιση των 250 sf. Από την άλλη μεριά, το xml θα μας έδινε πάντα τις ίδιες τιμές. Γι' αυτό πρέπει να γίνεται σωστή χρήση των αρχείων ανάλογα με την λειτουργία που έχουμε να υλοποιήσουμε.

Το σπίτι στο παραπάνω παράδειγμα ορίστηκε ως αντικείμενο (object). Αν θέλουμε όμως να περιγράψουμε πολλά αντικείμενα, είναι αρκετά δύσκολο να γίνει με τη χρήση του object. Γι' αυτό υπάρχουν οι κλάσεις (classes). Οι κλάσεις μπορούν να ομαδοποιήσουν τα αντικείμενα. Συνήθως, ορίζουμε μία κλάση με αντικείμενα που έχουν παρόμοια δομή.

Έτσι, ο παραπάνω κώδικας με ορισμό κλάσης θα ήταν ως εξής:

```
1 // class example
2 class house {
3     double floor_area[sf];
4 };
```

Εικόνα 31

Με αυτόν τον τρόπο, το GridLAB-D καταλαβαίνει ότι το floor_area είναι μια ιδιότητα όλων των σπιτιών και είναι αποθηκευμένο σε μονάδες sf (τετραγωνικά πόδια).

Αντίθετα, τα XML αρχεία δεν χρησιμοποιούν κλάσεις, ή όχι με τον τρόπο που χρησιμοποιούνται στα GLM. Στα GLM αρχεία, μία κλάση μπορεί να οριστεί εξαρχής, ενώ στα XML μπορεί να περιγραφεί με περιορισμένο τρόπο. Αυτό συμβαίνει, διότι ο ορισμός κλάσης δεν είναι εύκολα μεταφύσιμος από ένα σύστημα σε ένα άλλο, ενώ η περιγραφή της είναι.

Γι' αυτό το λόγο τα XML αρχεία συχνά χρησιμοποιούν ένα αρχείο περιγραφής (XSD file) ώστε να γνωρίζουν πως να μεταφράσουν το XML. Το XSD αρχείο περιέχει πληροφορίες για τις κλάσεις, όμως παραλείπει πολλά στοιχεία που ορίζονται στα GLM.

Επομένως, γίνεται κατανοητό, ότι το GLM μας δίνει περισσότερες δυνατότητες για το σύστημα που θέλουμε να μοντελοποιήσουμε.

4.3.5 Δημιουργία μοντέλου με GLM αρχεία

Το πιο απλό GLM μοντέλο που μπορούμε να δημιουργήσουμε, θα περιέχει μόνο ένα αντικείμενο και δεν θα ασχολείται καθόλου με την έννοια του χρόνου, ενώ θα καταγράφει την κατάσταση μόνο μίας ιδιότητας.

```
1 // Examples:1a.glm
2 module residential;
3 module tape;
4 object house {
5     object recorder {
6         property air_temperature;
7         file "temperature.csv";
8     };
9 };
```

Εικόνα 32

Το συγκεκριμένο παράδειγμα, φορτώνει το residential και το tape module. Στη συνέχεια, ορίζει ένα σπίτι με όλες τις ιδιότητες του. Μέσα στο σπίτι ορίζει μόνο έναν recorder ο οποίος καταγράφει την ιδιότητα της θερμοκρασίας του αέρα και την αποθηκεύει σε ένα αρχείο που ονομάζεται temperature.csv.

4.3.6 Εκτέλεση μοντέλου

Για την εκτέλεση του μοντέλου πατάμε `gridlabd house1.glm`

Σαν έξοδο στο αρχείο `csv` θα έχουμε:

```
1970-01-01 00:02:00 UTC,+69
```

4.3.7 Βελτίωση του μοντέλου

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που μπορούν να γίνουν οι βελτιώσεις του μοντέλου που ορίσαμε. Ανάμεσα σ' αυτούς τους τρόπους, είναι και η χρήση του χρόνου, η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση αντικειμένων, η συσχέτιση με άλλα αντικείμενα, η δημιουργία πληθυσμών αντικειμένων, η ενσωμάτωση περιεχομένου πληροφοριών μέσα στα αντικείμενα, η χρήση συναρτήσεων και η εκτέλεση υπολογισμών κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του μοντέλου.

Συνεχίζοντας από τον κώδικα που γράψαμε πριν, προσθέτοντας τις γραμμές που φαίνονται εδώ:

```
1 // Examples:1b.glm
2 clock {
3     starttime '2000-01-01 00:00:00 UTC';
4     stoptime '2001-01-01 00:00:00 UTC';
5 }
6 module residential;
7 module tape;
8 object house {
9     object recorder {
10        property air_temperature;
11        file temperature.csv;
12    };
13 }
```

Εικόνα 33

Έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

```
2000-01-01 00:00:00 UTC,+69
2000-01-01 01:00:00 UTC,+69.9947
2000-01-01 02:00:00 UTC,+70.6269
2000-01-01 03:00:00 UTC,+71.1764
2000-01-01 04:00:00 UTC,+71.6754
2000-01-01 05:00:00 UTC,+72.1189
2000-01-01 06:00:00 UTC,+72.5266
2000-01-01 07:00:00 UTC,+72.927
```

Εικόνα 34

4.3.8 Ενεργοποίηση και απενεργοποίηση αντικειμένων

Είναι πιθανό, να υπάρχει ένα αντικείμενο το οποίο να το ενεργοποιούμε σε μία καθορισμένη χρονική στιγμή, ενώ αργότερα να πρέπει να απενεργοποιηθεί. Κάθε αντικείμενο έχει ένα ζευγάρι ιδιοτήτων (αποκαλούνται in και out) οι οποίες καθορίζουν πότε ένα αντικείμενο είναι σε λειτουργία και πότε όχι.

Συνεχίζοντας το προηγούμενο παράδειγμα, τροποποιούμε τον κώδικα ώστε να φαίνεται πως δουλεύουν αυτές οι ιδιότητες.

```
1 // Examples:1d.glm
2 clock {
3     timezone EST+5EDT;
4     starttime '2000-01-01 00:00:00';
5     stoptime '2001-01-01 00:00:00';
6 }
7 module residential;
8 module tape;
9 object house {
10 object recorder {
11     property air_temperature;
12     file temperature.csv;
13     in '2000-04-01 00:00:00';
14     out '2000-04-02 00:00:00';
15 };
16 }
```

Εικόνα 35

Τώρα, παράγονται τα αποτελέσματα:

```
2000-04-01 00:00:00 EST,+76.0806
2000-04-01 00:05:02 EST,+73.9952
2000-04-01 01:00:00 EST,+75.6225
...
2000-04-01 22:00:00 EST,+75.5875
2000-04-01 23:00:00 EST,+75.8156
2000-04-02 00:00:00 EST,+75.9208
```

Εικόνα 36

Η πρώτη μεγάλη διαφορά είναι ότι παρόλο που η προσομοίωση άρχισε την 1η Ιανουαρίου 2000 τα μεσάνυχτα, οι πληροφορίες ξεκίνησαν να συλλέγονται μετά την 1η Απριλίου 2000, όπως καθορίστηκε στην ιδιότητα recorder και σταμάτησαν την 2η Απριλίου 2000.

4.3.9 Συσγέτιση με άλλα αντικείμενα

Στο παράδειγμα που χρησιμοποιήσαμε, το recorder είναι μέσα στο αντικείμενο του σπιτιού. Αυτός είναι ένας βολικός τρόπος για να δηλώσουμε ότι ο recorder εξαρτάται από την ιδιότητα του σπιτιού.

Ένας άλλος τρόπος για να το πετύχουμε αυτό, είναι να δηλώσουμε ένα όνομα στο σπίτι και να το καλέσουμε μέσα από το recorder.

```

1 // Examples:1e.glm
2 clock {
3     timezone EST+5EDT;
4     starttime '2000-01-01 00:00:00';
5     stoptime '2001-01-01 00:00:00';
6 }
7 module residential;
8 module tape;
9 object house {
10     name MyHouse;
11 }
12 object recorder {
13     parent MyHouse;
14     property air_temperature;
15     file temperature.csv;
16     in '2000-04-01 00:00:00';
17     out '2000-04-02 00:00:00';
18 };
19 }|

```

Εικόνα 37

Σε αυτήν την περίπτωση, ο recorder αναφέρεται αποκλειστικά στο σπίτι με το όνομά του. Έτσι, με αυτόν τον μηχανισμό, μπορούμε να συνδέουμε αντικείμενα από διαφορετικά αρχεία.

Αυτή η συσχέτιση έχει αντίκτυπο στο πως πραγματοποιείται η αρχικοποίηση αντικειμένων και ο συγχρονισμός της ώρας.

Μερικά αντικείμενα, συσχετίζονται με άλλα χωρίς να χρησιμοποιούν την παραπάνω μέθοδο γονέα-παιδιού.

```

1 // Examples:1f.glm TODO: add necessary properties so this actually loads ok
2 module powerflow;
3 class link {
4     object from;
5     object to;
6 }
7 object node {
8     name Node1;
9 }
10 object node {
11     name Node2;
12 }
13 object link {
14     from Node1;
15     to Node1;
16 }

```

Εικόνα 38

4.3.10 Δημιουργία πληθυσμών αντικειμένων

Μία από τις πιο σημαντικές δυνατότητες του GridLAB-D είναι να μπορεί να μελετήσει μεγάλους πληθυσμούς αντικειμένων καθώς αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Αποτελεί πρόκληση για τους σχεδιαστές των μοντέλων να ορίσουν γρήγορα το πως θα φαίνεται το σύνολο των αντικειμένων χωρίς να πρέπει να τα ορίσουν κάθε ένα ξεχωριστά. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας τον εξής ορισμό αντικειμένων:

```

1  object house:..5 {
2      floor_area 2500 sf;
3  };

```

Εικόνα 39

Εδώ το GridLAB-D δημιουργεί 5 ίδια αντικείμενα τα οποία θα λειτουργήσουν μαζί.

4.3.11 Ενσωμάτωση πληροφοριών

Οι πληθυσμοί των αντικειμένων μπορεί να δημιουργήσουν διενέξεις με άλλα αντικείμενα, όπως τους recorders. Έτσι επειδή ο recorder, είναι ορισμένος μέσα στο αντικείμενο House υπάρχουν επί της ουσίας 5 recorders οι οποίοι έχουν δημιουργηθεί για να γράφουν στο ίδιο αρχείο. Γι' αυτό το λόγο μπορούμε να δώσουμε κάποιες πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν στο αρχείο εξόδου.

```

1  // Examples:1g.glm
2  clock {
3      timezone EST+5EDT;
4      starttime '2000-01-01 00:00:00';
5      stoptime '2001-01-01 00:00:00';
6  }
7  module residential;
8  module tape;
9  object house:..5 {
10     object recorder {
11         property air_temperature;
12         file `temperature{id}.csv`;
13         in '2000-04-01 00:00:00';
14         out '2000-04-02 00:00:00';
15     };
16 };

```

Εικόνα 40

Ο παραπάνω κώδικας, μπορεί να γράφει σε διαφορετικό αρχείο για κάθε recorder.

4.3.12 Παραγωγή αποτελεσμάτων

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που το GridLAB-D παράγει τα αποτελέσματα. Η βασική ιδέα είναι ότι υπάρχει ένα αρχείο καταγραφής δεδομένων. Ο recorder είναι συνδεδεμένος με μία ιδιότητα ενός αντικειμένου και δημιουργεί ένα αντίγραφο από κάθε τιμή και το καταγράφει σε ένα αρχείο. Σε ποιο αντικείμενο θα κοιτάξει ο recorder εξαρτάται από τον ορισμό του στον κώδικα. Για παράδειγμα:

```

object recorder {
    parent MyHouse;
    property air_temperature;
    file "temperature.csv";
};

```

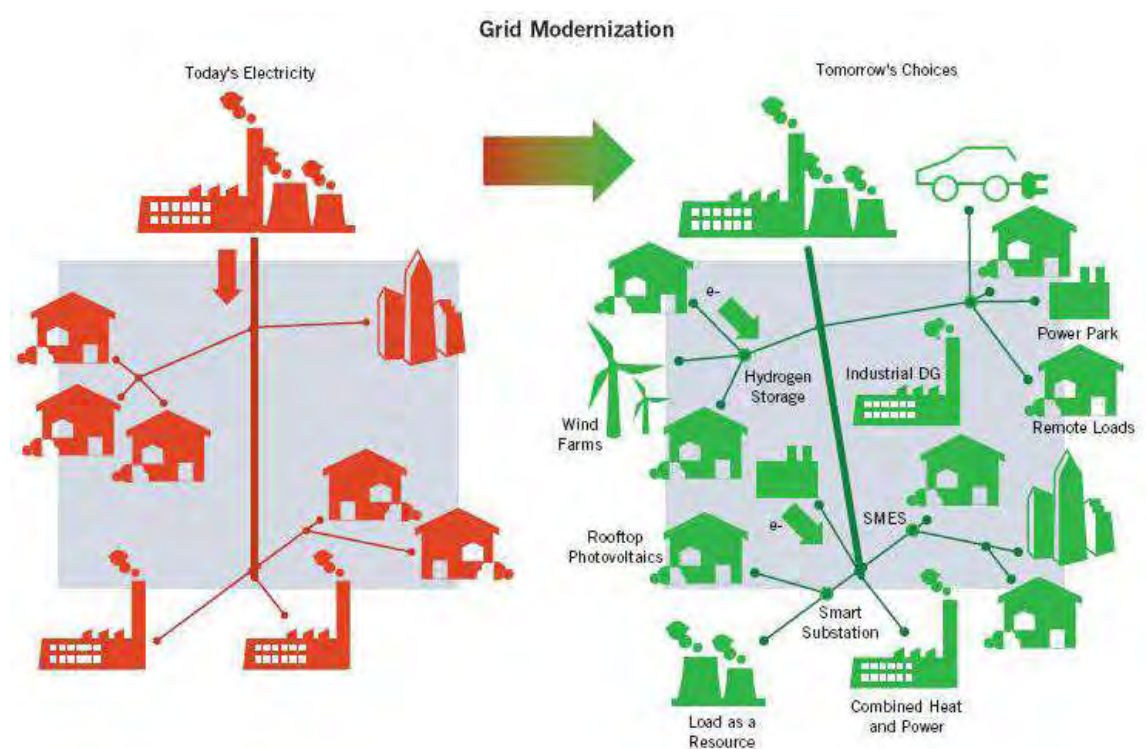
Εικόνα 41

Ο παραπάνω κώδικας υποδεικνύει στον recorder να παρατηρεί την θερμοκρασία και να στέλνει

τις αλλαγές στο temperature.csv

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπεραίνουμε, λοιπόν ότι στη σημερινή εποχή, θα γίνουν αρκετές και σημαντικές αλλαγές πάνω στο μοντέλο των δικτύων που γνωρίζαμε έως τώρα. Θα γίνει εκτεταμένη χρήση των εφαρμογών της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών, τόσο σε βιομηχανικό επίπεδο, όσο και σε οικιακό.



Εικόνα 42

Επομένως, θα πρέπει να υπάρχουν οπωσδήποτε και να αναπτυχθούν τα κατάλληλα εργαλεία, που θα προσομοιώνουν όσο γίνεται καλύτερα τα σύγχρονα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας που θα κατασκευαστούν μέσα στα επόμενα χρόνια.

Ήδη έχουν γίνει πολύ σημαντικά βήματα προς αυτήν την κατεύθυνση, και τα εργαλεία προσομοίωσης βρίσκονται σε πολύ καλό επίπεδο, προσφέροντας επιλογές στον χρήστη για το τι θέλει να χρησιμοποιήσει σε κάθε περίπτωση.

Επομένως, ανάλογα με το πρόβλημα που πρέπει να μοντελοποιηθεί, υπάρχει και το κατάλληλο εργαλείο, το οποίο μας δίνει πολλές δυνατότητες ώστε να εξάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα για ένα δίκτυο που είναι προς υλοποίηση.

Εν συντομία, οι δυνατότητες που μας προσφέρει κάθε εργαλείο είναι οι εξής:

Το PowerWorld βοηθάει τους επαγγελματίες που ενδιαφέρονται περισσότερο για το δίκτυο της μεταφοράς ενέργειας.

Το *GridLAB-D* βοηθάει τους επαγγελματίες που ενδιαφέρονται περισσότερο για το δίκτυο της διανομής ενέργειας.

Βιβλιογραφία

1) ΠΑΝΤΕΛΗΣ Β. ΜΑΛΑΤΕΣΤΑΣ , ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ

2) ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: Κωνσταντίνος Β. Ψυχογιός: Χρήση της γλώσσας προγραμματισμού DPL του λογισμικού DIgSILENT PowerFactory για τη συστηματοποίηση μελετών προστασίας συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας

3) Ηλεκτρικές εγκαταστάσεις καταναλωτών Πέτρος Ντοκόπουλος

4) ΜΙΑΤ. Μ. ΚΑΠΟΥ ΜΗΧ. ΗΛΕΚ/ΓΟΥ – ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΕΡΓΟΛ. ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ ΓΕΙΩΣΕΙΣ & ΑΛΕΞΙΚΕΡΑΥΝΑ

5)

https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS427/%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%AC%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%CE%95%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%201_%CE%95%CE%B9%CF%83%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE_14_opencourses.pdf

6)

https://www.google.gr/search?q=basic+structure+of+an+electric+system&tbm=isch&imgil=ckKr1c03SZBcMM%253A%253BIT1mFC8kMkHvTM%253Bhttp%25253A%25252F%25252Fwww.diynetwork.com%25252Fhow-to%25252Fskills-and-know-how%25252Felectrical-and-wiring%25252Fknow-your-homes-electrical-system&source=iu&pf=m&fir=ckKr1c03SZBcMM%253A%252CIT1mFC8kMkHvTM%252C_&usg=__ORbzzMcBVFG6-mGk0YDsWYgsYNg%3D&biw=1304&bih=702&ved=0ahUKEwiW5a3Uz5DWAhWBarQKHZIKBoMQyjcIVw&ei=RfKvWdauOIHUZZKvmJgI#imgrc=CdDr0M62i36myM:

7)

https://www.google.gr/search?q=%CE%87%CE%B1%CF%81%CF%84%CE%B7%CF%82+%CE%BC%CE%B5+%CE%BB%CE%B9%CE%B3%CE%BD%CE%B9%CF%84%CE%B7+%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD+%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CE%B4%CE%B1&tbm=isch&imgil=00-590Q-wZ5NuM%253A%253B5UqMQ7qfcBaigM%253Bhttps%25253A%25252F%25252Fwww.dei.gr%25252FeI%25252Fi-dei%25252Fi-etairia%25252Ftomeis-drastiriotitas%25252Foruxeia&source=iu&pf=m&fir=00-590Q-wZ5NuM%253A%252C5UqMQ7qfcBaigM%252C%252C%252C%252C&usg=__Bg5rt60vx42trLQ1icT6e7wybw%3D&biw=1304&bih=702&ved=0ahUKEwjT0PryJDWAhWCORoKHUI_C6MQyjclMw&ei=tSGwWZOiKolzaML-rJgK#imgrc=vK0x5WXIhFNt0M:

8) <http://www.admie.gr/to-systima-metaforas/dedomena-stoicheia-systimatos/perigrifi-systimatos-metaforas/>

9)

http://www.kios.ucy.ac.cy/elias/courses/ece340/images/Documents/ECE340_Lecture1.pdf

10)

http://www.ee.teihal.gr/lessons/she2/private/uploads/eisacoch_cenika_cia_to_ercasthrio_she.pdf

11) <https://www.dei.gr/el/paragwgi/fwtografiko-uliko>

12) <http://5dim-pyrgou.ilei.sch.gr/energy/html/elec8.htm>

13) http://www.gridlabd.org/brochures/20121130_gridlabd_brochure.pdf

14) http://gridlab-d.shoutwiki.com/wiki/Getting_Started_Using_GridLAB-D

15) <https://www.powerworld.com>

16)

https://www.google.gr/search?q=photo+of+US+blackout&tbm=isch&imgil=OERr0EDJBh0UQM%253A%253BTFPPyO7XCc9IlgM%253Bhttp%25253A%25252F%25252Fwww.snopes.com%25252Fphotos%25252Fspace%25252Fblackout.asp&source=iu&pf=m&fir=OERr0EDJBh0UQM%253A%252C7TFPPyO7XCc9IlgM%252C%252C%252C&usg=__8-OLVTiT3IqI6biPAFCYxy95c%3D&biw=1304&bih=702&ved=0ahUKEwiC5_DM15vWAhWHDBoKHeYsC-gQyjcIQg&ei=r61WYLwM4eZaObZrMAO#imgrc=RRAhE0k7ivymrM:

17) <http://mentalfloss.com/article/57769/12-biggest-electrical-blackouts-history>

18) <http://al-roomi.org/power-flow/9-bus-system>

19)

<https://www.google.gr/search?q=%CE%B1%CE%BB%CE%B5%CE%BE%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CF%81%CE%B1%CF%85%CE%BD%CE%B1&tbm=isch&imgil=mZ35IcNHCyWp3M%253A%253BXydOWxIsRkpN->

%25252525CF%2525252584%25252525CF%252525258D%25252525F&source=iu&pf=m&fir
=eGeRlfpeRnVU2M%253A%2525CKEOWSTrwy2pOkM%2525C_&usg=__D-
pwzVjE90uRc9LXwpe12gq4nQM%3D&biw=1304&bih=702&ved=0ahUKEwikrbWtla3W
AhUMEpoKHWGdBaUQyjISg&ei=c-m-
WeSnGYyk6AThupaoCg#imgrc=bn9d2qx8DIKSWM: