



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**“ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΈΞΥΠΝΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ OPENDSS”**



**Υπεύθυνος Καθηγητής:** Δρ. Μαλατέστας Β. Παντελής

**Μεταπτυχιακός Φοιτητής:** Ανδρέας Κρεούζος

**Αιγάλεω  
Μάρτιος 2017**



Copyright © Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα

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 της για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Ανώτατου Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Μαλατέστα Παντελή, για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ο οποίος με το ενδιαφέρον του και τον απαραίμιλλο ζήλο του βοήθησε στην εκπόνηση της.

Ακόμα θα ήθελα να εκφράσω την ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη μου στον καθηγητή, επιστήμονα και προσωπικό μου μέντορα από την προπτυχιακή μου περίοδο κ. Μανασή Χρήστο του οποίου οι συμβουλές, η γνώμη και η συνολική καθοδήγηση αποτελέσαν, και συνεχίζουν να αποτελούν, βασικό πυλώνα στην υλοποίηση του παρόντος έργου.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω ιδιαίτερη μνεία στον κ. Δούγερη Κωνσταντίνο, διευθυντή του καταστήματος Μοσχάτου της εταιρίας Β. Καυκάς Α.Ε. καθώς και στους συναδέλφους μου, οι οποίοι με θυσίες, μου επέτρεψαν την συμμετοχή μου στο πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών και στην πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Roger C. Dugan, ανώτερο τεχνικό στέλεχος του Ινστιτούτου Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας (EPRI) για την πολύτιμη πρόσδοση στοιχείων ως προς το λογισμικό Opendss.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένεια μου για την ενθάρρυνση και την υποστήριξη τους και που χωρίς την βοήθεια των οποίων δεν θα είχα καταφέρει να πετύχω τους στόχους μου.

Κρεούζος Ανδρέας

Μάρτιος 2017

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	7
Executive Summary .....	9
Λιστα Πινακων.....	11
Λιστα Εικονων .....	12
Πρόλογος.....	15
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (SMART GRIDS).....	16
1.1 Βασικές έννοιες Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	16
1.2 Ορισμός του Έξυπνου Δικτύου .....	19
1.2.1 Χαρακτηριστικά Έξυπνων Δικτύων.....	21
1.2.2 Αναμενόμενα Οφέλη .....	23
1.3 Υποδομή Έξυπνων Δικτύων <sup>[10]</sup> .....	24
1.3.1 Συστατικά Μέρη Έξυπνων Δικτύων .....	24
1.3.2 Τεχνολογίες Έξυπνων Δικτύων.....	26
1.4 Συμπεράσματα <sup>[8]</sup> .....	27
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ OPENDSS.....	28
2.1 Γνωριμία με το λογισμικό .....	28
2.1.1 Λειτουργίες και Χαρακτηριστικά του Προγράμματος.....	29
2.1.2 Υλοποιημένα Παραδείγματα <sup>[8]</sup> .....	33
2.2 Δυνατότητες Προσομοίωσης & Αναλύσεων.....	34
2.2.1 Ροή Ισχύος.....	34
2.2.2 Μελέτες Σφάλματος (Fault Studies).....	36
2.2.3 Ανάλυση Ροής Αρμονικών (Harmonic Flow Analysis) .....	36
2.2.4 Δυναμική (Dynamics) .....	38
2.2.5 Μεταβολή Παραμετρικού Φορτίου (Load Parametric Variation).....	38
2.2.6 Γεωμαγνητικά Επαγωγικά Ρεύματα (GIC).....	38
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ OPENDSS.....	39
3.1 Βασική χρήση του λογισμικού .....	39
3.1.1 Πίνακας Ελέγχου Opendss (Opendss Control Panel).....	39
3.1.2 Μενού Εντολών Εξαγωγής (Export Menu Commands).....	42
3.2 Χρήση του γραφικού διαύλου χρήστη (GUI) <sup>[9]</sup> .....	45
3.2.1 Περιβάλλον εργασίας χρήστη.....	45
3.2.2 Θεωρητική Ροή Εργασίας.....	47
3.3 Γλώσσα Σύνταξης Σεναρίων Opendss <sup>[9]</sup> .....	51
3.3.1 Σύνταξη Εντολών (Command Syntax).....	52
3.3.2 Εντολές Επίδρασης (Command Verbs).....	52
3.3.3 Ορισμός και Σύνταξη Παραμέτρων.....	53
3.3.4 Εισαγωγή Σχόλιων στα Σενάρια DSS .....	54

3.3.5	Εντολές Πολλαπλών Γραμμών.....	55
3.3.6	Εισαγωγή Εξωτερικών Αρχείων.....	55
3.3.7	Πρακτική Ροή Εργασίας.....	56
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ .....	58
4.1	Μοντελοποίηση Κυκλώματος Σ.Η.Ε. <sup>[11]</sup> .....	58
4.1.1	Σχεδίαση Κυκλώματος .....	58
4.1.2	Στιγμιότυπη Επίλυση Κυκλώματος.....	62
4.1.3	Η Εντολή LoadShape .....	64
4.1.3.1	Χειροκίνητη Εισαγωγή Τιμών (Ιδιότητα Mult).....	65
4.1.3.2	Αυτόματη Εισαγωγή Τιμών από Αρχείο Excel Μίας Στήλης .....	67
4.1.3.3	Αυτόματη Εισαγωγή Τιμών από Αρχείο Excel Δύο Σηλών .....	68
4.1.3.4	Αυτόματη Εισαγωγή Τιμών ανά Δύο Ωρες από Αρχείο Excel .....	70
4.1.3.5	Αυτόματη Εισαγωγή Τιμών ανά Μισή Ώρα από Αρχείο Excel .....	72
4.1.4	Η Εντολή Monitor .....	74
4.1.4.1	Σύνταξη Εντολής Monitor .....	74
4.1.4.2	Εκτέλεση Εντολής Monitor.....	75
4.1.4.3	Σύντομη Εξαγωγή Αποτελεσμάτων .....	79
4.2	Μοντελοποίηση IEEE European LV Test Feeder .....	81
4.2.1	Σκοπός της Ανάλυσης .....	81
4.2.2	Εισαγωγή & Παραδοχές Μελέτης.....	81
4.2.3	Περιγραφή Μελέτης .....	82
4.2.4	Υλοποιημένο Σενάριο .....	87
4.2.5	Αποτελέσματα Μελέτης.....	89
4.2.5.1	Επίλυση Χρονικής Σειριακής Ακολουθίας.....	89
4.2.5.2	Επίλυση Στιγμιότυπης Προσομοίωσης .....	90
	Βιβλιογραφία.....	91

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η μοντελοποίηση της τεχνολογίας των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων σε περιβάλλον λογισμικού Opends. Μια τεχνολογία η οποία θα διαδραματίσει πρωτεύων ρόλο στην εξέλιξη των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με τεράστια οφέλη. Ωστόσο, η δομή και η πολυπλοκότητα των συστημάτων αυτών απαιτούν την χρήση εργαλείων που θα επιτρέπουν την απλοποίηση τους και την καλύτερη δυνατή δίοδο προς την πληροφορία. Ένα τέτοιο εργαλείο είναι το λογισμικό Opends, το οποίο με χρήση μικρού και εύκολου κώδικα υπό την μορφή σεναρίων προσδίδει σημαντικά αποτελέσματα στην προσπάθεια αυτή.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται μια εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας και στην εξέλιξη των σε Έξυπνα Δίκτυα, κάνοντας μια προσπάθεια ορισμού αυτών. Γίνεται αναφορά στα προβλήματα και στις προκλήσεις που αντιμετωπίζονται στα σημερινά δίκτυα καθώς και στα αναμενόμενα οφέλη που θα προκύψουν από τον εκσυγχρονισμό τους σε έξυπνα. Εν συνεχεία παρουσιάζεται συνοπτικά η υποδομή, οι διαθέσιμες τεχνολογίες και οι νέες προκλήσεις που θέτονται από την έλευση των έξυπνων δικτύων κάνοντας την πρώτη αναφορά στο λογισμικό Opends.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το λογισμικό Opends πραγματοποιώντας μια μικρή ιστορική αναδρομή περί της ανάπτυξης του. Στην συνέχεια γίνεται μια εισαγωγή στις βασικές δυνατότητες και χαρακτηριστικά του λογισμικού, επικεντρώνοντας κυρίως στο τομέα των προσομοιώσεων που μπορούν να επιτευχθούν.

Στο τρίτο κεφάλαιο υλοποιείται πλήρης διείσδυση στο περιβάλλον του λογισμικού. Γίνεται αναφορά στο περιβάλλον εργασίας του, στις βασικές λειτουργίες μέσω των αναδυόμενων μενού του καθώς και των γραμμών εργαλείων του. Στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου αυτού, αποτυπώνεται ο τρόπος σύνταξης των σεναρίων κάνοντας χρήση μερικών βασικών εντολών καθώς και τρόποι χρήσης εξωτερικών αρχείων προς όφελος των χρηστών.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο, πραγματοποιούνται μοντελοποιήσεις με χρήση παραδειγμάτων και πλήρης επεξήγηση των εντολών που λαμβάνουν χώρα. Με την χρήση της μελέτης IEEE European LV Test Feeder, στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου

αυτού, αποτυπώνεται η χρησιμότητα του λογισμικού Opendss στον τομέα των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων και ο ιδιάζουσας σημασίας ρόλος που αυτό θα διαδραματίσει στο άμεσο μέλλον.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να τονισθεί ότι το εύρος και η έκταση του λογισμικού που αναπτύσσεται στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι δαιδαλώδες. Ως εκ τούτου, είναι αδύνατον να αποτυπωθούν όλες οι εντολές και οι λειτουργίες του. Κύριος σκοπός του παρόντος έργου είναι η αποτύπωση των βασικών λειτουργιών του και η ενσωμάτωση των έξυπνων δικτύων σ' αυτό. Το λογισμικό παρέχεται με ένα εγχειρίδιο χρήσης μεγάλου όγκου το οποίο μπορεί να ανακτηθεί και μέσω της βιβλιογραφικής αναφοράς [7] της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για όποιον ερευνητή ενδιαφέρεται να διεισδύσει περαιτέρω.

**Λέξεις κλειδιά:** Έξυπνο δίκτυο, Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Λογισμικό, Μοντελοποίηση, Προσομοίωση, Opendss, Βέλτιστη Λειτουργία



## **EXECUTIVE SUMMARY**

The purpose of this diploma thesis is the study and design the technology of smart electrical networks in Opendss software environment. A technology that will play a key role in the evolution of power systems with enormous benefits. However, the structure and complexity of these systems require the use of tools that allow them to be simplified and open the best possible road to information. One such tool is the Opendss software, which, with the use of a small and easy code in the form of scripts, gives significant results to this effort.

In the first chapter of this diploma thesis there is an introduction to the Electricity Systems and the evolution of the Smart Networks, making an effort to define them. Reference is made to the problems and challenges facing today's networks, as well as to the benefits expected from their modernization in smart. It then briefly presents the infrastructure, the available technologies and the new challenges posed by the advent of smart grids making the first reference to Opendss software.

In the second chapter, the Opendss software is presented, making a small historical overview of its development. Then an introduction to the basic features and abilities of the software is made, focusing mainly on the simulation field that can be achieved.

The third chapter introduces complete penetration into the software environment. Reference is made to its interface, its basic functions through its pop-up menus and toolbars. In the second part of this chapter, we describe the way scenarios are written using some basic commands and ways of using external files for the benefit of users.

In the fourth and final chapter, modelling is performed using examples and a full explanation of the commands that take place. Using the IEEE European LV Test Feeder study, in the second part of this chapter, the utility of Opendss software in the field of smart grids and the special role it will play in the near future is illustrated.

At this point, it should be stressed that the scope of the software developed in this diploma thesis is extremely depth. Therefore, it is impossible to capture all its commands and functions. The main purpose of this project is to capture its core functions and integrate smart grids into it. The software is provided with a large volume manual, which can also be retrieved from the bibliographic reference [\[7\]](#) of this diploma thesis, for anyone who is interested in penetrating further.

**Keywords:** Smart Grid, Electric Power Systems, Software, Simulation, Opendss, optimal operation, Internet

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1. Χαρακτηριστικά ενός συμβατικού και ενός έξυπνου δικτύου. <sup>[6]</sup> .....	23
Πίνακας 3.1. Εντολές εξαγωγής δεδομένων <sup>[7]</sup> .....	45
Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα ενεργού και αέργου ισχύος <sup>[17]</sup> .....	90
Πίνακας 4.2. Μέγιστα και ελάχιστα μεγέθη τάσεων <sup>[17]</sup> .....	90

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1. Τυπική δομή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας .....	17
Εικόνα 1.2. Επέκταση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας στην Μεγάλη Βρετανία <sup>[12]</sup> .....	18
Εικόνα 1.3. Σταδιακή εξέλιξη ηλεκτρικού δικτύου σε έξυπνο <sup>[4]</sup> .....	20
Εικόνα 1.4. Απεικόνιση Έξυπνου Δικτύου <sup>[13]</sup> .....	21
Εικόνα 2.1. Λογότυπο του λογισμικού DSS <sup>[14]</sup> .....	28
Εικόνα 2.2. Λογότυπο του Ινστιτούτου Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας <sup>[15]</sup> .....	28
Εικόνα 2.3. Επιφάνεια εργασίας κειμένου σεναρίων (scripts) Opendss .....	29
Εικόνα 2.4. Δομή του λογισμικού Opendss <sup>[7]</sup> .....	32
Εικόνα 3.1.Επιλογή παραθύρων στο κάτω μέρος της οθόνης.....	40
Εικόνα 3.2.Η λειτουργία εκτέλεσης σεναρίων ή μέρους αυτών .....	40
Εικόνα 3.3.Το πλήκτρο συντόμευσης Do Command εκτέλεσης σεναρίων .....	41
Εικόνα 3.4. Απεικόνιση της συχνότητας λειτουργίας .....	42
Εικόνα 3.5. Αλλαγή γραμματοσειράς.....	42
Εικόνα 3.6.Περιβάλλον εργασίας Opendss <sup>[9]</sup> .....	45
Εικόνα 3.7.Το πλήκτρο Compile File Listed.....	47
Εικόνα 3.8. Το πλήκτρο επίλυσης κυκλώματος Solve .....	48
Εικόνα 3.9.Το πλήκτρο τροποποίησης στοιχείων .....	48
Εικόνα 3.10. Απεικόνιση τάσεων για στοιχείο γραμμής μεταφοράς .....	49
Εικόνα 3.11. Προφίλ τάσης κυκλώματος.....	50
Εικόνα 3.12. Χάρτης απωλειών συστήματος .....	50
Εικόνα 3.13. Το μενού βοήθειας εντολών του λογισμικού Opendss .....	51
Εικόνα 4.1. Στοιχεία βιβλιογραφικής αναφοράς παραδείγματος.....	58
Εικόνα 4.2. Η έκδοση Opendss που χρησιμοποιήθηκε για την διπλωματική εργασία .....	59
Εικόνα 4.3. Δημιουργία νέου σεναρίου.....	59
Εικόνα 4.4. Αποθήκευση νέου σεναρίου.....	60
Εικόνα 4.5. Ηλεκτρικό κύκλωμα προς υλοποίηση.....	60

Εικόνα 4.6. Μορφή σεναρίου πρώτου βήματος επίλυσης.....	62
Εικόνα 4.7. Εκτέλεση επίλυσης σεναρίου .....	63
Εικόνα 4.8. Αρχείο τάσεων κυκλώματος σε βολτ και στο ανά μονάδα σύστημα.....	63
Εικόνα 4.9. Εξαγωγή ροών ισχύος κυκλώματος .....	64
Εικόνα 4.10. Μορφή σεναρίου με την ιδιότητα mult.....	66
Εικόνα 4.11. Χαρακτηριστική ημερήσια καμπύλη φορτίου .....	66
Εικόνα 4.12. Διεύθυνση αποθήκευσης αρχείου dss & csv.....	67
Εικόνα 4.13. Μορφή σεναρίου με χρήση εξωτερικού αρχείου .....	68
Εικόνα 4.14. Αρχείο τιμών δύο στηλών τύπου csv (excel).....	68
Εικόνα 4.15. Μορφή σεναρίου με αρχείο csv δύο στηλών .....	69
Εικόνα 4.16. Αρχείο τιμών csv για κάθε δύο ώρες .....	70
Εικόνα 4.17. Εντολή Loadshape με τιμές ανά 2 ώρες.....	71
Εικόνα 4.18. Χαρακτηριστική καμπύλη φορτίου με τιμές ανά 2 ώρες.....	71
Εικόνα 4.19. Αρχείο τιμών csv για κάθε μισή ώρα.....	72
Εικόνα 4.20. Χαρακτηριστική καμπύλη φορτίου με τιμές ανά μισή ώρα.....	73
Εικόνα 4.21. Λαμβάνουσες τιμές ιδιότητας mode του στοιχείου monitor.....	75
Εικόνα 4.22. Επιλογή στοιχείου monitor προς απεικόνιση.....	76
Εικόνα 4.23. Επιλογή μεγεθών ισχύος στοιχείου monitor προς απεικόνιση.....	76
Εικόνα 4.24. Γραφική παράσταση ισχύων προς την γραμμή μεταφοράς 1 .....	77
Εικόνα 4.25. Επιλογή μεγεθών τάσεων & ρευμάτων προς απεικόνιση .....	78
Εικόνα 4.26. Γραφική παράσταση τάσεων προς την γραμμή μεταφοράς 1.....	78
Εικόνα 4.27. Το πλήκτρο Record Commands.....	79
Εικόνα 4.28. Εξαγωγή τάσεων στο ανά μονάδα σύστημα .....	80
Εικόνα 4.29. Μονογραμμικό διάγραμμα δοκιμαστή τροφοδότη <sup>[17]</sup> .....	83
Εικόνα 4.30. Συντεταγμένες ζυγών συστήματος <sup>[17]</sup> .....	83
Εικόνα 4.31. Δεδομένα μοντελοποιημένης πηγής τάσης <sup>[17]</sup> .....	84
Εικόνα 4.32. Τιμές εντολών line codes <sup>[17]</sup> .....	84

Εικόνα 4.33. Τιμές και δεδομένα των γραμμών lines <sup>[17]</sup> .....	85
Εικόνα 4.34. Στοιχεία φορτίων προσομοίωσης <sup>[17]</sup> .....	85
Εικόνα 4.35. Στοιχεία εντολών loadshape <sup>[17]</sup> .....	86
Εικόνα 4.36. Τιμές πρώτου προφίλ φορτίου <sup>[17]</sup> .....	86
Εικόνα 4.37. Σενάριο IEEE European LV Test Feeder.....	87
Εικόνα 4.38. Καμπύλες ενεργού και αέργου ισχύος μελέτης <sup>[17]</sup> .....	89
Εικόνα 4.39. Μεγέθη τάσης μελέτης <sup>[17]</sup> .....	89

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται κατά κύριο λόγο στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Τα συστήματα αυτά αποτελούσαν και συνεχίζουν να αποτελούν, βασικό πυλώνα της ανάπτυξης και της προόδου της ανθρωπότητας σε όλους τους τομείς με την παροχή της απαραίτητης ενέργειας. Το μεγάλο μέγεθος και η πολυπλοκότητα της δομής των σύγχρονων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, απαιτούν ουσιαστική γνώση τόσο της στατικής όσο και της δυναμικής τους συμπεριφοράς, για την εξασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης από λειτουργική και οικονομική σκοπιά.

Αρωγός στον τομέα αυτόν, αποτελεί ο εκσυγχρονισμός των υπάρχοντων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε έξυπνα ηλεκτρικά δίκτυα (smart grids), μια τεχνολογία που επιτρέπει τον εκμοντερνισμό, με την ενσωμάτωση της επικοινωνίας και της πληροφορίας στο επίπεδο της διανομής ενέργειας. Η αμφίδρομη ροή πληροφορίας, η αναβάθμιση στον τομέα της συντήρησης και οι σωστές καταγραφές των ηλεκτρικών μεγεθών είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά που θα καταστήσουν τα υπάρχοντα δίκτυα πιο αποδοτικά, εύρωστα, ευκόλως διαχειρίσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον.

Ωστόσο, η ενσωμάτωση μιας τεχνολογίας τέτοιου βεληνεκούς προϋποθέτει την ύπαρξη ισχυρών εργαλείων μοντελοποίησης και προσομοίωσης, τα οποία θα είναι ικανά στην διαχείριση τεράστιου όγκου πληροφορίας και πρόσδοσης λύσεων. Ένα τέτοιο εργαλείο είναι το λογισμικό ανοικτού κώδικα Openss, το οποίο υπό μορφή σεναρίων πραγματοποιεί έναν μεγάλο αριθμό μοντελοποιήσεων μεγάλων ηλεκτρικών δικτύων δίνοντας κάθε φορά τις πληροφορίες που απαιτούνται για την ορθή τους λειτουργία.

# 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΕΞΥΠΝΑ ΔΙΚΤΥΑ

### ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (SMART GRIDS)

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, των αντίστοιχων διανομής και εν τέλει παρουσιάζεται η εξέλιξη των σε έξυπνα δίκτυα. Σκοπός του παρόντος κεφαλαίου είναι να θέσει τις βάσεις για τις διατυπώσεις και υπολογισμούς που θα παρουσιαστούν στο κυρίως μέρος της παρούσας εργασίας.

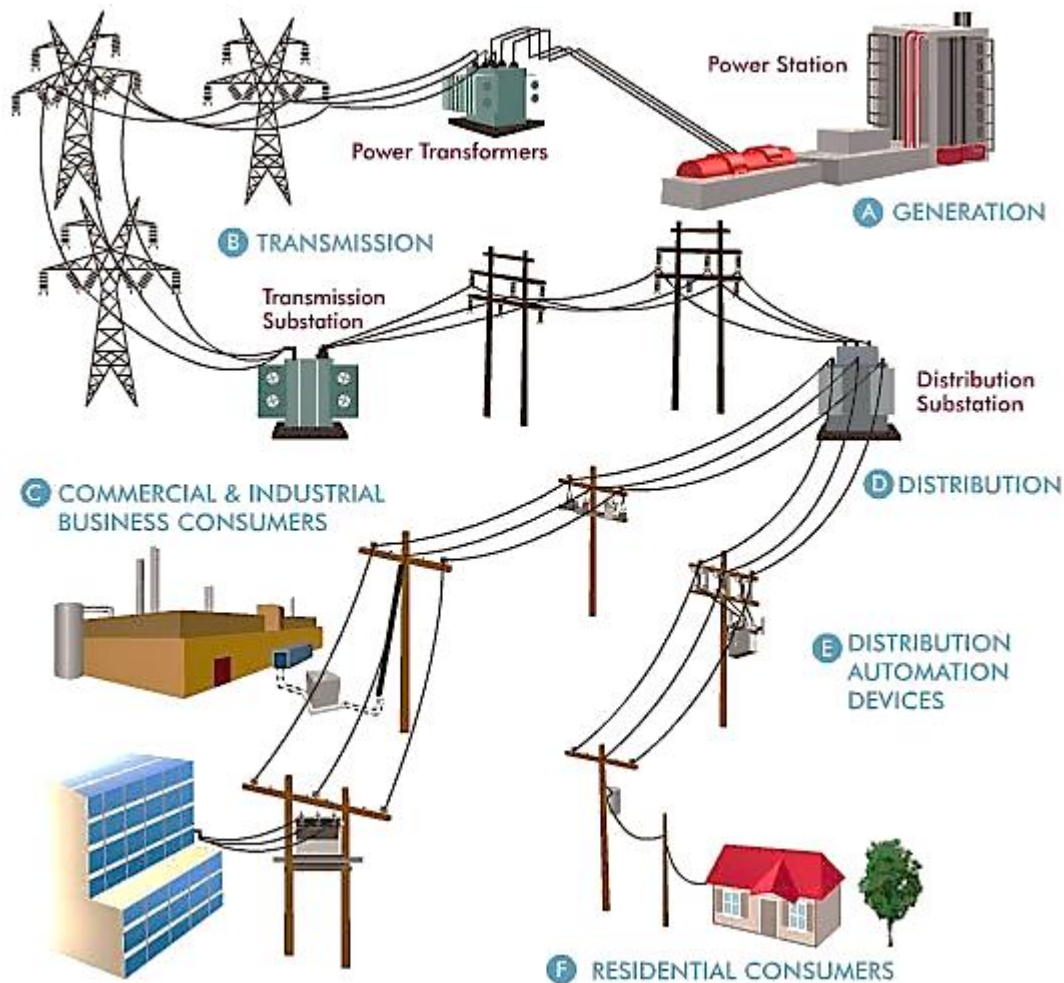
#### 1.1 Βασικές έννοιες Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η αύξηση του επιπέδου διαβίωσης, σχετίζεται άμεσα με την καταναλισκόμενη ενέργεια. Η ανθρωπότητα δαπανά καθημερινά για τις διάφορες δραστηριότητες, τεράστια ποσά ενέργειας με τις κύριες πηγές ενέργειας να αποτελούν τα συμβατικά ορυκτά καύσιμα καθώς και η ενέργεια των υδάτων. Πηγές που ως γνωστόν δεν είναι απεριόριστες και που αναμένεται να εκλείψουν στο άμεσο μέλλον. Άμεσο αποτέλεσμα όλων αυτών ήταν η επέλαση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που πρακτικά λύνουν το προαναφερθέν πρόβλημα.

Οι ποικίλες βιομηχανικές, εμπορικές και αστικές δραστηριότητες, απαιτούν τη χρήση διαφόρων μορφών ενέργειας. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, οι φυσικές πηγές ενέργειας βρίσκονται σε απομακρυσμένες θέσεις σε σχέση με τις αντίστοιχες της κατανάλωσης. Με δεδομένο το πλεονέκτημα της εύκολης μεταβολής των χαρακτηριστικών της ηλεκτρικής ενέργειας (τάσης και έντασης) αλλά και της δυνατότητας μεταφοράς της υπό εξαιρετικά υψηλές τάσεις, δόθηκε η ουσιαστική συμβολή για τη γεωγραφική απεξάρτηση των κέντρων παραγωγής από τα κέντρα κατανάλωσης.

Για την επίτευξη των ανωτέρω έγινε χρήση και ανάπτυξη των Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας, τα οποία ορίζονται ως 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. Κύριος σκοπός δηλαδή είναι η απρόσκοπτη, η ασφαλής και η ποιοτική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από τα κέντρα παραγωγής στα αντίστοιχα κέντρα κατανάλωσης.





Εικόνα 1.1. Τυπική δομή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Τα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να διακριθούν στα ακόλουθα τμήματα:

1. Στους σταθμούς (κέντρα) παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Στα δίκτυα μεταφοράς, που διασυνδέουν τους σταθμούς παραγωγής μεταξύ τους και μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες ποσότητες και αποστάσεις στα κέντρα κατανάλωσης.
3. Στα δίκτυα διανομής, μέσω των οποίων η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης.

Η τροφοδότηση των καταναλωτών από το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, γίνεται ανάλογα με τη μέγιστη απορροφούμενη ισχύ τους. Για το ελληνικό σύστημα διακρίνονται οι ακόλουθες τρεις κατηγορίες καταναλωτών.

1. Καταναλωτές υψηλής τάσης (Υ.Τ.) στα 150kV , για ισχείς  $\geq 10\text{MW}$ .
2. Καταναλωτές μέσης τάσης (Μ.Τ.) στα 20kV , για ισχείς  $\geq 200\text{kW}$ .
3. Καταναλωτές χαμηλής τάσης (Χ.Τ.) στα 230/400V , για ισχείς  $\leq 200\text{kW}$ .

Ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας καλείται να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις του συνόλου των καταναλωτών που ανήκουν στην επικράτεια του. Καθαρά τεχνικο-οικονομικοί λόγοι, επιβάλλουν εφόσον αυτό βέβαια είναι εφικτό, τη διασύνδεση του εθνικού συστήματος και με αντίστοιχα άλλα είτε εντός είτε εκτός αυτής. Λόγω της συνεχούς αύξησης της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια, προκύπτουν συνεχείς επεκτάσεις των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. <sup>[1]</sup>



*Εικόνα 1.2. Επέκταση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας στην Μεγάλη Βρετανία<sup>[12]</sup>*

Οι προκλήσεις που μόλις αναλύθηκαν, μαζί με την πολύπλοκη φύση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, έχουν προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στο ήδη καταπονημένο δίκτυο, όπως διακοπές ρεύματος, βυθίσεις τάσης και υπερφορτίσεις, τα οποία μειώνουν σημαντικά την ποιότητα ρεύματος και την αξιοπιστία.

Το υπάρχον δίκτυο, λοιπόν, βρίσκεται υπό μεγάλη πίεση από τις διάφορες προκλήσεις και ανάγκες που προκύπτουν από το περιβάλλον, τους καταναλωτές, την αγορά αλλά και από θέματα της υπάρχουσας υποδομής. Αυτές οι προκλήσεις και ανάγκες είναι περισσότερο σημαντικές και επείγουσες από ποτέ και θα οδηγήσουν το δίκτυο πέραν

των επεκτάσεων και σε ενίσχυση των λειτουργιών του προς εξυπνότερα χαρακτηριστικά, με τη βοήθεια των ταχύτατα αναπτυσσόμενων τεχνολογιών. <sup>[2]</sup>

Οι εξελίξεις, που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, δημιουργούν νέες και ιδιαίτερα απαιτητικές προκλήσεις. Τα ηλεκτρικά δίκτυα πρέπει να είναι σε θέση να διαχειρίζονται ευέλικτα την αμφίδρομη ροή ισχύος, με ολόκληρο το σύστημα και τις λειτουργίες του να διατηρούνται απολύτως ασφαλείς σε ταυτόχρονη βάση. Επιπλέον, θα πρέπει να προστεθούν νέες λειτουργίες, να πραγματοποιηθεί αναβάθμιση του υπάρχοντα εξοπλισμού, και βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου για να καταστεί το σύνολο της υποδομής κατάλληλο για το μέλλον.

Παρόλο που κάποιες χώρες προωθούν την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, άλλες χρησιμοποιούν διαφορετικό ενεργειακό μείγμα. Αυτές οι ενεργοβόρες χώρες πρέπει να παρέχουν ένα επαρκές ποσό, οικονομικά προσιτής και διαθέσιμης, ενέργειας για τις ταχύτατα αναπτυσσόμενες οικονομίες τους. Εν συνέχεια, το επόμενο κύμα χωρών πρέπει να οικοδομήσει την υποδομή που θα παρέχει την οικονομία τους με επαρκή ηλεκτρική ενέργεια. Για να εξασφαλιστεί ότι η ενέργεια βρίσκει το δρόμο της με αξιόπιστο, ασφαλές και αποτελεσματικό τρόπο σε ολόένα πιο σύνθετα περιβάλλοντα μεταφοράς και διανομής, απαιτούνται ψηφιακές λύσεις που βασίζονται σε ένα περίπλοκο συνδυασμό καινοτόμων προϊόντων, λογισμικού και υπηρεσιών. Επιπλέον, αυτές οι λύσεις πρέπει να είναι κοινωνικά αποδεκτές και αυτό οφείλεται στην ολόένα μεγαλύτερη αύξηση της ευαισθητοποίησης του κοινού. <sup>[3]</sup>

## 1.2 Ορισμός του Έξυπνου Δικτύου

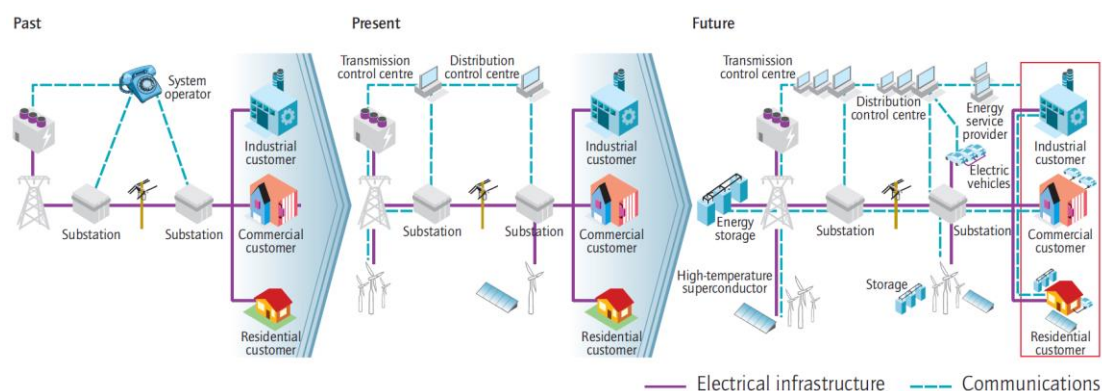
Οι λύσεις αυτές δίδονται με την εισαγωγή των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων. Σύμφωνα με το International Energy Agency <sup>[4]</sup> με τον όρο έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο νοείται ένα ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί ψηφιακές και άλλες προηγμένες τεχνολογίες για την καταγραφή, επισκόπηση και μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τις μονάδες παραγωγής προς τα τελικά κέντρα χρήσης της. Τα έξυπνα δίκτυα συντονίζουν τις ανάγκες και τις ικανότητες όλων των πρωταγωνιστών ενός ηλεκτρικού δικτύου με κύριο γνώμονα την υψηλή απόδοση, το μειωμένο κόστος λειτουργίας και των αντίστοιχων περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ενισχύοντας παράλληλα την αξιοπιστία, την σταθερότητα και την ελαστικότητα.

Σε μια άλλη εκδοχή, το Electric Power Research Institute (ERPI) μέσω της βιβλιογραφικής πηγής [5], ορίζει το Έξυπνο Δίκτυο ως «μία ευφυής υποδομή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας η οποία υποστηρίζεται από τις τελευταίες τεχνολογίες στον τομέα της επικοινωνίας, του υπολογισμού και της ηλεκτρονικής, προκειμένου να ανταποκριθεί στις μελλοντικές απαιτήσεις της κοινωνίας σε ηλεκτρική ενέργεια». Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, μέσω του COM(2011) 202 “Smart Grids: from innovation to deployment” μέσω της βιβλιογραφικής πηγής [5], παρουσιάζει το Έξυπνο Δίκτυο ως «ένα εξελιγμένο ηλεκτρικό δίκτυο, του οποίου αναπόσπαστο κομμάτι είναι η αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ παραγωγού και καταναλωτή και τα ευφυή συστήματα μέτρησης και παρακολούθησης της λειτουργίας του».

Από τους ορισμούς που παρουσιάστηκαν μπορεί να διατυπωθεί ότι ο όρος «Έξυπνο Δίκτυο» είναι η μετεξέλιξη του τρέχοντος ηλεκτρικού δικτύου σε ένα δίκτυο στο οποίο η τεχνολογία της πληροφορίας θα έχει τον πρώτιστο ρόλο με την συλλογή των δεδομένων που προέρχονται από τα διάφορα σημεία του δικτύου (γεννήτριες, σπίτια κτλ.) να είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση ενός έξυπνου δικτύου.<sup>[6]</sup>

Στην ξένη ορολογία ο όρος «Έξυπνο Δίκτυο» έχει συνοπτικά οριστεί ως Smart Grid, ενώ άλλες ονομασίες αποτελούν τα IntelliGrid, GridWise, FutureGrid, κλπ.

Στην εικόνα 1.3 απεικονίζεται η σταδιακή εξέλιξη ενός συμβατικού ηλεκτρικού δικτύου σε ένα αντίστοιχο έξυπνο ενώ στην επόμενη παράγραφο αναλύονται μερικά από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων καθώς και τα οφέλη που προκύπτουν από την εφαρμογή τους.<sup>[4],[2]</sup>



Εικόνα 1.3. Σταδιακή εξέλιξη ηλεκτρικού δικτύου σε έξυπνο<sup>[4]</sup>



### 1.2.1 Χαρακτηριστικά Έξυπνων Δικτύων

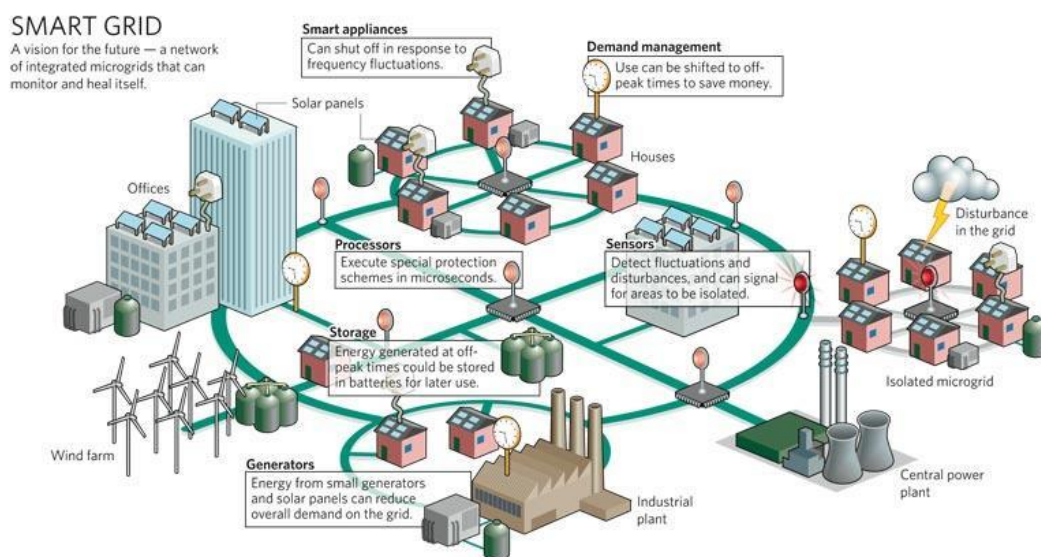
Τα χαρακτηριστικά ενός έξυπνου δικτύου είναι πολλά με μερικά από αυτά να αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

#### Παροχή Ενημερωμένης Συμμετοχής στους Τελικούς Χρήστες

Με την εφαρμογή ενός έξυπνου δικτύου, οι καταναλωτές μπορούν να βοηθήσουν στην ισορροπία μεταξύ προσφοράς και ζήτησης καθώς και στην διασφάλιση της αξιοπιστίας τροποποιώντας τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούν και προμηθεύονται ηλεκτρική ενέργεια. Οι τροποποιήσεις αυτές έρχονται ως αποτέλεσμα των δυνατοτήτων που δίνονται για μεταβολή των καταναλωτικών τους συνηθειών και συμπεριφοράς. Οι επιλογές αυτές εσωκλείουν την συμπερίληψη νέων τεχνολογιών, νέων πληροφοριών σχετικά με την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας και νέων μορφών τιμολόγησης αυτής.

#### Συμπεριλαμβάνει Όλες τις Τεχνολογίες Παραγωγής και Αποθήκευσης Ενέργειας

Ένα έξυπνο δίκτυο μπορεί να περιλάβει υπό την εποπτεία του, όχι μόνο τις μεγάλες μονάδες παραγωγής αλλά επίσης κι αυτές των καταναλωτών. Η ενσωμάτωση αυτών των ενεργειακών πόρων, συμπεριλαμβανομένων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μικρής κλίμακας μονάδων συμπαραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, αναμένεται να αυξηθεί ραγδαία σ' όλο το μήκος της ενεργειακής αλυσίδας, από τους προμηθευτές προς τους εμπόρους και τους τελικούς χρήστες.



Εικόνα 1.4. Απεικόνιση Έξυπνου Δικτύου<sup>[13]</sup>

## **Εισάγει Νέα Προϊόντα, Υπηρεσίες και Αγορές**

Ο σωστός σχεδιασμός και λειτουργία των αγορών μπορούν να δημιουργήσουν μια αποτελεσματική ευκαιρία για τους καταναλωτές, να επιλέξουν μεταξύ διαφόρων ανταγωνιστικών υπηρεσιών. Μερικές από τις ανεξάρτητες μεταβλητές του δικτύου που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν ρητά είναι η ενέργεια, η ικανότητα, η τοποθεσία, ο χρόνος, το ποσοστό της αλλαγής και της ποιότητας. Οι αγορές μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην διαχείριση αυτών των μεταβλητών. Κινούμενοι προς τον στόχο αυτό πρέπει όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς να έχουν την ευελιξία να τροποποιούν τους κανόνες της αγοράς έτσι ώστε αυτοί να ταιριάζουν με τις εκάστοτε λειτουργικές συνθήκες.

## **Αναβάθμιση της Ποιότητας Ισχύος ανάλογα με τις Ανάγκες**

Συνεχείς είναι οι περιπτώσεις όπου οι εμπορικές επιχειρήσεις και οι ιδιώτες να μην απαιτούν την ίδια ποιότητα ισχύος. Η παρουσία ενός έξυπνου ηλεκτρικού δικτύου επιτρέπει την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορα επίπεδα και μορφές, που επηρεάζουν και την τελική κοστολόγηση της. Τα διάφορα κόστη ποιότητας που προκύπτουν, συμπεριλαμβάνονται στο συμβόλαιο που υπογράφεται με τον πάροχο. Με την χρήση προηγμένων μεθόδων ελέγχου γίνεται παρακολούθηση βασικών μεγεθών, που επιτρέπουν την ταχεία διάγνωση σε φαινόμενα που παραβιάζουν την ορθή λειτουργία του δικτύου (κεραυνοί, μεταβατικά φαινόμενα, σφάλματα γραμμής κτλ.).

## **Βελτιστοποίηση Λειτουργικής Αποδοτικότητας**

Η παρουσία ενός έξυπνου δικτύου επιτρέπει την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών για να βελτιστοποιεί τη χρήση των συστατικών του στοιχείων. Παράδειγμα σ' αυτό αποτελεί η χρήση αισθητηρίων τα οποία μπορούν να εντοπίζουν τις διάφορες ενεργειακές ανάγκες που προκύπτουν δίνοντας τα ανάλογα σήματα ανάδρασης στο δίκτυο, το οποίο με την σειρά του καλείται να τις εξυπηρετήσει. Βελτιστοποίηση προκύπτει και στον τομέα της συντήρησης όπου και πάλι, με συνεχή ανίχνευση, δίδεται ο ακριβής χρόνος στον οποίο πρέπει να προκύψει επέμβαση συντήρησης. Η ίδια διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί και στον τομέα των απωλειών.

## Παρέχει Υψηλή Ανοχή (Ελαστικότητα) σε Διαταραχές

Ο όρος ελαστικότητα αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να αντιδρά σε απρόβλεπτα φαινόμενα μέσω της δυνατότητας να αποκόπτει τα προβληματικά σημεία με το υπόλοιπο σύστημα να επιστρέφει στην κανονική του λειτουργία. Αυτές οι δράσεις αυτό-ίασης οδηγούν σε μειωμένη διακοπή της παροχής υπηρεσιών προς τους καταναλωτές και βοηθούν τους παρόχους να διαχειρίζονται καλύτερα την υποδομή του δικτύου.<sup>[4]</sup>

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται συνοπτικά οι κύριες διαφορές μεταξύ ενός συμβατικού ηλεκτρικού δικτύου μ' αυτό ενός έξυπνου.

Συμβατικό Δίκτυο	Έξυπνο Δίκτυο
Αναλογικό / Ηλεκτρομηχανικό	Ψηφιακό / Μικροεπεξεργαστικό
Κεντρικοποιημένο (Γεννήτριες)	Αποκεντρωμένο (Παραγωγή)
Αντιδραστικό	Ενεργό
Χειροκίνητο	Ημι-αυτόματο / Αυτόματο (αυτο-ίαση)
Μιας τιμής / αξίας	Λήψη πραγματικής τιμολόγησης
Καμία καταναλωτική επιλογή	Πολλαπλά καταναλωτικά προϊόντα
Μονής επικοινωνίας	Αμφίδρομης επικοινωνίας
Ελάχιστοι αισθητήρες	Πολλαπλοί αισθητήρες
Χειροκίνητη επαναφορά	Αυτόματη συντήρηση
Περιορισμένη διαφάνεια προς τους καταναλωτές	Πλήρης διαφάνεια προς τους πελάτες
Περιορισμένος έλεγχος ροών ισχύος	Διάχυτη ροή ελέγχου
Αναμενόμενης αξιοπιστίας	Προβλεπόμενης αξιοπιστίας

Πίνακας 1.1. Χαρακτηριστικά ενός συμβατικού και ενός έξυπνου δικτύου.<sup>[6]</sup>

### 1.2.2 Αναμενόμενα Οφέλη

Τα αναμενόμενα οφέλη από ένα σύγχρονο ηλεκτρικό δίκτυο είναι πολλά καθώς ένα έξυπνο δίκτυο:

- Βελτιώνει την αξιοπιστία και την ποιότητα της ενέργειας
- Βελτιστοποιεί την αξιοποίηση των εγκαταστάσεων και αποτρέπει την κατασκευή εφεδρικών (για φορτία αιχμής) σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

- Ενισχύει τη χωρητικότητα και την αποδοτικότητα των υπαρχόντων ηλεκτρικών δικτύων
- Βελτιώνει την ανθεκτικότητα προς βλάβες/διακοπές
- Επιτρέπει την προληπτική συντήρηση και την αυτό-αποκατάσταση σε περίπτωση διαταραχών του συστήματος
- Διευκολύνει την ευρεία ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Χρησιμοποιεί κατανεμημένες πηγές ενέργειας
- Αυτοματοποιεί τη συντήρηση και τη λειτουργία
- Μειώνει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα επιτρέποντας τη χρήση ηλεκτρικών οχημάτων και νέων πηγών ενέργειας
- Μειώνει την κατανάλωση πετρελαίου, μειώνοντας την ανάγκη για ανεπαρκή παραγωγή κατά τις περιόδους χρήσης αιχμής
- Παρουσιάζει ευκαιρίες για τη βελτίωση της ασφάλειας του δικτύου
- Δίνει τη δυνατότητα μετάβασης σε plug-in ηλεκτρικά οχήματα και νέων επιλογών αποθήκευσης της ενέργειας
- Αυξάνει τις επιλογές των καταναλωτών
- Δίνει τη δυνατότητα για νέα προϊόντα, υπηρεσίες και αγορές και επιτρέπει την πρόσβαση των καταναλωτών σε αυτά<sup>[2]</sup>

### 1.3 Υποδομή Έξυπνων Δικτύων<sup>[10]</sup>

Το μεγαλύτερο μέρος των τεχνολογιών έξυπνων δικτύων έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε άλλες βασικές εφαρμογές όπως για παράδειγμα ο τομέας των κατασκευών και των τηλεπικοινωνιών, ενώ έχει γίνει κατάλληλη τροποποίηση τους για χρήση τους σε ηλεκτρικά δίκτυα. Στις παρακάτω παραγράφους δίνονται συνοπτικά οι διαθέσιμες τεχνολογίες καθώς και τα μέσα τα οποία απαρτίζουν ένα έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο.

#### 1.3.1 Συστατικά Μέρη Έξυπνων Δικτύων

Παρότι δεν έχει ορισθεί ένας καθολικά αποδεκτός ορισμός για τα έξυπνα δίκτυα, παρακάτω δίνονται συνοπτικά μερικά τυπικά συστατικά αυτών.

- **Έξυπνες ηλεκτρικές συσκευές:** Οι συγκεκριμένες συσκευές είναι ικανές στο να αποφασίζουν ή όχι την κατανάλωση ενέργειας, βασισμένες στις απαιτήσεις των χρηστών τους. Μια πολύ σημαντική παράμετρος που μπορεί να βοηθήσει



στην περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης σε σημεία αιχμής και στα κόστη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτέλεσμα είναι η αποδυνάμωση της ανάγκης κατασκευής νέων σταθμών ηλεκτρικής ενέργειας και κατ' επέκταση την μείωση εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου. Έρευνες που έχουν γίνει, διαπιστώθηκε ότι το όφελος των καταναλωτών μπορεί να φτάσει στα επίπεδα του 25% παρέχοντας τους απλώς την δυνατότητα ενημέρωσης για τις καταναλώσεις τους και τα εργαλεία για την διαχείριση αυτών.

- **Έξυπνοι ηλεκτρικοί μετρητές:** Οι μετρητές αυτοί έχουν την δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ των καταναλωτών και των παρόχων ηλεκτρικής ενέργειας για τον αυτοματισμό των δεδομένων τιμολόγησης τους, τον εντοπισμό διακοπών ηλεκτρικής ενέργειας και την αποστολή τεχνικού προσωπικού για την διόρθωση αυτών σε γρηγορότερο χρόνο.
- **Έξυπνοι υποσταθμοί:** Οι σταθμοί αυτής της τεχνολογίας θα είναι εφοδιασμένοι με συστήματα προηγμένης επιτήρησης και ελέγχου λειτουργικών δεδομένων ιδιάζουσας και μη σημασίας όπως η απόδοση του συντελεστή ισχύος, ο έλεγχος διακοπών, των μετασχηματιστών, η κατάσταση των μπαταριών, ο τομέας της ασφάλειας κτλ.
- **Έξυπνη διανομή:** Ο τομέας της διανομής θα επιδέχεται αυτό-ίαση, αυτό-έλεγχο και αυτό-προσαρμογή συμπεριλαμβανομένων των μεγάλων σε μήκος αγωγών, τον αυτοματισμό επιτήρησης και της ανάλυσης εργαλείων, ικανών να εντοπίζουν ή ακόμα και να προβλέπουν την αστοχία καλωδίων βασιζόμενοι σε δεδομένα πραγματικού χρόνου έχοντας ως βάση τον καιρό, το ιστορικό αστοχιών καθώς και άλλων παραμέτρων.
- **Έξυπνη παραγωγή:** Ο τομέας της παραγωγής θα είναι ικανός να μαθαίνει την συμπεριφορά των πηγών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τον καθορισμό αυτής και για την αυτόματη διατήρηση της τάσης, της συχνότητας και του συντελεστή ισχύος στα επιθυμητά επίπεδα που καθορίζονται μέσω ανάδρασης από διάφορα σημεία του δικτύου.
- **Ευρεία Πρόσβαση:** Σημαντικός τομέας ο οποίος διευκολύνει την διείσδυση σε αποδοτικές και χαμηλών εκπομπών μορφών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και αποθήκευσης.

### 1.3.2 Τεχνολογίες Έξυπνων Δικτύων

Η υποδομή των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων βασίζεται σε συγκεκριμένες τεχνολογίες οι οποίες ομαδοποιούνται παρακάτω:

- ❖ **Ολοκληρωμένες Επικοινωνίες:** Η τεχνολογία αυτή περιλαμβάνει την απόκτηση δεδομένων, την προστασία, τον έλεγχο και επιτρέπει στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με έξυπνες ηλεκτρονικές συσκευές σε ένα πλήρες αξιόπιστο σύστημα.
- ❖ **Εντοπισμός και Μέτρηση:** Οι τεχνολογίες αυτές υποστηρίζουν την απόκτηση στοιχείων για την αξιολόγηση της κατάστασης και της αξιοπιστίας του δικτύου, ενώ υποστηρίζουν την αυτόματη ανάγνωση των μετρητών, την εξάλειψη των εκτιμήσεων χρέωσης καθώς και την κλοπή ενέργειας.
- ❖ **Αναπτυγμένα Στοιχεία:** η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για να καθορίσει την ηλεκτρική συμπεριφορά του δικτύου και μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε αυτόνομες εφαρμογές είτε σε σύνδεση με σκοπό την δημιουργία πολύπλοκων συστημάτων όπως είναι τα μικρό-δίκτυα. Η επιτυχία, η διαθεσιμότητα και η οικονομική προσιτότητα των στοιχείων αυτών βασίζεται σε θεμελιώδη έρευνα και ανάπτυξη βασικών τομέων της επιστήμης όπως είναι αυτή των ηλεκτρονικών ισχύος, της υπεραγωγιμότητας, των υλικών, της χημείας και της μικροηλεκτρονικής.
- ❖ **Αναπτυγμένες Μέθοδοι Ελέγχου:** Η συγκεκριμένη τεχνολογία παρέχει τις συσκευές και τους αλγόριθμους που θα αναλύουν, θα δίνουν διάγνωση και θα προβλέπουν τις καταστάσεις του δικτύου. Κατόπιν αυτόνομα θα παίρνουν πρωτοβουλίες για υλοποιήσεων δράσεων αντιμετώπισης τους με σκοπό την αποτροπή διακοπών παροχής ισχύος και αλλοίωση της ποιότητας αυτής.
- ❖ **Βελτιωμένες Διασυνδέσεις και Υποστήριξη:** Η τεχνολογία θα μπορεί να μετατρέπει περίπλοκα δεδομένα ισχύος σε πληροφορίες που θα είναι εύκολα διαχειρίσιμες από τους χειριστές του δικτύου.

## 1.4 Συμπεράσματα<sup>[8]</sup>

Από τα ανωτέρω στοιχεία που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, γίνεται αντιληπτό ότι απαιτούνται σύγχρονα εργαλεία μοντελοποίησης ηλεκτρικών δικτύων για την προοδευτική τους αναβάθμιση σε έξυπνα με σκοπό την διαχείριση της παραγωγής και των λοιπών παραμέτρων που ειπώθηκαν. Η σωστή μοντελοποίηση και προσομοίωση ενός δικτύου είναι μεταξύ μερικών από τις προκλήσεις που θέτει η προοδευτική ανάπτυξη ενός μεγάλου αριθμού κατανεμημένων πηγών, συμπεριλαμβανομένων των υποδομών που σχετίζονται με ευέλικτα φορτία και μονάδες αποθήκευσης.

Αυτό που ουσιαστικά απαιτείται είναι η μεγαλύτερη αναλυτικότητα των πληροφοριών καθώς και η ύπαρξη καλύτερων εργαλείων ανάλυσης που θα είναι ικανά στην επεξεργασία μεγαλύτερης ποσότητας πληροφοριών συναρτήσει του χρόνου. Με βάση αυτήν την προοπτική, στα επόμενα κεφάλαια, παρουσιάζεται το λογισμικό Opendss το οποίο αποτελεί μια αξιόπιστη λύση στις προκλήσεις αυτές.

## 2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ OPENDSS

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί η γνωριμία με το λογισμικό μοντελοποίησης Opends, θα διατυπωθεί η ιστορική του αναδρομή καθώς και οι βασικές του λειτουργίες. Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να τεθούν τα θεμέλια για τις μοντελοποιήσεις που θα δημιουργηθούν σε επόμενο κεφάλαιο. Η ανάπτυξη του έγινε με χρήση της βιβλιογραφικής αναφοράς [7].

#### 2.1 Γνωριμία με το λογισμικό



Εικόνα 2.1. Λογότυπο του λογισμικού DSS<sup>[4]</sup>

Το λογισμικό Opends (Open Distribution System Simulator) είναι ένα ολοκληρωμένο εργαλείο ηλεκτρικών προσομοιώσεων για τα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάπτυξη του λογισμικού Opends ξεκίνησε τον Απρίλιο του 1997 από την εταιρία Electrotek Concepts, Inc. Εκείνη την περίοδο το πρόγραμμα ονομαζόταν

απλώς ως DSS από τα αρχικά των λέξεων Distribution System Simulator. Ο κύριος συντάκτης του λογισμικού είναι ο κ. Roger Dugan, τον οποίο υποστήριξε λίγο αργότερα ο συνεργάτης κ. Tom McDermott. Οι δυο τους αποτελούσαν την ομάδα ανάπτυξης του λογισμικού μέχρι και το 2001, όπου τότε ο δεύτερος αποχώρησε από την εταιρία. Ο κ. Dugan συνέχισε την ανάπτυξη του λογισμικού μόνος, μέχρι που εκ νέου ο κ. McDermott έγινε μέλος της ομάδας ανάπτυξης μέσω του έργου (project) Opends.



Εικόνα 2.2. Λογότυπο του Ινστιτούτου Έρευνας Ηλεκτρικής Ενέργειας<sup>[5]</sup>

Το λογισμικό DSS αποκτήθηκε το 2004 από τον φορέα EPRI λύσεων, ο οποίος ενοποιήθηκε με το ινστιτούτο EPRI (εικόνα 2.2) το 2007. Έναν χρόνο αργότερα, το

λογισμικό κυκλοφόρησε υπό μορφή ανοικτού κώδικα με σκοπό την συνεργασία του με άλλες εκσυγχρονισμένες εφαρμογές που βρίσκουν πεδίο στον τομέα των έξυπνων δικτύων.

### 2.1.1 Λειτουργίες και Χαρακτηριστικά του Προγράμματος

Ο όρος Opendss αναφέρεται στο γεγονός ότι το λογισμικό είναι ανοικτού κώδικα με δυνατότητες περαιτέρω επεκτάσεων. Υλοποιείται τόσο ως ένα αυτόνομο εκτελέσιμο πρόγραμμα όσο και ως πρόγραμμα μέσω server DLL, γεγονός που του επιτρέπει την οδήγηση του από υπάρχουσες άλλες πλατφόρμες λογισμικών. Η εκτελέσιμη έκδοση του λογισμικού πραγματοποιείται σε ένα απλό περιβάλλον εργασίας που βασίζεται σε κώδικα κειμένου ο οποίος μέσω της μηχανής του λογισμικού βοηθά τους χρήστες στην ανάπτυξη σεναρίων (scripts) και προβολή λύσεων.

```
-----
! This script runs the IEEE 34 Bus test case (Mod 1)
-----

! change the path name to match where it is actually installed on your computer

Compile ieee34Mod1.dss

New Energymeter.M1 Line.L1 1

solve
Buscoords IEEE34_BusXY.csv

Show voltage LN Nodes
Show currents element
show powers kva element
show taps

Set MarkTransformers=yes
Interpolate 1 requires an energMeter
plot circuit Power max=2000 y y C1-$00FF0000

Plot profile phases=all

-----
!-----2nd Run Script for 34-bus Test Case-----
!-----

! This script forces the regulator taps to the same values reported in the
! published results

Compile ieee34Mod1.dss

! Force Regulator Transformer taps
Transformer.reg1a.wdg=2 Tap=(0.00625 12 * 1 +) ! Tap 12
Transformer.reg1b.wdg=2 Tap=(0.00625 5 * 1 +) ! Tap 5
Transformer.reg1c.wdg=2 Tap=(0.00625 5 * 1 +) ! Tap 5
Transformer.reg2a.wdg=2 Tap=(0.00625 13 * 1 +) ! Tap 13
Transformer.reg2b.wdg=2 Tap=(0.00625 11 * 1 +) ! Tap 11
Transformer.reg2c.wdg=2 Tap=(0.00625 12 * 1 +) ! Tap 12

Set Controlmode=OFF ! prevents further tap changes

solve
show voltages LN Nodes
show currents residual=y elements
show powers kva element
show taps
```

Εικόνα 2.3. Επιφάνεια εργασίας κειμένου σεναρίων (scripts) Opendss

Το λογισμικό υποστηρίζει σχεδόν όλες τις αναλύσεις σταθερής κατάστασης (steady-state) τύπου rms, που χρησιμοποιούνται κοινώς για τον σχεδιασμό και την ανάλυση συστημάτων διανομής. Επιπλέον, υποστηρίζει πολλούς νέους τύπους αναλύσεων, σχεδιασμένους να καλύψουν μελλοντικές ανάγκες με πολλές από αυτές να αναφέρονται στην απελευθέρωση των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας σ' όλο το κόσμο καθώς και την έλευση των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων (smart grids). Πολλά από τα χαρακτηριστικά, τα οποία εντοπίζονται στο λογισμικό, αρχικά προορίζονταν για την υποστήριξη των αναγκών της κατανεμημένης παραγωγής. Λοιπά χαρακτηριστικά

υποστηρίζουν την ανάλυση ενεργειακής αποδοτικότητας στον τομέα της μετάδοσης, σε εφαρμογές έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων και ανάλυση αρμονικών παραμορφώσεων. Το λογισμικό DSS έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι επ' αόριστον επεκτάσιμο με σκοπό την συνεχή του τροποποίηση για την κάλυψη μελλοντικών αναγκών.

Ανάμεσα στις δεκάδες χρήσεις του, το λογισμικό Opendss έχει χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπως:

- Σχεδιασμός και ανάλυση συστημάτων διανομής
- Ανάλυση γενικών πολυφασικών κυκλωμάτων εναλλασσομένου ρεύματος
- Ανάλυση διασυνδεδεμένης παραγωγής ενέργειας
- Ετήσιες προσομοιώσεις μελετών παραγωγής ενέργειας και φορτίου
- Σχεδιασμός μελετών ανάλυσης κινδύνου στην διανομή
- Μελέτες προβλεπόμενου σχεδιασμού
- Προσομοίωση φωτοβολταϊκών συστημάτων
- Προσομοιώσεις αιολικών πάρκων
- Μοντελοποίηση βοηθητικού μετασχηματιστή σε πυρηνικούς σταθμούς
- Εκτιμήσεις αυτομάτου ελέγχου διανομής
- Προσομοίωση συστημάτων προστασίας
- Μοντελοποίηση αποθήκευσης
- Προσομοίωση τροφοδότη διανομής με δεδομένα τύπου AMI
- Εκτίμηση κατάστασης διανομής
- Άνοδος τάσης γείωσης σε συστήματα μετάδοσης
- Γεωμαγνητικά επαγωγικά ρεύματα (GIC)
- Προσομοιώσεις επίδρασης EV
- Προσομοιώσεις ενέργειας και τηλεπικοινωνιακών δικτύων
- Αναλύσεις ασυνήθιστων μετατροπών σε μετασχηματιστές
- Αναλύσεις αρμονικών παραμορφώσεων
- Προσομοιώσεις τάσης ουδετέρου προς γη
- Προσομοίωση μετατοπιστή φάσεως
- Προσομοίωση εστίας ηλεκτρικού τόξου
- Φορτία έλξης

Το λογισμικό εμπεριέχει πολλές μεθόδους επίλυσης προβλημάτων, όπως:

- Μέθοδος στιγμιότυπης (snapshot) ροής ισχύος
- Ημερήσιας ροής ισχύος
- Ετήσιας ροής ισχύος
- Μέθοδος επίλυσης αρμονικών
- Μέθοδος επίλυσης δυναμικών
- Μελέτες τύπου faultstudy
- Μελέτες τύπου Monte Carlo faultstudy

Οι μέθοδοι αυτές προστέθηκαν καθώς το πρόγραμμα αναπτυσσόταν για να μπορέσει να αντιμετωπίσει τις ανάγκες αναλύσεων συγκεκριμένων έργων με τα οποία οι συγγραφείς εμπλέκονταν την δεδομένη χρονική στιγμή. Ωστόσο, το πρόγραμμα αναπτύχθηκε με την πεποίθηση ότι θα ήταν αδύνατο για τους προγραμματιστές του, να αναγνωρίζουν όλες τις απαιτήσεις που ενδεχομένως προκύψουν από την πλευρά των χρηστών του. Για το σκοπό προστέθηκε μια διεπαφή τύπου COM (Component Object Model) στην έκδοση μέσω DLL server για να επιτρέψει στους γνώστες χρήστες την χρησιμοποίηση του λογισμικού για την πραγματοποίηση νέων τύπων μελετών.

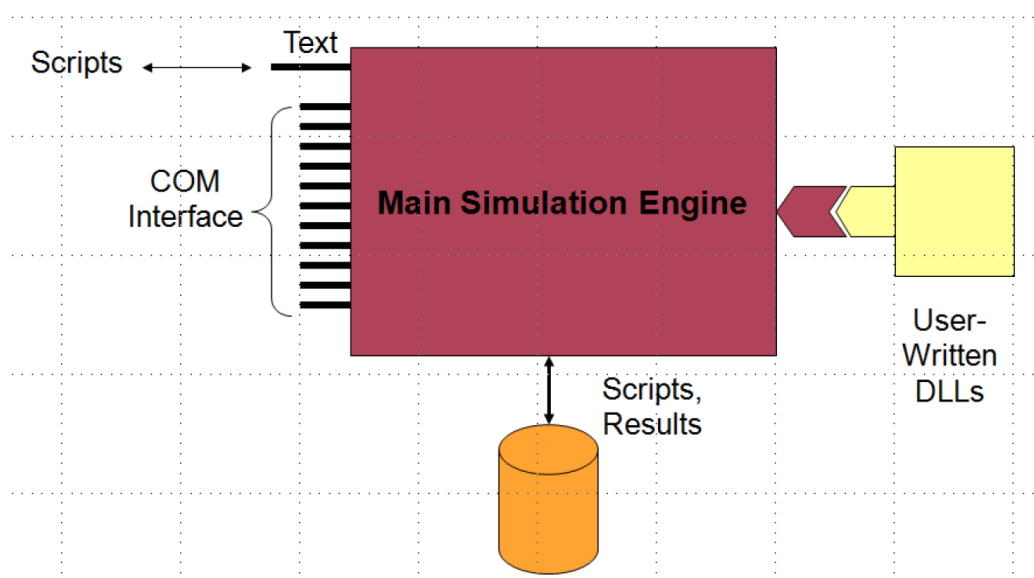
Μέσω της προαναφερθείσας διεπαφής, ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει και να εκτελέσει κοινές μεθόδους λύσεων και χαρακτηριστικών μέσω ενός εξωτερικού λογισμικού καθώς και την εκτέλεση των λειτουργιών του προσομοιωτή, συμπεριλαμβανομένου και του μοντέλου δεδομένων του. Έτσι, το DSS μπορεί να υλοποιείται πλήρως ανεξαρτητοποιημένο από οποιαδήποτε βάση δεδομένων. Για παράδειγμα, μπορεί να οδηγηθεί μέσω της εφαρμογής MS Office με χρήση Visual Basic για εφαρμογές ή από οποιοδήποτε άλλο πρόγραμμα ανάλυσης που μπορεί να υποστηρίξει την διεπαφή COM. Η πιο κοινή χρήση του Opendss γίνεται με τα προγράμματα της Mathworks MATLAB, το Python και άλλων γλωσσών προγραμματισμού. Η διαδικασία αυτή παρέχει την δυνατότητα χρήσης δυναμικών εργαλείων ανάλυσης και την εξαγωγή γραφικών παραστάσεων για εικαστικά αποτελέσματα.

Έχει διαπιστωθεί ότι, πολλοί χρήστες βρίσκουν την επιφάνεια εργασίας κειμένου ανάπτυξης σεναρίων επαρκής για να καλύψει όλες τους τις ανάγκες. Καθώς ωστόσο προκύπτει κατ' επανάληψη η ανάγκη χρήσης μιας λειτουργίας, η τελευταία υλοποιείται μέσω του ενσωματωμένου στοιχείου ελέγχου λύσεων και συνδέεται στην επιφάνεια εργασίας κειμένου.

Η διεπαφή COM επίσης επιτρέπει άμεση πρόσβαση στην επιφάνεια εργασίας κειμένου καθώς και σε πολυάριθμες μεθόδους και ιδιότητες που με την σειρά τους βοηθούν στην χρήση πολλών ιδιοτήτων μοντέλων προσομοίωσης. Μέσω της επιφάνειας εργασίας κειμένου, προγράμματα που αναπτυχθήκαν από χρήστες μπορούν να αναπαράγουν σενάρια (scripts) για να την επίτευξη των επιθυμητών λειτουργιών. Πολλά από τα αποτελέσματα μπορούν να ανακτηθούν μέσω της διεπαφής COM μαζί και με άλλα εξαγόμενα αρχεία. Πολλά από τα αρχεία αυτά είναι γραμμένα στην μορφή Comma-Separated Value (τύπος επέκτασης αρχείου .CSV) τα οποία μπορούν να εισαχθούν σε άλλα λογισμικά όπως το Microsoft Excel ή το MATLAB για την συνέχιση της επεξεργασίας.

Οι έμπειροι προγραμματιστές λογισμικών έχουν δύο ακόμα επιπρόσθετες επιλογές με την χρήση του λογισμικού Opendss:

1. Μπορούν να πραγματοποιήσουν λήψη του κύριου κώδικα του λογισμικού και εν συνεχεία την μετατροπή του για να ταιριάζει με τις εκάστοτε ανάγκες τους.
2. Μπορεί να πραγματοποιηθεί η δημιουργία αρχείων τύπου DLL που ενσωματώνονται σε θώκους που το Opendss προσφέρει. Αυτό επιτρέπει στους προγραμματιστές την πρόσδοση της προσοχής τους στο ενδιαφερόμενο μοντέλο μηχανής, αφήνοντας στο DSS την υλοποίηση των υπολοίπων παραμέτρων του μοντέλου συστήματος διανομής. Τέτοιου είδους αρχεία μπορούν να δημιουργηθούν στις πιο κοινές γλώσσες προγραμματισμού.



Εικόνα 2.4. Δομή του λογισμικού Opendss<sup>[2]</sup>



Από την έκδοση 7.6 συστήθηκε μια έκδοση του λογισμικού στα 64-bit με σκοπό να καλύψει τις ανάγκες των χρηστών που θέλουν να αποκτήσουν πρόσβαση σ' αυτό μέσω προγραμμάτων στα 64-bit ή για να υλοποιηθούν μεγάλα, σε όγκο, μοντέλα προσομοίωσης. Και οι δύο εκδόσεις των 32-bit και των 64-bit μπορούν να συνυπάρξουν στον ίδιο υπολογιστή για την υποστήριξη των χρηστών που επιθυμούν την χρήση τους. Παράδειγμα, το λογισμικό MATLAB τρέχει στα 64-bit κάτι το οποίο δεν συμβαίνει με τα λογισμικά του Microsoft Office όπου συνήθως τρέχουν στα 32-bit. Η επιλογή της έκδοσης γίνεται αυτόματα από το λειτουργικό σύστημα (operating software) του υπολογιστή.

### 2.1.2 Υλοποιημένα Παραδείγματα<sup>[8]</sup>

Το λογισμικό Opendss έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορους τύπους προσομοιώσεων, οι οποίοι είναι δύσκολο να πραγματοποιηθούν με χρήση των πιο κοινών μέσων. Παρακάτω αναφέρονται μερικά παραδείγματα:

- ❖ Υπολογισμός απωλειών ισχύος αιολικού πάρκου: Οι απώλειες ισχύος σε ένα σύστημα αιολικού πάρκου ποικίλουν ανάλογα με την ισχύ που αποδίδεται από τις ανεμογεννήτριες, που με την σειρά της μεταβάλλεται βάσει του χρόνου. Αυτός ο υπολογισμός μπορεί να υπολογιστεί παραδοσιακά υπολογίζοντας την μέση τιμή ισχύος εξόδου της κάθε ανεμογεννήτριας. Με χρήση του λογισμικού Opendss και με χρησιμοποίηση της αποδιδόμενης ισχύος για κάθε ώρα του χρόνου, ο υπολογισμός των απωλειών για όλες τις 8760 ώρες, ολοκληρώνεται μέσα σε λίγες γραμμές κώδικα, εν αντιθέσει με τα κοινά παραδοσιακά εργαλεία υπολογισμού όπου απαιτούν βαρύ προγραμματισμό και με μεγάλους χρόνους εκτελέσεων.
- ❖ Υπολογισμός φαινομένου σκίασης από σύννεφο πάνω από Φ/Β πάρκο: Ως γνωστόν, κατά το πέρασμα σύννεφων πάνω από φωτοβολταϊκά πάρκα, προκαλείται απώλεια παραγωγής η οποία μπορεί να διαρκέσει κάποιο εύλογο χρονικό διάστημα και εν συνεχεία να επανέλθει σταδιακά μετά από κάποια δευτερόλεπτα. Εάν τα δεδομένα της μεταβολής παραγωγής είναι γνωστά, το λογισμικό Opendss μπορεί εύκολα να βοηθήσει στον καθορισμό της πτώσης τάσης στον ζυγό όπου η παραγομένη ηλιακή ενέργεια συνδέεται. Επιπλέον μπορεί να καθοριστεί η χρήση ή μη μετασχηματιστών με tap changers ή συστοιχίας πυκνωτών για να σταθεροποιήσουν την πτώση τάσης αυτή.

- ❖ **Άεργος Ισχύς & Έλεγχος Τάσης (Volt Var Control):** Για να πραγματοποιηθεί μείωση των απωλειών ισχύος, οι εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούν πυκνωτές και σταθεροποιητές τάσης είτε στους σταθμούς παραγωγής είτε στις γραμμές μεταφοράς για να διατηρήσουν τις τιμές της τάσης στα προβλεπόμενα όρια. Αυτή η μέθοδος απαιτεί την μέτρηση της τελευταίας στο τέλος του δικτύου. Με χρήση του λογισμικού Opendss, μπορούν να αναπτυχθούν και να μελετηθούν πολυάριθμα σενάρια ροής ισχύος κατά την διάρκεια ενός έτους.

## **2.2 Δυνατότητες Προσομοίωσης & Αναλύσεων**

Στις προηγούμενες παραγράφους διατυπώθηκαν επιγραμματικά οι δυνατότητες προσομοίωσης του λογισμικού Opendss. Στην παρούσα ενότητα γίνεται ανάλυση εις βάθος στις δυνατότητες αυτές.

### **2.2.1 Ροή Ισχύος**

Παρότι το πρόβλημα της ροής ισχύος είναι πιθανότατα το πιο κοινό και αντιμετωπίσιμο από το λογισμικό, το τελευταίο δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα λογισμικό ροής ισχύος. Οι βάσεις του και η δομή του προέρχονται από γενικής χρήσης εργαλεία αρμονικών αναλύσεων με αποτέλεσμα να λειτουργεί διαφορετικά από τα πιο διαδεδομένα εργαλεία ροής ισχύος. Οι βάσεις αυτές επίσης του προσδίδουν και μερικές μοναδικές ιδιότητες. Το λογισμικό αρχικά σχεδιάστηκε για να εκτελεί σχεδόν όλες τις πτυχές του σχεδιασμού διανομής και παραγωγής, τα οποία περιλαμβάνουν την ανάλυση αρμονικών.

Το λογισμικό Opendss είναι σχεδιασμένο για να εκτελεί μια βασική δομή ροής ισχύος κατά την οποία το σύστημα ισχύος είναι η κυρίαρχη πηγή ενέργειας. Διαφέρει ωστόσο από τα λογισμικά εκείνα που επιλύουν κοινά ακτινικά κυκλώματα, κυρίως στο γεγονός ότι επιλύει δικτυωτά συστήματα διανομής, τόσο ευκολά όσο τα προαναφερθέντα. Είναι προορισμένο για να χρησιμοποιείται από εταιρίες διανομής που διαθέτουν επίσης συστήματα ή υποσυστήματα μεταφοράς.

Το μοντέλο κυκλώματος που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι είτε ένα πλήρες πολυφασικό μοντέλο ή ένα απλοποιημένο μοντέλο θετικής ακολουθίας. Η χρήση του πολυφασικού μοντέλου ενδείκνυται για διεκπεραίωση μελετών χωρητικότητας, αφού

το τελευταίο βαίνει σε άμεση εκτέλεση σε μικρούς χρόνους. Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των πολυφασικών μοντέλων που μπορούν να προκύψουν από πολλές ανισοροπίες, ο χρήστης θα πρέπει ενδεχομένως να δημιουργήσει μοντέλα θετικής ακολουθίας εκτός του λογισμικού DSS καθορίζοντας ένα μονοφασικό μοντέλο του κυκλώματος.

Η ροή ισχύος εκτελείται σε πολυάριθμες μεθόδους λύσεων, που διατυπώθηκαν στην παράγραφο 2.1.1., και άλλες λειτουργίες όπου το φορτίο μεταβάλλεται συναρτήσει του χρόνου. Ο χρόνος μπορεί να τεθεί σε αυθαίρετη χρονική περίοδο. Συνήθως, για λόγους σχεδιασμού τίθεται σε περίοδο ενός 24-ωρου, ενός μήνα ή ενός χρόνου. Οι χρήστες μπορούν επιπλέον να κατασκευάσουν μακροεντολές ή προγράμματα εκτός του DSS για να πράξουν τους υπολογισμούς τους κατά διαφορετικό τρόπο.

Όταν μια μελέτη ροής ισχύος ολοκληρώνεται, οι απώλειες, οι τάσεις, οι ροές και λοιπές πληροφορίες είναι διαθέσιμες είτε για το σύστημα ολόκληρο, είτε για κάθε στοιχείο του ξεχωριστά ή για συγκεκριμένες περιοχές του. Ως παράδειγμα, για κάθε δεδομένη χρονική στιγμή, οι απώλειες αναφέρονται ως απώλειες kW (kW losses). Ενεργειακά μοντέλα μέτρησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενσωμάτωση της ισχύος σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Η ροή ισχύος μπορεί να υλοποιηθεί είτε για ακτινικά κυκλώματα διανομής είτε για δικτυωτά. Ενώ η ακρίβεια μερικών αλγορίθμων που μπορεί να εξαρτάται από ακτινικό κομμάτι του μοντέλου κυκλώματος, η λύση της ροής ισχύος είναι γενική. Οι δύο βασικές παρεχόμενες λύσεις ροής ισχύος είναι:

1. Επαναληπτική μέθοδος ροής ισχύος
2. Άμεσης επίλυσης

Για την πρώτη μέθοδο επίλυσης, τα φορτία και οι γεννήτριες διανομής αντιμετωπίζονται ως πηγές διείσδυσης. Στην δεύτερη, συμπεριλαμβάνονται ως αγωγιμότητες στην αντίστοιχη μήτρα αγωγιμοτήτων του συστήματος, το οποίο εν συνεχεία επιλύεται αμέσως χωρίς επανάληψη. Για την πραγματοποίηση της επαναληπτικής μεθόδου χρησιμοποιούνται δύο αλγόριθμοι:

1. Κανονικός (Normal) αλγόριθμος
2. Αλγόριθμος Newton

Η χρήση του πρώτου αλγορίθμου καθιστά την επίλυση πιο γρήγορη, ωστόσο ο αλγόριθμος Newton είναι πολύ πιο ικανός στην επίλυση δύσκολων κυκλωμάτων. Η μέθοδος του κανονικού αλγορίθμου χρησιμοποιεί μια επαναληπτική διαδικασία σταθερού σημείου και λειτουργεί πολύ καλά με σχεδόν όλα τα συστήματα διανομής με σταθερή πηγή ισχύος. Είναι η προτιμώμενη μέθοδος για ετήσιες προσομοιώσεις λόγω της ταχύτητας της ενώ οι βελτιώσεις που έχουν γίνει στις επόμενες εκδόσεις του προγράμματος, την κάνουν περισσότερο προσιτή από ποτέ.

### **2.2.2 Μελέτες Σφάλματος (Fault Studies)**

Σημαντικό κομμάτι των δυνατοτήτων του λογισμικού Opendss είναι η εκτέλεση μελετών σφάλματος με τους εξής τρόπους:

- Χρήση συμβατικής μεθόδου σφαλμάτων, με αναφορά σε ρεύματα και τάσεις σ' όλες τις φάσεις για όλα τα είδη σφαλμάτων. Έχοντας ως δεδομένο ότι οι μετασχηματιστές αναπαρίστανται με βάση την πραγματική τους περιέλιξη, αυτό είναι ένα τέλειο μοντέλο εντοπισμού σφαλμάτων καθώς και ένα εργαλείο για την ρύθμιση ρελέ και την διαστασιολόγηση ασφαλειών.
- Χρήση στιγμιότυπου σφάλματος (snapshot fault). Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο χρήστης τοποθετεί ένα ή περισσότερα σφάλματα σε συγκεκριμένους ζυγούς, καθορίζοντας τον τύπο του σφάλματος και την τιμή του σφάλματος αντίστασης. Το σφάλμα είναι κυκλωματικό στοιχείο (δίκτυο αντιστάσεων) όπως οποιοδήποτε άλλο στοιχείο, το οποίο μπορεί να ελεγχθεί με τον ίδιο τρόπο.
- Εφαρμογή τυχαίων σφαλμάτων. (Μελέτη σφάλματος τύπου Monte Carlo). Ο χρήστης καθορίζει αντικείμενα σφάλματος σε τοποθεσίες όπου τα σφάλματα είναι επιθυμητά. Το λογισμικό αυτόματα επιλέγει ένα σφάλμα την φορά. Η διαδικασία αυτή είναι χρήσιμη για αναλύσεις εξέτασης τάσεων που παρατηρούνται σε ένα δίκτυο διανομής για διάφορα σφάλματα.

### **2.2.3 Ανάλυση Ροής Αρμονικών (Harmonic Flow Analysis)**

Το λογισμικό Opendss είναι ένας λύτης κυκλωμάτων γενικής συχνότητας με αποτέλεσμα η ανάλυση ροής αρμονικών να είναι μια συνηθισμένη διαδικασία με πολύ εύκολο τρόπο επίλυσης από το πρόγραμμα. Σ' αυτήν ο χρήστης μπορεί να καθορίσει

ποικίλα φάσματα που αναπαριστούν τις αρμονικές πηγές για τις οποίες υπάρχει ενδιαφέρον προς εξέταση. Τα φάσματα αυτά συνδέονται με το φορτίο, την γεννήτρια, τις πηγές τάσεων και ρευμάτων καθώς και με διάφορα συμβατικά στοιχεία. Για τα στοιχεία αυτά υπάρχουν ήδη προκαθορισμένα φάσματα.

Σε πρώτη φάση, υλοποιείται μια στιγμιότυπη ροή ισχύος για να διαπιστωθεί το πρόβλημα. Για την συνέχεια στο επόμενο βήμα επίλυσης, θα πρέπει να υπάρχει σύγκλιση στην λύση. Αν η τελευταία είναι δύσκολο να επιτευχθεί τότε χρησιμοποιείται η τακτική της άμεσης λύσης (direct solution) για να προετοιμάσει την εφαρμογή της αντίστοιχης αρμονικής. Εν συνεχεία, οι αρμονικές πηγές ενεργοποιούνται σε κατάλληλα μεγέθη και φασικές γωνίες για να ταιριάζουν με την λύση.

Το Opendss αμέσως μετά επιλύει την κάθε συχνότητα που παρουσιάζεται για κάθε παραγόμενη αρμονική των στοιχείων κυκλώματος. Οι χρήστες μπορούν επίσης να καθορίσουν ποιες αρμονικές θα υπολογιστούν. Εν συνεχεία γίνεται η χρήση διατάξεων monitors σ' όλο το κύκλωμα για την απαραίτητη συλλογή των δεδομένων.

Οι σαρώσεις συχνότητας πραγματοποιούνται σε παρόμοιο τρόπο. Οι χρήστες ορίζουν τα φάσματα που περιέχουν τις τιμές για τις συχνότητες (εκφραζόμενες ως αρμονικές της θεμελιώδους) προς εξέταση και τις αναθέτει σε κατάλληλες πηγές τάσης και ρεύματος. Αυτές οι πηγές μπορούν να καθοριστούν για την εκτέλεση των σαρώσεων με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

1. Θετικής Ακολουθίας (Positive Sequence): Διανύσματα σε 3-φασικές πηγές διατηρούν την σχέση θετικής ακολουθίας σ' όλες τις συχνότητες. Όλες οι τρεις τάσεις και ρεύματα είναι ίσα σε μέγεθος και μετατοπισμένα κατά 120 μοίρες σε κυκλική μορφή ABC ή 123.
2. Μηδενικής Ακολουθίας (Zero Sequence): Όλες οι τρεις τάσεις και ρεύματα είναι ίσα σε μέγεθος και φάση.
3. Άνευ Ακολουθίας (No Sequence): Τα διανύσματα ενεργοποιούνται με την λύση της ροής ισχύος και επιτρέπεται η περιστροφή τους ανεξάρτητα της συχνότητας. Εάν βρίσκονται σε σχέση θετικής ακολουθίας, θα προκύψει αντίστοιχη αρνητική στην δεύτερη αρμονική συνιστώσα και μηδενική σχέση

στην τρίτη αρμονική κτλ. Σε ενδιάμεσες καταστάσεις αρμονικών, τα διανύσματα θα βρίσκονται κάπου ανάμεσα.

#### **2.2.4 Δυναμική (Dynamics)**

Το Opendss μπορεί να εκτελέσει βασικά μεταβατικά ηλεκτρομηχανικά φαινόμενα, δυναμικές και προσομοιώσεις. Οι δυνατότητες του έχουν επεκταθεί σταθερά εξαιτίας πολλών εφαρμογών όπου οι δυναμικές είναι σημαντικές. Η αρχική πρόβλεψη ήταν η παροχή επαρκούς ικανότητας μοντελοποιήσεων για την χρήση διασυνδέσεων σε δίκτυα διανομής.

Το λογισμικό εμπεριέχει μια γεννήτρια μοντέλων η οποία είναι ικανή στην εκτέλεση πολλών μελετών δικτύων διανομής για κοινές συνθήκες σφαλμάτων. Επιπλέον, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν νέα μοντέλα γράφοντας τα σε αρχεία DLL για την γεννήτρια μοντέλων ή ελέγχοντας αυτήν από κάποιο εξωγενές λογισμικό το οποίο ενδεχομένως περιέχει ένα πιο λεπτομερές μοντέλο.

#### **2.2.5 Μεταβολή Παραμετρικού Φορτίου (Load Parametric Variation)**

Οι δυνατότητες πραγματοποίησης παραμετρικής εκτίμησης παρέχονται για μια μεγάλη ποικιλία μεταβλητών. Σε συγκεκριμένες μεταβλητές επιτρέπεται η μεταβολή της τιμής τους σύμφωνα με μια συνάρτηση ή η τυχαία τους μεταβολή για μελέτες τύπου Monte Carlo και αντίστοιχες στατιστικές.

#### **2.2.6 Γεωμαγνητικά Επαγωγικά Ρεύματα (GIC)**

Το Opendss είναι ικανό στην πραγματοποίηση αναλύσεων γεωμαγνητικών επαγωγικών ρευμάτων σε συστήματα ισχύος. Επι του παρόντος, η ανάλυση αυτή περιορίζεται σε τριφασικά συστήματα και δεν μπορεί να εισαχθεί σε άλλου τύπου μελέτες όπως η ροή ισχύος. Η συγκεκριμένη ανάλυση εκμεταλλεύεται την δυνατότητα μοντελοποίησης της φάσης ουδετέρου για την εκτέλεση της ανάλυσης σε τριφασική βάση εν αντιθέσει με την μονοφασική.

Οι συγκεκριμένες προσομοιώσεις εμπεριέχουν μια χαμηλής συχνότητας ανάλυση ως αποτέλεσμα του εξαγόμενου dc δικτύου. Η κινητήριος δύναμη πίσω από την ροή των GIC στο δίκτυο είναι η επαγόμενη τάση στις γραμμές μεταφοράς. Η τελευταία παράγεται από την σύζευξη των γραμμών μεταφοράς με το επαγόμενο γεο-ηλεκτρικό πεδίο στην επιφάνεια της γης.

## 3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ OPENDSS

Στο κεφάλαιο αυτό αποτυπώνεται ο τρόπος χρήσης του λογισμικού Opendss. Με χρήση εικόνων τύπου print screen θα αποτυπωθούν οι βασικές χρήσεις του λογισμικού ενώ θα γίνεται επεξήγηση των προσομοιώσεων που θα λάβουν χώρα. Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η αποτύπωση στην πράξη των δεδομένων που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η ανάπτυξη του υλοποιήθηκε κατά κύριο λόγο από την βιβλιογραφική αναφορά [7], εκτός από τις παραγράφους όπου υπάρχει διαφορετική υποσημείωση.

#### 3.1 Βασική χρήση του λογισμικού

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται συνοπτικά το περιβάλλον εργασίας και οι βασικές εντολές του λογισμικού Opendss.

##### 3.1.1 Πίνακας Ελέγχου Opendss (Opendss Control Panel)

Η μορφή του πίνακα ελέγχου του λογισμικού Opendss αποτελείται από πολλαπλά παράθυρα για την κατασκευή, δοκιμή και τελική εκτέλεση των υπό κατασκευή σεναρίων των χρηστών. Η πρόσβαση σ' αυτά είτε στα αποτελέσματα, υλοποιείται κυρίως από τα εξαγόμενα αρχεία του λογισμικού ή μέσω της διεπαφής COM (COM Interface) χωρίς ωστόσο να παρεμποδίζεται η απεικόνιση μεγάλων σεναρίων σε ένα μόνο παράθυρο εφόσον αυτό είναι επιθυμητό.

Η επικοινωνία προς το λογισμικό DSS πραγματοποιείται μέσω διαύλων επικοινωνίας προς τον επεξεργαστή εντολών αυτού. Ωστόσο, αν γίνεται χρήση της έκδοσης DLL server μέσω ενός δευτερεύοντος προγράμματος, παρέχεται η δυνατότητα χρήσης πολλών λειτουργιών για την εκτέλεση απλών εντολών (όπως η εντολή solve) και ο καθορισμός των ιδιοτήτων των στοιχείων κυκλώματος χωρίς την χρήση του προαναφερθέντος διαύλου. Η διαδικασία καθίσταται γρήγορη ειδικά για λειτουργίες που εκτελούνται συχνά, παρόλο που ο επεξεργαστής κειμένου του λογισμικού θεωρείται ήδη γρήγορος για τις περισσότερες εφαρμογές.

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων μπορούν να δοθούν ως συστοιχίες τιμών είτε στην διεπαφή COM ή μέσω μορφής κειμένου στα εξαγόμενα αρχεία τύπου CSV. Στην

βάση της εφαρμογής υπάρχουν προ-εγκατεστημένες μερικές τυποποιημένες μορφές αναφορών αρχείων. Βασική πρόθεση για τους χρήστες που απαιτούν ειδικές αναφορές θα πρέπει να είναι η σχεδίαση τους μέσω αρχείων Excel ή οποιαδήποτε άλλης εφαρμογής χρησιμοποιούν για τον έλεγχο του Opends.

```
! This script forces the regulator taps to the same values reported in the
! published results

Compile ieee34Mod1.dss

! Force Regulator Transformer taps
Transformer.reg1a.wdg=2 Tap={0.00625 12 * 1 +} ! Tap 12
Transformer.reg1b.wdg=2 Tap={0.00625 5 * 1 +} ! Tap 5
Transformer.reg1c.wdg=2 Tap={0.00625 5 * 1 +} ! Tap 5
Transformer.reg2a.wdg=2 Tap={0.00625 13 * 1 +} ! Tap 13
Transformer.reg2b.wdg=2 Tap={0.00625 11 * 1 +} ! Tap 11
Transformer.reg2c.wdg=2 Tap={0.00625 12 * 1 +} ! Tap 12

Set Controlmode=OFF ! prevents further tap changes

solve
show voltages LN Nodes
show currents residual=y elements
show powers kva element
show taps
```

Main Run\_IEEE34Mod1.dss Script3 CircuitoBasico.dss

Εικόνα 3.1.Επιλογή παραθύρων στο κάτω μέρος της οθόνης

Ο πίνακας ελέγχου αποτελείται από πολλαπλά παράθυρα επεξεργασίας κειμένων, τα οποία αποτελούνται από ένα κύριο γονικό παράθυρο και τα λοιπά παράθυρα πληροφοριών. Το λογισμικό επιτρέπει το ταυτόχρονο άνοιγμα πολλών παραθύρων σεναρίων. Ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει ένα πλήρες σενάριο, ή ένα μέρος αυτού σ' οποιοδήποτε από τα ανοικτά παράθυρα οποιαδήποτε στιγμή. Η λειτουργία αυτή επιτρέπει στον χρήστη την ταξινόμηση των σεναρίων σε μια λογική σειρά και την διαθεσιμότητα τους ανά πάσα στιγμή.

```
! Force Regulator Transformer taps
Transformer.reg1a.wdg=2 Tap={0.00625 12 * 1 +} ! Tap 12
Transformer.reg1b.wdg=2 Tap={0.00625 5 * 1 +} ! T.
Transformer.reg1c.wdg=2 Tap={0.00625 5 * 1 +} ! T.
Transformer.reg2a.wdg=2 Tap={0.00625 13 * 1 +} ! T
Transformer.reg2b.wdg=2 Tap={0.00625 11 * 1 +} ! T
Transformer.reg2c.wdg=2 Tap={0.00625 12 * 1 +} ! T

Set Controlmode=OFF ! prevents further tap changes

solve
show voltages LN Nodes
show currents residual=y elements
show powers kva element
show taps
```

**Do Selected** Ctrl+D

Save This Window

Close Window

Change to this Directory

Open Selected File

Edit Selected File

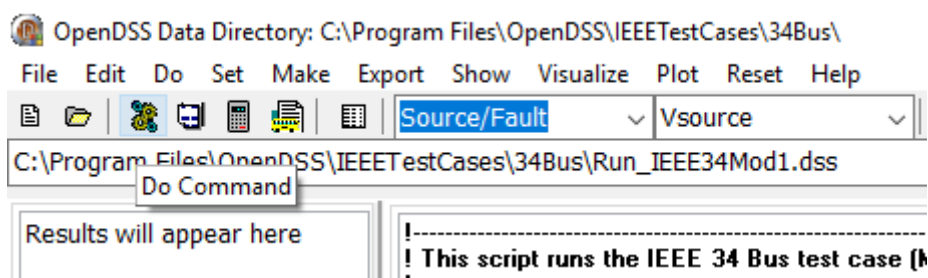
---

Change Font...

Εικόνα 3.2.Η λειτουργία εκτέλεσης σεναρίων ή μέρους αυτών



Η εκτέλεση των σεναρίων ή κομμάτια αυτών πραγματοποιείται με επιλογή των γραμμών αυτών με χρήση του ποντικιού. Τότε ο χρήστης κάνοντας χρήση του δεξιού κουμπιού μπορεί να επιλέξει την εντολή «Do Selected» από το αναδυόμενο μενού ή κάνοντας χρήση της συντόμευσης πληκτρολογίου ctrl+d (Εικόνα 3.2). Η επιλογή μπορεί επίσης να εκτελεσθεί από το μενού Do ή το πλήκτρο συντόμευσης Do Command όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3.



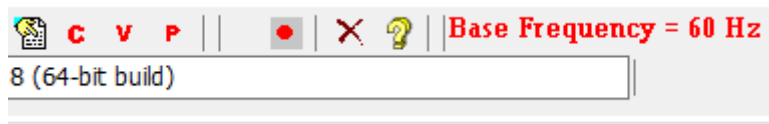
Εικόνα 3.3. Το πλήκτρο συντόμευσης Do Command εκτέλεσης σεναρίων

Άξιο προσοχής είναι το γεγονός ότι η εκτέλεση μιας εντολής μπορεί να οδηγήσει το λογισμικό Opendss στο άνοιγμα ενός δευτερεύοντος αρχείου που με την σειρά του να ανοίξει ένα τρίτο. Αυτό προξενεί την ταξινόμηση των σεναρίων σε τόμους χωρίς να απαιτείται η πλήρης απεικόνιση τους στον πίνακα ελέγχου.

Κάθε παράθυρο του λογισμικού που εμπεριέχει σενάριο, εκμεταλλεύεται την μορφή Windows Rich-Edit με αποτέλεσμα να χρησιμοποιεί τις βασικές μορφοποιήσεις κειμένου. Ωστόσο, με χρήση λοιπών εφαρμογών μπορεί να αυξηθούν οι δυνατότητες παραμετροποιήσεων. Για το σκοπό συνίσταται κατά την εκκίνηση του λογισμικού για πρώτη φορά, να γίνει χρήση της εντολής,

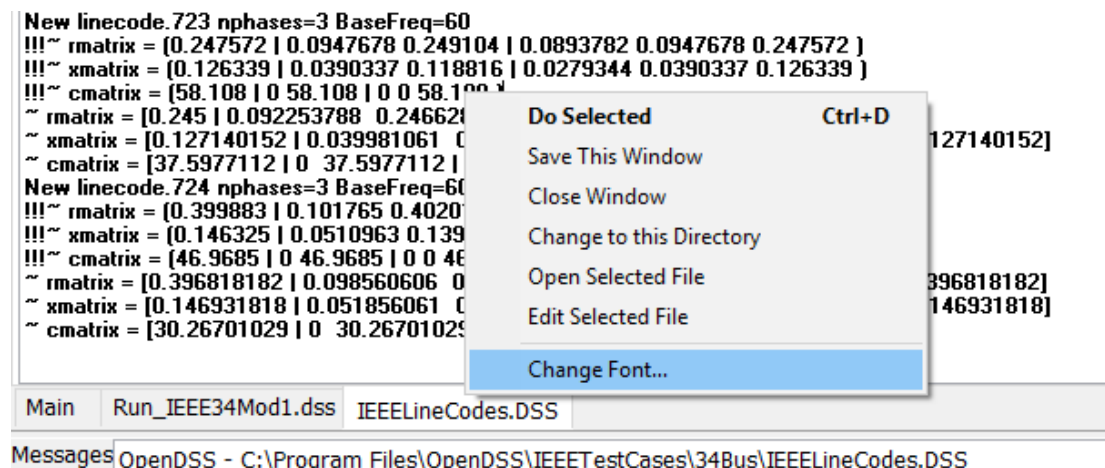
*Set Editor=filename*

Ο όρος filename ανάγεται στην πλήρη διαδρομή διεύθυνσης εντός του σκληρού δίσκου στην οποία είναι αποθηκευμένη η εφαρμογή παραμετροποίησης κειμένου που θα χρησιμοποιηθεί. Επίσης συνίσταται η χρήση μιας απλής εφαρμογής κειμένου καθότι εφαρμογές όπως το MS Word και WordPad δεν είναι απολύτως συμβατές με το λογισμικό Opendss. Επίσης είναι άκρως απαραίτητη η εφαρμογή της εντολής Set Editor μία φορά καθώς το πρόγραμμα αποθηκεύει την τιμή αυτής στο μητρώο του λογισμικού συστήματος μετά το κλείσιμο του H/Y. Το ίδιο υφίσταται και για τον ορισμό τιμής της συχνότητας (50 ή 60Hz) που απεικονίζεται στο πάνω και δεξιά μέρος της οθόνης (εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4. Απεικόνιση της συχνότητας λειτουργίας

Μια επιπρόσθετη δυνατότητα που δίνεται ακόμη είναι η επιλογή τροποποίησης των σεναρίων μέσω του δεξιού κουμπιού του ποντικιού. Συγκεκριμένα, αν ο χρήστης εκτελέσει την διαδικασία που αναφέρθηκε προκύπτει ένα αναδυόμενο μενού στο οποίο δίνεται η δυνατότητα ανοίγματος (Open) του αρχείου σε δικό του παράθυρο εντός του λογισμικού DSS ή η δυνατότητα τροποποίησης του (Edit) με χρήση εφαρμογής που έχει οριστεί από τον χρήστη. Αν αυτό ωστόσο δεν έχει συμβεί, το πρόγραμμα θα επιχειρήσει το άνοιγμα μέσω της εφαρμογής σημειωματάριου (Notepad) του λογισμικού συστήματος.



Εικόνα 3.5. Αλλαγή γραμματοσειράς

Παρέχεται ακόμη η επιλογή αλλαγή της γραμματοσειράς ενός παραθύρου μέσω της επιλογής Change Font που εμφανίζεται με δεξί κλικ στο όνομα του παραθύρου. Η τελευταία επιλογή για το μέγεθος της αποθηκεύεται από το πρόγραμμα και χρησιμοποιείται σε κάθε του εκκίνηση. Η διαδικασία αυτή ωστόσο ισχύει για αρχεία κειμένου και όχι για τα αρχεία σεναρίων.

### 3.1.2 Μενού Εντολών Εξαγωγής (Export Menu Commands)

Τα εξαγόμενα μεγέθη της τάσης και του ρεύματος έχουν αναβαθμιστεί στις τελευταίες εκδόσεις του λογισμικού, με σκοπό την αύξηση της χρησιμότητας τους κατά την είσοδο τους σε λογισμικά όπως το Excel ή οποιοδήποτε άλλο πρόγραμμα. Συγκεκριμένα έχουν πραγματοποιηθεί οι ακόλουθες αλλαγές:

- Οι πίνακες εξόδου αναπτύσσονται κατά οριζόντια μορφή έναντι της κάθετης για να πραγματοποιηθεί καλύτερο ταίριασμα με τις τροποποιήσεις μέσω της εντολής Plot.
- Τα εξαγόμενα ρεύματα ομαδοποιούνται μέσω του ονόματος συσκευής (στοιχείο κυκλώματος).
- Οι εξαγόμενες τάσεις ομαδοποιούνται βάσει του ονόματος του ζυγού (Bus Name).
- Παρέχεται η εξαγωγή υπολειμματικών τιμών (άθροισμα όλων των αγωγών ή κόμβων σε ένα παρακλάδι ή ζυγό). Το ίδιο ισχύει για τις εξαγόμενες ακολουθίες ρεύματος και τάσης καθώς οι υπολειπόμενες τιμές ενδέχεται να είναι διαφορετικές από τις αντίστοιχες της μηδενικής ακολουθίας.

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται οι διαθέσιμες επιλογές εξαγωγής αποτελεσμάτων από το λογισμικό Opends.

<b>Export Command [Filename]</b>	<b>Default File Name</b>	<b>Description</b>
Export Voltages	EXP_VOLTAGES.CSV	Voltage, magnitude and angle
Export SeqVoltages	EXP_SEQVOLTAGES.CSV	Sequence voltage, magnitude only
Export Currents	EXP_CURRENTS.CSV	All currents, magnitude and angle
Export Overloads	EXP_OVERLOADS.CSV	overload for overloaded elements
Export Capacity	EXP_CAPACITY.CSV	Capacity report on lines and transformers
Export Estimation	EXP_ESTIMATION.CSV	Results of Estimate command

<b>Export Command [Filename]</b>	<b>Default File Name</b>	<b>Description</b>
Export Unserved [UEonly]	EXP_UNSERVED.CSV	Unserved energy values; requires energymeter
Export SeqCurrents	EXP_SEQCURRENTS.CSV	Sequence currents, magnitude
Export Powers [MVA]	EXP_POWER.CSV	Powers into each terminal, kW and kvar
Export P_ByPhase	EXP_P_BYPHASE.CSV	Powers by phase
Export SeqPowers [MVA]	EXP_SEQPOWERS.CSV	Positive-, negative-, and zero-sequence powers
Export Faultstudy	EXP_FAULTS.CSV	Results of Solve Mode=Faultstudy
Export Generators [Filename   /m ]	EXP_GENMETERS.CSV	Values of Generator Energy Meters
Export Loads	EXP_LOADS.CSV	Values for each Load
Export Meters [Filename   /m ]	EXP_METERS.CSV	Energy meter exports. Adding the switch "/multiple" or "/m" will cause a separate file to be written for each meter.
Export Monitors monitorname	file name is assigned	Specified monitor value
Export YPrims	EXP_YPRIMS.CSV	All primitive Y matrices
Export Y	EXP_Y.CSV	System Y matrix (full, complex). Could be huge!

Export Command [Filename]	Default File Name	Description
Export SeqZ	EXP_SEQZ.CSV	Sequence Impedances at each bus
Export Summary	EXP_SUMMARY.CSV	Time-stamped summary of present solution. (Cumulative) One record per solution
Export Profile	EXP_Profile.CSV	Data to enable you to recreate a voltage profile plot in another program.

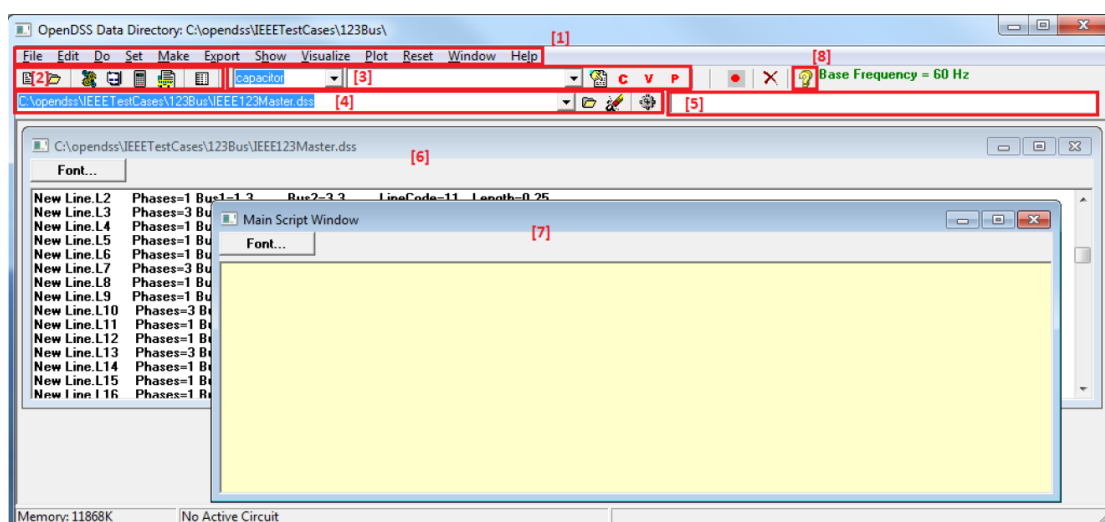
Πίνακας 3.1. Εντολές εξαγωγής δεδομένων<sup>[7]</sup>

## 3.2 Χρήση του γραφικού διαύλου χρήστη (GUI)<sup>[9]</sup>

Το λογισμικό Opendss είναι εφοδιασμένο με έναν γραφικό διάυλο χρήστη (Graphical User Interface) ο οποίος παρέχει ένα δομημένο περιβάλλον εργασίας για την δημιουργία και ανάλυση συστημάτων ενέργειας. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι μία από τις δύο μεθόδους με τις οποίες οι χρήστες μπορούν να επικοινωνούν με την μηχανή λύσεων του Opendss. Η δεύτερη μέθοδος είναι η, ήδη διατυπωμένη, χρήση της διεπαφής COM που αναλύθηκε παραπάνω.

### 3.2.1 Περιβάλλον εργασίας χρήστη

Κατά το άνοιγμα του προγράμματος Opendss, ο χρήστης έρχεται σε επαφή με το παρακάτω περιβάλλον εργασίας:



Εικόνα 3.6.Περιβάλλον εργασίας Opendss<sup>[9]</sup>

Τα πιο σημαντικά σημεία του περιβάλλοντος αυτού περιλαμβάνουν τα εξής:

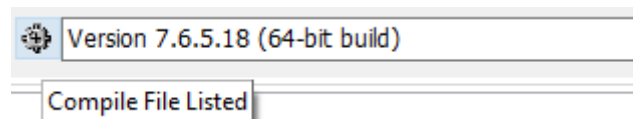
1. Η υποδομή των μενού, τα οποία χειρίζονται τον περισσότερο όγκο λειτουργίας του λογισμικού Opendss. Παρακάτω περιγράφονται μερικά από αυτά:
  - ❖ Το μενού Set, το οποίο επιτρέπει την πρόσδοση μιας παραμέτρου λύσης που μπορεί να τεθεί από την εντολή σεναρίου options.
  - ❖ Το μενού Export, το οποίο επιτρέπει την εξαγωγή ποικίλων αναφορών σε αρχεία τύπου csv.
  - ❖ Το μενού Show, το οποίο περιέχει πολλές από τις ίδιες πληροφορίες των αναφορών του μενού Export, με την μόνη διαφορά ότι τις απεικονίζει απευθείας στον γραφικό διάλογο χρήστη.
  - ❖ Το μενού Visualize, το οποίο παρέχει την γραφική απεικόνιση μιας επιλεγμένης συσκευής μέσου του αντίστοιχου επιλογέα στοιχείων (αντικείμενο 3 της εικόνας 3.6).
  - ❖ Το μενού Plot, το οποίο παρέχει γραφική σχεδίαση του συνολικού συστήματος.
2. Η γραμμή εργαλείων (toolbar), η οποία παρέχει άμεση πρόσβαση στις πιο κοινές εντολές του Opendss όπως είναι οι «Solve», «Summary» και «Do Command».
3. Το πεδίο «εργαλείο στοιχείων» (element tools), το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει το στοιχείο κυκλώματος για το οποίο επιθυμεί να γίνει τροποποίηση ή απεικόνιση του.
4. Τα εργαλεία σεναρίων (Script tools), το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει πιο από τα ανοιγμένα σενάρια, να τρέξει.
5. Η γραμμή αποτελεσμάτων (results bar), η οποία παρέχει μια συνοπτική εκδοχή του παραθύρου αποτελεσμάτων, το οποίο μπορεί να γίνει προσβάσιμο από το μενού Show > Result Form.

6. Το παράθυρο Script Windows, το οποίο βοηθά στην άμεση τροποποίηση πολλών αρχείων τύπου .dss.
7. Το παράθυρο Main Script Window είναι ένα είδος σημειωματάριου για το λογισμικό Opendss. Εκεί ο χρήστης μπορεί να γράψει μικρές εντολές και να τις εκτελέσει μέσω της λειτουργίας «Do Command», όπως περιγράφηκε και στις προηγούμενες παραγράφους. Τα περιεχόμενα του παραθύρου αυτού, διατηρούνται μεταξύ των διαφόρων συνεδριών (sessions) του λογισμικού.
8. Το μενού Help, το οποίο με την ενεργοποίηση του παρέχει σε μορφή δέντρου, όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για τις εντολές σεναρίων του λογισμικού.

### 3.2.2 Θεωρητική Ροή Εργασίας

Σε γενικές γραμμές, ο χρήστης κατά την χρήση του λογισμικού θα πρέπει να προβεί στις ακόλουθες ενέργειες:

1. Καθορισμός του υπό εξέταση κυκλώματος, δημιουργώντας νέες γραμμές μεταφοράς, μετασχηματιστές, φορτία, γεννήτριες κτλ.
  - a. Ρεαλιστικά, ο πιο εύκολος τρόπος για την επίτευξη του στόχου αυτού είναι μέσω της δημιουργίας σεναρίου. Περισσότερες πληροφορίες παρατίθενται στην επόμενη ενότητα.
  - b. Μόλις ολοκληρωθεί η συγγραφή του σεναρίου, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το πλήκτρο Compile File Listed (εικόνα 3.8) για την εκτέλεση του.

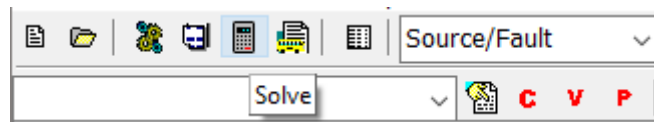


Εικόνα 3.7. Το πλήκτρο Compile File Listed

2. Εγκαθίδρυση των επιλογών κυκλώματος, όπως για παράδειγμα η επιλογή της επίλυσης του (στιγμιότυπη, ημερήσια, αρμονική, κτλ.)
  - a. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω εντολών από το μενού Set. Η βασική μορφή ανάλυσης είναι η στιγμιότυπη, η οποία είναι ανάλογη της παραδοσιακής ροής ισχύος.

3. Επίλυση του προβλήματος ροής ισχύος.

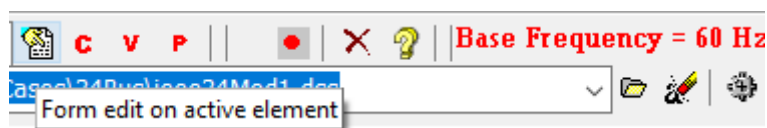
- a. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, θα πρέπει ο χρήστης να βεβαιωθεί ότι έχει δημιουργήσει την λίστα ζυγών καθώς και ότι έχει βρει τις βασικές τάσεις μέσω της επιλογής Do > Calc Voltage Bases.
- b. Κατόπιν, θα πρέπει να κάνει χρήση του πλήκτρου Solve (εικόνα 3.9) στην γραμμή εργαλείων προκειμένου το κύκλωμα να επιλυθεί.



Εικόνα 3.8. Το πλήκτρο επίλυσης κυκλώματος Solve

4. Εκτέλεση ανάλυσης στο λυμένο κύκλωμα. Οι τρόποι με τους οποίους υλοποιείται αυτή η διαδικασία, ποικίλουν από ανάλυση σε ανάλυση, ωστόσο μερικές βασικές κινήσεις περιλαμβάνουν:

- a. Ανάλυση σε συγκεκριμένα στοιχεία του δικτύου όπως σε έναν μετασχηματιστή, φορτίο, παρακλάδι κτλ. Για να γίνει πράξη αυτό, θα πρέπει πρώτα να επιλεγθεί ο ανάλογος τύπος του και κατόπιν το υπό αναζήτηση στοιχείο από την γραμμή εργαλείων. Εν συνέχεια, επιλέγονται τα πλήκτρα C, V ή P για την απεικόνιση των ρευμάτων, τάσεων ή ισχύων αντίστοιχα. Κατόπιν με χρήση του κουμπιού Form edit on active element (εικόνα 3.9) για την τροποποίηση του στοιχείου. Η εικόνα 3.10 αναπαριστά αυτή την απεικόνιση.

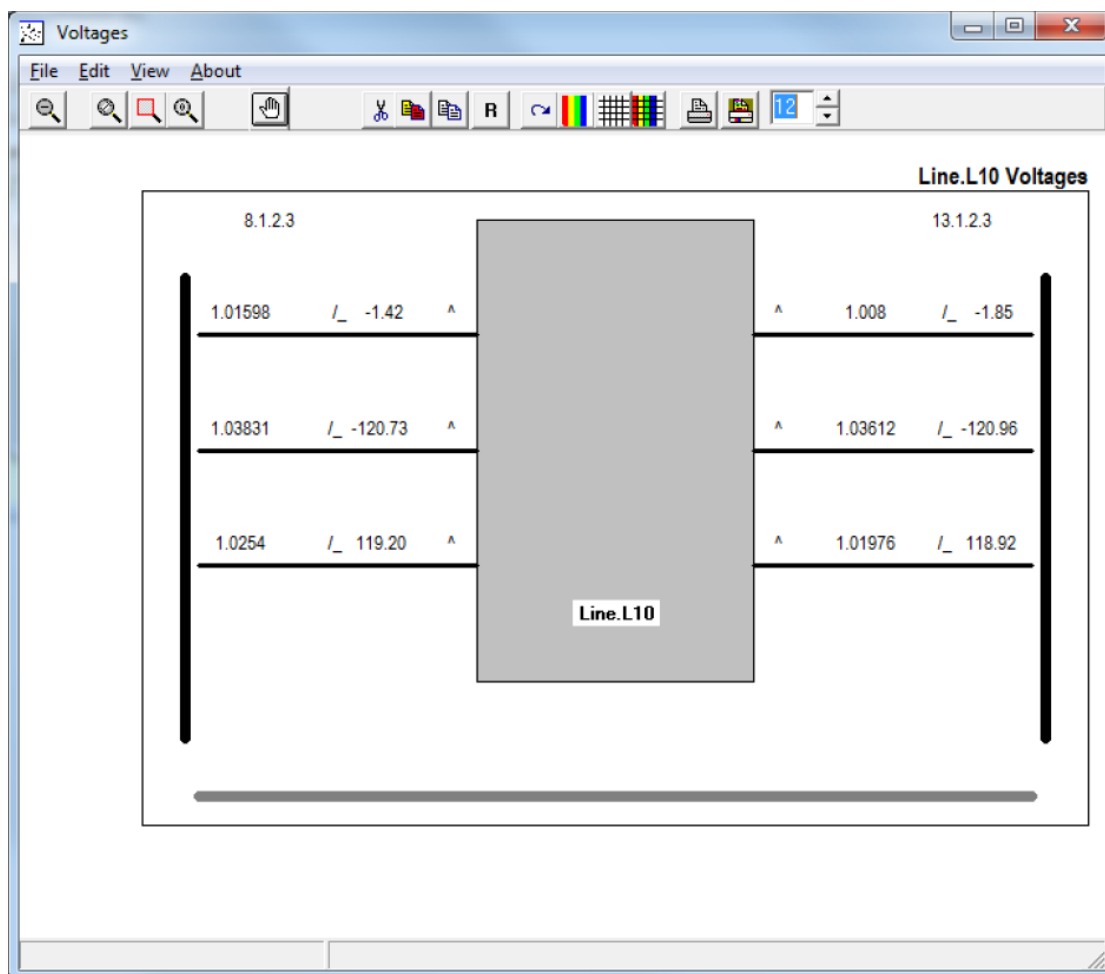


Εικόνα 3.9. Το πλήκτρο τροποποίησης στοιχείων

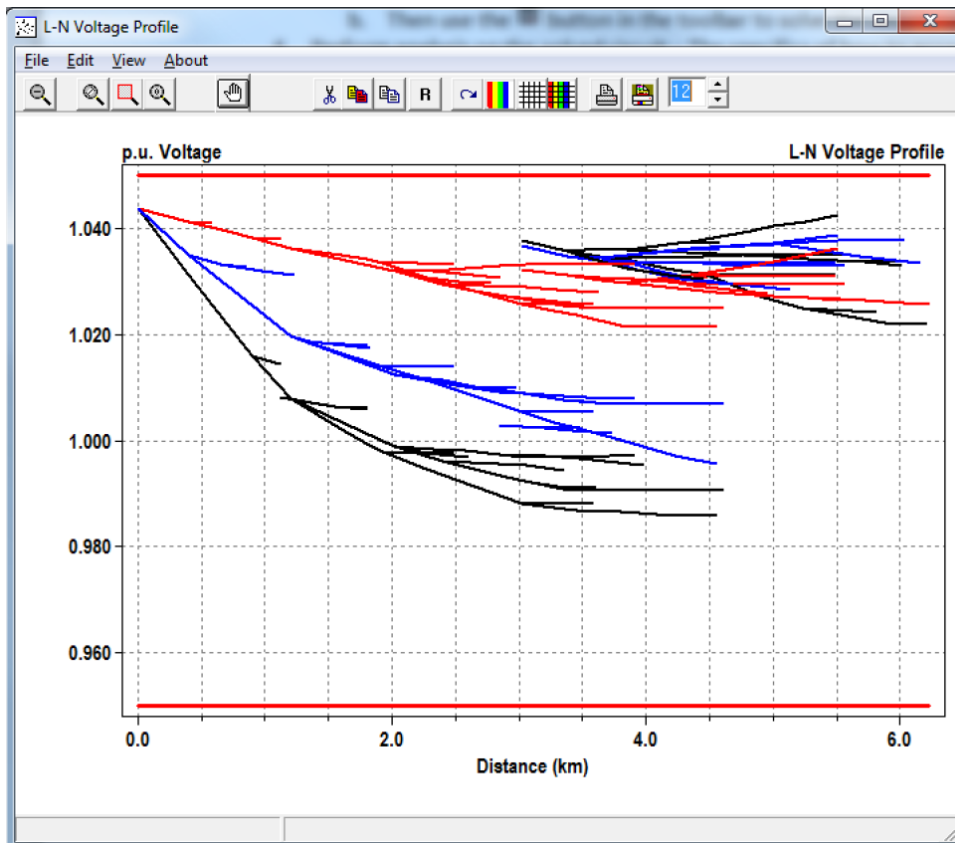
- b. Απεικόνιση του προφιλ τάσεων του συστήματος. Στο σημείο αυτό ο χρήστης θα πρέπει να πληκτρολογήσει την εντολής «plot profile» στο κυρίως παράθυρο σεναρίων (main script) και να την εκτελέσει με την εντολή «Do that command». Μολίς αυτό γίνει, το λογισμικό openss θα δημιουργήσει ένα προφιλ τάσεων και την ανάπτυξη αυτών συναρτήσει της απόστασης (εικόνα 3.11).



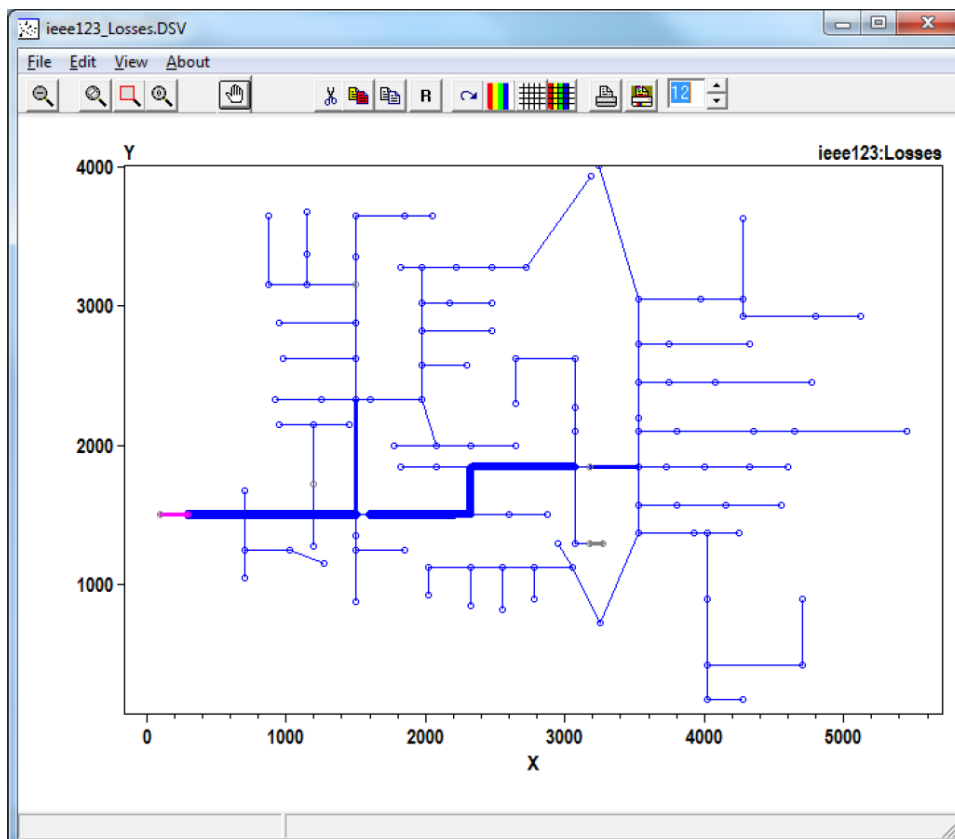
- c. Οπτικοποίηση δεδομένων επι ενός μονογραμμικού σχεδίου. Εάν ο χρήστης παρέχει στο λογισμικό τα δεδομένα τοποθεσίας των ζυγών του υπό κατασκευή συστήματος, μέσω της εντολής buscoords, μπορεί να υπερκαλύψει τα δεδομένα ροής ισχύος πάνω σε έναν χάρτη αυτού. Η διαδικασία υλοποιείται μέσω των εντολών Plot > Circuit Plots > Circuit Plot.
- d. Εξαγωγή δεδομένων και χρήση τους σε τρίτο πρόγραμμα. Όλα τα αποκτηθέντα αποτελέσματα μέσω του opendss μπορούν να εξαχθούν μέσω του μενού export σε αρχεία τύπου csv.



Εικόνα 3.10. Απεικόνιση τάσεων για στοιχείο γραμμής μεταφοράς



Εικόνα 3.11. Προφίλ τάσης κυκλώματος



Εικόνα 3.12. Χάρτης απωλειών συστήματος

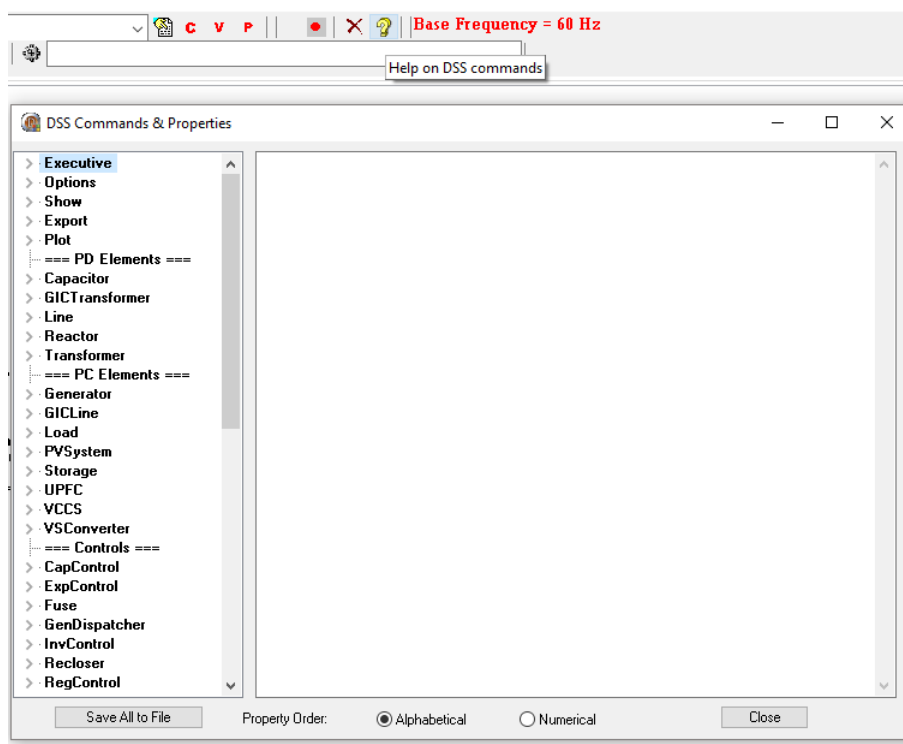
### 3.3 Γλώσσα Σύνταξης Σεναρίων Opends<sup>[9]</sup>

Το λογισμικό DSS είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο που να επιτρέπει την διεξαγωγή ερευνών μέσω γλώσσας κειμένου που εισάγεται στα σενάρια του. Τα κείμενα αυτά, όπως ειπώθηκε παραπάνω, μπορούν να προέλθουν από:

- ❖ Επιλογή και εκτέλεση ενός σεναρίου από το παράθυρο του πίνακα ελέγχου.
- ❖ Την διεπαφή COM (COM Interface).
- ❖ Ένα κανονικό αρχείο κειμένου το οποίο προήλθε από εντολή ανακατεύθυνσης.

Όλες αυτές οι δυνατότητες καθιστούν το πρόγραμμα εξαιρετικά ευέλικτο όχι μόνο για αρχάριους χρήστες αλλά επίσης και γι' αυτούς που εκτελούν πολύπλοκες μελέτες και διαθέτουν την βάση δεδομένων τους σε προγράμματα τρίτων κατασκευαστών.

Η γλώσσα προγραμματισμού του Opends συντάσσεται είτε με πεζά γράμματα είτε με κεφαλαία (case insensitive) μέσω συγκεκριμένων εντολών (commands) και ονομάτων (names) που αναγνωρίζονται από αυτό. Για την καλύτερη διευκόλυνση των χρηστών, το λογισμικό παρέχει το πλήκτρο «Help on DSS Commands» το οποίο περιέχει όλες τις τελευταίες εντολές και ονόματα που αυτό χρησιμοποιεί (εικόνα 3.13).



Εικόνα 3.13. Το μενού βοήθειας εντολών του λογισμικού Opends

### 3.3.1 Σύνταξη Εντολών (Command Syntax)

Πριν γίνει γνωστός ο τρόπος με τον οποίο συντάσσεται μια εντολή, θα πρέπει πρωτίστως να γίνει ένας ορισμός αυτής. Κατά τον όρο «εντολή», λοιπόν, νοείται η ύπαρξη μιας απλής γραμμής σεναρίου η οποία μπορεί να εκτελεσθεί και να δώσει τα αναμενόμενα αποτελέσματα.

Κατά την σύνταξη της, μια εντολή μπορεί έχει την ικανότητα είτε να επιδρά απευθείας σε ένα στοιχείο κυκλώματος είτε όχι. Η σύνταξη της πρώτης κατηγορίας εντολών λαμβάνει την ακόλουθη μορφή.

*CommandVerb ElementClass.Element.Param1=Val1, Param2=Val2*

Αντίστοιχα η σύνταξη εντολής που δεν επιδρά σε στοιχεία του κυκλώματος (όπως οι εντολές των μενού Plot και Export), λαμβάνει την ακόλουθη μορφή.

*CommandVerb Param1=Val1, Param2='Value 2', Param3=(1 2 3)*

Όπου:

- **CommandVerb**: Είναι ο τύπος της εντολής επίδρασης.
- **ElementClass**: Είναι ο τύπος του στοιχείου που εισάγεται
- **Element**: Το όνομα του στοιχείου που καθορίζεται από τον χρήστη ή το έργο που εκείνος υλοποιεί.
- **Param1**: Ο τύπος της πρώτης υποδηλωμένης παραμέτρου που ορίζεται από τον χρήστη. Στο κομμάτι αυτό μπορούν να δηλώνονται οι φάσεις λειτουργίας του στοιχείου, ο ζυγός στον οποίο το στοιχείο είναι συνδεδεμένο, η τάση λειτουργίας του κτλ. Όπως είναι ευκόλως κατανοητό, οι παράμετροι εξαρτώνται και διαφέρουν με βάση το στοιχείο που αναλύεται.
- **Val1**: Η αξία ή τιμή της παραμέτρου 1.

### 3.3.2 Εντολές Επίδρασης (Command Verbs)

Στην παράγραφο αυτή, αναφέρονται συνοπτικά οι πιο συνήθεις εντολές επίδρασης που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην σύνταξη ενός σεναρίου Orpends. Η πλήρης λίστα βρίσκεται στο μενού βοήθειας του λογισμικού (εικόνα 3.13).

- **New:** Δημιουργία νέου στοιχείου κυκλώματος
- **Edit:** Τροποποίηση υπάρχοντος στοιχείου κυκλώματος
- **Set:** Καθορισμός επιλογών επίλυσης
- **Solve:** Εφαρμογή μιας επίλυσης του κυκλώματος
- **Show:** Απεικόνιση αποτελεσμάτων ροής ισχύος σε μορφή κειμένου
- **Export:** Εξαγωγή αποτελεσμάτων ροής ισχύος σε μορφή αρχείου csv
- **Plot:** Εξαγωγή γραφικών αποτελεσμάτων ροής ισχύος

Σημειώνεται πως αν δεν χρησιμοποιηθεί κάποια εντολή επίδρασης, ορίζεται αυτοβούλως από το λογισμικό η εντολή Edit ως η χρησιμοποιημένη κατά την συγκεκριμένη περίπτωση.

### 3.3.3 Ορισμός και Σύνταξη Παραμέτρων

Η σύνταξη των τιμών των παραμέτρων απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή καθότι ευκόλως μπορούν να πραγματοποιηθούν ανεπιθύμητα λάθη. Ειδικά για την περίπτωση που υπάρχουν ζεύγη τιμών, αυτά θα πρέπει να χωρίζονται είτε με κόμμα (,) είτε με απλό κενό με χρήση των πλήκτρων space ή tab. Το στιλιστικό μέρος της σύνταξης μπορεί να περιλαμβάνει τις ακόλουθες επιλογές συμβόλων:

- Διπλοί τονισμοί ("...")
- Μονός τονισμός '...'
- Παρενθέσεις (...)
- Αγκύλες [...]
- Άγκιστρα {...}

Η πρόσβαση στις ιδιότητες ενός τύπου στοιχείου και κατ' επέκταση στις παραμέτρους του (γνωστές επίσης και ως ιδιότητες) παρέχεται με το σύμβολο (.) της τελείας. Όλα τα στοιχεία θα πρέπει να καθορίζονται με βάση το πλήρες τους όνομα και στην ακόλουθη μορφή:

*ElementClass.ElementName*

Αν στην προηγούμενη διατύπωση είναι επιθυμητή η προσθήκη του ονόματος ιδιότητας ή της παραμέτρου τότε η εντολή μετατρέπεται ως ακολούθως,

*ElementClass.ElementName.PropertyName*

Στην περίπτωση πάλι που είναι επιθυμητή η υποδήλωση παραπάνω από μιας παραμέτρων για το ίδιο στοιχείο και στην ίδια γραμμή εντολών, τότε δεν απαιτείται ο πλήρης προσδιορισμός των τελευταίων. Παράδειγμα αυτής της διατύπωσης αποτελεί η παρακάτω γραμμή εντολής,

*Line.L1.Bus1=1, Bus2=5*

Εκτός από τον καθορισμό των παραμέτρων σε ζεύγη, οι τελευταίες μπορούν να προσδιοριστούν και στην προεπιλεγμένη σειρά τους. Η διαδικασία αυτή υλοποιείται όταν υπάρχει καθορισμός του στοιχείου ή της ιδιότητας του αντικειμένου ως την πρώτη που λαμβάνεται υπόψιν. Ο προσδιορισμός κατ' εντολή και κατά ζεύγη τιμών μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάμεικτα την ίδια γραμμή εντολών ως ακολούθως,

*New EnergyMeter.Feeder Line.L115, terminal=1, enabled=false*

Κατά τον καθορισμό μιας νέας συσκευής, οι περισσότερες από τις παραμέτρους της διαθέτουν προκαθορισμένες, λογικού χαρακτήρα, τιμές. Το λογισμικό DSS διαθέτει το εύρος τιμών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο μενού της βοήθειας εντολών. Εξαιρέση στο κομμάτι αυτό αποτελούν οι κλάσεις στοιχείων που εμπεριέχουν τις ακόλουθες ιδιότητες: element, object, terminal, bus1 ή bus2. Οι τελευταίες δεν διαθέτουν προκαθορισμένες τιμές και πρέπει να προσδιοριστούν άμεσα.

### 3.3.4 Εισαγωγή Σχολίων στα Σενάρια DSS

Για τις περιπτώσεις που απαιτείται η εισαγωγή σχολίων στο υπό κατασκευή σενάριο, θα πρέπει να γίνει χρήση είτε του συμβόλου της διπλής καθέτου // είτε αυτού του θαυμαστικού ! όπως διατυπώνεται παρακάτω.

*// Edit the voltage regulator control  
RegControl.Ctrl1. maxtapchange=1 ! Limit to one tap change*

Αντιστοίχως για εισαγωγή πολλαπλών σχολίων εισάγονται τα /\* ... \*/ ως ακολούθως

```

/* comment out the next two monitors
New Monitor.Source-PQ Vsource.source 1 mode=1 ppolar=no
New Monitor.source-VI Vsource.source 1 mode=0 VIpolar=Yes
*/

```

Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι το σύμβολο /\* τοποθετείται στην πρώτη στήλη της γραμμής.

### 3.3.5 Εντολές Πολλαπλών Γραμμών

Εάν μια εντολή επίδρασης απαιτείται να επεκταθεί σε περισσότερες από μια γραμμές, τότε χρησιμοποιείται το σύμβολο της περισπωμένης ~ το οποίο λειτουργεί σαν ψευδώνυμο της εντολής More. Παράδειγμα αποτελεί η παρακάτω εντολή.

```

New Line.L1 Bus1=1, Bus2=2, Length=1
~ units=mi, geometry=3PH_3/0_Horiz

```

Ιδιαίτερη μνεία χρειάζεται να δοθεί στο γεγονός ότι τεχνικά ο άνωθεν κώδικας είναι δύο ξεχωριστές εντολές. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι όλες οι προκαθορισμένες παράμετροι πρέπει να ορισθούν κατά την σύνταξη της κλάσης του στοιχείου στην πρώτη γραμμή. Σε περίπτωση που η ως άνωθεν παρατήρηση δεν εφαρμοσθεί, το λογισμικό αναπαράγει το ακόλουθο σφάλμα.

```

// This will error because Bus1 and Bus2 are not set in the first line
New Line.L1 Length=1, units=mi
~ Bus1=1, Bus2=2, geometry=3PH_3/0_Horiz

```

### 3.3.6 Εισαγωγή Εξωτερικών Αρχείων

Το λογισμικό Opendss προσφέρει δύο τρόπους για την συμπερίληψη σεναρίων από εξωτερικά αρχεία σε υπό δημιουργία σενάριο.

- Ο πρώτος τρόπος είναι μέσω της εντολής compile, η οποία εισάγει ένα δεύτερο Opendss σενάριο στην τοποθεσία του αρχικού αρχείου σεναρίου. Η εντολή αυτή αλλάζει το προκαθορισμένη διεύθυνση αποθήκευσης σ' αυτήν που βρίσκεται το εξωτερικό αρχείο.
- Ο δεύτερος τρόπος είναι μέσω της εντολής redirect, η οποία πράττει ακριβώς την ίδια διαδικασία με την προηγούμενη εντολή compile. Η σημαντική διαφορά

όμως έχει να κάνει με το γεγονός ότι αυτή διατηρεί την διεύθυνση αποθήκευσης αμετάκλητη σ' αυτήν του αρχικού σεναρίου.

Κατά την εισαγωγή ειδικών ιδιοτήτων, όπως η ιδιότητα **mult**, που μπορούν να βρεθούν σε κλάσεις όπως είναι η κλάση **LoadShapes**, ενδέχεται να απαιτηθεί η εισαγωγή μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων γεγονός που καθιστούν την όλη διαδικασία μη βολική κατά την συγγραφή ενός σεναρίου. Λύση σ' αυτόν τον σκόπελο αποτελεί η δυνατότητα File που χρησιμοποιείται σαν διάυλος επικοινωνίας μεταξύ του λογισμικού Opendss και των δεδομένων ενός εξωτερικού αρχείου. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την ανάγνωση των περιεχομένων και των τιμών του εξωτερικού αρχείου και την εισαγωγή αυτών στο στοιχείο του Opendss που εξετάζεται. Παράδειγμα των λεγόμενων αυτών αποτελεί η παρακάτω εντολή.

*LoadShape.LS1 mult=(File='Example.csv')*

### 3.3.7 Πρακτική Ροή Εργασίας

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, όλες οι διεργασίες στο Opendss υλοποιούνται μέσω της γλώσσας σεναρίων. Η ροή των εργασιών που πρέπει να ακολουθηθεί επί τω πρακτέο είναι ίδια με αυτή που αναλύθηκε στην παράγραφο 3.2.2. και συγκεκριμένα ακολουθεί:

1. Τον καθορισμό του κυκλώματος και των στοιχείων αυτού όπως είναι οι γεννήτριες, μετασχηματιστές, φορτία, γραμμές μεταφοράς κτλ.
  - a. Γίνεται χρήση πάντοτε της εντολής clear με σκοπό τον καθαρισμό των οποιοδήποτε στοιχείων έχουν απομείνει από προηγούμενες συνεδρίες.
  - b. Χρήση της εντολής New για τον καθορισμό του νέου κυκλώματος.
  - c. Χρήση της εντολής New για κάθε νέο στοιχείο που εντάσσεται στο υπό δημιουργία κύκλωμα.
2. Στήσιμο των επιλογών του κυκλώματος όπως για παράδειγμα η επιλογή λύσης αυτού (Στιγμιότυπη, ημερήσια, αρμονική κτλ).
  - a. Χρήση της εντολής Set για τον καθορισμό των τιμών των επιλογών του κυκλώματος.



3. Επίλυση του προβλήματος ροής ισχύος του κυκλώματος.
  - a. Πρώτη ενέργεια προς επίτευξη αυτού του στόχου είναι η διασφάλιση της δημιουργίας λίστας των ζυγών του κυκλώματος. Εν συνεχεία, η ανεύρεση των βάσεων τάσης με χρήση της εντολής `CalcVoltageBases`.
  - b. Χρήση της εντολής `Solve` για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης.
4. Εφαρμογή ανάλυσης στο λυμένο κύκλωμα. Όπως ειπώθηκε στην παράγραφο 3.2.2 η διαδικασία αυτή ποικίλει ανά περίπτωση.
  - a. Χρήση της εντολής `Visualize` για τον έλεγχο ενός μετασχηματιστή, ενός φορτίου ή οποιοδήποτε άλλου μέρους του κυκλώματος.
  - b. Χρήση της εντολής `plot` για την απεικόνιση του προφίλ τάσης του συστήματος.
  - c. Χρήση των εντολών `Buscoords` και `Plot` για την απεικόνιση δεδομένων επί ενός μονογραμμικού σχεδίου. Η εντολή `Buscoords` θέτει στο λογισμικό συντεταγμένες οι οποίες βοηθούν στην απεικόνιση της τοπολογίας του δικτύου.
  - d. Εξαγωγή δεδομένων για περαιτέρω ανάλυση από λογισμικά τρίτων με χρήση της εντολής `Export`.

## 4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί την ραχοκοκαλιά της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς σ' αυτό θα πραγματοποιηθούν παραδείγματα χρήσης του λογισμικού OpenDSS καθώς και μοντελοποιήσεις κυκλωμάτων έξυπνων δικτύων. Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η πρόσδοση στοιχείων ως προς την απόδοση και την χρησιμότητα του λογισμικού OpenDSS που θα διαδραματίσει πρωτεύων ρόλο στην επίτευξη των στόχων περί των έξυπνων δικτύων. Η ανάπτυξη του πραγματοποιήθηκε κυρίως από τις βιβλιογραφικές αναφορές [16] και [11] (εικόνα 4.1).

#### 4.1 Μοντελοποίηση Κυκλώματος Σ.Η.Ε. [11]

Στην παρούσα ενότητα θα πραγματοποιηθεί επεξήγηση στην πράξη τα δεδομένα που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους με την χρήση ενός απλού ηλεκτρικού κυκλώματος.

##### 4.1.1 Σχεδίαση Κυκλώματος

Το πρώτο μέρος για την χρήση του λογισμικού OpenDSS αποτελεί η επιλογή και η σχεδίαση του υπό εξέταση κυκλώματος. Για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η έκδοση η οποία θα χρησιμοποιηθεί είναι η 7.6.5.18 (64-bit) η οποία υλοποιήθηκε σε περιβάλλον Windows 10 έκδοσης 1607. Η εικόνα 4.2 απεικονίζει τα στοιχεία έκδοσης του λογισμικού OpenDSS του οποίου έγινε χρήση. Οι επόμενες παράγραφοι θα απεικονίσουν βήμα προς βήμα την κατασκευή του σεναρίου, ενώ θα πραγματοποιηθεί χρήση εικόνων τύπου print screen για περαιτέρω ανάλυση.

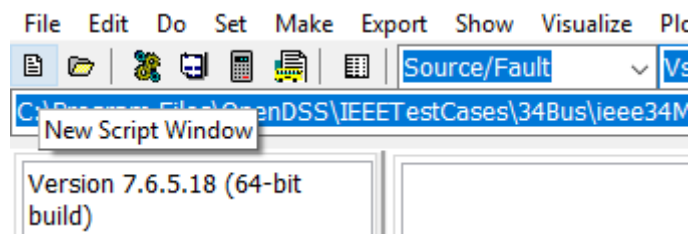


Εικόνα 4.1. Στοιχεία βιβλιογραφικής αναφοράς παραδείγματος



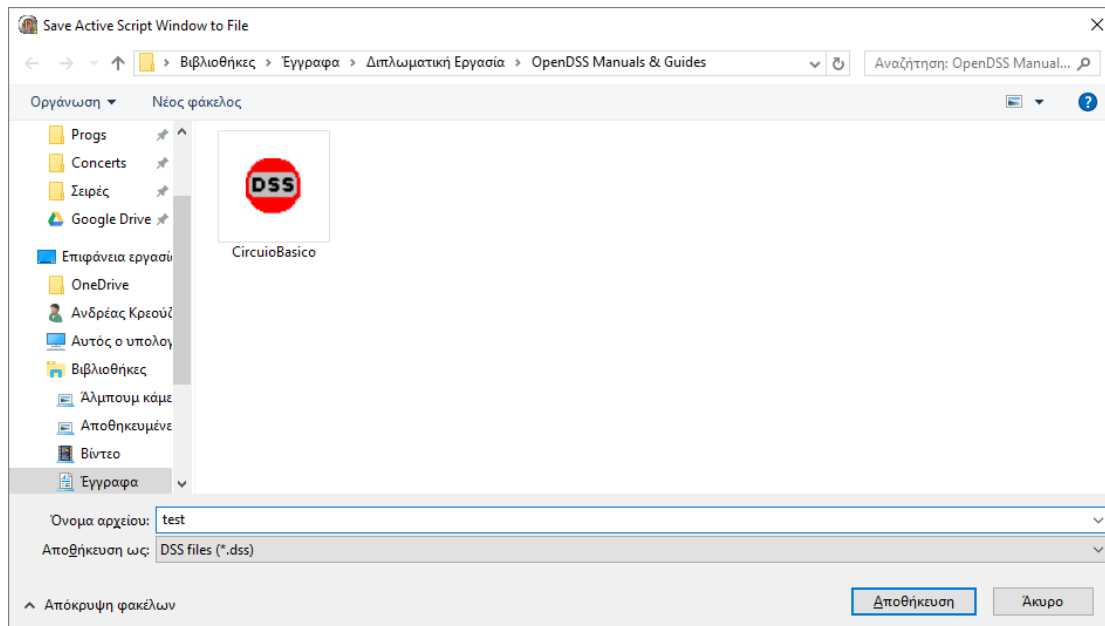
Εικόνα 4.2. Η έκδοση OpenDSS που χρησιμοποιήθηκε για την διπλωματική εργασία

Το πρώτο βήμα αποτελεί η δημιουργία του σεναρίου, η οποία γίνεται με χρήση του πλήκτρου new script window (εικόνα 4.3) και η αποθήκευση του μέσω του μενού File και της επιλογής Save.



Εικόνα 4.3. Δημιουργία νέου σεναρίου

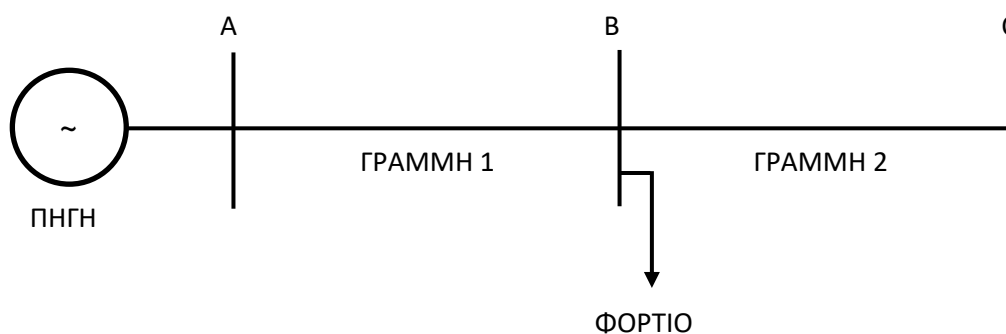
Κατά την στιγμή της αποθήκευσης, το λογισμικό μεταφέρει τον χρήστη στην επιλογή της επιθυμητής διεύθυνσης που εκείνος θέλει το σενάριο να αποθηκευτεί όπως επίσης και την επιλογή του ονόματος αρχείου του σεναρίου. Για τους σκοπούς της ενότητας αυτής, το σενάριο θα ονομασθεί test (εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4. Αποθήκευση νέου σεναρίου

Προαιρετικά μπορεί να γίνει εισαγωγή ως σχόλιο ο τίτλος του σεναρίου με χρήση της διπλής καθέτου, όπως ειπώθηκε στην παράγραφο 3.3.4.

Το πρώτο και σημαντικότερο βήμα στην υλοποίηση ενός σεναρίου dss είναι η εισαγωγή της εντολής clear όπως ειπώθηκε προηγουμένως και εν συνεχεία ο καθορισμός του κυκλώματος. Το κύκλωμα λοιπόν που θα εξομοιωθεί είναι αυτό της εικόνας 4.5.



Εικόνα 4.5. Ηλεκτρικό κύκλωμα προς υλοποίηση

Το πρώτο στοιχείο το οποίο καθορίζεται είναι η πηγή, η οποία προσομοιώνεται στο λογισμικό με την παρακάτω εντολή.

***New Circuit.Source phases=3 basekn=0.22 bus1=A***

Στην εντολή αυτή γίνεται χρήση της εντολής επίδρασης new για την δημιουργία ενός νέου στοιχείου και κατόπιν δίνεται το όνομα του στοιχείου, για την εξεταζόμενη

περίπτωση source, οι φάσεις στις οποίες το συγκεκριμένο στοιχείο λειτουργεί, η τάση λειτουργίας και το όνομα του ζυγού στον οποίο συνδέεται.

Το επόμενο στοιχείο είναι η δημιουργία των γραμμών μεταφοράς. Για τον καθορισμό των στοιχείων αυτών γίνεται χρήση της εντολής LineCode η οποία αποθηκεύει όλες τις ηλεκτρικές πληροφορίες για τις γραμμές μεταφοράς. Ο καθορισμός, λοιπόν, γίνεται με την ακόλουθη γραμμή εντολής.

***New LineCode.Arranjo nphases=3 basefreq=60 units=km***

Όπως και πριν, εισάγεται η εντολή επίδρασης new και εν συνεχεία η κλάση στοιχείου LineCode, το όνομα των γραμμών μεταφοράς line, ο αριθμός των φάσεων λειτουργίας, ο καθορισμός της συχνότητας λειτουργίας και τέλος ο καθορισμός των μονάδων μέτρησης μήκους της γραμμής. Από την εντολή αυτή εξάγονται οι μήτρες της αντίστασης, της χωρητικότητας και της επαγωγικότητας των γραμμών μεταφοράς.

Ίδια διαδικασία τηρείται για τον καθορισμό των γραμμών μεταφοράς με τις ακόλουθες εντολές να λαμβάνουν χώρα.

***New Line.Linha1 Phases=3 Bus1=A Bus2=B Length=0.2 units=km  
linecode=Arranjo***

***New Line.Linha2 Phases=3 Bus1=B Bus2=C Length=0.15 units=km  
linecode=Arranjo***

Σημαντική λεπτομέρεια αποτελεί το γεγονός ότι στο τέλος των εντολών προστίθεται η εντολή linecode. Αυτό συμβαίνει έτσι ώστε να γίνει συμψηφισμός των ηλεκτρικών πληροφοριών των δύο γραμμών μεταφοράς με τα στοιχεία που υποδηλώθηκαν στην ως άνω εντολή.

Το τελευταίο στοιχείο που πρέπει να καθοριστεί είναι το φορτίο το οποίο απεικονίζεται με την ακόλουθη εντολή,

***New Load.Load1 phases=3 conn=weye Bus1=B kw=25 pf=0.92 kv=0.22***

Το συγκεκριμένο φορτίο είναι τριφασικό σε συνδεσμολογία αστέρα τριγώνου (ο όρος weye), συνδεδεμένο στον ζυγό B με ενεργό ισχύ 25kW, με συντελεστή ισχύος ίσο με 0,92 και ονομαστικής τάσης γραμμή προς γραμμή ίση με 0,22kV.

Για τους σκοπούς του παραδείγματος, θα ήταν επιθυμητό τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να δοθούν στο ανά μονάδα σύστημα (per unit).

Αυτό πραγματοποιείται με την εισαγωγή ακόμη δύο εντολών,

```
Set voltagebases = [0.22]
```

```
calcvoltagebases
```

Στην πρώτη εντολή πρέπει να γίνει καθορισμός της τάσης βάσης του συστήματος, στην περίπτωση που εξετάζεται είναι ίση με 0,22kV. Στο τέλος αυτών των βημάτων, το σενάριο λαμβάνει την ακόλουθη μορφή.

```
// -----//  
// -----Circuito Basico-----//  
// -----//  
  
Clear  
  
// Equivalente de Thevenin  
New Circuit.Fonte phases=3 basekv=0.220 bus1=A  
  
// LineCode  
  
New Linecode.Arranjo nphases=3 basefreq=60 units=km  
~ Rmatrix=[0.19 |0.06 0.19 |0.06 0.06 0.19] !ohm/km  
~ Xmatrix=[0.86 |0.49 0.86 |0.44 0.49 0.86] !ohm/km  
~ Cmatrix=[9.34 |-2.21 9.93 |-0.99 -2.24 9.27] !nF/km  
  
New Line.Linha1 Phases=3 Bus1=A Bus2=B Length=0.2 units=km linecode=Arranjo  
New Line.Linha2 Phases=3 Bus1=B Bus2=C Length=0.15 units=km linecode=Arranjo  
  
New Load.Carga phases=3 conn=weye Bus1=B kw=25 pf=0.92 kv=0.22  
  
Set voltagebases = [0.22]  
calcvoltagebases
```

Εικόνα 4.6. Μορφή σεναρίου πρώτου βήματος επίλυσης

#### 4.1.2 Στιγμιότυπη Επίλυση Κυκλώματος

Το δεύτερο μέρος του παραδείγματος, περιλαμβάνει την επίλυση του με χρήση της στιγμιότυπης μεθόδου και η εξαγωγή των αναμενόμενων αποτελεσμάτων. Για να πραγματοποιηθεί αυτό εισάγονται οι ακόλουθες εντολές.

```
Set mode = snapshot
```

```
Solve
```

Εν συνεχεία επιλέγονται όλες οι γραμμές του σεναρίου και με χρήση του δεξιού πλήκτρου του ποντικιού, επιλέγεται η εντολή Do Selected. Η εικόνα 4.7 δείχνει ακριβώς την διαδικασία αυτή. Εν συνεχεία γίνεται χρήση του μενού Show και της επιλογής Voltages LN Nodes. Η επιλογή αυτή θα δημιουργήσει ένα αρχείο κειμένου

μορφής txt το οποίο παρέχει χρήσιμες πληροφορίες όπως οι τάσεις γραμμής προς γη και γραμμής προς γραμμή σε βολτ καθώς και στο ανά μονάδα σύστημα.

```
// -----//
// Name: Paulo Radatz
// e-mail: paulo.radatz@gmail.com
// -----//

// -----//
// -----Circuito Basico-----//
// -----//

Clear

// Equivalente de Thevenin
New Circuit.Fonte phases=3 basekv=0.220 bus1=A

// LineCode
New Linecode.Arranjo nphases=3 basefreq=60 units=km
~ Rmatrix=[0.19 0.06 0.19 0.06 0.06 0.19] !ohm/km
~ Xmatrix=[0.86 0.49 0.86 0.44 0.49 0.86] !ohm/km
~ Cmatrix=[9.34 1-2.21 9.93 1-0.99 -2.24 9.27] !nF/km

New Line.Linha1 Phases=3 Bus1=A Bus2=B Length=0.2 units=km linecode=Arranjo
New Line.Linha2 Phases=3 Bus1=B Bus2=C Length=0.15 units=km linecode=Arranjo

New Load.Carga phases=3 conn=weye Bus1=B kw=25 pf=0.92 kv=0.22

Set voltagebases = [0.22]
calc voltagebases

set mode = snapshot
solve
```

Εικόνα 4.7. Εκτέλεση επίλυσης σεναρίου

Το αρχείο αυτό προβάλλεται αμέσως στον χρήστη μόλις ο τελευταίος επιλέξει την εντολή Voltage LN Nodes και έχει την μορφή της εικόνας 4.8.

Bus	Node	VLN (kV)	Angle	pu	Base kV	Node-Node	VLL (kV)	Angle	pu		
A	1	0.12702	/	0.0	0.99999	0.220	1-2	0.22	/	30.0	0.99999
	2	0.12702	/	-120.0	0.99999	0.220	2-3	0.22	/	-90.0	0.99999
	3	0.12702	/	120.0	0.99999	0.220	3-1	0.22	/	150.0	0.99999
B	1	0.12223	/	-2.0	0.96234	0.220	1-2	0.21241	/	28.2	0.96552
	2	0.12314	/	-121.9	0.96946	0.220	2-3	0.21379	/	-92.0	0.97179
	3	0.12346	/	117.9	0.97199	0.220	3-1	0.21263	/	147.8	0.96648
C	1	0.12223	/	-2.0	0.96234	0.220	1-2	0.21241	/	28.2	0.96552
	2	0.12314	/	-121.9	0.96946	0.220	2-3	0.21379	/	-92.0	0.97179
	3	0.12346	/	117.9	0.97199	0.220	3-1	0.21263	/	147.8	0.96648

Εικόνα 4.8. Αρχείο τάσεων κυκλώματος σε βολτ και στο ανά μονάδα σύστημα

Μία ακόμη χρήσιμη επιλογή είναι αυτή της Powers KVA Elem η οποία βρίσκεται στο μενού Show και στην επιλογή Powers. Η τελευταία εξάγει το αρχείο της εικόνας 4.9 και σ' αυτό απεικονίζεται η ισχύς που ρέει από την πηγή και η ισχύς που καταναλώνεται από το φορτίο.

CIRCUIT ELEMENT POWER FLOW						
(Power Flow into element from indicated Bus)						
Power Delivery Elements						
Bus Phase	kW	+j	kvar	kVA	PF	
ELEMENT = "Vsource.SOURCE"						
A 1	-8.5	+j	-4.0	9.4	0.9057	
A 2	-8.5	+j	-3.9	9.3	0.9063	
A 3	-8.4	+j	-4.0	9.3	0.9047	
TERMINAL TOTAL	-25.4	+j	-11.9	28.1	0.9056	
A 0	0.0	+j	0.0	0.0	1.0000	
A 0	0.0	+j	0.0	0.0	1.0000	
TERMINAL TOTAL	0.0	+j	0.0	0.0	1.0000	
ELEMENT = "Line.LINHA1"						
A 1	8.5	+j	4.0	9.4	0.9057	
A 2	8.5	+j	3.9	9.3	0.9063	
A 3	8.4	+j	4.0	9.3	0.9047	
TERMINAL TOTAL	25.4	+j	11.9	28.1	0.9056	
B 1	-8.3	+j	-3.5	9.1	0.9200	
B 2	-8.3	+j	-3.6	9.1	0.9200	
B 3	-8.3	+j	-3.5	9.1	0.9200	
TERMINAL TOTAL	-25.0	+j	-10.6	27.2	0.9200	
ELEMENT = "Line.LINHA2"						
B 1	-0.0	+j	-0.0	0.0	0.0966	
B 2	-0.0	+j	-0.0	0.0	0.0032	
B 3	0.0	+j	-0.0	0.0	-0.0988	
TERMINAL TOTAL	0.0	+j	-0.0	0.0	-0.0000	
C 1	-0.0	+j	0.0	0.0	-0.4842	
C 2	-0.0	+j	-0.0	0.0	0.9108	
C 3	0.0	+j	-0.0	0.0	-0.4672	
TERMINAL TOTAL	-0.0	+j	0.0	0.0	-1.0000	

Εικόνα 4.9. Εξαγωγή ροών ισχύος κυκλώματος

Το σημαντικό κομμάτι αυτής παραγράφου έγκειται στο γεγονός ότι οι επιλογές των μενού Show, Export και Visualize δίνουν τα αποτελέσματα για ένα και μόνο σημείο στον χρόνο και αυτό γιατί πραγματοποιήθηκε χρήση της στιγμιότυπης μεθόδου. Επιπλέον αξίζει να αναφερθεί ότι το λογισμικό Openss χρησιμοποιεί την στιγμιότυπη επίλυση από προεπιλογή (default setting) παρέχοντας την δυνατότητα να γίνει παράλειψη της γραμμής set mode στο σενάριο.

### 4.1.3 Η Εντολή LoadShape

Στην παράγραφο αυτή πραγματοποιείται επίλυση του κυκλώματος με χρήση της ημερήσιας κατανομής. Η επίλυση υλοποιείται μέσω της εντολής loadshape κατά την οποία ο χρήστης μπορεί να ορίσει τα χρονικά διαστήματα εντός μια ημέρας κατά τα οποία θα λαμβάνονται τα απαραίτητα αποτελέσματα. Η εντολή, λοιπόν, που θα χρησιμοποιηθεί είναι η ακόλουθη και τοποθετείται πριν από την εντολή σύνταξης των στοιχείων του φορτίου.

*//LoadShapes*

*New LoadShape.Week npts=24 interval=1*



Όπου npts είναι ο αριθμός των σημείων συλλογής δεδομένων και interval το διάστημα μεταξύ αυτών των σημείων. Για τους σκοπούς του παραδείγματος το διάστημα ορίζεται στην 1 ώρα. Εν συνεχεία θα πρέπει να ορισθούν οι 24 τιμές των προαναφερθέντων σημείων που θα καθορίσουν την χαρακτηριστική ημερήσια καμπύλη φορτίου. Αυτό πραγματοποιείται με δύο τρόπους.

#### **4.1.3.1 Χειροκίνητη Εισαγωγή Τιμών (Ιδιότητα Mult)**

Ο πρώτος τρόπος καθορισμού των 24 τιμών είναι με χρήση της ιδιότητας mult. Συγκεκριμένα η εντολή η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την ως άνω λύση έχει ακόλουθη μορφή,

***~ mult=(0.69 0.50 0.44 0.41 0.55 0.85 1.01 0.80 0.89 0.91 1.02 1.03 1.11 0.98 0.94 0.94 1.02 1.26 1.51 1.59 1.75 1.50 1.29 0.89)***

Εν συνεχεία μπορεί να γίνει εκτέλεση του σεναρίου μέχρι και το σημείο εισαγωγής των τιμών αυτών. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη για την εξαγωγή της ημερησίας καμπύλης φορτίου και υλοποιείται ακολουθώντας τα εξής βήματα:

1. Επιλογή του σεναρίου από την εντολή Clear έως και την εντολή LoadShapes με χρήση του ποντικιού.
2. Χρήση του δεξιού πλήκτρου και εκτέλεση αυτού με χρήση της επιλογής Do Selected.
3. Χρήση των επιλογών General, Loadshape και Semana στα παράθυρα επιλογής εργαλείων στοιχείων του λογισμικού (Εικόνα 3.6, πεδίο 3).
4. Χρήση του μενού Plot και της επιλογής Loadshapes από αυτό για την εξαγωγή της καμπύλης.

Ακολουθώντας λοιπόν την διαδικασία αυτή μέχρι και το βήμα 3, το σενάριο θα πρέπει να έχει λάβει την μορφή της εικόνας 4.10. Πραγματοποιώντας και το τελευταίο βήμα 4, το λογισμικό Opendss θα εξάγει την χαρακτηριστική ημερήσια καμπύλη της εικόνας 4.11.

```

General LoadShape SEMANA
Εργασία\OpenDSS Manuals & Guides\CircuitoBasico.dss
C:\Π.Μ.Σ. Διαχείριση & Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων

// -----//
// Name: Paulo Radatz
// e-mail: paulo.radatz@gmail.com
// -----//

// -----//
// -----Circuito Basico-----//
// -----//

Clear

// Equivalente de Thevenin
New Circuit.Fonte phases=3 basekv=0.220 bus1=A

// LineCode

New Linecode.Arranjo nphases=3 basefreq=60 units=km
~ Rmatrix=[0.19 0.06 0.19 0.06 0.06 0.19] lohm/km
~ Xmatrix=[0.86 0.49 0.86 0.44 0.49 0.86] lohm/km
~ Cmatrix=[9.34 -2.21 9.93 -0.99 -2.24 9.27] lnF/km

New Line.Linha1 Phases=3 Bus1=A Bus2=B Length=0.2 units=km linecode=Arranjo
New Line.Linha2 Phases=3 Bus1=B Bus2=C Length=0.15 units=km linecode=Arranjo

New Loadshape.Semana npts=24 interval=1
~ mult=[0.69 0.50 0.44 0.41 0.55 0.85 1.01 0.80 0.89 0.91 1.02 1.03 1.11 0.98 0.94 0.94 1.02 1.26 1.51 1.59 1.75 1.50 1.29 0.89]

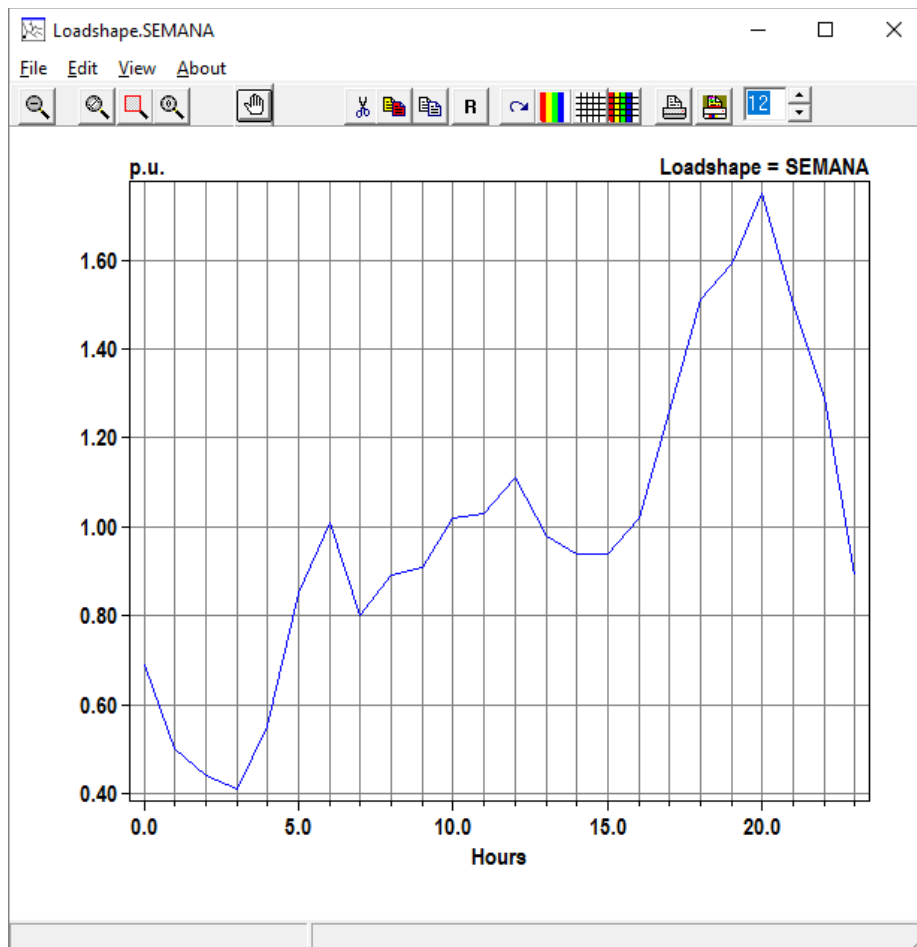
New Load.Carga phases=3 conn=wye Bus1=B kw=25 pf=0.92 kv=0.22

Set voltagebases = [0.22]
calcvoltagebases

set mode = snapshot
solve

```

Εικόνα 4.10. Μορφή σεναρίου με την ιδιότητα mult



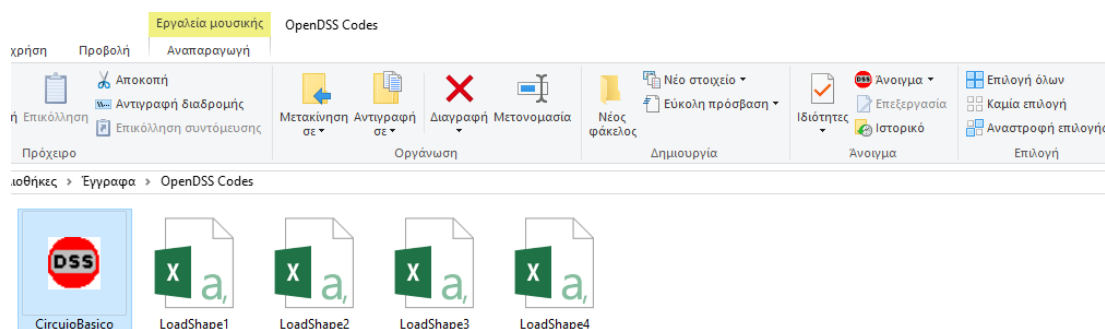
Εικόνα 4.11. Χαρακτηριστική ημερήσια καμπύλη φορτίου

#### 4.1.3.2 Αυτόματη Εισαγωγή Τιμών από Αρχείο Excel Μίας Στήλης

Ο δεύτερος τρόπος καθορισμού των 24 τιμών είναι με χρήση ενός εξωτερικού αρχείου κατά προτίμηση στην μορφή csv. Ο τρόπος αυτός ενδείκνυται για τις περιπτώσεις όπου είναι επιθυμητή η καλύτερη μορφή του κώδικα του σεναρίου. Ο προσδιορισμός αυτός πρέπει να γίνει με χρήση των ακόλουθων εντολών,

```
New Loadshape.FimSemana npts=24 interval=1  
~ mult=(file=LoadShape1.csv)
```

Όπου FimSemana το όνομα της νέας εντολής loadshape, npts είναι ο αριθμός των σημείων συλλογής δεδομένων και interval το διάστημα μεταξύ αυτών των σημείων. Εν συνεχεία χρησιμοποιείται εκ νέου η ιδιότητα mult αλλά αυτή τη φορά με την συμπερίληψη του εξωτερικού αρχείου δεδομένων, το οποίο έχει ονομασθεί loadshape1 για τους σκοπούς του παραδείγματος. Μεγάλη προσοχή θα πρέπει ωστόσο να δοθεί στο γεγονός ότι το εξωτερικό αρχείο πρέπει να βρίσκεται στην ίδια διεύθυνση αποθήκευσης με το αρχείο σεναρίου dss (Εικόνα 4.12)<sup>1</sup>.



Εικόνα 4.12. Διεύθυνση αποθήκευσης αρχείου dss & csv

Το συγκεκριμένο αρχείο περιέχει σε μια στήλη τις 24 τιμές που απαιτούνται για την πραγματοποίηση του σεναρίου με κάθε μια τιμή από αυτές να αντιστοιχεί στις 24 ώρες μιας μέρας. Με εκτέλεση, μονάχα των εντολών που διατυπώθηκαν λίγο πριν (χρήση της επιλογής Do Selected) και με χρήση των επιλογών General, Loadshape και FimSemana από τα παράθυρα επιλογής εργαλείων στοιχείων του λογισμικού, γίνεται εκ νέου εξαγωγή της χαρακτηριστικής ημερήσιας καμπύλης φορτίου (Εικόνα 4.11)

<sup>1</sup> Η πλήρης διεύθυνση αποθήκευσης του σεναρίου απεικονίζεται στην γραμμή διεύθυνσης εντός του λογισμικού ακριβώς πάνω από το πλαίσιο συγγραφής του κώδικα. Αν το εξωτερικό αρχείο δεν είναι αποθηκευμένο στην αναγραφόμενη διεύθυνση του λογισμικού, τότε το τελευταίο εξάγει σφάλμα και δεν είναι δυνατή η εκτέλεση του.

μέσω του μενού Plot και της επιλογής Loadshapes απ' αυτό. Στην περίπτωση χρήσης αυτής της μεθόδου το σενάριο θα πρέπει να έχει πάρει την μορφή της εικόνας 4.13.

```
// -----//
// Name: Paulo Radatz
// e-mail: paulo.radatz@gmail.com
// -----//

// -----//
// -----Circuito Basico-----//
// -----//

Clear

// Equivalente de Thevenin
New Circuit.Fonte phases=3 basekv=0.220 bus1=A

// LineCode

New LineCode.Arranjo nphases=3 basefreq=60 units=km
~ Rmatrix=[0.19 0.06 0.19 0.06 0.06 0.19]      !ohm/km
~ Xmatrix=[0.86 0.49 0.86 0.44 0.49 0.86]      !ohm/km
~ Cmatrix=[9.34 1-2.21 9.93 1-0.99 -2.24 9.27]  !nF/km

New Line.Linha1 Phases=3 Bus1=A Bus2=B Length=0.2 units=km linecode=Arranjo
New Line.Linha2 Phases=3 Bus1=B Bus2=C Length=0.15 units=km linecode=Arranjo

New Loadshape.Semana npts=24 interval=1
~ mult=(0.69 0.50 0.44 0.41 0.55 0.85 1.01 0.80 0.89 0.91 1.02 1.03 1.11 0.98 0.94 0.94 1.02 1.26 1.51 1.59 1.75 1.50 1.29 0.89)

New Loadshape.FimSemana npts=24 interval=1
~ mult=(file=LoadShape1.csv)
```

Εικόνα 4.13. Μορφή σεναρίου με χρήση εξωτερικού αρχείου

#### 4.1.3.3 Αυτόματη Εισαγωγή Τιμών από Αρχείο Excel Δύο Στηλών

Ένας τρίτος τρόπος για να καθοριστούν τα στοιχεία της εντολής loadshape είναι η χρήση εκ νέου ενός αρχείου csv το οποίο όμως περιέχει δύο στήλες έναντι της μιας που αναλύθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Η πρώτη στήλη κάνει αντιστοιχία των τιμών του χρόνου σε ώρες και η δεύτερη τις 24 τιμές για κάθε μία ώρα.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0	0.544181156								
2	1	0.503066103								
3	2	0.473728166								
4	3	0.457491218								
5	4	0.454773477								
6	5	0.466620167								
7	6	0.489477253								
8	7	0.50822294								
9	8	0.535958075								
10	9	0.570522563								
11	10	0.590940696								
12	11	0.598675916								
13	12	0.605505127								
14	13	0.595052237								
15	14	0.595679386								
16	15	0.599790856								
17	16	0.628153282								
18	17	0.741045197								
19	18	0.770034773								
20	19	0.74724733								
21	20	0.718397114								
22	21	0.678536571								
23	22	0.618536543								
24	23	0.546202034								

Εικόνα 4.14. Αρχείο τιμών δύο στηλών τύπου csv (excel)

Θα πρέπει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι το λογισμικό Opendss ξεκινά την αρίθμηση του χρόνου από τον αριθμό 0 και τελειώνει στον αριθμό 23 για τις 24 τιμές που αναλύονται. Παρακάτω αναγράφεται η νέα εντολή Loadshape με όνομα FimSemana1h για να ξεχωρισθεί από αυτήν της προηγούμενης παραγράφου.

***New Loadshape.FimSemana1h npts=24 interval=0***

***~ csvfile=LoadShape2.csv***

Στην εντολή γίνεται αμέσως αντιληπτό ότι το διάστημα, πλέον, είναι ίσο με 0. Αυτό συνέβη διότι το εξωτερικό αρχείο που χρησιμοποιείται αυτή τη φορά περιέχει ήδη τις τιμές του χρόνου. Μια δεύτερη σημαντική διαφορά είναι ότι σταματά η χρήση της ιδιότητας mult και η αντικατάσταση της με την csvfile. Τέλος με δεδομένο ότι η προσθήκη τιμών γίνεται από ξεχωριστό αρχείο εν συγκρίσει με την προηγούμενη περίπτωση, θα πρέπει να αλλαχθεί και το όνομα του αρχείου από loadshape1 σε Loadshape2.csv.

Εκτελώντας μονάχα την εντολή κατά τον τρόπο που αναλύθηκε στην παράγραφο 4.1.3.2 προκύπτει για μια ακόμη φορά η χαρακτηριστική καμπύλη φορτίου της Εικόνα 4.11 ενώ στην εικόνα 4.15 απεικονίζεται ο κώδικας του σεναρίου που έχει αναπτυχθεί έως τώρα.

```

// -----//
// Name: Paulo Radatz
// e-mail: paulo.radatz@gmail.com
// -----//

// -----//
// -----Circuito Basico-----//
// -----//

Clear

// Equivalente de Thevenin
New Circuit.Fonte phases=3 basekv=0.220 bus1=A

// LineCode
New Linecode.Arranjo nphases=3 basefreq=60 units=km
~ Rmatrix=[0.19 0.06 0.19 0.06 0.06 0.19] !ohm/km
~ Xmatrix=[0.86 0.49 0.86 0.44 0.49 0.86] !ohm/km
~ Cmatrix=[9.34 -2.21 9.93 -0.99 -2.24 9.27] !nF/km

New Line.Linha1 Phases=3 Bus1=A Bus2=B Length=0.2 units=km linecode=Arranjo
New Line.Linha2 Phases=3 Bus1=B Bus2=C Length=0.15 units=km linecode=Arranjo

New Loadshape.Semana npts=24 interval=1
~ mult=[0.69 0.50 0.44 0.41 0.55 0.85 1.01 0.80 0.89 0.91 1.02 1.03 1.11 0.98 0.94 0.94 1.02 1.26 1.51 1.59 1.75 1.50 1.29 0.89]

New Loadshape.FimSemana npts=24 interval=1
~ mult=[file=LoadShape1.csv]

New Loadshape.FimSemana1h npts=24 interval=0
~ csvfile=LoadShape2.csv

```

Εικόνα 4.15. Μορφή σεναρίου με αρχείο csv δύο στηλών

#### 4.1.3.4 Αυτόματη Εισαγωγή Τιμών ανά Δύο Ώρες από Αρχείο Excel

Κατά την ανάπτυξη της καμπύλης φορτίου θα υπάρξουν περιπτώσεις όπου δεν θα υπάρχουν δεδομένα τιμών για κάθε μία ώρα αλλά για δύο. Η απεικόνιση τέτοιων περιπτώσεων τιμών αποτελεί το αρχείο csv της παρακάτω εικόνας 4.16.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0	0.544181156								
2	2	0.473728166								
3	4	0.454773477								
4	6	0.489477253								
5	8	0.535958075								
6	10	0.590940696								
7	12	0.605505127								
8	14	0.595679386								
9	16	0.628153282								
10	18	0.770034773								
11	20	0.718397114								
12	22	0.618537								
13										
14										

Εικόνα 4.16. Αρχείο τιμών csv για κάθε δύο ώρες

Σε περιπτώσεις όπως αυτή, η εντολή loadshape μπορεί να καθοριστεί κάνοντας χρήση της ακόλουθης εντολής,

```
New Loadshape.FimSemana2h npts=12 interval=0  
~ csvfile=LoadShape3.csv
```

Αυτό που γίνεται αμέσως αντιληπτό είναι η μεταβολή της τιμής npts των σημείων μέτρησης από 24 που ήταν πριν σε 12 αφού τόσες είναι οι τιμές που εξετάζονται. Εν συνεχεία, πραγματοποιείται αλλαγή του ονόματος της εντολής αυτής σε FimSemana2h καθώς και του ονόματος του αρχείου csv από το οποίο θα γίνει η πρόσδοση των τιμών.

Με χρήση του δείκτη του ποντικιού μαρκάρεται η εντολή loadshape με την ονομασία FimSemana2h μέχρι και την ιδιότητα csvfile και με το δεξί πλήκτρο, επιλέγεται η εντολή Do Selected για την εκτέλεση της. Κατόπιν, από τα παράθυρα επιλογής εργαλείων του λογισμικού δίνονται οι επιλογές General, Loadshapes και το όνομα της εντολής που είναι επιθυμητή προς εκτέλεση (εν προκειμένω FimSemana2h). Τέλος από το μενού Plot δίνεται η επιλογή Loadshapes η οποία και θα δώσει στον εκάστοτε χρήστη την χαρακτηριστική καμπύλη φορτίου (εικόνα 4.18) η οποία διαφέρει εν συγκρίσει της Εικόνα 4.11 λόγω χρήσης λιγότερων σημείων αναφοράς.

```

General LoadShape FIMSEMANA2H
ή Βελτιστοποίηση Συστημάτων\Διπλωματική Εργασία\O C:\Π.Μ.Σ. Διαχείριση & Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων

// -----//
// Name: Paulo Radatz
// e-mail: paulo.radatz@gmail.com
// -----//

// -----//
// -----Circuito Basico-----//
// -----//

Clear

// Equivalente de Thevenin
New Circuit.Fonte phases=3 basekv=0.220 bus1=A

// LineCode
New Linecode.Arranjo nphases=3 basefreq=60 units=km
~ Rmatrix=[0.19 0.06 0.19 0.06 0.06 0.19] !ohm/km
~ Xmatrix=[0.86 0.49 0.86 0.44 0.49 0.86] !ohm/km
~ Cmatrix=[9.34 -2.21 9.93 -0.99 -2.24 9.27] !nF/km

New Line.Linha1 Phases=3 Bus1=A Bus2=B Length=0.2 units=km linecode=Arranjo
New Line.Linha2 Phases=3 Bus1=B Bus2=C Length=0.15 units=km linecode=Arranjo

New Loadshape.Semana npts=24 interval=1
~ mult=[0.69 0.50 0.44 0.41 0.55 0.85 1.01 0.80 0.89 0.91 1.02 1.03 1.11 0.98 0.94 0.94 1.02 1.26 1.51 1.59 1.75 1.50 1.29 0.89]

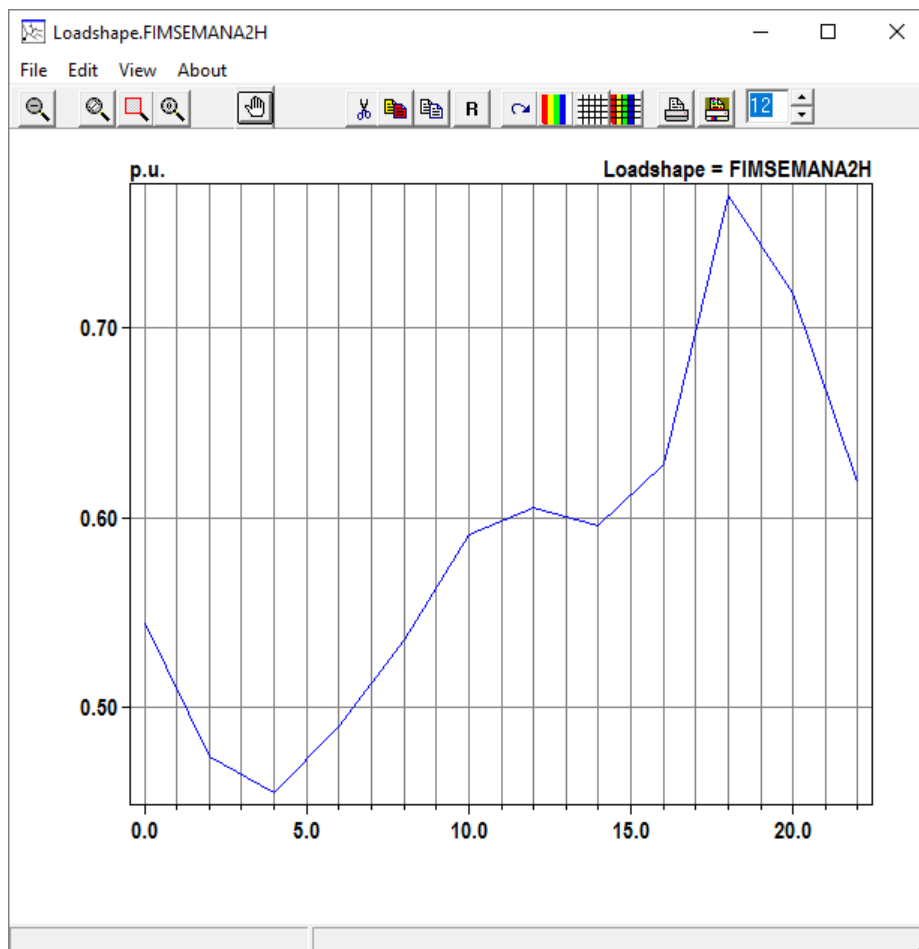
New Loadshape.FimSemana npts=24 interval=1
~ mult=[file=LoadShape1.csv]

New Loadshape.FimSemana1h npts=24 interval=0
~ csvfile=LoadShape2.csv

New Loadshape.FimSemana2h npts=12 interval=0
~ csvfile=LoadShape3.csv

```

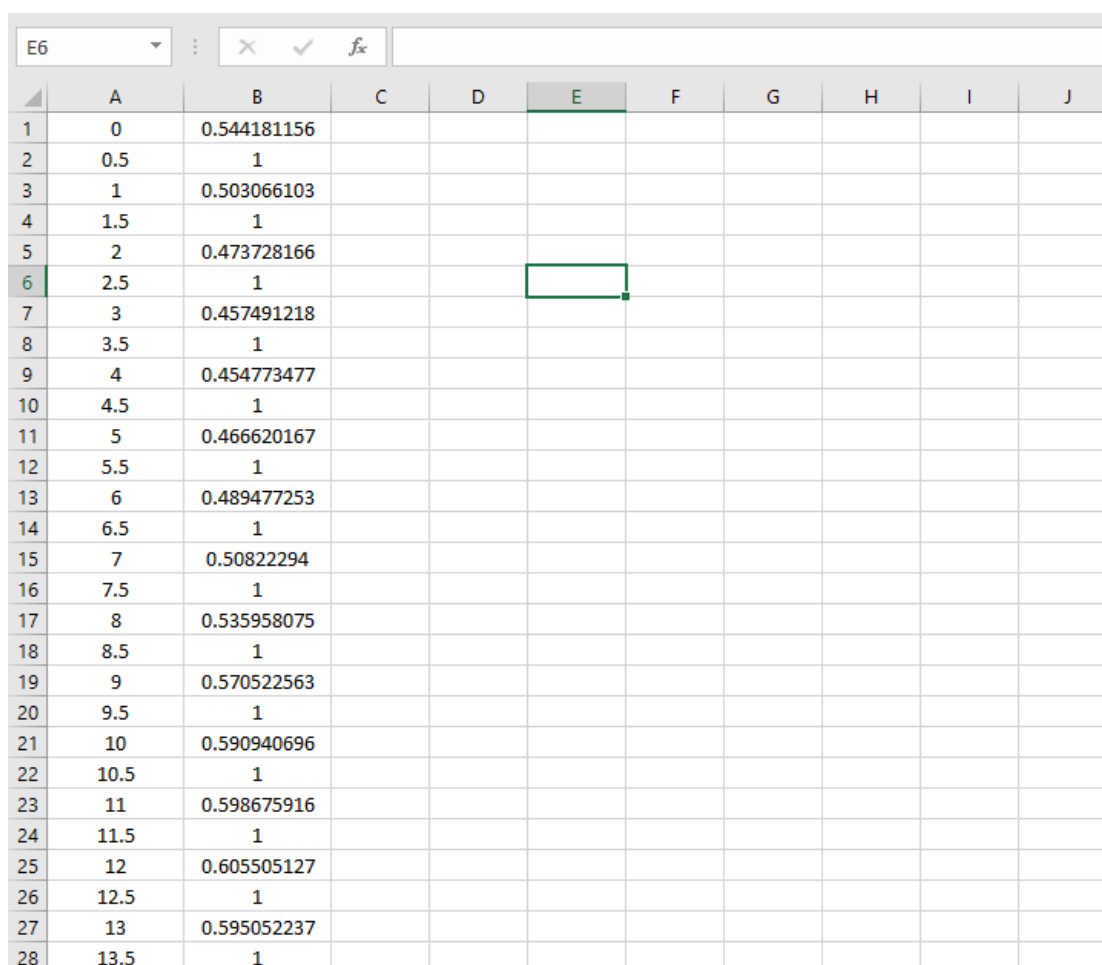
Εικόνα 4.17. Εντολή Loadshape με τιμές ανά 2 ώρες



Εικόνα 4.18. Χαρακτηριστική καμπύλη φορτίου με τιμές ανά 2 ώρες

#### 4.1.3.5 Αυτόματη Εισαγωγή Τιμών ανά Μισή Ώρα από Αρχείο Excel

Στην προηγούμενη, μόλις, παράγραφο αναπτύχθηκε η χαρακτηριστική καμπύλη φορτίου με τιμές που δόθηκαν ανά χρονικό διάστημα δύο ωρών. Σ' αυτήν την παράγραφο θα διατυπωθεί η περίπτωση κατά την οποία οι τιμές δίνονται ανά χρονικό διάστημα μισής ώρας. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει το πλήθος τιμών της περίπτωσης αυτής στην μορφή αρχείου csv. Για τους σκοπούς του παραδείγματος, οι τιμές των διαστημάτων κάθε μισής ώρας είναι ίσες με 1.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	0	0.544181156								
2	0.5	1								
3	1	0.503066103								
4	1.5	1								
5	2	0.473728166								
6	2.5	1								
7	3	0.457491218								
8	3.5	1								
9	4	0.454773477								
10	4.5	1								
11	5	0.466620167								
12	5.5	1								
13	6	0.489477253								
14	6.5	1								
15	7	0.50822294								
16	7.5	1								
17	8	0.535958075								
18	8.5	1								
19	9	0.570522563								
20	9.5	1								
21	10	0.590940696								
22	10.5	1								
23	11	0.598675916								
24	11.5	1								
25	12	0.605505127								
26	12.5	1								
27	13	0.595052237								
28	13.5	1								

Εικόνα 4.19. Αρχείο τιμών csv για κάθε μισή ώρα

Και πάλι η εντολή loadshape της περίπτωσης αυτής, καθορίζεται με χρήση της ακόλουθης εντολής,

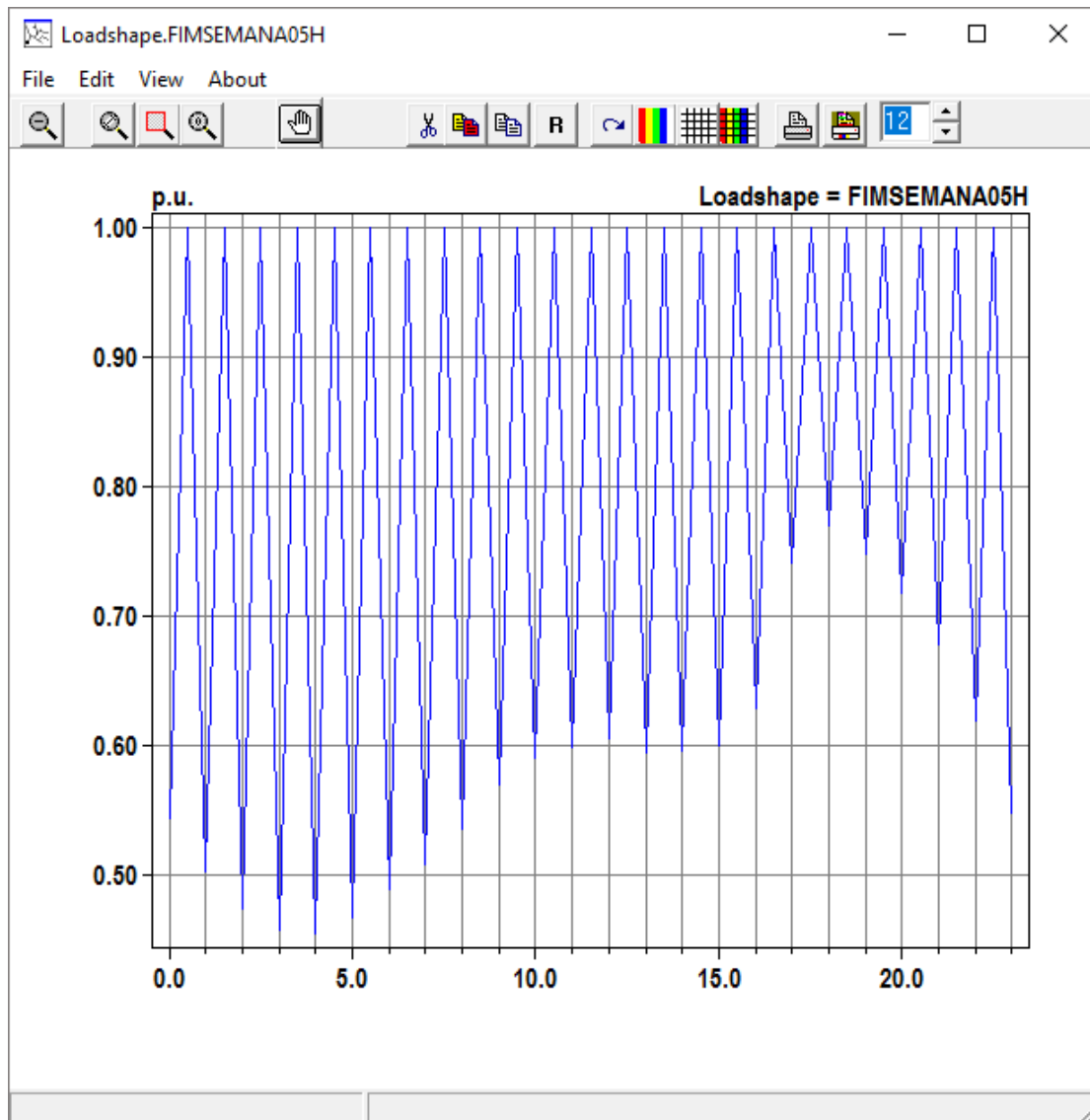
```
New Loadshape.FimSemana05h npts=48 interval=0  
~ csvfile=LoadShape4.csv
```

Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις που εξετάστηκαν, παρατηρούνται μεταβολές στο όνομα της εντολής loadshape (στην περίπτωση αυτή FimSemana05h), στον αριθμό



των σημείων μέτρησης προς εξέταση (48 σημεία) καθώς και στο όνομα του αρχείου που χρησιμοποιείται.

Ακολουθώντας την ίδια λογική εκτέλεσης της εντολής που επεξηγήθηκε σε προηγούμενες παραγράφους, το λογισμικό Opendss θα εξάγει την ακόλουθη χαρακτηριστική καμπύλη φορτίου (εικόνα 4.20).



Εικόνα 4.20. Χαρακτηριστική καμπύλη φορτίου με τιμές ανά μισή ώρα

Η μορφή της καμπύλης αυτής οφείλεται στο γεγονός ότι έχει πραγματοποιηθεί προσομοίωση με βήμα μισής ώρας. Σε περίπτωση που η τελευταία υλοποιηθεί με βήμα μίας ώρας, το αποτέλεσμα που θα δοθεί θα είναι ίδιο μ' αυτό της Εικόνα 4.11.

#### 4.1.4 Η Εντολή Monitor

Κατά την πραγματοποίηση προσομοιώσεων στο λογισμικό Opendss, απαιτείται η επιτήρηση και απεικόνιση διαφόρων ηλεκτρικών μεγεθών. Η πραγματοποίηση των προκλήσεων αυτών υλοποιείται με την εντολή Monitor η οποία έχει την δυνατότητα απεικόνισης των μεγεθών αυτών συναρτήσει του χρόνου. Στις επόμενες παραγράφους αποτυπώνεται η χρήση της πάνω στο παράδειγμα που ήδη υλοποιείται. Υπενθυμίζεται ότι το κύκλωμα που εξετάζεται είναι αυτό της Εικόνα 4.5.

##### 4.1.4.1 Σύνταξη Εντολής Monitor

Για τους σκοπούς του παραδείγματος, θα γίνει χρήση ενός στοιχείου monitor πάνω στην Γραμμή 1, το οποίο θα απεικονίζει τις ισχύεις που ρέουν στον πρώτο ζυγό. Η εντολή, λοιπόν, που θα χρησιμοποιηθεί είναι η εξής,

***New monitor.linha1\_power element=line.linha1 terminal=1 mode=1 ppolar=no***

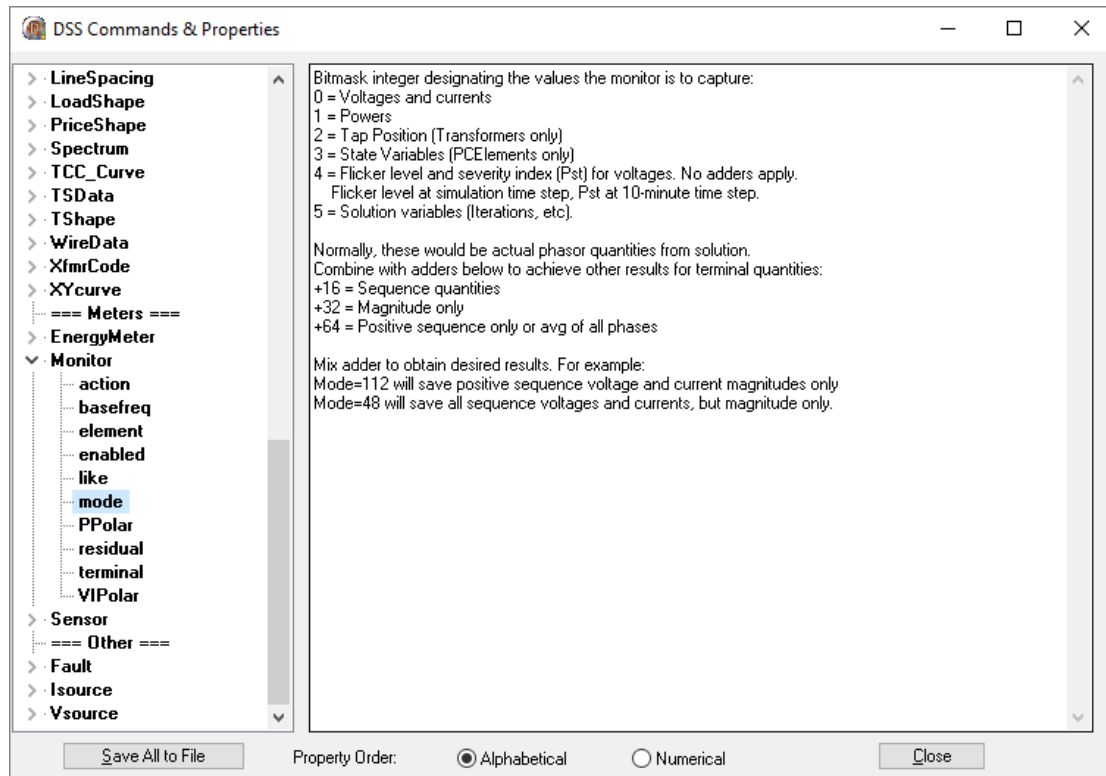
Όπου,

- ***linha1\_power***: το όνομα της συγκεκριμένης εντολής monitor,
- ***element***: το στοιχείο πάνω στο οποίο θα ασκηθεί η εντολή monitor,
- ***terminal***: ο προσδιορισμός του τερματικού ζυγού,
- ***mode***: επιλογή των μεγεθών προς απεικόνιση. Το στοιχείο αυτό λαμβάνει την τιμή 0 αν απαιτείται απεικόνιση τάσεων και ρευμάτων, 1 για την απεικόνιση ισχύων, 2 για την απεικόνιση θέσης tap changer μετασχηματιστή κ.α. Περισσότερες τιμές φαίνονται στην εικόνα 4.21 και μέσα από το μενού Help του λογισμικού.
- ***Ppolar***: αποτύπωση της φαινόμενης ισχύος σε πολική μορφή. Οι λαμβάνουσες τιμές για το στοιχείο αυτό είναι οι Yes/No ή True/False. Το συγκεκριμένο στοιχείο τίθεται από προεπιλογή ως ενεργό. Σε περίπτωση απενεργοποίησης του τα εξαγόμενα στοιχεία είναι η ενεργός και άεργος ισχύς.

Έπειτα, γίνεται χρήση ενός δεύτερου στοιχείου monitor που τοποθετείται στο ίδιο σημείο με πριν έχοντας ως σκοπό την απεικόνιση των τάσεων και των ρευμάτων. Η εντολή που θα αντιπροσωπεύσει το στοιχείο αυτό είναι η ακόλουθη,

***New monitor.linha1\_voltage element=line.linha1 terminal=1 mode=0***

Εύκολα μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι η ιδιότητα mode είναι ίση με το μηδέν καθότι είναι επιθυμητή η απεικόνιση των τάσεων και των ρευμάτων.



Εικόνα 4.21. Λαμβάνουσες τιμές ιδιότητας mode του στοιχείου monitor

Εν συνεχεία πράττεται η ίδια διαδικασία τοποθέτησης δύο ακόμα στοιχείων monitor με τις ίδιες ιδιότητες στο φορτίο του κυκλώματος. Οι εντολές προσδιορισμού των στοιχείων αυτών είναι οι ακόλουθες,

***New monitor.carga\_power element=load.carga terminal=1 mode=1 ppolar=no***

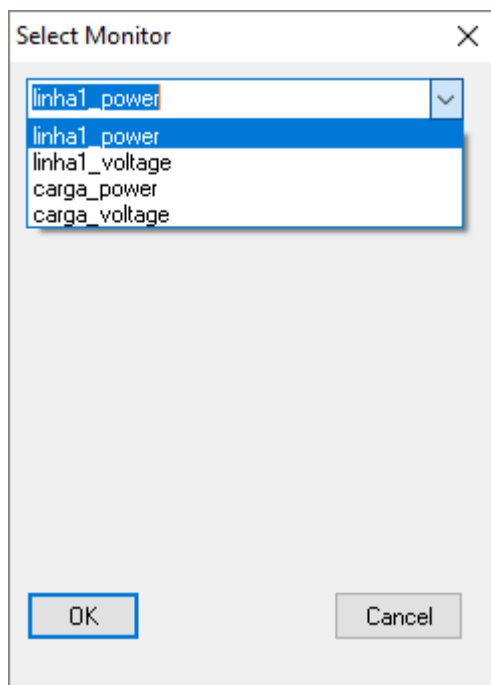
***New monitor.carga\_voltage element=load.carga terminal=1 mode=0***

Οι διαφορές εντοπίζονται στις αλλαγές των ονομάτων carga\_power και carga\_voltage καθώς και στο στοιχείο που επιτηρείται το οποίο είναι το load.carga. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εντολές αυτές πρέπει να προσδιορίζονται πάντα πριν από την εντολή solve.

#### 4.1.4.2 Εκτέλεση Εντολής Monitor

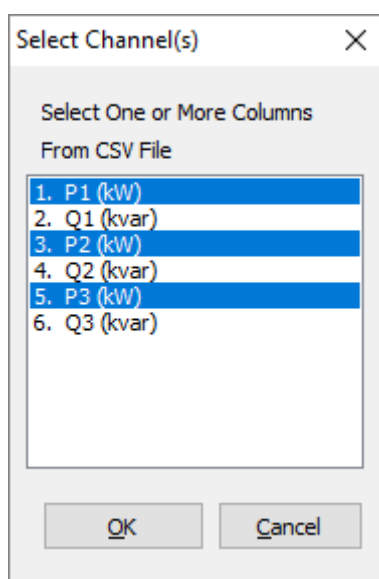
Μόλις διατυπωθούν όλες οι εντολές monitor μπορεί να πραγματοποιηθεί η επίλυση του κυκλώματος επιλέγοντας όλον τον κώδικα του σεναρίου και με το δεξί πλήκτρο του

ποντικιού να γίνει χρήση της επιλογής Do Selected. Εν συνεχεία από το μενού Plot επιλέγεται το στοιχείο monitor, η χρήση του οποίου θα εμφανίσει το ακόλουθο παράθυρο της εικόνας 4.22.



Εικόνα 4.22. Επιλογή στοιχείου monitor προς απεικόνιση

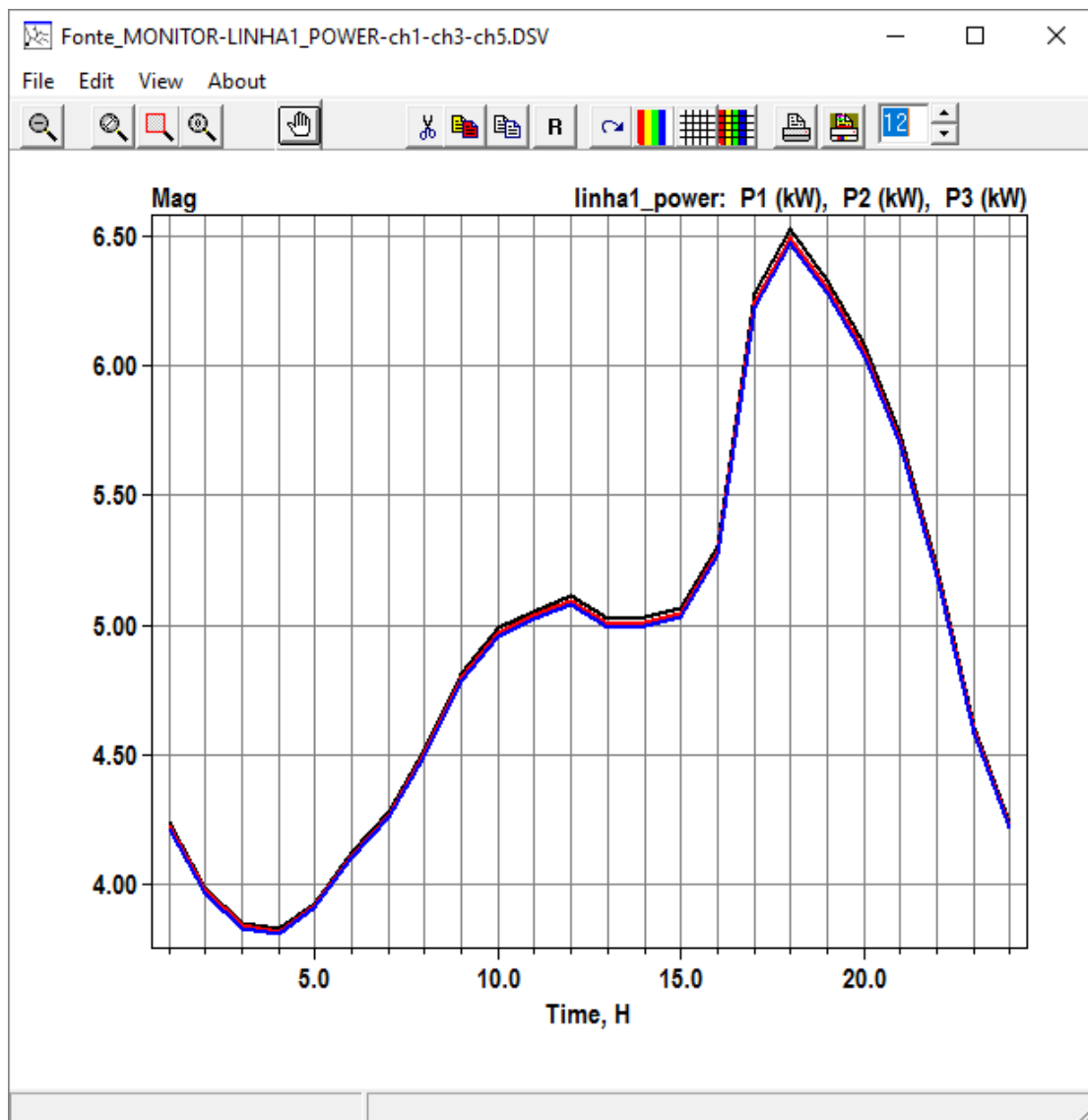
Το παράθυρο αυτό απεικονίζει όλα τα στοιχεία monitor που έχουν τοποθετηθεί στο παρόν κύκλωμα και όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι τέσσερα. Επιλέγοντας το πρώτο στοιχείο monitor που τοποθετήθηκε στην πρώτη γραμμή μεταφοράς και πατώντας το πλήκτρο OK, δίνεται το παράθυρο της εικόνας 4.23.



Εικόνα 4.23. Επιλογή μεγεθών ισχύος στοιχείου monitor προς απεικόνιση

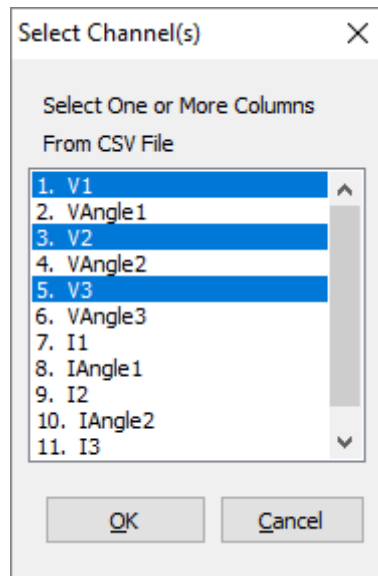
Στο παράθυρο αυτό δίνεται η δυνατότητα επιλογής των ηλεκτρικών μεγεθών που επιθυμεί ο χρήστης να απεικονίσει. Οι εμφανιζόμενες επιλογές εξαρτώνται πάντα με τον τύπο του στοιχείου monitor που καθορίστηκε κατά την συγγραφή της εντολής. Στην περίπτωση αυτή, δηλαδή, οι επιλογές που εμφανίζονται σχετίζονται με τις ρέουσες ισχύεις αφού κατά την συγγραφή της συγκεκριμένης εντολής monitor, η τελευταία ορίστηκε με τιμή mode ίση με την μονάδα.

Με χρήση του πλήκτρου ctrl και του ποντικιού, επιλέγονται τα μεγέθη P1, P2 και P3. Εν συνεχεία, με πάτημα του πλήκτρου OK, το λογισμικό Opendss εξάγει την ακόλουθη γραφική παράσταση της εικόνας 4.24 που απεικονίζει την ισχύ που ρέει από την πηγή προς την γραμμή μεταφοράς 1.

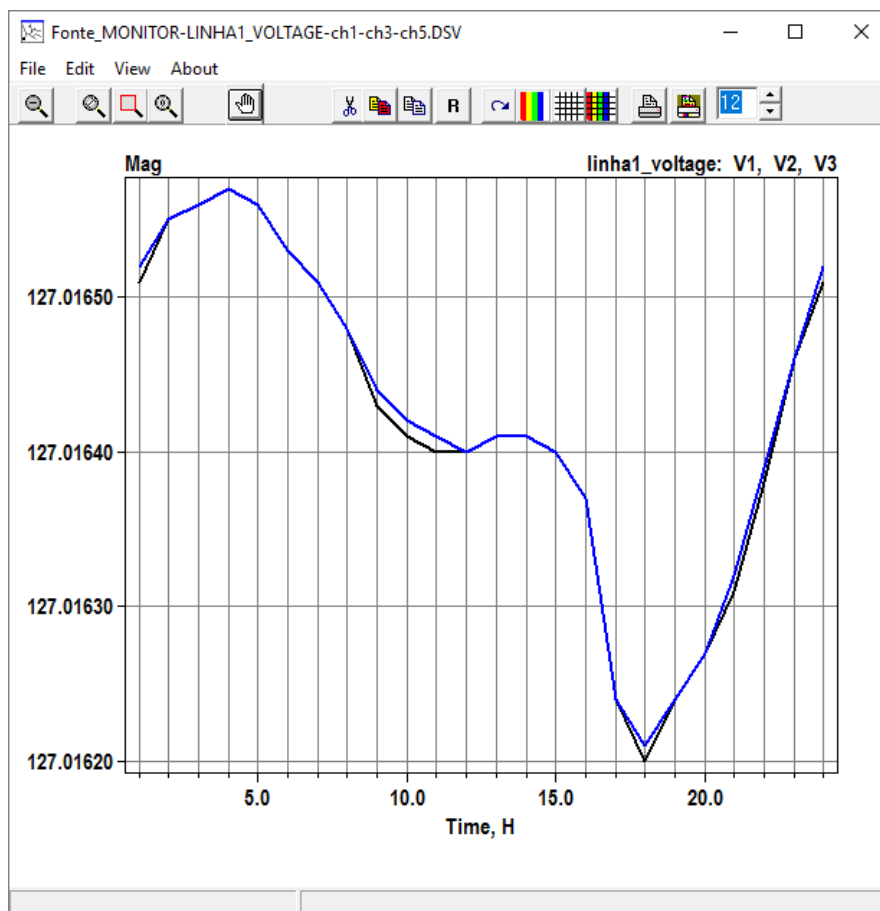


Εικόνα 4.24. Γραφική παράσταση ισχύων προς την γραμμή μεταφοράς 1

Με εκ νέου εφαρμογή της επιλογής monitor από το μενού Plot, μπορεί να γίνει επιλογή του δεύτερου στοιχείου monitor που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των τάσεων. Αυτό θα δώσει το παράθυρο επιλογών της εικόνας 4.25 το οποίο προσδίδει τα διαθέσιμα μεγέθη των τάσεων και των ρευμάτων.



Εικόνα 4.25. Επιλογή μεγεθών τάσεων & ρευμάτων προς απεικόνιση

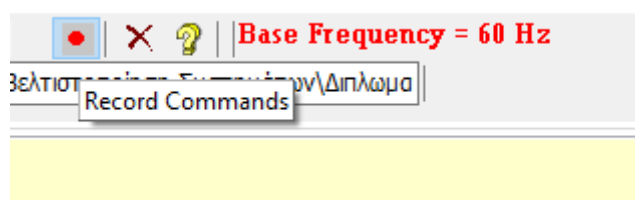


Εικόνα 4.26. Γραφική παράσταση τάσεων προς την γραμμή μεταφοράς 1

Η γραφική παράσταση της εικόνας 4.26, απεικονίζει την μορφή των τάσεων V1, V2 και V3 στον ζυγό της γραμμής μεταφοράς 1.

#### 4.1.4.3 Σύντομη Εξαγωγή Αποτελεσμάτων

Όπως διαπιστώθηκε προηγουμένως, για την εξαγωγή των γραφικών παραστάσεων απαιτείται χρήση του μενού Plot και των λοιπών επιλογών που διατυπώθηκαν. Ωστόσο, το λογισμικό Opendss παρέχει μια πιο σύντομη λύση στην πρόσδοση των αποτελεσμάτων αυτών. Η διαδικασία αυτή υλοποιείται μέσω του πλήκτρου Record Commands που βρίσκεται στην μπάρα εργαλείων του λογισμικού και απεικονίζεται στην εικόνα 4.27.



Εικόνα 4.27. Το πλήκτρο Record Commands

Κατά το πάτημα του πλήκτρου αυτού, το λογισμικό Opendss καταγράφει τις επόμενες εντολές που ο χρήστης θα εκτελέσει χειροκίνητα και τις εισάγει υπό μορφή κώδικα στο τέλος του σεναρίου μετά την εντολή solve. Η μορφή των αυτόματα εξαγόμενων εντολών είναι η ακόλουθη,

***Export monitors linha1\_power***

***Plot monitor object= linha1\_power channels=(1 3 5)***

***Export monitors carga\_voltage***

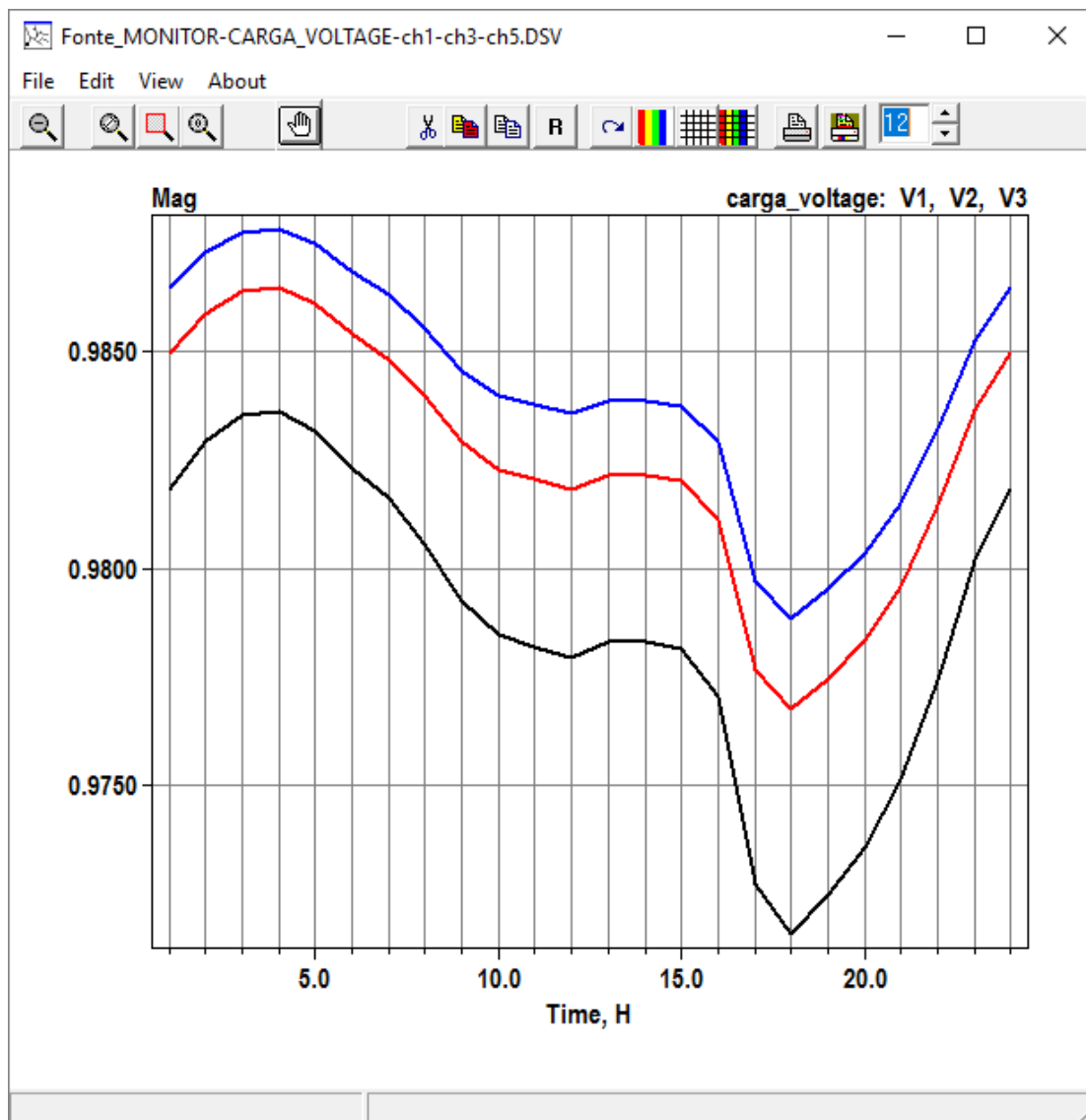
***Plot monitor object= carga\_voltage channels=(1 3 5)***

Η διαδικασία αυτή καθίσταται απαραίτητη καθώς δίνει την δυνατότητα στον χρήστη, της άμεσης εκτέλεσης των εντολών αυτών, με σκοπό την άμεση πρόσδοση των αποτελεσμάτων δίχως την επαναληψιμότητα των διαδικασιών που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Η εκτέλεση των πραγματοποιείται με την γνωστή, πλέον, επιλογή Do Selected.

Επιπρόσθετα, δίνεται η δυνατότητα παραμετροποίησης των αποτελεσμάτων. Στο παράδειγμα που αναλύεται μπορεί να γίνει μετατροπή των τιμών τάσεων στο ανά μονάδα σύστημα, με παραμετροποίηση της τελευταίας εντολής ως εξής,

*Plot monitor object= linha1\_voltage channels=(1 3 5 ) bases= [127 127 127]*

Όπου 127V είναι η τιμή βάσης που ορίζεται για το σύστημα. Με εκτέλεση της ως άνω εντολής εξάγεται η γραφική παράσταση της εικόνας 4.28 όπου στον κάθετο της άξονα απεικονίζονται τα μεγέθη των τάσεων στο ανά μονάδα σύστημα.



Εικόνα 4.28. Εξαγωγή τάσεων στο ανά μονάδα σύστημα

Κατά την εισαγωγή των εντολών αυτών το λογισμικό εξάγει αυτόματα σε αρχεία excel υπό μορφή csv όλα τα αποτελέσματα. Η θέση αποθήκευσης των αρχείων είναι η ίδια με αυτή του αρχείου dss του λογισμικού. Τα αρχεία αυτά περιέχουν τις τιμές όλων των, υπό εξέταση, ηλεκτρικών μεγεθών ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο εν λόγω λογισμικό για περαιτέρω επεξεργασία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το γεγονός ότι κατά την εξαγωγή ενός γραφήματος τάσεων μέσα από το excel, το τελευταίο είναι πιστό αντίγραφο με το αντίστοιχο του λογισμικού Openss.



## **4.2 Μοντελοποίηση IEEE European LV Test Feeder**

Η παρούσα ενότητα αποτελεί ζωτικής σημασίας ως προς την διείσδυση της τεχνολογίας των ηλεκτρικών έξυπνων δικτύων καθώς και την ανάδειξη της χρησιμότητας του λογισμικού Opends σε αναλύσεις σειριακού χρόνου. Ωστόσο, είναι απαραίτητο να δοθούν συγκεκριμένες κατευθυντήριες γραμμές ως προς τους σκοπούς ανάλυσης που θα υλοποιηθούν στην ενότητα αυτή.

### **4.2.1 Σκοπός της Ανάλυσης**

Η παρούσα δοκιμή τροφοδοσίας με την ονομασία IEEE European LV Test Feeder, αναπτύχθηκε από την Ομάδα Εργασίας Τροφοδοσίας Δοκιμών της Υποεπιτροπής Ανάλυσης Συστήματος Διανομής της Επιτροπής Ανάλυσης Ηλεκτρισμού, Πληροφορικής και Οικονομικών Συστημάτων (PSACE). Πέραν της συγκεκριμένης μελέτης η ομάδα αυτή έχει αναπτύξει ακόμα περισσότερες υπό ένα κοινό χάρτη πορείας για την ανάπτυξη υψηλής προτεραιότητας νέων δοκιμαστικών περιπτώσεων οι οποίες επιτρέπουν την διείσδυση στην έρευνα και αντιμετώπιση των νέων προκλήσεων που προκύπτουν.

Οι τρέχουσες δοκιμαστικές περιπτώσεις επικεντρώνονται σε ηλεκτρικά συστήματα της Βόρειας Αμερικής και παρέχουν αποτελέσματα στατικής ροής ισχύος. Ο σκοπός του τροφοδότη που αναλύεται στην ενότητα αυτή είναι η παροχή ενός σημείου αναφοράς στον τομέα της έρευνας, στην μελέτη χαμηλών τάσεων τροφοδοσίας καθώς και των μεσοπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων δυναμικών συμπεριφορών τους. Η επίλυση της σειριακής χρονικά ροής ισχύος υλοποιείται σαφώς με το λογισμικό Opends και παρουσιάζεται στις ενότητες που ακολουθούν.

### **4.2.2 Εισαγωγή & Παραδοχές Μελέτης**

Όπως ειπώθηκε, οι τρέχουσες δοκιμαστικές περιπτώσεις επικεντρώνονται στα ηλεκτρικά συστήματα της Βόρειας Αμερικής. Ωστόσο, καθίσταται κοινό το γεγονός της ύπαρξης συστημάτων διανομής χαμηλής τάσης, τόσο ακτινωτών όσο και δικτυωτών εκτός αυτής. Για τις περιπτώσεις αυτές, είναι σημαντικό να υπάρχουν τα κατάλληλα εργαλεία που να μπορούν να υποστηρίξουν όλες τις κυρίαρχες μορφές των συστημάτων διανομής. Η συγκεκριμένη δοκιμή επιδιώκει να καλύψει ένα κενό αναφοράς κάνοντας παρουσίαση μιας σειράς κοινών συνθέσεων χαμηλής τάσης στα συστήματα διανομής της Ευρώπης.

Κατά την φάση της έρευνας και του σχεδιασμού της ηλεκτρικής διανομής, γίνεται ολοένα και πιο προφανής η απαίτηση λύσεων σειριακού χρόνου έναντι των στατικών λύσεων ροής ισχύος, για την καταγραφή της μέσο-μακροπρόθεσμης δυναμικής συμπεριφοράς, η οποία με την σειρά της είναι ιδιαίτερα εμφανής σε πολλές αναπτυσσόμενες τεχνολογίες. Η κατάλληλη εκμετάλλευση προϊόντων και τεχνολογιών όπως η βελτιστοποίηση τάσης και αέργου ισχύος (Volt Var Optimization), ο συντονισμένος έλεγχος των σταθεροποιητικών διατάξεων και των πυκνωτών, η αποθήκευση ενέργειας ή η χρήση των φωτοβολταϊκών απαιτεί την χρήση του στοιχείου του χρόνου για την πλήρη κατανόηση της συμπεριφοράς του δικτύου.

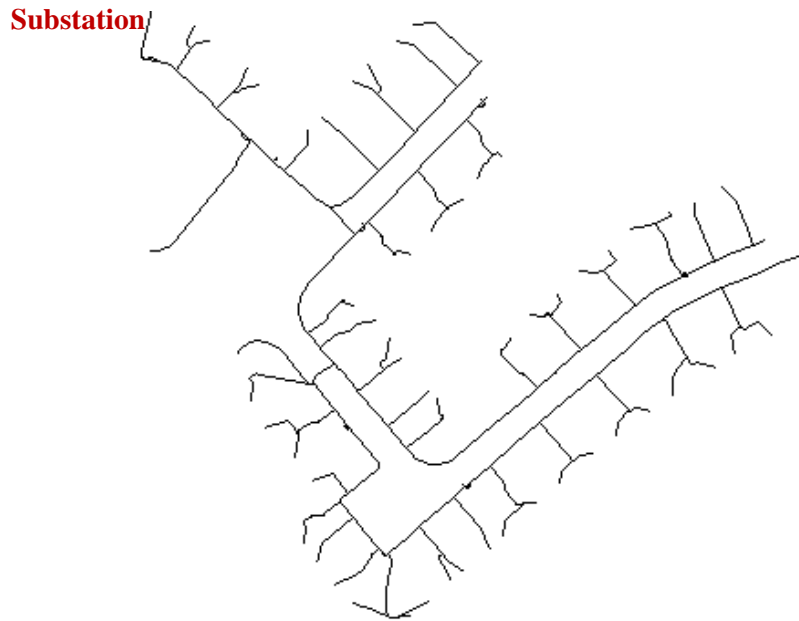
Η εφαρμογή IEEE European LV Test Feeder αναπτύχθηκε για να ικανοποιήσει τις ανάγκες βασιζόμενη στις ακόλουθες παραδοχές.

- Η τάση τροφοδοσίας είναι στα επίπεδα των 416V (φάση προς φάση), η οποία θεωρείται και ως τυπική τάση στα συστήματα δικτύων διανομής χαμηλής τάσης της Ευρώπης.
- Η διαμόρφωση του φορτίου υλοποιείται και παρέχεται μέσω μίας ανάλυσης ανά λεπτό με σκοπό την προσομοίωση υπό χρονική σειριακή ακολουθία (time-series simulation).
- Η παροχή των αποτελεσμάτων γίνεται μέσω προσομοίωσης χρονικής σειριακής ακολουθίας για χρονικό διάστημα μιας ημέρας και υπολογισμός στατικής ροής ισχύος σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

#### **4.2.3 Περιγραφή Μελέτης**

Η μελέτη πραγματοποιείται με χρήση ενός δοκιμαστή τροφοδότη χαμηλής τάσης, ο οποίος είναι ακτινικός με συχνότητα λειτουργίας στα 50Hz. Ο συγκεκριμένος τροφοδότης είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο μέσης τάσης μέσω ενός μετασχηματιστή που βρίσκεται εγκατεστημένος σε έναν υποσταθμό.

Ο αναφερόμενος μετασχηματιστής είναι υποβιβασμού με αποτέλεσμα την μεταβολή της τάσης από τα 11kV στα 416V. Ο κύριος τροφοδότης καθώς και τα λοιπά του στοιχεία βρίσκονται τοποθετημένα στην πλευρά των 416V. Το μονογραμμικό διάγραμμα του δοκιμαστή τροφοδότη απεικονίζεται στην εικόνα 4.29.



Εικόνα 4.29. Μονογραμμικό διάγραμμα δοκιμαστή τροφοδότη<sup>[17]</sup>

Για την σωστή καταγραφή των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιούνται οι συντεταγμένες των ζυγών του δικτύου κάνοντας χρήση ενός αρχείου τύπου csv ή απλού αρχείου κειμένου txt. Η παρακάτω εικόνα απεικονίζει μερικές από τις τιμές αυτές.

Αρχείο	Επεξεργασία	Μορφή	Προβολή	Βοήθεια
1	390872.663		392887.379	
2	390871.596		392887.638	
3	390871.481		392887.643	
4	390871.379		392887.608	
5	390871.305		392887.55	
6	390871.234		392887.42	
7	390868.779		392877.637	
8	390868.753		392877.186	
9	390868.753		392876.81	
10	390868.804		392876.484	
11	390868.904		392876.259	
12	390869.079		392876.108	
13	390869.18		392876.008	
14	390869.5		392875.857	
15	390872.292		392875.208	
16	390872.314		392875.302	
17	390875.678		392874.422	
18	390872.316		392875.346	
19	390875.907		392874.353	
20	390872.312		392875.392	
21	390876.142		392874.223	
22	390872.303		392875.433	
23	390876.44		392873.903	
24	390872.288		392875.482	
25	390877.003		392873.341	
26	390872.263		392875.532	
27	390880.364		392878.196	
28	390884.19		392866.433	
29	390872.239		392875.581	
30	390881.306		392879.522	
31	390879.232		392879.305	
32	390886.111		392864.602	
33	390872.17		392875.71	
34	390885	392880		
35	390879.208		392879.353	
36	390890.1695		392868.642	
37	390891.919		392859.065	
38	390872.092		392875.822	

Εικόνα 4.30. Συντεταγμένες ζυγών συστήματος<sup>[17]</sup>

Για τους σκοπούς της μοντελοποίησης, το σύστημα μέσης τάσης διαμορφώνεται ως πηγή τάσης με σύνθετη αντίσταση. Τα δεδομένα για την πηγή της τάσης δίνονται από ένα εξωτερικό αρχείο τύπου csv και απεικονίζονται στην εικόνα 4.31. Η σύνθετη αντίσταση αποτυπώνεται στο σενάριο υπό μορφή μονοφασικών και τριφασικών ρευμάτων βραχυκύκλωσης.

# Source impedance	
[Source]	
Voltage=11 kV	
pu=1.05	
ISC3=3000 A	
ISC1=5 A	

Εικόνα 4.31. Δεδομένα μοντελοποιημένης πηγής τάσης<sup>[17]</sup>

Ο τριφασικός μετασχηματιστής που βρίσκεται στον υποσταθμό έχει ονομαστική MVA ισχύ ίση με 0.8, ονομαστικές τάσεις 11kV/416V και σύνδεση τυλιγμάτων από τρίγωνο σε αστέρα. Η αντίσταση και η αντίδραση των τυλιγμάτων είναι 0,4% και 4% αντίστοιχα. Τα στοιχεία αυτά δίδονται στο λογισμικό μέσω ενός αρχείου csv.

Οι γραμμές διανομής καθορίζονται μέσω εντολών line codes και του μήκους τους. Οι εντολές line codes καθορίζονται με την σειρά τους μέσω επαγωγικών και χωρητικών αντιδράσεων με τιμές που αποτυπώνονται μέσω αρχείου csv στην ακόλουθη εικόνα.

1	# Line Codes defined by matrix values								
2	Name	nphases	R1	X1	R0	X0	C1	C0	Units
3	2c_007	3	3.97	0.099	3.97	0.099	0	0	km
4	2c_0225	3	1.257	0.085	1.257	0.085	0	0	km
5	2c_16	3	1.15	0.088	1.2	0.088	0	0	km
6	35_SAC_XSC	3	0.868	0.092	0.76	0.092	0	0	km
7	4c_06	3	0.469	0.075	1.581	0.091	0	0	km
8	4c_1	3	0.274	0.073	0.959	0.079	0	0	km
9	4c_35	3	0.089	0.0675	0.319	0.076	0	0	km
10	4c_185	3	0.166	0.068	0.58	0.078	0	0	km
11	4c_70	3	0.446	0.071	1.505	0.083	0	0	km
12	4c_95_SAC_XC	3	0.322	0.074	0.804	0.093	0	0	km
13									
14									
15									

Εικόνα 4.32. Τιμές εντολών line codes<sup>[17]</sup>

Ίδια λογική υφίσταται και με τα δεδομένα των γραμμών που φαίνονται παρακάτω.

Name	Bus1	Bus2	Phases	Length	Units	LineCode
LINE1	1	2	ABC	1.098	m	4c_70
LINE2	2	3	ABC	0.11511	m	4c_70
LINE3	3	4	ABC	0.10784	m	4c_70
LINE4	4	5	ABC	0.094021	m	4c_70
LINE5	5	6	ABC	0.14812	m	4c_70
LINE6	6	7	ABC	100.863	m	4c_70
LINE7	7	8	ABC	0.45175	m	4c_70
LINE8	8	9	ABC	0.376	m	4c_70
LINE9	9	10	ABC	0.32997	m	4c_70
LINE10	10	11	ABC	0.24622	m	4c_70
LINE11	11	12	ABC	0.23114	m	4c_70
LINE12	12	13	ABC	0.14213	m	4c_70
LINE13	13	14	ABC	0.35384	m	4c_70
LINE14	14	15	ABC	28.664	m	4c_70
LINE15	15	16	ABC	0.09654	m	2c_007
LINE16	15	17	ABC	3.476	m	4c_70

Εικόνα 4.33. Τιμές και δεδομένα των γραμμών lines<sup>[17]</sup>

Τα φορτία μοντελοποιούνται ως σταθερές ενεργού και αέργου ισχύος. Για κάθε φορτίο, πραγματοποιείται καθορισμός του κόνοντας χρήση των kw αλλά και του συντελεστή ισχύος. Για την προσομοίωση υπό χρονική σειριακή μορφή, καθορίζονται εντολές loadshare. Η εικόνα 4.34 δείχνει τα στοιχεία των φορτίων που χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη αυτή.

Name	numPhases	Bus	phases	kv	Model	Connection	kW	PF	Yearly
LOAD1	1	34	A	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_1
LOAD2	1	47	B	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_2
LOAD3	1	70	A	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_3
LOAD4	1	73	A	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_4
LOAD5	1	74	A	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_5
LOAD6	1	83	B	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_6
LOAD7	1	178	B	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_7
LOAD8	1	208	C	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_8
LOAD9	1	225	A	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_9
LOAD10	1	248	B	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_10
LOAD11	1	249	B	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_11
LOAD12	1	264	C	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_12
LOAD13	1	276	B	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_13
LOAD14	1	289	A	0.23	1	wye	1	0.95	Shape_14

Εικόνα 4.34. Στοιχεία φορτίων προσομοίωσης<sup>[17]</sup>

Η τελευταία στήλη της εικόνας 4.34 αποτυπώνει την εντολή loadshape πάνω στην οποία είναι προσκολλημένο το εκάστοτε φορτίο. Κάθε εντολή loadshape συνδέεται με την σειρά της σε ξεχωριστά αρχεία csv τα οποία καθορίζουν το προφίλ του εκάστοτε φορτίου. Η διαπίστωση αυτή φαίνεται πρακτικά στην εικόνα 4.35.

#	Name	npts	mininterval	File	useactual
1	Shape_1	1440	1	Load_profile_1.csv	TRUE
2	Shape_2	1440	1	Load_profile_2.csv	TRUE
3	Shape_3	1440	1	Load_profile_3.csv	TRUE
4	Shape_4	1440	1	Load_profile_4.csv	TRUE
5	Shape_5	1440	1	Load_profile_5.csv	TRUE
6	Shape_6	1440	1	Load_profile_6.csv	TRUE
7	Shape_7	1440	1	Load_profile_7.csv	TRUE
8	Shape_8	1440	1	Load_profile_8.csv	TRUE
9	Shape_9	1440	1	Load_profile_9.csv	TRUE
10	Shape_10	1440	1	Load_profile_10.csv	TRUE
11	Shape_11	1440	1	Load_profile_11.csv	TRUE
12	Shape_12	1440	1	Load_profile_12.csv	TRUE
13	Shape_13	1440	1	Load_profile_13.csv	TRUE
14	Shape_14	1440	1	Load_profile_14.csv	TRUE
15	Shape_15	1440	1	Load_profile_15.csv	TRUE

Εικόνα 4.35. Στοιχεία εντολών loadshape<sup>[17]</sup>

Εν συνεχεία, τα προφίλ των φορτίων καθορίζονται μέσω μίας μήτρας αποτελούμενη από δύο στήλες. Η πρώτη στήλη καθορίζει τον χρόνο, την στιγμή που η δεύτερη καθορίζει τις πολλαπλασιαζόμενες τιμές. Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνεται ένα μέρος αυτών μέσω του αρχείου Load\_profile\_1.csv του φορτίου 1.

	time	mult
1	00:01:00	0.036
2	00:02:00	0.036
3	00:03:00	0.036
4	00:04:00	0.036
5	00:05:00	0.036
6	00:06:00	0.036
7	00:07:00	0.036
8	00:08:00	0.036
9	00:09:00	0.036
10	00:10:00	0.036
11	00:11:00	0.036
12	00:12:00	0.036
13	00:13:00	0.036
14	00:14:00	0.036
15	00:15:00	0.036
16	00:16:00	0.036

Εικόνα 4.36. Τιμές πρώτου προφίλ φορτίου<sup>[17]</sup>

Η αξία σε kw ενός φορτίου σε συγκεκριμένο χρόνο, καθορίζεται από την τιμή βάσης σε kw και τις εκάστοτε πολλαπλασιαζόμενες τιμές. Ως παράδειγμα της διαπίστωσης αυτής, μπορεί να γίνει η χρήση του φορτίου 1 για το οποίο η τιμή βάσης σε kw είναι ίση με 1 ενώ η πολλαπλασιαζόμενη τιμή στον χρόνο 00:01:00 είναι 0.036. Το αποτέλεσμα της τιμής kw του φορτίου αυτού στον χρόνο 00:01:00 είναι  $1 \times 0.036 = 0.036$ .

#### 4.2.4 Υλοποιημένο Σενάριο

Η ανάλυση που δόθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, υλοποιείται υπό μορφή σεναρίου Opendss το οποίο έχει την ακόλουθη μορφή.

```

clear

Set DefaultBaseFrequency=50 ! for European system

New circuit.LVTest
Edit Vsource.Source BasekV=11 pu=1.05 ISC3=3000 ISC1=5
Redirect LineCode.txt
Redirect LoadShapes.txt
batchedit loadshape.* useactual=no
Redirect Lines.txt
Redirect Transformers.txt
Redirect Loads.txt
Redirect Monitors.txt

New energymeter.m1 LINE.LINE1 1

Set voltagebases=[11 .416]
Calcvoltagebases

buscoords buscoords.txt
solve

set mode=yearly number= 1440 stepsize=1m ! one day simulation

! Set "DemandInterval" to true so that energy quantities recorded by energy meters are recorded for
! each time step and set "casename" to define a directory under default directory in which all of the
! demand interval data is recorded. (NOTE: Setting Demand=true resets all energymeters.)

Set overloadreport=true ! TURN OVERLOAD REPORT ON
Set voltexcept=true ! voltage exception report
set demand=true ! demand interval ON
set DIVERbose=true ! verbose mode is ON

Set Year=1 ! This statement resets all meters
solve

closed ! close demand interval files at end of run

//=====
/*

Show mon LINE558_VI_vs_Time
Show mon LINE825_VI_vs_Time
plot circuit Power Max=30 dots=y labels=n subs=y C1=$00FF0000

plot profile ph=all

Plot monitor object= line558_vi_vs_time channels=[1 3 5 ] bases=[240 240 240]
Plot monitor object= line825_vi_vs_time channels=[1 3 5 ] bases=[240 240 240]
*/

```

Εικόνα 4.37. Σενάριο IEEE European LV Test Feeder

Στο σενάριο αυτό, πραγματοποιείται καθορισμός της ισχύουσας συχνότητας στα 50Hz, η οποία και ισχύει για τα Ευρωπαϊκά δίκτυα. Εν συνεχεία ορίζεται η μοντελοποίηση του συστήματος μέσης τάσης μέσω μιας αντίστοιχης πηγής και της εντολής Vsource τοποθετώντας τα δοθέντα στοιχεία της εκφώνησης. Στο επόμενο βήμα γίνεται εκχώρηση όλων των τιμών των στοιχείων του δικτύου, μέσω αρχείων κειμένου τύπου txt. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η εμφάνιση της εντολής BatchEdit η οποία έχει την ικανότητα να τροποποιεί πολλαπλά αντικείμενα μιας ίδιας τάξης. Ως παράδειγμα τίθεται οι παρακάτω εντολές.

***Load.Load1.duty=dutyshape***  
***Load.Load2.duty=dutyshape***  
***Load.Load3.duty=dutyshape***  
***Etc.***

Οι τελευταίες εντάσσουν τα αντικείμενα load σε μια εντολή dutyshape. Προκειμένου λοιπόν, να προκύψει εξοικονόμηση χώρου στον κώδικα σεναρίου αλλά και χρόνου, οι ως άνωθεν εντολές μπορούν να αντικατασταθούν από την κάτωθι μια.

***BatchEdit Load.\* duty=duty\_shape***

Απαραίτητη προϋπόθεση για την συνοχή της εντολής BatchEdit είναι η χρήση του συντακτικού (.\* ) αντί των ονομάτων των αντικειμένων.

Οι υπόλοιπες εντολές θέτουν τους απαραίτητους μετρητές αποτελεσμάτων καθώς και τα χρονικά διαστήματα στα οποία λαμβάνονται αυτά. Τα λεγόμενα αυτά υλοποιούνται κυρίως μέσω εντολών set όπου εκεί προδιαγράφεται το συνολικό χρονικό διάστημα της μοντελοποίησης (για την μελέτη αυτή είναι ένας χρόνος), τα μεσοδιαστήματα κατά τα οποία λαμβάνονται οι τιμές μέσω της εντολής stepsize (ίση με ένα λεπτό) καθώς και τον συνολικό αριθμό των αποτελεσμάτων μέσω της εντολής number (ίση με 1440 αποτελέσματα στο πέραςμα μιας μέρας).

Τέλος με χρήση εκ νέου εντολών set προδιαγράφεται ο τύπος των εξαγόμενων αναφορών όπως είναι για παράδειγμα η εντολή set overloadreport, η οποία εξάγει αποτελέσματα βασιζόμενη σε επίλυση χρονικού διαστήματος ενός χρόνου. Η τελευταία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την εντολή DemandInterval η οποία διατηρεί τις καταγραφόμενες, από τους μετρητές, τιμές για κάθε χρονικό βήμα της μοντελοποίησης.



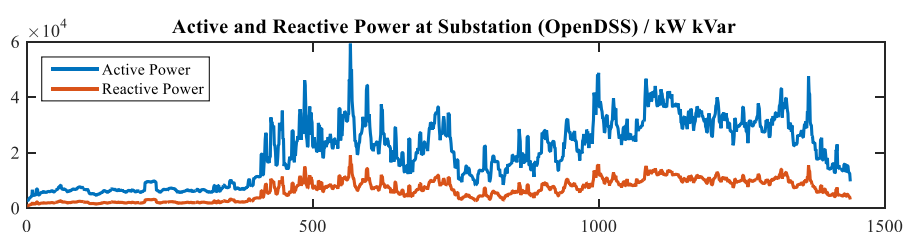
Οι τελευταίες εντολές του σεναρίου, συντάσσουν τα εξαγόμενα αρχεία με τα αποτελέσματα μέσω εντολών show, plot και monitor. Σημειώνεται εκ νέου ότι οι χρήστες, μπορούν να αποτυπώσουν σχόλια και περιγραφές εντός των σεναρίων κάνοντας χρήση του θαυμαστικού συμβόλου (!) και εν συνεχεία πληκτρολογώντας το κείμενο που επιθυμούν δεξιά από αυτό. Τα λεγόμενα αυτά, απεικονίζονται στην πράξη από την εικόνα 4.37 και τις οδηγίες που δίνονται για συγκεκριμένες εντολές που συντάσσονται στο σενάριο.

#### 4.2.5 Αποτελέσματα Μελέτης

Τα εξαγόμενα αποτελέσματα από την συγκεκριμένη μελέτη απλώνονται σε δύο υποενότητες. Η μία αφορά στα αποτελέσματα υπό χρονική σειριακή ακολουθία και η δεύτερη με την χρήση της στιγμιότυπης μεθόδου (snapshot simulation).

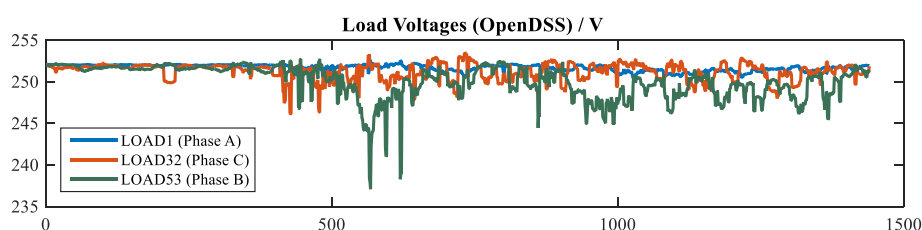
##### 4.2.5.1 Επίλυση Χρονικής Σειριακής Ακολουθίας

Οι μορφές των 55 φορτίων, που εκτελέστηκαν από τον τροφοδότη, για την επίλυση υπό χρονική σειριακή ακολουθία δίνονται υπό χρονική ανάλυση ενός λεπτού σε μέγιστο χρονικό διάστημα μιας μέρας. Οι προσομοιώσεις εκτελούνται με χρήση του λογισμικού Opendss. Οι καμπύλες της ενεργού και αέργου ισχύος στον υποσταθμό σε πάροδο 24 ωρών (1440 λεπτών) απεικονίζονται στην εικόνα 4.38.



Εικόνα 4.38. Καμπύλες ενεργού και αέργου ισχύος μελέτης<sup>[17]</sup>

Τα μεγέθη της τάσης για το φορτία 1 (φάση Α), το φορτίο 32 (φάση C) και το φορτίο 53 (φάση Β) σε χρονικό περιθώριο μιας μέρας απεικονίζεται στην εικόνα 4.39.



Εικόνα 4.39. Μεγέθη τάσης μελέτης<sup>[17]</sup>

#### 4.2.5.2 Επίλυση Στιγμιότυπης Προσομοίωσης

Για την πραγματοποίηση της στιγμιότυπης προσομοίωσης ροής ισχύος, γίνεται χρήση συγκεκριμένων χρονικών στιγμών ως ακολούθως:

- ✓ Χρόνος ίσος με 00:01:00, στην εκκίνηση της προσομοίωσης καθώς και σε στιγμή εκτός αιχμής,
- ✓ Χρόνος ίσος με 09:26:00, στην χρονική στιγμή υψηλής αιχμής και
- ✓ Χρόνος ίσος με 24:00:00, στο τέλος της προσομοίωσης.

Τα μεγέθη της ενεργού και αέργου ισχύος στον υποσταθμό στις τρεις αναφερθείσες χρονικές στιγμές, αποτυπώνονται στον πίνακα 4.1. Οι μέγιστες και ελάχιστες τάσεις προβάλλονται στον πίνακα 4.2.

Time			Phase A	Phase B	Phase C	Total
00:01:00 (off-peak)	Active Power (kW)	OpenDSS	1.0572	0.927	0.8153	2.7994
	Reactive Power (kVar)	OpenDSS	0.3475	0.3044	0.2678	0.9198
09:26:00 (on-peak)	Active Power (kW)	OpenDSS	17.9072	35.2927	6.1837	59.3836
	Reactive Power (kVar)	OpenDSS	5.4897	11.5328	2.0971	19.1196
24:00:00	Active Power (kW)	OpenDSS	3.7201	3.6648	2.3369	9.7218
	Reactive Power (kVar)	OpenDSS	1.2189	1.2048	0.7678	3.1914

Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα ενεργού και αέργου ισχύος<sup>[17]</sup>

Time			Phase A	Phase B	Phase C
00:01:00 (off-peak)	Max Voltage (V)	OpenDSS	252.165	252.166	252.169
	Min Voltage (V)	OpenDSS	251.909	251.946	252.023
09:26:00 (on-peak)	Max Voltage (V)	OpenDSS	251.901	251.443	254.73
	Min Voltage (V)	OpenDSS	245.577	238.367	251.952
24:00:00	Max Voltage (V)	OpenDSS	252.113	252.105	252.134
	Min Voltage (V)	OpenDSS	251.08	251.109	251.805

Πίνακας 4.2. Μέγιστα και ελάχιστα μεγέθη τάσεων<sup>[17]</sup>

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μαλατέστας Β. Παντελής (2016). *Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας*. 2<sup>η</sup> Έκδοση. Εκδόσεις Τζιόλα.
2. Ζώτου Θ. Ευφροσύνη (2012). *Σύγχρονες Τεχνολογίες Πρόσβασης και Διαδικτύου σε Έξυπνα Δίκτυα (Smart Grids)*. Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
3. Siemens AG (2016). *Power Engineering Guide Version 8.0*. Retrieved from: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/energy-topics/publications/power-engineering-guide/>
4. International Energy Agency (2011). *Technology Roadmap: Smart Grids*. Retrieved from: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids\\_roadmap.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids_roadmap.pdf)
5. Ζαππής Σπ. Σωκράτης (2015). *Έξυπνα Δίκτυα Ενέργειας*. Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών. Retrieved from: [http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/9048/6/Zappis\(ele\).pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/9048/6/Zappis(ele).pdf)
6. World Alliance for Thai Decentralised Energy Association (2013). *Handbook on Smart/Intelligent Grid Systems Development and Deployment*. Retrieved from: [http://www.wadethai.org/docs/SMART\\_THAI\\_Handbook.pdf](http://www.wadethai.org/docs/SMART_THAI_Handbook.pdf)
7. Dugan C. Roger (2016). *Reference Guide. The Open Distribution System Simulator (Openss)*. Electric Power Research Institute. Retrieved from: <http://smartgrid.epri.com/SimulationTool.aspx>
8. Moffet Marc-Andre, Sirois Frederic (2011). *Review of open source code power grid simulation tools for long-term parametric simulations*. Retrieved from: [https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/2011-137\\_e.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/canmetenergy/files/pubs/2011-137_e.pdf)
9. Sexauer Jason (2012). *New User Primer. The Open Distribution System Simulator (Openss)*. Retrieved from: <https://sourceforge.net/p/electricdss/wiki/Home/>
10. Hoang Bichlien (2012). *Smart Grids*. Originally published on the IEEE Emerging Technology portal, 2006—2012. Retrieved from: [https://www.ieee.org/about/technologies/emerging/emerging\\_tech\\_smart\\_grids.pdf](https://www.ieee.org/about/technologies/emerging/emerging_tech_smart_grids.pdf)
11. Radatz Paulo (2016). *Tutorial OpenDSS Time-Series*. Video Tutorial from Youtube. Retrieved from: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLhdRxvt3nJ8yBSb1r64NB0JS5XHInBgGa>
12. Leake Jonathan (2010). *Beauty spots face pylon invasion: The National Grid will this week detail plans for three new lines as a prelude to the biggest expansion of Britain's electrical infrastructure in 50 years*. The Times <https://www.thetimes.co.uk/article/beauty-spots-face-pylon-invasion-8vd027gcs7n> (updated 27 April 2017, accessed 27 April 2017).
13. HORIZON DIGITAL ECONOMY RESEARCH (2010). *Probing responses to future smart grid technologies*. <http://horizonenergy.blogspot.gr/> (updated 27 April 2017, accessed 27 April 2017).
14. NATIONAL INSTRUMENTS. *Openss Library for x86 by Electric Power Research Institute*. <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/215288> (updated 27 April 2017, accessed 27 April 2017).

15. HAWS CONSULTING GROUP. *EPRI Logo*.  
<http://www.ptax.com/about/companies-weve-helped/epri-logo/> (updated 27 April 2017, accessed 27 April 2017)
16. Ochoa Luis(Nando), Quiros-Tortos Jairo (2015). *Tutorial ISGT Latin America (2015): Advanced Modelling of Smart Distribution Networks Using Openss*. ResearchGate  
[https://www.researchgate.net/publication/283453248\\_Tutorial\\_ISGT\\_Latin\\_America\\_2015\\_OpenDSS\\_Files](https://www.researchgate.net/publication/283453248_Tutorial_ISGT_Latin_America_2015_OpenDSS_Files) (updated 01 May 2017, accessed 01 May 2017).
17. IEEE PES Distribution System Analysis Subcommittee's Distribution Test Feeder Working Group (2015). *The IEEE European Low Voltage Test Feeder*.  
<http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/index.html> (updated 23 May 2017, accessed 23 May 2017).