



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ InterPSS**

Ντερέκας Αλέξιος-Σεραφείμ

Επιβλέπων: Κανέλλος Φώτιος

Χανιά, Σεπτέμβριος 2014

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΛΕΤΗ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

1.1	Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	8
1.1.1	Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	8
1.1.2	Μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας.....	13
1.1.3	Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας.....	16
1.2	Ροή Φορτίου	18
1.3	Μοντέλα Συνιστωσών ΣΗΕ.....	19
1.3.1	Παράσταση Γραμμών Μεταφοράς.....	20
1.3.2	Παράσταση Εγκάρσιων Πυκνωτών και Αυτεπαγωγών.....	21
1.3.3	Παράσταση Μετασχηματιστών.....	21
1.3.4	Παράσταση Γεννητριών.....	22
1.3.5	Παράσταση φορτίων.....	23
1.4	Εξισώσεις Ροών Φορτίου.....	24
1.5	Θεμελίωση του προβλήματος Ροών Φορτίου.....	26
1.6	Επιλογή Μεταβλητών και Περιορισμοί.....	28
1.7	Ψηφιακές Μέθοδοι Επίλυσης για τη Ροή Φορτίου.....	29

2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ InterPSS

2.1	Γραφικός Επεξεργαστής.....	31
2.1.1	Βασικές συνιστώσες του γραφικού επεξεργαστή.....	31
2.1.2	Χώρος εργασίας (Workspace).....	33
2.1.3	Δημιουργία ενός έργου.....	34
2.1.4	Τροποποίηση του διαγράμματος.....	37
2.1.5	Το μοντέλο δικτύου.....	38
2.1.5.1	Το αντικείμενο δικτύου (network).....	38
2.1.5.2	Το αντικείμενο ζυγού (Bus).....	40
2.1.5.3	Το αντικείμενο κλάδου (branch).....	42
2.1.6	Εκτέλεση ανάλυσης.....	44
2.1.7	Εκτέλεση προσαρμοσμένου κώδικα.....	46
2.1.8	Αποτελέσματα ανάλυσης/προσομοίωσης.....	47

2.1.8.1 Κείμενο πάνω στο διάγραμμα.....	47
2.1.8.2 Σχεδίαση καμπυλών από τα αποτελέσματα της προσομοίωση μεταβατικής ευστάθειας.....	48
2.1.8.3 Δημιουργία αναφορών.....	50
2.1.9 Εισαγωγή υπάρχοντος έργου.....	51
2.1.9.1 Εισαγωγή έργου.....	51
2.1.9.2 Εισαγωγή προσαρμοσμένου αρχείου δεδομένων.....	51
2.1.10 Λήψη βοήθειας.....	52
2.1.11 Debug – Διόρθωση σφαλμάτων.....	53
2.2 Μελέτη Ανάλυσης Ροής Φορτίου.....	54
2.2.1 Δημιουργία έργου ροής φορτίου.....	54
2.2.1.1 Εισαγωγή δεδομένων δικτύου/έργου.....	54
2.2.1.2 Δεδομένα ζυγού.....	55
2.2.1.3 Δεδομένα κλάδου.....	57
2.2.2 Εκτέλεση ανάλυσης ροής φορτίου.....	59
2.2.3 Εμφάνιση σύνοψης ροής φορτίου.....	60
2.2.4 Εμφάνιση σχολίων στα αποτελέσματα της ροής φορτίου.....	62
2.2.5 Αναφορές ροής φορτίου.....	62
2.3 Μελέτη Ανάλυσης Βραχυκυκλώματος.....	63
2.3.1 Δημιουργία ενός έργου βραχυκυκλώματος.....	64
2.3.2 Εκτέλεση της ανάλυσης βραχυκυκλώματος.....	68
2.4 Μελέτη Ανάλυσης Μεταβατικής Ευστάθειας.....	69
2.4.1 Δημιουργία ενός έργου προσομοίωσης μεταβατικής ευστάθειας.....	70
2.4.2 Εκτέλεση της ανάλυσης ευστάθειας μετάβασης.....	77
 3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	
ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΗΕ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	
3.1 Προσομοίωση του Ηλεκτρικού Δικτύου της Κρήτης Σενάριο 1.....	79
3.2 Προσομοίωση του Ηλεκτρικού Δικτύου της Κρήτης Σενάριο 2.....	90
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	102

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία αποτελεί τη Διπλωματική μου εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στη Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Αντικείμενο της εργασίας είναι η προσομοίωση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με το πρόγραμμα InterPSS.

Η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2013-2014 υπό την επίβλεψη του κ. Φώτιου Κανέλλου, Λέκτορα της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, στον οποίο και οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την ανάθεσή της, τη βοήθεια και την καθοδήγησή του κατά την εκπόνησή της. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τους γονείς και την αδερφή μου, όπως, επίσης και τους φίλους μου για την ψυχολογική τους ενθάρρυνση και την αμέριστη υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια της φοιτητικής μου σταδιοδρομίας.

Χανιά. Σεπτέμβριος 2014

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την προσομοίωση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με το πρόγραμμα InterPSS και χωρίζεται σε 3 κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα περιγράφονται συνοπτικά τα μοντέλα των στοιχείων από τα οποία αποτελείται ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτά χρησιμοποιούνται σε μελέτες ροών φορτίου, οι εξισώσεις ροών φορτίου και οι ψηφιακές μέθοδοι επίλυσής των.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα δούμε αναλυτικά το πρόγραμμα InterPSS και τη λειτουργία του. Συγκεκριμένα θα αναλυθεί ο γραφικός επεξεργαστής και τα προγράμματα ανάλυσης ροής φορτίου, βραχυκυκλώματος,- και μεταβατικής ευστάθειας.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας του γεωγραφικού διαμερίσματος της Κρήτης και προσομοιώνονται δύο σενάρια. Το 1^ο σενάριο συνίσταται στην υπάρχουσα κατάσταση ενώ στο 2^ο σενάριο η αιολική ισχύς που φθάνει στους ζυγούς πολλαπλασιάζεται αυξάνεται με τον πολλαπλασιασμό της αιολικής παραγωγής με το συντελεστή 5.4.

Abstract

This thesis studies the use InterPSS software for simulating the load flow in electric power systems. The thesis comprises three chapters.

The first chapter is about load flow analysis. It outlines the equivalent models of the elements that make up a power system. Subsequently, it presents a setup of the load flow equations and the electrical quantities involved therein, i.e. voltages, angles and power.

The second chapter discusses the components and functions of InterPSS software its graphics processor and- the analysis of load flow, short circuit, and transient stability.

The third chapter describes the power system of the geographical region of Crete and simulates it using two scenarios. The first scenario corresponds to the present situation and the second scenario with the only modification being that the wind power available on the buses is increased by multiplying by the factor 5.4.

Chapter 4 presents an overview and conclusions.

Chania. September, 2014

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

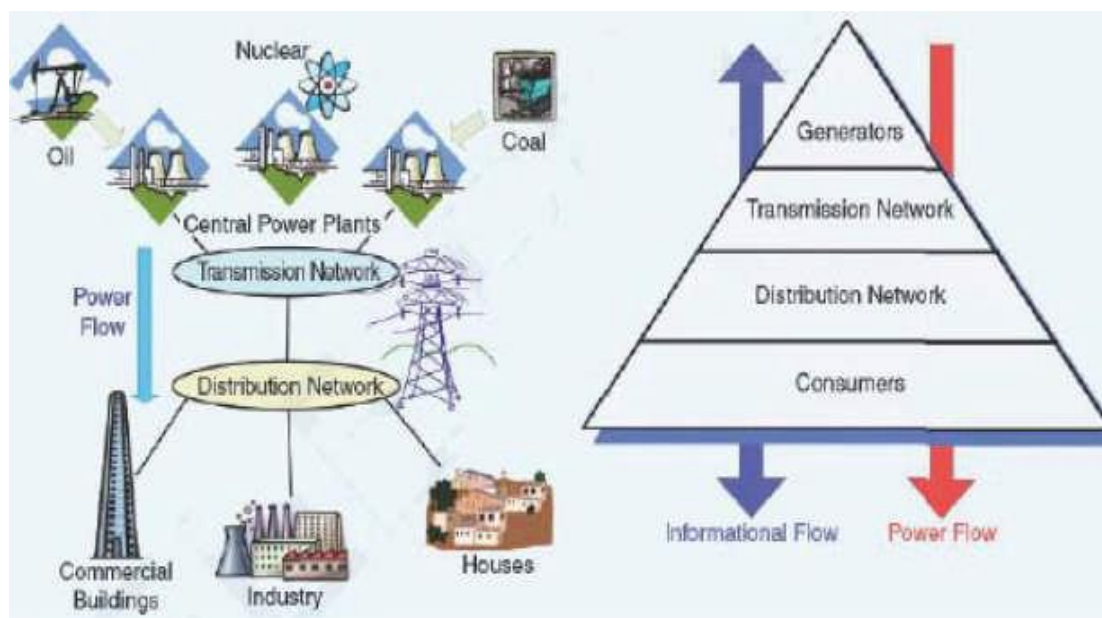
ΜΕΛΕΤΗ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ

1.1 Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

«Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας» (ΣΗΕ) ονομάζεται το σύνολο των εγκαταστάσεων και των μέσων που χρησιμοποιούμε για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας σε εξυπηρετούμενες περιοχές κατανάλωσης και του οποίου κύριος στόχος είναι να προμηθεύει την πραγματική και άεργο ισχύ, τις οποίες ζητούν τα διάφορα συνδεδεμένα φορτία στο σύστημα.

1.1.1 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από τους διάφορους σταθμούς παραγωγής, αποστέλλεται στο σύστημα μεταφοράς και κατόπιν στα τοπικά δίκτυα διανομής και τους καταναλωτές. Αυτό το μοντέλο παραγωγής ορίζεται ως *Συγκεντρωμένη Παραγωγή*.

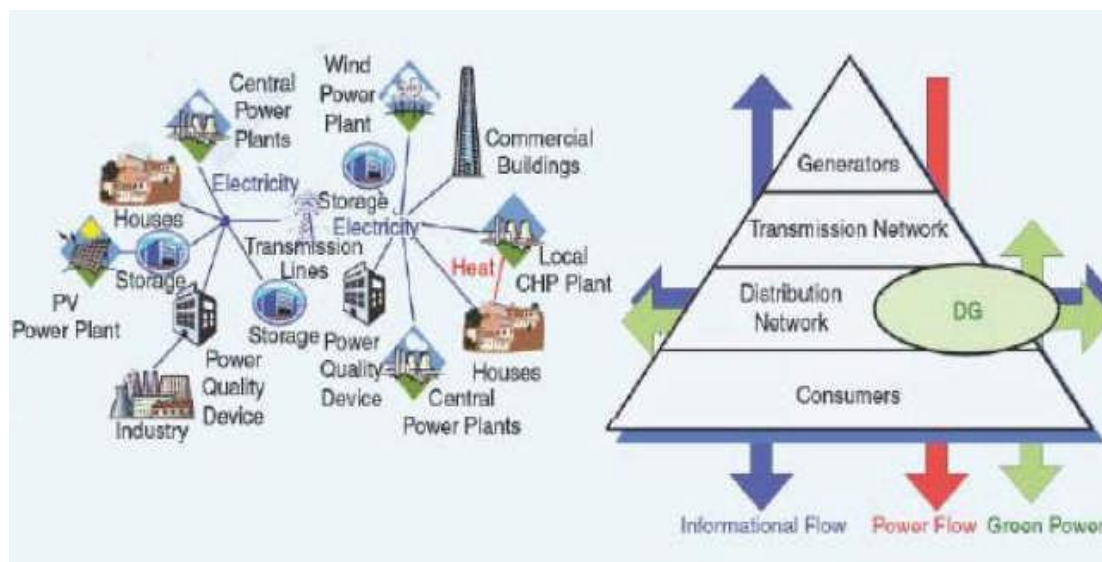


Εικόνα 1 : Συγκεντρωμένη Παραγωγή

Εναλλακτικά, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνεται από πολλές μονάδες παραγωγής, οι οποίες συνήθως είναι εγκατεστημένες κοντά στα σημεία

κατανάλωσης (φορτία). Αυτό το μοντέλο ορίζεται ως *Διεσπαρμένη Παραγωγή* (*Distributed Generation*).

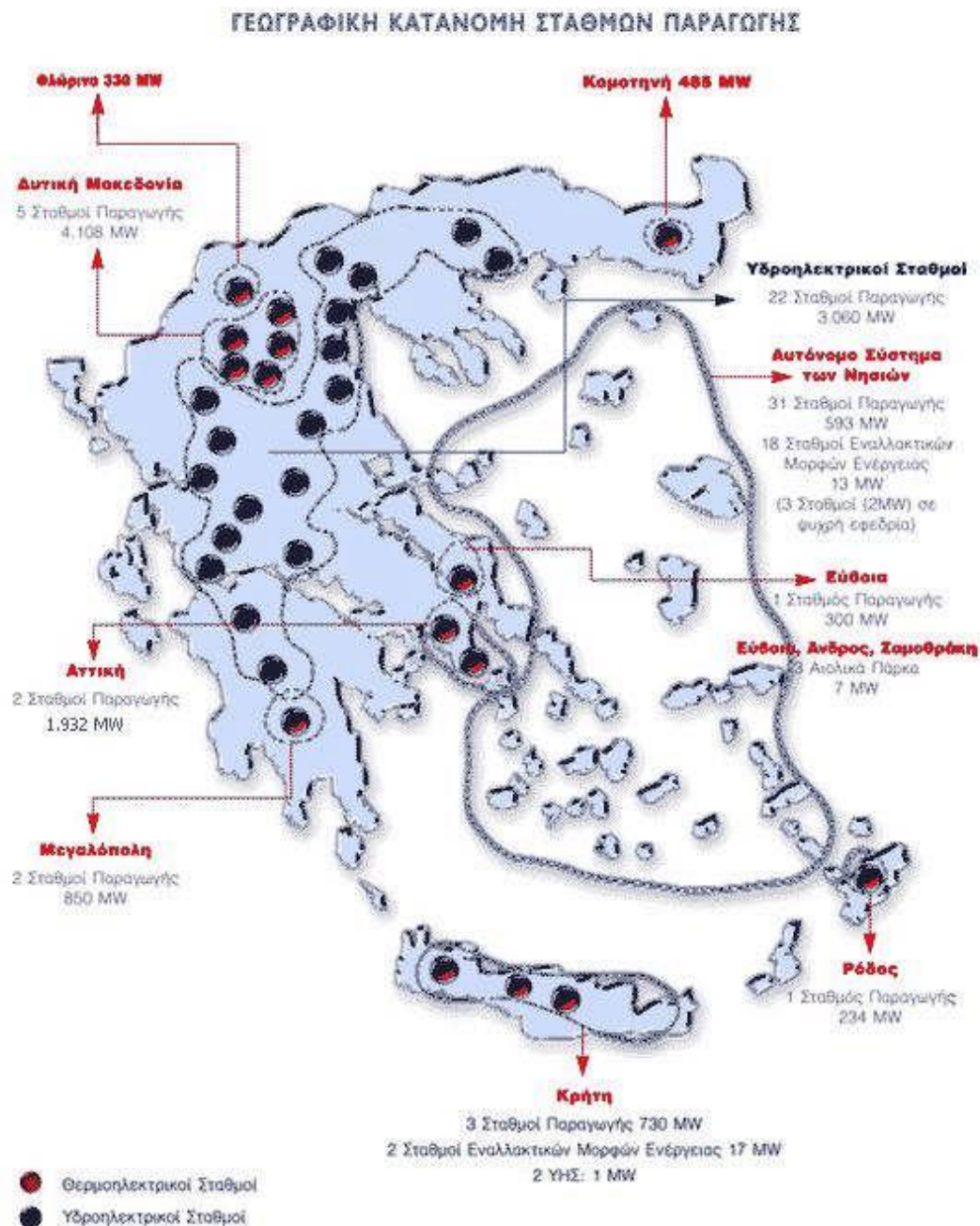
Συνήθως πρόκειται για μονάδες παραγωγής μικρής κλίμακας, έως μερικές εκατοντάδες kW και σύμφωνα με τους ορισμούς της *Διεσπαρμένης Παραγωγής* στη βιβλιογραφία μπορεί ναφτάσουν και τα 100MW. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για την ανάπτυξη και την εξέλιξη της *Διεσπαρμένης Παραγωγής*. Μια σημαντική αιτία είναι η ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μικρή κλίμακα, οι περιορισμοί στην κατασκευή νέων γραμμών μεταφοράς αλλά και η μείωση των απωλειών μεταφοράς καθώς η παραγωγή γίνεται σε τοπικό επίπεδο.



Εικόνα 2: Διεσπαρμένη Παραγωγή

Επιπλέον, η *Διεσπαρμένη Παραγωγή* προωθεί την ανάπτυξη ενεργειακών αποδοτικότερων και οικολογικότερων μονάδων παραγωγή. Βαρύνοντα ρόλο έχει και η διαρκής απαίτηση των καταναλωτών για μια οικονομικότερη και πιο αξιόπιστη παροχή ενέργειας καθώς η απελευθέρωση της αγοράς στην ηλεκτρική ενέργεια δίνει τη δυνατότητα σε όλο και περισσότερους μικρούς παραγωγούς να εγκαθιστούν μονάδες παραγωγής στη μεσαία και χαμηλή τάση. Άλλοι λόγοι ανάπτυξής της είναι η εκμετάλλευση συνδυασμένης παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού σε τοπικό επίπεδο όπου θα βοηθήσουν σημαντικά τις οικιακές εφαρμογές και τις βιομηχανικές

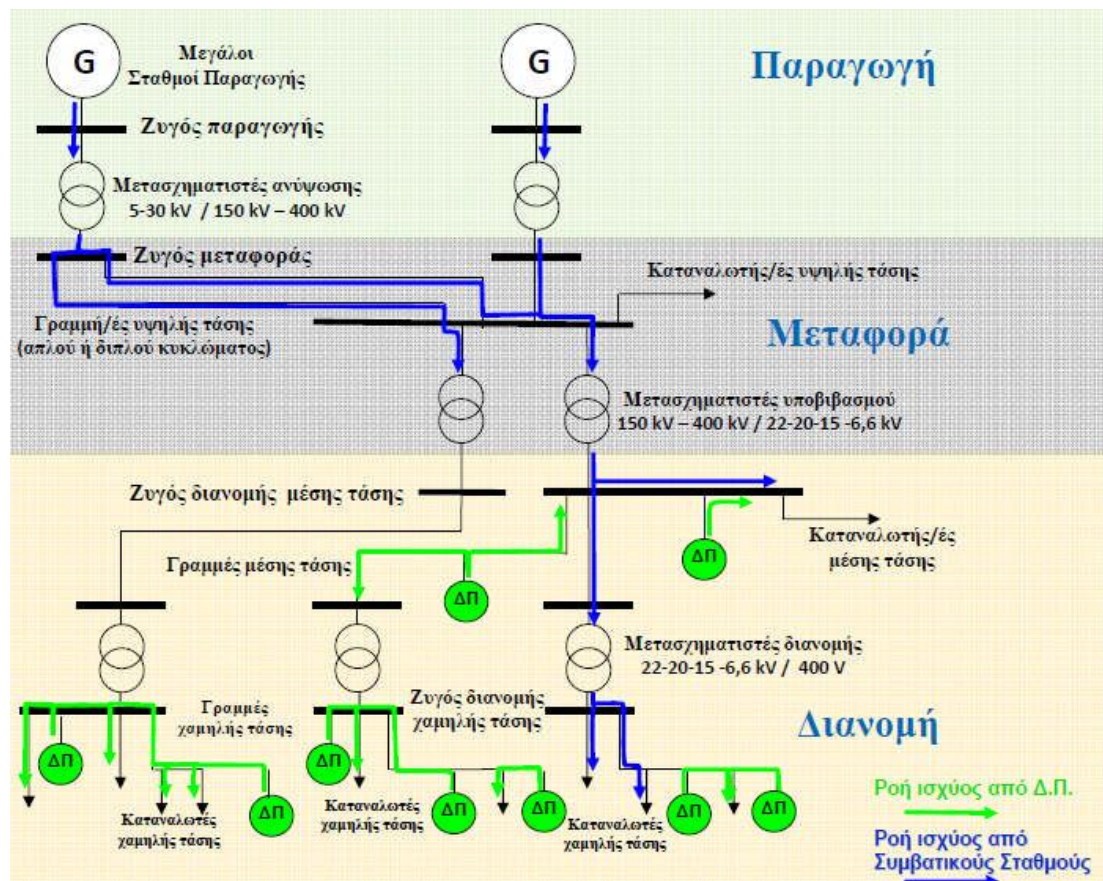
διεργασίες καθώς και η ευκολία εύρεσης θέσεων για την εγκατάσταση των διεσπαρμένων μονάδων παραγωγής.



Εικόνα 3: Γεωγραφική Κατανομή Σταθμών Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας Ελλάδος [4. ΑΔΜΗΕ. (2013)]

Η *Διεσπαρμένη Παραγωγή* παρουσιάζει όμως και ορισμένα προβλήματα. Αρχικά, τα ηλεκτρικά δίκτυα σχεδιάστηκαν ώστε να μεταφέρουν την ενέργεια με

μονοκατευθυντική ροή στους καταναλωτές δια μέσου των δικτύων διανομής. Η παραγωγή ενέργειας από διεσπαρμένες πηγές μπορεί να αλλάξει την κατεύθυνση ροής της ισχύος στα δίκτυα διανομής επηρεάζοντας έτσι συνολικά τη λειτουργία τους. Καθίσταται σαφές, ότι η τροποποίηση της προστασίας του δικτύου θεωρείται αναγκαία, καθώς επίσης αυξάνονται αισθητά οι απαιτήσεις για τοπική ρύθμιση της τάσης και σε ορισμένες περιπτώσεις της παραγόμενης ισχύος. Ακόμη, σήμερα δεν υπάρχει κεντρικός σχεδιασμός, ανάπτυξη και λειτουργία της *Διεσπαρμένης Παραγωγής* και εκτός αυτού, το αρχικό οικονομικό κόστος ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος είναι υψηλό (αναμένεται όμως να μειωθεί με την εξάπλωσή της).



Εικόνα 4: Δομή Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας με *Διεσπαρμένη Παραγωγή*[2. Κανέλλος,Φ. (2012)]

Επιπλέον, μεγάλη είναι η ανάγκη για ριζικές αλλαγές τεχνολογικού και ρυθμιστικού περιεχομένου. Μερικές από αυτές, είναι οι παρακάτω:

1. η αποζημίωση των βοηθητικών υπηρεσιών από μονάδες *Διεσπαρμένης Παραγωγής*
2. η οργάνωσή μονάδων *Διεσπαρμένης Παραγωγής* σε μικροδίκτυα (Microgrids)

3. η διαχείριση τους ως επιλέξιμους παραγωγούς στα πλαίσια της απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας
4. θέματα σχεδιασμού τεχνικών απαιτήσεων
5. θέματα ιδιοκτησίας
6. ενίσχυση και επέκταση της υποδομής παροχής φυσικού αερίου για εξυπηρέτηση των απαιτήσεων λόγω μεγάλης Διεσπαρμένης Παραγωγής

Οι τεχνολογίες Διεσπαρμένης Παραγωγής μπορούν να διαχωριστούν σε συμβατικές και μη συμβατικές.

Τεχνολογίες παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας :

Μονάδες συμβατικών καυσίμων:

1. Μονάδες συμπαραγωγής ισχύος και θερμότητας
2. Μηχανές εσωτερικής καύσης
3. Μικροτουρμπίνες και οι κυψέλες καυσίμου(σχετικά νέα τεχνολογία)

Μονάδες μη συμβατικών καυσίμων:

1. Ανεμογεννήτριες
2. Φωτοβολταϊκά
3. Μικρά υδροηλεκτρικά
4. Άλλες ΑΠΕ

Συστήματα αποθήκευσης:

1. Μπαταρίες
2. Τεχνολογία υδρογόνου

3. Σφόνδυλοι (flywheels)
4. Υπερ – πυκνωτές (ultracapacitors)

1.1.2 Μεταφορά Ηλεκτρικής Ενέργειας



Εικόνα 5: Ελληνικό Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

[5. ΑΔΜΗΕ. (2012)]

Ο όρος *μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας* σημαίνει το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου των εγκαταστάσεων και μέσων που χρησιμοποιούνται για

την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από την έξοδο των σταθμών παραγωγής μέχρι τους υποσταθμούς, οι οποίοι τροφοδοτούν τα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης, από τα οποία ξεκινούν τα δίκτυα διανομής. Το σύστημα μεταφοράς περιλαμβάνει:

- Τα δίκτυα των γραμμών υψηλής τάσεως (στην Ελλάδα κυρίως 150kV και 400KV)



Εικόνα 6: Γραμμή Μεταφοράς

- Τα κέντρα υπερ-υψηλής τάσης όπου γίνεται προσαρμογή μεταξύ των διαφόρων επιπέδων τάσεων που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο μεταφοράς (150 kV και 400 kV).



Εικόνα 7: Διακόπτες Ισχύος

➤ Τους υποσταθμούς όπου συνδέονται οι γραμμές υψηλής τάσης 150kV και διοχετεύεται ενέργεια προς το σύστημα διανομής.



Εικόνα 8: Υποσταθμός Υψηλής Τάσης

Το ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς αποτελείται από γραμμές των 400 kV και 150kV, οι οποίες μεταφέρουν ηλεκτρισμό από τα κέντρα παραγωγής στα κέντρα κατανάλωσης και επίσης συνδέουν τη χώρα με τις γειτονικές χώρες (κυρίως από το ενεργειακό κέντρο παραγωγής της Δυτικής Μακεδονίας προς τα νότια). Υπάρχουν επίσης υποβρύχια καλώδια που συνδέουν την Άνδρο και τα νησιά της Δυτικής Ελλάδας, Κέρκυρα, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθο με το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς, καθώς και μία υποβρύχια διασύνδεση της Κέρκυρας με την Ηγουμενίτσα στα 66 kV.

Το 2012 το διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς αποτελούνταν από 11.303 χλμ. γραμμών μεταφοράς, όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα. Επίσης, στους 291 Υποσταθμούς του Διασυνδεδεμένου Συστήματος Μεταφοράς ήταν εγκατεστημένοι 619 Μετασχηματιστές με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 50.749 MVA. [4. ΑΔΜΗΕ. (2012)].

	400KV	Σ . Ρ . (D. C.) 400Kv	150KV	66KV	ΣΥΝΟΛΟ
ΕΝΑΕΡΙΕΣ	2268	107	8127	39	10901
ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ	0	160	140	15	315
ΥΠΟΓΕΙΕΣ	4	0	82	1	87
ΣΥΝΟΛΟ	2632	267	8349	55	11303

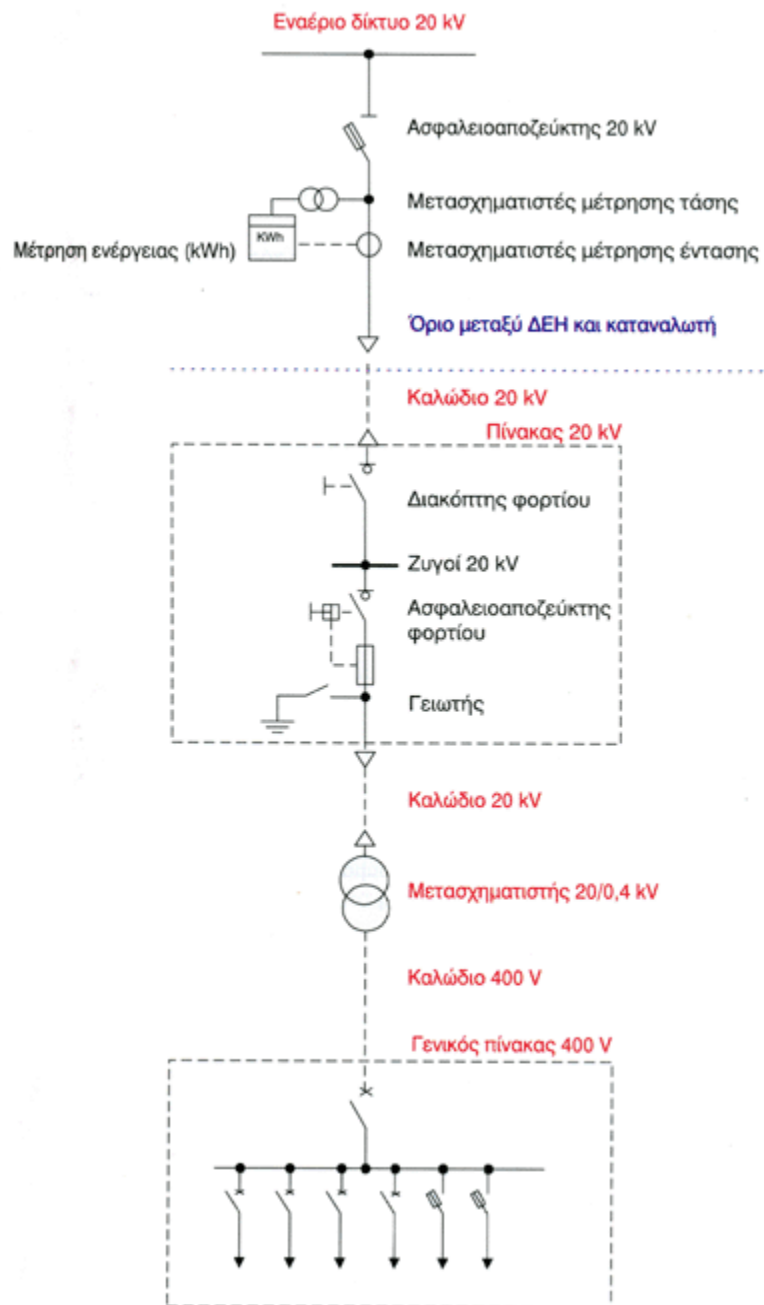
Εικόνα 9: Γραμμές Μεταφοράς (χλμ. όδευσης)[4. ΑΔΜΗΕ. (2012)]

1.1.3 Διανομή ηλεκτρικής ενέργειας

Η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει το σύνολο των διαδικασιών λειτουργίας και ελέγχου με τις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές. Τα δίκτυα διανομής περιλαμβάνουν:

1. Τις γραμμές διανομής μέσα στους οποίους φτάνει στους καταναλωτές.
2. Τους υποσταθμούς καταναλωτή με σκοπό τον υποβιβασμό της τάσης από μέση σε χαμηλή.
3. Το σύστημα διανομής χαμηλής τάσης(400/230V).

Ο υποσταθμός καταναλωτή μέσης τάσης περιλαμβάνει το σύνολο του εξοπλισμού που έχει σαν στόχο τον ασφαλή υποβιβασμό της μέσης τάσης (20 kV) σε χαμηλή τάση (400V). Χαμηλή τάση χαρακτηρίζεται η τάση που είναι μικρότερη από 1000V. Μέση τάση χαρακτηρίζεται η τάση που είναι μεγαλύτερη από 1000V και μικρότερη από 30.000V. [18. Ti-soft. (2012)] Στην Ελλάδα, αλλά και σε όλη την Ευρώπη, η χαμηλή τάση που χρησιμοποιείται είναι η τάση 400V/230V.



Εικόνα 10: Υποσταθμός Καταναλωτή Μέσης Τάσης

[www.ti-soft.com, 2013]

Τα βασικά μέρη ενός υποσταθμού καταναλωτή μέσης τάσης είναι:

➤ **Ο Πίνακας 20 kV**

Στον πίνακα 20 kV έρχεται το καλώδιο από το δίκτυο της ΔΕΗ και αναχωρεί το καλώδιο προς το μετασχηματιστή. Κάθε μετασχηματιστής προστατεύεται με ασφάλειες ή διακόπτη ισχύος με ηλεκτρονόμους προστασίας.

➤ **Ο Μετασχηματιστής 20/0,4 kV**

Ο μετασχηματιστής υποβιβάζει την τάση των 20 kV σε τάση διανομής 400 V για τα φορτία του καταναλωτή.

➤ **Ο Γενικός Πίνακας 400 V**

Στο γενικό πίνακα 400 V έρχεται το ρεύμα χαμηλής τάσης με τη βοήθεια καλωδίων. Στην άφιξη του πίνακα υπάρχει ένας διακόπτης ισχύος με θερμική και μαγνητική προστασία. Οι αναχωρήσεις τροφοδοτούν τους πίνακες διανομής 400/230 V που υπάρχουν στην εγκατάσταση του καταναλωτή.

Το ελληνικό δίκτυο ηλεκτρισμού περιλαμβάνει 108.746 χλμ. Δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.), 122.470 χλμ. Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (Χ.Τ.), 157.652 Υποσταθμούς Μέσης Τάσης προς Χαμηλή Τάση (Υ/Σ ΜΤ/ΧΤ), 11.300 χλμ. Δίκτυο Υψηλής Τάσης (Υ.Τ.), 225 Υποσταθμούς Υψηλής Τάσης προς Μέση Τάση (Υ/Σ ΥΤ/ΜΤ), εξυπηρετεί 7.365.544 πελάτες με κατανάλωση 45.672 GWh. [9. ΔΕΔΔΗΕ. 2013]

1.2 Ροή Φορτίου

Η ροή ισχύος ή φορτίου στο δίκτυο για την τροφοδότηση της ζήτησης, χαρακτηρίζεται κατά κύριο λόγο τη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας του ΣΗΕ. Στα δίκτυα διανομής που λειτουργούν κατά κύριο λόγο ακτινικά, η ροή ισχύος υπολογίζεται εύκολα και δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα. Ωστόσο, στα βροχοειδή δίκτυα μεταφοράς η κατανομή των ροών ισχύος έχει πολύ μεγάλη τεχνική και οικονομική σημασία και είναι ένα αρκετά δύσκολο τεχνικό πρόβλημα.

Το πρόβλημα της ροής φορτίου συνίσταται στον υπολογισμό των τάσεων κατά μέτρο και γωνία σε όλους τους ζυγούς καθώς και των ροών ενεργού και άεργου ισχύος σε όλες τις γραμμές ενός ΣΗΕ για ένα δεδομένο σημείο λειτουργίας, το οποίο ορίζεται από τις καταναλώσεις των φορτίων, την

παραγωγή ενεργού ισχύος και τις τάσεις των γεννητριών. Οι μελέτες ροών φορτίου είναι πολύ χρήσιμες για διάφορους λόγους. Συγκεκριμένα είναι απαραίτητες για:

- τον έλεγχο των τάσεων και ροών, ώστε να διατηρούνται εντός προκαθορισμένων ορίων λειτουργίας.
- τη μελέτη των επιπτώσεων ενδεχομένων διαταραχών (π.χ. απώλεια γραμμής, γεννήτριας, κλπ.).
- την επιλογή της πλέον οικονομικής λειτουργίας των γεννητριών του συστήματος. Επειδή κατά τη διάρκεια της ημέρας τα φορτία διαρκώς μεταβάλλονται απαιτείται συχνά ο υπολογισμός εκ νέου της παραγόμενης ισχύος κάθε γεννήτριας, ώστε τα φορτία να τροφοδοτούνται με τον πιο οικονομικό τρόπο.
- μελέτες ανάπτυξης και επέκτασης του συστήματος παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κατανοούμε ότι η ανάλυση ροών φορτίου είναι «η αρχή» για όλες τις επιμέρους μελέτες των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

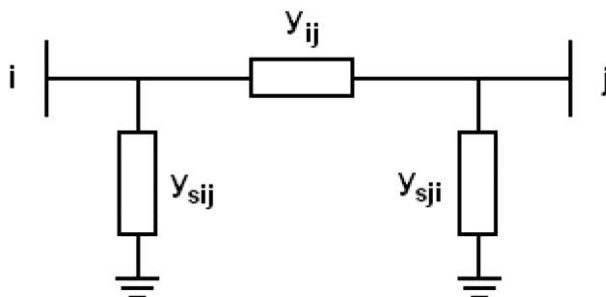
1.3 Μοντέλα Συνιστωσών ΣΗΕ

Στο σημείο αυτό θα παρουσιάσουμε τα μοντέλα των στοιχείων ενός ΣΗΕ, όπως αυτά χρησιμοποιούνται σε μελέτες ροών φορτίου. Επειδή προϋπόθεση της μελέτης ροών φορτίου είναι η συμμετρική κατάσταση του συστήματος, η ανάλυση βασίζεται στα ισοδύναμα μονοφασικά κυκλώματα, των οποίων οι παράμετροι εκφράζονται σε κοινό ανά μονάδα σύστημα. Τα στοιχεία του συστήματος που θα παρουσιαστούν είναι τα ακόλουθα:

- Γραμμές Μεταφοράς
- Εγκάρσιοι Πυκνωτές και Αυτεπαγωγές
- Μετασχηματιστές
- Γεννήτριες
- Φορτία

1.3.1 Παράσταση Γραμμών Μεταφοράς

Η κάθε γραμμή μεταφοράς του ΣΗΕ μοντελοποιείται στις μελέτες ροών φορτίου με το ισοδύναμο Π μοντέλο (Σχήμα 1.1.)



Εικόνα 11: Ονομαστικό ισοδύναμο κύκλωμα Π γραμμής μεταφοράς

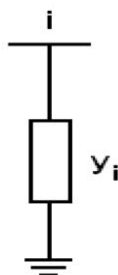
Στην εικόνα 11, y_{ij} είναι η αγωγιμότητα σειράς της γραμμής μεταξύ των i, j ζυγών, ενώ y_{sij} , y_{sji} είναι οι εγκάρσιες αγωγιμότητες. Τις αγωγιμότητες αυτές μπορούμε να τις γράψουμε χωρίζοντας πραγματικά και φανταστικά μέρη ως εξής:

$$\begin{aligned} y_{ij} &= g_{ij} + jb_{ij} \\ y_{sij} &= g_{sij} + jb_{sij} \end{aligned} \quad (1.1)$$

$$y_{sji} = g_{sji} + jb_{sji}$$

1.3.2 Παράσταση Εγκάρσιων Πυκνωτών και Αυτεπαγωγών

Οι εγκάρσιοι πυκνωτές και αυτεπαγωγές απεικονίζονται με μια απλή αγωγιμότητα y_i (Εικόνα 12) :



Εικόνα 12: Παράσταση εγκάρσιου στοιχείου

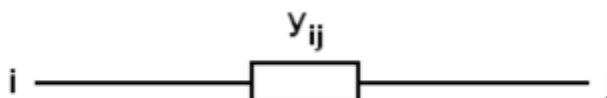
Η αγωγιμότητα y_i είναι της μορφής:

$$y_i = j b_i \quad (1.2)$$

όπου η παράμετρος b_i είναι θετική για πυκνωτή και αρνητική για αυτεπαγωγή.

1.3.3 Παράσταση Μετασχηματιστών

Οι μετασχηματιστές παριστάνονται τις περισσότερες φορές στις μελέτες ροών φορτίου με το απλοποιημένο ισοδύναμο κύκλωματης εικόνας 13 χωρίς την αγωγιμότητα μαγνητίσεως. Οπότε, ο μετασχηματιστής παριστάνεται με μια αγωγιμότητα σειράς.

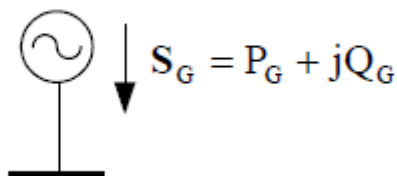


Εικόνα 13: Παράσταση Μ/Σ σε ονομαστική σχέση μετασχηματισμού

Η εικόνα 13 αναφέρεται σε ένα μετασχηματιστή με ονομαστική σχέση μετασχηματισμού, δηλαδή τέτοια που να αντιστοιχεί στο λόγο των βασικών τάσεων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχουν μετασχηματιστές ρύθμισης, η σχέση μετασχηματισμού των οποίων διαφέρει από το λόγο των ονομαστικών τάσεων. Στους μετασχηματιστές αυτούς πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μεταβλητή σχέση μετασχηματισμού ανάγοντας τις ανά μονάδα αντιστάσεις στο ένα από τα δύο τυλίγματά του.

1.3.4 Παράσταση Γεννητριών

Η κάθε γεννήτρια του ΣΗΕ στις μελέτες ροών φορτίου παριστάνεται όπως στην εικόνα 14.



Εικόνα 14: Παράσταση γεννήτριας ΣΗΕ

Όπου:

S_G είναι η φαινόμενη παραγόμενη ισχύς που ορίζεται ως:

$$S_G = P_G + jQ_G \quad (1.3)$$

P_G η παραγόμενη ενεργός ισχύς και Q_G η παραγόμενη άεργος ισχύς.

Δύο διατάξεις ελέγχου ρυθμίζουν διαρκώς τη λειτουργία των σύγχρονων γεννητριών :

α) ο αυτόματος ρυθμιστής τάσεως (APT), ο οποίος διατηρεί σταθερό το μέτρο της τερματικής τάσης της γεννήτριας ρυθμίζοντας κατάλληλα το ρεύμα διεγέρσεως

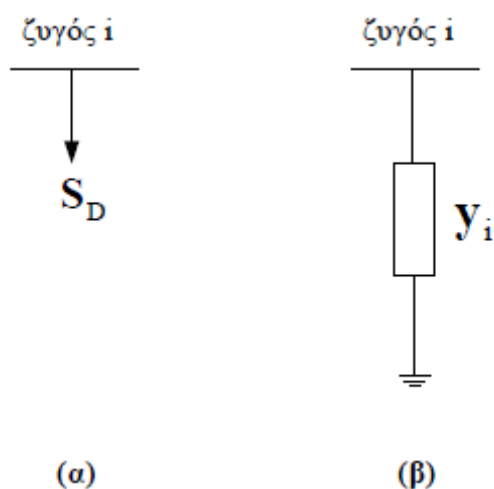
β) ο ρυθμιστής στροφών, οποίος διατηρεί την ενεργό παραγωγή κοντά στην τιμή αναφοράς της προσαρμόζοντας την παραγόμενη μηχανική ισχύ της κινητήριας μηχανής.

Στις μελέτες ροής φορτίου είναι σύνηθες οι σύγχρονες γεννήτριες να παριστάνονται με σταθερή κατά μέτρο τερματική τάση και σταθερή παραγωγή πραγματικής ισχύος (ζυγοί PV).

1.3.5 Παράσταση Φορτίων

Τα φορτία που περιλαμβάνονται στις μελέτες ροών φορτίου ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες:

- Φορτία σταθερής ενεργού και άεργου ισχύος (Εικόνα 15α).
- Φορτία σταθερής σύνθετης αγωγιμότητας (Εικόνα 15β).



Εικόνα 15: Παράσταση φορτίων

Στο κύκλωμα της Εικόνας 15 (α), S_D είναι η μιγαδική ισχύς φορτίου (φαινόμενη ισχύς του φορτίου) που ορίζεται ως :

$$S_D = P_D + jQ_D \quad (1.4)$$

Όπου P_D είναι η ενεργός ισχύς και Q_D η άεργος ισχύς του φορτίου.

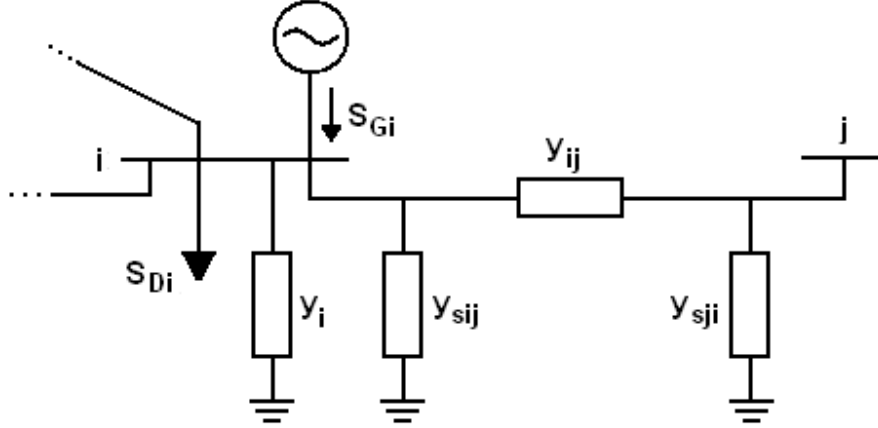
Το φορτίο σταθερής αγωγιμότητας μοντελοποιείται ως εξής:

$$y_i = S_i + j \cdot b_i \quad (1.5)$$

Όπου, S_i είναι το πραγματικό και $j \cdot b_i$ το φανταστικό μέρος της σύνθετης αγωγιμότητας.

1.4 Εξισώσεις Ροών Φορτίου

Οι εξισώσεις ροών φορτίου μπορούν να καταστρωθούν με τη βοήθεια της εικόνας 16 όπου απεικονίζεται ένας γενικευμένος ζυγός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 16: Γενικευμένος ζυγός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Η γραμμή μεταξύ των ζυγών i και j παριστάνεται με το ισοδύναμο κύκλωμα Π . Γενικά μπορεί να είναι συνδεδεμένες στο ζυγό i μία ή περισσότερες γραμμές ή και μετασχηματιστές. Στο ζυγό i είναι επίσης συνδεδεμένη μια εγκάρσια σύνθετη αγωγιμότητα y_i , που παριστάνει οποιοδήποτε συνδυασμό πυκνωτών, αυτεπαγωγών ή φορτίων με σταθερή αγωγιμότητα. Η γεννήτρια που είναι συνδεδεμένη στο ζυγό i εγχέει ρεύμα I_{Gi} , ενώ το αντίστοιχο φορτίο S_{Di} απορροφά ρεύμα I_{Di} . Η τάση στο ζυγό i συμβολίζεται με V_i , ενώ η τάση στο ζυγό j με V_j .

Το ρεύμα I_{ij} που ρέει στη γραμμή από το ζυγό i στο ζυγό j ισούται με:

$$I_{ij} = (y_{sij} + y_{ij}) \cdot V_i - y_{ij} \cdot V_j \quad (1.6)$$

Το ρεύμα στην εγκάρσια αγωγιμότητα y_i ισούται με $y_i \cdot V_i$.

Εφαρμόζοντας το νόμο ρευμάτων Kirchoff στο ζυγό προκύπτει:

$$I_i = I_{Gi} - I_{Di} = y_i \cdot V_i + \sum_{j \in A(i)} I_{ij}, \quad (1.7)$$

όπου $A(i)$ είναι το σύνολο που περιέχει τους αριθμούς των ζυγών που είναι διασυνδεδεμένοι με τον ζυγό i .

Αντικαθιστώντας την εξίσωση (1.6) στην (1.7) προκύπτει:

$$I_i = \left[y_i + \sum_{j \in A(i)} (y_{sij} + y_{ij}) \right] \cdot V_i - \sum_{j \in A(i)} y_{ij} \cdot V_j \quad (1.8)$$

Ορίζοντας τις παραμέτρους:

$$Y_{ii} = y_i + \sum_{j \in A(i)} (y_{sij} + y_{ij}) \quad (1.9)$$

$$Y_{ij} = -y_{ij} \quad (1.10)$$

η εξίσωση (1.8) γράφεται ως εξής:

$$I_i = Y_{ii} \cdot V_i + \sum_{j \in A(i)} Y_{ij} \cdot V_j \quad (1.11)$$

Το σύστημα των εξισώσεων ρευμάτων-τάσεων (1.11) γράφεται σε μητρική μορφή:

$$[\bar{I}] = [Y] \cdot [\bar{V}], \quad (1.12)$$

όπου:

$[\bar{I}], [\bar{V}]$ είναι τα διανύσματα ρευμάτων και τάσεων όλων των ζυγών n , διαστάσεως $n \times 1$,

$[Y]$ είναι η μήτρα σύνθετων αγωγιμοτήτων ζυγών του συστήματος, διαστάσεως $n \times n$.

Τα στοιχεία y_{ii} και y_{ij} της εξίσωσης (1.11) αποτελούν τα διαγώνια και μη διαγώνια στοιχεία τις μήτρας σύνθετων αγωγιμοτήτων, αντίστοιχα.

Στις μελέτες ροής φορτίου, οι γνωστές ή ζητούμενες ποσότητες σε κάθε ζυγό είναι οι μιγαδικές ισχύες παραγωγής S_{Gi} και φορτίσεων S_{Di} . οι οποίες δίνονται στο ανά μονάδα σύστημα από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} S_{Gi} &= V_i \cdot I_{Gi}^* \\ S_{Di} &= V_i \cdot I_{Di}^* \end{aligned} \quad (1.13)$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (1.11) και (1.13) παίρνουμε:

$$S_i = S_{Gi} - S_{Di} = Y_{ii}^* \cdot V_i^2 + V_i \cdot \sum_{j \in A(i)} Y_{ij}^* \cdot V_j \quad (1.14)$$

Η εξίσωση (1.14) εκφράζει το ισοζύγιο ισχύος στον ζυγό i . Για ένα σύστημα n ζυγών, μπορούν να γραφούν n εξισώσεις του τύπου (1.14). Οι n αυτές εξισώσεις αποτελούν τις μιγαδικές εξισώσεις ροής φορτίου.

Εν συνεχεία, χρησιμοποιούμε τον συμβολισμό:

$$\begin{aligned}\bar{V}_i &= V_i \cdot e^{j\delta_i} \\ Y_{ij} &= G_{ij} + jB_{ij}\end{aligned}\quad (1.15)$$

Αντικαθιστώντας τις αγωγιμότητες και τις τάσεις από την (1.15) στην εξίσωση (1.14) και ξεχωρίζοντας πραγματικά και φανταστικά μέρη, παίρνουμε τις εξισώσεις ροής φορτίου σε πραγματική μορφή:

$$P_i = P_{Gi} - P_{Di} = V_i^2 \cdot G_{ii} + V_i \cdot \sum_{j \in A(i)} V_j \cdot [G_{ij} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j)] \quad (1.16)$$

$$Q_i = Q_{Gi} - Q_{Di} = -V_i^2 \cdot B_{ii} + V_i \cdot \sum_{j \in A(i)} V_j \cdot [G_{ij} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j) - B_{ij} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j)] \quad (1.17)$$

Για ένα σύστημα n ζυγών υπάρχουν n εξισώσεις ενεργού και άεργου ισχύος της μορφής (1.16) και (1.17) αντίστοιχα. Οι $2n$ αυτές εξισώσεις αποτελούν τις εξισώσεις ροής φορτίου. Ας σημειωθεί ότι η μορφή (1.16) - (1.17) δεν είναι η μοναδική, αφού αντί για την πολική μορφή των τάσεων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η καρτεσιανή, και αντιστρόφως, αντί για την καρτεσιανή μορφή των αγωγιμοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η πολική.

1.5 Θεμελίωση του προβλήματος Ροών Φορτίου

Θεωρώντας τη γενική περίπτωση ενός ζυγού του συστήματος, με παραγωγή και φορτίο, διακρίνουμε τα παρακάτω 6 μεγέθη:

- **P_G**: παραγόμενη ενεργός ισχύς
- **Q_G**: παραγόμενη άεργος ισχύς
- **P_D**: ενεργός ισχύς φορτίου
- **Q_D**: άεργος ισχύς φορτίου
- **V**: μέτρο τάσης του ζυγού
- **δ**: φασική γωνία τάσης του ζυγού

Αυτά τα ηλεκτρικά αυτά μεγέθη αποτελούν τις μεταβλητές του προβλήματος και είναι 6 ανά ζυγό. Σε ένα σύστημα με n ζυγούς υπάρχουν συνολικά $6n$ μεταβλητές, οι οποίες μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ομάδες:

- Τα φορτία, ή μεταβλητές ζήτησης (**P_D**, **Q_D**) χαρακτηρίζονται και ως μεταβλητές διαταραχής και μπορούν να αποτελέσουν τα στοιχεία ενός διανύσματος

διάστασης $2n$. Αυτές είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές του προβλήματος.

- Οι ισχύες παραγωγής (P_g, Q_g) χαρακτηρίζονται σαν *μεταβλητές ελέγχου* και μπορούν επίσης να θεωρηθούν σαν στοιχεία ενός άλλου διανύσματος $2n \times 1$. Ονομάζονται με αυτό τον τρόπο, γιατί οι μονάδες παραγωγής αποτελούν τα κύρια μέσα ελέγχου της λειτουργίας του συστήματος.

- Οι τάσεις και οι γωνίες των ζυγών ανήκουν στις *μεταβλητές κατάστασης* και είναι εξαρτημένες. Οπότε μπορούν να αποτελέσουν τα στοιχεία ενός διανύσματος κατάστασης, διάστασης $2n$.

Η εγχυόμενη ενεργός και άεργος ισχύς σε ένα ζυγό k ορίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned}P_i &= P_{Gi} - P_{Di} \\Q_i &= Q_{Gi} - Q_{Di} \quad (1.18)\end{aligned}$$

και έχει χαρακτήρα παραγωγής όταν εισέρχεται στο δίκτυο ή χαρακτήρα φορτίου όταν εξέρχεται από αυτό.

Οι ζυγοί ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- Ζυγός Φορτίου (PQ), στον οποίο θεωρούνται γνωστές η ενεργός και άεργος ισχύς

φορτίου και κατά συνέπεια οι εγχύσεις ενεργού και άεργου ισχύος ($P = P_{Di}$, $Q = Q_{Di}$). Ενώ, άγνωστα θεωρούνται το μέτρο και η γωνία τάσης του ζυγού.

- Ζυγός παραγωγής (PV), στον οποίο είναι γνωστά η παραγόμενη ενεργός ισχύς και το

μέτρο της τάσης και άγνωστα η παραγόμενη άεργος ισχύς και η γωνία της τάσης.

- Ζυγός Ταλάντωσης ή Ζυγός Αναφοράς (slackbus), ο οποίος είναι ζυγός παραγωγής

που χρησιμοποιείται για να αντισταθμίζει τις άγνωστες από την αρχή απώλειες του δικτύου και γενικά για άμεση αντιμετώπιση των μεταβολών ισχύος. Στον ζυγό αυτό επιβάλλεται σταθερή τάση κατά μέτρο και γωνία, ενώ προσδιορίζονται η ενεργός και άεργος παραγόμενη ισχύς. Συνήθως, ορίζουμε για το ζυγό ταλάντωσης γωνία τάσης, $\delta=0$.

Γενικά, το πρόβλημα προσδιορισμού των ροών φορτίου για ένα σύστημα με n ζυγούς ανάγεται στην επίλυση n μιγαδικών εξισώσεων (1.14) με n αγνώστους. Οι εξισώσεις αυτές συνδέουν ισχύεις, τάσεις και γωνίες, δηλαδή τις τρεις χαρακτηριστικές μεταβλητές του προβλήματος. Τα ρεύματα δεν μας ενδιαφέρουν ποτέ απευθείας και υπολογίζονται εύκολα αφού βρούμε τις τάσεις και τις γωνίες.

Ωστόσο, το πρόβλημα αυτό παρουσιάζει τις εξής ιδιαιτερότητες:

α) Οι εξισώσεις είναι μιγαδικές: Δεδομένου ότι τα περισσότερα λογισμικά έχουν τη δυνατότητα να επεξεργάζονται μιγαδικούς αριθμούς, η μιγαδική φύση των εξισώσεων ροής φορτίου δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία. Αν δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα, θα πρέπει οι μιγαδικές εξισώσεις (1.14) να μετατραπούν σε πραγματικές εξισώσεις (1.16) - (1.17). Η διαδικασία αυτή ωστόσο διπλασιάζει τον αριθμό των προς επίλυση εξισώσεων σε $2n$.

β) Οι εξισώσεις είναι μη γραμμικές: Ο μη γραμμικός χαρακτήρας των εξισώσεων ροής φορτίου δυσκολεύει κατά κάποιο τρόπο την αναλυτική επίλυση του προβλήματος. Όμως, με τη βοήθεια ισχυρών ψηφιακών υπολογιστών υπάρχει η δυνατότητα να επιλύσουμε το πρόβλημα αριθμητικά με επαναληπτικούς αλγορίθμους.

1.6 Επιλογή Μεταβλητών και Περιορισμοί

Είναι ήδη φανερό ότι ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με ορισμένα φορτία στους ζυγούς του μπορεί να λειτουργήσει με πολλούς τρόπους, ή «καταστάσεις» και να ικανοποιεί τις ζητήσεις. Κύριος στόχος της μελέτης ροών φορτίου αποτελεί η εύρεση της καταλληλότερης - βέλτιστης λύσης, βάσει κάποιων κριτηρίων και υπό ορισμένους περιορισμούς, που πρέπει να τηρηθούν σε κάθε περίπτωση.

Κατά κύριο λόγο είναι γνωστή η ζήτηση φορτίου των ζυγών, δηλαδή οι $2n$ μεταβλητές διαταραχής, που αποτελούν τα βασικά δεδομένα του προβλήματος. Κατόπιν, ορίζονται $2n$ μεταβλητές από τις ισχύς και τις τάσεις των ζυγών παραγωγής, οπότε και προσδιορίζονται από την επίλυση των εξισώσεων ροής φορτίου (1.16) - (1.17) οι υπόλοιπες $2n$ άγνωστες μεταβλητές. Η προδιαγραφή των $2n$ μεταβλητών από τις ισχύς και τις τάσεις των ζυγών παραγωγής διευκολύνεται από τις ακόλουθες συνθήκες και περιορισμούς λειτουργίας του συστήματος.

α) Η οικονομική λειτουργία των μονάδων παραγωγής επιβάλλει ορισμένες τιμές της παραγόμενης ενεργού ισχύος κάθε μονάδας σε κάθε περίπτωση.

β) Για τους ζυγούς φορτίου δεν υπάρχει παραγωγή, δηλαδή $P_G=0$. Η Q_G μπορεί να είναι είτε μηδενική, είτε να έχει ορισμένη τιμή αν προέρχεται από χωρητική αντιστάθμιση.

γ) Τα επίπεδα τάσης ορισμένων ζυγών έχουν στενά όρια τιμών.

δ) Οι διασυνδέσεις με γειτονικά συστήματα επιβάλλουν ορισμένες υποχρεώσεις

ανταλλαγών. Από τις τάσεις ζυγών, προδιαγράφονται οι πιο σημαντικές και αφήνονται στις «άγνωστες» οι λιγότερο περιορισμένες. Γενικά, οι περισσότερες από τις $2n$ άγνωστες μεταβλητές είναι οι γωνίες δ , οι οποίες προσδιορίζονται από την επίλυση των εξισώσεων. Τελικά, οι λύσεις που θα προκύψουν πρέπει να ικανοποιούν όρια και περιορισμούς, όπως τα ακόλουθα:

- οι τάσεις των ζυγών:
$$V_{i,\min} \leq V_i \leq V_{i,\max} \quad (1.19)$$

- οι γωνιακές διαφορές ορισμένων ζυγών:
$$|\delta_i - \delta_j| \leq |\delta_i - \delta_j|_{\max} \quad (1.20)$$

- οι ισχύες παραγωγής:
$$P_{Gi,\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi,\max} \quad (1.21)$$

και

$$Q_{Gi,\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi,\max} \quad (1.22)$$

- οι γραμμές μεταφοράς έχουν όρια ευστάθειας και όρια απωλειών ισχύος.

Επιπλέον, είναι αναγκαίο να ληφθούν υπόψη πιθανές ειδικές συνθήκες σε κάθε περίπτωση. Εάν, η λύση οδηγήσει τελικά σε τιμές μεταβλητών εκτός ορίων, η επίλυση επαναλαμβάνεται προς την κατεύθυνση βελτίωσης των τιμών των αγνώστων μεταβλητών

1.7 Ψηφιακές Μέθοδοι Επίλυσης για τη Ροή Φορτίου

Παλαιότερα για να γίνει η μελέτη των ροών φορτίου χρησιμοποιούνταν ειδικοί αναλογικοί υπολογιστές, στους οποίους τα διάφορα τμήματα του συστήματος εξομοιώνονταν αναλογικά με αντίστοιχα ηλεκτρικά στοιχεία. Σήμερα οι μελέτες των δικτύων αυτού του είδους γίνονται με ψηφιακούς υπολογιστές.

Οι ψηφιακές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς των ροών φορτίου μπορούν να επιλύσουν με ικανοποιητική ακρίβεια τις μη γραμμικές αλγεβρικές εξισώσεις των ροών φορτίου για μεγάλα συστήματα. Η Gauss-Seidel, η Newton-Raphson (N-R) και η ταχεία αποζευγμένη μέθοδος N-R είναι οι τρεις βασικές επαναληπτικές μέθοδοι που εφαρμόζονται στις μελέτες ροών φορτίου.

Οι αριθμητικές μέθοδοι επίλυσης ξεκινούν από μια αρχική λύση και με διαδοχικές ανακυκλώσεις προσεγγίζουν την τελική με τον εξής τρόπο: Η αρχική λύση χρησιμοποιείται στις εξισώσεις του προβλήματος για να βρεθεί μια νέα καλύτερη

λύση. Στη συνέχεια, η δεύτερη λύση χρησιμοποιείται για να βρεθεί μια τρίτη ακόμα καλύτερη κ.ο.κ. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται διαρκώς ωσότου η λύση να συγκλίνει. Τέτοιες αριθμητικές μεθόδους επίλυσης χρησιμοποιεί και το λογισμικό InterPSS που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική.

Συγκεκριμένα, η μέθοδος N-R είναι πολύ ισχυρός αλγόριθμος επίλυσης εξαιτίας της ταχύτητας σύγκλισης όταν οι αρχικές τιμές βρίσκονται κοντά στη λύση και ιδιαίτερα χρήσιμη για εφαρμογή στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Οι αρχικές τάσεις κόμβων είναι κοντά στις ονομαστικές (1 α.μ), ως αρχικές τιμές για τις γεννήτριες (ενεργός και άεργος ισχύς) τίθενται τιμές από κάποια λύση της απλής ροής φορτίου και οι τιμές των λήψεων των μετασχηματιστών υποτίθενται αρχικά κοντά στην τιμή 1 μ.α. Έτσι η μέθοδος έχει μια αρχική υπόθεση αρκετά κοντά στη λύση. Αυτό σημαίνει πως μετά από λίγες επαναλήψεις επιτυγχάνεται σύγκλιση ακόμη και για αυστηρό κριτήριο σύγκλισης. Η N-R είναι λοιπόν ένα πολύ ισχυρό εργαλείο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να λύσει το πρόβλημα της ροής φορτίου σε ΣΗΕ.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ InterPSS

Το InterPSS (Internet technology based Power System Simulator) είναι ένα ελεύθερο (free) και ανοικτό (open source) λογισμικό προσομοίωσης για το σχεδιασμό, την ανάλυση, την διάγνωση και την λειτουργία συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

Το InterPSS είναι ένα απλό στη χρήση, αλλά ισχυρό στην λειτουργικότητα, λογισμικό. Ενώ τα υπάρχοντα λογισμικά προσομοίωσης συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας βασίζονται σε ξεπερασμένη τεχνολογία, το InterPSS διακρίνεται για την ανοικτή και χαλαρά συνδεδεμένη (loosely coupled) αρχιτεκτονική του, που επιτρέπει σε συνιστώσες (components) που έχουν αναπτυχθεί από άλλους χρήστες, να συνδέονται εύκολα στο InterPSS για την αύξηση της λειτουργικότητάς του, καθώς επίσης, και σε συνιστώσες του ίδιου να ενσωματώνονται εύκολα σε άλλα λογισμικά συστήματα.

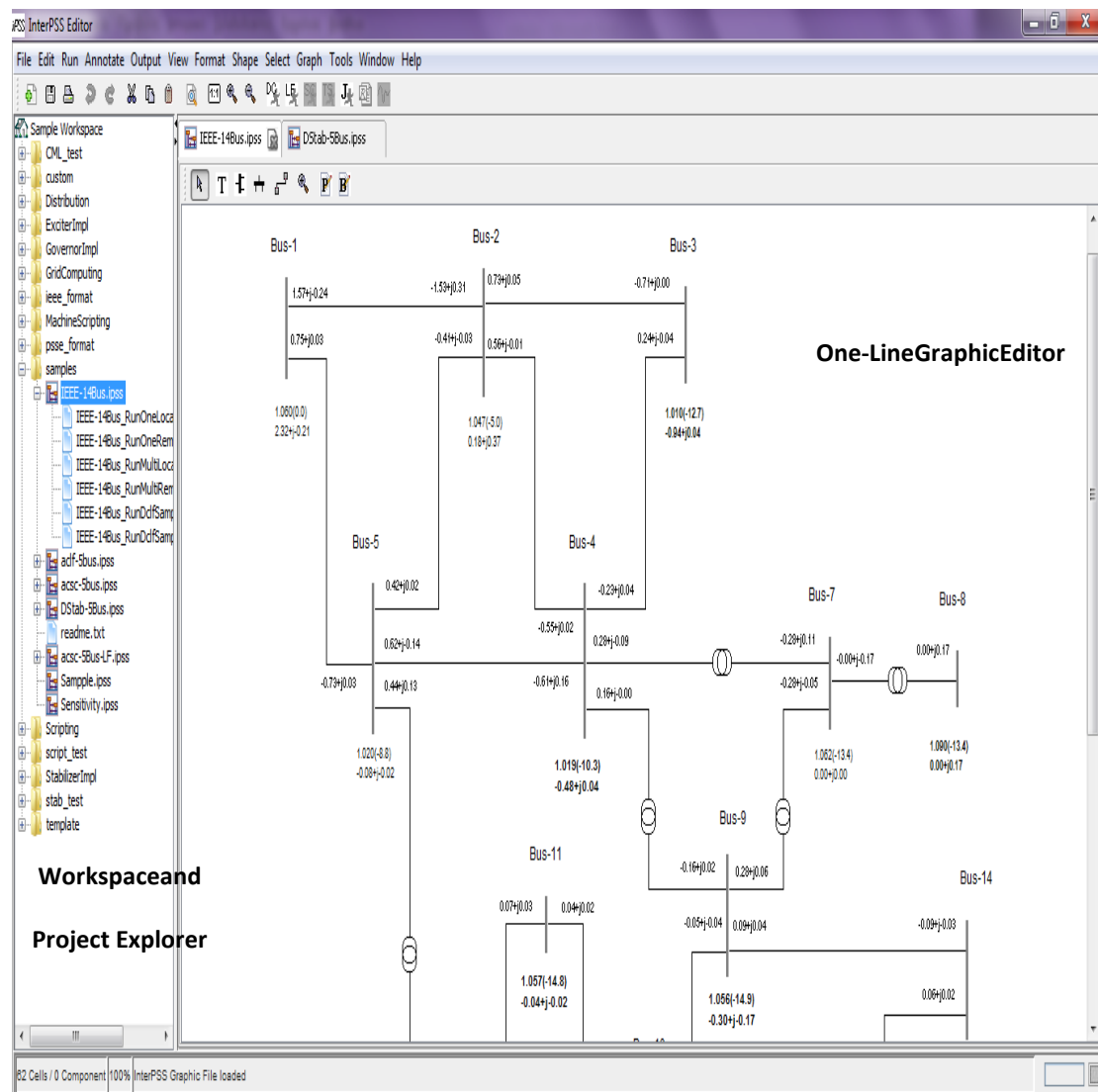
Το InterPSS παρέχει ένα γραφικό επεξεργαστή (graphiceditor) που επιτρέπει στον χρήστη να σχεδιάσει μονογραμμικά διαγράμματα (One-linediagram) και να εισάγει τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου. Συγκεκριμένα, η πρόσφατη έκδοση περιέχει βασικές λειτουργίες που επιτρέπουν την δημιουργία ενός απλού μονογραμμικού διαγράμματος συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, την εισαγωγή δεδομένων, την εκτέλεση και τη δημιουργία αναφορών.

2.1 ΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ

2.1.1 Βασικές συνιστώσες του γραφικού επεξεργαστή

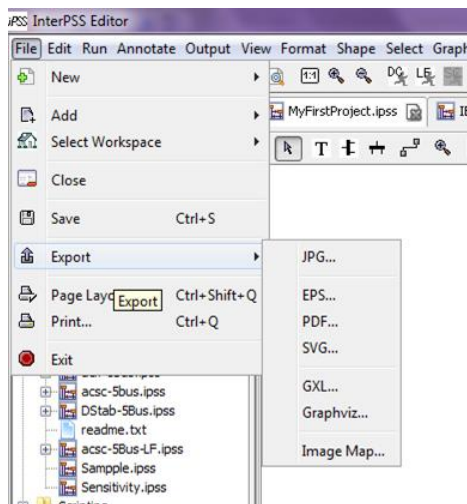
Όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 17), ο επεξεργαστής χωρίζεται σε δύο βασικές περιοχές: 1) την περιοχή αναζήτησης “Workspace/Project Explorer” και 2) την περιοχή σχεδίασης “One-linegraphiceditor”. Η πρώτη (που αποτελείται από το αριστερό παράθυρο) του επιτρέπει την γρήγορη περιήγηση σε διαφορετικά έργα (projects) και φακέλους ενώ η δεύτερη (που εκτείνεται στην δεξιά πλευρά της οθόνης) αποτελεί την κύρια περιοχή σχεδίασης του ΣΗΕ. Ο χρήστης μπορεί να δουλεύει ταυτόχρονα σε περισσότερα από ένα έργα. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια των Java νημάτων εκτέλεσης (Javaruntimethreads) που του επιτρέπουν

να εργάζεται σε διαφορετικές περιπτώσεις, ενώ περιμένει την ολοκλήρωση μιας μεγάλης εκτέλεσης/προσομοίωσης, όπως π.χ. είναι αυτή της προσομοίωσης της μεταβατικής ευστάθειας (transient stability).



Εικόνα 17 :InterPSS Γραφικός Επεξεργαστής

Το μονογραμμικό διάγραμμα του ΣΗΕ μπορεί να εξαχθεί σε διάφορες μορφές, π.χ. PDF, SVG καθώς και άλλες (Εικόνα 18).



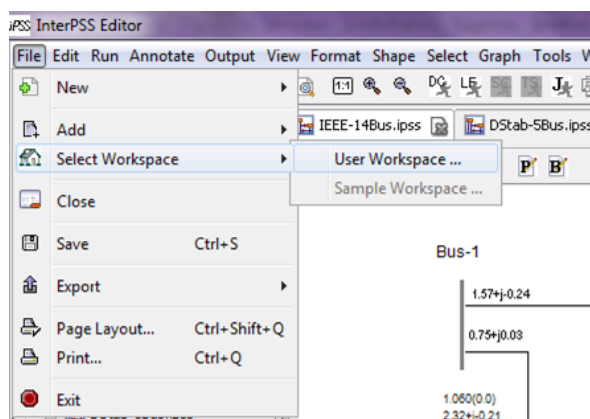
Εικόνα 18: Μορφές εξαγωγής

2.1.2 Χώρος εργασίας (Workspace)

Το InterPSS χρησιμοποιεί το σύστημα αρχειοθέτησης του υπολογιστή και μια εσωτερική βάση δεδομένων για να κρατά τα έγγραφά του. Τα έγγραφα αυτά οργανώνονται με την επιλογή Workspace. Το InterPSS υποστηρίζει δύο ειδών χώρους εργασίας (workspaces):

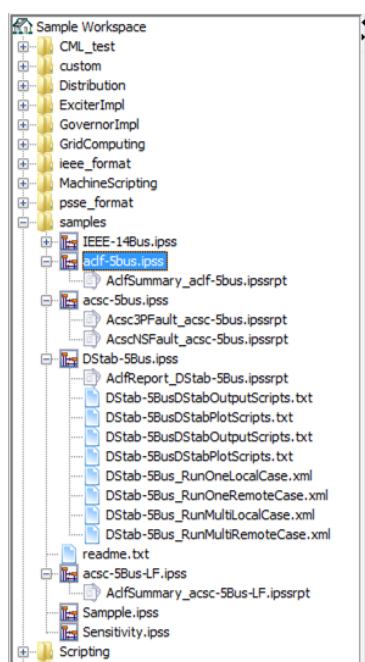
- 1) το Ipss/UserWorkspace όπου αποθηκεύονται τα έργα του χρήστη και
- 2) το SampleWorkspace για τα παραδείγματα του InterPSS. Το SampleWorkspace είναι ένας χώρος όπου αλλάζει και ενημερώνεται συνεχώς από την ομάδα ανάπτυξης του InterPSS, ενσωματώνοντας νέα παραδείγματα για την καλύτερη κατανόηση των δυνατοτήτων του προγράμματος.

Ο χρήστης μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ των δύο αυτών χώρων εργασίας, κάνοντας κλικ στο File ->SelectWorkspace ->UserWorkspace (Εικόνα 19).



Εικόνα 19: Επιλογή Workspace

Μέσα σε ένα χώρο εργασίας, τα έργα οργανώνονται σε φακέλους έργων. Τα έγγραφα που σχετίζονται με το συγκεκριμένο έργο, όπως αναφορές και αρχεία κώδικα (script), τοποθετούνται κάτω από τον φάκελο του έργου (Εικόνα 20).

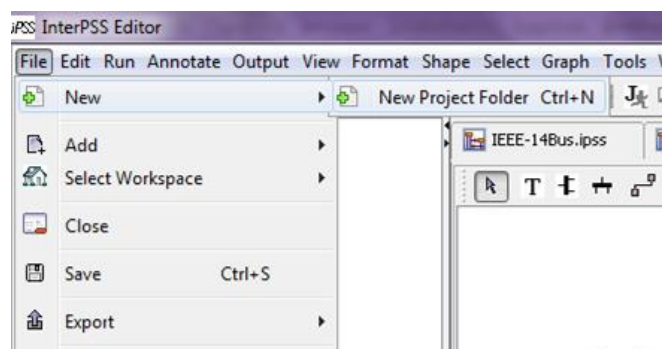


Εικόνα 20: Φάκελοι έργων

2.1.3 Δημιουργία ενός έργου

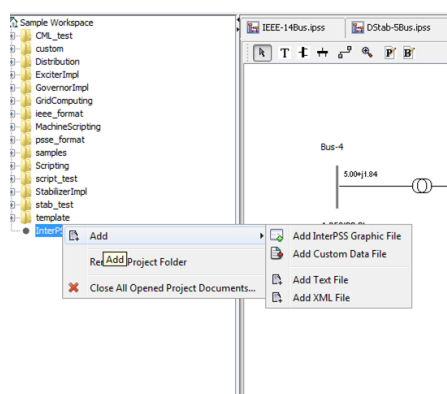
Για να δημιουργηθεί ένα νέο έργο, ο χρήστης πρέπει πρώτα να δημιουργήσει ένα νέο φάκελο έργου, για παράδειγμα, τον φάκελο InterPSS example. Ο χρήστης

μπορεί επίσης να προσθέτει νέα έργα κάτω από υπάρχοντες φακέλους έργων (Εικόνα 21).



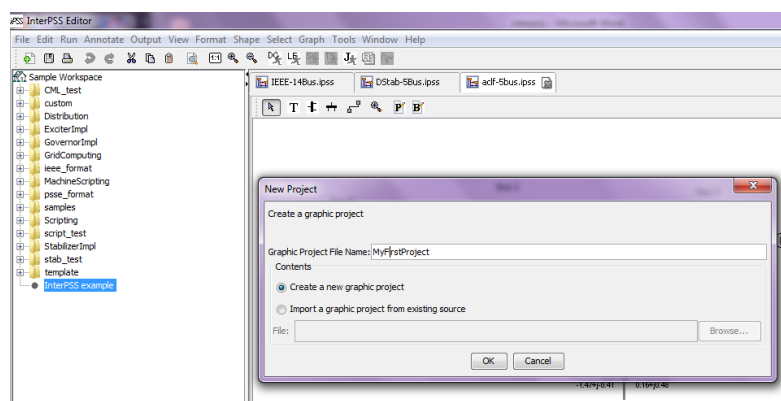
Εικόνα 21: Δημιουργία ενός νέου φακέλου έργου

Για να δημιουργηθεί ένα νέο έργο σε έναν υπάρχον φάκελο, για παράδειγμα τον InterPSS example, κάνουμε δεξί κλικ στο φάκελο του έργου, και επιλέγουμε Add->AddInterPSSGraphicFile, όπως φαίνεται στην Εικόνα 22.



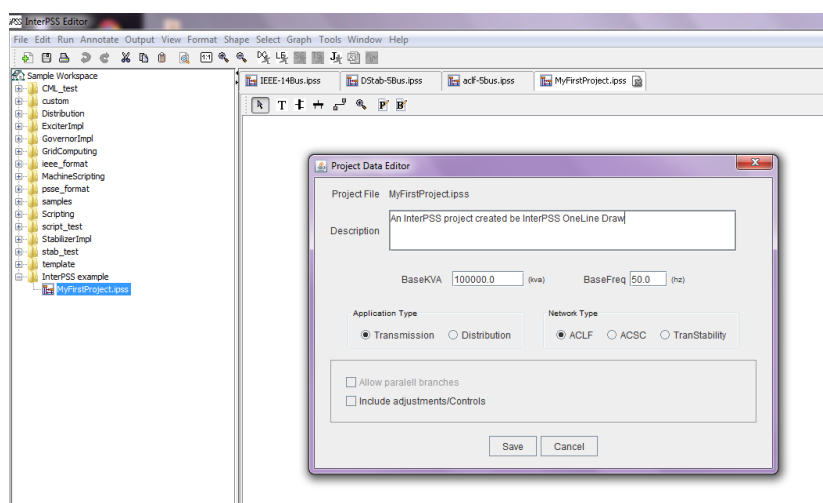
Εικόνα 22: Εισαγωγή έργου σε υπάρχον φάκελο

Στη συνέχεια, το πρόγραμμα παρέχει δυο επιλογές. Η πρώτη είναι η δημιουργία ενός νέου έργου, δίνοντας του όνομα στο πεδίο “Graphic Project Filename”, ή η δημιουργία ενός έργου που να βασίζεται σε κάποιο προηγούμενο έργο (Εικόνα 23).



Εικόνα 23: Δημιουργία του έργου MyFirstProject

Αφού ο χρήστης δώσει όνομα και κάνει κλικ στο κουμπί OK, εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο διαλόγου που του επιτρέπει την επεξεργασία των δεδομένων του έργου (Εικόνα 24).

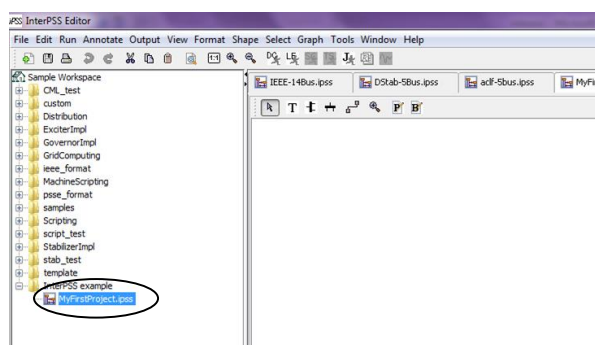


Εικόνα 24: Παράθυρο διαλόγου για την επεξεργασία των δεδομένων του έργου

Σε αυτό το σημείο ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει τις απαραίτητες πληροφορίες του έργου που είναι:

- Description: μια σύντομη περιγραφή για το έργο
- BaseKVA: η βάση ισχύος εκφρασμένη σε KVA για το ανά μονάδα σύστημα του έργου
- BaseFreq: η βάση συχνότητας σε Hz για το έργο
- Τον τύπο εφαρμογής (Application Type) και τον τύπο δικτύου (Network Type) (που αναλύονται αργότερα)

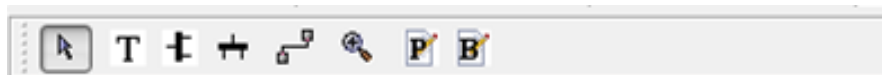
Αφού ολοκληρωθεί η εισαγωγή των δεδομένων, ο χρήστης κάνει κλικ στο κουμπί Αποθήκευση για να ολοκληρώσει τη διαδικασία δημιουργίας του νέου έργου. Με την ολοκλήρωση της δημιουργίας, το νέο έργο εμφανίζεται στο χώρο εργασίας στα αριστερά.



Εικόνα 25: Εμφάνιση του νέου έργου στον χώρο εργασίας

2.1.4 Τροποποίηση του διαγράμματος

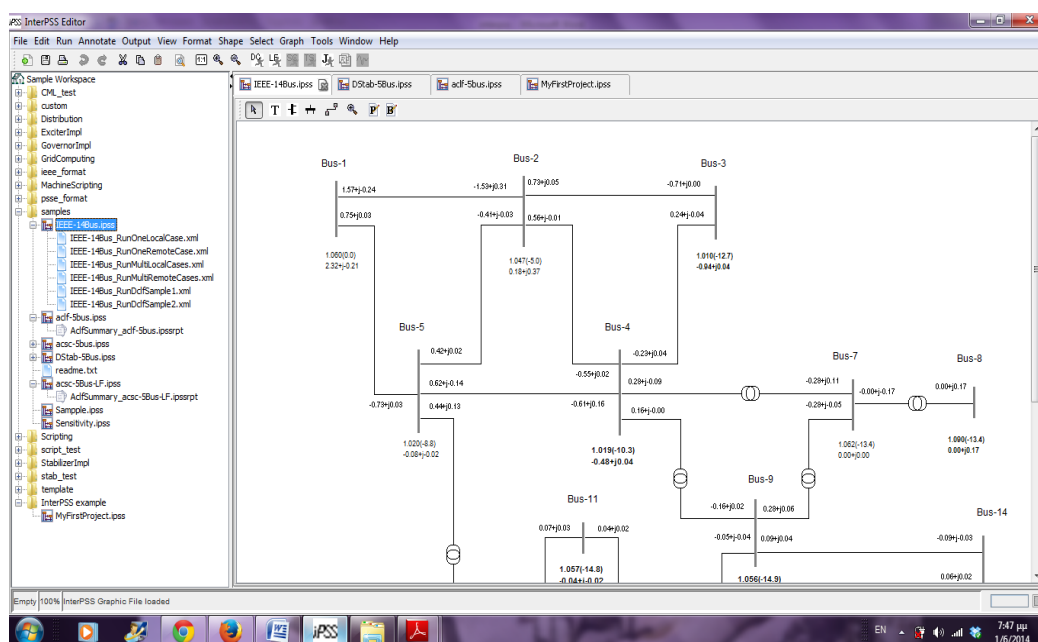
Το InterPSS παρέχει στον χρήστη τους βασικούς τύπους ανάλυσης ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας: ροής φορτίου (load flow analysis), βραχυκυκλώματος (short circuit analysis), μεταβατικής ευστάθειας (transient stability analysis) ή συστημάτων διανομής (distribution). Τα διαθέσιμα εργαλεία σχεδίασης φαίνονται στην Εικόνα 26:



Εικόνα 26: Εργαλεία σχεδίασης

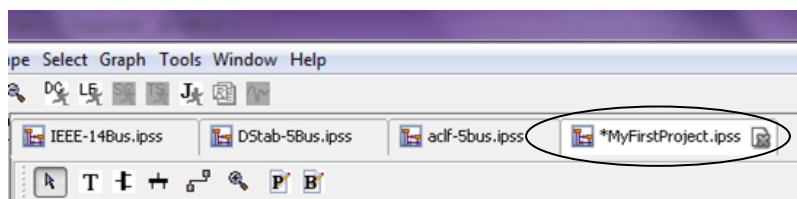
	Εισαγωγή κειμένου
	Σχεδίαση ενός κάθετου ζυγού (bus)
	Σχεδίαση ενός οριζόντιου ζυγού
	Σχεδίαση γραμμής-κλάδου μεταξύ δύο ζυγών
	Επεξεργασία των δεδομένων ενός έργου
	Επεξεργασία των δεδομένων ενός ζυγού ή ενός κλάδου

Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω εργαλεία σχεδίασης, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτό που φαίνεται στην Εικόνα 27:



Εικόνα 27: Δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

Ο αστερίσκος σε ένα έργο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 28, δείχνει το δίκτυο που εκείνη τη στιγμή βρίσκεται υπό επεξεργασία.



Εικόνα 28: Αστερίσκος

2.1.5 Το μοντέλο δικτύου

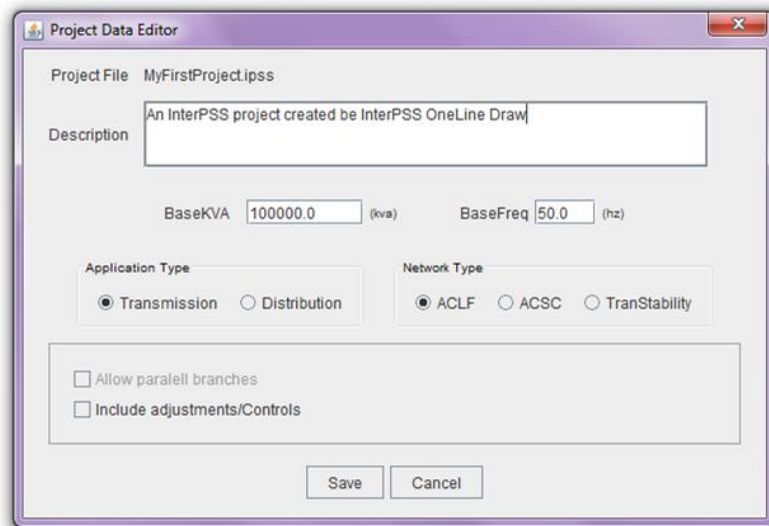
Το InterPSS βασίζεται σε ένα αντικειμενοστραφή μοντέλο (object-oriented) δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Η βασική ιδέα θα μπορούσε να συνοψιστεί ως εξής:

"Ένα δίκτυο που χρησιμοποιείται για προσομοιώσεις πρέπει να σχεδιάζεται σαν ένας χώρος όπου ορίζεται ο αριθμός ζυγών καθώς και οι κλάδοι που συνδέονται ανάμεσα τους για να σχηματίσουν το δίκτυο".

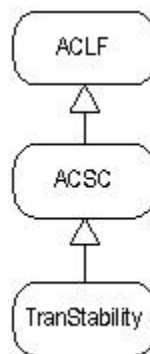
Το InterPSS υποθέτει ότι όλοι οι αλγόριθμοι προσομοίωσης βασίζονται στον πίνακα αγωγιμοτήτων (admittance Y-matrix). Αυτό σημαίνει ότι το InterPSS θα μπορούσε να επεκταθεί σε οποιονδήποτε αλγόριθμο προσομοίωσης συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

2.1.5.1 Το αντικείμενο δικτύου (network)

Το InterPSS χωρίζει την προσομοίωση των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε δύο βασικές κατηγορίες τύπων εφαρμογής: 1) το Σύστημα Μεταφοράς (Transmission) και 2) το Σύστημα Διανομής (Distribution). Η έννοια του συστήματος μεταφοράς χρησιμοποιείται για την μελέτη συστημάτων υψηλής τάσης όπου το δίκτυο εκφράζεται σε ανά μονάδα σύστημα. Η έννοια του συστήματος διανομής χρησιμοποιείται περισσότερο για τη μελέτη συστημάτων μεσαίας και χαμηλής τάσης όπου τα δεδομένα του δικτύου εκφράζονται σε ονομαστικές τιμές, όπως Ohms ή Housepower (Εικόνα 29).



Εικόνα 29: Τύπος εφαρμογής και τύπος δικτύου μέσα από το παράθυρο διαλόγου για την επεξεργασία των δεδομένων του έργου



Εικόνα 30: Τύπος δικτύου για τα συστήματα μεταφοράς

Τρεις τύποι μελετών εφαρμόζονται στα συστήματα μεταφοράς:

- **ACLF (ACLoadFlow)**- Για την περιγραφή της μόνιμης κατάστασης λειτουργίας, δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας θετικής ακολουθίας. Μπορεί να εφαρμοστεί σε AC ροή φορτίου, DC ροή φορτίου, μελέτες ευστάθειας τάσης και άλλες αναλύσεις όπου χρειάζονται τα δεδομένα θετικής ακολουθίας δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.

- **ACSC (ACShortCircuit)** - Για την περιγραφή της μόνιμης κατάστασης λειτουργίας δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας για συμμετρικά και ασύμμετρα βραχυκυκλώματα. Χρειάζονται τα δεδομένα θετικής, αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας των συνιστωσών του δικτύου.

- **Transient Stability** - Για τη μελέτη της μεταβατικής ευστάθειας δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτοί οι τρεις τύποι μελετών έχουν σχέση κληρονομικότητας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 30.

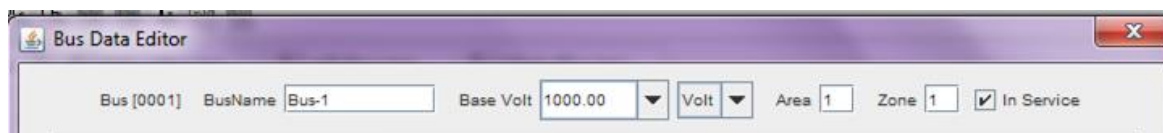
Υποτίθεται ότι όλα τα δεδομένα των δικτύου μεταφοράς εισάγονται σε ανά μονάδα σύστημα που έχει οριστεί στο παράθυρο διαλόγου του InterPSS.

Μετά τη δημιουργία ενός έργου, ο τύπος εφαρμογής δεν μπορεί να αλλάξει. Για παράδειγμα, δεν μπορεί ένα σύστημα μεταφοράς να αλλάξει και να γίνει σύστημα διανομής, δεδομένου ότι οι δομές δεδομένων τους είναι πολύ διαφορετικές. Επίσης, εντός του ίδιου τύπου εφαρμογής, μπορεί κανείς να αλλάξει τύπο μελέτης δικτύου μόνο προς τα κάτω στην ιεραρχία της κληρονομικότητας, για παράδειγμα, από ACLF να γίνει ACSC δίκτυο. Η αλλαγή ενός ACSC δικτύου σε ACLF θα έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια δεδομένων. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο δεν επιτρέπεται η αντίστροφη διαδικασία.

Οι ζυγοί και οι κλάδοι μέσα στο InterPSS μοντέλο προσομοίωσης μοντελοποιούνται ως αντικείμενα. Αυτά τα αντικείμενα έχουν διάφορες παραμέτρους που εφαρμόζονται ανάλογα με το είδος της μελέτης όπως π.χ. το Aclf Bus και το Aclf Branch που εφαρμόζονται στη ροή φορτίου. Ωστόσο, τα αντικείμενα αυτά έχουν και κάποια κοινά χαρακτηριστικά. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιγράφονται παρακάτω.

2.1.5.2 Το αντικείμενο ζυγού (Bus)

Ένας μοναδικός αύξων αριθμός ζυγού, αρχίζοντας από το 0001, ανατίθεται από το InterPSS για κάθε αντικείμενο ζυγού, όταν αυτό δημιουργείται και εισάγεται στο διάγραμμα. Αυτός ο αριθμός ζυγού χρησιμοποιείται ως το ID του αντικείμενου. Ένα αντικείμενο ζυγού έχει επίσης όνομα (Bus Name), βάση τάσης (Base Voltage), αριθμό περιοχής (Area number), και αριθμό ζώνης (Zone number). Εάν το “In Service” δεν είναι τσεκαρισμένο, τότε το αντικείμενο ζυγού δεν θα συμμετάσχει στην προσομοίωση (Εικόνα 31).



Εικόνα 31: Αντικείμενο ζυγού

Για να ανακτηθεί ένα αντικείμενο ζυγού από το αντικείμενο δικτύου, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη δήλωση Java:

```
- Bus= net.getBus("0001");
```

όπου, net είναι ένα αντικείμενο δικτύου (JavaAPI) και "0001" είναι το id του ζυγού.

Επεξεργασία των δεδομένων του ζυγού

Κάνοντας διπλό κλικ σε ένα σύμβολο ζυγού στο διάγραμμα, κάποιος μπορεί να επεξεργαστεί τα δεδομένα του συγκεκριμένου ζυγού. Ανάλογα με τον τύπο του δικτύου στο οποίο δουλεύουμε, το πρόγραμμα θα ανοίξει την αντίστοιχη καρτέλα δεδομένων του ζυγού (Εικόνα 32).

Εικόνα 32: Επεξεργασία δεδομένων ζυγού

Διαφορετικά είδη αντικειμένων ζυγού

Το InterPSS δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει διαφορετικά είδη γεννητριών στο δίκτυο. Συγκεκριμένα, μέσα από το παράθυρο επεξεργασίας των δεδομένων του ζυγού, με την επιλογή:

- **Swing**, ο ζυγός μετατρέπεται σε Swing/Slack ζυγού παραγωγής
- **PV**, ο ζυγός μετατρέπεται σε PV ζυγού παραγωγής
- **PQ**, ο ζυγός μετατρέπεται σε PQ ζυγού παραγωγής

(σημείωση: οι ζυγοί ροής φορτίου χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: Swing/Slack, PV και PQ)

- **Capacitor**, ο ζυγός μετατρέπεται σε πυκνωτή

Εναλλακτικές επιλογές αποτελούν, να επιλέξει ο χρήστης την δημιουργία ζυγών χωρίς γεννήτρια ή τη δημιουργία προσαρμοσμένου μοντέλου ζυγού (Εικόνα 33).



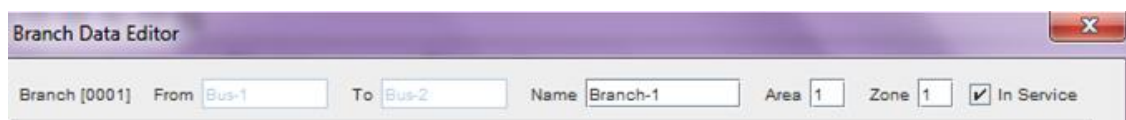
Εικόνα 33: Επιλογή τύπου γεννήτριας

2.1.5.3 Το αντικείμενο κλάδου (branch)

Ένα αντικείμενο κλάδου, στο InterPSS μοντέλο προσομοίωσης, είναι πάντα συνδεδεμένο ανάμεσα σε δύο ζυγούς, τον from-bus και τον to-bus ζυγό. Όταν σχεδιάζουμε έναν κλάδο από ένα ζυγό σε ένα άλλο, το σύστημα αυτόματα συνδέει το αντικείμενο του κλάδου σε αυτούς τους δύο ζυγούς. Μετά τη δημιουργία του ζυγού, η σχέση σύνδεσης δεν μπορεί να αλλάξει. Το id του αντικειμένου του κλάδου παίρνει την ακόλουθη μορφή:

- From Bus Id->to Bus Id (Branch Circuit number)

Για παράδειγμα, ο κλάδος με id 0001-> 0002(1) δείχνει ότι ο κλάδος είναι συνδεδεμένος στον from-bus ζυγό με id 0001 και στον to-bus ζυγό 0002. Ο αριθμός του κυκλώματος είναι 1 (Εικόνα 34).



Εικόνα 34: Αντικείμενο κλάδου

Για να ανακτηθεί ένα αντικείμενο κλάδου από το αντικείμενο δικτύου που το περιέχει, υπάρχουν τρεις τρόποι:

- Branchbranch = net.getBranch ("0001", "0002"); // η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει παράλληλος κλάδος ανάμεσα στους δυο ζυγούς
- Branchbranch = net.getBranch ("0001", "0002", "1"); // "1" είναι ο αριθμός του κυκλώματος
- Branchbranch = net.getBranch ("0001->0002(1)"); //με την βοήθεια του id του κλάδου

όπου, net είναι το αντικείμενο δικτύου στον οποίο ανήκει το αντικείμενο.

Ένας μοναδικός αύξων αριθμός κλάδου, αρχίζοντας από το 0001, ανατίθεται από το InterPSS για κάθε αντικείμενο κλάδου, όταν αυτό δημιουργείται και εισάγεται στο διάγραμμα. Ένα αντικείμενο κλάδου έχει επίσης όνομα (Branch Name), αριθμό περιοχής (Area number) και αριθμό ζώνης (Zone number). Εάν το «InService» δεν είναι επιλεγμένο, τότε το αντικείμενο κλάδου θα αντιμετωπίζεται ως ένας ανοιχτός κλάδος κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης.

Επεξεργασία των δεδομένων του κλάδου

Κάνοντας διπλό κλικ σε ένα σύμβολο κλάδου πάνω στο διάγραμμα, μπορεί κανείς να επεξεργαστεί τα δεδομένα του συγκεκριμένου κλάδου. Ανάλογα με τον τύπο του δικτύου στο οποίο εργάζεται κανείς, ανοίγει και το αντίστοιχο παράθυρο επεξεργασίας δεδομένων του κλάδου (Εικόνα 35).

Εικόνα 35: Επεξεργασία δεδομένων κλάδου

Σημειώνεται ότι:

- Το μοντέλο αντικειμένων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας στο InterPSS επιτρέπει την εισαγωγή πολλαπλών παράλληλων κλάδων ανάμεσα σε δύο ζυγούς. Ωστόσο, το διάγραμμα μπορεί να επιτρέψει τον σχεδιασμό μόνο ενός κλάδου ανάμεσα σε δύο ζυγούς.

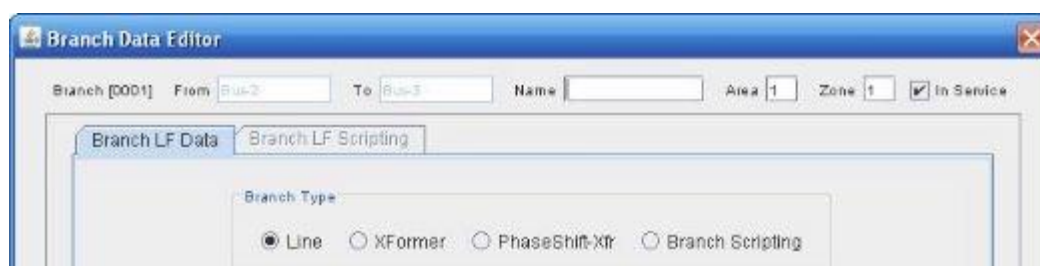
- InterPSS δεν έχει κανένα όριο στον αριθμό των ζυγών και κλάδων. Η μνήμη που απαιτείται για την αποθήκευση των πληροφοριών προσομοίωσης διατίθεται δυναμικά κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Επίσης, η διάθεση της μνήμης γίνεται

μόνο για το ακριβές μέγεθος του δικτύου. Για παράδειγμα, για ένα σύστημα με 5 ζυγούς με 4 κλάδους, το InterPSS θα διαθέσει μνήμη μόνο για 5 αντικείμενα ζυγών και για 4 αντικείμενα κλάδων.

Διαφορετικά είδη αντικειμένων κλάδου

Το InterPSS δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να αλλάξει τον τύπο του κλάδου (στην περίπτωση μελέτης ροής φορτίου). Συγκεκριμένα, μέσα από το παράθυρο επεξεργασίας των δεδομένων του κλάδου, με την επιλογή:

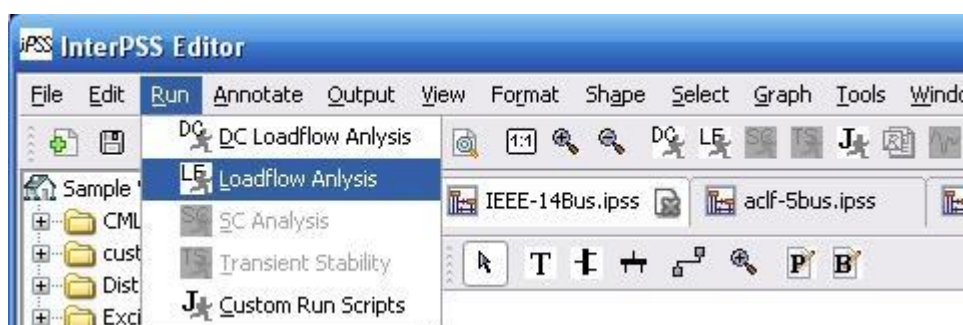
- **Line**, ορίζεται μια γραμμή κλάδου
 - **XFormer**, ορίζεται ένας κλάδος μετασχηματιστή (για να εφαρμοστεί η αλλαγή στο σύμβολο του κλάδου θα πρέπει να μετακινηθεί η γραμμή)
 - **PhaseShift-Xfr**, ορίζεται ένας κλάδος μετασχηματιστή μετατόπισης φάσης
- Εναλλακτική επιλογή αποτελεί, να επιλέξει ο χρήστης την δημιουργία προσαρμοσμένου μοντέλου κλάδου (Εικόνα 36).



Εικόνα 36: Επιλογή τύπου κλάδου

2.1.6 Εκτέλεση ανάλυσης

Μετά τη δημιουργία ενός έργου και την εισαγωγή των δεδομένων του, μπορεί κανείς να τρέξει την ανάλυση. Ανάλογα με τον τύπο της ανάλυσης θα πρέπει να ενεργοποιηθούν και οι αντίστοιχες επιλογές από το μενού εκτέλεσης για να μπορεί ο χρήστης να εκτελέσει την κατάλληλη ανάλυση (Εικόνα 37).



Εικόνα 37: Εκτέλεση ανάλυσης

Ας υποθέσουμε ότι ο χρήστης έχει επιλέξει να τρέξει την ροή φορτίου σε ένα ΣΗΕ, σε αυτή την περίπτωση θα παρουσιαστεί το ακόλουθο πλαίσιο διαλόγου (Εικόνα 38).

The image shows a software dialog box titled "Run AcLf Loadflow Analysis". It contains several input fields and checkboxes for configuring a load flow analysis. The "Study Case" section includes a "Casename" dropdown menu (currently showing "Run AcLf Study Case-1") and a "Description" text box (containing "Desc"). Below this, there are two tabs: "Run Loadflow" (which is selected) and "Loadflow Lab". The "Run Loadflow" tab contains a "Loadflow Method" section with three radio buttons: "NR" (selected), "PQ", and "GS". Below the radio buttons are input fields for "Error Tolerance" (0.001 pu), "Max Iterations" (20), and "GS Acc Factor" (0.0). There are also three checked checkboxes: "Non-divergent", "Initialize Bus Voltage", and "Show Loadflow Summary". At the bottom of the tab is a section for "InterPSS Grid Computing" with an unchecked "Enable Grid Computing" checkbox, a "Timeout(s)" field (60), and a "Select Grid Node" dropdown menu (Local Node). At the very bottom of the dialog box are six buttons: "Run", "AddCase", "DeleteCase", "ViewXml", "Import", and "Cancel".

Εικόνα 38: Εκτέλεση ανάλυσης ροής φορτίου

Κάποιες από τις βασικές επιλογές που μπορεί να έχει ο χρήστης είναι:

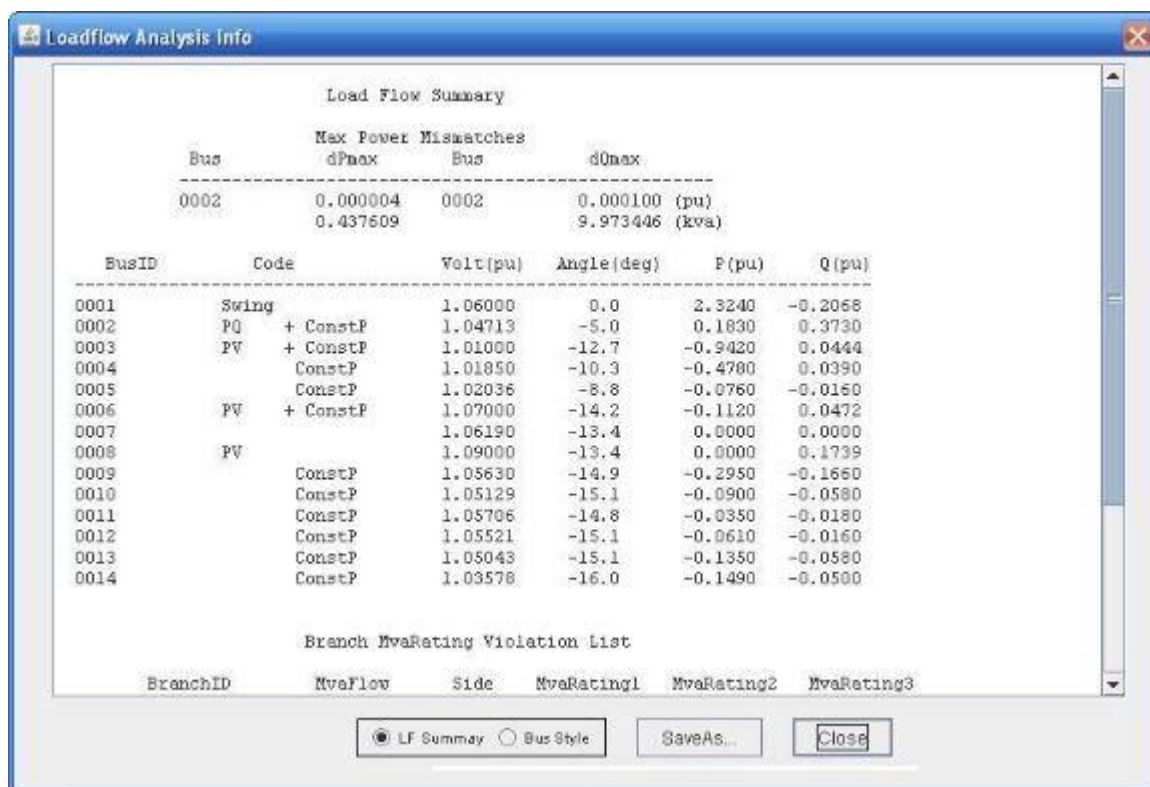
- **AddCase.** Ο χρήστης μπορεί να θέλει να τρέξει ένα έργο με διαφορετικούς τρόπους, για παράδειγμα να τρέξει τριφασικό, μονοφασικό βραχυκύκλωμα. Χρησιμοποιώντας το AddCase πλήκτρο, μπορεί κανείς να εισάγει περισσότερες περιπτώσεις μελέτης για το συγκεκριμένο έργο.

- **DeleteCase.** Διαγραφή μια υπάρχουσας περίπτωσης μελέτης. Ο χρήστης πρέπει να σιγουρευτεί ότι υπάρχει τουλάχιστον μια περίπτωση μελέτης για το συγκεκριμένο έργο.

- **ViewXml.** Η εκτέλεση του InterPSS ελέγχεται από ένα xml αρχείο. Το ViewXml επιτρέπει την προβολή σε αυτό το xml αρχείο.

- **Import.** Το Import επιτρέπει την εισαγωγή ενός τρέχον InterPSSxml αρχείου.

Αφού ο χρήστης επιλέξει τις επιλογές εκτέλεσης και εισάγει τα απαραίτητα δεδομένα, στη συνέχεια, κάνει κλικ στο κουμπί Run για να τρέξει την ανάλυση ροής φορτίου. Μετά την επιτυχή ολοκλήρωση της εκτέλεσης εμφανίζεται μια σύνοψη ροής φορτίου (Εικόνα 39).



Load Flow Summary

Bus	Max Power Mismatches dPmax	Bus	dQmax
0002	0.000004	0002	0.000100 (pu)
	0.437609		9.973446 (kva)

BusID	Code	Volt (pu)	Angle (deg)	P (pu)	Q (pu)
0001	Swing	1.06000	0.0	2.3240	-0.2068
0002	PQ + ConstP	1.04713	-5.0	0.1830	0.3730
0003	PV + ConstP	1.01000	-12.7	-0.9420	0.0444
0004	ConstP	1.01850	-10.3	-0.4780	0.0390
0005	ConstP	1.02036	-8.8	-0.0760	-0.0160
0006	PV + ConstP	1.07000	-14.2	-0.1120	0.0472
0007		1.06190	-13.4	0.0000	0.0000
0008	PV	1.09000	-13.4	0.0000	0.1739
0009	ConstP	1.05630	-14.9	-0.2950	-0.1660
0010	ConstP	1.05129	-15.1	-0.0900	-0.0580
0011	ConstP	1.05706	-14.8	-0.0350	-0.0180
0012	ConstP	1.05521	-15.1	-0.0610	-0.0160
0013	ConstP	1.05043	-15.1	-0.1350	-0.0580
0014	ConstP	1.03578	-16.0	-0.1490	-0.0500

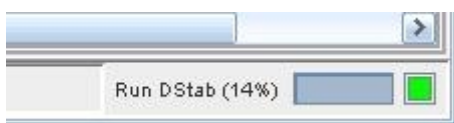
Branch MvaRating Violation List

BranchID	MvaFlow	Side	MvaRating1	MvaRating2	MvaRating3
----------	---------	------	------------	------------	------------

Buttons: ☒ LF Summary ☐ Bus Style

Εικόνα 39. Σύνοψη ροής φορτίου

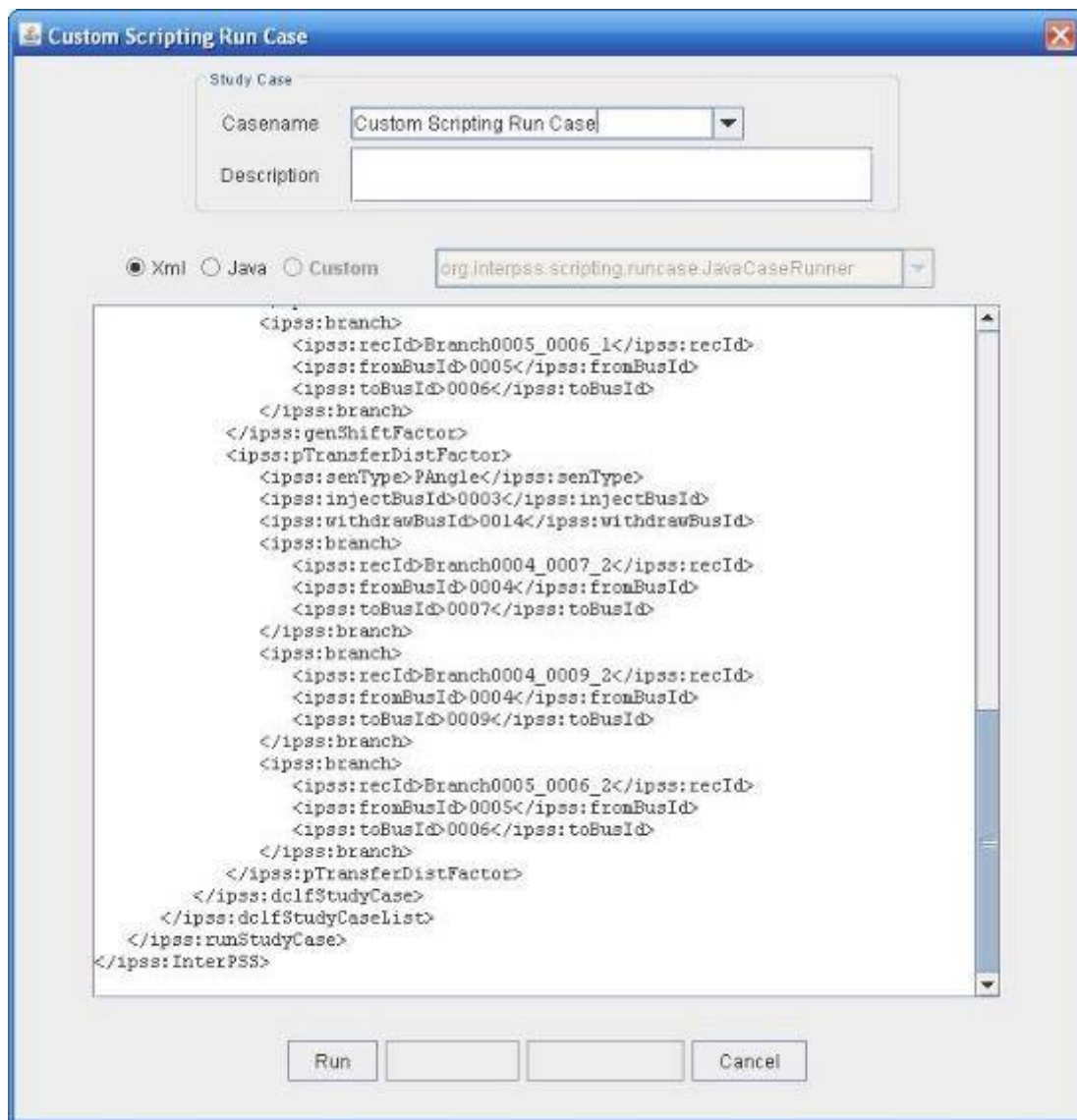
Εάν η διαδικασία εκτέλεσης είναι αρκετά μεγάλη, όπως συμβαίνει στην προσομοίωση μεταβατικής ευστάθειας, η γραμμή προόδου θα εμφανίζει το ποσοστό της προσομοίωσης που έχει ολοκληρωθεί (Εικόνα 40).



Εικόνα 40: Γραμμή προόδου

2.1.7 Εκτέλεση προσαρμοσμένου κώδικα

Το InterPSS επιτρέπει στον χρήστη να εκτελέσει την προσομοίωση με το δικό του τρόπο, παρέχοντας τα δικά του προσαρμοσμένα (custom) σενάρια εκτέλεσης (Εικόνα 41).



Εικόνα 41: Εκτέλεση προσαρμοσμένου κώδικα

2.1.8 Αποτελέσματα ανάλυσης/προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης/προσομοίωσης μπορούν να εξάγονται σε διάφορες μορφές, όπως η δημιουργία σχολίων πάνω στο διάγραμμα, η σχεδίαση καμπύλων και τέλος μέσω εκθέσεων αναφοράς.

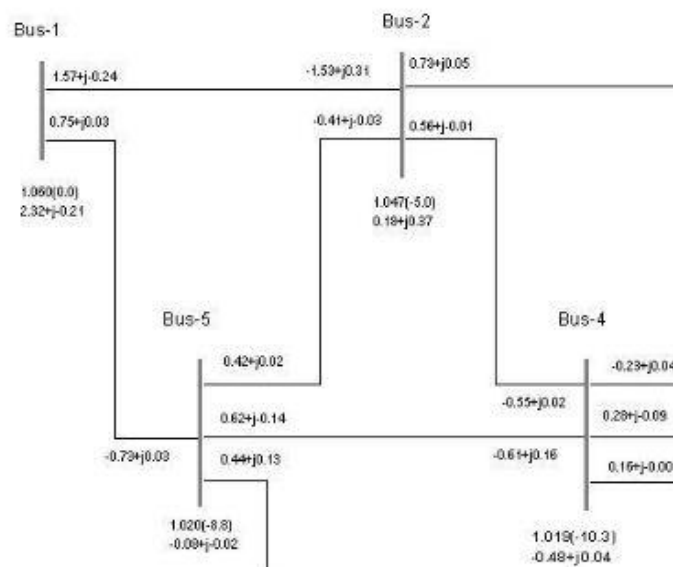
2.1.8.1 Κείμενο πάνω στο διάγραμμα

Το InterPSS υποστηρίζει την εμφάνιση των αποτελεσμάτων πάνω στο διάγραμμα για προσομοιώσεις ροής φορτίου και βραχυκυκλώματος (Εικόνα 42).



Εικόνα 42: Εμφάνιση των αποτελεσμάτων εκτέλεσης

Στην Εικόνα 43 φαίνεται ένα παράδειγμα σχολίων σε αποτελέσματα ροής φορτίου.

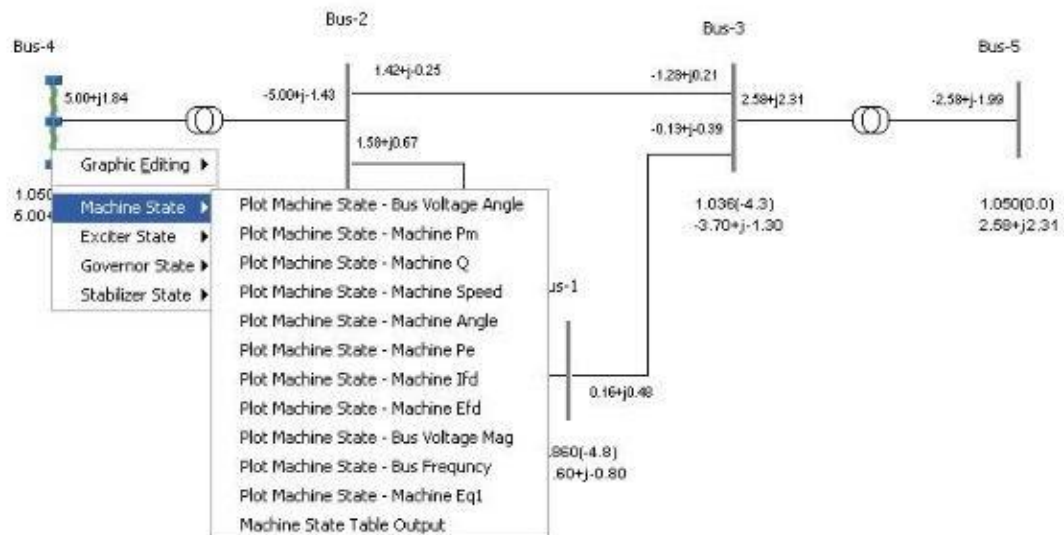


Εικόνα 43: Σχόλια σε αποτελέσματα ροής φορτίου

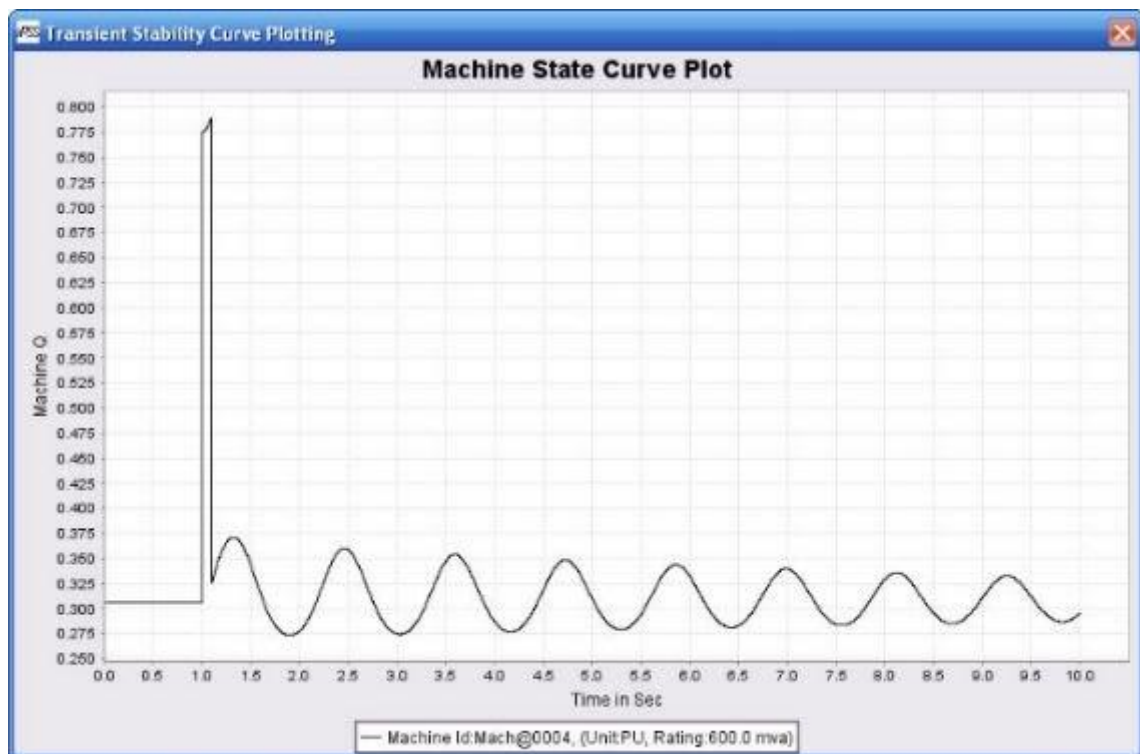
Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει το ποντίκι για να ρυθμίσει την θέση του αποτελέσματος στο διάγραμμα. Επίσης, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από το μενού το «**clear annotation**» για να καθαρίσει το κείμενο στο διάγραμμα.

2.1.8.2 Σχεδίαση καμπυλών από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μεταβατικής ευστάθειας

Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης μεταβατικής ευστάθειας, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να δει τη γραφική παράσταση κάποιου μεγέθους. Συγκεκριμένα κάνοντας δεξί κλικ σε έναν ζυγό, ο χρήστης μπορεί να έχει την επιλογή να σχεδιάσει κάθε μεταβλητή κατάστασης που σχετίζεται με το συγκεκριμένο ζυγό.



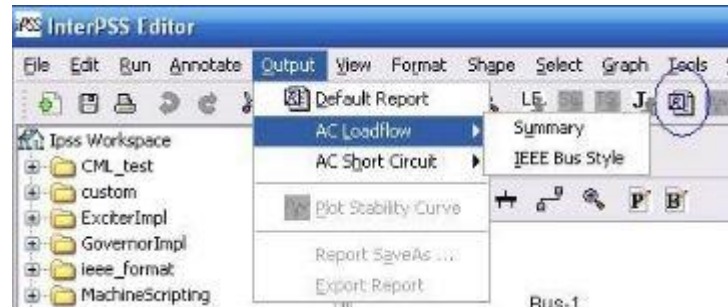
Εικόνα 44: Επιλογή καμπύλης σχεδίασης



Εικόνα 45: Καμπύλη φορτίου

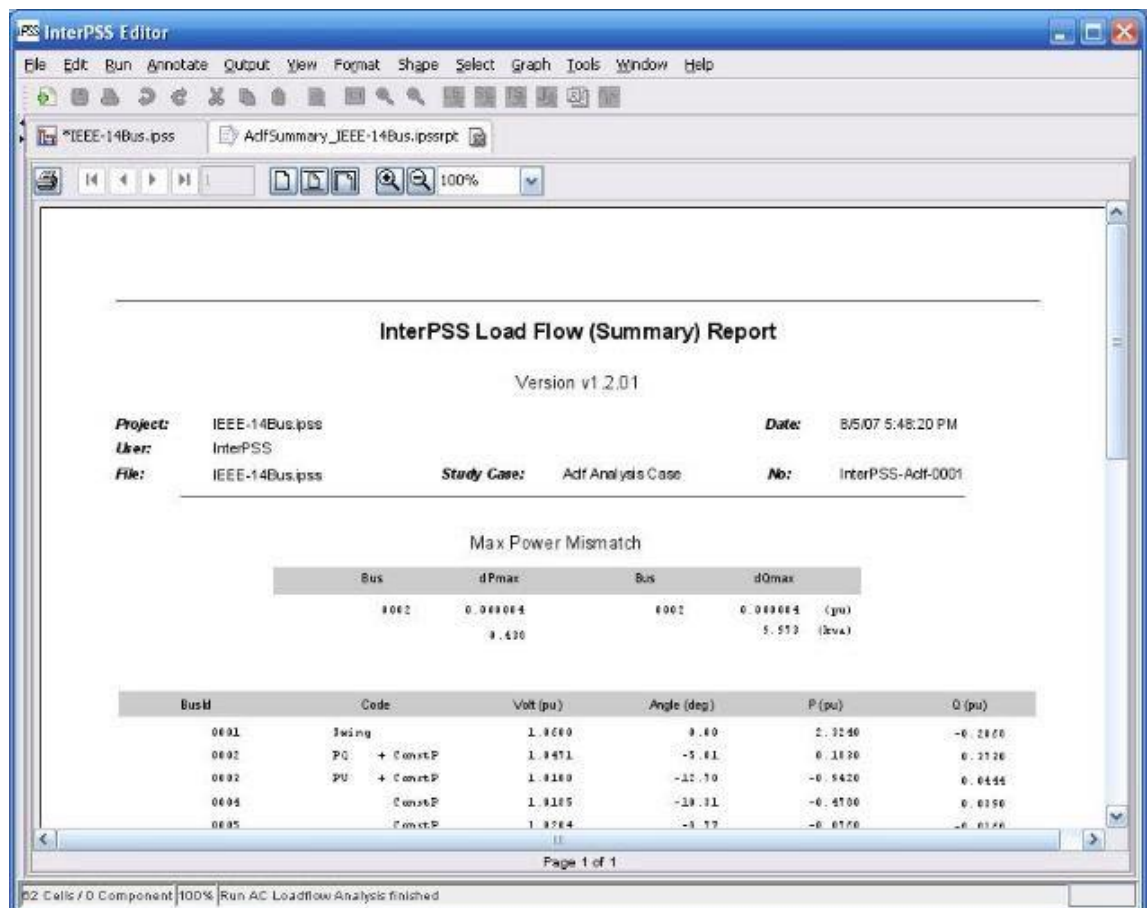
2.1.8.3 Δημιουργία αναφορών

Μετά την εκτέλεση της ανάλυσης, το πρόγραμμα μπορεί να δημιουργήσει κατάλληλες αναφορές.



Εικόνα 46: Αναφορές εκτέλεσης

Στην Εικόνα 47 φαίνεται η έκθεση αναφοράς μιας ανάλυσης ροής φορτίου.



Εικόνα 47: Έκθεση αναφοράς μιας ανάλυσης ροής φορτίου

Η έκθεση αναφοράς αποθηκεύεται πάντα κάτω από τον φάκελο του έργου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 48.



Εικόνα 48: Εμφάνιση αναφοράς στον φάκελο του έργου

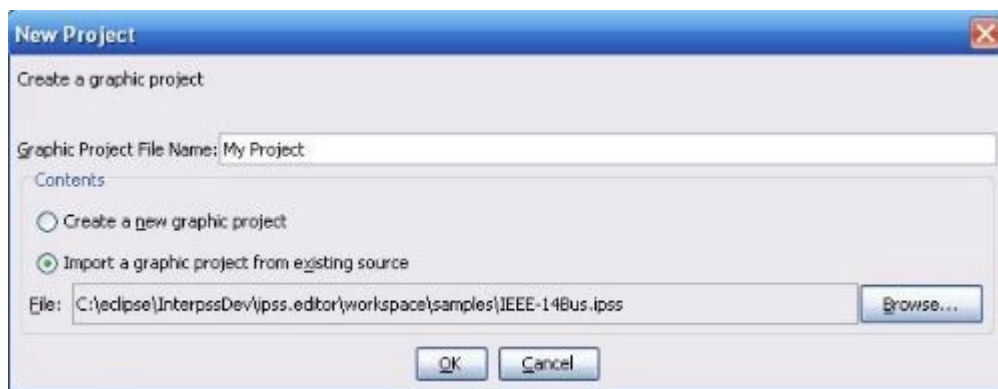
Η έκθεση μπορεί επίσης να εξαχθεί σε pdf, rtf ή html μορφή.

Η έκθεση αναφοράς του InterPSS είναι βασισμένη σε ένα πρότυπο. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει το δικό του πρότυπο αναφοράς και να το συνδέσει στο InterPSS για να δημιουργεί τις δικές του προσαρμοσμένες εκθέσεις αναφοράς.

2.1.9 Εισαγωγή υπάρχοντος έργου

2.1.9.1 Εισαγωγή έργου

Όταν ο χρήστης δημιουργεί ένα νέο InterPSS έργο, μπορεί προαιρετικά να εισάγει ένα υπάρχον InterPSS έργο. Το InterPSS θα δημιουργήσει ένα αντίγραφο του υπάρχοντος αρχείου του έργου *.ipss και θα εισάγει το αντίγραφο σε ένα νέο έργο (Εικόνα 49).



Εικόνα 49:Εισαγωγή υπάρχον έργου

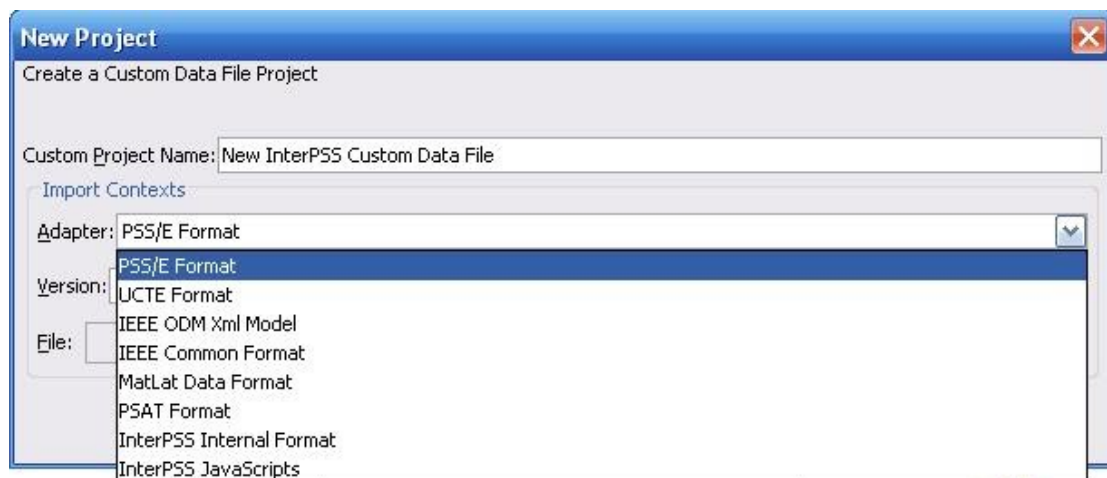
2.1.9.2 Εισαγωγή προσαρμοσμένου αρχείου δεδομένων

Ο χρήστης για να εισάγει ένα φάκελο προσαρμοσμένων δεδομένων, όπως ένα PSS/E αρχείο δεδομένων, θα πρέπει να πατήσει δεξί κλικ στον φάκελο του έργου και να επιλέξει Add/AddCustomDataFile (Εικόνα 50).



Εικόνα 50: Εισαγωγή προσαρμοσμένου αρχείου δεδομένων

Σήμερα, το InterPSS υποστηρίζει τα παρακάτω αρχεία προσαρμοσμένων δεδομένων



Εικόνα 51: Μορφοποιήσεις αρχείων προσαρμοσμένων δεδομένων

Το InterPSS χρησιμοποιεί αρκετά είδη προσαρμοσμένων αρχείων δεδομένων που επιτρέπουν στον χρήστη να εισάγει δεδομένα στο InterPSS από άλλα προγράμματα. Ο χρήστης μπορεί επίσης να δημιουργήσει το δικό του προσαρμογέα δεδομένων και να το συνδέσει με το InterPSS για να εισάγει τα δεδομένα του στο InterPSS. Γι αυτό το σκοπό, το InterPSS παρέχει έναν οδηγό ανάπτυξης προσαρμογέων δεδομένων (Develop Custom Data File Adapter) που θα μπορεί να καθοδηγήσει τον χρήστη στην υλοποίηση ενός τέτοιου προσαρμογέα.

2.1.10 Λήψη βοήθειας

Ο χρήστης μπορεί να αποκτήσει πρόσβαση στις πληροφορίες βοήθειας που παρέχονται κάτω από το μενού Βοήθεια. Για παράδειγμα, κάνοντας κλικ στο UserGuide ->EnglishUserGuide, το InterPSS θα ξεκινήσει το προεπιλεγμένο πρόγραμμα περιήγησης του χρήστη και θα φορτώσει εκεί το εγχειρίδιο χρήσης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 52.



Εικόνα 52: Λήψη βοήθειας

2.1.11 Debug – Διόρθωση σφαλμάτων

Κάποιες φορές, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορεί να μην είναι τα αναμενόμενα. Υπάρχει περίπτωση τα δεδομένα εισόδου να μην φορτώθηκαν σωστά. Αν και το InterPSS προσπαθεί να ελέγξει τα δεδομένα εισόδου πριν από την εκτέλεση της ανάλυσης, παρόλα αυτά είναι αδύνατο να εντοπίσει όλα τα πιθανά λάθη. Σε αυτή τη περίπτωση, ο χρήστης μπορεί να στείλει την περίπτωση αυτή στην υποστήριξη του InterPSS ή μπορεί να προσπαθήσει να απομακρύνει μόνος του τα λάθη μέσω της δυνατότητας debugging.



Εικόνα 53. Διόρθωση σφαλμάτων

Κάνοντας κλικ στο Tools/Debug/SimuContextInfo, ο χρήστης μπορεί να προβάλει την κατάσταση όλων των αντικειμένων των πρόσφατων έργων. Για παράδειγμα, παρακάτω φαίνονται οι πληροφορίες του Aclf Bus αντικειμένου (ροής φορτίου):

```
id: 0001
name: Bus-1
desc:
    status: true (sortNumber: 2)
baseVoltage: 132000.0
genCode: Swing
loadCode: NonLoad
voltageMag: 1.06
voltageAng: 0.0
    gen: 1.06
    load: 0
shuntY: 0
    LF Results :
voltage : 1.0600 pu 139920.0000 v
    angle : 0.0000 deg
gen : 2.32 - 0.21i pu 232,402.29 - 20,675.75i kva
load : 0 pu 0 kva
```

2.2 Μελέτη Ανάλυσης Ροής Φορτίου

Η ροή φορτίου είναι μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιημένες μελέτες στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι επίσης η βάση για όλους τους άλλους τύπους ανάλυσης και προσομοίωσης. Ο αλγόριθμος ροής φορτίου στο InterPSS μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

Για ένα σύνολο ορισμένων τάσεων ζυγού (μέγεθος και γωνία) και/η παραγωγής ζυγού (P_g, Q_g) σε ζυγούς παραγωγής και ορισμένο φορτίο (P_l, Q_l) σε ζυγούς φορτίου, γίνεται η ανίχνευση του συνόλου των υπολειπόμενων άγνωστων ποσοτήτων με επαναλαμβανόμενα βήματα υπολογισμού, έτσι ώστε η απόκλιση ισχύος μεταξύ των προκαθορισμένων ποσοτήτων και στις υπολογισμένες ποσότητες να είναι μέσα σε ένα καθορισμένο εύρος απόκλισης.

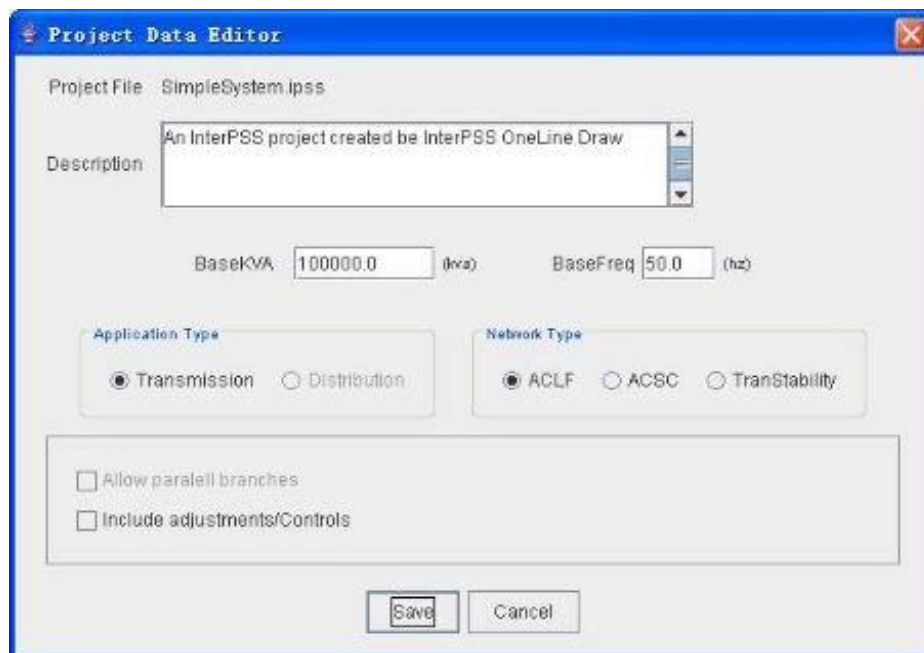
Η απόκλιση υπολογίζεται με βάση τον Y-matrix ζυγό και την τάση του ζυγού. Η υλοποίηση ροής φορτίου στο InterPSS περιλαμβάνει τις ακόλουθες μεθόδους: την Newton-Raphson (NR), τη Fast-Decoupled (PQ) και τη GaussSiedel (GS). Διαθέτει επίσης έλεγχοι για Functional Load, PV Bus Limit, PQ Limit Bus, ρυθμίσεις για Remote Q, Transformer tap changer, και γωνία μετατόπισης φάσης.

2.2.1 Δημιουργία έργου ροής φορτίου

2.2.1.1 Εισαγωγή δεδομένων δικτύου/έργου

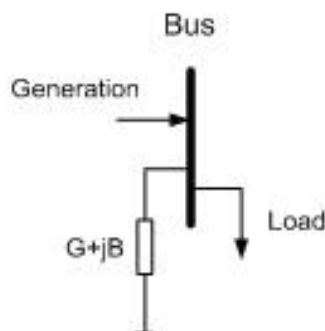
Ο χρήστης μπορεί να ορίσει ένα έργο ροής φορτίου, επιλέγοντας το σύστημα μεταφοράς ως τύπο δικτύου και το ACFL ως τύπο μελέτης. Επίσης του ζητείται η συμπλήρωση των παρακάτω πεδίων:

- Description: Μια περιγραφή του έργου
- BaseKVA: Τα KVA της βάσης σε KVA για το ανά μονάδα σύστημα του έργου.
- BaseFreq: Η συχνότητα της βάσης σε Hz για ένα έργο.
- Includeadjustments/Controls: Περιέχει προχωρημένες ρυθμίσεις και ελέγχους για την ανάλυση.



Εικόνα 54: Επεξεργασία δεδομένων έργου

2.2.1.2 Δεδομένα ζυγού



Εικόνα 55: Μοντέλο ζυγού ροής φορτίου

Το μοντέλο ζυγών στο InterPSS φαίνεται στην Εικόνα 55. Εκτός από τις συνηθισμένες παραμέτρους του αντικειμένου, υπάρχει νέα πληροφορία σχετικά με 1) την παραγωγή, 2) το φορτίο και 3) την εγκάρσια σύνθετη αγωγιμότητα $G+jB$, που πρέπει να καθοριστούν για να περιγράψουν τη δημιουργία ενός αντικειμένου Aclf Bus. Το πλαίσιο διαλόγου για την εισαγωγή των δεδομένων του ζυγού φαίνεται στην Εικόνα 56.

Bus Data Editor

Bus [0002] BusName Bus-2 Base Volt 138000.00 Volt Area 1 Zone 1 In Service

Bus LF Data Bus LF Scripting

Generator Type

☐ Swing ☐ PV ☒ PQ ☐ RemoteControl ☐ Capacitor ☐ NonGen ☐ GenScripting

Pgen(pu) 0.0 Qgen(pu) 0.0

☒ PQ Bus Limit Adjustment ☒ Voltage ☐ Mvar Flow

Vmax(pu) 0.0 Vmin(pu) 0.0

Remote Bus Bus-4(0004)

Mvar Flow Direction

☒ From->To ☐ To->From

Mvar Spec On

☒ From Side ☐ To Side

Load Type

☒ Const-P ☐ Const-I ☐ Const-Z ☐ Functional ☐ NonLoad ☐ LoadScripting

Pload(pu) 2.0 Const-P(%) 0.0 I(%) 0.0 Z(%) 0.0

Qload(pu) 1.0 Const-P(%) 0.0 I(%) 0.0 Z(%) 0.0

Shunt G+jB (pu) 0.0 0.0

Save Cancel

Εικόνα 56: Επεξεργασία δεδομένων ζυγού ροής φορτίου

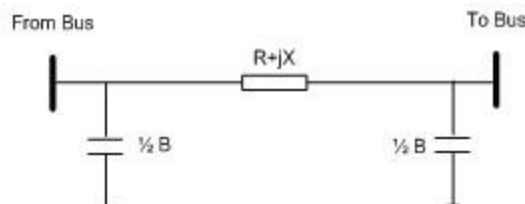
- . Swing – Για τον τύπο Swing/Slack ζυγού παραγωγής
 - Vspec(pu): Το εύρος της τάσης του ζυγού
 - Angle(deg): Η γωνία της τάσης του ζυγού
- PV – Για τον τύπο PV ζυγού παραγωγής
 - Pgen(pu): εύρος ισχύς γεννήτριας
 - Vspec(pu): Το μέγεθος της τάσης του ζυγού
- PQ - Για τον τύπο PQ ζυγού παραγωγής
 - Pgen(pu): ενεργός ισχύς γεννήτριας
 - Qgen(pu): άεργος ισχύς γεννήτριας
- Capacitor - Για τον τύπο ζυγού Capacitor (πυκνωτής)
 - Qcap(pu) : Ονομαστική άεργη ισχύς πυκνωτή. Η άεργος ισχύς αντιμετωπίζεται ως αντίσταση στον υπολογισμό της ροής φορτίου.
- Non-Gen: χωρίς γεννήτρια
- GenScripting: Προσαρμοσμένο μοντέλο ζυγού

- Const-P: Σταθερή ισχύς φορτίου
- Const-I: Σταθερό ρεύμα φορτίου
- Const-Z: Σταθερή αντίσταση φορτίου
- NonLoad: χωρίς φορτίο ζυγού
- LoadScripting: Προσαρμοσμένο μοντέλο ζυγού.
 - Pload(pu): ενεργός ισχύς φορτίου ζυγού
 - Qload(pu): άεργος ισχύς φορτίου ζυγού
- ShuntG+jB(pu): εγκάρσια σύνθετη αγωγιμότητα ζυγού

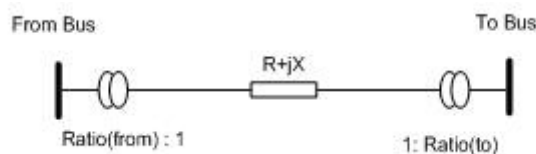
Τα άλλα μη ενεργοποιημένα πεδία στο πλαίσιο διαλόγου των δεδομένων του ζυγού αφορούν προχωρημένα χαρακτηριστικά της ροής φορτίου. Αυτά ενεργοποιούνται όταν η επιλογή «Includeadjustments/Controls» στον πίνακα δεδομένων του έργου είναι επιλεγμένη.

2.2.1.3 Δεδομένα κλάδου

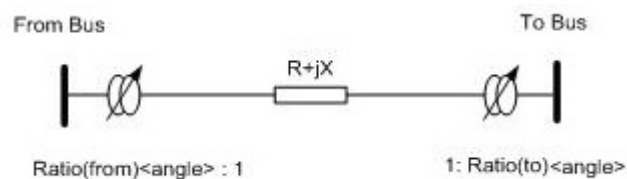
Το μοντέλο κλάδων στο InterPSS φαίνεται στις παρακάτω εικόνες. Σημειώνεται ότι το InterPSS υποστηρίζει μοντέλο προσομοίωσης μετατόπισης γωνίας φάσης στη περιοχή «to-bus».



Εικόνα 57: Μοντέλο κλάδου γραμμής



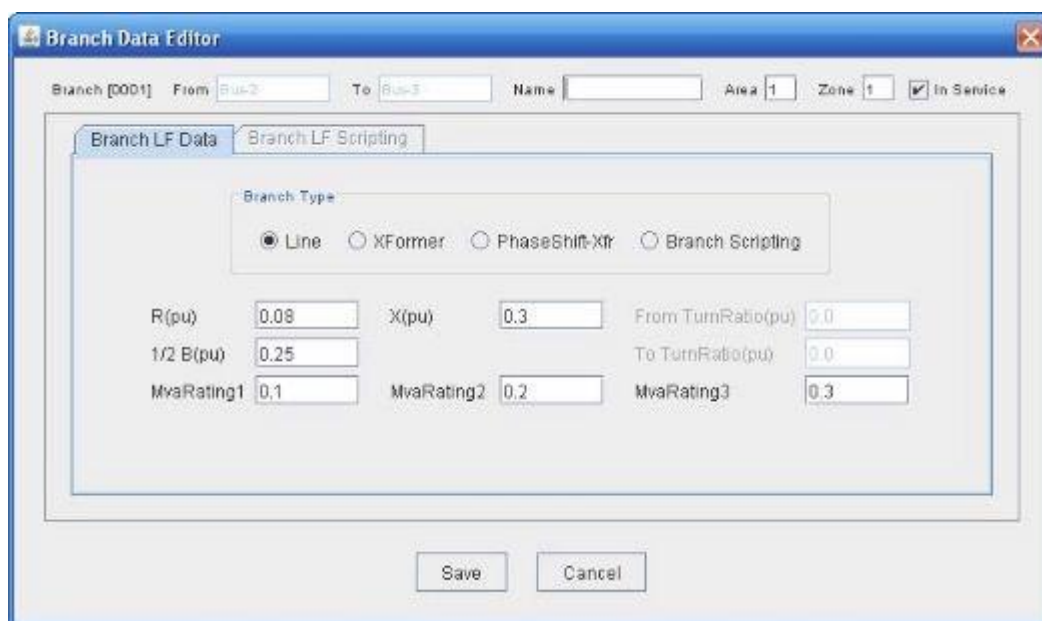
Εικόνα 58: Μοντέλο κλάδου μετασχηματιστή



Εικόνα 59: Μοντέλο κλάδου μετασχηματιστή μετατόπισης φάσης

Για να οριστεί μια γραμμή κλάδου, ο χρήστης επιλέγει ως τύπο κλάδου το Line. Από εκεί:

- R (pu): αντίσταση της γραμμής
- X(pu): αντίδραση της γραμμής
- $\frac{1}{2} B$ (pu): Εγκάρσια σύνθετης επιδεκτικότητας
- MvaRating1: Όριο (σύννηθες)φαινόμενης ισχύος μέγιστης φόρτισης κλάδου
- MvaRating2: Όριο (ενδιάμεσο)φαινόμενης ισχύος μέγιστης φόρτισης κλάδου
- MvaRating3: Όριο (ανώτατο)φαινόμενης ισχύος μέγιστης φόρτισης κλάδου



Εικόνα 60: Επεξεργασία δεδομένων κλάδου ροής φορτίου

Για να οριστεί ένας κλάδος μετασχηματιστή, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει ως τύπο κλάδου το XFormer. Τα ακόλουθα επιπρόσθετα πεδία πρέπει επίσης να καθοριστούν :

- FromTurnRatio(pu): Ο λόγος μετασχηματισμού του μετασχηματιστή από τη μεριά του πρώτου ζυγού.
- ToTurnRatio(pu): Ο λόγος μετασχηματισμού του μετασχηματιστή από τη μεριά του δεύτερου ζυγού.

Για να οριστεί ένας κλάδος μετασχηματιστή μετατόπισης φάσης, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει ως τύπο κλάδου το PhaseShift-Xfr. Τα ακόλουθα πεδία πρέπει επίσης να καθοριστούν:

- FromShiftAngle(deg): Επιπορεία (διαφορά φάσης) της τάσης μεταξύ των ζυγών από τη μεριά του πρώτου ζυγού.

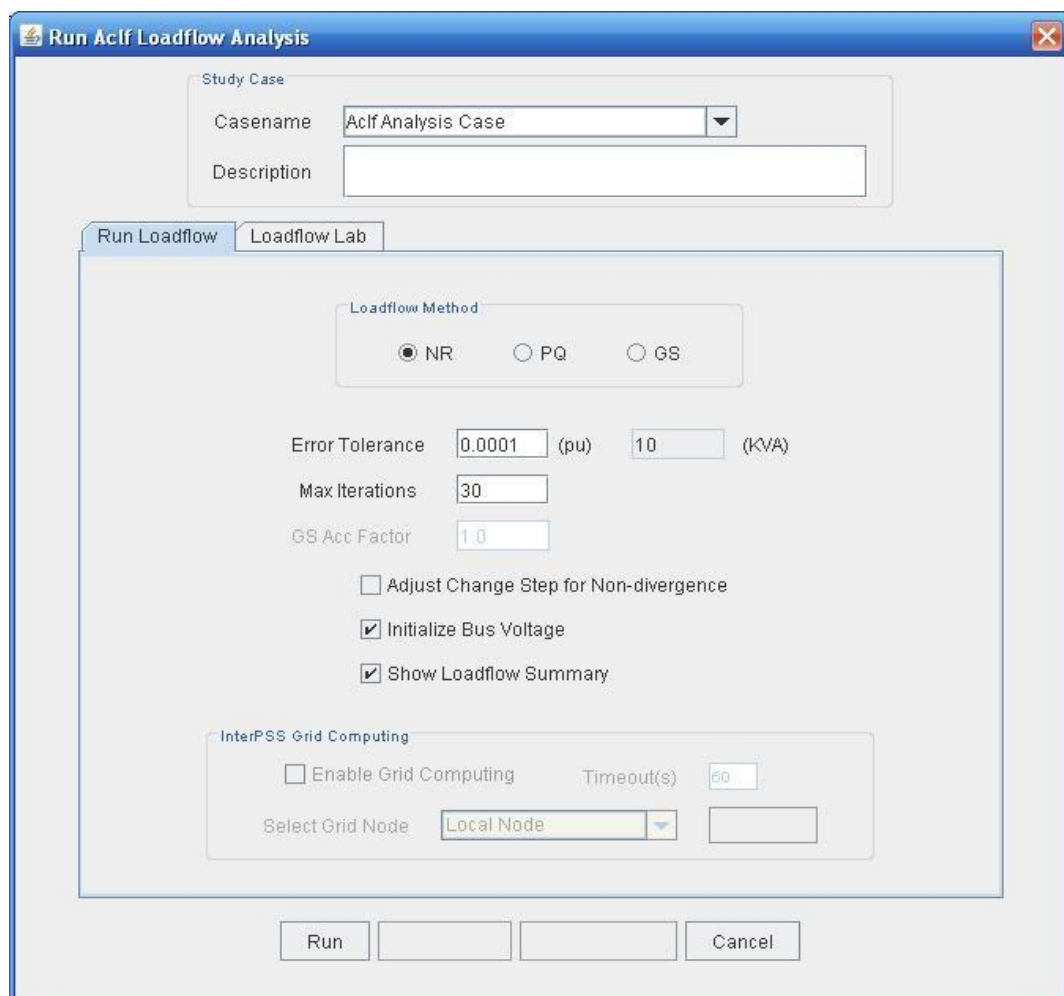
- ToShiftAngle(deg): Επιτορεία (διαφορά φάσης) της τάσης μεταξύ των ζυγών από τη μεριά του δεύτερου ζυγού.

2.2.2 Εκτέλεση ανάλυσης ροής φορτίου

Όταν το έργο περιέχει πληροφορίες για τη ροή φορτίου, άσχετα με το αν είναι σύστημα μεταφοράς ή διανομής, και τον τύπο του δικτύου ACLF, ACSC ή TranStability, η επιλογή “Load Flow Analysis” θα επιτρέψει την ανάλυση ροής φορτίου να εκτελεστεί (Εικόνα 61 και Εικόνα 62).



Εικόνα 61: Εκτέλεση ανάλυσης ροής φορτίου



Εικόνα 62: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων εκτέλεσης

Οι παράμετροι του αλγορίθμου περιγράφονται συνοπτικά ακολούθως.

- Casename: Όνομα της περίπτωσης που εκτελείται.
- Description: Περιγραφή για την περίπτωση
- NR: Newton-Raphson υπολογιστική μέθοδος
- PQ: FastDecoupled υπολογιστική μέθοδος
- GS: Gauss-Seidel υπολογιστική μέθοδος
- Errortolerance: Σφάλμα ανοχής για τον έλεγχο της σύγκλισης της ροής φορτίου.
- Maxiteration: Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων για την εκτέλεση
- AdjustChangeStepfornon-Divergence: Το InterPSS θα ρυθμίσει την διαδικασία εκτέλεσης της ροής φορτίου έτσι ώστε η ροή φορτίου να μην αποκλίνει.
- Initialize Bus Voltage: Εισαγωγή της τάσης του ζυγού πριν από την εκτέλεση της περίπτωσης. Το InterPSS φορτώνει τα αποτελέσματα της ροής φορτίου στη μνήμη. Ως εκ τούτου, ένα τρέξιμο της ροής φορτίου θα μπορεί να συνεχιστεί από μια προηγούμενη εκτέλεση ή να ξεκινήσετε από την αρχή εισάγοντας τις τάσεις του κάθε ζυγού.
- ShowLoadflow Summary: Αν τσεκαριστεί, η σύνοψη των πληροφοριών της ροής φορτίου θα εμφανιστούν μετά από κάθε εκτέλεση.
- InterPSS Grid Computing: Ενεργοποίηση του υπολογιστικού πλέγματος για να διανείμει την εκτέλεση της ροής φορτίου σε έναν απομακρυσμένο υπολογιστή.

2.2.3 Εμφάνιση σύνοψης ροής φορτίου

Εάν ο χρήστης επιλέξει το «ShowLoadflowSummary» κατά την εκτέλεση μιας ανάλυσης ροής φορτίου, η περίληψη της ανάλυσης θα εμφανιστεί, όπως φαίνεται στην Εικόνα 63.

Load Flow Summary					
Max Power Mismatches					
Bus	dPmax	Bus	dQmax		
0002	0.000004	0002	0.000100 (pu)		
	0.437609		9.973446 (kva)		
BusID	Code	Volt (pu)	Angle (deg)	P (pu)	Q (pu)
0001	Swing	1.06000	0.0	2.3240	-0.2068
0002	PQ + ConstP	1.04713	-5.0	0.1830	0.3730
0003	PV + ConstP	1.01000	-12.7	-0.9420	0.0444
0004	ConstP	1.01850	-10.3	-0.4780	0.0390
0005	ConstP	1.02036	-8.8	-0.0760	-0.0160
0006	PV + ConstP	1.07000	-14.2	-0.1120	0.0472
0007	ConstP	1.06190	-13.4	0.0000	0.0000
0008	PV	1.09000	-13.4	0.0000	0.1739
0009	ConstP	1.05630	-14.9	-0.2950	-0.1660
0010	ConstP	1.05129	-15.1	-0.0900	-0.0580
0011	ConstP	1.05706	-14.8	-0.0350	-0.0180
0012	ConstP	1.05521	-15.1	-0.0610	-0.0160
0013	ConstP	1.05043	-15.1	-0.1350	-0.0580
0014	ConstP	1.03578	-16.0	-0.1490	-0.0500
PV Bus Limit Adjustment/Control					
BusID	Vact	Vspec	Q	Qmax	Qmin Status

Εικόνα 63: Σύνοψη ροής φορτίου

Κάνοντας κλικ στην επιλογή Bus Style, η περίληψη μπορεί να εμφανίζεται σε μορφή IEEE Style (Εικόνα 64).

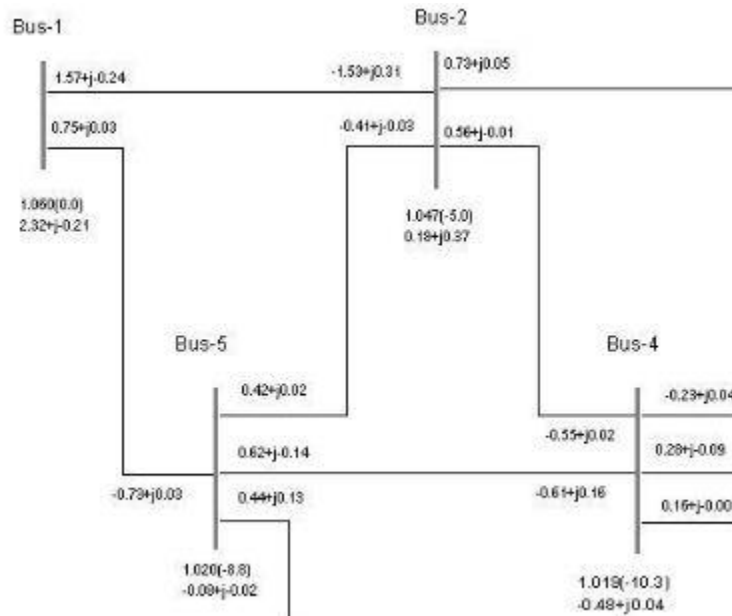
Load Flow Results													
Bus ID	Bus Voltage			Generation		Load		To Bus ID	Branch P+Q			Xfr Ratio	
	base	Mag	Ang	(mW)	(mVar)	(mW)	(mVar)		(mW)	(mVar)	(kA)	(From)	(To)
0001	132000	1.0600	0.0	232.40	-20.68	0.00	0.00	0002	156.95	-24.14	0.655		
								0005	75.46	3.47	0.312		
0002	132000	1.0471	-5.0	40.00	50.00	21.70	12.70	0003	73.19	4.67	0.306		
								0005	41.55	1.94	0.174		
								0004	56.18	-0.80	0.235		
0003	132000	1.0100	-12.7	0.00	23.44	94.20	19.00	0001	-152.62	31.49	0.655		
								0004	-23.33	3.99	0.102		
0004	132000	1.0185	-10.3	0.00	0.00	47.80	-3.90	0002	-70.87	0.45	0.306		
								0007	28.09	-9.45	0.127	0.978	
								0009	16.09	-0.34	0.069	0.969	
								0002	-54.51	2.25	0.235		
0005	132000	1.0204	-8.8	0.00	0.00	7.60	1.60	0003	23.70	-4.36	0.102		
								0005	-61.17	15.80	0.271		
								0004	61.69	-14.18	0.271		
0006	35000	1.0700	-14.2	0.00	12.22	11.20	7.50	0006	44.06	12.87	0.197	0.932	
								0001	-72.70	2.59	0.312		
								0002	-40.64	-2.88	0.174		
								0011	7.34	3.48	0.125		
								0012	7.78	2.49	0.126		
								0013	17.74	7.18	0.295		
								0005	-44.06	-8.44	0.742	0.932	

Εικόνα 64: Busstyle εμφάνιση σύνοψης ροής φορτίου

Ο χρήστης μπορεί να κάνει κλικ στο κουμπί SaveAs για να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα σε ένα αρχείο κειμένου.

2.2.4 Εμφάνιση σχολίων στα αποτελέσματα της ροής φορτίου

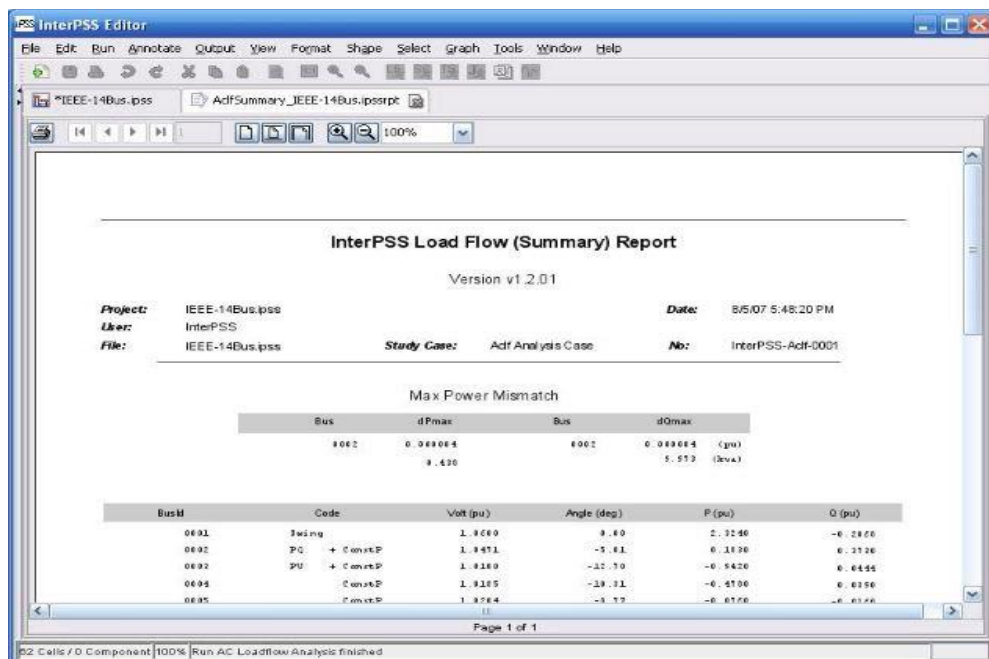
Ο χρήστης μπορεί να βλέπει σχόλια σχετικά με τα αποτελέσματα της ροής φορτίου πάνω στο διάγραμμα μετά από κάθε εκτέλεση της ροής φορτίου (Εικόνα 65).



Εικόνα 65: Εμφάνιση σχολίων σε διάγραμμα ροής φορτίου

2.2.5 Αναφορές ροής φορτίου

Τέλος ο χρήστης μπορεί να παίρνει αναφορές ροής φορτίου που παράγονται μετά από κάθε εκτέλεση της ροής φορτίου (Εικόνα 66).



Εικόνα 66: Αναφορές ροής φορτίου

Οι αναφορές αυτές βασίζονται σε κάποιο πρότυπο. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει το δικό του πρότυπο αναφοράς και να το συνδέσει στο InterPSS για να δημιουργήσει τη δική του προσαρμοσμένη αναφορά.

2.3 Μελέτη Ανάλυσης Βραχυκυκλώματος

Η υλοποίηση βραχυκυκλώματος περιλαμβάνει τριφασικό (3- Phase), γραμμή σε γη (Line to Ground), γραμμή σε γραμμή (Line to Line) και γραμμή σε γραμμή σε γη (Line-Line-Ground) σφάλμα. Το σφάλμα μπορεί να οριστεί σε ένα ζυγό ή σε ένα κλάδο. Μια απόσταση (επί τοις εκατό σε σχέση με το From-Bus ενός κλάδου) χρησιμοποιείται για να καθορίσει την ακριβή θέση του σφάλματος στον κλάδο. Η μονάδα τάσης ζυγού με έναν παράγοντα πολλαπλασιασμού ή η πραγματική τάση του ζυγού, που υπολογίζεται εκτελώντας την ανάλυση φορτίου, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως η αρχική τάση για τον υπολογισμό του βραχυκυκλώματος.

2.3.1 Δημιουργία ενός έργου βραχυκυκλώματος

Δεδομένα του έργου

Για να δημιουργήσει ένα έργο βραχυκυκλώματος, ο χρήστης επιλέγει το σύστημα μεταφοράς ως τύπο δικτύου και το ACSC ως τύπο μελέτης. Μπορεί επίσης να συμπεριλάβει πληροφορίες σχετικά με τη ροή φορτίου επιλέγοντας το πλαίσιο Include Loadflow Information (Εικόνα 67).

- BaseKVA: Τα KVA της βάσης σε KVA για το ανά μονάδα σύστημα του έργου.
- BaseFreq: Η συχνότητα της βάσης σε Hz.

Project Data Editor

Project File: acsc-5Bus-If.ipss

Description: A Sample SC project with loadflow info

BaseKVA: 100000.0 (kva) BaseFreq: 50.0 (hz)

Application Type: ☒ Transmission ☐ Distribution

Network Type: ☐ ACLF ☒ ACSC ☐ TranStability

☐ Allow parallel branches

☒ Include Loadflow Information

☐ Include adjustments/controls

Save Cancel

Εικόνα 67: Δεδομένα έργου σε ανάλυση βραχυκυκλώματος

Δεδομένα ζυγού

Τα δεδομένα σχετικά με τον ζυγό είναι:

- Για τύπο ζυγού: Contribute
- $R(1)/R(2)/R(0)$ (pu): Εσωτερική αντίσταση ζυγού (ακολουθία 1/2/0)
- $X(1)/X(2)/X(0)$ (pu): Εσωτερική αντίδραση ζυγού (ακολουθία 1/2/0)
- SolidGrounded: Γειωμένος ζυγός
- Z-Grounded: Γειωμένος μέσω μιας σύνθετης αντίστασης Z ($\text{GroundR} + j\text{GroundX}$)
- UnGrounded: Μη γειωμένος
- Για τύπο ζυγού: NonContribute (Δεν υπάρχουν δεδομένα εισόδου)

Εάν συμπεριλαμβάνονται πληροφορίες για τη ροή φορτίου στο έργο, τότε επιτρέπεται και η εισαγωγή δεδομένων ροής φορτίου για τον ζυγό. Τέλος η επιλογή Scripting επιτρέπει στον χρήστη να γράψει προσαρμοσμένο κώδικα Java και να ορίσει ένα προσαρμοσμένο ζυγό για την ανάλυση βραχυκυκλώματος (Εικόνα 68).

Εικόνα 68: Δεδομένα ζυγού σε ανάλυση βραχυκυκλώματος

Δεδομένα κλάδου

Κλάδος γραμμής

Τα δεδομένα που εισάγονται σχετικά με τον κλάδο είναι (Εικόνα 69):

- $R1/R0$ (pu): αντίσταση γραμμής (ακολουθία 1/0). Το InterPSS υποθέτει ότι $R(2) = R(1)$ για τη γραμμή κλάδου.
- $X1/X0$ (pu): αντίδραση γραμμής (ακολουθία 1/0). Το InterPSS υποθέτει ότι $X(2) = X(1)$ για τη γραμμή κλάδου.
- $1/2B1/B0$ (pu): αγωγιμότητα μισής γραμμής (ακολουθία 1/0). Το InterPSS υποθέτει ότι $B(2) = B(1)$ για τη γραμμή κλάδου.

Branch Data Editor

Branch [0001] From Bus-2 To Bus-3 Name Area 1 Zone 1 ☒ In Service

Loadflow Short Circuit SC Branch Scripting

Branch Type

☒ Line ☐ XFormer ☐ PhaseShift-Xfr ☐ Scripting

R1(pu)	0.0	X1(pu)	0.3
R0(pu)	0.0	X0(pu)	0.75
1/2 B1(pu)	0.0	1/2 B0(pu)	0.0
From TurnRatio(pu)	0.0	To TurnRatio(pu)	0.0

Save Cancel

Εικόνα 69: Δεδομένα κλάδου γραμμή σε ανάλυση βραχυκυκλώματος

Κλάδος μετασχηματιστή

Συμπληρωματικά στα R και X, χρειάζεται να οριστούν τα παρακάτω δεδομένα για ένα κλάδο μετασχηματιστή (Εικόνα 70):

- From/ToTurnRatio (pu): From-side και to-side λόγος μετασχηματισμού του μετασχηματιστή.
- FromSide/ToSideGrounding: Επιτρέπει στον χρήστη να ορίσει το FromSide και ToSide σύνδεση περιέλιξης του μετασχηματιστή.
 - DeltaConnection: δέλτα σύνδεση
 - WyeConnection: Y-σύνδεση. Για Y-σύνδεση, η γείωση και η προαιρετική γείωση Z πρέπει να καθοριστούν.

Branch Data Editor

Branch [0004] From [Bus 4] To [Bus 2] Name [] Area [1] Zone [1] ☒ In Service

Loadflow Short Circuit SC Branch Scripting

Branch Type

☐ Line ☒ XFormer ☐ PhaseShift-Xfr ☐ Scripting

R1(pu) [0.0] X1(pu) [0.015]

R0(pu) [0.0] X0(pu) [0.003]

1/2 B1(pu) [0.0] 1/2 B0(pu) [0.0]

From TurnRatio(pu) [1.0] To TurnRatio(pu) [1.0]

FromSide Grounding

☐ Delta Connection ☒ Wye Connection

Grounding

☐ SolidGrounded ☐ Z-Grounded ☒ Ungrounded

GroundX [0.0] GroundR [0.0] (Ohms)

ToSide Grounding

☒ Delta Connection ☐ Wye Connection

Save Cancel

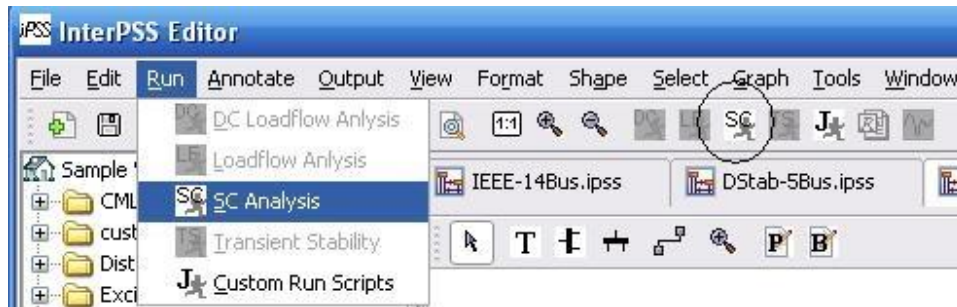
Εικόνα 70: Δεδομένα κλάδου μετασχηματιστή σε ανάλυση βραχυκυκλώματος

Φάση-μετατόπιση κλάδου μετασχηματιστή

Ο μετασχηματιστής μετατόπισης φάσης χρειάζεται τα ίδια δεδομένα εισόδου, όπως ένας οποιοσδήποτε μετασχηματιστής. Επιπλέον, ορίζεται μία γωνία μετατόπισης φάσης. Για τη θετική ακολουθία η From-side γωνία τάσεως θα μετατοπιστεί από την τιμή της γωνίας. Για την αρνητική ακολουθία, η τάση θα μετατοπιστεί από την τιμή γωνίας. Για τη μηδενική ακολουθία, δεν υπάρχει μετατόπιση γωνίας.

2.3.2 Εκτέλεση της ανάλυσης βραχυκυκλώματος

Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων ενός βραχυκυκλώματος, ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει την ανάλυση βραχυκυκλώματος επιλέγοντας SC Analysis (Εικόνα 71).



Εικόνα 71: Εκτέλεση ανάλυσης βραχυκυκλώματος

Για το σφάλμα ζυγού, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει έναν ζυγό και τον τύπο του σφάλματος ζυγού

- 3P: Σφάλμα από τριφασικό σε γείωση
- L-G: Σφάλμα από μονοφασικό σε γείωση
- L-L: Σφάλμα από γραμμή σε γραμμή
- LL-G: Σφάλμα από γραμμή σε γραμμή στη γείωση
- LG ($r + jx$): Εμπέδηση σφάλματος από γραμμή στη γείωση, που ισχύουν για 3P, LG και LL-G
- LL ($r + jx$): Εμπέδηση σφάλματος μεταξύ των γραμμών, που ισχύουν για LL
- Load flow Prefault Voltage: Χρήση τάσης ροής φορτίου ως τάση prefault
- Fixed Prefault Voltage: Σταθερή τάση prefault (1.0 pu). Ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιεί το MFactor (%) για την αύξηση/μείωση του σφάλματος του ρεύματος συνεισφοράς
- MFactor (%): Ένας πολλαπλασιαστικός συντελεστής μπορεί να οριστεί για την αύξηση/μείωση του σφάλματος του ρεύματος συνεισφοράς

Επίσης σημειώνεται ότι για τον υπολογισμό του σφάλματος σε 3P ο χρήστης χρειάζεται να καθορίσει μόνο τα δεδομένα θετικής ακολουθίας. Ενώ για LG, LL, ή LL-G, ο χρήστης πρέπει να καθορίσει τα δεδομένα αρνητικής και μηδενικής ακολουθίας (Εικόνα 72).

Run Acsc Short Circuit Analysis

Study Case

Casename: Acsc Analysis Case

Description:

Fault Type:

☒ Bus Fault ☐ Branch Fault

Fault Bus: Bus-1(0001)

Fault Type:

☒ 3P ☐ L-G ☐ L-L ☐ LL-G ☐ All

L-G(r+px): 0.0000 0.0000 (Ohms)

L-L(r+px): 0.0 0.0 (Ohms)

Prefault Bus Voltage:

☒ Loadflow ☐ Fixed MFactor(%) 100.0

Run Cancel

Εικόνα 72: Τύπος σφάλματος ανάλυσης βραχυκυκλώματος

Για το σφάλμα κλάδου, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει έναν κλάδο και τον τύπο του σφάλματος του κλάδου. Εκτός από τα δεδομένα που ορίζονται προηγουμένως για το σφάλμα ζυγού χρειάζεται επίσης να ορίσει

- FaultDistance: Ορισμός απόστασης σφάλματος σε % από το From-Bus.

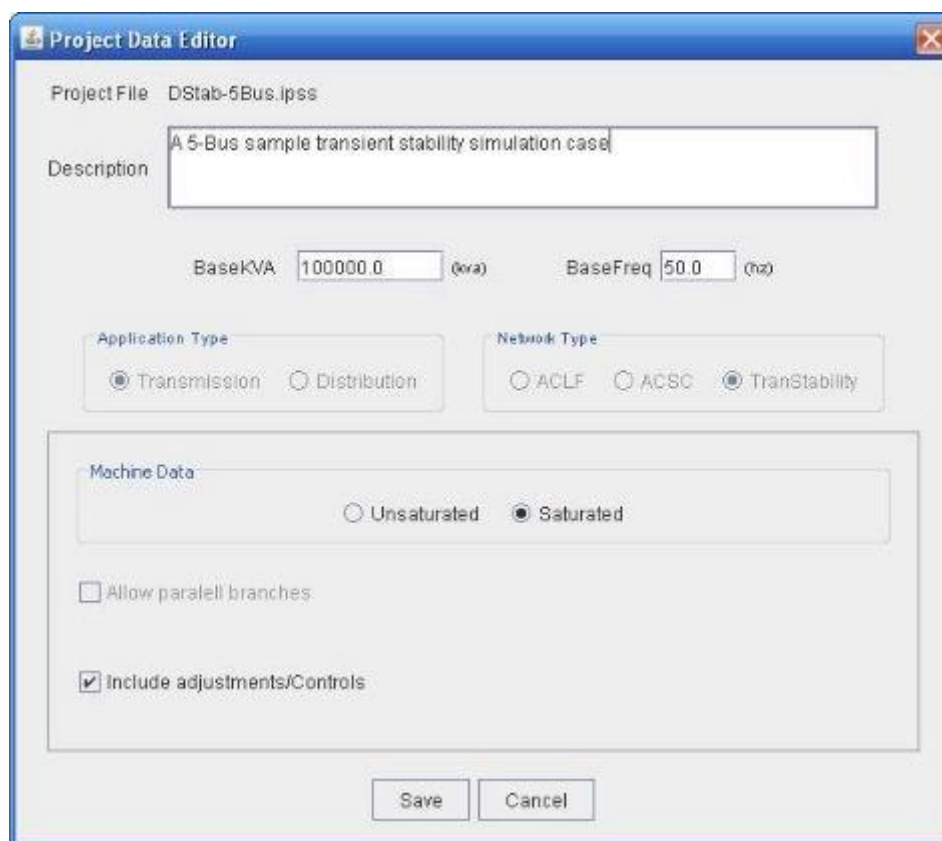
2.4 Μελέτη Ανάλυσης Μεταβατικής Ευστάθειας

Η InterPSS προσομοίωση μεταβατικής ευστάθειας έχει σχεδιαστεί για την προσομοίωση ηλεκτρομηχανολογικών μεταβάσεων που οφείλονται σε μεγάλες διαταραχές (Dynamic Event) ή σε μια ακολουθία γεγονότων στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

2.4.1 Δημιουργία ενός έργου προσομοίωσης μεταβατικής ευστάθειας

Δεδομένα έργου

Στις επιλογές τύπου δικτύου και τύπου μελέτης επιλέγουμε δίκτυα μεταφοράς (Transmission) και TranStability για να καθορίσουμε ένα έργο προσομοίωσης μεταβατικής ευστάθειας (Εικόνα 73).



Εικόνα 73: Δεδομένα έργου σε ανάλυση μεταβατικής ευστάθειας

- BaseKVA: Τα KVA της βάσης σε KVA για το ανά μονάδα σύστημα, η προεπιλεγμένη τιμή είναι 100.000 KVA
- BaseFreq: Η συχνότητα της βάσης σε Hz, η προεπιλεγμένη τιμή είναι 50 Hz
- MachineData: οι παράμετροι της μηχανής, όπως το X_d , που παρέχονται από τον κατασκευαστή είναι κορεσμένες τιμές (saturated) που προέρχονται από μετρήσεις πεδίου ή ρυθμίζονται σε ακόρεστες τιμές (unsaturated). Για τα δεδομένα μηχανής, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει είτε ακόρεστα είτε κορεσμένα.
- Include Adjustments/Controls: Συμπεριλαμβάνει/αποκλείει τη ρύθμιση/έλεγχο του υπολογισμού ροής φορτίου στη διαδικασία αρχικοποίησης. Η ρύθμιση/έλεγχος της ροής φορτίου ισχύει μόνο για την αρχική κατάσταση. Ο χρήστης πρέπει

να καθορίσει μια δυναμική συσκευή ζυγού (dynamic bus device) ή συσκευή κλάδου (που πρέπει να υλοποιηθούν και να αναπτυχθούν αργότερα) για να μελετηθεί κάθε δυναμική συμπεριφορά αυτών των συσκευών ρύθμισης/ελέγχου.

Δεδομένα ζυγού

Πρώτα θα πρέπει να εισαχθούν τα δεδομένα ροής φορτίου του ζυγού για τη δημιουργία μιας μόνιμης κατάστασης ως αρχικής κατάστασης για την προσομοίωση. Για να προσθέσει ο χρήστης ένα δυναμικό μοντέλο μηχανής, θα πρέπει να επιλέξει Τύπο γεννήτριας (GeneratorType) = Swing, PQ, PV ή Remote Control. Εάν ο χρήστης επιθυμεί να ορίσει ένα προσαρμοσμένο δυναμικό μοντέλο για τον ζυγό, τότε θα πρέπει να επιλέξει το πλαίσιο Dynamic Bus Device Scripting (Εικόνα 74).

The screenshot shows the 'Bus Data Editor' window with the 'Bus Device Scripting' tab selected. The window has a title bar 'Bus Data Editor' and a standard Windows interface. At the top, there are fields for 'Bus [004]', 'BusName Bus-4', 'Base Volt 1000.00', 'Volt', 'Area 1', 'Zone 1', and a checked 'In Service' box. Below this is a tabbed interface with 'Bus Info', 'Machin Info', 'Exciter Info', 'Governor Info', 'PSS Info', and 'Bus Device Scripting'. The 'Bus Device Scripting' tab is active and contains several sections: 'Generator Type' with radio buttons for Swing, PV (selected), PQ, RemoteControl, Capacitor, NonGen, and GenScripting; 'Pgen(pu)' set to 5.0 and 'Vspec(pu)' set to 1.05; a 'PV Bus Limit Adjustment' checkbox; 'Qmax(pu)' and 'Qmin(pu)' both set to 0.0; a 'Remote Bus' dropdown; 'Mvar Flow Direction' with 'From->To' selected; 'Mvar Spec On' with 'From Side' selected; 'Load Type' with radio buttons for Const-P, Const-I, Const-Z, Functional, NonLoad (selected), and LoadScripting; 'Pload(pu)', 'Qload(pu)', 'Const-P(%)', 'Const-I(%)', 'Const-Z(%)', 'Functional(%)', 'NonLoad(%)', and 'LoadScripting(%)' fields; and 'Shunt G+jB (pu)' fields. At the bottom, there is a checkbox for 'Dynamic Bus Device Scripting' which is circled in red, and 'Save' and 'Cancel' buttons.

Εικόνα 74: Δεδομένα ζυγού σε ανάλυση μεταβατικής ευστάθειας

Παράμετροι μηχανής

Αφού οριστεί ένας ζυγός και ο τύπος της γεννήτριας (Swing, PV, PQ ή Remote Control), ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει το μοντέλο της μηχανής και να καθορίσει

τις παραμέτρους για την προσομοίωση της μεταβατικής ευστάθειας. Για να προσθέσει ελεγκτές μηχανής (σύστημα διέγερσης-excitation system, σύστημα ρύθμισης-governor system, σύστημα σταθεροποιητή ισχύος-PSS) ο χρήστης χρειάζεται να επιλέξει το πλαίσιο Has Excitation Controller και/ή Has Governor Controller. Το σύστημα σταθεροποιητή ισχύος ενεργοποιείται επιλέγοντας το Has Stabilizer από το παράθυρο Exciter Info (Εικόνα 75).

Bus Data Editor

Bus [0004] BusName Bus-4 Base Volt 1000.00 Volt Area 1 Zone 1 In Service

Bus Info Machin Info **Exciter Info** Governor Info PSS Info Bus Device Scripting

Machine Model Type

☐ EConstant ☐ Eq1 Model ☐ Eq1 Ed1 Model ☐ E11 Round Rotor ☒ E11 Salient Pole ☐ InfnitBus

☒ Has Excitation Controller ☒ Has Governor Controller

Name Rating(Mva) 600.00

RatedVolt(V) 1000.0	Poles 2	H(sec) 3.00
D(%MW/Hz) 4.0000	X0(pu) 0.0825	X2(pu) 0.2500
Xl(pu) 0.1500	Ra(pu) 0.0110	Xd(pu) 1.05
Xq(pu) 0.70	Xd1(pu) 0.350	Xq1(pu) 0.100
Td01(sec) 5.250	Tq01(sec) 0.000	Xd11(pu) 0.2500
Xq11(pu) 0.3300	Td011(sec) 0.0300	Tq011(sec) 0.0500
S100(%) 0.7	S100(%) 12.0	S120(%) 23.0

Grounding

☐ SolidGrounded ☐ Z-Grounded ☒ Ungrounded

GroundX 0.0 GroundR 0.0 (Ohms)

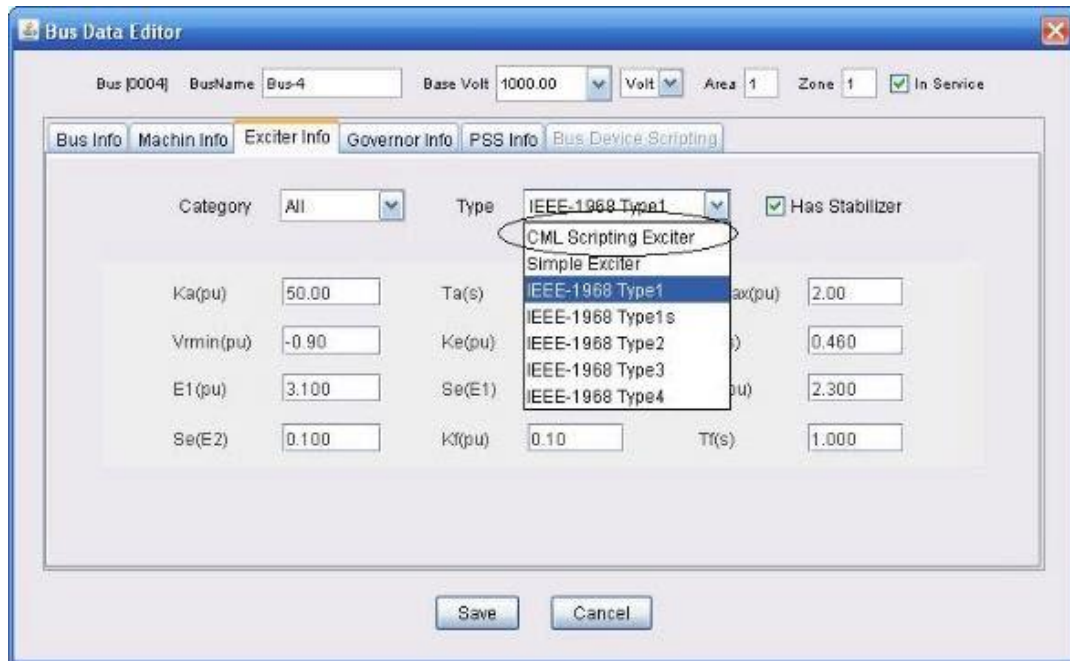
Save Cancel

Εικόνα 75: Παράμετροι μηχανής

Παράμετροι συστήματος διέγερσης

Το InterPSS υποστηρίζει διάφορους τύπους μοντέλων συστημάτων διέγερσης. Για να οριστεί ένα σύστημα διέγερσης, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει ένα μοντέλο διέγερσης από την dropdown λίστα με το όνομα Type και να εισάγει τις απαραίτητες παραμέτρους. Ο χρήστης μπορεί επίσης να επιλέξει το CML Scripting Exciter και να ορίσει ένα προσαρμοσμένο σύστημα διέγερσης χρησιμοποιώντας τη γλώσσα CML

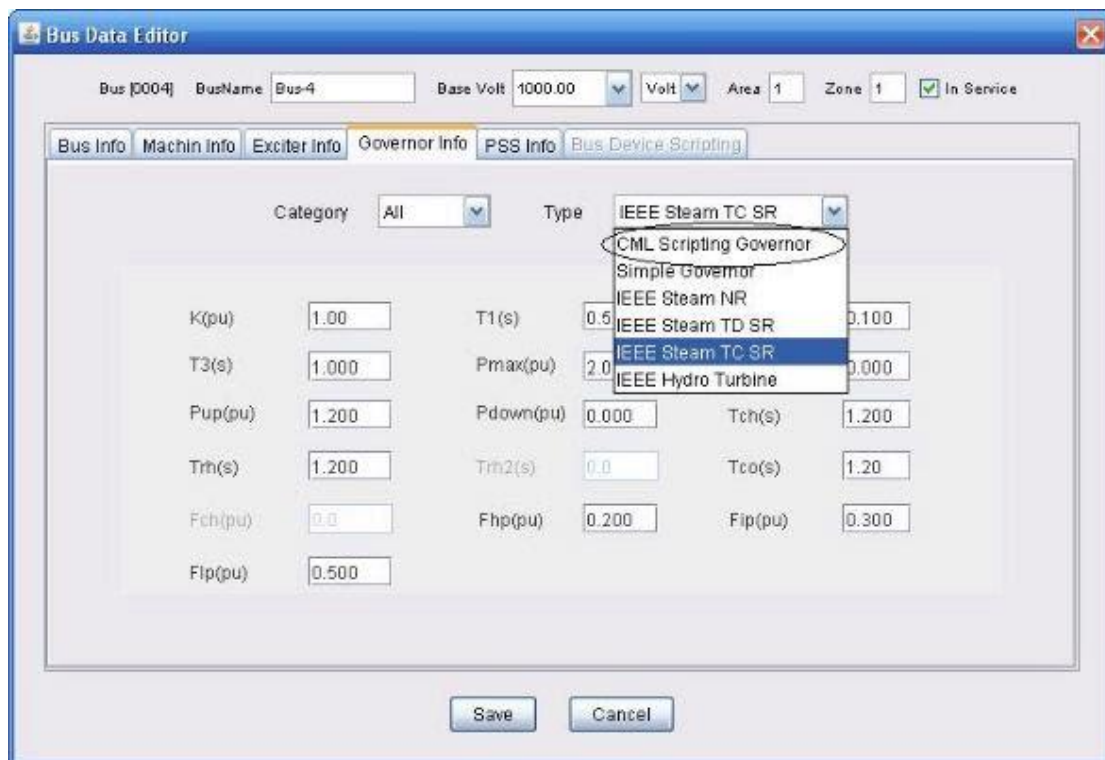
(Controller Modeling Language). Επίσης επιλέγοντας το πλαίσιο Has Stabilizer, ο χρήστης μπορεί να προσθέσει ένα σύστημα σταθεροποιητή ισχύος (PSS) (Εικόνα 76).



Εικόνα 76: Παράμετροι συστήματος διέγερσης

Παράμετροι συστήματος ρύθμισης

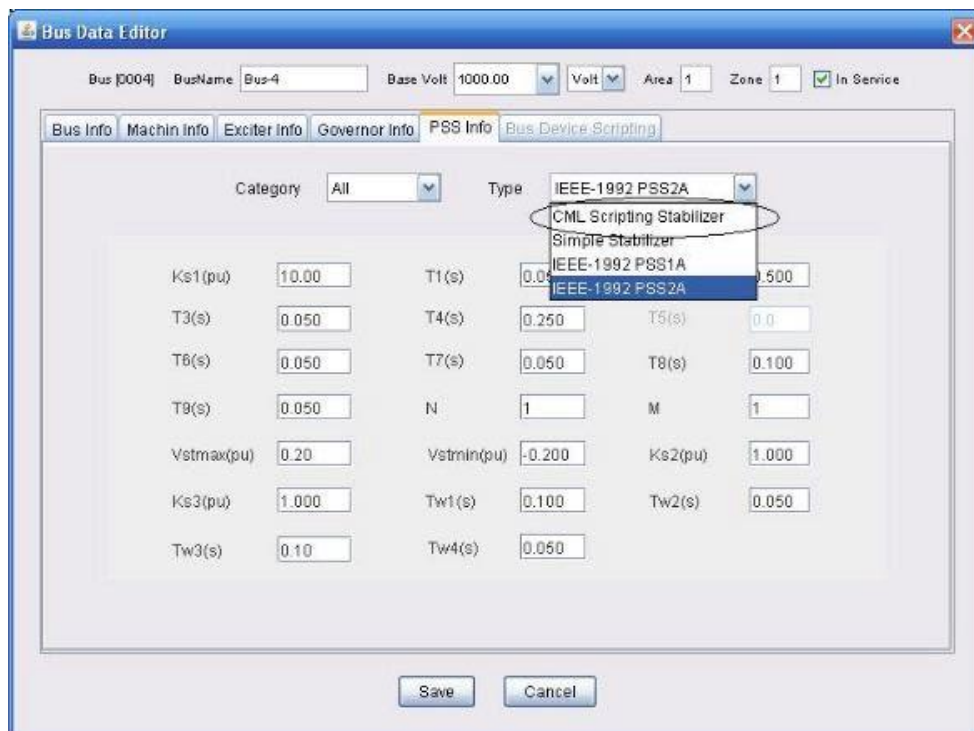
Παρόμοια με το σύστημα διέγερσης, το InterPSS υποστηρίζει διάφορους τύπους μοντέλων ρύθμισης. Για να οριστεί ένα σύστημα ρυθμιστή, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει ένα υπάρχον μοντέλο συστήματος ρυθμιστή από την αναπτυσσόμενη drop down λίστα με το όνομα Type και, στη συνέχεια, να εισάγει τις απαραίτητες παραμέτρους. Επίσης ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το πλαίσιο CML Scripting Governor, αν θέλει να ορίσει ένα προσαρμοσμένο σύστημα ρυθμιστή (Εικόνα 77).



Εικόνα 77: Παράμετροι συστήματος ρύθμισης

Παράμετροι συστήματος σταθεροποιητή

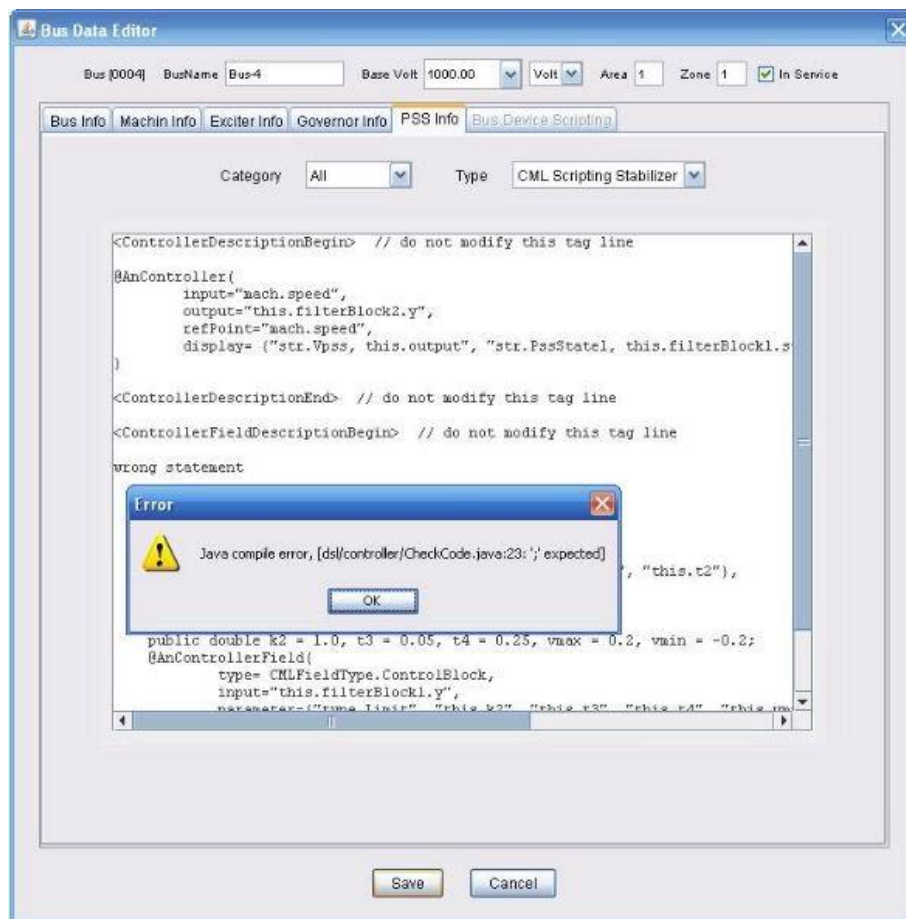
Παρόμοια με το σύστημα διέγερσης, διάφορα είδη μοντέλων σταθεροποιητών Ηλεκτρικών Συστημάτων, ή πιο απλά σταθεροποιητών, περιλαμβάνονται στο InterPSS. Για να οριστεί ένας σταθεροποιητής, ο χρήστης πρέπει να επιλέξει έναν υπάρχον PSS από την αναπτυσσόμενη λίστα με το όνομα Type και, στη συνέχεια, να εισάγει τις απαραίτητες παραμέτρους. Ο χρήστης μπορεί επίσης να επιλέξει το πλαίσιο CML Scripting Stabilizer εάν αυτός επιθυμεί να ορίσει έναν προσαρμοσμένο PSS (Εικόνα 78).



Εικόνα 78: Παράμετροι συστήματος σταθεροποιητή

ControllerModelingLanguage (CML)

Όταν ο χρήστης επιλέξει ως τύπο ελεγκτή, τον CML Scripting Exciter, εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου με κάποιο δείγμα κώδικα. Ο χρήστης μπορεί να ορίσει το δικό του προσαρμοσμένο μοντέλο ελεγκτή γράφοντας τον δικό του κώδικα CML. Μετά την ολοκλήρωση της επεξεργασίας, ο χρήστης κάνει κλικ στο κουμπί Αποθήκευση και αποθηκεύει τον κώδικα που δημιούργησε. Εκείνη τη στιγμή, το InterPSS κάνει compile στον κώδικα του χρήστη και του εμφανίζει μηνύματα λάθους εάν υπάρχει οποιοδήποτε λάθος (Εικόνα 79).



Εικόνα 79: CML ScriptingExciter

Η CML έχει σχεδιαστεί για να απλοποιήσει τη μοντελοποίηση ελεγκτών στην προσομοίωση μεταβατικής ευστάθειας. Κάποιος μπορεί να γράψει CML σενάρια για να ορίσει έναν προσαρμοσμένο ελεγκτή, εκ των οποίων διέγερσης, ρύθμισης και σταθεροποίησης.

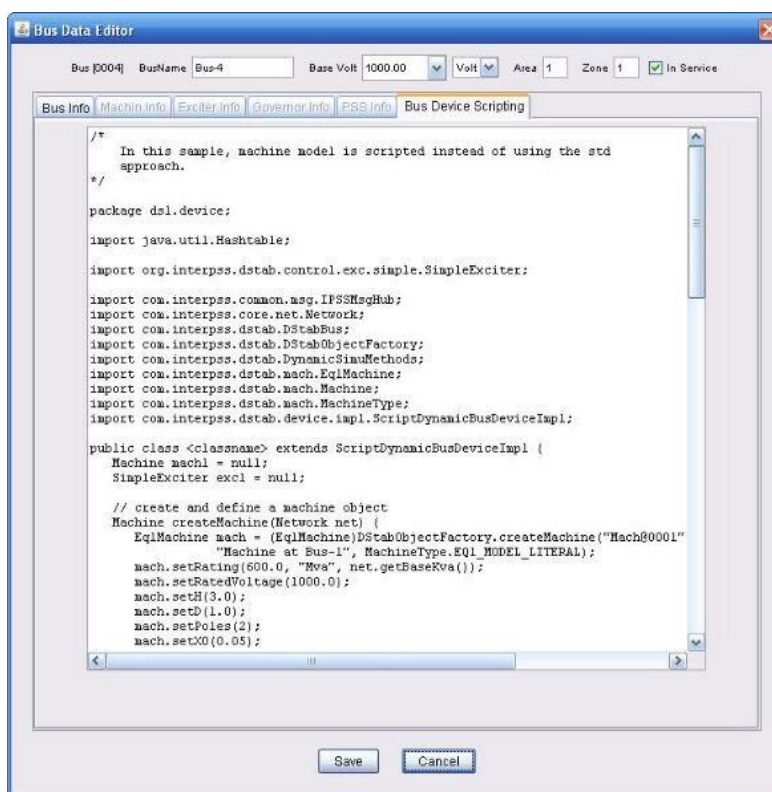
Dynamic Bus Device Scripting

Εάν τα μοντέλα μηχανών και ελεγκτών δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις προσομοίωσης, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει μια προσαρμοσμένη προσομοίωση ζυγού χρησιμοποιώντας το Dynamic Bus Device Scripting. Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να ορίσει μια δυναμική πηγή ή φορτίο, όπου το ρεύμα πηγής/φορτίου έγχυσης στο δίκτυο είναι συνάρτηση της τάσης και του χρόνου του ζυγού (Εικόνα 80).

$$- I = f(V, t)$$

Η συνάρτηση θα μπορούσε να είναι ένα σύνολο διαφορικών και/ή στατικών εξισώσεων. Το Dynamic Bus Device θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την

μοντελοποίηση δυναμικών φορτίων, συμπεριλαμβανομένου κινητήρων, SVC, FACTS ή complex generation station dynamics.



Εικόνα80: Dynamic Bus Device Scripting

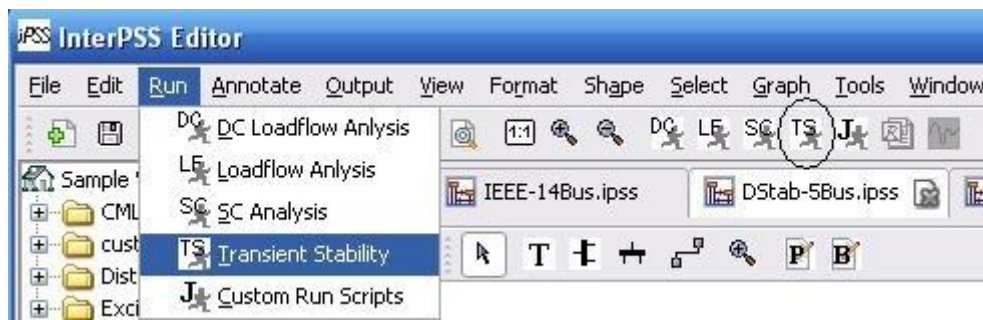
Δεδομένα κλάδου

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την προσομοίωση μεταβατικής ευστάθειας είναι τα ίδια όπως στην ανάλυση βραχυκυκλώματος.

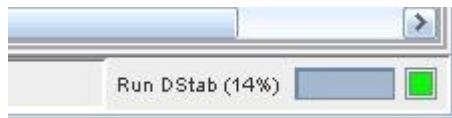
Τα δεδομένα εισάγονται με τον ίδιο τρόπο όπως τα δεδομένα του κλάδου στην ανάλυση ροής φορτίου και στην ανάλυση βραχυκυκλώματος.

2.4.2 Εκτέλεση της ανάλυσης ευστάθειας μετάβασης

Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων προσομοίωσης μεταβατικής ευστάθειας, ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει την προσομοίωση επιλέγοντας το Run/Transient Stability ή το Run TS (Εικόνα 81). Η γραμμή προόδου προσομοίωσης θα δείξει την πρόοδο της προσομοίωσης με ένα ποσοστό Run DStab (Εικόνα 82).



Εικόνα 81: Εκτέλεση ανάλυσης ευστάθειας μετάβασης



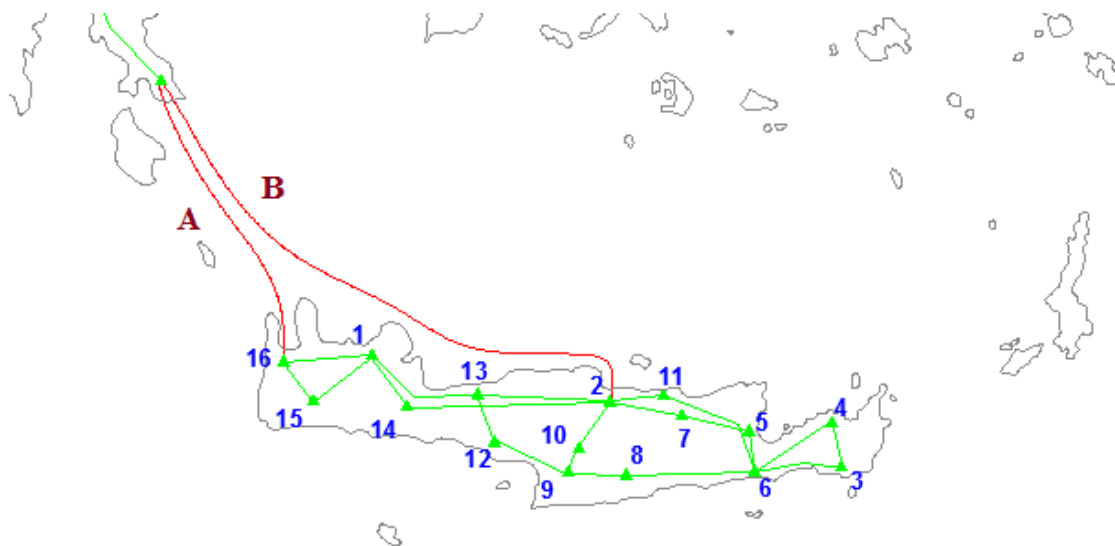
Εικόνα 82: Πρόοδος προσομοίωσης

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΜΕ ΤΟ InterPSS

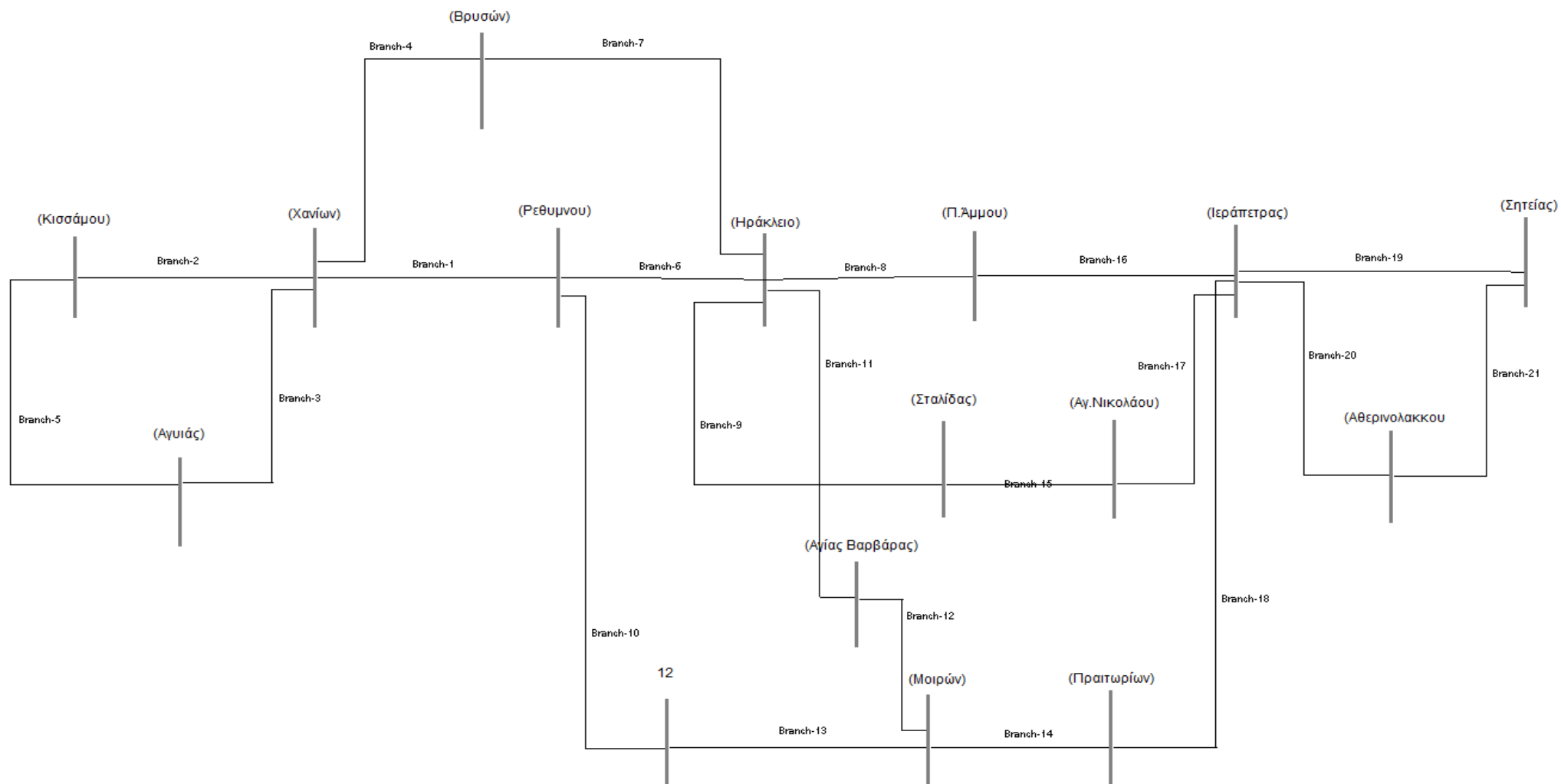
3.1 Προσομοίωση του Ηλεκτρικού Δικτύου της Κρήτης -Σενάριο 1

Στην ενότητα αυτή θα περιγραφεί η ανάλυση της ροής φορτίου ενός παραδείγματος ηλεκτρικού δικτύου με τη βοήθεια του InterPSS. Το παράδειγμα που επιλέχθηκε για την προσομοίωση είναι το ηλεκτρικό δίκτυο της Κρήτης. Συγκεκριμένα στη διπλωματική εργασία (Loukarakis, 2012) περιγράφεται το ηλεκτρικό δίκτυο της Κρήτης που αποτελείται από 16 ζυγούς (buses) του οποίου η τοπολογία του φαίνεται στην Εικόνα 83.



Εικόνα 83: Τοπολογία ηλεκτρικού δικτύου Κρήτης

Ο σχεδιασμός του δικτύου της Κρήτης στο InterPSS αναπαριστάται στην Εικόνα 84. Ο χαρακτηρισμός των ζυγών ως PV, PQ και Swing και οι υπολογισμοί των φορτίων και των δεδομένων των κλάδων έγιναν σύμφωνα με τους κανόνες που περιγράφονται στο 1ο κεφάλαιο. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.



Εικόνα 84: Δίκτυο Κρήτης στο InterPSS (Σενάριο 1)

Δεδομένα Κλάδων

Για τη συμπλήρωση των δεδομένων κάθε κλάδου χρειάστηκε ο υπολογισμός των μηκών τους ο οποίος έγινε προσεγγιστικά με την βοήθεια του Google maps. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της σύνθετης αντίστασης κάθε κλάδου είναι τα ακόλουθα:

Αντιστάσεις ανά χιλιόμετρο κλάδου τύπου E/150

$R (P.U.)=0,000812$, $X(P.U.)=0,001795$, $B(P.U.)=0,00197$

Αντιστάσεις ανά χιλιόμετρο κλάδου τύπου B/150

$R (P.U.)=0,000433$, $X(P.U.)=0,001875$, $B(P.U.)=0,001924$

Τα χρησιμοποιούμενα όρια μεταφερόμενης ισχύος για τις Γ.Μ. 150kV είναι $MVARating1=202 \text{ MVA}$, $MVARating2=124 \text{ MVA}$, $MVARating3=170 \text{ MVA}$.

Οι τιμές των παραμέτρων των κλάδων συμπληρώνονται σε ένα παράθυρο αντίστοιχο με αυτό που φαίνεται στην Εικόνα 85.

Branch Data Editor

Branch [0003] From Bus-16 (Tetoklia) To Bus-15 Name Branch-15-16 Area 1 Zone 1 ☒ In Service

Branch LF Data | Branch LF Scripting

Branch Type

☒ Line ☐ XFormer ☐ PhaseShift-Xfr ☐ Branch Scripting

R(pu) 0.00692 X(pu) 0.03 From TurnRatio(pu) 0.0

1/2 B(pu) 0.0154 To TurnRatio(pu) 0.0

MvaRating1 202.0 MvaRating2 124.0 MvaRating3 170.0

Branch Shunt G+jB(pu) (from) 0.0 0.0 (to) 0.0 0.0

Save Cancel

Εικόνα 85: Παράθυρο εισαγωγής δεδομένων κλάδου στο InterPS

Δεδομένα Ζυγών

Τα δεδομένα των ζυγών υπολογίζονται με τη βοήθεια των παρακάτω πινάκων.

Πίνακας 2: Δεδομένα Φορτίων

Ζυγός	Όνομα	Μέγιστο (MW)
1	Χανιά	155
2	Ηράκλειο	114
3	Αθρινόλακκου	18
4	Σητεία	20
5	Νικολάου	56
6	Ιεράπετρα	25
7	Σταλίδας	78
8	Πραιωρίων	17
9	Μοιρών	47
10	Αγίας Βαρβάρας	15
11	Άμμου	92
12	-	24
13	Ρέθυμνο	84
14	Βρυσών	28
15	Αγυιά	16
16	Κίσσαμος	20

Πίνακας 3: Δεδομένα μονάδων παραγωγής

Ζυγός	Τύπος	Μέγιστο(MW)	Αριθμός Μονάδων
1	gas	60	2
1	gas	38	1
1	gas	46	2
1	cc	45	1
1	wind	11	1
2	steam	16	2
2	steam	26	3
2	gas	51	1
2	gas	14	1
2	gas	19	2
2	gas	38	1
2	diesel	24	4
2	wind	10	1
3	diesel	51	4
3	steam	50	2
4	wind	56	1
4	wind	33	1
5	wind	12	1
9	wind	18	1
10	wind	15	1

Οι υπολογισμοί ανά κατηγορία ζυγού περιγράφονται στη συνέχεια.

Ζυγοί PV

- $P_{gen}(p.u.)$ υπολογίζεται αθροίζοντας όλες τις παραγωγές από συμβατικές μονάδες παραγωγής στον ίδιο ζυγό. Η συνολική παραγωγή θα διαιρεθεί με τα 100MVA που είναι τιμή βάσης για την ισχύ (Πίνακας 5).
- $V_{spec}(p.u.)=1,02$ για όλους τους PV και Swing ζυγούς.
- $P_{load}(p.u.)$ βρίσκεται από τον πίνακα 2 και θα διαιρεθεί με τα 100MVA που είναι η τιμή βάσης για την ισχύ.
- $Q_{load}(p.u.)$ υπολογίζεται από τον τύπο $Q_{load} = P_{load} \cdot (\sqrt{1-0.85^2} / 0.85)$ όπου 0,85 είναι ο συντελεστής ισχύος ($\cos\phi$) του φορτίου.

Ζυγοί PQ

- $P_{gen}(p.u.)=P_{wind}$, όπου P_{wind} βρίσκεται από τις παραγωγές αιολικής ενέργειας. Η συνολική παραγωγή θα διαιρεθεί με τα 100MVA που είναι η τιμή βάσης για την ισχύ.
- $Q_{gen}(p.u.)=Q_w$, όπου το Q_w υπολογίζεται από τον τύπο
$$Q_w = -P_{wind} \cdot (\sqrt{1-0.85^2} / 0.85)$$
- $P_{load}(p.u.)$ βρίσκεται από τον πίνακα 2 αφού διαιρεθεί με τα 100MVA που είναι η τιμή βάσης για την ισχύ.
- $Q_{load}(p.u.)$ υπολογίζεται από τον τύπο $Q_{load} = P_{load} \cdot (\sqrt{1-0.85^2} / 0.85)$ όπου 0.85 είναι συντελεστής ισχύος ($\cos\phi$) του φορτίου.

Παρακάτω φαίνονται οι υπολογισμοί που έγιναν για κάθε ζυγό (Πίνακας 5).

Στο σενάριο αυτό θεωρήσαμε ότι ανά ζυγό και τύπο παραγωγής βρίσκεται σε λειτουργία μια μονάδα παραγωγής. Επίσης, τα φορτία απορροφούν το 81.5% της μέγιστης ισχύος τους και έχουμε 100% της αιολικής παραγωγής.

Πίνακας 4: Τελικός Πίνακας δεδομένων φορτίου

Ζυγός	Ισχύς (MW)	Ζυγός	Μέγιστο (MW)	Ζυγός	Μέγιστο (MW)	Ζυγός	Μέγιστο (MW)
1	126.3	6	20.37	11	74.98	16	16.3
2	92.91	7	63.57	12	19.56		
3	14.67	8	13.85	13	68.46		
4	16.3	9	38.3	14	22.82		
5	45.64	10	12.22	15	13.04		

Πίνακας 5: Δεδομένα ζυγών

Ζυγός	Όνομα	Τύπος	cosφ	Pgen(p.u.)	Vspec(p.u.)	Qgen(p.u.)	Pload(p.u.)	Qload(p.u.)
1	Χανιά	PV	0.85	2	1.02		1.26325	0.805228488
2	Ηράκλειο	PV	0.85	1.98	1.02		0.9291	0.596110331
3	Αθερινόλακκου	PV	0.85	1.01	1.02		0.1467	0.090916494
4	Σητεία	PQ	0.85	0.89		0.1807222	0.163	0.101018327
5	Νικολάου	PQ	0.85	0.12		-0.024367	0.4564	0.282851316
6	Ιεράπετρα	PQ	0.85	0		0	0.20375	0.126272909
7	Σταλίδας	PQ	0.85	0		0	0.6357	0.393971476
8	Πραιτωρίων	PQ	0.85	0		0	0.13855	0.085865578
9	Μοιρών	PQ	0.85	0.18		0.0365506	0.38305	0.237393069
10	Αγίας Βαρβάρας	PQ	0.85	0.15		0.0304588	0.12225	0.075763745
11	Άμμου	PQ	0.85	0		0	0.7498	0.464684305
12	-	PQ	0.85	0		0	0.1956	0.121221993
13	Ρέθυμνο	PQ	0.85	0.1		0.0203059	0.6846	0.424276974
14	Βρυσών	PQ	0.85	0		0	0.2282	0.141425658
15	Αγιά	PQ	0.85	0		0	0.1304	0.080814662
16	Κίσσαμος	Swing	0.85	0.19	1.02	-0.0385811	0.163	0.101018327

Bus [0006] BusName Bus-4 (Σητεία) Base Volt 150.00 KV Area 1 Zone 1 ☒ In Service

Bus LF Data Bus LF Scripting

Generator Type
☐ Swing ☐ PV ☒ PQ ☐ RemoteControl ☐ Capacitor ☐ NonGen ☐ GenScripting

Pgen(pu) 0.89 Qgen(pu) 0.18

☐ PQ Bus Limit Adjustment [☒ Voltage ☐ Mvar Flow]

Vmax(pu) 0.0 Vmin(pu) 0.0

Remote Bus

Mvar Flow Direction ☒ From->To ☐ To->From

Mvar Spec On ☒ From Side ☐ To Side

Load Type
☒ Const-P ☐ Const-I ☐ Const-Z ☐ Functional ☐ NonLoad ☐ LoadScripting

Pload(pu) 0.2 Const-P(%) 0.0 I(%) 0.0 Z(%) 0.0

Qload(pu) 0.04 Const-Q(%) 0.0 I(%) 0.0 Z(%) 0.0

Shunt G+jB (pu) 0.0 0.0

Save Cancel

Εικόνα 86: Παράθυρο ζυγού InterPSS

Η ανάλυση ροής φορτίου με τη μέθοδο NEWTON-RAPHSON για 50 επαναλήψεις το μέγιστο και με όριο σύγκλισης 0.0001 είχε τα αποτελέσματα που φαίνονται στην αναφορά της εικόνας 87.

Load Flow Results

Bus ID	base	Bus Voltage Mag Ang	Generation (mW) (mVar)	Load (mW) (mVar)	To Bus ID	Branch P+jQ (mW) (mVar) (kA)
0001	150000	1.0200 0.2	200.00 86.75	126.30 80.50	0013	35.73 14.51 0.146
					0015	9.05 -2.83 0.036
					0014	22.78 -0.62 0.086
					0016	6.13 -4.81 0.024
0002	150000	1.0200 -0.4	198.00 190.64	92.00 59.00	0014	-0.73 -5.51 0.021
					0011	37.52 48.23 0.231
					0007	24.17 41.69 0.182
					0010	22.93 32.30 0.149
					0013	22.11 14.93 0.127
0003	150000	1.0200 4.1	101.00 36.99	14.00 9.00	0006	84.74 13.10 0.328
					0004	2.26 14.89 0.068
0004	150000	1.0153 4.1	89.00 -18.00	16.00 10.00	0003	-2.25 -17.81 0.068
					0006	75.25 -10.19 0.285
0005	150000	0.9902 0.2	12.00 -2.00	45.00 28.00	0006	-72.36 -18.65 0.29
					0007	39.36 -11.35 0.155
0006	150000	0.9981 1.1	0.00 0.00	20.00 12.00	0004	-73.54 6.38 0.285
					0003	-83.65 -15.25 0.328
					0011	37.12 -12.96 0.143
					0005	72.65 17.64 0.29
					0008	27.42 -7.80 0.105
0007	150000	0.9903 -0.9	0.00 0.00	63.00 39.00	0005	-39.18 7.41 0.155
					0002	-23.82 -46.41 0.182
0008	150000	0.9953 -0.4	0.00 0.00	13.00 8.00	0006	-27.25 -1.04 0.105
					0009	14.25 -6.96 0.056
0009	150000	0.9960 -0.7	18.00 -3.00	38.00 23.00	0008	-14.23 3.04 0.056
					0010	-25.53 -27.82 0.139
					0012	19.76 -1.22 0.078
0010	150000	1.0043 -0.6	15.00 -3.00	12.00 7.00	0009	25.66 25.75 0.139
					0002	-22.66 -35.75 0.149
0011	150000	0.9984 -1.0	0.00 0.00	74.00 46.00	0006	-36.81 4.74 0.143
					0002	-37.19 -50.74 0.231
0012	150000	0.9926 -1.4	0.00 0.00	19.00 12.00	0009	-19.71 -4.26 0.078
					0013	0.71 -7.74 0.013
0013	150000	0.9949 -1.4	10.00 -2.00	68.00 42.00	0002	-21.91 -24.60 0.127
					0012	-0.70 3.38 0.013
					0001	-35.39 -22.78 0.146
0014	150000	1.0169 -0.3	0.00 0.00	22.00 14.00	0001	-22.73 -3.95 0.086
					0002	0.73 -10.05 0.021
0015	150000	1.0188 -0.1	0.00 0.00	13.00 8.00	0001	-9.04 -3.12 0.036
					0016	-3.96 -4.88 0.016
0016	150000	1.0200 0.0	14.13 9.71	16.30 10.00	0001	-6.13 -1.98 0.024
					0015	3.96 1.68 0.016

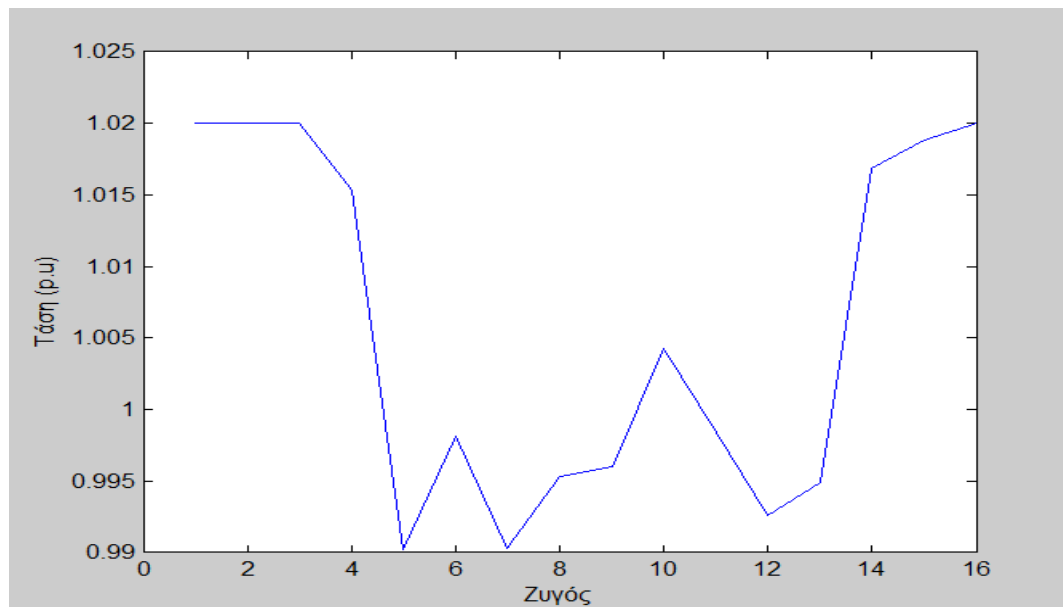
Εικόνα 87. Αναφορά αποτελεσμάτων του InterPSS (Σενάριο 1)

Ανάλυση των αποτελεσμάτων

Αρχικά ελέγχουμε την τάση όλων των ζυγών. Η επιτρεπόμενη τάση πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα στο διάστημα $1.05(P.U.) < V < 0.95(P.U.)$. Παρατηρούμε στον πίνακα 6 πως κανένας ζυγός δεν έχει τάση εκτός των ορίων, συνεπώς δεν έχουμε κανένα πρόβλημα στο συγκεκριμένο σενάριο λειτουργίας.

Πίνακας 6: Τάσεις- ζυγοί

Ζυγός	Όνομα	Τάση(P.U)
1	Χανιά	1.02
2	Ηράκλειο	1.02
3	Αθερινόλακκου	1.02
4	Σητεία	1.0153
5	Νικολάου	0.9902
6	Ιεράπετρα	0.9981
7	Σταλίδας	0.9903
8	Πραιτωρίων	0.9953
9	Μοιρών	0.996
10	Αγίας Βαρβάρας	1.0043
11	Άμμου	0.9984
12	-	0.9926
13	Ρέθυμνο	0.9949
14	Βρυσών	1.0169
15	Αγυιά	1.0188
16	Κίσσαμος	1.02



Εικόνα 88: Διάγραμμα τάσης

Δεν υπάρχει πρόβλημα για το συγκεκριμένο σενάριο, διότι όλοι οι ζυγοί βρίσκονται εντός ορίων.

Στη συνέχεια ελέγχουμε την μεταφερόμενη ισχύ σε κάθε κλάδο του συστήματος, διότι αν έχουμε υπέρβαση των ορίων (υπερφόρτιση) χρειάζεται ενίσχυση με επιπλέον κλάδους, ώστε να μοιραστεί η ισχύς.

Τα όρια μεταφερόμενης ισχύος που έχουν χρησιμοποιήσει για τις Γ.Μ. 150kV είναι $MVAR_{Rating1}=202 \text{ MVA}$, $MVAR_{Rating2}=124 \text{ MVA}$, $MVAR_{Rating3}=170 \text{ MVA}$.

Ο έλεγχος που θα πραγματοποιηθεί είναι αναφορικά με το μεγαλύτερο όριο μεταφερόμενης ισχύος δηλαδή τα 202MVA. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 7.

Όπου $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ στην τελευταία στήλη του πίνακα 7 είναι η φαινόμενη ισχύς για κάθε κλάδο, P είναι η ενεργός ισχύς και Q η άεργος ισχύς αντίστοιχα..

Πίνακας 7: Αποτελέσματα

Προηγούμενος Ζυγός	Επόμενος Ζυγός	P(MW)	Q(MVAr)	$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ (MVA)}$
1	13	35.73	14.51	38.56388207
	15	9.05	-2.83	9.482162201
	14	22.78	-0.62	22.78843566
	16	6.13	-4.81	7.791854721
2	14	-0.73	-5.51	5.558147173
	11	37.52	48.23	61.10550957
	7	24.17	41.69	48.18967732
	10	22.93	32.30	39.61155008
	13	22.11	14.93	26.67877433
3	6	84.74	13.10	85.74658944
	4	2.26	14.89	15.06053452
4	3	-2.25	-17.81	17.95156261
	6	75.25	-10.19	75.93680662
5	6	-72.36	-18.65	74.72477568
	7	39.36	-11.35	40.96379011
6	4	-73.54	6.38	73.81623128
	3	-83.65	-15.25	85.02873044
	11	37.12	-12.96	39.31737529
	5	72.65	17.64	74.76089954
	8	27.42	-7.8	28.5078305
7	5	-39.18	7.41	39.87455956
	2	-23.82	-46.41	52.16589403

Προηγούμενος Ζυγός	Επόμενος Ζυγός	P(MW)	Q(MVAr)	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ (MVA)
8	6	-27.25	-1.04	27.26983865
	9	14.25	-6.96	15.85888079
9	8	-14.23	3.04	14.55109961
	10	-25.53	-27.82	37.75888372
	12	19.76	-1.22	19.79762612
10	9	25.66	25.75	36.35241533
	2	-22.66	-35.75	42.32656494
11	6	-36.81	4.74	37.11392865
	2	-37.19	-50.74	62.90980607
12	9	-19.71	-4.26	20.16511096
	13	0.71	-7.74	7.772496381
13	2	-21.91	-24.6	32.94249687
	12	-0.7	3.38	3.451724207
	1	-35.39	-22.78	42.08777138
14	1	-22.73	-3.95	23.07066102
	2	0.73	-10.05	10.07647756
15	1	-9.04	-3.12	9.563263041
	16	-3.96	-4.88	6.284584314
16	1	-6.13	-1.98	6.441839799
	15	3.96	1.68	4.301627599

Παρατηρείται πως δεν έχουμε υπέρβαση των 202 MVA σε κανένα κλάδο.

3.2 Προσομοίωση του Ηλεκτρικού Δικτύου της Κρήτης - Σενάριο 2

Προσομοιώνεται το σενάριο 2 όπως ακριβώς προσομοιώθηκε και το σενάριο 1, με τη διαφορά ότι πολλαπλασιάζεται η αιολική παραγωγή με το συντελεστή 5.4 ώστε συνολικά να αθροίζει 1000MW=10P.U. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

Δεδομένα Ζυγών

Τα δεδομένα των ζυγών υπολογίζονται με την βοήθεια των παρακάτω πινάκων.

Πίνακας 8: Τελικός Πίνακας δεδομένων φορτίου

Ζυγός	Μέγιστο (MW)	Ζυγός	Μέγιστο (MW)	Ζυγός	Μέγιστο (MW)	Ζυγός	Μέγιστο (MW)
1	126.3	6	20.37	11	74.98	16	16.3
2	92.91	7	63.57	12	19.56		
3	14.67	8	13.85	13	68.46		
4	16.3	9	38.3	14	22.82		
5	45.64	10	12.22	15	13.04		

Πίνακας 9: Δεδομένα μονάδων παραγωγής

Ζυγός	Τύπος	Μέγιστο (MW)	Μονάδες	Ζυγός	Τύπος	Μέγιστο (MW)	Μονάδες
2	steam	16	2	1	gas	46	2
2	steam	26	3	1	cc	45	1
2	gas	51	1	4	wind	56	1
2	gas	14	1	4	wind	178.2	1
2	gas	19	2	5	wind	64.8	1
2	gas	38	1	9	wind	97.2	1
2	diesel	24	4	10	wind	81	1
3	diesel	51	4	2	wind	54	1
3	steam	50	2	13	wind	54	1
1	gas	60	2	1	wind	59.4	1
1	gas	38	1	16	wind	102.6	1

Οι υπολογισμοί ανά κατηγορία ζυγού περιγράφονται στη συνέχεια.

Ζυγοί PV

- P_{gen} (p.u.) υπολογίζεται αθροίζοντας όλες τις παραγωγές από συμβατικές μονάδες παραγωγής στον ίδιο ζυγό. Η συνολική παραγωγή θα διαιρεθεί με τα 100MVA που είναι η τιμή της βάσης για την ισχύ (Πίνακας 10).
- V_{spec} (p.u.)=1,02 για όλους τους PV και Swing ζυγούς.
- P_{load} (p.u.) βρίσκεται από τον πίνακα 8 αφού διαιρεθεί με το 100 που είναι η τιμή της βάσης για την ισχύ.
- Q_{load} (p.u.) υπολογίζεται από τον τύπο $Q_{load} = P_{load} \cdot (\sqrt{1-0.85^2} / 0.85)$ όπου 0,85 είναι συντελεστής ισχύος ($\cos\phi$) του φορτίου.

Ζυγοί PQ

- P_{gen} (p.u.)=+ P_{wind} , όπου P_{wind} βρίσκεται από τις παραγωγές αιολικής ενέργειας. Η συνολική παραγωγή θα διαιρεθεί με το 100 που είναι η τιμή της βάσης για την ισχύ.(Πίνακας 10).
- Q_{gen} (p.u.)= Q_w , όπου το Q_w υπολογίζεται από τον τύπο $Q_w = -P_{wind} \cdot (\sqrt{1-0.85^2} / 0.85)$
- P_{load} (p.u.) βρίσκεται από τον πίνακα 8 αφού διαιρεθεί με το 100 που είναι η τιμή της βάσης για την ισχύ.
- Q_{load} (p.u.) υπολογίζεται από τον τύπο $Q_{load} = P_{load} \cdot (\sqrt{1-0.85^2} / 0.85)$ όπου 0.85 είναι συντελεστής ισχύος ($\cos\phi$) του φορτίου

Παρακάτω φαίνονται οι υπολογισμοί που έγιναν για κάθε ζυγό (Πίνακας 10):

Πίνακας 10: Υπολογισμοί για κάθε ζυγό

Ζυγός	Όνομα	Τύπος	cosφ	Pgen(p.u.)	Vspec(p.u.)	Qgen(p.u.)	Pload(p.u.)	Qload(p.u.)
1	Χανιά	PV	0.85	2.4873	1.02		1.26325	0.912443461
2	Ηράκλειο	PV	0.85	2.423	1.02		0.9291	0.695202957
3	Αθερινόλακκου	PV	0.85	1.01	1.02		0.1467	0.090916494
4	Σητεία	PQ	0.85	4.8327		1.0481888	0.163	0.101018327
5	Νικολάου	PQ	0.85	0.6516		0.1413288	0.4564	0.282851316
6	Ιεράπετρα	PQ	0.85	0		0	0.20375	0.126272909
7	Σταλίδας	PQ	0.85	0		0	0.6357	0.393971476
8	Πραιτωρίων	PQ	0.85	0		0	0.13855	0.085865578
9	Μοιρών	PQ	0.85	0.9774		0.2119932	0.38305	0.237393069
10	Αγίας Βαρβάρας	PQ	0.85	0.8145		-0.176661	0.12225	0.075763745
11	Άμμου	PQ	0.85	0		0	0.7498	0.464684305
12	-	PQ	0.85	0		0	0.1956	0.121221993
13	Ρέθυμνο	PQ	0.85	0.543		-0.117774	0.6846	0.424276974
14	Βρυσών	PQ	0.85	0		0	0.2282	0.141425658
15	Αγυιά	PQ	0.85	0		0	0.1304	0.080814662
16	Κίσσαμος	Swing	0.85	1.0317	1.02	0.2237706	0.163	0.101018327

Bus Data Editor

Bus [0006] BusName Bus-4 (Σητείας) Base Volt 150.00 KV Area 1 Zone 1 ☒ In Service

Bus LF Data Bus LF Scripting

Generator Type

☐ Swing ☐ PV ☒ PQ ☐ RemoteControl ☐ Capacitor ☐ NonGen ☐ GenScripting

Pgen(pu) 0.89 Qgen(pu) 0.18

☐ PQ Bus Limit Adjustment [☒ Voltage ☐ Mvar Flow]

Vmax(pu) 0.0 Vmin(pu) 0.0

Remote Bus

Mvar Flow Direction ☒ From->To ☐ To->From

Mvar Spec On ☒ From Side ☐ To Side

Load Type

☒ Const-P ☐ Const-I ☐ Const-Z ☐ Functional ☐ NonLoad ☐ LoadScripting

Pload(pu) 0.2 Const-P(%) 0.0 I(%) 0.0 Z(%) 0.0

Qload(pu) 0.04 Const-P(%) 0.0 I(%) 0.0 Z(%) 0.0

Shunt G+jB (pu) 0.0 0.0

Save Cancel

Εικόνα 89: Παράθυρο ζυγού InterPSS

Η εκτέλεση της ανάλυσης ροής φορτίου με τη μέθοδο NEWTON-RAPHSON για 50 επαναλήψεις το μέγιστο και με όριο σύγκλισης 0.0001 είχε τα αποτελέσματα που φαίνονται στην αναφορά της Εικόνας 90.

Bus ID	Bus Voltage			Generation		Load		To Bus ID	Branch P+jQ		
	base	Mag	Ang	(mW)	(mVar)	(mW)	(mVar)		(mW)	(mVar)	(kA)
0001	150000	1.0200	12.6	248.00	304.84	126.00	90.00	0013	-280.80	178.81	1.256
								0015	261.29	-31.22	0.993
								0014	-206.14	111.36	0.884
								0016	347.64	-44.11	1.317
0002	150000	1.0200	39.9	242.00	456.48	92.00	69.00	0014	254.74	-2.06	0.961
								0011	-97.20	126.67	0.603
								0007	-120.61	123.92	0.653
								0010	-50.37	106.98	0.446
								0013	163.45	31.97	0.634
0003	150000	1.0200	63.1	101.00	143.68	14.00	9.00	0006	256.91	48.08	0.989
								0004	-169.91	86.61	0.725
0004	150000	1.0079	66.1	480.00	-104.00	16.00	10.00	0003	172.19	-79.67	0.725
								0006	291.81	-34.33	1.116
0005	150000	0.9552	51.2	65.00	-14.00	45.00	28.00	0006	-172.45	15.14	0.698
								0007	192.45	-57.14	0.803
0006	150000	0.9617	53.6	0.00	0.00	20.00	12.00	0004	-265.65	84.86	1.116
								0003	-246.91	-11.38	0.989
								0011	181.54	-48.84	0.741
								0005	174.16	-9.87	0.698
								0008	136.86	-26.77	0.55
0007	150000	0.9656	45.2	0.00	0.00	63.00	39.00	0005	-187.70	73.28	0.803
								0002	124.70	-112.28	0.653
0008	150000	0.9626	45.4	0.00	0.00	13.00	8.00	0006	-132.36	37.36	0.55
								0009	119.36	-45.36	0.505
0009	150000	0.9706	42.2	97.00	-21.00	38.00	23.00	0008	-117.78	48.44	0.505
								0010	-15.66	-82.68	0.325
								0012	192.44	-9.76	0.762
0010	150000	0.9903	42.0	81.00	-17.00	12.00	7.00	0009	16.38	81.98	0.325
								0002	52.62	-105.98	0.446
0011	150000	0.9820	42.7	0.00	0.00	74.00	46.00	0006	-173.37	75.16	0.741
								0002	99.37	-121.16	0.603
0012	150000	0.9556	35.5	0.00	0.00	19.00	12.00	0009	-187.33	26.55	0.762
								0013	168.33	-38.55	0.691
0013	150000	0.9579	30.7	50.00	-11.00	68.00	42.00	0002	-157.13	-14.78	0.634
								0012	-165.09	48.51	0.691
								0001	304.23	-86.73	1.256
0014	150000	0.9961	18.5	0.00	0.00	22.00	14.00	0001	211.67	-92.07	0.884
								0002	-233.67	78.07	0.961
0015	150000	1.0131	4.3	0.00	0.00	13.00	8.00	0001	-252.67	62.60	0.993
								0016	239.67	-70.60	0.945
0016	150000	1.0200	0.0	-549.49	207.97	16.30	10.00	0001	-330.32	112.37	1.317
								0015	-235.48	85.59	0.945

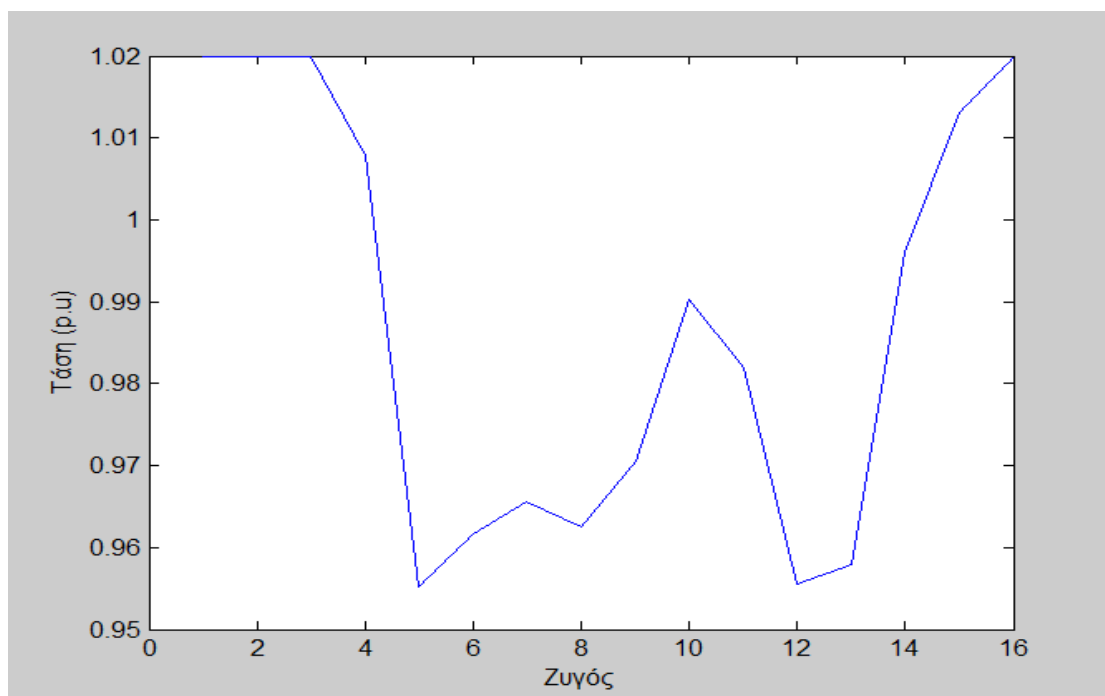
Εικόνα 90: Πίνακας αποτελεσμάτων

Ανάλυση αποτελεσμάτων

Αρχικά ελέγχουμε την τάση όλων των ζυγών. Η επιτρεπόμενη τάση πρέπει να βρίσκεται ανάμεσα στο διάστημα $1.05(P.U.) < V < 0.95(P.U.)$. Παρατηρούμε πως κανένας ζυγός δεν έχει τάση εκτός των ορίων, συνεπώς δεν έχουμε κανένα πρόβλημα στο συγκεκριμένο σενάριο.

Πίνακας 11: Τάσεις-ζυγοί

Ζυγός	Όνομα	Τάση(P.U)
1	Χανιά	1.02
2	Ηράκλειο	1.02
3	Αθερινόλακκου	1.02
4	Σητεία	1.0079
5	Νικολάου	0.9552
6	Ιεράπετρα	0.9617
7	Σταλίδας	0.9656
8	Πραιτωρίων	0.9626
9	Μοιρών	0.9706
10	Αγίας Βαρβάρας	0.9903
11	Άμμου	0.982
12	-	0.9556
13	Ρέθυμνο	0.9579
14	Βρυσών	0.9961
15	Αγυιά	1.0131
16	Κίσσαμος	1.02



Εικόνα 91: Διάγραμμα τάσης

Δεν υπάρχει πρόβλημα για το συγκεκριμένο σενάριο, διότι όλοι οι ζυγοί βρίσκονται εντός ορίων.

Στη συνέχεια ελέγχουμε την μεταφερόμενη ισχύ σε κάθε κλάδο του συστήματος, διότι αν έχουμε υπέρβαση των ορίων (υπερφόρτιση) χρειάζεται ενίσχυση με επιπλέον κλάδους, ώστε να μοιραστεί η ισχύς.

Τα όρια μεταφερόμενης ισχύος που έχουν χρησιμοποιήσει για τις Γ.Μ. 150kV είναι $MVAR_{Rating1}=202 \text{ MVA}$, $MVAR_{Rating2}=124 \text{ MVA}$, $MVAR_{Rating3}=170 \text{ MVA}$.

Ο έλεγχος που θα πραγματοποιηθεί είναι αναφορικά με το μεγαλύτερο όριο μεταφερόμενης ισχύος δηλαδή τα 202 MVA. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 12.

Όπου $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ στην τελευταία στήλη του πίνακα 12 είναι η φαινόμενη ισχύς για κάθε κλάδο, P είναι η ενεργός ισχύς και Q η άεργος ισχύς αντίστοιχα..

Πίνακας 12: Ροές ισχύος στους κλάδους

Ζυγός (Από)	Ζυγός (Προς)	P(MW)	Q(MVAr)	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ (MVA)
1	13	-280.8	178.81	332.8988677
	15	261.29	-31.22	263.148537
	14	-206.14	111.36	234.2962851
	16	347.64	-44.11	350.4272559
2	14	254.74	-2.06	254.7483291
	11	-97.2	126.67	159.6656785
	7	-120.61	123.92	172.9246613
	10	-50.37	106.98	118.2449039
	13	163.45	31.97	166.5472407
3	6	256.91	48.08	261.3703015
	4	-169.91	86.61	190.7110385
4	3	172.19	-79.67	189.7279763
	6	291.81	-34.33	293.8224379
5	6	-172.45	15.14	173.1133216
	7	192.45	-57.14	200.7535357
6	4	-265.65	84.86	278.8747785
	3	-246.91	-11.38	247.1721111
	11	181.54	-48.84	187.9949925
	5	174.16	-9.87	174.4394522
	8	136.86	-26.77	139.4535496
7	5	-187.7	73.28	201.4975146
	2	124.7	-112.28	167.8001442
8	6	-132.36	37.36	137.5315935
	9	119.36	-45.36	127.6884458
9	8	-117.78	48.44	127.3521182
	10	-15.66	-82.68	84.14997326
	12	192.44	-9.76	192.6873405

Ζυγός (Από)	Ζυγός (Προς)	P(MW)	Q(MVAr)	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ (MVA)
10	9	16.38	81.98	83.60038756
	2	52.62	-105.98	118.3242359
11	6	-173.37	75.16	188.9607962
	2	99.37	-121.16	156.6976149
12	9	-187.33	26.55	189.2020914
	13	168.33	-38.55	172.6878438
13	2	-157.13	-14.78	157.8235892
	12	-165.09	48.51	172.0695447
	1	304.23	-86.73	316.3510484
14	1	211.67	-92.07	230.8269347
	2	-233.67	78.07	246.3667871
15	1	-252.67	62.6	260.3092179
	16	239.67	-70.6	249.852094
16	1	-330.32	112.37	348.910188
	15	-235.48	85.59	250.5523468

Έχουμε υπέρβαση ροής ισχύος σε πολλούς κλάδους άρα θα χρειαστεί ενίσχυση με επιπλέον κλάδους για να μοιραστεί η ισχύς. Οι κλάδοι αυτοί είναι ανάμεσα στους ζυγούς: 1-13, 1-15, 1-14, 1-16, 1-14, 3-6, 6-4, 13-1, 14-1, 14-2, 15-1, 15-16, 16-1, 16-15 και οι αντίστοιχες ροές ισχύος φαίνονται με κίτρινο χρώμα στον πίνακα 12.

Στην εικόνα 92 παρατηρείται υπερφόρτιση των κλάδων και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το δίκτυο να μην μπορεί να λειτουργήσει σε αυτές τις συνθήκες για το λόγο αυτό προτείνεται η εξής λύση. Ανάμεσα στους ζυγούς 1-13, 16-1, 1-15, 1-14, 16-15, 2-14, 6-4, 6-3 προστίθεται ένας επιπλέον κλάδος.

Load Flow Summary					
Bus		Max Power Mismatches		dQmax	
dPmax		Bus			
0002		0.000000		0.000000 (pu)	
0.000020		0013		0.000076 (kva)	
BusID	Code	Volt (pu)	Angle (deg)	P (pu)	Q (pu)
0001	PV + ConstP	1.02000	12.6	1.2200	2.1484
0002	PV + ConstP	1.02000	39.9	1.5000	3.8748
0003	PV + ConstP	1.02000	63.1	0.8700	1.3468
0004	PQ + ConstP	1.00788	66.1	4.6400	-1.1400
0005	PQ + ConstP	0.95520	51.2	0.2000	-0.4200
0006	PQ + ConstP	0.96166	53.6	-0.2000	-0.1200
0007	PQ + ConstP	0.96563	45.2	-0.6300	-0.3900
0008	PQ + ConstP	0.96263	45.4	-0.1300	-0.0800
0009	PQ + ConstP	0.97060	42.2	0.5900	-0.4400
0010	PQ + ConstP	0.99028	42.0	0.6900	-0.2400
0011	PQ + ConstP	0.98205	42.7	-0.7400	-0.4600
0012	PQ + ConstP	0.95558	35.5	-0.1900	-0.1200
0013	PQ + ConstP	0.95786	30.7	-0.1800	-0.5300
0014	PQ + ConstP	0.99609	18.5	-0.2200	-0.1400
0015	PQ + ConstP	1.01312	4.3	-0.1300	-0.0800
0016	Swing + ConstP	1.02000	0.0	-5.6579	1.9797

Branch MvaRating Violation List					
BranchID	MvaFlow	Side	MvaRating1	MvaRating2	MvaRating3
0001->0013 (1)	332.9	From	202.0	124.0	170.0
0016->0001 (1)	350.4	To	202.0	124.0	170.0
0001->0015 (1)	263.1	From	202.0	124.0	170.0
0001->0014 (1)	234.3	From	202.0	124.0	170.0
0016->0015 (1)	250.6	From	202.0	124.0	170.0
0013->0002 (1)	166.5	To	202.0	124.0	170.0
0002->0014 (1)	254.7	From	202.0	124.0	170.0
0002->0011 (1)	159.7	From	202.0	124.0	170.0
0002->0007 (1)	172.9	From	202.0	124.0	170.0
0013->0012 (1)	172.7	To	202.0	124.0	170.0
0012->0009 (1)	192.7	To	202.0	124.0	170.0
0009->0008 (1)	127.7	To	202.0	124.0	170.0
0007->0005 (1)	201.5	From	202.0	124.0	170.0
0011->0006 (1)	189.0	From	202.0	124.0	170.0
0005->0006 (1)	174.4	To	202.0	124.0	170.0
0008->0006 (1)	139.5	To	202.0	124.0	170.0
0006->0004 (1)	293.8	To	202.0	124.0	170.0
0006->0003 (1)	261.4	To	202.0	124.0	170.0
0004->0003 (1)	190.7	To	202.0	124.0	170.0

Εικόνα 92: Αποτελέσματα υπερφορτισμένοι κλάδοι

Συγκεκριμένα στους κλάδους που φαίνονται στον πίνακα 14 υπάρχει υπερφόρτιση άνω του MVARating1. Σε αυτούς προστέθηκε δεύτερο όμοιο κύκλωμα. Αυτό επιτυγχάνεται με υποδιπλασιασμό της ωμικής αντίστασης R(p.u) και της επαγωγικής αντίστασης X(p.u) και διπλασιασμό της εγκάρσιας αγωγιμότητας 1/2B(p.u) και των ορίων μεταφερόμενης ισχύος MVARating1, MVARating2, MVARating3.

Τα αποτελέσματα του δικτύου μετά τις αλλαγές για την ενίσχυση του συστήματος φαίνονται στον πίνακα 14.

Πίνακας 14: Ροές ισχύος στους κλάδους μετά την ενίσχυση του συστήματος

Ζυγός (Από)	Ζυγός (Προς)	P(MW)	Q(MVAr)	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ (MVA)	MVARating1
1	13	-266.2	140.09	300.8116489	404
	15	279.3	-51.61	284.0283121	404
	14	-263.19	97.5	280.6692468	404
	16	372.08	-69.32	378.4822173	404
2	14	304.22	-41.74	307.0700832	404
	11	-104.15	107.94	149.9942202	202
	7	-127.68	104.94	165.2712498	202
	10	-65.18	84.57	106.773205	202
	13	142.79	2.96	142.8206767	202
3	6	220.97	51.26	226.8376699	404
	4	-133.97	52.14	143.7586189	202
4	3	135.27	-49.5	144.0424344	202
	6	328.73	-64.5	334.9980043	404
5	6	-179.05	-1.81	179.0591483	202
	7	199.05	-40.19	203.0668328	202
6	4	-312.07	82.92	322.8984535	404
	3	-217.21	-48.37	222.5305395	404
	11	188.08	-32.21	190.8181608	202
	5	180.8	7.15	180.9413234	202
	8	140.4	-21.5	142.0366502	202
7	5	-194.4	55.77	202.2415707	202
	2	131.4	-94.77	162.0102247	202
8	6	-135.96	31.4	139.5388175	202
	9	122.96	-39.4	129.1182466	202
9	8	-121.4	42.23	128.5353372	202
	10	-1.62	-62.05	62.07114386	202
	12	182.02	-24.18	183.6190426	202
10	9	1.99	60.53	60.56270304	202
	2	67.01	-84.53	107.8687211	202
11	6	-180.06	57.56	189.0363912	202
	2	106.06	-103.56	148.2342646	202
12	9	-177.54	37.98	181.5569663	202
	13	158.54	-49.98	166.2315614	202
13	2	-138.19	6.46	138.3409112	202
	12	-155.71	57.97	166.1509103	202
	1	275.9	-117.43	299.8509878	404
14	1	267.16	-90.15	281.9600825	404
	2	-289.16	76.15	299.0189427	404
15	1	-274.38	61.25	281.1333258	404
	16	261.38	-69.25	270.3979787	404
16	1	-362.1	99.22	375.4477572	404
	15	-258.99	73.54	269.2284378	404

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 14 παρατηρείται ότι με τις κατάλληλες αλλαγές που έγιναν οι κλάδοι βρίσκονται πλέον μέσα στα επιτρεπόμενα όρια και δεν υπερφορτίζονται έτσι πλέον το σύστημα δεν έχει κανένα πρόβλημα στη λειτουργία του.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είχε σκοπό τη μελέτη και προσομοίωση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας με το πρόγραμμα InterPSS.

Στο 1^ο κεφάλαιο αναφέρονται εισαγωγικά η παραγωγή, η μεταφορά και η διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα ΣΗΕ. Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά τα μοντέλα των στοιχείων από το οποίο αποτελείται ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, οι εξισώσεις ροών φορτίων και οι ψηφιακές μέθοδοι επίλυσης της ροής φορτίου.

Το 2^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει αναλυτικά τι είναι το πρόγραμμα InterPSS και ποια η λειτουργία του. Συγκεκριμένα αναλύθηκε ο InterPSS γραφικός επεξεργαστής, οι μελέτες ανάλυσης ροής φορτίου, βραχυκυκλώματος, και μεταβατικής ευστάθειας.

Στο 3^ο κεφάλαιο προσομοιώθηκε το ηλεκτρικό δίκτυο της Κρήτη σε 2 σενάρια με το πρόγραμμα InterPSS. Στο σενάριο 1 τα φορτία κυμαίνονται κοντά στις τωρινές τιμές τους και έχουμε 100% της υφιστάμενης αιολικής παραγωγής. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι τάσεις βρίσκονται ανάμεσα στα επιτρεπόμενα όρια και δεν υπάρχει υπερφόρτιση ροής ισχύος στους κλάδους του δικτύου με αποτέλεσμα το σύστημα να μην έχει πρόβλημα στη λειτουργία του.

Στο σενάριο 2 τα φορτία παραμένουν τα ίδια αλλά αυξήσαμε την αιολική παραγωγή ώστε να ανέρχεται στα 1000MW. Στα αποτελέσματα αν και η τάση βρίσκεται ανάμεσα από τα επιτρεπόμενα όρια παρατηρείται υπερφόρτιση σε πολλούς κλάδους με αποτέλεσμα το σύστημα σ' αυτές τις συνθήκες είναι αδύνατον να λειτουργήσει.

Η λύση που προτείνεται είναι η προσθήκη επιπλέον κλάδων ανάμεσα στους ζυγούς που υπάρχει υπερφόρτιση. Με αυτόν τον τρόπο ενισχύεται το σύστημα μεταφοράς, μοιράζεται η ροή ισχύος και δεν υπάρχει πρόβλημα τελικά στη λειτουργία όλου του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Κανέλλος Φ. (2012), *“Παρουσιάσεις Μαθήματος Ηλεκτρικής Οικονομίας”*, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά..
- [2] Κανέλλος Φ. (2012), *“Σημειώσεις Μαθήματος Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων”*, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά..
- [3] Γεωργιλάκη Π. (2006), *“Σημειώσεις μαθήματος Ηλεκτρικής Οικονομίας”*, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά..
- [4] Λουκαράκης Ε. (2012), *Isolated Electrical Power Systems Optimal Interconnections Planning*. Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά.
- [5] InterPSS User Guide: Ανάκτηση από το <http://userguide.interpss.org/>