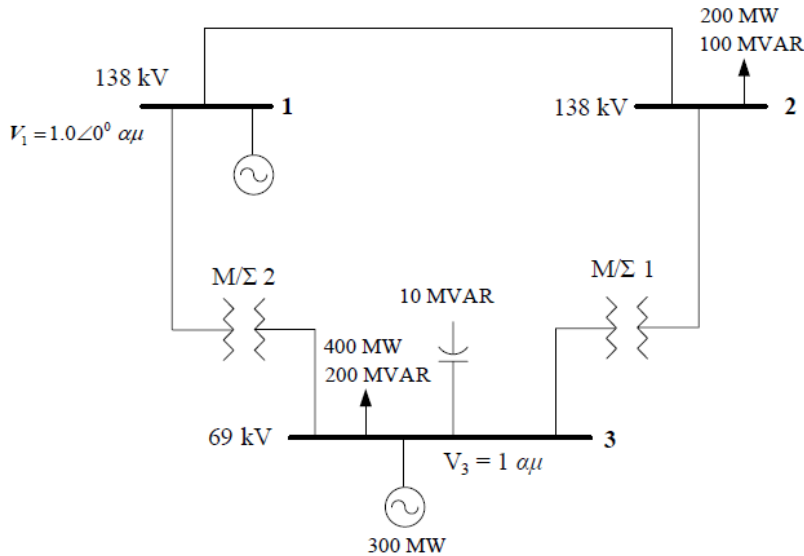


ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ POWERWORLD

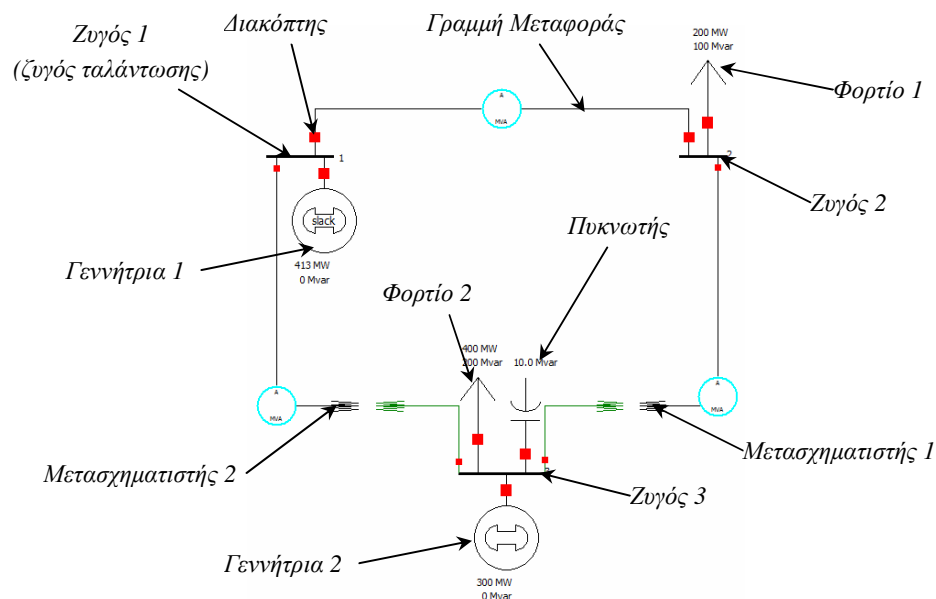
Ανάλυση ροών φορτίου για ένα ΣΗΕ 3 ζυγών

Να γίνει ανάλυση ροών φορτίου για το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της Εικόνας 1 χρησιμοποιώντας το λογισμικό PowerWorld. Η γραμμή μεταφοράς των 138kV μεταξύ των ζυγών 1 και 2 έχει $R=0.02$ αμ, $X=0.08$ αμ, και $B=0.1$ αμ. Ο Μ/Σ 1 των 138/69kV μεταξύ των ζυγών 2 και 3 έχει $R=0.02$ αμ, $X=0.08$ αμ, και $B=0.1$ αμ. Ο Μ/Σ 2 των 138/69 kV μεταξύ των ζυγών 1 και 3 έχει $R=0.02$ αμ, $X=0.08$ αμ, και $B=0.1$ αμ.



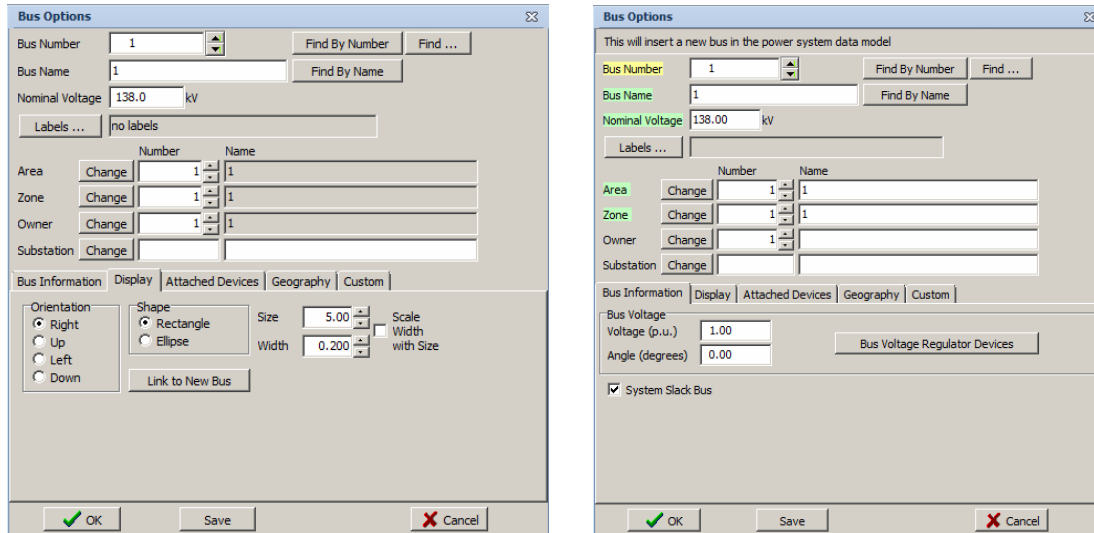
Εικόνα 1

Η τελική μορφή του συστήματος όπως θα μοντελοποιηθεί στο PowerWorld, καθώς και η επεξήγηση των βασικών συστατικών του δείχνεται στην Εικόνα 2.




Εικόνα 2

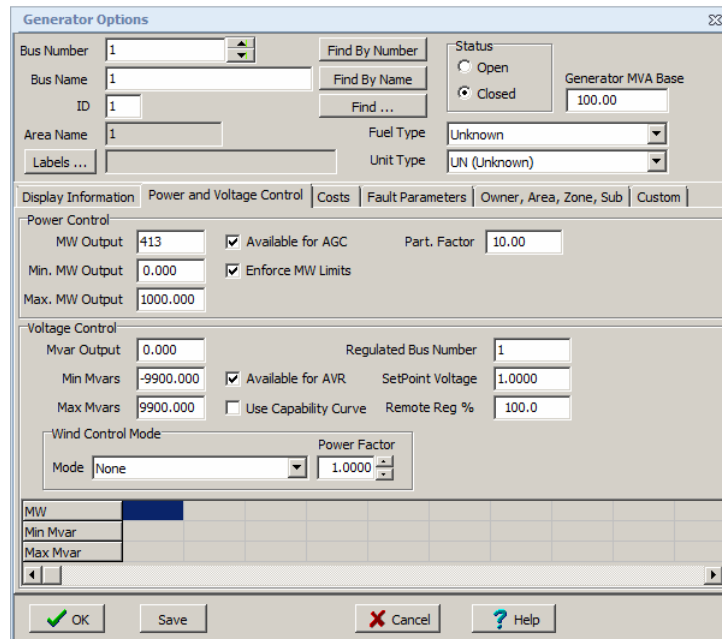
1. Ανοίξτε το πρόγραμμα PowerWorld. Για να δημιουργήσετε ένα νέο αρχείο επιλέξτε **File → New Case**. Αρχικά πρέπει ο χρήστης να διακρίνει τις δύο βασικές διακριτές λειτουργίες του PowerWorld, τη λειτουργία σχεδίασης (**Edit Mode**) και τη λειτουργία εκτέλεσης (**Run Mode**). Η λειτουργία **Edit Mode** χρησιμοποιείται για την κατασκευή νέων συστημάτων για προσομοίωση ή την μετατροπή των ήδη υπαρχόντων, ενώ με τη λειτουργία **Run Mode** πραγματοποιείται ουσιαστικά η προσομοίωση.
2. Σε ένα πρόβλημα ανάλυσης ροών φορτίου ένας τουλάχιστον ζυγός το δικτύου πρέπει να οριστεί ως ζυγός ταλάντωσης (slack bus) και να οριστεί η γωνία και η τάση του. Για τους υπόλοιπους ζυγούς οι τιμές που ορίζονται για γωνία και τάση δεν έχουν μεγάλη σημασία καθώς οι τιμές αυτές υπολογίζονται κατά την επίλυση της ροής φορτίου και αντικαθίστανται.
3. Αρχικά θα εισάγετε το ζυγό 1, που είναι και ο ζυγός ταλάντωσης. Πριν ξεκινήσετε, βεβαιωθείτε ότι βρίσκεστε σε **Edit Mode**. Επιλέξτε **Draw → Network → Bus**, κάνετε αριστερό κλικ στο σημείο που θέλετε να τοποθετηθεί (στην περίπτωση μας κοντά στην άνω αριστερή γωνία του χώρου εργασίας). Στο παράθυρο **Bus Options** που εμφανίζεται, ο χρήστης μπορεί να προσδιορίσει το όνομα και τον αριθμό του ζυγού, την ονομαστική του τάση, την ανά μονάδα τάση του και τη γωνία της σε μοίρες, τον τρόπο απεικόνισης του ζυγού, καθώς και το εάν πρόκειται για ζυγό ταλάντωσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, στην καρτέλα **Display** επιλέξτε **Right** στο **Orientation** και μεταβείτε στην καρτέλα **Bus Information** όπου ενεργοποιείτε την επιλογή **System Slack Bus** (βλ. Εικόνα 3). Ολοκληρώνετε τη διαδικασία πατώντας **OK**.



Εικόνα 3

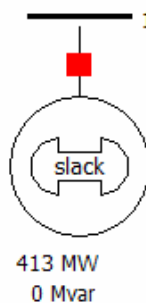
4. Για να εισάγετε τη γεννήτρια στο ζυγό 1 επιλέξτε **Draw → Network → Generator**, κάντε αριστερό κλικ στο ζυγό 1 και συμπληρώστε την καρτέλα **Power and Voltage Control** του παραθύρου **Generator Options** σύμφωνα με όσα δείχνονται στην Εικόνα 4. Χρειάζεται να σημειωθεί ότι η σύνδεση της γεννήτριας στο ζυγό ταλάντωσης είναι αναγκαία για την πραγματοποίηση της ροής φορτίου. Ωστόσο, η τιμή της ενεργού και αέργου ισχύος δε μπορούν να οριστούν πριν την εκτέλεση των υπολογισμών. Η φόρμα

παραμέτρων της γεννήτριας απαιτεί την εισαγωγή κάποιας ενδεικτικής τιμής ενεργού ισχύος εξόδου (στην περίπτωση μας 413MW). Για τη ρύθμιση των τιμών ενεργού και αέργου ισχύος σύμφωνα με τα μεγέθη των υπόλοιπων ζυγών, πρέπει να είναι ενεργοποιημένες οι επιλογές **Available for AGC** (για τη ρύθμιση της ενεργού ισχύος) και **Available for AVR** (για τη ρύθμιση της αέργου ισχύος). Σε περίπτωση που μία γεννήτρια συνδεόταν σε κάποιον άλλο ζυγό πέραν του ζυγού ταλάντωσης, η ενεργός ισχύς της θα ήταν σταθερή (δεν θα έπρεπε συνεπώς να επιλεγεί το **Available for AGC**), ενώ η τιμή της αέργου ισχύος υπολογίζεται από το λογισμικό (έχοντας ενεργοποιημένη την επιλογή του **Available for AVR**). Στη συνέχεια μεταβείτε στην καρτέλα **Display Information** και επιλέξτε **Down** στο **Orientation**. Ολοκληρώστε τη διαδικασία πατώντας .



Εικόνα 4

5. Σώστε το αρχείο σας επιλέγοντας **File → Save Case As...** δίνοντας ένα όνομα της επιλογής σας (με λατινικούς χαρακτήρες). Στο πρώτο σώσιμο που θα κάνετε θα σας ζητηθεί να δώσετε όνομα και για τους 2 τύπους αρχείων (*pwb* και *pwd*) που δημιουργούνται. Στο σημείο αυτό, το μονογραμμικό διάγραμμα του ΣΗΕ στο PowerWorld έχει τη μορφή της Εικόνας 5.



Εικόνα 5

6. Για την εισαγωγή του ζυγού 2 επιλέγετε **Draw → Network → Bus**, κάνετε αριστερό κλικ κάπου δεξιότερα του ζυγού 1, στην καρτέλα **Display** επιλέγετε **Right** στο **Orientation**. Για να ορίσετε το φορτίο μεταβαίνετε στην καρτέλα **Attached Devices**, πατάτε το κουμπί **Add or Edit Bus Load** και συμπληρώνετε τα στοιχεία του φορτίου στο πεδίο **Constant Power** (βλ. Εικόνα 6). Στη συνέχεια πατάτε **✓ OK** και ξανά **✓ OK**.

Load Options

Bus Number: 2 Find By Number Status: ☐ Open ☒ Closed
Bus Name: 2 Find By Name
ID: 1 Find ...
Labels ...
Area: Change Number: 1 Name: 1
Zone: Change Number: 1 Name: 1
Substation:
Owner: Change Number: 1 Name: 1
☒ Same Owner as Terminal Bus

Load Information | OPF Load Dispatch | Custom |

	Constant Power	Constant Current	Constant Impedance
MW Value	200	0.000	0.000
Mvar Value	100	0.000	0.000

✓ OK Save Delete ✗ Cancel ? Help

Εικόνα 6

Load Options

Bus Number: 2 Find By Number Status: ☐ Open ☒ Closed
Bus Name: 2 Find By Name
ID: 1 Find ...
Labels ... no labels
Area: Change Number: 1 Name: 1
Zone: Change Number: 1 Name: 1
Substation:
Owner: Change Number: 1 Name: 1
☒ Same Owner as Terminal Bus

Load Information | OPF Load Dispatch | Custom | Stability |

	Constant Power	Constant Current	Constant Impedance
MW Value	200.000	0.000	0.000
Mvar Value	100.000	0.000	0.000

Display Information

Display Size: 10.00
☒ Scale Width with Size
Display Width: 3.75
Pixel Thickness: 1
Orientation: ☐ Right ☒ Left
☒ Up ☐ Down
☒ Anchored
Link To New Load

✓ OK Save ✗ Cancel ? Help

Εικόνα 7

7. Στο σημείο αυτό, το μονογραμμικό διάγραμμα του ΣΗΕ στο PowerWorld δεν δείχνει το φορτίο, αν και έχετε εισάγει την ενεργό και άεργο ισχύ του. Για να σχεδιαστεί το φορτίο του ζυγού 2 επιλέγετε **Draw** → **Network** → **Load** και κάνετε αριστερό κλικ στο μέσο του ζυγού. Ανοίγει τότε το παράθυρο **Load Options** στο οποίο οι τιμές της ενεργού και άεργης ισχύος του είναι συμπληρωμένες σύμφωνα με όσα δηλώσατε στο παράθυρο της Εικόνας 6. Επιλέξτε **Up** στο **Orientation**, οπότε το παράθυρο **Load Options** θα έχει τις τιμές που φαίνονται στην Εικόνα 7, και πατήστε **OK**.
8. Αν θέλετε να μετακινήσετε το ζυγό 2, τον σέρνετε έχοντας πατημένο το αριστερό κλικ του ποντικιού. Όπως διαπιστώνετε, μαζί με αυτόν μετακινείται και το φορτίο. Επιπλέον, μπορείτε να αλλάξετε το μήκος του ζυγού, καθώς και να μετακινήσετε σε άλλο σημείο τις τιμές που εμφανίζονται σε αυτόν. Στο σημείο αυτό, το μονογραμμικό διάγραμμα του ΣΗΕ στο PowerWorld έχει τη μορφή της Εικόνας 8.

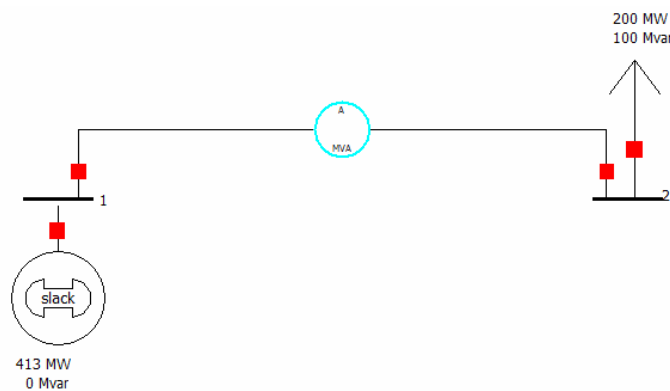


Εικόνα 8

Εικόνα 9

9. Θα εισάγετε τώρα μια γραμμή μεταφοράς που ενώνει τους ζυγούς 1 και 2. Αυτό γίνεται επιλέγοντας **Draw → Network → Transmission Line**, κάνοντας αριστερό κλικ στο δεξί άκρο του ζυγού 1 (αρχή της γραμμής μεταφοράς), και σχεδιάζοντας τη γραμμή μεταφοράς με συνεχόμενα ευθύγραμμα τμήματα, όπου για να ολοκληρωθεί η γραμμή μεταφοράς θα πρέπει να κάνετε διπλό αριστερό κλικ στο αριστερό άκρο του ζυγού 2 (τέλος της γραμμής μεταφοράς). Συμπληρώνετε το παράθυρο **Transmission Line/Transformer Options** σύμφωνα με όσα φαίνονται στην Εικόνα 9 (μην παραλείψετε εκτός από τις τιμές των παραμέτρων R , X , B να ορίσετε τιμή και στο πεδίο **MVA Limits**). Στη γενική περίπτωση, τα στοιχεία μιας γραμμής μεταφοράς μπορούν να δοθούν είτε ως συνολικές τιμές για όλο το μήκος της γραμμής (όπως στην περίπτωση του συγκεκριμένου παραδείγματος), είτε ως μεγέθη ανά μονάδα μήκους, μέσω της φόρμας που εμφανίζεται με το πάτημα του κουμπιού **Calculate Impedances >** και της επιλογής **From Per Distance Impedances**. Η διαδικασία ολοκληρώνεται πατώντας **OK**.
10. Στο μέσο της γραμμής μεταφοράς εμφανίζεται ένα κυκλικό διάγραμμα και με διπλό αριστερό κλικ πάνω του μπορείτε να αλλάξετε τις ιδιότητές του (**Total power (MVA)**), όπως φαίνεται στην Εικόνα 10. Στο σημείο αυτό, το μονογραμμικό διάγραμμα του ΣΗΕ στο PowerWorld έχει τη μορφή της Εικόνας 11.

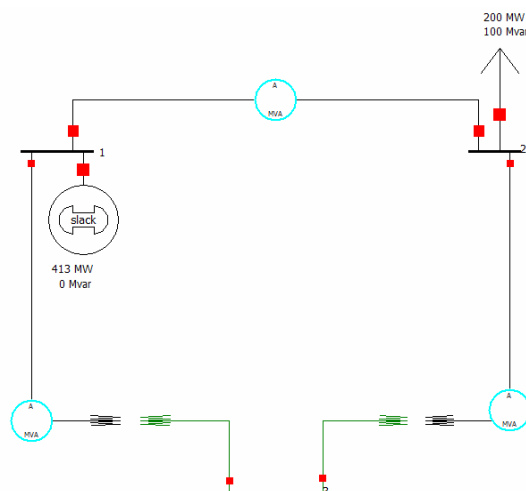
Εικόνα 10



Εικόνα 11

11. Στη συνέχεια εισάγετε το ζυγό 3. Στο παράθυρο **Bus Options** που ανοίγει δέχστε ως **Bus Name** την προεπιλεγμένη τιμή **3**, εισάγετε ως **Nominal Voltage** την τιμή **69.0** (kV) και πατάτε **OK**.
12. Θα εισάγετε τώρα τους 2 Μ/Σ του ΣΗΕ. Ο Μ/Σ 1 που βρίσκεται μεταξύ των ζυγών 2 και 3 εισάγεται επιλέγοντας **Draw** → **Network** → **Transformer** και σχεδιάζοντας το μετασχηματιστή σε ευθύγραμμα τμήματα, όπως κάνατε και με τη γραμμή μεταφοράς (βλ. και Εικόνα 13). Ορίζετε τα στοιχεία του μετασχηματιστή στο παράθυρο **Branch Options** σύμφωνα με όσα φαίνονται στην Εικόνα 12 και πατάτε **OK**.

Εικόνα 12

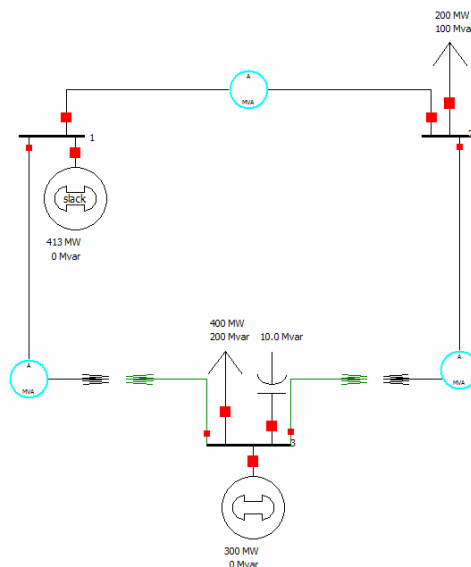


Εικόνα 13

13. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για να εισαχθεί ο Μ/Σ 2 μεταξύ των ζυγών 1 και 3, οπότε προκύπτει το μονογραμμικό ΣΗΕ της Εικόνας 13. Στην περίπτωση που τα κυκλικά διαγράμματα στους 2 Μ/Σ είναι μικρά σε μέγεθος, μπορείτε να τα μεγαλώσετε.

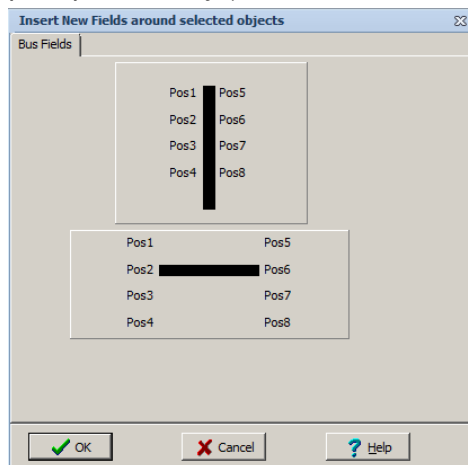
14. Για να εισάγετε το φορτίο των 400MW και 200MVar στο ζυγό 3, εναλλακτικά από τη διαδικασία που περιγράφεται στα βήματα 6 και 7, μπορείτε να κάνετε τα ακόλουθα: επιλέγετε **Draw** → **Network** → **Load** στο ζυγό 3, στο παράθυρο **Load Options** συμπληρώνετε την ενεργό και άεργο ισχύ του φορτίου στο πεδίο **Constant Power**, βεβαιώνετε ότι το **Orientation** είναι **Up** και πατάτε **OK**.
15. Επιπλέον, θα πρέπει να εισαχθεί μία γεννήτρια (**Draw** → **Network** → **Generator**) στο ζυγό 3 με ενεργό ισχύ 300MW. Απενεργοποιείτε την επιλογή **Available for AGC** (σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στο βήμα 4) και πατήστε **OK**.

Εικόνα 14

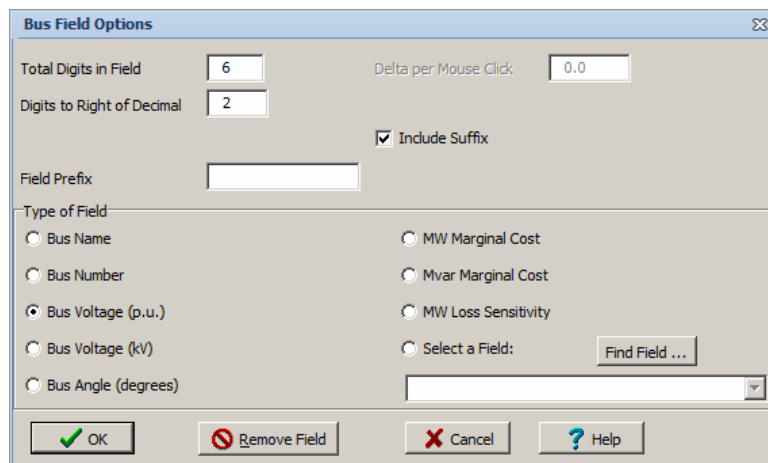


Εικόνα 15

16. Τέλος, θα εισάγετε στο ζυγό 3 έναν πυκνωτή ο οποίος χρησιμοποιείται για παροχή αέργου ισχύος στο ΣΗΕ. Επιλέξτε **Draw → Network → Switched Shunt** και στο παράθυρο **Switched Shunt Options** (Εικόνα 14) που ανοίγει εισάγετε στο **Nominal Mvar** την τιμή **10.0**. Πριν πατήσετε , βεβαιωθείτε ότι στην καρτέλα **Display** το **Orientation** είναι **Up**. Στο σημείο αυτό, το μονογραμμικό διάγραμμα του ΣΗΕ στο PowerWorld έχει τη μορφή της Εικόνας 15. Πριν συνεχίσετε, μην παραλείψετε να σώσετε το αρχείο σας.
17. Είναι χρήσιμο να ορίσετε δίπλα από κάθε ζυγό να εμφανίζεται το μέτρο της τάσης του, καθώς και η γωνία της τάσης του. Αυτό γίνεται ως ακολούθως: με δεξί κλικ πάνω στο ζυγό 1, επιλέγετε **Add New Fields Around Bus**, οπότε βγαίνει το παράθυρο της Εικόνας 16. Πατάτε στο πεδίο **Pos1**, οπότε εμφανίζεται το παράθυρο της Εικόνας 17, όπου επιλέγετε **Bus Voltage (p.u.)** και μετά και ξανά , οπότε το μέτρο της τάσης εμφανίζεται πάνω και αριστερά από το ζυγό 1.



Εικόνα 16

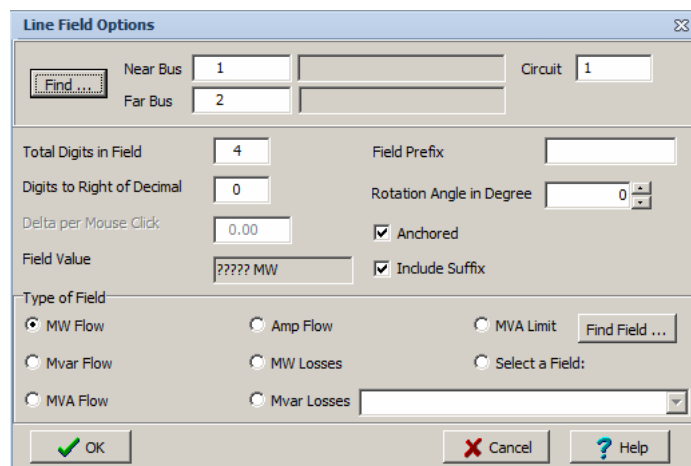


Εικόνα 17



18. Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείτε για να ορίσετε την εμφάνιση της γωνίας της τάσης: με δεξί κλικ πάνω στο ζυγό 1, επιλέγετε **Add New Fields Around Bus**, οπότε βγαίνει το παράθυρο της Εικόνας 16. Πατάτε στο πεδίο **Pos2**, οπότε εμφανίζεται το παράθυρο της

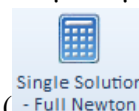
Εικόνας 17, όπου τώρα επιλέγετε **Bus Angle (degrees)** και μετά ☒ **OK** και ξανά ☒ **OK**, οπότε η γωνία της τάσης εμφανίζεται αριστερά από το ζυγό 1. Επαναλαμβάνετε τη διαδικασία αυτή για τους ζυγούς 2 και 3, προκειμένου να εμφανίζεται το μέτρο της τάσης και η γωνία της τάσης τους.

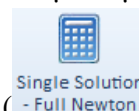
19. Επίσης, είναι χρήσιμο να ορίσετε στο άκρο αναχώρησης και στο άκρο άφιξης κάθε γραμμής μεταφοράς και κάθε Μ/Σ να εμφανίζεται η ενεργός και η αέργος ισχύς. Αυτό γίνεται ως ακολούθως: επιλέγετε **Draw → Field → Transmission Line Field**, κάνετε αριστερό κλικ στη γραμμή μεταφοράς μεταξύ των ζυγών 1 και 2 κοντά στο ζυγό 1, στο παράθυρο **Line Field Options** που ανοίγει επιλέγετε **MW Flow** στο **Type of Field** (βλ. Εικόνα 18) και πατάτε ☒ **OK**, οπότε η ενεργός ισχύς εμφανίζεται στο σημείο που προσδιορίσατε. Παρόμοια, για την εμφάνιση της αέργου ισχύος επαναλαμβάνετε την παραπάνω διαδικασία, και στο παράθυρο **Line Field Options** επιλέγετε **Mvar Flow** και πατάτε ☒ **OK**. Μπορείτε εάν θέλετε να σύρετε τις τιμές αυτές στο ακριβές σημείο της γραμμής μεταφοράς που επιθυμείτε. Με παρόμοιο τρόπο εισάγετε τις τιμές ενεργού και αέργου ισχύος στο άλλο άκρο της γραμμής μεταφοράς (κοντά στο ζυγό 2), καθώς και στα δύο άκρα των 2 Μ/Σ του ΣΗΕ.

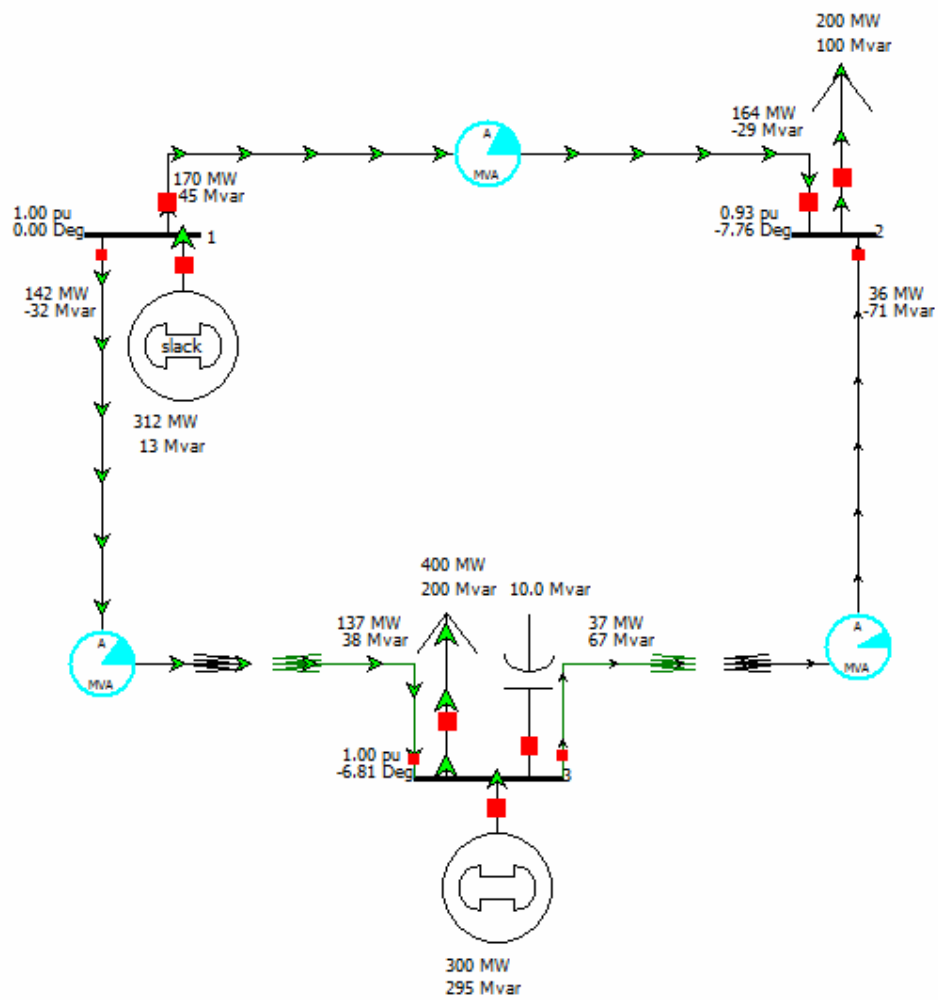


Εικόνα 18

20. Είστε πλέον έτοιμοι να κάνετε προσομοίωση του κυκλώματος, επιλύοντας το πρόβλημα των ροών φορτίου. Αρχικά σώζετε το αρχείο σας. Στη συνέχεια εισέρχεστε στην **Run Mode** (πατώντας το κουμπί **Run Mode**) και επιλέγετε **Tools → Play** (), οπότε και εμφανίζονται τα αποτελέσματα της Εικόνας 19. Για να σταματήσετε την προσομοίωση, πατάτε το κουμπί **Pause** (). Εναλλακτικά, τα αποτελέσματα μπορούν να εμφανιστούν



πατώντας το κουμπί **Single Solution – Full Newton** (). Αν θέλετε να κάνετε κάποια διόρθωση στο κύκλωμά σας, εισέρχεστε στην **Edit Mode** (πατώντας το αντίστοιχο κουμπί). Για να βγείτε από το πρόγραμμα επιλέγετε **File** και πατάτε το κουμπί **Exit Program**.



Εικόνα 19