



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΑΘΗΜΑ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΙΙ

Δρ Τσικαλάκης Αντώνιος – Δρ Εμμ.Καραπιδάκης

# Χρήση και εφαρμογές των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών στη μελέτη και ανάλυση ΣΗΕ

## Εισαγωγή στο Λογισμικό PowerWorld

Ηράκλειο  
2013 - 2014

# 1. Περιεχόμενα

1. Περιεχόμενα 2
2. Εισαγωγή 3
3. Διαθέσιμα προγράμματα 4
4. PowerWorld Simulator 4
  - 4.1. Εισαγωγή στοιχείων / κατασκευή του συστήματος (edit mode) **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
    - 4.1.1. Ζυγός 6
    - 4.1.2. Γεννήτρια 8
    - 4.1.3. Γραμμή μεταφοράς 9
    - 4.1.4. Μετασχηματιστής 13
    - 4.1.5. Ζυγός φορτίου 15
    - 4.1.6. Εγκάρσια Αντιστάθμιση αέργου ισχύος 16
    - 4.1.7. Σύνοψη edit mode 18
    - 4.1.8. Προσθήκη πληροφοριών και κειμένων 19
  - 4.2. Επίλυση του δικτύου (run mode) 22
    - 4.2.1. Απεικόνιση της ροής ισχύος 23
    - 4.2.2. Παράδειγμα μεταβολής με το delta mouse click 24
    - 4.2.3. Η χρήση του Model Explorer 25
5. Άσκηση προς επίλυση **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**
6. Βιβλιογραφία **Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.**

## 2. Εισαγωγή

Η διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στις σύγχρονες κοινωνίες δημιουργεί την ανάγκη για μεγαλύτερη παραγωγή και ισχυρότερα δίκτυα μεταφοράς. Τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας δεν καλύπτουν πλήρως τις προϋποθέσεις για ασφαλή μεταφορά της ενέργειας. Δημιουργείται έτσι η αναγκαιότητα για την ολοένα και συχνότερη χρήση προγραμμάτων Η/Υ για την ανάλυση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Τα προγράμματα αυτά χρησιμοποιούν συνήθως μεθόδους προσομοίωσης και εκτός της επίλυσης των δικτύων προτείνουν και βέλτιστο τρόπο λειτουργίας τους.

Για να αντιληφθούμε τη μεγάλη χρησιμότητα τέτοιων προγραμμάτων ανάλυσης ΣΗΕ, αρκεί να σημειώσουμε την πολυπλοκότητα των συστημάτων και τα σύνθετα προβλήματα που πρέπει να επιλύσουμε. Σε ό,τι αφορά για παράδειγμα στο ελληνικό διασυνδεδεμένο σύστημα (το οποίο είναι αρκετά μικρό), η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από περίπου 80 γεννήτριες, εγκατεστημένης ισχύος 12.000 MW. Οι γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης έχουν μήκος περίπου 9811 km, οι μέσης τάσης 76544 km και οι χαμηλής τάσης 87935 km. Ακόμα, στο βαθμό που δεν υπάρχει τρόπος αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας, αυτή θα πρέπει να παράγεται τη στιγμή που ζητείται αλλά ταυτόχρονα να επιτυγχάνεται η οικονομικότερη λειτουργία, να μην παρατηρείται δηλαδή σπατάλη ενέργειας ή χρημάτων. Συνεπώς, είναι απαραίτητες μέθοδοι πρόβλεψης φορτίου και ελέγχου. Θα πρέπει ακόμα να συνυπολογίσουμε ότι οι θερμοκοί σταθμοί απαιτούν για την κατασκευή τους τουλάχιστον 3-5 χρόνια. Έτσι οι αποφάσεις για επέκταση των δικτύων θα πρέπει να αφορούν μια περίοδο τουλάχιστον 15 ετών. Τέλος, αν λάβουμε υπόψη μας το γεγονός ότι για ένα σχετικά μικρό σύστημα απαιτείται η επίλυση περίπου 2500 μη γραμμικών αλγεβρικών εξισώσεων, αντιλαμβανόμαστε ότι η χρήση ψηφιακών προγραμμάτων είναι όχι απλά χρήσιμη αλλά αναγκαία.

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές χρησιμοποιούνται σε όλα τα στάδια του κύκλου της ηλεκτρικής ενέργειας (παραγωγή, μεταφορά, διανομή). Στο επίπεδο του σταθμού παραγωγής είναι κυρίως χρήσιμοι για την παρακολούθηση και εκτέλεση λειτουργιών ελέγχου. Συγκεντρώνουν και επεξεργάζονται δεδομένα από τα υποσυστήματα, προειδοποιούν όταν συγκεκριμένες μεταβλητές είναι εκτός ορίων (θερμοκρασίες, πιέσεις, ροές), υπολογίζουν δείκτες απόδοσης για το σταθμό αλλά και τα επιμέρους υποσυστήματα.

Η κύρια χρησιμότητα των ηλεκτρονικών υπολογιστών αφορά στον κεντρικό έλεγχο όλων των λειτουργιών του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Στα κέντρα ελέγχου ενέργειας, οι χειριστές χρησιμοποιούν Η/Υ για την κατανομή του φορτίου στις γεννήτριες του συστήματος. Παρακολουθούν και ελέγχουν τα δίκτυα μεταφοράς, προετοιμάζονται για την αντιμετώπιση βλαβών (οι οποίες συμπεριλαμβάνουν και απότομη μεταβολή της ζήτησης), προγραμματίζουν τη συντήρηση των στοιχείων (ώστε να αποφευχθεί η περίπτωση μερικού ή ολικού blackout). Στα κέντρα ελέγχου των συστημάτων διανομής, οι Η/Υ χρησιμεύουν στην παρακολούθηση των δικτύων μέσης τάσης και των κέντρων διανομής υπό ομαλές ή έκτακτες καταστάσεις (άσχημες καιρικές συνθήκες ή άλλου τύπου διαταραχές που προκαλούν διακοπή τροφοδότησης των καταναλωτών). Τέλος, υπολογιστές χρησιμοποιούνται ευρέως για την ανάπτυξη και σχεδίαση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.

Μια ακόμα σημαντική παράμετρος της χρήσης ηλεκτρονικών υπολογιστών για τη μελέτη και ανάλυση ΣΗΕ είναι η εκπαιδευτική τους χρησιμότητα, αφενός στο επίπεδο της παραγωγικής

διαδικασίας και αφετέρου στα εκπαιδευτικά ιδρύματα. Μέσω των προσομοιωτών εκπαίδευσης χειριστών εκπαιδεύονται σε νέα προγράμματα και δεδομένα όχι μόνο οι νέοι μηχανικοί αλλά και έμπειροι χρήστες. Ακόμα, για τις ανάγκες της αρχικής εκπαίδευσης, έχουν δημιουργηθεί προσομοιώσεις συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας σε πρώιμο στάδιο, σε απλό επίπεδο. Τέτοια εκπαιδευτικά πακέτα στοχεύουν στην κατανόηση εννοιών και μεθόδων επίλυσης. Άλλοτε παρέχουν μόνο τη διαδικασία υπολογισμών και άλλοτε παρέχουν την πλήρη απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Δεν έχουν όμως συνήθως τις δυνατότητες επίλυσης πολύπλοκων προβλημάτων, που αντιμετωπίζονται από επαγγελματικά πακέτα

### 3. Διαθέσιμα προγράμματα

Υπάρχουν μια σειρά από προγράμματα, για εκπαιδευτική κυρίως χρήση, που απευθύνονται σε φοιτητές για την κατανόηση και εμβάθυνση σε έννοιες και φαινόμενα που εμπλέκονται στα δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά και για (ημι)επαγγελματική χρήση που απευθύνονται σε νέους μηχανικούς. Σε ό,τι αφορά στα επαγγελματικά πακέτα, δύο από τα πιο διαδεδομένα είναι τα CYMFLOW και το PSS/E. Το πρώτο αναφέρεται στην ανάλυση ροής φορτίου σε τριφασικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, και απευθύνεται κυρίως σε βιομηχανίες για τον έλεγχο του εσωτερικού δικτύου διανομής και τη διασύνδεσή του με το δίκτυο μεταφοράς. Αποτελεί εργαλείο για τα βιομηχανικά συστήματα ισχύος με αναλυτικές επιλογές και εναλλακτικές τεχνικές επίλυσης (δυνατότητα ανάλυσης δικτύων με χιλιάδες ζυγούς, πολλαπλοί ζυγοί ταλάντωσης, ταυτόχρονες λύσεις για πολλά δίκτυα νησίδων, δυνατότητα ορισμού ορίων, γραφικός τρόπος αναπαράστασης με ποικίλες εύχρηστες δυνατότητες, δυνατότητα ένταξης αιολικών συστημάτων κλπ). Ακόμα περιλαμβάνει ένα εργαλείο για την ανάλυση πιθανών διαταραχών, που υποστηρίζει απεριόριστο αριθμό σεναρίων, αυτόματη κατάταξη, αναζήτηση και επίλυση διαταραχών και ένα άλλο για την προσομοίωση εκκίνησης κινητήρων επαγωγής σε τριφασικά συστήματα. Το πακέτο προγραμμάτων PSS/E, επειδή αποτελεί ένα εξαιρετικά διαδεδομένο υπολογιστικό πακέτο, θα το εξετάσουμε αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

Σε ό,τι αφορά τώρα στα εκπαιδευτικά πακέτα, αυτά έχουν λιγότερες απαιτήσεις ως προς την αποτελεσματικότητα και την επίδοση αλλά είναι περισσότερο κατανοητά και εύχρηστα. Δύο τέτοια προγράμματα είναι το MATPOWER και το POWERWORLD SIMULATOR. Το MATPOWER είναι ένα πακέτο του Matlab για την επίλυση ροής φορτίου και βέλτιστης ροής φορτίου. Είναι εργαλείο προσομοίωσης, εύκολα τροποποιήσιμο, με απλό κώδικα. Τα αποτελέσματα δεν απεικονίζονται σε γραφικό περιβάλλον, αλλά σε μορφή πινάκων στο περιβάλλον του Matlab. Για την προσομοίωση, εισάγονται τα απαραίτητα δεδομένα σε ένα αρχείο, και ενεργοποιούνται μέσω συγκεκριμένων εντολών οι διαδικασίες επίλυσης. Το POWERWORLD θα εξεταστεί αναλυτικά στη συνέχεια, καθώς αποτελεί το πρόγραμμα που θα χρησιμοποιήσουμε στο εργαστήριο.

### 4. PowerWorld Simulator

- Το πρόγραμμα προσομοίωσης PowerWorld είναι ένα αρκετά εύχρηστο εργαλείο κυρίως εξαιτίας της γραφικής παρουσίασης του συστήματος και των αποτελεσμάτων, είναι πολύ κατανοητό για την εκμάθηση και εξάσκηση σε συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Η εκπαιδευτική του μορφή είναι διαθέσιμη στην ιστοσελίδα [www.powerworld.com](http://www.powerworld.com) και μπορεί να προσομοιώσει 12 ζυγούς. Στην πλήρη του μορφή το πρόγραμμα αυτό περιέχει ένα πακέτο

ανάλυσης ροής φορτίου που μπορεί να προσομοιώσει συστήματα έως 100.000 ζυγών. Το γραφικό περιβάλλον περιλαμβάνει μονογραμμικά διαγράμματα, ενώ υπάρχει η δυνατότητα πανοραμικής λήψης και μεγέθυνσης συγκεκριμένων σημείων του συστήματος. Ακόμα, προσφέρει εργαλεία για τη βέλτιστη ροή ισχύος με περιορισμούς ασφαλείας, για τη διαθέσιμη ικανότητα μεταφοράς, και ένα εργαλείο για τον αυτόματο έλεγχο της παραγωγής.

□

Σε ό,τι αφορά στις δυνατότητες του προγράμματος αξίζει να αναφερθούν τα παρακάτω:

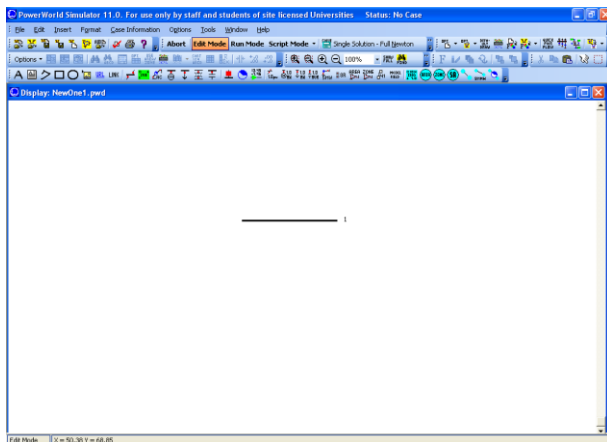
- Υποστηρίζει τη λεπτομερή μοντελοποίηση μετασχηματιστών με σύστημα αλλαγής τάσης υπό φορτίο και αλλαγής φάσης, διακοπών, καμπύλων ενεργού και αέργου ικανότητας φόρτισης γεννητριών, καμπυλών κόστους γεννητριών, προγραμμάτων φορτίων, προγραμμάτων ανταλλαγής ισχύος, γραμμών συνεχούς ρεύματος και απομακρυσμένου ελέγχου τάσης ζυγών.
- Είναι δυνατή η αξιολόγηση όχι μόνο των τεχνικών πτυχών μιας αλλαγής (π.χ. ανακατανομή φορτίου) αλλά και της οικονομικής σημασίας της αλλαγής.
- Ενσωματώνει τον αυτόματο έλεγχο παραγωγής περιοχής (Automatic Generation Control – AGC) στην επίλυση της ροής φορτίου, προσφέροντας τρεις διαφορετικούς τρόπους ελέγχου: με ένα ζυγό ταλάντωσης, διανεμημένο έλεγχο με πολλαπλούς ζυγούς ταλάντωσης (με χρήση των συντελεστών συμμετοχής των ζυγών) και οικονομική κατανομή φορτίου. Ταυτόχρονα, ο τύπος του ελέγχου AGC είναι δυνατόν να διαφέρει από περιοχή σε περιοχή (πχ δυνατότητα χρησιμοποίησης της οικονομικής κατανομής φορτίου σε εκείνες μόνο τις περιοχές όπου είναι γνωστές οι πληροφορίες για τις δαπάνες). Η χρήση του ελέγχου AGC καθιστά τη διαδικασία της επίλυσης σαφώς γρηγορότερη.
- Στη γραφική απεικόνιση του συστήματος και των ροών φορτίου, τα βέλη στις γραμμές, στα φορτία και στις γραμμές μεταφοράς είναι μεγαλύτερα και κινούνται ταχύτερα ανάλογα με το μέγεθος και την κατεύθυνση της ροής ισχύος. Παράλληλα, με την χρήση των pie charts (διαγράμματα πίτας), είναι άμεση η δυνατότητα ελέγχου των υπερφορτίσεων των γραμμών, καθώς η ροή φαίνεται ως ποσοστό της πλήρους φόρτισης της γραμμής.
- Το εξαιρετικά εύχρηστο γραφικό περιβάλλον βοηθά τόσο στην χρησιμοποίηση του ίδιου του προγράμματος, όσο και στην επεξεργασία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Μέσα από τα μονογραμμικά διαγράμματα του προσομοιωτή και τους διαλόγους πληροφοριών καθίσταται δυνατή η δημιουργία και ο έλεγχος σωστής λειτουργίας ενός συστήματος γραφικά. Κατά τη λειτουργία edit mode δημιουργείται ή τροποποιείται το σύστημα, και κατά τη λειτουργία run mode το σύστημα «τρέχει» και οπτικοποιούνται τα αποτελέσματα.
- Η αυτοματοποιημένη διαδικασία εισαγωγής στοιχείων (γεννητριών, γραμμών, Μ/Σ, φορτίων κλπ) έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη ταχύτητα δημιουργίας σχεδίων, ειδικά μετά από μικρή εμπειρία χρήσης του προγράμματος. Ταυτόχρονα, είναι δυνατή η λεπτομερής απεικόνιση και ανάλυση του συστήματος, και η εύκολη χρήση των λειτουργιών μεγέθυνσης.
- Οι διακόπτες σε οποιοδήποτε σημείο του συστήματος ανοίγουν ή κλείνουν με ένα απλό πάτημα, γεγονός το οποίο διευκολύνει ιδιαίτερα τη συνολική εποπτεία των αλλαγών ή προβλημάτων που προκαλούνται στο σύστημα με την απομόνωση ή επαναλειτουργία κλάδων ή υποσυστημάτων του συστήματος (κυρίως σε ό,τι αφορά στις γεννήτριες και στα φορτία).
- Παρέχονται εργαλεία για τον υπολογισμό ευαίσθητων σημείων. Για παράδειγμα, αυτά μπορεί να είναι οι παράγοντες διανομής μεταφοράς ισχύος, οι ευαισθησίες ροής στη γραμμή μεταφοράς, ή η ευαισθησία των απωλειών.
- Δίνεται η δυνατότητα παραγωγής ισοϋψών χαρτών, οι οποίοι παρέχουν πληροφορίες για την ποικιλομορφία των τάσεων, των φορτίων, των ευαισθησιών απωλειών και ροής, του οριακού κόστους.

- ❑ Περιέχονται εργαλεία ανάλυσης πιθανότητας διαταραχών που βοηθούν στην αναγνώριση προβλημάτων. Η ανάλυση πιθανότητας διαταραχών γίνεται με την εφαρμογή μιας πλήρους ροής φορτίου για κάθε πιθανότητα με αυξανόμενη ακρίβεια. Στη συνέχεια καταρτίζονται κατάλογοι ενδεχομένων και σχετικών παραβιάσεων και δίνεται η δυνατότητα της ευέλικτης επεξεργασίας των καταλόγων ώστε να ικανοποιούνται δεδομένα κριτήρια.
- ❑ Δίνεται, πέρα από τη δυνατότητα γραφικής αναπαράστασης, και η δυνατότητα παρουσίασης και επεξεργασίας των στοιχείων υπό μορφή πινάκων, σε λογιστικό φύλλο. Οι πίνακες, εκτός από τις δυνατότητες ταξινόμησης και αντιγραφής των στοιχείων, αποτελούν ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο για τον έλεγχο των δεδομένων και τυχόν λαθών, που δεν είναι πάντα εύκολο να εντοπιστούν στη γραφική αναπαράσταση.
- ❑ Είναι δυνατή η αποθήκευση των εγγράφων σε μορφή HTML, και η εκτύπωση υψηλής ευκρίνειας διαγραμμάτων στον εκτυπωτή. Υποστηρίζεται τέλος μια γλώσσα προγραμματισμού που επιτρέπει την αυτοματοποίηση συχνών εργασιών και την οργάνωσή τους, ώστε να διευκολύνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

## 4.1. Εισαγωγή στοιχείων / κατασκευή του συστήματος (edit mode)

### 4.1.1. Ζυγός

Το κυριότερο στοιχείο ενός συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο ζυγός (bus). Οι ζυγοί χρησιμοποιούνται για να αποτυπώσουν σημεία συνδέσεων στους υποσταθμούς, όπου συνδέονται οι διάφορες συσκευές. Για την εισαγωγή του ζυγού επιλέγουμε από το μενού *Draw* → *Network* → *bus* και διαλέγουμε τη θέση εισαγωγής.



Εικ. 4-1 Η τοποθέτηση ενός ζυγού στην επιφάνεια εργασίας

Στην καρτέλα του ζυγού που εμφανίζεται εισάγουμε τα δεδομένα του ζυγού, τα κυριότερα από τα οποία είναι:

- ❑ Όνομα και αριθμός ζυγού
- ❑ Μορφή απεικόνισης στην επιλογή display (μέγεθος, πάχος, πλάτος κλπ)
- ❑ Ονομαστική τάση

Πληροφορίες για το αν ο ζυγός αποτελεί ζυγό ταλάντωσης ή αναφοράς. Ο ζυγός αναφοράς, ο οποίος είναι ζυγός παραγωγής, χρησιμεύει για να αντισταθμίσει τις –άγνωστες αρχικά- απώλειες του δικτύου και για την άμεση αντιμετώπιση των μεταβολών ισχύος. Σ' αυτόν το ζυγό επιβάλλουμε σταθερή κατά μέτρο και γωνία τάση και προσδιορίζουμε τις ισχύεις παραγωγής.

Ένας τουλάχιστον ζυγός το δικτύου πρέπει να οριστεί ως ζυγός ταλάντωσης (slack bus) και να οριστεί η γωνία και η τάση του, συνήθως 1αμ με γωνιά 0 μοίρες. 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. Σε αυτόν τον ζυγό θα πρέπει οπωσδήποτε να τοποθετηθεί γεννήτρια κατά τα περιγραφόμενα στην επόμενη παράγραφο. Η παραγωγή της γεννήτριας αυτή αφιέται ελεύθερη ώστε να πάρει την τιμή που απαιτείται για τη σύγκλιση της ροής φορτίου.

περιοχή και ζώνη στην οποία ανήκει ο ζυγός

τσεκαρισμα αν είναι ζυγός ταλάντωσης

ονομαστική τάση

τάση και γωνία ζυγού

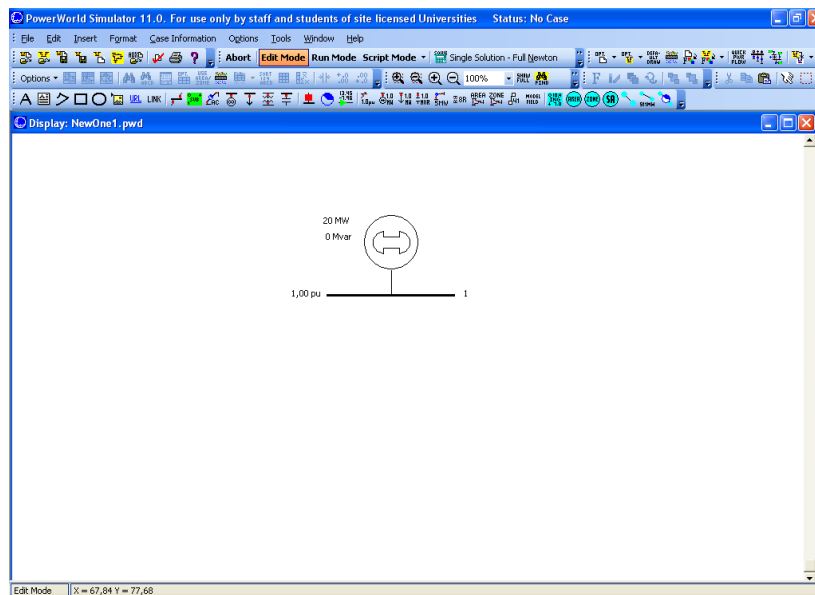
Εικ. 4-2 Τα χαρακτηριστικά του μενού ζυγός(bus)

## 4.1.2. Γεννήτρια

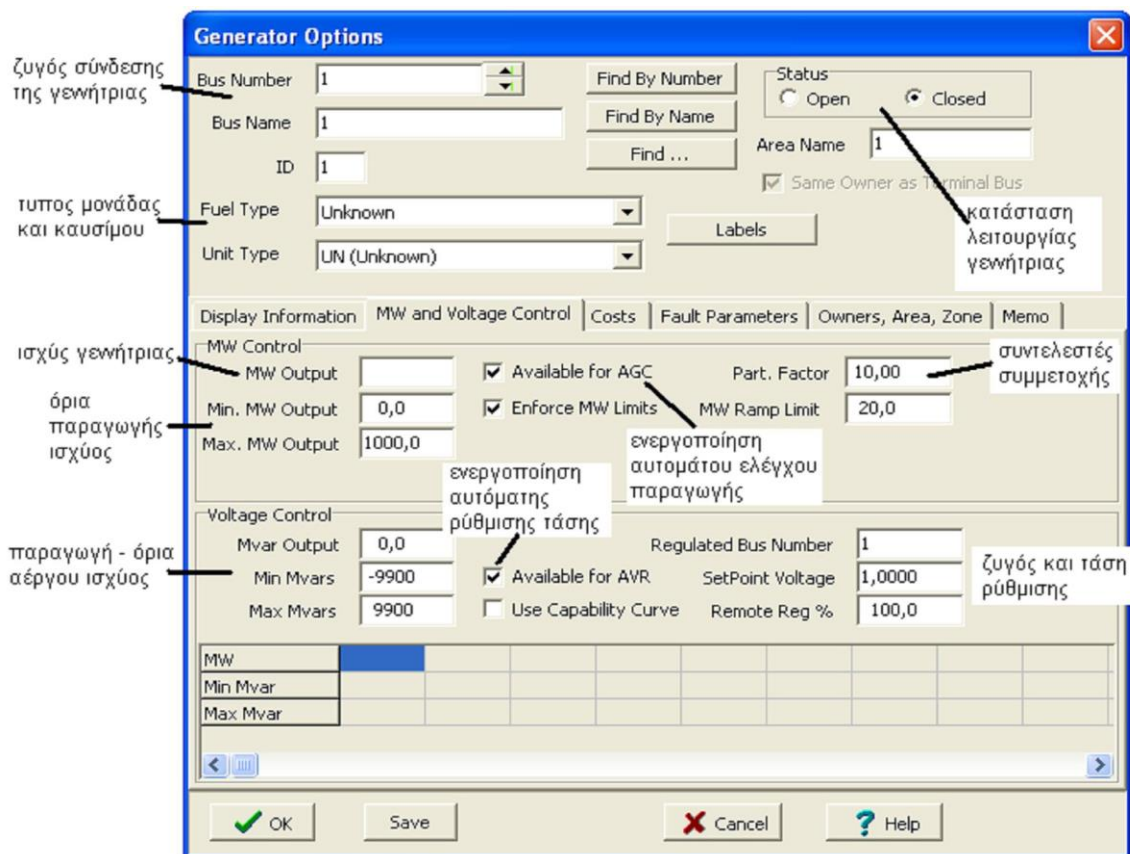
Για την εισαγωγή γεννήτριας, αντίστοιχα με το ζυγό, επιλέγουμε στο μενού draw → Network→generator και διαλέγουμε το ζυγό στον οποίο θα εισάγουμε την γεννήτρια.Μάλιστα το σχήμα της γεννήτριας μπορεί να μεταβληθεί αν θέλουμε να δείξουμε π.χ ότι πρόκειται για Ανεμογεννήτρια. Το σχήμα της γεννήτριας μπορεί να διαμορφωθεί κατάλληλα ανάλογα με τον τύπο της γεννήτριας που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.

Στην καρτέλα εισαγωγής δεδομένων γεννήτριας που εμφανίζεται εισάγουμε τα στοιχεία της. Τα κυριότερα είναι:

- Τα όρια λειτουργίας της γεννήτριας (ελάχιστη/μέγιστη παραγωγή)
- Παραγωγή ενεργού ισχύος
- Αν η γεννήτρια χρησιμοποιείται από τον αυτόματο έλεγχο παραγωγής (AGC)
- Το πόσο γρήγορα αλλάζει η παραγωγή της γεννήτριας
- Αν έχει έλεγχο για τη διατήρηση σταθερής τάσης εξόδου (AVR)
- Τα όρια μέσα στα οποία μπορεί να παραλάβει ή να παράξει άεργο ισχύ
- Η μορφή απεικόνισης (στην επιλογή display)
- Ο ζυγός στον οποίο συνδέεται η γεννήτρια
- 



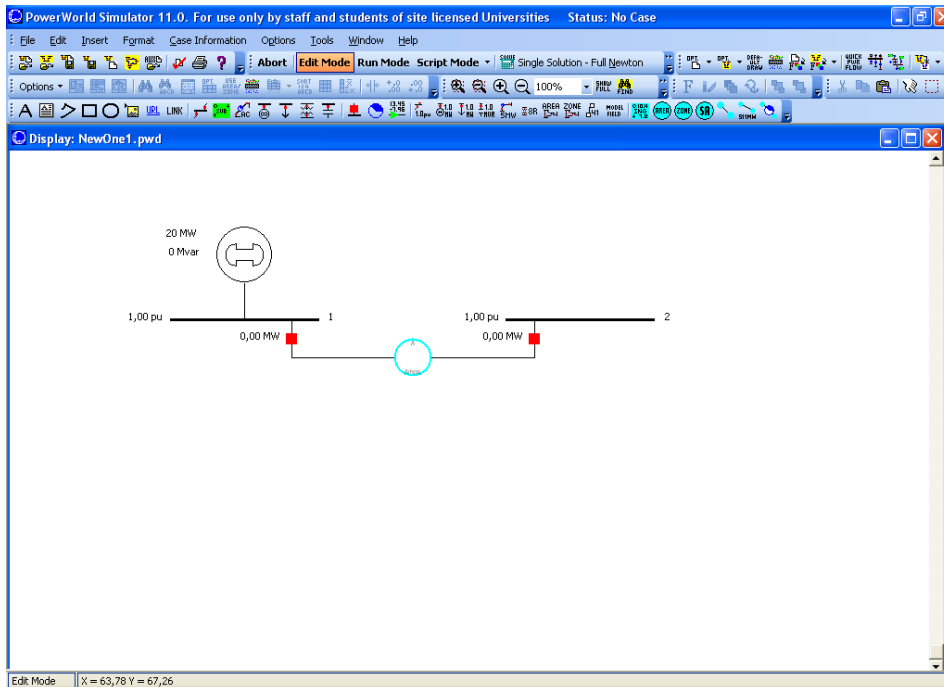
Εικ. 4-3 το περιβάλλον εργασίας μετά την τοπιθέτηση γεννήτριας



Εικ. 4-4 Το μενού γεννήτρια

### 4.1.3. Γραμμή μεταφοράς

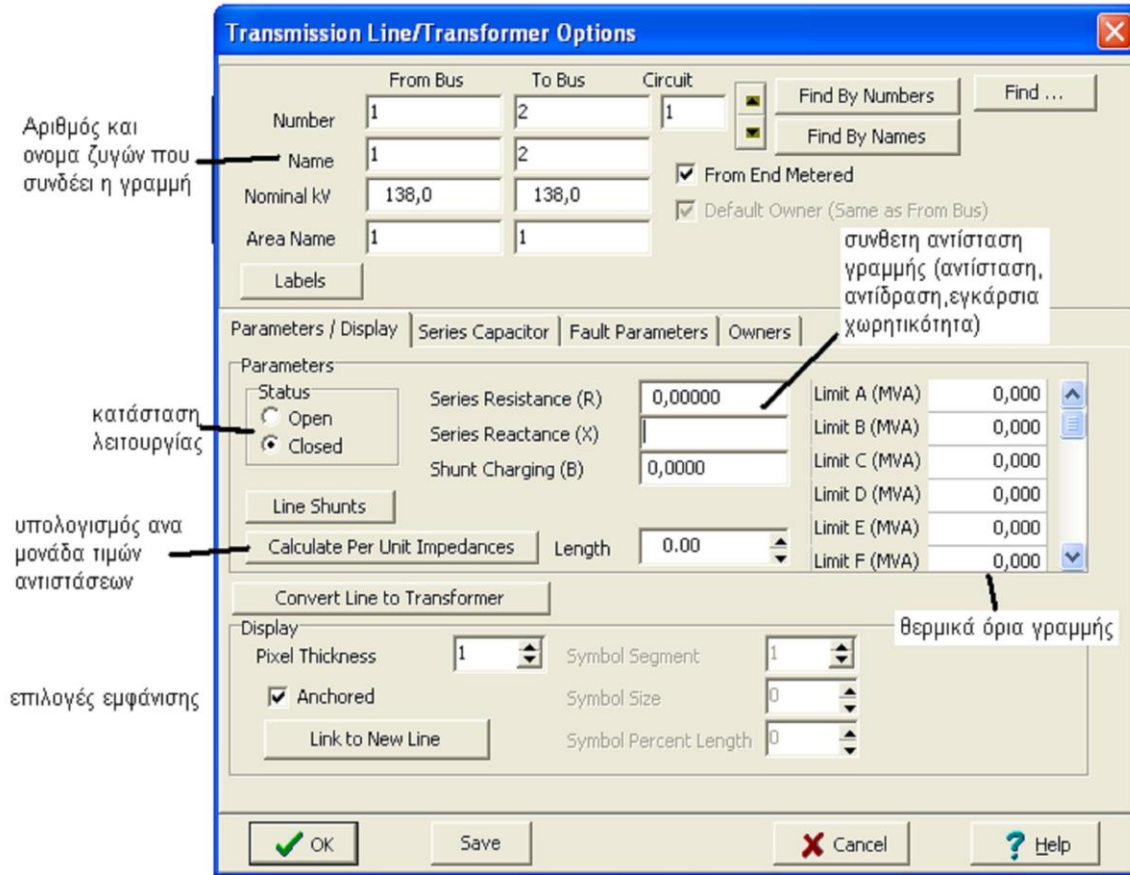
Η γραμμή μεταφοράς εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) συνδέει δύο ζυγούς. Για την εισαγωγή της επιλέγουμε Draw→Network → transmission line. Με το πρώτο κλικ επιλέγουμε τον ζυγό εκκίνησης, σύρουμε το ποντίκι με απλό αριστερό κλικ κάνουμε αλλαγή κατεύθυνσης ενώ με διπλό αριστερό κλικ στο ζυγό άφιξης τελειώνουμε με την προσθήκη της γραμμής στο δίκτυο.



**Εικ. 4-5 Η προσθήκη διασυνδετικής γραμμής μεταξύ 2 ζυγών**

Στην καρτέλα που εμφανίζεται μετά το τέλος της σχεδίασης Τα περισσότερα από τα στοιχεία της φόρμας του Σχήματος 3 συμπληρώνονται αυτόματα από το πρόγραμμα με βάση τα άκρα της γραμμής (όπως αυτά ορίστηκαν κατά τη σχεδίασή της), εισάγουμε τα δεδομένα της γραμμής, κυρίως τα εξής:

- Ωμική αντίσταση (R)
- Επαγωγική αντίδραση (X)-τουλάχιστον αυτή η τιμή πρέπει να δίδεται από το χρήστη
- Εγκάρσια χωρητικότητα (B)
- Τα όρια της ροής ισχύος
- Τη μορφή απεικόνισης της γραμμής



Εικ. 4-6 Το μενού προσαρμογής των ιδιοτήτων μίας γραμμής μεταφοράς.

Οι τιμές των παραμέτρων  $R$ ,  $X$  και  $B$ , μπορούν να δοθούν είτε ως συνολικές τιμές για όλο το μήκος μήκος της γραμμής, ή ως μεγέθη ανά μονάδα μήκους, μέσω της φόρμας που εμφανίζεται με το πάτημα του κουμπιού “Calculate Per Unit Impedances”, οπότε και εμφανίζεται η φόρμα της Εικ. 4-7.. Στην περίπτωση του δικτύου του παραδείγματος δόθηκε απευθείας η συνολική τιμή της σύνθετης αντίστασης για όλο το μήκος της γραμμής 1-2, οπότε δε χρειάζεται επέμβαση στη φόρμα φόρμα της

Εικ. 4-7.

**Line Per Unit Impedance Calculator**

Actual Impedance and Current Limits		Line Length		Per Unit Impedance and MVA Limits	
R (Ohms/mile)	0.000000	Line Length	10.000 miles	R (pu)	0.000000
X (Ohms/mile)	0.952200	When changing convert:	<input checked="" type="radio"/> PU/MVA --->	X (pu)	0.050000
B (Mhos/mile)	0.000000 $\times 10^{-6}$	<input type="radio"/> <--- Electrical		B (pu)	0.000000
G (Mhos/mile)	0.000000 $\times 10^{-6}$	Length Units:	<input checked="" type="radio"/> miles	G (pu)	0.000000
Limit A (Amps)	627,555	<input type="radio"/> kilometers		Limit A (MVA)	150,000
Limit B (Amps)	41832,793	System Base Values:		Limit B (MVA)	9999,000
Limit C (Amps)	41832,793	Power Base (MVA)	100,000	Limit C (MVA)	9999,000
Limit D (Amps)	0,000	Voltage Base (kV)	138.000	Limit D (MVA)	0,000
Limit E (Amps)	0,000	Impedance Base (Ohms)	190,440	Limit E (MVA)	0,000
Limit F (Amps)	0,000			Limit F (MVA)	0,000
Limit G (Amps)	0,000			Limit G (MVA)	0,000
Limit H (Amps)	0,000			Limit H (MVA)	0,000

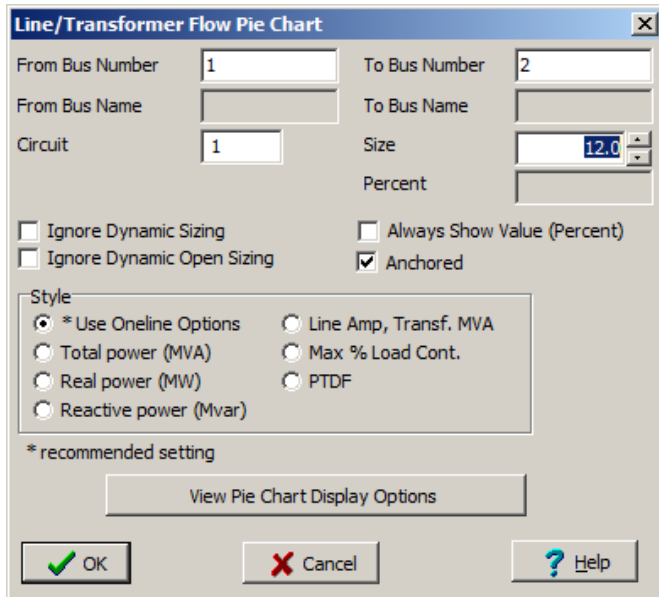
Set Actual Impedance and Current Limits According to a Conductor Type  
 Choose from list to set values  Conductor Type Selected: None

OK Help Cancel

**Εικ. 4-7** Τυπική εικόνα αν τα στοιχεία δίνονται ανά μονάδα μήκους.

Σε μια γραμμή μεταφοράς μπορούμε ακόμα να προσθέσουμε ένα «διάγραμμα πίτας» (line flow chart ή pie chart), το οποίο δείχνει κατά πόσο η γραμμή είναι φορτισμένη σε σχέση με το όριο μακράς διάρκειας ροής ισχύος. Προκειμένου να γίνει σωστά η συγκεκριμένη απεικόνιση θα πρέπει το Limit A να είναι συμπληρωμένο και όχι μηδενικό. Αυτό το όριο είναι συνήθως το θερμικό όριο της γραμμής. Κάποιοι διαχειριστές επιθυμούν διαφορετικά όρια φόρτισης ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες. Έτσι μπορούν να παρακολουθήσουν για διαφορετικές συνθήκες από τις ονομαστικές τη συμπεριφορά της γραμμής που παρακολουθούν.

Έτσι είναι πολύ εύκολος ο έλεγχος των υπερφορτίσεων των γραμμών. Για την εισαγωγή του διαγράμματος αυτού κάνουμε διπλό κλικ επάνω στη γραμμή και auto insert pie chart. Ακόμα, μέσα από τον έλεγχο της μορφής απεικόνισης του διαγράμματος πίτας, μπορούμε να ορίσουμε το μέγεθός του, καθώς και να επιλέξουμε ένα ποσοστό φόρτισης μετά από το οποίο θα αλλάζει το χρώμα του διαγράμματος, για να μας προειδοποιεί για την αύξηση της φόρτισης της γραμμής, και θα ξαναλλάζει όταν ξεπερνά την τιμή υπερφόρτισης 100%.

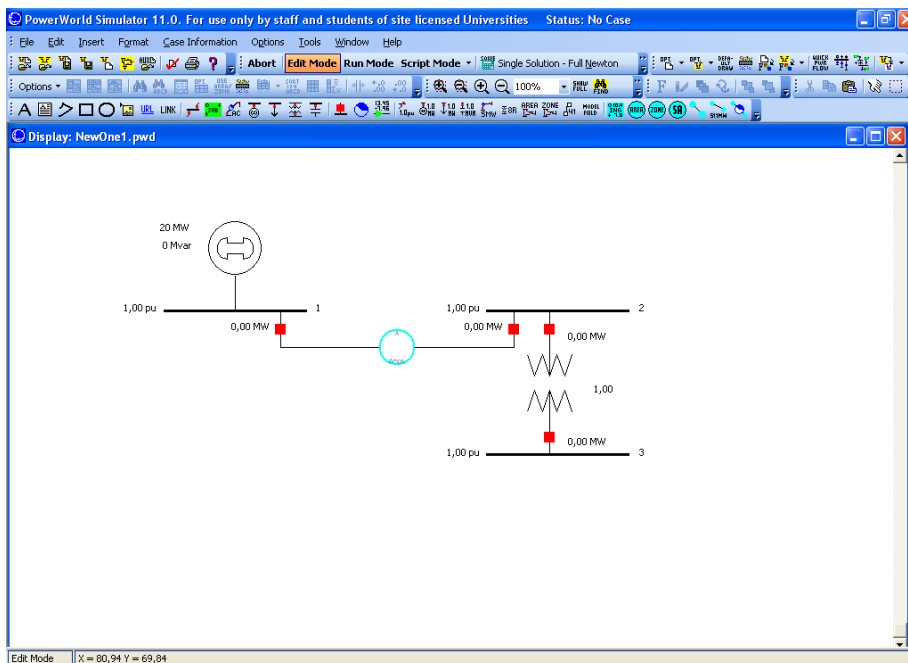


Εικ. 4-8 Το μενού για την προσθήκη ενημερωτικής «πίτας» στη γραμμή μεταφοράς.

## 4.2.

### 4.2.1. Μετασχηματιστής

Η εισαγωγή του μετασχηματιστή απαιτεί την ύπαρξη δύο ζυγών οι οποίοι θα βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα τάσης. Κατόπιν, από το μενού επιλέγουμε draw→Network → transformer, με το πρώτο κλικ επιλέγουμε το ζυγό που συνδέεται το πρωτεύον του μετασχηματιστή, και με το επόμενο το ζυγό του δευτερεύοντος.



Εικ. 4-9 Η προσθήκη Μετασχηματιστή.

Στην καρτέλα του μετασχηματιστή που εμφανίζεται αμέσως μετά, εισάγουμε τα δεδομένα:

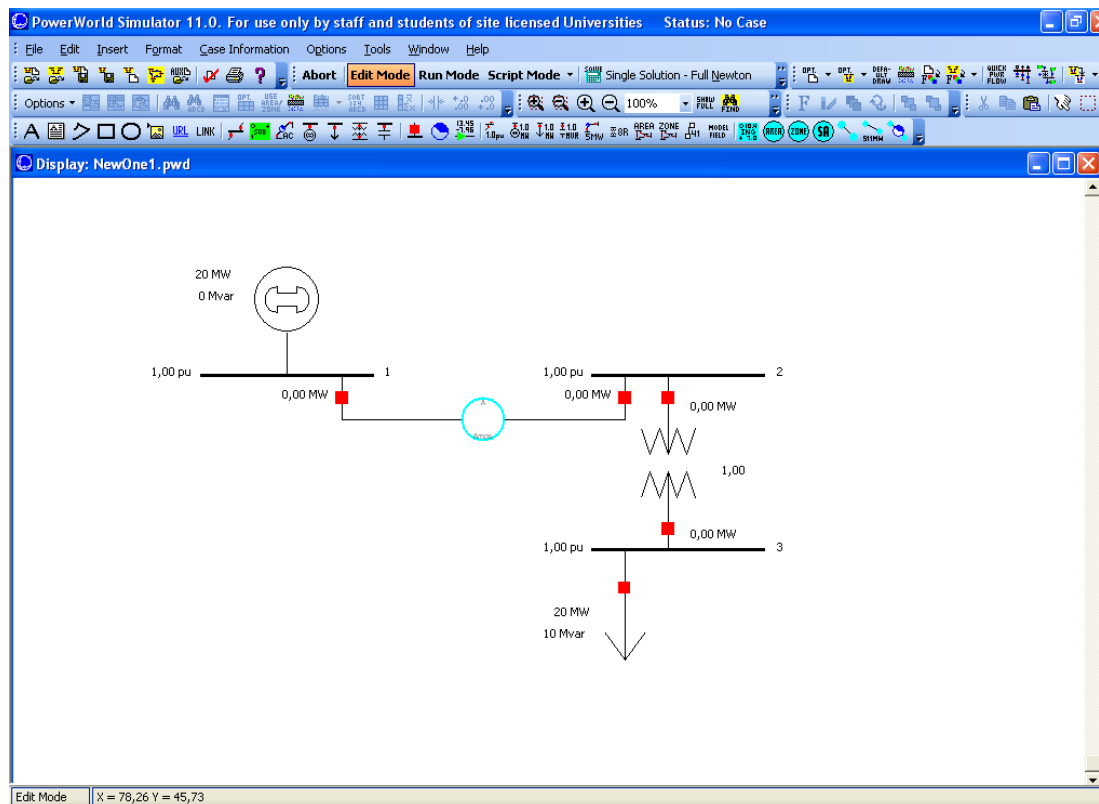
- Λόγος μετατροπής τάσης (αν ο λόγος είναι ίσος με το λόγο των ονομαστικών τάσεων πρωτεύοντος/δευτερεύοντος εισάγουμε 1)
- Τρόπος ελέγχου του Μ/Σ (AVR – αυτόματος έλεγχος, ή έλεγχος αέργου ισχύος)
- Ωμική αντίσταση
- Επαγωγική αντίδραση
- Εγκάρσια επαγωγική αγωγιμότητα
- Τους ζυγούς στους οποίους συνδέεται και την αντίστοιχη τάση τους
- Τη μορφή απεικόνισης
- 

The screenshot shows the 'Transmission Line/Transformer Options' dialog box. The 'From Bus' is 2, 'To Bus' is 3, and 'Circuit' is 1. The 'Nominal kV' is 138,0 for both buses. The 'Area Name' is 1 for both. The 'Status' is set to 'Closed'. The 'Series Resistance (R)' is 0,00000, 'Series Reactance (X)' is 0,55000, and 'Shunt Charging (B)' is 0,0000. The 'Length' is 0.00. The 'Limit A (MVA)' is 20,000, and all other limits (B, C, D, E, F) are 0,000. The 'Pixel Thickness' is 1, 'Symbol Segment' is 1, 'Symbol Size' is 5.00, and 'Symbol Percent Length' is 0. The 'Anchored' checkbox is checked.

Εικ. 4-10 Τα διάφορα στοιχεία που πρέπει να συμπληρωθούν για έναν Μετασχηματιστή.

## 4.2.2. Ζυγός φορτίου

Εισάγουμε καταρχήν το ζυγό με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω (γραφικά και στην καρτέλα). Για την εισαγωγή του φορτίου, από το μενού επιλέγουμε Draw→Network → load και το τοποθετούμε στον ζυγό.



Εικ. 4-11 Το δίκτυο μετά από την προσθήκη ενός φορτίου

Στην καρτέλα δεδομένων του φορτίου, εισάγουμε τα κυριότερα στοιχεία:

- Το όνομά του
- Το ζυγό στον οποίο συνδέεται το φορτίο
- Την ενεργό και άεργο ισχύ του
- Την σύνθετη αντίστασή του
- Την ένταση του ρεύματος
- Τη μορφή απεικόνισής του

Σε αυτήν την περίπτωση μπορούμε να έχουμε 3 δυνατές περιπτώσεις για την περιγραφή του φορτίου:

- Σταθερής ισχύος (P,Q σταθερά. Θετική τιμή στο Q σημαίνει ζήτηση αέργου ισχύος (επαγωγικός συντελεστής φορτίου)

- Σταθερού ρεύματος (Σε δύο συνιστώσες ενεργού, αέργου ιρεύματος)
- Σταθερής Αντίστασης (Από ωμικό και επαγωγικό/χωρητικό χαρακτήρα). Τέτοια φορτία μπορεί να είναι για παράδειγμα ένας ηλεκτρικός φούρνος ή ηλεκτρικό σίδηρο.

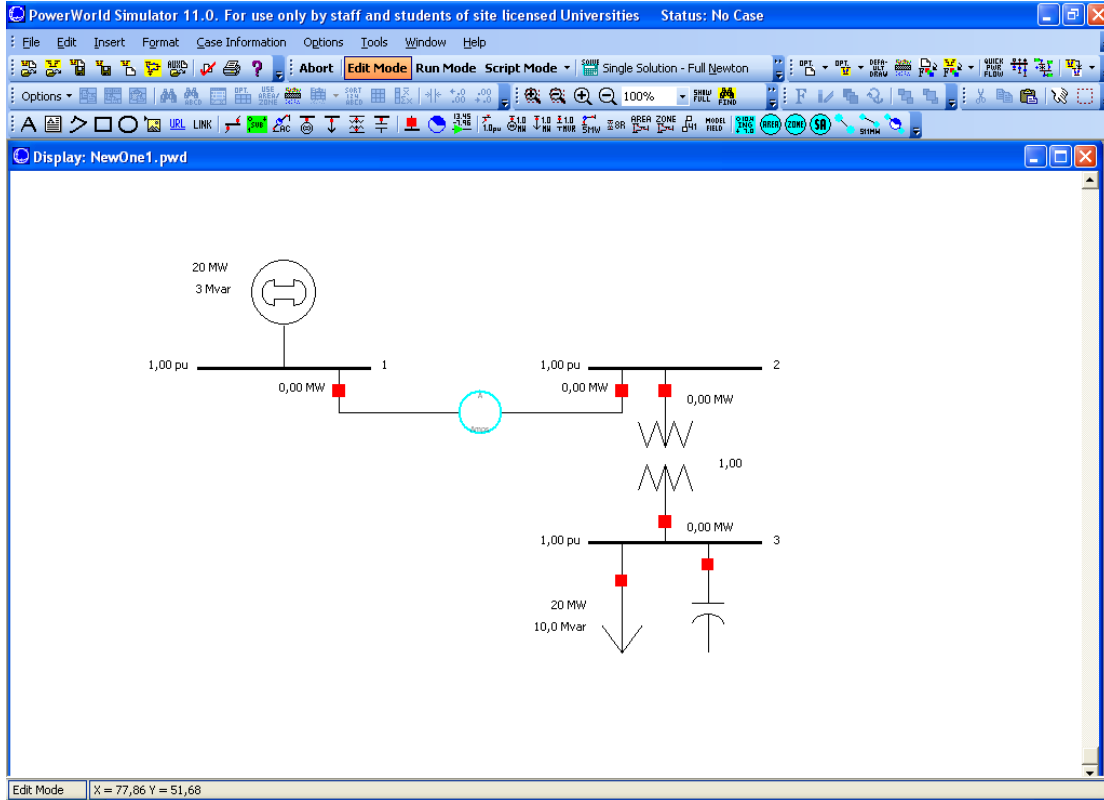
Αν δηλωθούν αριθμοί για έναν συνδυασμό θα πρέπει για τους άλλους δύο οι τιμές να είναι μηδενικές.

Εικ. 4-12 Η διεπαφή για τη μεταβολή του φορτίου

### 4.2.3. Εγκάρσια Αντιστάθμιση αέργου ισχύος

Σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται εγκάρσιες αντισταθμίσεις είτε για να παράγουν άεργο ισχύ (πυκνωτές) είτε για να απορροφούν (επαγωγικές αντιδράσεις). Συνήθως οι συσκευές αυτές αποτελούνται από συστοιχίες κλιμακούμενης σύνθετης αγωγιμότητας που συνδέονται στο σύστημα με διακριτά βήματα, και η συσκευή θεωρούνται ενεργές αν έστω και

ένα από τα μπλοκ αυτά είναι συνδεδεμένο στο σύστημα. Αντίστοιχα με τα προηγούμενα, επιλέγουμε στο μενού insert → switched shunt και το εισάγουμε στη θέση που επιθυμούμε.



Εικ. 4-13 το δίκτυο μας μετά από την προσθήκη ενός πυκνωτή

Στην καρτέλα των στοιχείων εισάγουμε:

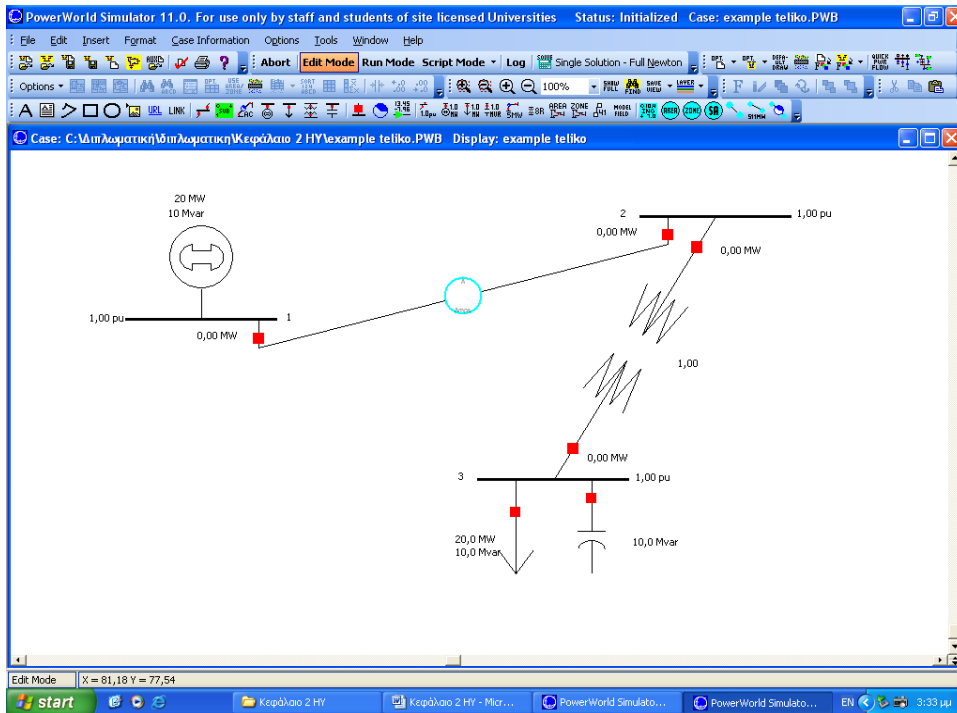
- ❑ τα στοιχεία τοπολογίας (όπου ανήκει η συσκευή)
- ❑ τα στοιχεία οπτικής απεικόνισης (μέγεθος κλπ)
- ❑ πόση άεργη ισχύ παράγει ή καταναλώνει, και αν είναι διακριτή (αν ναι, δίνουμε και το βήμα).

Εικ. 4-14 Τα στοιχεία της εγκάρσιας αντιστάθμισης

#### 4.2.4. Σύνοψη edit mode

Έχουμε περιγράψει τον τρόπο εισαγωγής των βασικών στοιχείων ενός ΣΗΕ. Σημειώνουμε παρακάτω συμπληρωματικά τρεις σημαντικές δυνατότητες του προγράμματος, που υπήρξαν ιδιαίτερα χρήσιμες κατά την προσομοίωση.

Οι γεννήτριες, οι μετασχηματιστές, τα φορτία και τα εγκάρσια άεργα στοιχεία μπορούν να προσδεθούν στον εκάστοτε ζυγό στον οποίο συνδέονται. Αυτό μπορεί να γίνει σημειώνοντας την αντίστοιχη επιλογή στην καρτέλα δεδομένων του κάθε στοιχείου. Αν επιλεγθεί η πρόσδεση (anchored), όταν προσπαθήσουμε να μετακινήσουμε το ζυγό ή το στοιχείο που έχει προσδεθεί πάνω στο ζυγό, θα μετακινούνται και τα δύο συγχρόνως. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η αντιστοίχιση της γραφικής αναπαράστασης με αυτήν των δεδομένων των πινάκων. Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε τη μετακίνηση των στοιχείων που είναι συνδεδεμένα στον ζυγό 2 όταν μετακινείται ο ζυγός.



**Εικ. 4-15 Η μεταφορά/μετατόπιση στο περιβάλλον εργασίας**

Σε οποιοδήποτε στοιχείο του συστήματος έχουμε τη δυνατότητα να παρεμβάλλουμε διακόπτες. Ο ρόλος των διακοπών είναι να αποσυνδέουν το στοιχείο ή τη γραμμή μεταφοράς, μετά από σφάλμα. Όταν οι διακόπτες έχουν κόκκινο χρώμα σημαίνει ότι είναι κλειστοί (η γραμμή ή το στοιχείο είναι συνδεδεμένα). Το πράσινο άδειο χρώμα του διακόπτη δηλώνει ότι ο διακόπτης είναι ανοικτός. Επίσης μπορεί ο χρήστης να αλλάζει την κατάσταση του διακόπτη καθώς το πρόγραμμα τρέχει, το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, καθώς φαίνονται αμέσως τα αποτελέσματα στο σύστημα εισαγωγής ή απομόνωσης στοιχείων, ή ακόμα και υπομονάδων του συστήματος.

#### 4.2.5. Προσθήκη πληροφοριών και κειμένων

Τέλος, σημειώνουμε ότι υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής κάποιων πεδίων πληροφοριών στο σχέδιό μας, ώστε να είναι ευκολότερη η εποπτεία του συστήματος. Έτσι, μπορούμε να εισάγουμε τίτλο, ή κάποιο μικρό κείμενο στο σχέδιο (insert → text) και να το επεξεργαζόμαστε κανονικά (τύπος, μέγεθος, χρώμα γραμματοσειράς, φόντο κειμένου κλπ). Ακόμα, γύρω από τους ζυγούς, τα στοιχεία ή τις γραμμές μπορούμε να εισάγουμε όποια πεδία επιθυμούμε, τα οποία θα χρησιμεύσουν στον καλύτερο έλεγχο των αλλαγών που θα συμβαίνουν στο σύστημα.

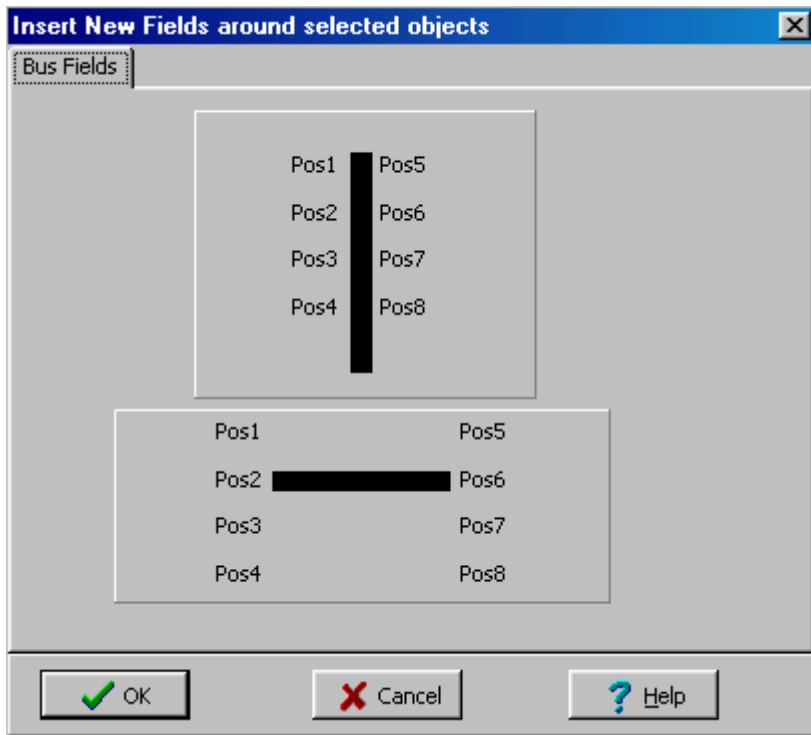
Για να γίνει αυτό, κάνουμε δεξί κλικ στο στοιχείο, ζυγό, ή γραμμή που μας ενδιαφέρει, επιλέγουμε add new fields around element και το είδος της πληροφορίας που θέλουμε να εισάγουμε. Εδώ (στο παράδειγμα αλλά και στο σύστημα της Ρόδου) έχουν επιλεγθεί τα εξής πεδία:

- οι τάσεις των ζυγών
- η ισχύς σε MW και σε Mvar των γεννητριών

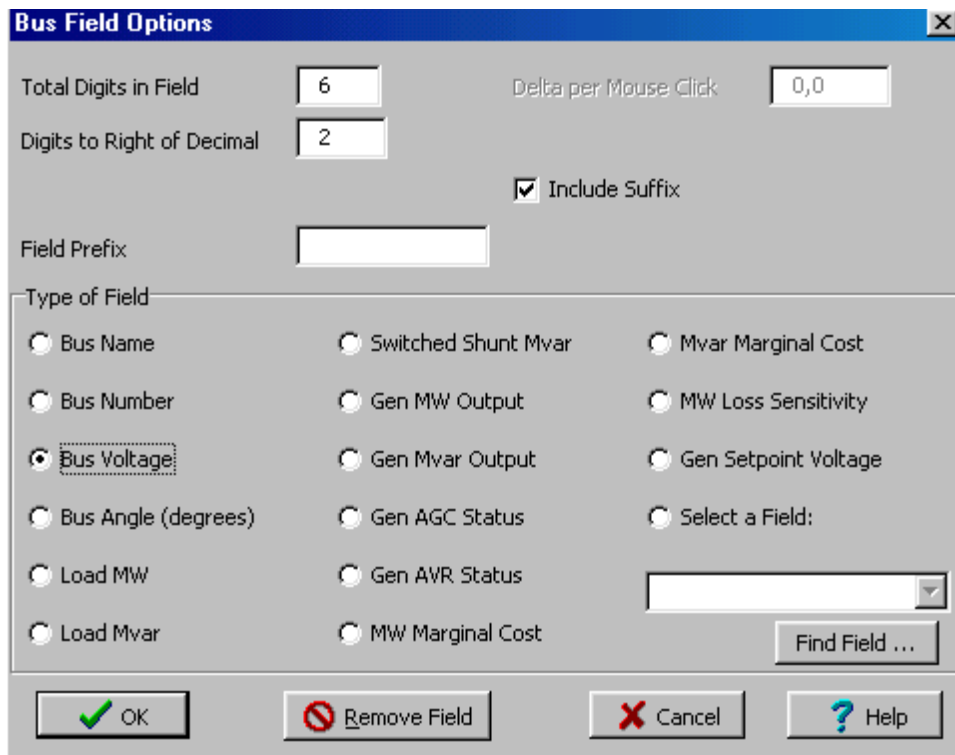
- ❑ ο λόγος μετασηματισμού των μετασηματιστών
- ❑ η ισχύς σε MW και σε Mvar των φορτίων
- ❑ η παραγωγή αέργου ισχύος σε Mvar των πυκνωτών

Ταυτόχρονα, έχουν τοποθετηθεί διακόπτες σε όλες τις γραμμές μεταφοράς, τις γεννήτριες, τα φορτία, τους μετασηματιστές, τους πυκνωτές και έχουν εισαχθεί σε όλα τα σημεία όπου βρίσκονται διακόπτες τα πεδία που δείχνουν τις ροές σε MW.

Έστω, επιλέγοντας τον ζυγό B, με δεξί κλικ, επιλέγουμε: Add new fields... Στο παράθυρο διαλόγου Insert New Fields... που εμφανίζεται, επιλέγουμε τη θέση του πεδίου, έστω Pos1 και πατάμε OK.



Εικ. 4-16 Η εισαγωγή πληροφοριών γύρω πό έναν ζυγό.



**Εικ. 4-17 Η δυνατότητα προσθήκης πληροφοριών γύρω από ζυγό γεννήτριας**

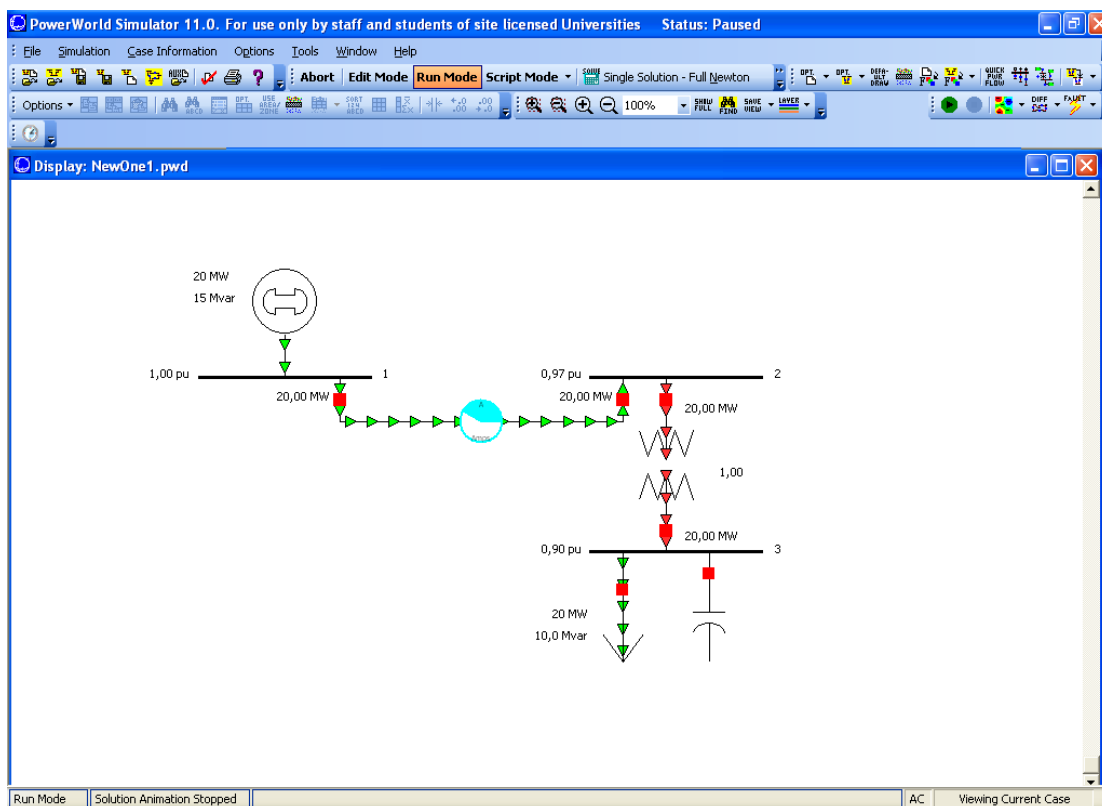
Επιπλέον, μπορούμε να εισάγουμε κουμπιά ελέγχου για να μεταβάλλουμε βηματικά διάφορα μεγέθη του μοντέλου μας. Για παράδειγμα, έστω πως θέλουμε το πραγματικό φορτίο του δικτύου μας να είναι μεταβλητό. Επιλέγουμε το φορτίο και με δεξί κλικ επιλέγουμε: Add new fields.... Στο παράθυρο Insert New Fields..., επιλέγουμε τη θέση του πεδίου, έστω Pos3 και πατάμε OK. Στο παράθυρο Load Field Options επιλέγουμε Load MW, θέτουμε το πεδίο Delta per Mouse Click: 1,0 (MW) και πατάμε OK. Επιλέξτε το πεδίο Include Suffix για να εμφανίζονται και οι μονάδες του κάθε μεγέθους. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία θέτοντας στη θέση Pos4 το πεδίο Load Mvar με βήμα 1 Mvar και πατάμε OK. Εξερχόμαστε από το παράθυρο Insert New Fields..., πατώντας ξανά OK.

Σημειώστε ότι το πεδίο delta per mouse click είναι προαιρετικό να συμπληρωθεί, αλλά μας επιτρέπει να παρατηρούμε ενώ «τρέχει» το πρόγραμμα να αλλάζουμε κάποια τιμή και να δούμε τις επιπτώσεις που έχει στα μεγέθη του δικτύου που εξετάζουμε σε run mode. Ένα τέτοιο παράδειγμα παρουσιάζεται στην παράγραφο 4.3.2

### 4.3. Επίλυση του δικτύου (run mode)

Περνάμε από τη λειτουργία edit mode στη λειτουργία run mode, και απιλέγουμε στο μενού simulation → play. Αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στην προσομοίωση, το πρόγραμμα δεν θα τρέξει, θα εμφανιστεί παράθυρο που ενημερώνει ότι το σύστημα δεν μπορεί να τροφοδοτήσει πια το φορτίο, γεγονός που το πρόγραμμα ονομάζει blackout. Στη συνέχεια, θα πρέπει να ελεγχθεί ξανά η κατασκευή του συστήματος, τα δεδομένα κλπ. Αλλιώς, θα δούμε το πρόγραμμα να τρέχει, και μέσω των βοηθητικών πεδίων θα καταγραφούν τα πεδία που έχουμε επιλέξει (τάσεις, ισχείς). Ανοίγοντας και κλείνοντας τους διάφορους διακόπτες, ή αυξομειώνοντας τα φορτία ή τις ισχείς των γεννητριών, παρατηρούμε, ενώ το πρόγραμμα εξακολουθεί να τρέχει, τις αλλαγές που επισυμβαίνουν στο σύστημα, τις υπερφορτίσεις γραμμών κλπ. Σε περίπτωση συνεχόμενης υπερφόρτισης μιας γραμμής μπορεί να έχουμε απώλειά της. Στην περίπτωση απώλειας μιας γραμμής ή γεννήτριας, ή υπέρμετρης αύξησης του φορτίου, υπάρχει ενδεχόμενο να παρατηρηθεί διακοπή της λειτουργίας του συστήματος.

Παρακάτω βλέπουμε πώς τρέχει το μικρό σύστημα το οποίο δημιουργήσαμε. Τα βέλη μας δείχνουν τη ροή ισχύος στο σύστημα, το pie chart δείχνει το ποσοστό της φόρτισης της γραμμής σε amperes, ενώ ο ζυγός 1 έχει καθοριστεί ως system slack bus.

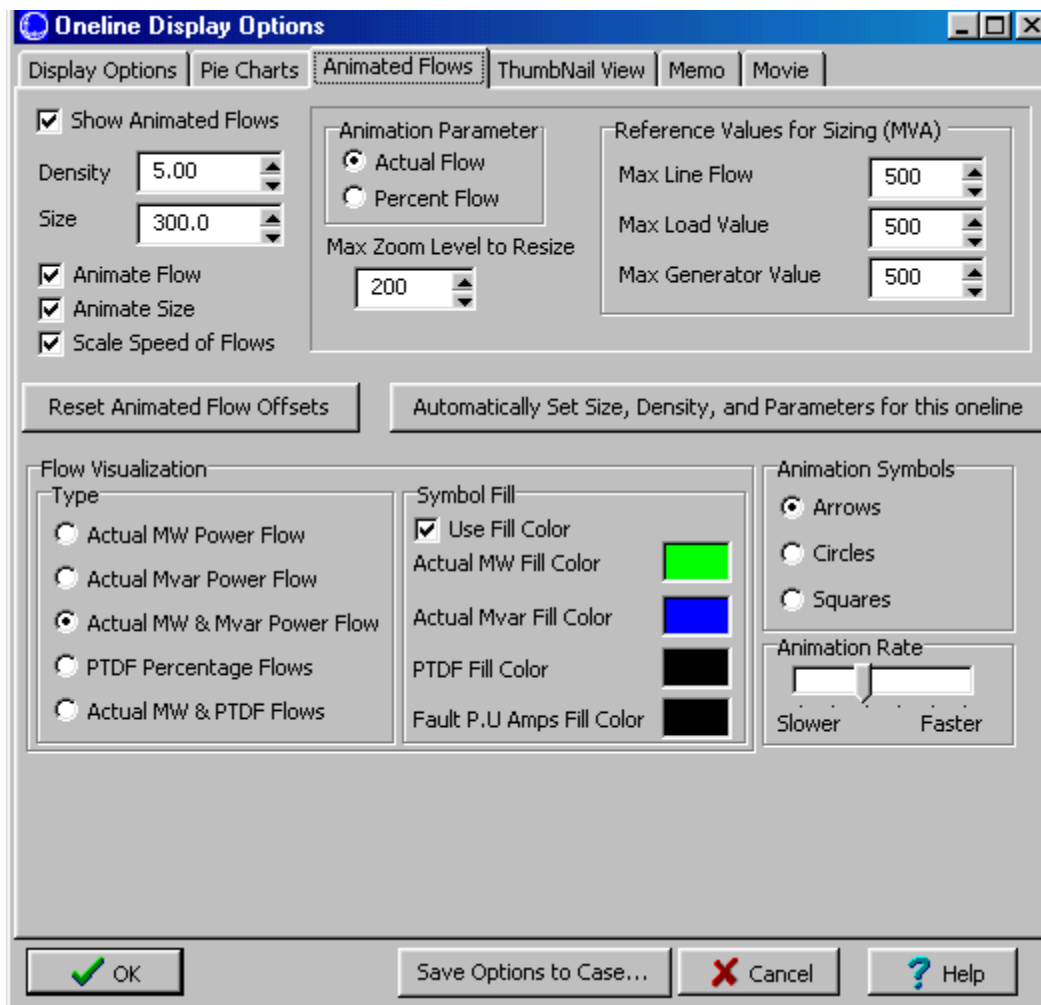


### 4.3.1. Απεικόνιση της ροής ισχύος

Αν η ροή της αέργου ισχύος δεν είναι εμφανής (με μπλε βέλη), κάνετε την κατάλληλη ρύθμιση από την Edit Mode επιλέγοντας από το βασικό μενού:

Options / Tools -> Online Display... -> (Καρτέλα) Animated Flows.

Στο παράθυρο διαλόγου (Online Display Options) που εμφανίζεται, κάνετε τις ακόλουθες ρυθμίσεις: Στο πεδίο Flow Visualization επιλέξτε Actual MW & Mvar Power Flow. Επιλέξτε ακόμη τα πεδία Animation Parameter -> Actual Flow και Animate Flow.



Εικ. 4-18 Η δυνατότητα προσθήκης animation για να δούμε τη ροή ισχύος.

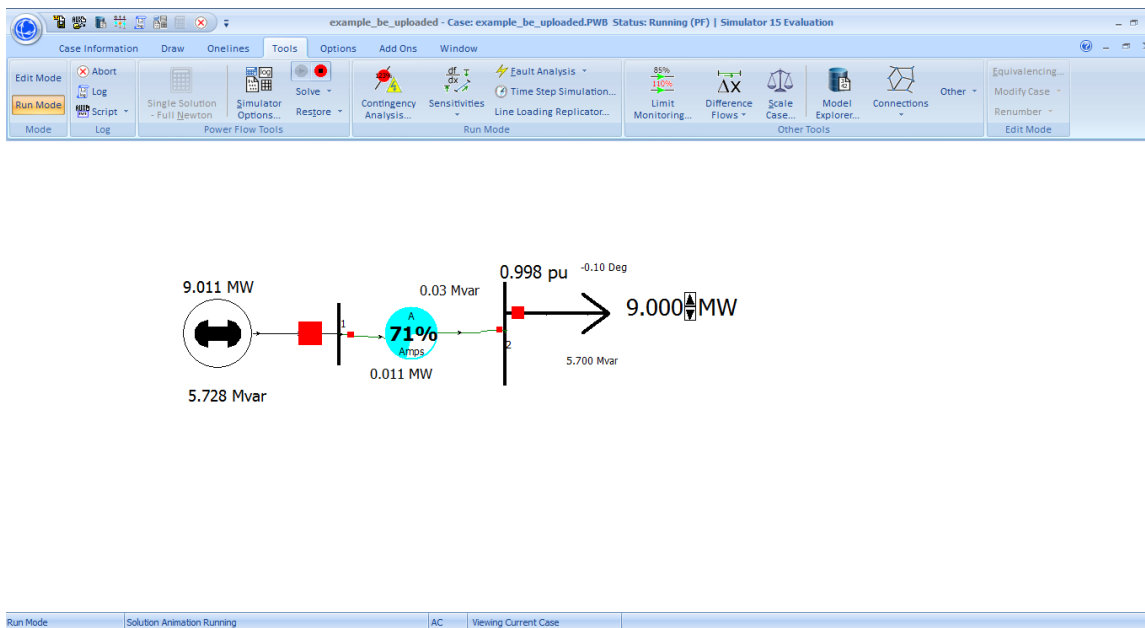
### 4.3.2. Παράδειγμα μεταβολής με το delta mouse click

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιθυμούμε να εξετάσουμε την επίπτωση που θα έχει η μεταβολή του φορτίου κατά 1MW. Στην πρώτη προσομοίωση επιθυμούμε 9MW και λαμβάνουμε την Εικ. 4-19. Χωρίς να κλείσουμε την προσομοίωση και κάνοντας κλικ στα βελάκια που εμφανίζονται δεξιά στην οθόνη μεταβάλλουμε το φορτίο στα 10MW, λαμβάνοντας την Εικ. 4-1920.

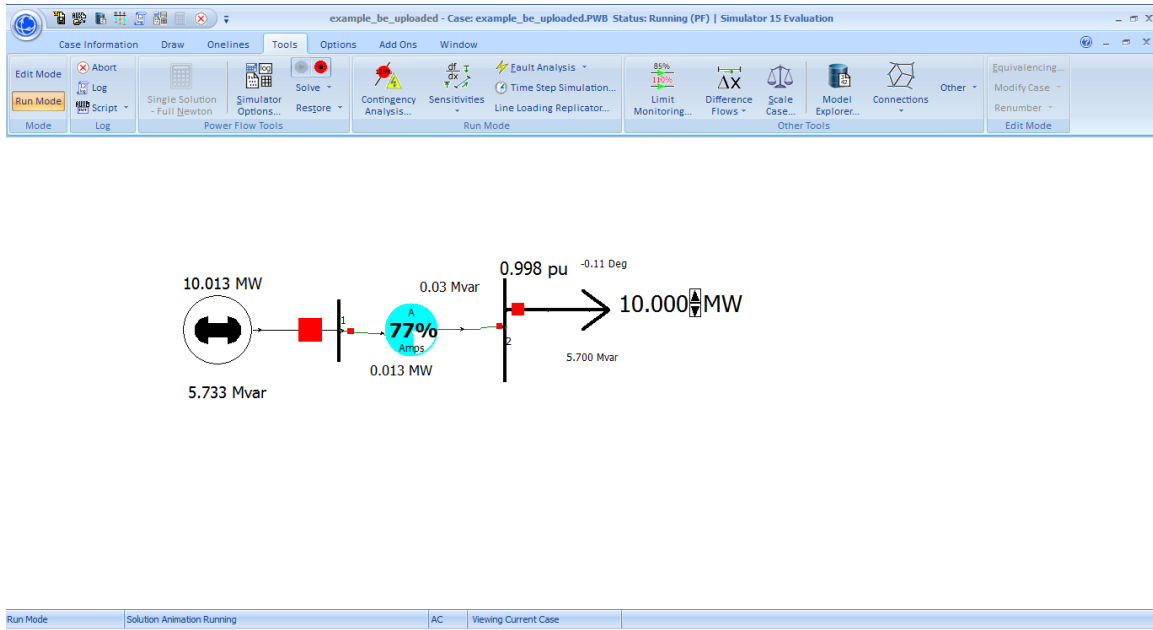
Παρατηρούμε τα εξής:

A) Μεταβολή της ενεργού ισχύος της γεννήτριας (αναμενόμενο) αλλά και της αέργου ισχύος λόγω της μεγαλύτερης τιμής του ρεύματος που ρέει στη γραμμή, η φόρτισή της αυξήθηκε στο 77% άρα και του μεγαλύτερου ρυθμού απωλειών ενεργου/αέργου ισχύος

B) Το μέτρο της τάσης πρακτικά έμεινε αμετάβλητο στο ζυγό του φορτίου, αλλά μεταβλήθηκε λίγο η γωνία. Αυτό δηλώνει και τη μεταφορά ενεργού ισχύος προς το συγκεκριμένο φορτίο.



Εικ. 4-19 Προσομοίωση με φορτίο 9MW



Εικ. 4-20 Προσομοίωση με φορτίο 10MW με τη χρήση του Delta mouse per click

### 4.3.3. Η χρήση του Model Explorer

Πολύ χρήσιμη εκτός από τη γραφική απεικόνιση που είδαμε παραπάνω είναι και η χρήση του Model explorer ο οποίος μας επιτρέπει την συγκριτική παρουσίαση υπό μορφή πίνακα των αποτελεσμάτων και παραμέτρων του δικτύου ανά κατηγορία εξοπλισμού, π.χ. ζυγοί, γραμμές κ.λπ.

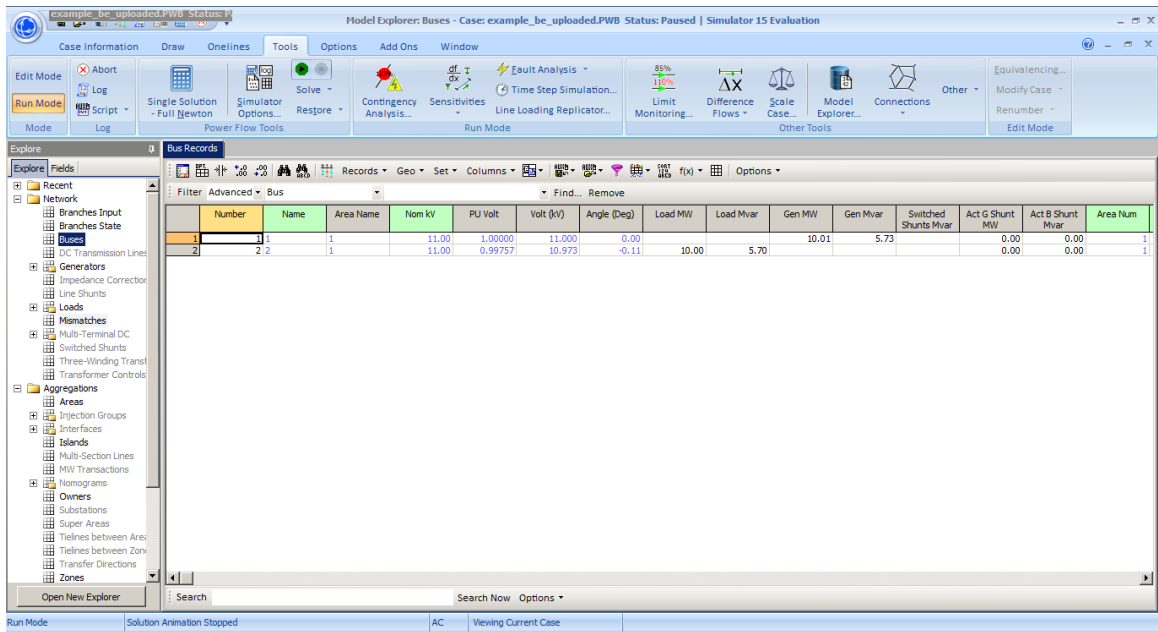
Ενεργοποιείται είτε σε edit

Edit mode->Case Information->Model explorer

Είτε σε Run Mode

Run mode->Tools->Model explorer

Και εμφανίζεται η οθόνη της Εικ. 4-21. Στο αριστερό τμήμα φαίνονται τα διάφορα στοιχεία του δικτύου για τα οποία θέλουμε να λάβουμε αποτελέσματα. Μπορούμε στη συνέχεια να κλείσουμε τη σχετική οθόνη για να δούμε οθόνη όμοια με την Εικ. 4-20.



Εικ. 4-21 Η οθόνη του Model Explorer