



Εργασία προσομοίωσης και ανάλυσης ΣΗΕ

## Πείραμα προσομοίωσης 1 **POWERWORLD SIMULATOR - ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### 1. Σκοπός:

Ο στόχος είναι να εξοικειωθείτε με τη χρήση του προγράμματος PowerWorld Simulator. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της κατασκευής μερικών πολύ απλών μοντέλων ηλεκτρικού δικτύου, και στη συνέχεια εξετάζοντας τη ροή ισχύος, την τάση και το ρεύμα. Αυτό θα σας επιτρέψει να προχωρήσετε με πιο περίπλοκα πειράματα προσομοίωσης.

### 2. POWERWORLD SIMULATOR:

Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγάλα και σύνθετα δίκτυα και ως εκ τούτου για την επίλυσή τους απαιτείται η χρήση προγραμμάτων προσομοίωσης ΣΗΕ. Τα προγράμματα αυτά μπορούν να χωριστούν σε 4 κατηγορίες:

1. Προγράμματα ροής ισχύος που υπολογίζουν τα μεγέθη τάσης, τις γωνίες φάσης και τις ροές ισχύος γραμμής μεταφοράς υπό σταθερές συνθήκες λειτουργίας.
2. Τα προγράμματα μελέτης ευστάθειας (stability) που αναλύουν τη συμπεριφορά του συστήματος υπό διαταραχές όπως αυτές που προκαλούνται από την ξαφνική αλλαγή φορτίου και υπολογίζουν διάφορες παραμέτρους όπως γωνιακές ταλαντώσεις των μηχανών (angular swings) κρίσιμους χρόνους (critical clearing times) των βλαβών του δικτύου.
3. Τα προγράμματα μελέτης βραχυκυκλώματος υπολογίζουν τα ρεύματα βραχυκυκλώματος για συνθήκες τριών φάσεων και συνθηκών σφάλματος γραμμής-εδάφους.
4. Τα προγράμματα μελέτης μεταβατικών φαινομένων που υπολογίζουν τα μεγέθη και τα σχήματα των παροδικών υπερβολικών τάσεων και ρευμάτων που προκαλούνται από τις αστραπές και τις μεταγωγές γραμμής.

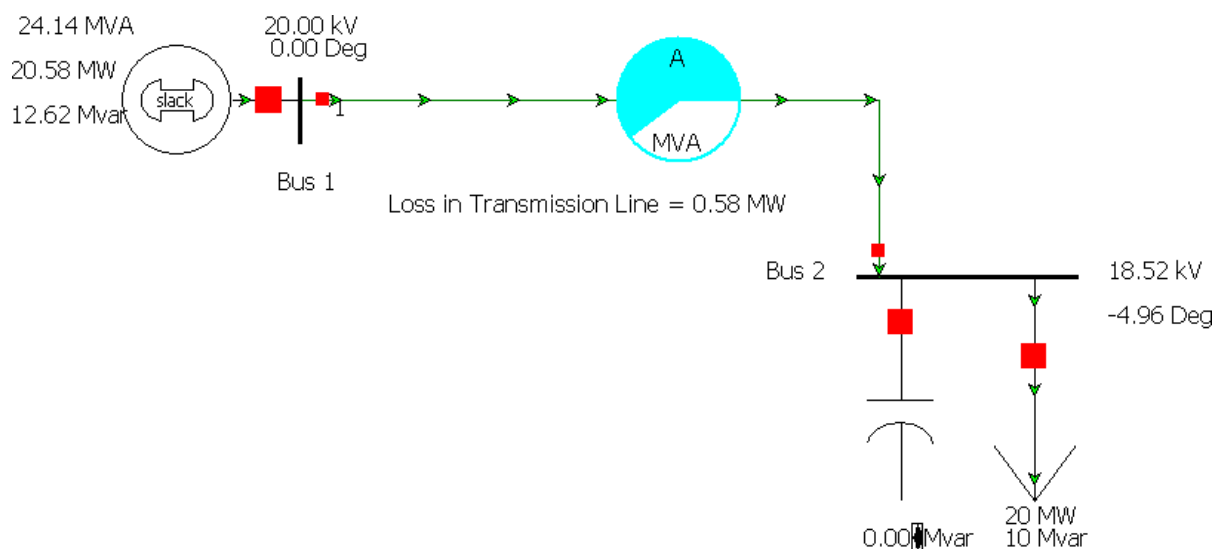
Το PowerWorld Simulator είναι ένα ολοκληρωμένο πακέτο λογισμικού για την ανάλυση και την προσομοίωση συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο χρησιμοποιείται σήμερα ευρέως στη βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας. Αρχικά αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Illinois στην Urbana-Champaign το 1994 και κυκλοφορεί εμπορικά από την PowerWorld Corporation από το 1996. Αυτός ο προσομοιωτής είναι διαδραστικός, με γραφικός περιβάλλον, σχεδιασμένος με φιλική διεπαφή για την προσομοίωση της λειτουργίας των δικτύων ισχύος.

Η τελευταία έκδοση για σκοπούς επίδειξης και εκπαίδευσης είναι η έκδοση 20. Το πρόγραμμα και το σχετικό εγχειρίδιο μπορούν να ληφθούν από: <http://www.powerworld.com>.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση των δικτύων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούνται από γραμμές μεταφοράς, ζυγούς, γεννήτριες, μετασχηματιστές και φορτία. Αυτά μπορούν να συνδυαστούν γρήγορα και να προβληθούν στο διάγραμμα μιας γραμμής.

### 3. Πειράματα Προσομοίωσης:

#### Μέρος 1:



Σχήμα 1: Μονογραμμικό διάγραμμα συστήματος 2-ζυγών.

Κατασκευάστε ένα απλό σύστημα 2 ζυγών, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Η ονομαστική τάση του συστήματος είναι 20kV. Ο ζυγός 1 είναι ο ζυγός ταλάντωσης (slack bus) του συστήματος. Οι προδιαγραφές για τα στοιχεία του συστήματος δίνονται παρακάτω.

Generator:

Max. MW output = 100MW

Min. MW output = 0 MW

Max. MVar = 50 MVar

Min. MVar = -30 MVar

**Το τελευταίο ψηφίο των τιμών Max. MW output και Max. MVar να αντικατασταθεί το κάθε ένα με το ένα από τα δύο τελευταία ψηφία του ΑΜ σας.** Το τελευταίο ψηφίο του ΑΜ σας στο τελευταίο ψηφίο των MW, το προτελευταίο στο τελευταίο ψηφίο των MVar.

Transmission line:

Series resistance = 0.1 pu

Reactance = 0.45pu

MVA limit = 40 MVA

Load:

Real power = 20 MW

Reactive power = 10 MVar (inductive load)

**Το τελευταίο ψηφίο των τιμών του πραγματικού και του άεργου φορτίου να αντικατασταθεί αντίστοιχα με ένα από τα 2 τελευταία ψηφία του ΑΜ σας.** Το τελευταίο ψηφίο του ΑΜ σας στο πραγματικό φορτίο, το προτελευταίο στο άεργο φορτίο.

Switched shunt capacitor:

Reactive power = 0 – 20MVar in steps of 1MVar

## Οδηγίες εκτέλεσης:

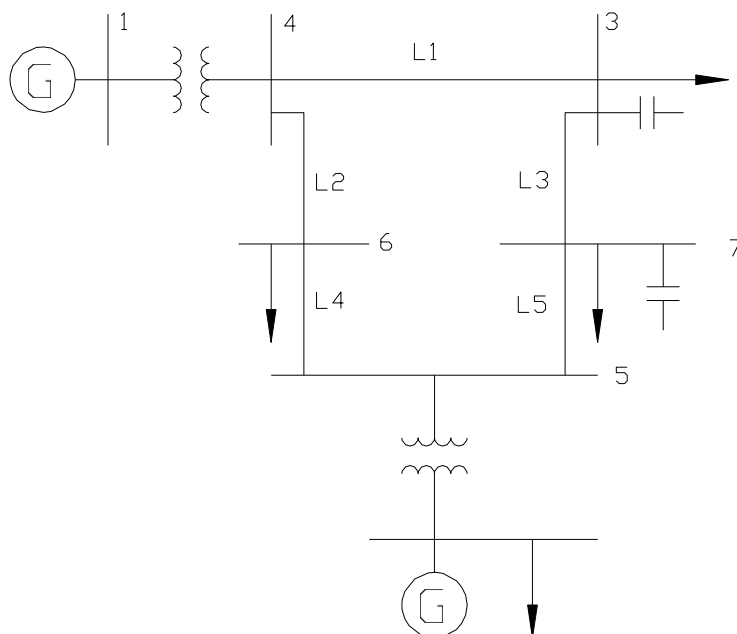
1. Κατασκευάστε το μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου σύμφωνα με τις προδιαγραφές που δίνονται παραπάνω. Στο διάγραμμα, τοποθετήστε τις ετικέτες που να δείχνουν τα εξής:  
(i) φαινόμενες, πραγματικές και άεργες ισχύς που παράγονται από τη γεννήτρια  
(ii) απώλειες ισχύος στη γραμμή μεταφοράς εκφρασμένη σε MW και MVar  
(iii) μέτρο τάσης σε kV και γωνία φάσης σε βαθμούς στους δύο ζυγούς
2. Τρέξτε (Run) το δίκτυο όταν η ισχύς εξόδου του παράλληλου πυκνωτή είναι 0 MVar. Ενεργοποιήστε από το menu την επιλογή «κινούμενη εικόνα» ή αλλιώς «animation» για να εμφανίσετε τη ροή ισχύος σε MW και σε MVar. Παρατηρήστε τι συμβαίνει όταν το όριο MVA της γραμμής μεταφοράς είναι 20 MVA. **Στην αναφορά σας σχολιάστε το αποτέλεσμα.** Ρυθμίστε το όριο της γραμμής μεταφοράς σε 40 MVA.
3. Παρατηρήστε και σημειώστε στην αναφορά σας την τιμή απώλειας ισχύος της γραμμής μεταφοράς όταν η αντίσταση σειράς (series resistance) και η αντίσταση αντίδρασης (reactance) αλλάζουν σε 0,4 και 0,8 pu αντίστοιχα. Παρατηρήστε και σημειώστε τις τιμές των τάσεων του ζυγού.
4. Αλλάξτε την σύνθετη αντίσταση (impedance) της γραμμής στην αρχική της τιμή. Μεταβάλλετε την άεργη ισχύ του παράλληλου πυκνωτή σε βήματα από 0 έως 20 MVar. Σε κάθε βήμα καταγράψτε την τάση στο ζυγό 2 και τις απώλειες της γραμμής μεταφοράς. Βρείτε την τιμή των MVar του πυκνωτή για να επιτευχθεί η βέλτιστη ρύθμιση της τάσης.

Στη συνέχεια, προσθέστε ένα ακόμα ζυγό 'Bus 3'. Αυτός ο ζυγός συνδέεται με τον ζυγό 1 και τον ζυγό 2 μέσω γραμμής μεταφοράς (ίδια χαρακτηριστικά με τη γραμμή που συνδέει τον ζυγό 1 και τον ζυγό 2). Μια άλλη γεννήτρια συνδέεται στο ζυγό 3. Έχει τις ίδιες προδιαγραφές με τη γεννήτρια στο ζυγό 1 αλλά παρέχει ισχύ σε 10MW και 2MVar. Αποσυνδέστε τον παράλληλο πυκνωτή. Στο διάγραμμα, τοποθετήστε τα πεδία για την εμφάνιση της ροής MVA στις γραμμές μεταφοράς.

5. Εκτελέστε το διευρυμένο δίκτυο και παρατηρήστε τη ροή ισχύος MVA στις γραμμές μεταφοράς. **Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας στην αναφορά σας.**
6. Προσθέστε ένα φορτίο (15MW, 8MVar) στον ζυγό 3 και παρατηρήστε τη ροή MVA στη γραμμή μεταφοράς. **Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας στην αναφορά σας.**
7. Αυξήστε την έξοδο άεργης ισχύος της γεννήτριας MVar στον ζυγό 3 έως 10MVar και παρατηρήστε τη ροή MVA στη γραμμή μεταφοράς και την αλλαγή του μέτρου της τάσης στον ζυγό 3. **Καταγράψτε τις παρατηρήσεις σας στην αναφορά σας.**

## Μέρος 2:

Ένα σύστημα 7 ζυγών που αποτελείται από 2 γεννήτριες και 4 φορτία παρουσιάζεται στο σχήμα 2. Δύο τράπεζες πυκνωτών συνδέονται στον ζυγό 3 και τον ζυγό 7 για τη ρύθμιση των τάσεων του ζυγού.



Σχήμα 2: Μονογραμμικό διάγραμμα συστήματος 7-ζυγών.

Generator (στο ζυγό 1):

Max. MW Output = 100MW

Min. MW Output = 0 MW

Nominal voltage = 34.5 kV

Max. Mvar = 40 Mvar

Min. Mvar = -6 Mvar

Participation factor = 4

Generator (στο ζυγό 2):

Max. MW Output = 100MW

Min. MW Output = 0 MW

Nominal voltage = 34.5 kV

Max. Mvar = 40 Mvar

Min. Mvar = -6 Mvar

Participation factor = 6

Transmission lines:

**Το 2<sup>ο</sup> ψηφίο των τιμών των μηκών L1, L3 και L4 να αντικατασταθεί με τα 3 τελευταία ψηφία του ΑΜ σας.** Το τελευταίο ψηφίο του ΑΜ σας στην L1, το προτελευταίο στην L3.

Μήκη: L1= 500 km, L2= 100 km, L3= 300 km, L4= 200 km, L5= 100 km

Series resistance = 0.1019 Ω/km

Reactance = 0.5912 Ω/km

Nominal voltage = 345 kV

Rated power = 100 MVA

Transformers:

Reactance = 0.1580 pu

Nominal voltage: 34.5/345 kV

Rated power = 150 MVA

Loads:

26 MW at bus 2  
50 MW, 34 Mvar at bus 3  
40 MW, 23 Mvar at bus 6  
20 MW, 15 Mvar at bus 7

Switched shunt capacitor:

37 MVar at bus 3  
10 MVar at bus 7

Κατασκευάστε το μονογραμμικό διάγραμμα δικτύου σύμφωνα με τις προδιαγραφές που δίνονται παραπάνω. Επιλέξτε τη βασική ισχύ του  $S_{base}=100\text{MVA}$ . Δημιουργήστε το μονογραμμικό διάγραμμα για αυτό το σύστημα και τρέξτε (Run) τη ροή ισχύος (power flow).

#### 4. Συμπεράσματα:

1. Ανατρέξτε στο Μέρος 2 παραπάνω, δείξτε πώς οι παράμετροι γραμμής μεταφοράς μετατρέπονται σε τιμή ανά μονάδα.
2. Τι σημαίνει ο όρος “Participation Factor”?

#### Παραδοτέα:

Να παραδοθεί ατομικά **τυπωμένη η γραπτή αναφορά σας** και να παραδοθούν **ηλεκτρονικά**, μέσω ανάρτησης στο φάκελο εργασιών του ιστοχώρου του μαθήματος, σε συμπιεσμένο αρχείο zip ή rar, τα παρακάτω αρχεία. Το όνομα του συμπιεσμένου αρχείου είναι το ΕΠΩΝΥΜΟ\_ΟΝΟΜΑ\_ΑΜ.

1. **Το αρχείο της γραπτής αναφοράς, σε αρχείο pdf.** Η αναφορά να περιλαμβάνει: Στην αρχή τα στοιχεία σας (Ονοματεπώνυμο, ΑΜ, ημερομηνία). Να περιλαμβάνει τις εικόνες των υπό εξέταση ΣΗΕ: του Μέρους 1 για το ερώτημα 3 και για το ερώτημα 6, καθώς και η εικόνα του ΣΗΕ στο Μέρος 2 (όπως αυτές προκύπτουν από το Power World μετά που θα τα τρέξετε). Τα σημεί που ζητείται να σχολιάσετε έχουν επισημανθεί στις οδηγίες με σκούρα γράμματα.
2. **Τα σχετικά αρχεία pwb και pwd του λογισμικού Power World**, όπως προκύπτουν μετά την υλοποίησή τους.

#### Παράρτημα Υπολογισμοί ανά μονάδα (Per Unit)

Οι υπολογισμοί των ποσοτήτων του συστήματος ισχύος απλοποιούνται πολύ ουσιαστικά αν κανονικοποιηθούν και οι υπολογισμοί εκτελούνται χρησιμοποιώντας το σύστημα ανά μονάδα. Εκφράζουμε τάση, ρεύμα, kVA και σύνθετη αντίσταση ως ανά μονάδα τιμές επιλεγμένων τιμών βάσης αυτών των ποσοτήτων.

$$V_{pu} = \frac{V}{V_B}$$

$V_B$  είναι η τάση βάσης

$$I_{pu} = \frac{I}{I_B}$$

$I_B$  είναι το ρεύμα βάσης

$$S_{pu} = \frac{S}{S_B}$$

$S_B$  είναι τα kVA της βάσης

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_B}$$

$Z_B$  είναι η βάση αντ/σης.

Είναι συνηθισμένο να προσδιορίζονται αρχικά οι δύο τιμές βάσης  $V_B$  και  $S_B$  και στη συνέχεια οι άλλες δύο τιμές βάσης  $I_B$  και  $Z_B$  μπορούν να προσδιοριστούν από τις καθορισμένες τιμές  $V_B$  και  $S_B$  από τις σχέσεις του νόμου Ohm ηλεκτρικές σχέσεις:

$$I_B = \frac{S_B}{V_B} \text{ και } Z_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{V_B^2}{S_B}$$

Κανονικά, η βάση τάσης  $V_B$  λαμβάνεται ως η ονομαστική τάση του συστήματος και το  $S_B$  καθορίζεται αυθαίρετα (συχνά επιλέγεται 100, 10 ή 1 MVA), παρόλο που μια κοινή μέθοδος είναι να χρησιμοποιηθεί η τιμή ενός κύριου στοιχείου στο σύστημα, όπως ένας μετασχηματιστής ή γεννήτρια ως βάση  $S_B$ . Μια άλλη απαίτηση είναι ότι ο λόγος των βάσεων τάσης στις δύο πλευρές ενός μετασχηματιστή πρέπει να είναι ο ίδιος με τον λόγο των τάσεων του.

Για ισορροπημένα συμμετρικά συστήματα τριών φάσεων και φορτία συνδεδεμένα με Υ, ο υπολογισμός μπορεί να γίνει σε μία φάση. Πρέπει να ληφθεί μέριμνα για τη χρήση της κατάλληλης τιμής ισχύος kVA και των επιπέδων τάσης που να αφορά στο μονοφασικό κύκλωμα για τον υπολογισμό των κατάλληλων βασικών τιμών ρεύματος και σύνθετης αντίστασης.

$$I_B = \frac{S_{B3ph}}{\sqrt{3}U_{B3ph}} \text{ και } Z_B = \frac{U_{B3ph}^2}{S_{B3ph}}$$

όπου  $U_B$  και  $S_B$  είναι οι τιμές πολιτικής τάσης και η τριφασική ισχύς kVA.

$$Z_{pu} = \frac{Z_{ohms}}{Z_B} = \frac{Z_{ohms}}{\frac{U_{B3ph}^2}{S_{B3ph}}}$$

Για να αλλάξουμε την ανά μονάδα τιμή της σύνθετης αντίστασης από μια τιμή βάσης (παλιά) σε μια άλλη (νέα), όταν αλλάζουν μόνο τα kVA της βάσης ισχύος ( $S_B$ ), η νέα τιμή βάσης της  $Z_{pu}$  δίνεται από τη σχέση:

$$Z_{pu_{new}} = Z_{pu_{old}} \frac{S_{pu_{new}}}{S_{pu_{old}}}$$

Αν συγχρόνως αλλάζουν και οι τιμή βάσης τάσης  $V_B$  και τα kVA της βάσης ισχύος ( $S_B$ ), η νέα τιμή βάσης της  $Z_{pu}$  δίνεται από τη σχέση:

$$Z_{pu_{new}} = Z_{pu_{old}} \frac{S_{pu_{new}}}{S_{pu_{old}}} \left( \frac{U_{pu_{new}}}{U_{pu_{old}}} \right)^2$$

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι σύνθετες αντιστάσεις στοιχείων όπως οι μετασχηματιστές, οι γεννήτριες, οι κινητήρες κ.λπ. δίνονται σε πινακίδες κατασκευαστή σε ανά μονάδα ή σε ποσοστιαίες μονάδες βάσει των ονομαστικών επιπέδων τάσης και ισχύος του εξοπλισμού.

Για τα καλώδια, τις εναέριες γραμμές, τους αγωγούς, κ.λπ., οι σύνθετες αντιστάσεις τους δίνονται σε ωμικές τιμές. Αυτές οι τιμές πρέπει να αναχθούν σε ανά μονάδα χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες ίδιες βασικές τιμές. Έτσι, η κατάλληλη τάση λειτουργίας και η επιλεγείσα τιμή  $S_B$  πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστούν τα  $Z_B$  και  $I_B$ .