

ΑΣΚΗΣΗ 2 (powerworld): ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ & ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 8 ΖΥΓΩΝ ΜΕ ΕΠΙΛΥΣΗ ΡΟΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ.

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΑΣΚΗΣΗΣ

Η παρούσα εργαστηριακή άσκηση έχει ασχολείται με την μοντελοποίηση και προσομοίωση ενεργειακού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής 8 ζυγών σε μόνιμη κατάσταση. Η προσομοίωση θα γίνει στο λογισμικό πακέτο PowerWorld v.15 με επίλυση εξισώσεων ροής φορτίου. Στόχοι της άσκησης είναι ο φοιτητής:

1. Να μπορεί να κατανοήσει το πρόβλημα επίλυσης ροής φορτίου και να κρίνει την ορθότητα των αποτελεσμάτων.
2. Να είναι σε θέση να σχεδιάζει και εισάγει δεδομένα για ολοκληρωμένο ενεργειακό σύστημα σε σύγχρονο εμπορικό λογισμικό προσομοίωσης τέτοιων συστημάτων.
3. Να μπορεί να κατανοήσει και αντιμετωπίσει τις ιδιαιτερότητες μοντελοποίησης γραμμών μεταφοράς, μετασχηματιστών, γεννητριών κ.α. και να κρίνει την ορθότητα ή μη των δεδομένων.
4. Να μπορεί να μεταφράζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης σε χρήσιμη πληροφορία ως προς την ασφαλή και ευσταθή λειτουργία του συστήματος.
5. Να είναι σε θέση να τροποποιήσει κατάλληλα το σύστημα ή κάποιες παραμέτρους των δομικών του στοιχείων προκειμένου να βελτιωθεί η λειτουργία του.

2.2 θεωρητικές επεξηγήσεις

Προκειμένου να είναι σε θέση ο φοιτητής αφενός να εκτελέσει και αφετέρου να κατανοήσει σωστά την άσκηση θα πρέπει να έχει διδαχθεί την μεθοδολογία ανάλυσης της λειτουργίας ενός αυτόνομου ενεργειακού συστήματος σε μόνιμη κατάσταση με τη μέθοδο της επίλυσης ροή φορτίου (Load Flow). Η αντίστοιχη θεωρία θεμελιώνεται στις σημειώσεις της θεωρίας του μαθήματος και εδώ γίνεται απλά μια σύντομη αναφορά στα δεδομένα που απαιτούνται για την υιοθέτηση και εκτέλεση της μεθοδολογίας.

Στόχος της μεθόδου επίλυσης με ροή φορτίου είναι ο υπολογισμός των τάσεων (μέτρο και γωνία) σε κάθε ζυγό του συστήματος. Πέρα από τα ηλεκτρικά

χαρακτηριστικά των γραμμών και των μετασχηματιστών καθώς και την τοπολογία τους, δεδομένα επιπλέον θεωρούνται τα φορτία σε κάθε ζυγό, η παραγωγή ενεργού ισχύος σε κάθε γεννήτρια και τα όρια άεργου ισχύος που είναι σε θέση κάθε γεννήτρια να παρέχει προς το σύστημα. Υπάρχουν τρία (3) είδη ζυγών:

- ζυγοί φορτίου (PQ) χωρίς παραγωγή όπου έχουμε μόνο το φορτίο γνωστό και αναζητάμε την τάση
- ζυγοί παραγωγής (PV) όπου έχουμε γεννήτρια που παρέχει πραγματική ισχύ P και άεργο ισχύ ίση της επιτρέπεται προκειμένου να ρυθμίσει την τάση (V) του ζυγού ως προς το μέτρο (όχι γωνία) στην επιθυμητή τιμή. Σημείωση: σε αυτούς τους ζυγούς ενδέχεται να έχουμε και φορτία αλλά αυτό δεν αλλάζει κάτι. Σε αυτούς τους ζυγούς αναζητάμε την γωνία της τάσης και την άεργο ισχύ)
- Ένας και μοναδικός ζυγός ταλάντωσης (slack bus ή swing bus) ο οποίος έχει γεννήτρια (ή γεννήτριες) με τέτοια παραγωγή ενεργού και άεργου ισχύος ώστε η τάση του ζυγού να είναι η επιθυμητή τόσο σε μέτρο όσο και γωνία. Σε αυτόν τον ζυγό αναζητάμε αυτές τις ισχύεις.

Μέσω επαναληπτικών διαδικασιών και εφόσον τα δεδομένα είναι τέτοια ώστε να μπορεί το σύστημα να λειτουργήσει με ασφάλεια σε επιτρεπτά όρια, επιτυγχάνεται ο υπολογισμός των στοιχείων που αναζητούμε. Με δεδομένα τάσεις και φορτία ή παραγωγή σε κάθε ζυγό, μπορούμε να υπολογίσουμε τα ρεύματα σε κάθε κλάδο - γραμμή του συστήματος και συνεπώς τη ροή του φορτίου από οποιονδήποτε ζυγό σε οποιονδήποτε άλλο ζυγό.

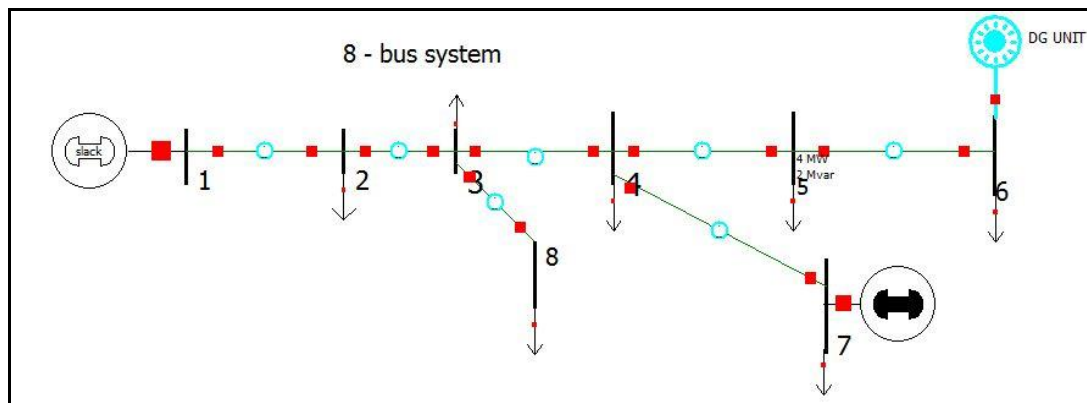
Με κατάλληλους υπολογισμούς από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης θα μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη λειτουργία του συστήματος. Αυτά τα συμπεράσματα θα είναι σχετικά με τα επίπεδα των τάσεων, τη φόρτιση των γραμμών και των μετασχηματιστών, τις απώλειες ισχύος στο σύστημα, τις φασικές αποκλίσεις στα ηλεκτρικά μεγέθη κ.α. Στα πλαίσια της βέλτιστης λειτουργίας του ηλεκτρικού ενεργειακού συστήματος σε μόνιμη κατάσταση, μπορούν να γίνουν διερευνήσεις για αντιστάθμιση άεργου ισχύος με κατάλληλη τοποθέτηση συστοιχιών πυκνωτών. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον εν λόγω σύστημα κάποιο απλοποιημένο μοντέλο μονάδας ΑΠΕ όπως ανεμογεννήτρια, φωτοβολταϊκό πάρκο κλπ. και να εξαχθούν αντίστοιχα συμπεράσματα από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

2.3 Δεδομένα - Πορεία εκτέλεσης της άσκησης

1.3.1. Δεδομένα ενεργειακού συστήματος

Για την υλοποίηση της άσκησης θα χρησιμοποιηθούν τα παρακάτω δεδομένα:

- Στο σχ.1 φαίνεται η τοπολογία του συστήματος. Ο ζυγός 1 είναι ο ζυγός ταλάντωσης (slack bus).
- Η τάση του δικτύου είναι τα 6,6kV και η συχνότητα 50Hz.
- Στους πίνακες 1 και 2 δίνονται αντίστοιχα τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των γραμμών του συστήματος και τα φορτία στους ζυγούς. Έχει χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση των γραμμών το ισοδύναμο τύπου – «π». Τα φορτία θεωρούνται σταθερά.
- Για τα στοιχεία που δίνονται σε σύστημα ανά μονάδα (pu) θεωρείστε βασική ισχύ τα 100MVA.
- Η γεννήτρια στο ζυγό 7 παράγει 4MW και έχει όρια άεργου ισχύος από -4MVA_r έως 4MVA_r. Η συγκεκριμένη γεννήτρια ρυθμίζει την τάση στο ζυγό στην ονομαστική τιμή.
- Υπάρχει και συνδεδεμένο φωτοβολταϊκό πάρκο ικανότητας 300kW, το οποίο όμως δεν ρυθμίζει τάση.



Σχ. 1

Πίνακας 1

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΜΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΖΥΓΟΣ ΑΝΑΧΩΡΗΣΗΣ	ΖΥΓΟΣ ΑΦΙΞΗΣ	R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	ΟΡΙΟ ΦΟΡΤΙΣΗΣ (MVA)
1	2	0.0315	0.75207	0.0000	15
2	3	0.0033	0.01849	0.0150	15
3	4	0.0667	0.30808	0.3525	10
4	5	0.0579	0.14949	0.0250	10
5	6	0.1414	0.36547	0.0000	10
4	7	0.0800	0.36961	0.3120	10
3	8	0.2750	1.27043	0.0000	10

Πίνακας 2

ΖΥΓΟΣ	ΦΟΡΤΙΑ ΖΥΓΩΝ
-------	--------------

	P (MW)	Q (MVA_r)
2	4,21	0,42
3	0,49	0,05
4	1,96	0,2
5	2,45	0,25
6	5,11	0,51
7	1,64	0,17
8	2,13	0,21
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ	17,99	1,81

1.3.2. Σχεδίαση – Υλοποίηση δικτύου – Εισαγωγή δεδομένων

Αρχικά θα πρέπει να σχεδιαστεί το κύκλωμα όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Για λόγους απλοποίησης δεν χρησιμοποιήθηκαν μετασχηματιστές. Τα εικονίδια για τα αντίστοιχα μοντέλα μπορούν να βρεθούν επιλέγοντας το κουμπί “Network” στην καρτέλα “Draw”. Θα πρέπει να σχεδιαστούν τα παρακάτω:

- Οκτώ (8) συνολικά ζυγοί με ονομαστική τάση 6,6kV. Ο ζυγός 1, όπως προαναφέρθηκε, θα πρέπει να δηλωθεί ως ζυγός ταλάντωσης, επιλέγοντας την αντίστοιχη ρύθμιση στην καρτέλα με τα χαρακτηριστικά του.
- Επτά (7) συνολικά φορτία, οι τιμές των οποίων φαίνονται στον πίνακα 2.
- Επτά συνολικά γραμμές, στις οποίες εισάγουμε τα δεδομένα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους από τον πίνακα 1. Προκειμένου το πρόγραμμα να δεκτεί μια γραμμή, θα πρέπει απαραίτητως να συμπληρωθεί η επαγωγική αντίσταση. Σε περίπτωση που αφήνεται κενό ή μηδεν το αντίστοιχο κελί, το πρόγραμμα θα εμφανίσει σφάλμα. Επιλέον μπορείται να εισάγετε για κάθε γραμμή ένα όριο φόρτισης σε MVA. Με αυτόν τον τρόπο το αποτέλεσμα της προσομοίωσης θα γίνει και οπτικό.
- Τρεις (3) γεννήτριες, η μία εκ των οποίων (αυτή που αντιστοιχεί στο φωτοβολταϊκό πάρκο) θα πρέπει να φροντίσετε να μην κάνει ρύθμιση τάσης (απενεργοποίηση AVR).
- Οποιαδήποτε στοιχεία μπορούν να τροποποιούνται επιλέγοντας το αντίστοιχο στοιχείο – μοντέλο, αρκεί να βρισκόμαστε στην κατάσταση “edit mode” και όχι “run mode”.

2.4 Δοκιμές – Μετρήσεις - Υπολογισμοί

Αφού αποθηκεύσετε το αρχείο που δημιουργήσατε, εκτελέστε ροή φορτίου επιλέγοντας *single solution* στην καρτέλα *tools* σε *run mode*. Επιλέγοντας επιπλέον *simulator options*, μπορούμε στην συγκεκριμένη καρτέλα να ορίσουμε την ακρίβεια

σύγκλισης της επαναληπτικής μεθόδου επίλυσης ροής φορτίου, καθώς και τον επιθυμητό αριθμό επαναλήψεων.

Προκειμένου να δούμε τα αποτελέσματα της εκτέλεσης, δεδομένου ότι η μέθοδος συγκλίνει, μπορούμε να επιλέξουμε *limit monitoring* ή *bus view* στην καρτέλα *case information*. Στην πρώτη περίπτωση μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα συγκεντρωτικά ενώ στη δεύτερη βλέπουμε τα αποτελέσματα ανά ζυγό.

Καταγραφή και επεξεργασία αποτελεσμάτων.

- i. Η πρώτη σας δοκιμή θα είναι με την γεννήτρια του ζυγού 7 σε λειτουργία, αλλά χωρίς το φωτοβολταϊκό πάρκο. Σημειώστε τις τάσεις στους ζυγούς, και υπολογίστε τις απώλειες στους γραμμές του δικτύου.
- ii. Επαναλάβετε την προηγούμενη δοκιμή με επιπλέον συνδεδεμένο το φωτοβολταϊκό πάρκο. Τι παρατηρείτε στα αποτελέσματα;
- iii. Εκτελέστε ξανά αλλά χωρίς τη γεννήτρια στο ζυγό 7 συνδεδεμένη. Συγκρίνατε τα αποτελέσματα. Σε ποιά συμπεράσματα οδηγήσετε;
- iv. Σχεδιάστε το διανυσματικό διάγραμμα το τάσεων των ζυγών για τις περιπτώσεις i και iii.
- v. Συνδέστε πυκνωτή αντιστάθμισης ισχύος 0,5MVAr κάθε φορά και σε άλλο ζυγό και εκτελέστε ροή φορτίου. Σημειώστε την χαμηλότερη τάση και το μέσο όρο των τάσεων σε κάθε περίπτωση. Σε ποιο ζυγό θα επιλέξετε τελικώς να συνδέσετε τη χωρητική αντιστάθμιση (πυκνωτής);

Ο Πίνακας 3 που ακολουθεί παρουσιάζει αποτελέσματα προσομοίωσης για επαλήθευση.

Πίνακας 3

ΖΥΓΟΣ	ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ i		ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ii		ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ iii	
	ΤΑΣΗ (p.u.)	Τάση (kV)	ΤΑΣΗ (p.u.)	Τάση (kV)	ΤΑΣΗ (p.u.)	Τάση (kV)
1	1	6,6	1	6,6	1	6,6
2	0,99174	6,545	0,99191	6,547	0,96769	6,387
3	0,99154	6,544	0,99171	6,545	0,96689	6,381
4	0,99005	6,534	0,99033	6,536	0,95542	6,306
5	0,98423	6,496	0,98473	6,499	0,9496	6,267
6	0,97472	6,433	0,97575	6,44	0,94026	6,206
7	1	6,6	1	6,6	0,95393	6,296
8	0,98243	6,484	0,98261	6,485	0,95753	6,32