



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Εργαστήριο Ανάλυσης Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας

Ενότητα: Άσκηση 2 “ Ροή ισχύος και ρύθμιση τάσης σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας”

Νικόλαος Βοβός, Γαβριήλ Γιαννακόπουλος, Παναγής Βοβός

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά **ΠΠ**
μαθήματα

Περιεχόμενα

1. Σκοπός	3
2. Θεωρία γραμμών μεταφοράς	3
2.1 Παράσταση γραμμών μεταφοράς	3
2.2 Ροή ισχύος σε γραμμές μεταφοράς	5
2.3 Ρύθμιση τάσης γραμμών μεταφοράς	7
3. Χρησιμοποιούμενα όργανα	8
4. Πειραματικό μέρος.....	9
4.1 Ροή ισχύος σε τριφασική γραμμή μεταφοράς με διάφορα σταθερά φορτία.....	9
4.2 Ροή ισχύος σε τριφασική γραμμή με μεταβαλλόμενο ωμικό φορτίο	10
4.3 Ρύθμιση της τάσης εξόδου γραμμής μεταφοράς με μεταβαλλόμενο ωμικό-χωρητικό φορτίο	10
5. Ερωτήσεις – Προβλήματα	11
6. Σημειώματα	12
6.1 Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων/Εργου	12
6.2 Σημείωμα Αναφοράς.....	12
6.3 Σημείωμα Αδειοδότησης.....	12
6.4 Διατήρηση Σημειωμάτων	13
7. Χρηματοδότηση.....	13

1. Σκοπός

Στην άσκηση αυτή εξετάζεται η ροή πραγματικής και αέργου ισχύος σε μια γραμμή μεταφοράς και η προκαλούμενη πτώση τάσης στην γραμμή καθώς διαφόρων τύπων φορτία τροφοδοτούνται μέσω αυτής. Εξετάζεται επίσης η ρύθμιση που προκαλείται στην άφιξη της γραμμής από πυκνωτές παράλληλα συνδεδεμένους προς τα φορτία.

2. Θεωρία γραμμών μεταφοράς

2.1 Παράσταση γραμμών μεταφοράς

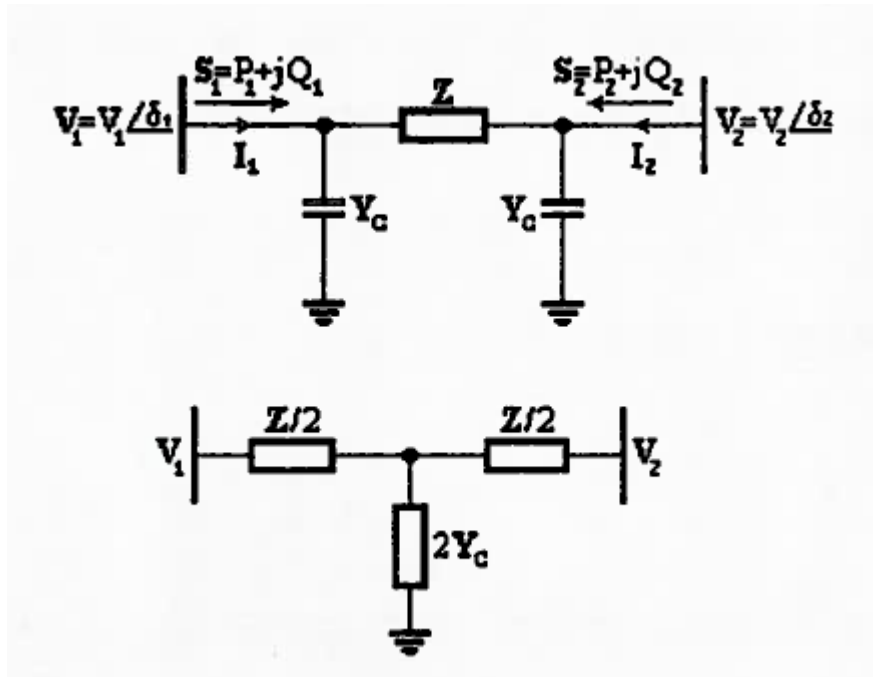
Μια γραμμή μεταφοράς που μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια παρουσιάζει απώλειες θερμότητας που οφείλονται στην ωμική αντίσταση των αγωγών της γραμμής. Επειδή κάθε αγωγός της γραμμής που διαρρέεται από ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο, η γραμμή παρουσιάζει επαγωγική αντίδραση. Τέλος λόγω της διαφοράς δυναμικού, τόσο μεταξύ των αγωγών της γραμμής όσο και μεταξύ των αγωγών και της γης, η γραμμή παρουσιάζει χωρητική αντίδραση.

Τις γραμμές ανάλογα με το μήκος τους τις διακρίνουμε σε γραμμές “μικρού μήκους” και γραμμές “μεγάλου μήκους”. Συνήθως οι γραμμές μεγάλου μήκους έχουν μήκος πάνω από 150 km. Όταν εξετάζουμε μια γραμμή μεγάλου μήκους πρέπει να έχουμε υπόψη ότι συνήθως θεωρούμε τις παραμέτρους (αντίσταση, επαγωγή και “κατανεμημένες” ομοιόμορφα σ’ ολόκληρο το μήκος της γραμμής, σε αντίθεση με τις γραμμές μικρού μήκους στις οποίες θεωρούμε τις παραμέτρους “συγκεντρωμένες”).

Συνήθως κατά τη μελέτη των ηλεκτρικών συστημάτων στην μόνιμη και μεταβατική κατάσταση ενδιαφερόμαστε για τις τερματικές τάσεις και τα τερματικά ρεύματα στις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η κατανομή της τάσης και του ρεύματος κατά μήκος της γραμμής δεν μας ενδιαφέρει, παρά μόνο στις περιπτώσεις υπολογισμού υπερτάσεων και για τον καθορισμό της μόνωσης των γραμμών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε απλά μοντέλα γραμμών μεταφοράς, που παριστάνουν με ικανοποιητική ακρίβεια την επίδραση των γραμμών μεταφοράς στην λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων. Η πιο διαδεδομένη παράσταση είναι το ισοδύναμο Π ή Τ, **Σχ. 2.1**, όπου χρησιμοποιούμε συγκεντρωμένες παραμέτρους. Αν η επαγωγή L και η χωρητικότητα C της γραμμής αντικατασταθούν με τις ισοδύναμες αντιδράσεις τους X και X_c αντίστοιχα, τότε η εν σειρά σύνθετη αντίσταση Z και η εγκάρσια αγωγιμότητα Y_c του Π ή Τ ισοδύναμου κυκλώματος δίδονται από τις σχέσεις:

$$Z = Z \angle \psi = R + jX$$

$$Y_c = \frac{j}{X_c}, \quad X_c = \frac{1}{\omega C}, \quad Z_c = \frac{1}{j\omega C} = jX_c$$



Σχήμα 2.1 Ισοδύναμο Π ή Τα για την παράσταση γραμμών μεταφοράς

Για ειδικές εφαρμογές όπου απαιτείται λεπτομερέστερη παράσταση των γραμμών μεταφοράς χρησιμοποιούνται περισσότερα Π ισοδύναμα συνδεδεμένα σε σειρά.

Οι σχετικές τιμές των R , X και X_c εξαρτώνται από τον τύπο της γραμμής. Στις μικρού μήκους χαμηλής τάσης γραμμές κυριαρχεί η ωμική αντίσταση R ενώ οι αντιδράσεις X και X_c μπορούν να αμεληθούν οι γραμμές μεσαίου μήκους (μέχρι 150 km) και μέσης τάσης (μέχρι 100 kV) έχουν πολύ μικρή ωμική αντίσταση και χωρητική αντίδραση και μπορούν να παρασταθούν μόνο με την επαγωγική αντίδραση X . Οι μεγάλοι μήκους και υψηλής τάσης γραμμές, τέλος, χαρακτηρίζονται από υψηλές τιμές των X και X_c ενώ η ωμική αντίσταση R είναι σχετικά μικρή και μπορεί να αμεληθεί.

2.2 Ροή ισχύος σε γραμμές μεταφοράς

Από το **Σχ. 2.1** και με χρησιμοποίηση του ανά μονάδα (pu) συστήματος τιμών (που χρησιμοποιείται σ' όλες τις εξισώσεις) έχουμε:

$$I_1 = V_1 Y_c + \frac{V_1 - V_2}{Z} = V_1 \angle \delta_1 * \frac{j}{X_c} + \frac{V_1 \angle \delta_1 - V_2 \angle \delta_2}{Z \angle \psi} = \frac{V_1}{X_c} \angle \frac{\pi}{2} + \delta_1 + \frac{V_1}{Z} \angle \delta_1 - \psi - \frac{V_2}{Z} \angle \delta_2 - \psi$$

$$S_1 = V_1 I_1^* = \frac{V_1^2}{X_c} \angle -\frac{\pi}{2} + \frac{V_1^2}{Z} \angle \psi - \frac{V_1 V_2}{Z} \angle \psi + (\delta_1 - \delta_2)$$

και με διαχωρισμό του πραγματικού και φανταστικού μέρους έχουμε:

$$P_1 = \frac{V_1^2}{Z} \cos \psi - \frac{V_1 V_2}{Z} \cos(\psi + \delta) \quad (2.1)$$

$$Q_1 = -\frac{V_1^2}{X_c} + \frac{V_1^2}{Z} \sin \psi - \frac{V_1 V_2}{Z} \sin(\psi + \delta)$$

$$\text{όπου: } \delta = \delta_1 - \delta_2$$

Με όμοιο τρόπο παίρνουμε:

$$P_2 = \frac{V_2^2}{Z} \cos \psi - \frac{V_1 V_2}{Z} \cos(\psi - \delta) \quad (2.2)$$

$$Q_2 = -\frac{V_2^2}{X_c} + \frac{V_2^2}{Z} \sin \psi - \frac{V_1 V_2}{Z} \sin(\psi - \delta)$$

Γενικά οι τάσεις των ζυγών V_i , $i=1, 2, 3 \dots$, η υπολογίζονται με την μελέτη ροής φορτίου του ηλεκτρικού συστήματος. Στην ειδική περίπτωση που στο τέλος της γραμμής συνδέεται φορτίο $Z_L = Z_L \angle \varphi$, η τερματική τάση της γραμμής γράφεται:

$$V_2 = Z_L (-I_2) = \frac{V_1 X_c Z_L \angle (\delta_1 + \varphi - \frac{\pi}{2})}{X_c Z \angle (\psi - \frac{\pi}{2}) + Z_L Z \angle (\varphi + \psi) + X_c Z_L \angle (\varphi - \frac{\pi}{2})} \quad (2.3)$$

Γενικά για τις γραμμές μεταφοράς έχουμε $X \gg R$ οπότε:

$$Z \cong jX = X \angle \frac{\pi}{2} \quad (\text{γραμμές χωρίς απώλειες})$$

και από τις εξισώσεις (2.1), (2.2) και (2.3) παίρνουμε:

$$P_1 = -P_2 = \frac{V_1 V_2}{X} \sin \delta \quad (2.4)$$

$$Q_1 = -\frac{V_1^2}{X_c} + \frac{V_1^2}{X} - \frac{V_1 V_2}{X} \cos \delta \quad (2.5)$$

$$Q_2 = -\frac{V_2^2}{X_c} + \frac{V_2^2}{X} - \frac{V_1 V_2}{X} \cos \delta \quad (2.6)$$

$$V_2 = \frac{V_1 X_c Z_L \angle (\delta_1 + \varphi - \frac{\pi}{2})}{X_c X + Z_L X \angle (\varphi + \frac{\pi}{2}) + X_c Z_L \angle (\varphi - \frac{\pi}{2})} \quad (2.7)$$

Για τις γραμμές μικρού μήκους, όπου είναι δυνατόν να αμελήσουμε την εγκάρσια αγωγιμότητα των γραμμών, δηλ. $Y_c = 0$ ή $X_c = \infty$, οι εξισώσεις (2.4), (2.5), (2.6) και (2.7) γράφονται:

$$P_1 = -P_2 = \frac{V_1 V_2}{X} \sin \delta \quad (2.8)$$

$$Q_1 = \frac{V_1^2}{X} - \frac{V_1 V_2}{X} \cos \delta \quad (2.9)$$

$$Q_2 = \frac{V_2^2}{X} - \frac{V_1 V_2}{X} \cos \delta \quad (2.10)$$

$$V_2 = \frac{V_1 Z_L \angle (\delta_1 + \varphi)}{X \angle \frac{\pi}{2} + Z_L \angle \varphi} \quad (2.11)$$

Τα ηλεκτρικά συστήματα επιδιώκουμε να εργάζονται με τάσεις ζυγών περίπου 1 pu και μια απόκλιση από την τιμή αυτή ανάλογα με την τάση μεταφοράς $\pm 5\%$ (για τάσεις 400 kV και πάνω) και $\pm 10\%$ (για τάσεις 150-250 kV) είναι αποδεκτή.

Σε κανονικές λοιπόν συνθήκες λειτουργίας $V_1 \cong V_2 \cong 1 pu$ και από την εξίσωση (2.8) προκύπτει ότι η μεταφερόμενη πραγματική ισχύς είναι συνάρτηση:

- α) της επαγωγικής αντίδρασης της γραμμής
- β) της “γωνία ισχύος” δ της γραμμής, που είναι η φασική γωνία μεταξύ των τάσεων V_1 και V_2 .

Για μια συγκεκριμένη γραμμή μεταφοράς η επαγωγική αντίδραση είναι σταθερή και η μέγιστη ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί από τη γραμμή είναι:

$$P_{max} = \frac{V_1 V_2}{X} \quad (2.12)$$

Η μέγιστη αυτή ισχύς διπλασιάζεται αν συνδέσουμε παράλληλα δύο ίδιες γραμμές, επειδή η επαγωγική αντίδραση γίνεται $X/2$. Η μέγιστη ισχύς υποδιπλασιάζεται αν συνδέσουμε σε σειρά δύο ίδιες γραμμές, επειδή η επαγωγική αντίδραση γίνεται $2X$. Σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας η “γωνία ισχύος” δ των γραμμών μεταφοράς δεν

πρέπει να ξεπερνά τις 40° ($\sin 40^\circ = 0.643$), δηλαδή η μεταφερόμενη ισχύς δεν πρέπει να ξεπερνά το 65% της μέγιστης ισχύος που μπορεί να μεταφέρει η γραμμή. Αυτό γίνεται για να είναι δυνατή η αύξηση της μεταφερόμενης ισχύος σε μεταβατικές συνθήκες ταλάντωσης του ηλεκτρικού συστήματος, ώστε να είναι δυνατή η διατήρηση της ευσταθούς λειτουργίας του και η αποφυγή αποσυγχρονισμού των σύγχρονων ηλεκτρικών μηχανών (παραγωγής ή φορτίου).

2.3 Ρύθμιση τάσης γραμμών μεταφοράς

Τα προηγούμενα συμπεράσματα ισχύουν για κανονική λειτουργία των ηλεκτρικών συστημάτων σε τάσεις ζυγών $\cong 1$ pu. Σε περίπτωση απευθείας σύνδεσης φορτίων στο τέρμα μιας γραμμής (όπως στις εργαστηριακές ασκήσεις που θα διεξαχθούν) έχουμε μεγάλες διακυμάνσεις της τάσης φορτίου. Ορίζουμε “ρύθμιση” (regulation) της τάσης στη γραμμή μεταφοράς την ποσότητα:

$$\text{regulation \%} = \frac{V_1 - V_2}{V_1} 100 \quad (2.13)$$

Αν θεωρήσουμε ότι η τάση τροφοδοσίας V_1 είναι σταθερή (σ’ αυτή την περίπτωση λέμε ότι ο ζυγός 1 είναι “ισχυρός” ή “άπειρος”) και στη γραμμή μεταφοράς έχουμε μικρές τιμές για τη “ρύθμιση” τότε και ο ζυγός 2 είναι “ισχυρός”, ενώ για μεγάλες τιμές της “ρύθμισης” ο ζυγός 2 είναι “ασθενής”. Ο ζυγός 2 συμπεριφέρεται σαν “ισχυρός” ή “ασθενής” ανάλογα με το μέγεθος και το είδος του φορτίου που συνδέουμε.

Ένα ωμικό ή επαγωγικό φορτίο στο τέλος της γραμμής μεταφοράς προκαλεί σημαντική πτώση στην τάση άφιξης της γραμμής. Ένας τρόπος για να κρατηθεί η τάση άφιξης κατά το δυνατόν σταθερή είναι να συνδεθούν πυκνωτές στο τέλος της γραμμής, οι οποίοι προκαλούν σημαντική ύψωση τάσης.

Για φορτία επαγωγικά, οι πυκνωτές θα πρέπει να παρέχουν άεργο ισχύ ίση μ’ αυτήν που καταναλώνεται από το επαγωγικό φορτίο.

Στην ειδική περίπτωση μιας γραμμής μικρού μήκους που το φορτίο είναι καθαρά ωμικό, R_L , αποδεικνύεται ότι ισχύει η σχέση:

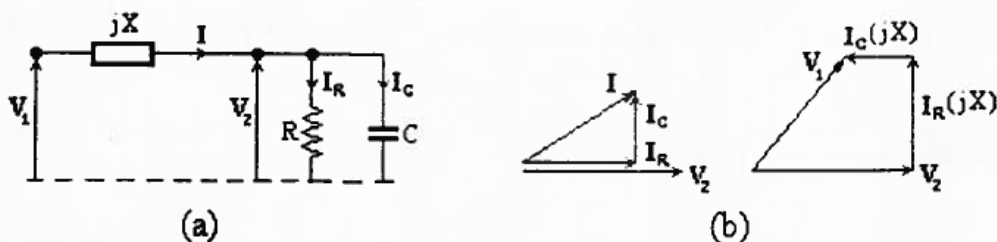
$$X < R_L \quad (\text{όπου } X \text{ η επαγωγική αντίδραση της γραμμής}) \quad (2.14)$$

Μια ελάττωση του R_L οδηγεί σε μια αύξηση της απορροφούμενης ισχύος, όπως συμβαίνει με ισχυρούς ζυγούς (σταθερής τάσης), ενώ όταν δεν ισχύει η σχέση (2.14) μια ελάττωση του R_L ελαττώνει την ισχύ που απορροφά το στοιχείο. Σε κάθε

περίπτωση πάντως, η τάση άφιξης V_2 ελαττώνεται όταν μικραίνει το φορτίο R_L , όπως εύκολα προκύπτει από τη σχέση (2.11) αν θέσουμε $Z_L = R_L$ και $\phi=0$. Για ωμικό φορτίο, η γωνία ισχύος δίνεται από τη εξίσωση:

$$\delta = \delta_1 - \delta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{X}{R} \right) \quad (2.15)$$

και όταν ισχύει η σχέση (2.14) είναι μικρότερη των 45° .



Σχήμα 2.2 Τροφοδοσία φορτίου (R//C) από γραμμή μικρού μήκους

Στο **Σχ. 2.2(α)** φαίνεται μια γραμμή μικρού μήκους που τροφοδοτεί ένα ωμικό φορτίο R. Αν θεωρήσουμε τη τάση εισόδου V_1 σταθερή, τότε από το διανυσματικό διάγραμμα του **Σχ. 2.2(β)** προκύπτει ότι για οποιαδήποτε τιμή του φορτίου R μπορούμε να βρούμε την τιμή του πυκνωτή C που θα παράσχει την άεργο ισχύ που απαιτείται για να κρατηθεί σταθερή η τάση άφιξης V_2 .

Στην περίπτωση καθαρά χωρητικού φορτίου $-jX_c$ το ρεύμα θα είναι επαγωγικό για $X > X_c$ με $V_1 > V_2$ και $\delta_1 = \delta_2$ και χωρητικό για $X < X_c$ με $V_1 < V_2$ και $\delta_1 = \delta_2$. Σε κάθε περίπτωση, επειδή $\delta = \delta_1 - \delta_2$, από την εξίσωση (2.8) προκύπτει ότι η μεταφερόμενη πραγματική ηλεκτρική ισχύς είναι μηδέν, ενώ για επαγωγική συμπεριφορά $Q_1 > 0$, (εξίσωση (2.9)) (δηλ. η πηγή τροφοδοτεί άεργο ισχύ) και για χωρητική συμπεριφορά $Q_1 < 0$, (εξίσωση (2.9)) (δηλ. η πηγή απορροφά άεργο ισχύ).

3. Χρησιμοποιούμενα όργανα

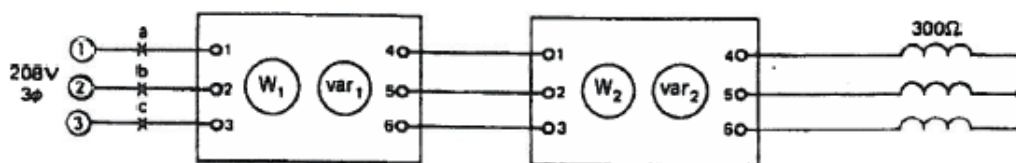
1. Τροφοδοτικό ισχύος (120/208 V 3Φ, 0-120/208 V 3Φ)
2. Στοιχεία ωμικών, επαγωγικών και χωρητικών αντιστάσεων
3. Όργανα μέτρησης τριφασικής πραγματικής και αέργου ισχύος (300 W/300 Var
4. Όργανο μέτρησης διαφοράς φάσης
5. Τριφασική γραμμή μεταφοράς
6. Όργανα μέτρησης εναλλασσομένων τάσεων
7. Επαγωγικός τριφασικός κινητήρας με βραχυκυκλωμένο κλωβό.

4. Πειραματικό μέρος

4.1 Ροή ισχύος σε τριφασική γραμμή μεταφοράς με διάφορα σταθερά φορτία

Π 2.1 Να κατασκευάσετε τη συνδεσμολογία του **Σχ. 2.3**. Η τροφοδότηση να γίνει με πολική τάση 208 V. Αν οι ενδείξεις των μετρητικών οργάνων είναι αρνητικές, η διαδοχή των φάσεων είναι λανθασμένη και πρέπει να γίνει εναλλαγή στην σύνδεση σε δύο από τους ακροδέκτες. Να μετρήσετε τις ισχείς:

W_1, W_2, Var_1, Var_2 .



Σχήμα 2.3

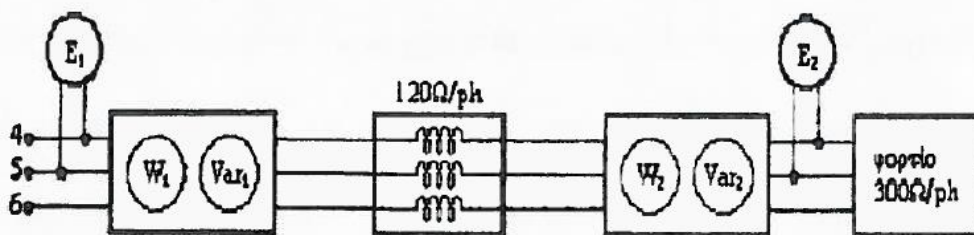
Π 2.2 Να κατασκευάσετε τη συνδεσμολογία του **Σχ. 2.4**. Ρυθμίστε την πολική τάση εισόδου χωρίς φορτίο αρχικά στα 150 V και κρατείστε την σταθερή στο υπόλοιπο πείραμα.

α) Να μετρήσετε τις τάσεις E_1, E_2 και τις ισχείς W_1, W_2, Var_1, Var_2 για τις εξής περιπτώσεις φόρτισης:

1. Ανοικτό κύκλωμα
2. Επαγωγικό τριφασικό φορτίο 300 Ω/φάση
3. Ωμικό τριφασικό φορτίο 300 Ω/φάση
4. Χωρητικό τριφασικό φορτίο 300 Ω/φάση
5. Επαγωγικός τριφασικός κινητήρας
6. Τριφασικό βραχυκύκλωμα

β) Να υπολογίσετε τις απώλειες πραγματικής και αέργου ισχύος στη γραμμή για κάθε μια από τις προηγούμενες περιπτώσεις.

γ) Να υπολογίσετε τη "ρύθμιση" (regulation) της τάσης στη γραμμή μεταφοράς για κάθε περίπτωση φόρτισης.



Σχήμα 2.4

4.2 Ροή ισχύος σε τριφασική γραμμή με μεταβαλλόμενο ωμικό φορτίο

Π 2.3 Να κατασκευάσετε τη συνδεσμολογία του **Σχ. 2.5**. ρυθμίστε την τάση εισόδου στα 200 V χωρίς φορτίο και κρατείστε την σταθερή σε όλο το υπόλοιπο πείραμα.

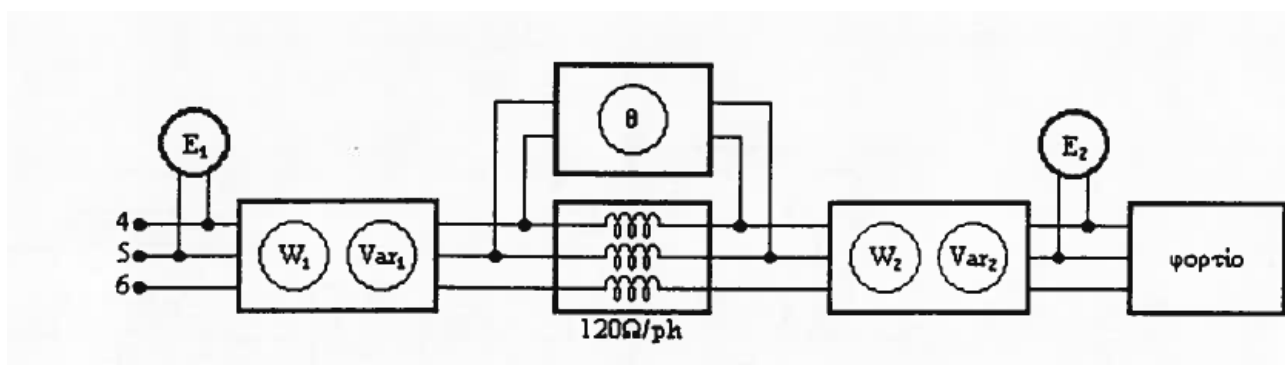
α) Μεταβάλλετε το φορτίο κατά βήματα με ισορροπημένες και τις τρεις φάσεις στις εξής τιμές:

$R = \infty, 1200\Omega, 600\Omega, 400\Omega, 300\Omega, 240\Omega, 200\Omega, 171.4\Omega.$

Να μετρήσετε τις τάσεις E_1, E_2 , τη γωνία μεταξύ E_1-E_2 και τις ισχείς W_1, W_2, Var_1, Var_2 .

β) Να κατασκευάσετε την καμπύλη $E_2 = f(W_2)$ και στα αντίστοιχα σημεία να σημειώσετε τις τιμές των φασικών γωνιών που μετρήσατε για τα διάφορα φορτία.

Π 2.4 Να επαναλάβετε τα βήματα α) και β) του προηγούμενου πειράματος αλλά αυτή τη φορά να συνδέσετε σε σειρά δύο γραμμές μεταφοράς.



Σχήμα 2.5

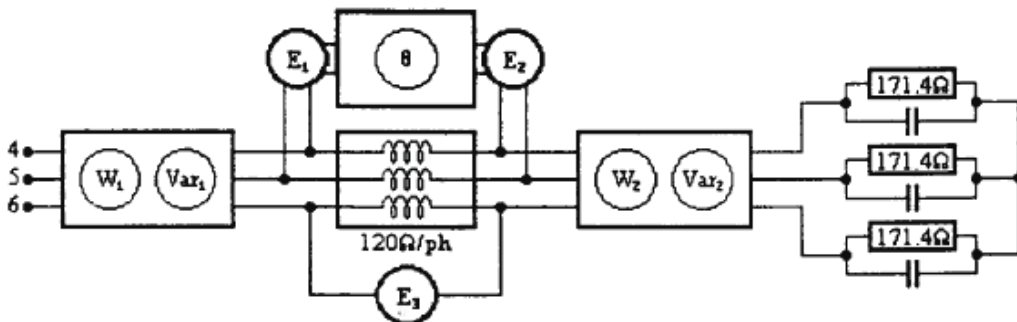
4.3 Ρύθμιση της τάσης εξόδου γραμμής μεταφοράς με μεταβαλλόμενο ωμικό-χωρητικό φορτίο

Π 2.5 Στη συνδεσμολογία του προηγούμενου πειράματος, **Π 2.3**, να χρησιμοποιήσετε τριφασικό σύνθετο φορτίο με παράλληλη σύνδεση πυκνωτή και ωμικής αντίστασης σε κάθε φάση. Κρατήστε σταθερή την τάση εισόδου στα 200 V και μεταβάλλετε το ωμικό φορτίο κατά τα βήματα του πειράματος **Π 2.3** με σύγχρονη μεταβολή, σε κάθε βήμα, του χωρητικού φορτίου έτσι ώστε η τάση E να πλησιάζει κατά το δυνατόν τα 200 V.

- α) Για κάθε βήμα μετρήστε τις τάσεις E_1, E_2 , τη χωρητική αντίδραση X_c , τη διαφορά φάσης μεταξύ E_1 και E_2 και τις ισχύεις W_1, W_2, Var_1, Var_2 .
- β) Να κατασκευάσετε την καμπύλη $E_2 = f(W_2)$ στο ίδιο διάγραμμα με την αντίστοιχη του πειράματος Π 2.3 και να σημειώσετε στα αντίστοιχα σημεία τις τιμές της φασικής διαφοράς και της αέργου ισχύος Var_2 .

Π 2.6 Να κατασκευάσετε τη συνδεσμολογία του Σχ. 2.6. Ρυθμίστε την τάση εισόδου ώστε $E_1 = 200\text{ V}$ και ρυθμίστε την X_c ώστε η E_2 να πλησιάζει κατά το δυνατόν τα 200 V .

- α) Μετρήστε τις τάσεις E_1, E_2, E_3 , τη φασική διαφορά των $E_1 - E_2$ και τις ισχύεις W_1, W_2, Var_1, Var_2 .
- β) Να υπολογίσετε την τάση, το ρεύμα, την πραγματική και την άεργο ισχύ σε κάθε φάση της γραμμής.
- γ) Να κατασκευάσετε το φασικό διάγραμμα των τάσεων εισόδου και εξόδου.
- δ) Να συγκρίνετε την πτώση τάσης στη γραμμή που μετρήσατε μ' αυτή που προκύπτει από το φασικό διάγραμμα.



Σχήμα 2.6

5. Ερωτήσεις – Προβλήματα

1. Αν μια γραμμή ήταν καθαρά ωμική θα μπορούσαμε να υψώσουμε την τάση εξόδου με στατικό πυκνωτή; Εξηγήστε.
2. Μια υψηλή τάση μεταφοράς μειώνει τις απώλειες χαλκού; Γιατί;
3. Μια υψηλή τάση μεταφοράς επιτρέπει την μεταφορά περισσότερης ισχύος; Γιατί;

4. Τριφασική γραμμή μεταφοράς επαγωγικής αντίδρασης 100Ω /φάση τροφοδοτεί ωμικό φορτίο 50 MW. Η πολική τάση στην αρχή της γραμμής είναι 100 kV, ενώ η τάση άφιξης ρυθμίζεται με πυκνωτές συνδεδεμένους παράλληλα προς το φορτίο ώστε να έχει τιμή επίσης 100 kV. Να υπολογιστούν:
- α) Η άεργος ισχύς που παρέχει η συστοιχία των πυκνωτών.
 - β) Η άεργος ισχύς που παρέχεται από το δίκτυο στην αρχή της γραμμής.
 - γ) Η ανά φάση πτώση τάσης στη γραμμή.
 - δ) Η φασική γωνία μεταξύ των τερματικών τάσεων.
 - ε) Η τάση στο τέλος της γραμμής αν υιοθετηθεί ωμικό φορτίο αποσυνδεθεί και παραμείνουν μόνο οι πυκνωτές.

6. Σημειώματα

6.1 Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων/Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση X.YZ.

6.2 Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιον Πατρών, Νικόλαος Βοβός, Γαβριήλ Γιαννακόπουλος «Εργαστήριο Ανάλυσης Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας. Άσκηση 2». Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: σύνδεσμο μαθήματος.

6.3 Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο

- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

6.4 Διατήρηση Σημειωμάτων

- Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

7. Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

