

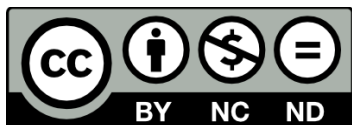


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II

Μάθημα ασκήσεων 5: Μακριά γραμμή μεταφοράς

Λαμπρίδης Δημήτρης
Ανδρέου Γεώργιος
Δούκας Δημήτριος

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



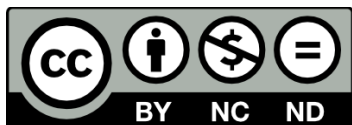
Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» 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.





Μακριά γραμμή μεταφοράς



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άσκηση 1^η

Εκφώνηση

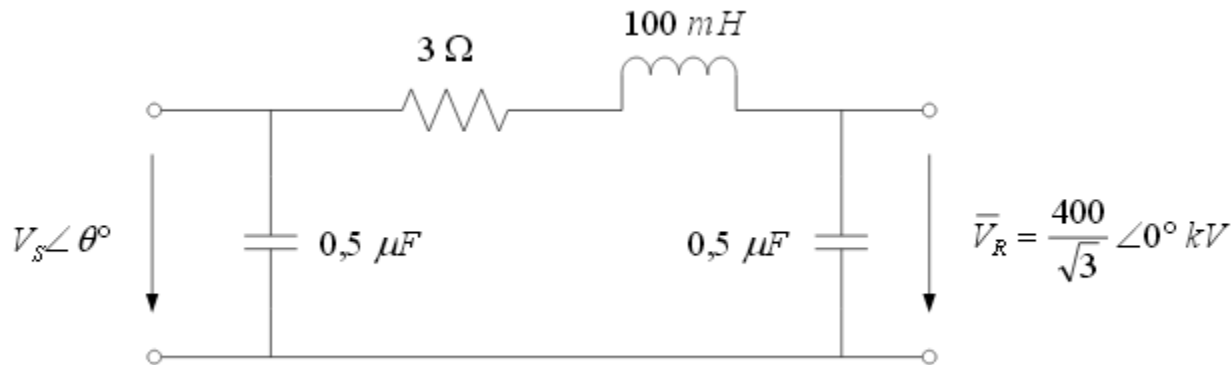
- Δίνεται γραμμή μεταφοράς με ηλεκτρικά χαρακτηριστικά $R = 3\Omega$, $L = 100\text{mH}$, $C = 1\mu\text{F}$ που τροφοδοτεί στο άκρο R δύο φορτία $P_1 = 50\text{ MW}$, $\cos\phi = 0,85$ επαγωγικό, $P_2 = 100\text{ MW}$, $\cos\phi = 0,8$ επαγωγικό. Να υπολογιστούν:
 - α. Το ολικό ρεύμα του φορτίου.
 - β. Η απαιτούμενη αντιστάθμιση για ελάχιστες απώλειες.
 - γ. Μετά την προσθήκη της αντιστάθμισης να υπολογιστούν οι απώλειες στη γραμμή, η τάση του άκρου S, το ρεύμα του άκρου S και ο συντελεστής ισχύος στην είσοδο της γραμμής. Η τάση του άκρου R θεωρείται 400 kV.



Άσκηση 1^η

Επίλυση (1/9)

- Το ισοδύναμο κύκλωμα της γραμμής μας είναι αυτό του σχ. 4.1.



Σχ. 4.1

- Η σύνθετη αντίσταση της γραμμής μας θα είναι:

$$\bar{Z} = 3 + j31,41 = 31,558 \angle 84,54^\circ \Omega \quad (4.1)$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (2/9)

- α) Το συνολικό ρεύμα του φορτίου θα είναι προφανώς το διανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων των δυο επιμέρους φορτίων.
- Είναι όμως:

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}V_R \cos \phi_1} = 84,9 \text{ A} \Rightarrow \bar{I}_1 = 84,9 \angle -31,788^\circ \text{ A} \quad (4.2)$$

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3}V_R \cos \phi_2} = 180,42 \text{ A} \Rightarrow \bar{I}_2 = 180,42 \angle -36,87^\circ \text{ A} \quad (4.3)$$

- Θα είναι λοιπόν:

$$\bar{I}_{\alpha\beta} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 = 265,1 \angle -35,24^\circ \text{ A} \quad (4.4)$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (3/9)

- β) Κατά τα γνωστά θα υπολογίσουμε, βάσει της συνθήκης της εκφώνησης, τον ισολογισμό άεργης ισχύος στο άκρο R . Η συνολική άεργη ισχύς του φορτίου θα είναι προφανώς το άθροισμα των άεργων ισχύων των δύο επιμέρους φορτίων:

$$Q_1 = P_1 \tan \phi_1 = 30,98 \text{ MVA}r \quad (4.5)$$

$$Q_2 = P_2 \tan \phi_2 = 75 \text{ MVA}r \quad (4.6)$$

- Και

$$Q_{\alpha} = Q_1 + Q_2 = 105,98 \text{ MVA}r \quad (4.7)$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (4/9)

- Για την άεργη ισχύ που παραδίνει η γραμμή στο άκρο R θα ισχύει , λόγω της συνθήκης μας για ελάχιστες απώλειες πάνω στη γραμμή:

$$Q_R = 0 \text{ MVar} \quad (4.8)$$

- Επίσης, η άεργη ισχύς που θα προσφέρει στο άκρο R η αντίστοιχη ισοδύναμη εγκάρσια αγωγιμότητα της γραμμής θα είναι:

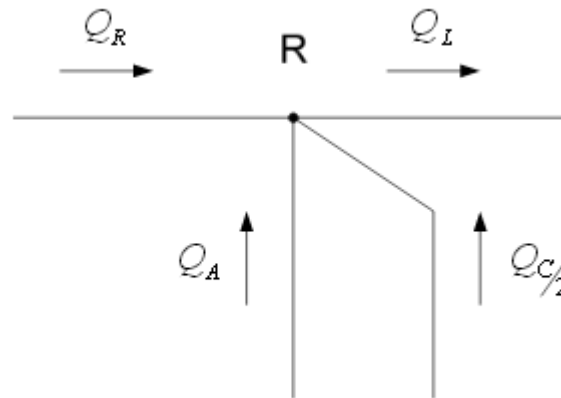
$$Q_{C/2} = V_R^2 \frac{C\omega}{2} = 25,133 \text{ MVar} \quad (4.9)$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (5/9)

- Για τον ισολογισμό της αέργης ισχύος στο άκρο R μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το (σχ. 4.2):



Σχ. 4.2

σχ. 4.2



Άσκηση 1^η

Επίλυση (6/9)

$$Q_A = Q_L - Q_{C\%} = 80,847 \text{ MVAr} \quad (4.10)$$

- Οπότε απαιτούνται πυκνωτές χωρητικότητας:

$$C_Y = \frac{Q_A}{V_R^2 \cdot \omega} = 1,61 \mu\text{F} / \text{ph} \quad \text{σε αστέρα, ή}$$

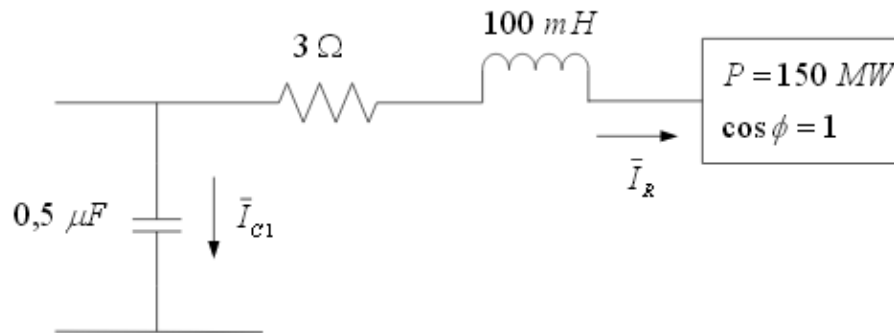
$$C_{\Delta} = \frac{C_Y}{3} = 0,536 \mu\text{F} \quad \text{σε τρίγωνο}$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (7/9)

- γ) Μετά την προσθήκη της αντιστάθμισης το νέο μας ισοδύναμο κύκλωμα θα είναι το:



Σχ. 4.3

- όπου λόγω της αντιστάθμισης μπορούμε να θεωρήσουμε πλέον στο άκρο R ένα ισοδύναμο φορτίο $P = 150 \text{ MW}$ με συντελεστή ισχύος $\cos \phi = 1$. Για το ρεύμα I_R θα ισχύει:

$$I_R = \frac{P}{\sqrt{3}V_R \cos \phi} = 0,2165 \text{ kA} \Rightarrow \bar{I}_R = 0,2165 \angle 0^\circ \text{ kA} \quad (4.13)$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (8/9)

- Οι απώλειες στη γραμμή θα είναι:

$$P_{\text{ΑΠ}} = 3 \cdot R \cdot I_R^2 = 421,8 \text{ kW} \quad (4.14)$$

- Η τάση στο άκρο S θα είναι:

$$\begin{aligned} \bar{V}_S &= \bar{V}_R + \bar{I}_R \cdot \bar{Z} = \dots = 231,69 \angle 1,68^\circ \text{ kV / ph} \\ \text{ή } V_S &= 401,298 \text{ kV} \end{aligned} \quad (4.15)$$

- ενώ για το ρεύμα στο άκρο S θα ισχύει:

$$\bar{I}_S = \bar{I}_R + \bar{I}_{C1} \quad (4.16)$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (9/9)

- Το ρεύμα της ισοδύναμης εγκάρσιας χωρητικότητας στο άκρο S θα είναι όμως:

$$\bar{I}_{C1} = \bar{V}_s \cdot \frac{C\omega}{2} = 36,39 \angle 91,68^\circ A \quad (4.17)$$

- Οπότε τελικά θα είναι:

$$\bar{I}_s = 218,48 \angle 9,58^\circ A \quad (4.18)$$

- Τέλος, ο συντελεστής ισχύος στην αρχή της γραμμής θα είναι:

$$\cos \phi_s = \cos(9,58^\circ - 1,68^\circ) = 0,99 \text{ επαγωγικός (σύμβαση γεννήτριας)} \quad (4.19)$$



Άσκηση 2^η

Εκφώνηση

- Σε ένα τριφασικό καλώδιο 20 kV στο άκρο της κατανάλωσης δεν υπάρχει φορτίο.
- α . Να υπολογιστούν τα μέσα αντιστάθμισης που απαιτούνται στο τέλος του καλωδίου, ώστε το ρεύμα στην αναχώρηση να μειωθεί σε 5 A όταν η τροφοδότηση του καλωδίου γίνεται υπό τάση 20 kV, 50 Hz.
- β . Το καλώδιο τροφοδοτεί τρεις καταναλωτές όπως παρακάτω:

$$P1 = 2\text{MW} \quad \cos\phi = 0,95 \quad \text{επαγωγικό}$$

$$P2 = 4 \text{ MW} \quad \cos\phi = 0,95 \quad \text{επαγωγικό}$$

$$P3 = 3\text{MW} \quad \cos\phi = 0,9 \quad \text{χωρητικό}$$

Η τάση στο σημείο άφιξης είναι 20 kV, 50 Hz. Να προσδιοριστεί η απαιτούμενη αντιστάθμιση ώστε ο συντελεστής ισχύος στην αναχώρηση να γίνει 0,95 χωρητικό (σύμβαση γεννήτριας). Στοιχεία του καλωδίου:
 $l=12 \text{ km}$, $R' =0,139 \ \Omega /\text{km}$, $X' = 0,101 \ \Omega /\text{km}$, $C' = 0,34 \ \mu \text{ F}/\text{km}$.



Άσκηση 2^η

Επίλυση (1/7)

- Από τα στοιχεία του καλωδίου θα προκύψουν:

$$\bar{Z} = R' \cdot l + jX' \cdot l = 1,668 + j1,212 = 2,062 \angle 36^\circ \Omega \quad (5.1)$$

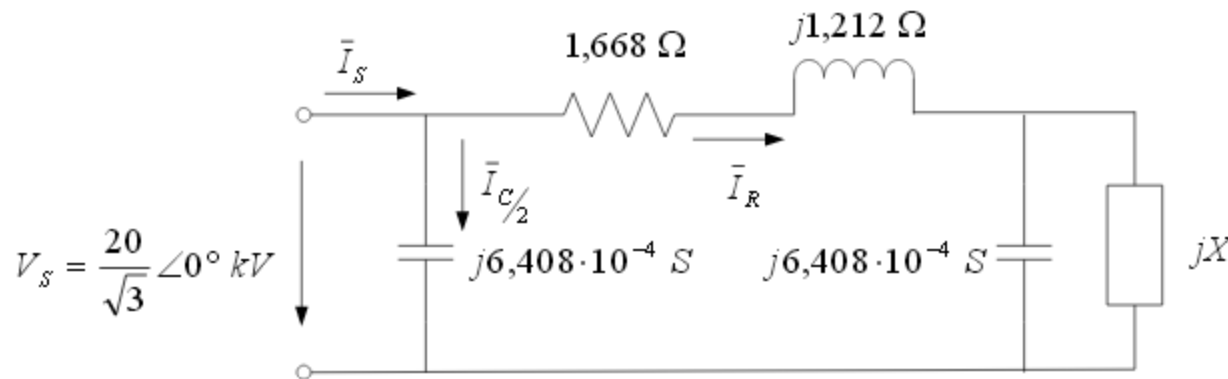
$$\frac{\bar{Y}_C}{2} = j \frac{C' \cdot l \omega}{2} = j6,408 \cdot 10^{-4} = 6,408 \angle 90^\circ S \quad (5.2)$$



Άσκηση 2^η

Επίλυση (2/7)

- α. Το ισοδύναμο κύκλωμα του συστήματός μας όταν δεν υπάρχει φορτίο είναι αυτό του σχ. 5.1:



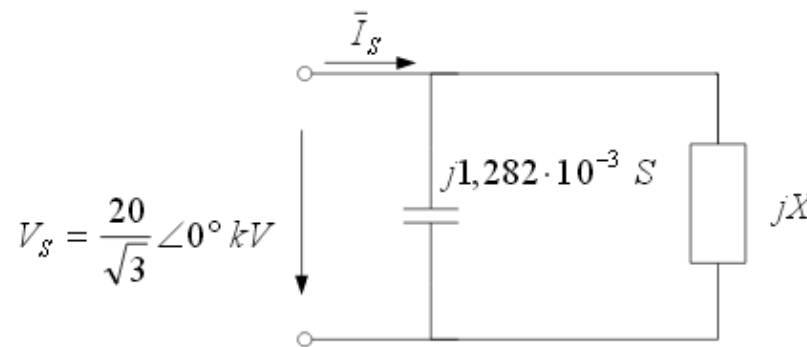
Σχ. 5.1



Άσκηση 2^η

Επίλυση (3/7)

- Το άγνωστο στοιχείο αντιστάθμισης θα θεωρήσουμε ότι εμφανίζει αγωγιμότητα jX . Αν τελικά προκύψει $X > 0$ τότε θα πρόκειται για πυκνωτή ($\bar{Y}_C = jC\omega$), ενώ αν $0 < X$ τότε θα πρόκειται για πηνίο ($\bar{Y}_L = -j\frac{1}{L\omega}$). Λόγω της μεγάλης χωρητικότητας του καλωδίου μπορούμε να θεωρήσουμε τη σύνθετη αντίσταση σειράς του αμελητέα, οπότε τελικά θα μας προκύψει το εξής ισοδύναμο:



Σχ. 5.2



Άσκηση 2^η

Επίλυση (4/7)

- Βάσει αυτού του ισοδύναμου κυκλώματος θα είναι:

$$\bar{Y}_{tot} = jC\omega + jX = \dots = j(1,282 \cdot 10^{-3} + X) \quad (5.3)$$

- και

$$\bar{I}_S = \bar{V}_S \bar{Y}_{tot} = jC\omega + jX = \dots = j(14,8 + 1,1547 \cdot 10^4 \cdot X) \quad (5.4)$$

- Από τα δεδομένα της εκφώνησης όμως θέλουμε να είναι $|\bar{I}_S| = 5 \text{ A}$, δηλαδή:

$$14,8 + 1,1547 \cdot 10^4 \cdot X = 5 \Rightarrow X = -8,487 \cdot 10^{-4} \Omega \quad (5.5)$$

- Άρα απαιτείται πηνίο . Θα είναι λοιπόν:

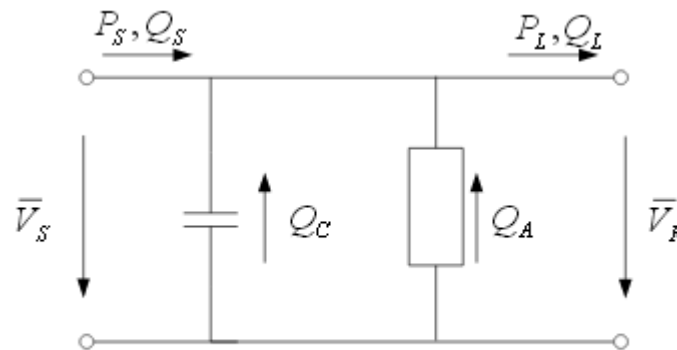
$$\frac{1}{L\omega} = 8,487 \cdot 10^{-4} \Rightarrow L = 3,75 \text{ H/ph σε αστέρα} \quad (5.6)$$



Άσκηση 2^η

Επίλυση (5/7)

- β) Για να υπολογίσουμε τη ζητούμενη αντιστάθμιση θα χρησιμοποιήσουμε το ισοδύναμο κύκλωμα του σχ . 5.3, θεωρώντας όπως και πριν αμελητέα τη σύνθετη αντίσταση σειράς του καλωδίου:



Σχ. 5.3



Άσκηση 2^η

Επίλυση (6/7)

- Θα πρέπει να υπολογίσουμε το συνολικό ισολογισμό άεργης ισχύος στο κύκλωμα. Για το φορτίο μας ισχύει:

$$Q_1 = P_1 \tan \phi_1 = 0,6574 \text{ MVAR} \quad (5.7)$$

$$Q_2 = P_2 \tan \phi_2 = 1,315 \text{ MVAR} \quad (5.8)$$

$$Q_3 = P_3 \tan \phi_3 = -1,453 \text{ MVAR} \quad (5.9)$$

- Άρα, θα είναι συνολικά:

$$Q_L = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0,5194 \text{ MVAR} \quad (5.10)$$



Άσκηση 2^η

Επίλυση (7/7)

- Εφόσον έχουμε θεωρήσει τις απώλειες σειράς στη γραμμή αμελητέες θα είναι $P_S = P_L = 9\text{MW}$, και για $\cos\phi_S = 0.95$ χωρητικό με τη σύμβαση γεννήτριας η άεργη ισχύς στην αναχώρηση (Q_S) θα είναι:

$$Q_S = P_S \tan \phi_S = 2,958 \text{ MVAR} \quad (5.11)$$

- Ενώ η άεργη ισχύς της εγκάρσιας χωρητικότητας της γραμμής θα είναι:

$$Q_C = V^2 C \omega = 0,5127 \text{ MVAR} \quad (5.12)$$

- Με τις φορές που έχουν δηλωθεί στο σχ . 5.3 θα ισχύει τελικά για την άεργη ισχύ αντιστάθμισης:

$$Q_A = Q_L - Q_S - Q_C = -2,9513 \text{ MVAR} \quad (5.13)$$

- Άρα για την αντιστάθμισή μας θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε πηνία αυτεπαγωγής:

$$L_Y = \frac{V^2}{Q_A \omega} = 0,4314 \text{ H / ph σε αστέρα} \quad (5.14)$$



Άσκηση 3^η

Εκφώνηση

- Δίνεται γραμμή μεταφοράς 400 kV, μήκους 200 km με τα παρακάτω ηλεκτρικά χαρακτηριστικά.
- $R' = 30,7 \text{ m}\Omega / \text{km}$, $X' = 0,795 \text{ m}\Omega / \text{km}$, $G' = 0,02 \mu\text{S} / \text{km}$, $C' = 15,5 \text{ nF} / \text{km}$, $f = 50 \text{ Hz}$.
- Η γραμμή τροφοδοτεί τα παρακάτω φορτία υπό τάση 400 kV:

$$P_1 = 50 \text{ MW} \quad \cos\phi = 0,8 \text{ επαγωγικό}$$

$$P_2 = 100 \text{ MW} \quad \cos\phi = 0,9 \text{ χωρητικό}$$

$$P_3 = 150 \text{ MW} \quad \cos\phi = 0,95 \text{ χωρητικό}$$

Να υπολογιστούν τα μέσα αντιστάθμισης που απαιτούνται στον καταναλωτή ώστε ο συνολικός συντελεστής ισχύος να γίνει $\cos\phi = 0,9$ επαγωγικό.



Άσκηση 3^η

Επίλυση (1/2)

- Καταρχήν θα υπολογίσουμε την άεργη ισχύ του συνολικού φορτίου μας. Είναι, όμως: $P_1 = 50 \text{ MW}$, $\cos\phi_1 = 0,8$ επαγωγικό, άρα $Q_1 = P_1 \tan\phi_1 = 37,5 \text{ MVAR}$. Με αντίστοιχο τρόπο θα προκύψει για τα υπόλοιπα φορτία $Q_2 = -48,43 \text{ MVAR}$ και $Q_3 = -49,3 \text{ MVAR}$.
- Συνεπώς, για το συνολικό φορτίο ισχύει:

$$P_L = P_1 + P_2 + P_3 = 300 \text{ MW} \quad (6.1)$$

$$Q_L = Q_1 + Q_2 + Q_3 = -60,23 \text{ MVAR} \quad (6.2)$$



Άσκηση 3^η

Επίλυση (2/2)

- Αυτό σημαίνει ότι το συνολικό φορτίο μας παράγει 60,23 MVA_r άεργη ισχύ. Αν ο συνολικός συντελεστής ισχύος στο φορτίο γίνει 0,9 επαγωγικός, τότε το φορτίο θα απορροφά:

$$Q'_L = P_L \tan \phi' = 145,29 \text{ MVA}_r \quad (6.3)$$

- Συνεπώς απαιτείται αντιστάθμιση που θα απορροφήσει τα 60,23 MVA_r του φορτίου μας και θα καταναλώσει επιπλέον 145,29 MVA_r, συνολικά δηλαδή τα στοιχεία της αντιστάθμισής μας θα πρέπει να καταναλώσουν:

$$Q_A = Q_L + Q'_L = 205,52 \text{ MVA}_r \quad (6.4)$$

- Επομένως χρειαζόμαστε πηνία με αυτεπαγωγή:

$$L_Y = \frac{V_R^2}{Q_A \omega} = 2,478 \text{ H / ph σε αστέρα} \quad (6.5)$$



Άσκηση 4^η

Εκφώνηση

- Έστω δύο σημεία S και R σε απόσταση $l = 200$ km το ένα από το άλλο. Σχεδιάζουμε να συνδέσουμε τα σημεία αυτά για μεταφορά ενέργειας από το S στο R με αναμενόμενο φορτίο $P_R = 0,6$ GW, $Q_R = 0$ MVar.
- α. Να εκλεγεί μία από τις τάσεις 150, 400, 750 kV έτσι ώστε η απαιτούμενη αντιστάθμιση να είναι ελάχιστη. Οι γραμμές να θεωρηθεί ότι έχουν $L' = 1$ H/km, $C' = 12$ nF/km, $Z_0 = 288$ Ω (R' αμελητέα). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά βούληση 1,2 ή και περισσότερα κυκλώματα.
- β. Να υπολογιστεί η απαιτούμενη αντιστάθμιση για την τάση λειτουργίας που επιλέξατε στο προηγούμενο ερώτημα, έτσι ώστε υπό φορτίο $P_R = 0,2$ GW, $Q_R = 0$ MVar να ισχύει $|V_S - V_R| \leq 3\%V_R$. Υποθέστε ότι τα μέσα αντιστάθμισης συνδέονται σε αστέρα στο τέλος της γραμμής.



Άσκηση 4^η

Επίλυση (1/6)

- α. Παρατήρηση: Στο βιβλίο του κ. Ντοκόπουλου «Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας», Τόμος 2, σελ. 268, εξηγείται η συμπεριφορά των γραμμών μεταφοράς, όταν αυτές φορτίζονται με ισχύ μικρότερη ή μεγαλύτερη της ονομαστικής τους. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις χρειαζόμαστε αντιστάθμιση. Το κριτήριο που θα χρησιμοποιήσουμε λοιπόν για να έχουμε την ελάχιστη απαιτούμενη αντιστάθμιση θα είναι να βρίσκεται η αναμενόμενη μεταφερόμενη ισχύς όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη φυσική ισχύ της γραμμής.

- Η φυσική ισχύς μιας γραμμής μεταφοράς δίνεται από τον τύπο:

$$P_N = \frac{V_N^2}{Z_0} \quad (7.1)$$

- όπου V_N η τάση μεταφοράς της γραμμής και Z_0 η κυματική της αντίσταση. Οι αντίστοιχες φυσικές ισχύεις για τις τάσεις μεταφοράς της άσκησης είναι οι:

$$P_{M150} = 78,125 \text{ MW} , P_{N400} = 555,55 \text{ MW} , P_{N750} = 1953,125 \text{ MW}$$



Άσκηση 4^η

Επίλυση (2/6)

- Για τη μεταφορά του αναμενόμενου φορτίου μας απαιτούνται λοιπόν:
 - i. Εφτά ή οχτώ κυκλώματα 150 kV
 - ii. Ένα κύκλωμα 400 kV
 - iii. Ένα κύκλωμα 750 kV
- Η πρώτη λύση απορρίπτεται προφανώς , καθώς είναι αντιοικονομική η κατασκευή τόσο πολλών κυκλωμάτων. Από τις υπόλοιπες λύσεις , η δεύτερη (ένα κύκλωμα 400 kV) είναι πιο κοντά στη μεταφερόμενη ισχύ, οπότε θα είναι και η λύση που θα απαιτεί την ελάχιστη αντιστάθμιση. Αυτή λοιπόν θα είναι και η επιλογή μας.



Άσκηση 4^η

Επίλυση (3/6)

- β. Τα ηλεκτρικά στοιχεία της γραμμής μας για μήκος $l = 200 \text{ km}$ θα είναι:

$$R = 0$$

$$X = L' \cdot l \cdot \omega = 62,83 \Omega$$

$$\frac{Y}{2} = \frac{C' \cdot l \cdot \omega}{2} = 3,7699 \cdot 10^{-4} \text{ S}$$

- Πρώτη περίπτωση: $V_S = 1,03 \cdot V_R$ (πτώση τάσης στο άκρο R)
- Ζητούμε αντιστάθμιση, οπότε θα υπολογίσουμε τον ισολογισμό άεργης ισχύος στο άκρο R. Για την άεργη ισχύ που παραδίδεται από τη γραμμή στο άκρο R θα έχουμε (γραμμή χωρίς απώλειες):

$$P_R = \frac{V_S \cdot V_R}{X} \sin \theta \Rightarrow \dots \Rightarrow \theta = 4,37^\circ \quad (7.2)$$

- Οπότε:

$$Q_R = \frac{V_S \cdot V_R}{X} \cos \theta - \frac{V_R^2}{X} = 68,77 \text{ MVar} \quad (7.3)$$



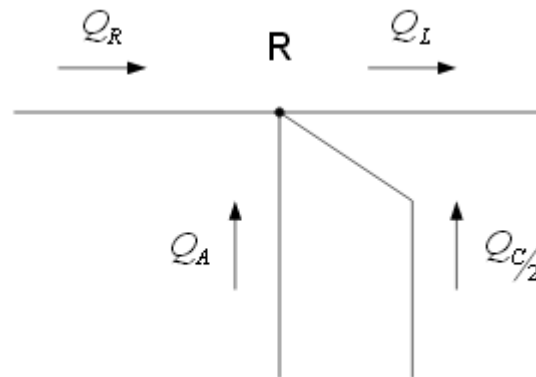
Άσκηση 4^η

Επίλυση (4/6)

- Επίσης, η ισοδύναμη εγκάρσια χωρητικότητα της γραμμής στο άκρο R θα προσφέρει άεργη ισχύ:

$$Q_{C/2} = V_R^2 \frac{C\omega}{2} = 60,32 \text{ MVAR} \quad (7.4)$$

- Από τον ισολογισμό άεργης ισχύος στο άκρο R (σχ . 7.1) θα προκύψει τελικά για τη ζητούμενη αντιστάθμιση:



Σχ7.1



Άσκηση 4^η

Επίλυση (5/6)

$$Q_A = -Q_{C/2} - Q_R = -129,088 \text{ MVar} \quad (7.5)$$

- Σύμφωνα με τις φορές του σχ. 7.1 απαιτούνται πηνία με αυτεπαγωγή:

$$L_Y = \frac{V_R^2}{Q_A \omega} = 3,945 \text{ H / ph σε αστέρα} \quad (7.6)$$

- **Παρατήρηση:** Το φορτίο μας είναι $P_L = 200 \text{ MW} < 555,55 \text{ MW} = P_N$ άρα η γραμμή μας χωρίς αντιστάθμιση θα συμπεριφέρεται χωρητικά, δηλαδή θα παρουσιάζει ανύψωση τάσης στο άκρο R ($V_S < V_R$). Αυτό σημαίνει ότι θα ισχύει έτσι και αλλιώς η σχέση $V_S < 1,03 \cdot V_R$. Η παραπάνω αντιστάθμιση ισχύει για την περίπτωση $V_S = 1,03 \cdot V_R$.



Άσκηση 4^η

Επίλυση (6/6)

- Δεύτερη περίπτωση: $V_S = 0,97 \cdot V_R$ (ανύψωση τάσης στο άκρο R).

- Σε αυτήν την περίπτωση είναι:

$$P_R = \frac{V_S \cdot V_R}{X} \sin \theta \Rightarrow \dots \Rightarrow \theta = 4,64^\circ \quad (7.7)$$

- Οπότε: $Q_R = \frac{V_S \cdot V_R}{X} \cos \theta - \frac{V_R^2}{X} = -84,49 \text{ MVAr} \quad (7.8)$

- και σύμφωνα με τις φορές του σχ. 7.1 (το οποίο συνεχίζει να ισχύει) θα είναι:

$$Q_A = Q_R - Q_{C/2} = 24,17 \text{ MVAr} \quad (7.9)$$

- άρα απαιτούνται πυκνωτές χωρητικότητας:

$$C_Y = \frac{Q_A}{V_R^2 \cdot \omega} = 0,48 \mu\text{F} / \text{ph} \text{ σε αστέρα} \quad (7.10)$$



Άσκηση 5^η

Εκφώνηση

- Δίνεται γραμμή μήκους 300 km αποτελούμενη από ένα κύκλωμα ονομαστικής τάσης $U_N = 400$ kV με τα παρακάτω χαρακτηριστικά: $R' = 0,032$ Ω /km, $L' = 1$ mH/km, $C' = 14,5$ nF/km. Η τάση στο άκρο R θεωρείται 400 kV και η παραδινόμενη ισχύς είναι $P_R = 600$ MW, $\cos\phi = 0,9$ επαγωγικό. Πριν από το σημείο R συνδέεται πυκνωτής C_R σε σειρά. Να υπολογιστεί η τιμή του πυκνωτή έτσι ώστε οι απώλειες στη γραμμή να ελαχιστοποιηθούν.



Άσκηση 5^η

Επίλυση (1/5)

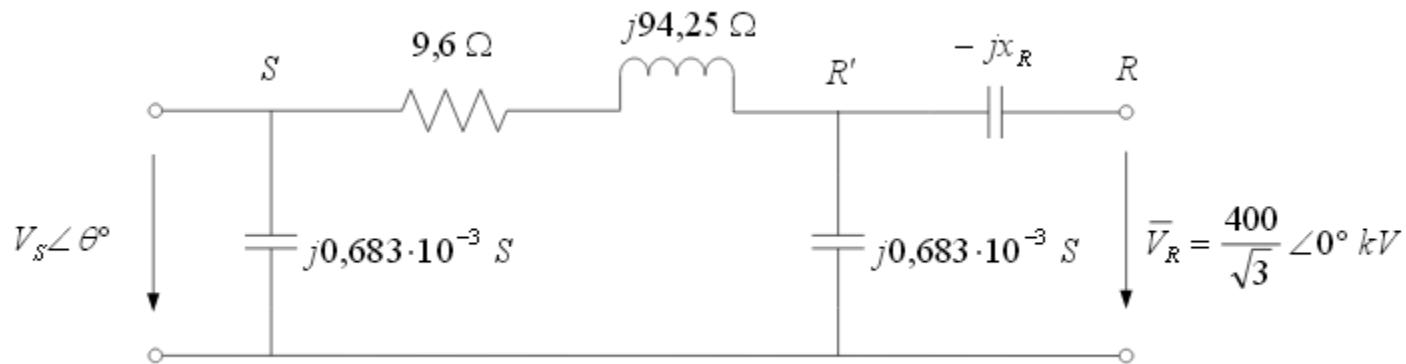
- Παρατήρηση: Οι πυκνωτές σειράς τοποθετούνται συνήθως σε γραμμές μεταφοράς πολύ μεγάλου μήκους (>500 km) με σκοπό την αύξηση της φυσικής τους ισχύος και του ορίου ευστάθειάς τους. Με την προσθήκη του πυκνωτή σειράς μειώνεται η διαμήκης αντίδραση της γραμμής (από $X = L' \cdot l \cdot \omega$ γίνεται $X' = L' \cdot l \cdot \omega - \frac{1}{C\omega}$) οπότε αυξάνεται η φυσική ισχύς της. Η ονομαστική τάση όμως στα άκρα ενός πυκνωτή σειράς είναι πολύ μικρή (π. χ. 10% – 20% της ονομαστικής τάσης μεταφοράς), με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος σε βραχυκύκλωμα να εφαρμοσθεί στα άκρα του η τάση του δικτύου και να καταστραφεί. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται σπινθηριστές ή διακόπτες στα άκρα των πυκνωτών σειράς, για να τους βραχυκυκλώσουν σε περίπτωση σφάλματος.



Άσκηση 5^η

Επίλυση (2/5)

- Το ισοδύναμο κύκλωμα του συστήματός μας φαίνεται στο σχ. 8.1.



Σχ. 8.1

- Τα στοιχεία της γραμμής μας είναι:

$$R = R' \cdot l = 9,6 \Omega$$

$$X = L' \cdot l \cdot \omega = 94,25 \Omega$$

$$\frac{Y}{2} = \frac{C' \cdot l \cdot \omega}{2} = 0,6833 \cdot 10^{-3} S$$



Άσκηση 5^η

Επίλυση (3/5)

- Για ελάχιστες απώλειες πρέπει η γραμμή να μη μεταφέρει άεργη ισχύ ($Q_R=0$). Οι απαιτήσεις άεργης ισχύος του φορτίου θα πρέπει λοιπόν να καλύπτονται από την άεργη ισχύ που προσφέρουν η ισοδύναμη εγκάρσια χωρητικότητα στο σημείο R ' και ο πυκνωτής σειράς C_R .
- Η άεργη ισχύς που απαιτεί το φορτίο είναι:

$$Q_L = P_L \cdot \tan \phi = 290,59 \text{ MVA}r \quad (8.1)$$

- Αν \bar{x}_R η επιδεκτικότητα του πυκνωτή ($\bar{x}_R = -j \frac{1}{C_R \omega} = -j \cdot x_R$) και I_L το ρεύμα του φορτίου τότε η άεργη ισχύς που θα προσφέρει ο πυκνωτής σειράς θα είναι:

$$Q_x = 3 \cdot I_L^2 \cdot x_R \quad (8.2)$$



Άσκηση 5^η

Επίλυση (4/5)

- Είναι όμως: $I_L = \frac{P_L}{\sqrt{3} \cdot V_R \cdot \cos \phi} = 0,9622 \text{ kA} \Rightarrow \bar{I}_L = 0,9622 \angle -25,84^\circ \text{ kA}$ (8.3)
- οπότε από τη σχέση (8.2) θα προκύψει:

$$Q_x = 2,77 \cdot x_R \text{ MVar} \quad (8.4)$$

- Επίσης, η άεργη ισχύς που προσφέρει η ισοδύναμη εγκάρσια χωρητικότητα στο άκρο R' θα είναι:

$$Q_{C/2} = 3 \cdot V_{R'}^2 \frac{C\omega}{2} \quad (8.5)$$

- όπου $V_{R'}$ η φασική τάση στο άκρο R':

$$\bar{V}_{R'} = \bar{V}_R - j\bar{I}x_R = \dots = \left(\frac{400}{\sqrt{3}} - 0,4194 \cdot x_R \right) - j0,866 \cdot x_R \text{ kV/ph} \quad (8.6)$$

- οπότε τελικά θα είναι:

$$Q_{C/2} = 1,898 \cdot 10^{-3} x_R^2 - 0,397 x_R + 109,328 \quad (8.7)$$



Άσκηση 5^η

Επίλυση (5/5)

- Σύμφωνα με τα παραπάνω θα ισχύει:

$$Q_L = Q_x + Q_{C/2} \Rightarrow \dots \Rightarrow 1,898 \cdot 10^{-3} x_R^2 + 2,3729 x_R - 181,262 = 0 \quad (8.8)$$

- Από τη σχέση (8.8) θα προκύψει:

$$x_R = \begin{cases} 72,21 \\ -1322,429 \end{cases} \quad (8.9)$$

- Προφανώς θα επιλέξουμε τη θετική τιμή, οπότε η χωρητικότητα του πυκνωτή σειράς θα είναι:

$$x_R = \frac{1}{C_R \omega} = 72,21 \Rightarrow C_R = 44,08 \mu F / ph \quad (8.10)$$



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λαμπρίδης Δημήτρης, Ανδρέου Γεώργιος, Δούκας Δημήτριος. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II, Μακριά γραμμή μεταφοράς». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015 Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: http://opencourses.auth.gr/eclass_courses.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 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».



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

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

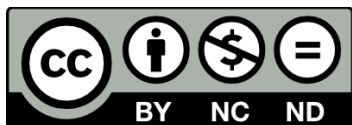
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

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.

