

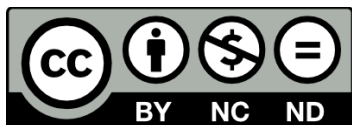


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II

Μάθημα ασκήσεων 3: Κοντή 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.



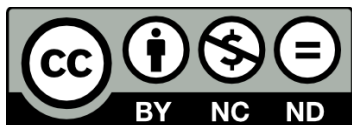
Χρηματοδότηση

- 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.





Κοντή 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

- Μία κοντή γραμμή μεταφοράς 33kV τροφοδοτεί ένα φορτίο 7MW, $\cos\phi=0,85$ επαγωγικό στα 33kV. Η σε σειρά σύνθετη αντίσταση της γραμμής είναι $20+j30\Omega$. Να υπολογιστούν:
- α) Η τάση στην αρχή της γραμμής.
- β) Ο συντελεστής ισχύος του ολικού φορτίου για τον οποίο η τάση στην αρχή της γραμμής θα είναι 36kV, αν οι συσκευές που προστίθενται για να πάρουμε αυτόν τον συντελεστή απορροφούν 500kW ενεργού ισχύος.
- γ) Η μέγιστη ενεργή ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί για πτώση τάσης 10% πάνω στη γραμμή.



Άσκηση 1^η

Επίλυση (1/8)

- Καταρχήν θα μετατρέψουμε τις τάσεις της εκφώνησης σε φασικές και τις ισχύεις σε μονοφασικές, έτσι ώστε να μπορέσουμε στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουμε το μονοφασικό ισοδύναμο για τις πράξεις μας.
- Η ισχύς ανά φάση του φορτίου θα είναι:

$$P = \frac{7}{3} = 2,33 \text{ MW} / \text{ph}$$

- ενώ αντίστοιχα η φασική τάση θα είναι:

$$V_R = \frac{33}{\sqrt{3}} = 19,05 \text{ kV} / \text{ph}$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (2/8)

α) Για να υπολογίσουμε την τάση στην αρχή της γραμμής θα χρησιμοποιήσουμε τη σχέση:

$$\bar{V}_S = \bar{V}_R + \bar{I}_R \bar{Z} \quad (2.1)$$

Μας λείπει το ρεύμα. Το μέτρο του μπορούμε να το υπολογίσουμε από τη σχέση:

$$I_R = \frac{P_R}{\sqrt{3} V_R \cos \phi} \quad (2.2)$$

ενώ τη γωνία του θα την πάρουμε μέσω του συντελεστή ισχύος του φορτίου με τη βοήθεια της σχέσης:

$$\phi = \cos^{-1}(\cos \phi) \quad (2.3)$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (3/8)

- Από τις (2.2) και (2.3) θα προκύψει για το ρεύμα:

$$\bar{I}_R = 144,08 \angle -31,788^\circ A \quad (2.4)$$

- ενώ τελικά από τις (2.1) και (2.4) θα προκύψει για την τάση :

$$\bar{V}_S = 23,87 \angle 5,18^\circ kV / ph, \text{ ή}$$
$$V_S = 41,35 kV \quad (2.5)$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (4/8)

β) Ψάχνουμε τον συντελεστή ισχύος ($\cos\phi$). Θα τον υπολογίσουμε έμμεσα με τη βοήθεια της σχέσης:

$$\tan \phi = \frac{Q_L}{P_L} \quad (2.6)$$

όπου η συνολική ενεργή ισχύς που ζητάει το νέο φορτίο (η οποία αποτελείται από τα 7MW του αρχικού φορτίου και τα 500kW των συσκευών αντιστάθμισης που προσθέτουμε) και η αντίστοιχη άεργη ισχύς που ζητάει το νέο φορτίο. Η τελευταία όμως θα είναι ίση με την άεργη ισχύ που παραδίνει η γραμμή στο άκρο R εφόσον η ΓΜ θεωρείται κοντή, θα είναι δηλαδή:

$$Q_L = Q_R = \frac{V_S V_R}{Z} \sin(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \sin y \quad (2.7)$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (5/8)

- Από τη σχέση (2.7) το μόνο μέγεθος που μας λείπει είναι η γωνία θ , την οποία όμως μπορούμε να υπολογίσουμε (και θα υπολογίζουμε συνήθως) από την αντίστοιχη σχέση της ενεργής ισχύος που παραδίνει η γραμμή στο άκρο R (η οποία είναι επίσης ίση με τη συνολική ενεργή ισχύ που ζητάει ο καταναλωτής):

$$P_R = P_L = \frac{V_S V_R}{Z} \cos(\gamma - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \cos \gamma \quad (2.8)$$

- Από την (2.8) θα προκύψει:

$$\theta = 13,71^\circ \quad (2.9)$$

- και αντικαθιστώντας αυτήν την τιμή στη σχέση (2.7) θα πάρουμε αντίστοιχα:

$$Q_L = -0,943 \text{ MVar} / \text{ph} \quad (2.10)$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (6/8)

- Τελικά από τη σχέση (2.6) θα προκύψει:

$$\varphi = -20,66^\circ \Rightarrow \cos \varphi = 0,9357 \quad \text{χωρητικό.}$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (7/8)

- **γ) Παρατήρηση:** Όπως είδαμε και στις παρατηρήσεις της πρώτης άσκησης, η τάση αναφοράς μας θα είναι η . Αυτό σημαίνει ότι η συνθήκη μας (10% πτώση τάσης πάνω στη γραμμή) θα μεταφραστεί μαθηματικά στην εξής σχέση:

$$\frac{V_S - V_R}{V_R} \cdot 100 = 10 \Rightarrow V_S = 1,1V_R \quad (2.11)$$

- Ζητάμε τώρα τη μέγιστη ενεργή ισχύ που μπορεί να μεταφερθεί από τη γραμμή μας. Γνωρίζουμε ήδη όμως ότι η σχέση που μας δίνει την ενεργή ισχύ που παραδίνεται από μια γραμμή στο άκρο του καταναλωτή είναι η:

$$P_R = \frac{V_S V_R}{Z} \cos(\gamma - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \cos \gamma \quad (2.12)$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (8/8)

- Ο δεύτερος όρος της (2.12) παραμένει σταθερός, και ο πρώτος θα μεγιστοποιείται για $\cos(y - \theta) = 1$, άρα η ζητούμενη μέγιστη ισχύς της γραμμής μας για τις συνθήκες της εκφώνησης θα είναι:

$$P_{R\max} = \frac{V_S V_R}{Z} - \frac{V_R^2}{Z} \cos y = 5,49 \text{ MW / ph}$$

- και θα ισχύει για γωνία $\theta = y = 56,31^\circ$.
- Η μέγιστη τριφασική ισχύς που θα μπορεί να μεταφέρει η γραμμή μας για τις συνθήκες της εκφώνησης θα είναι προφανώς:

$$P_{R3\max} = 3 \cdot P_{R\max} = 16,47 \text{ MW}$$



Άσκηση 2^η

Εκφώνηση

- Μια γραμμή μεταφοράς 132kV έχει σύνθετη αντίσταση σειράς $0.125+j0.335\Omega/\text{km}$ και μήκος 100km. Για 10% πτώση τάσης υπολογίστε την ισχύ του φορτίου στο τέλος της γραμμής όταν ο συντελεστής ισχύος του φορτίου είναι
 - α) 1.0,
 - β) 0.8 επαγωγικός.
- Υπολογίστε επίσης τη μέγιστη ενεργή ισχύ που μπορεί να μεταφέρει η γραμμή, αν οι τάσεις στα δύο άκρα είναι και οι δύο ίσες με την ονομαστική.



Άσκηση 2^η

Επίλυση (1/5)

α) Η συνθήκη μας ($\cos\phi = 1$) υποδεικνύει ότι η άεργη ισχύς του φορτίου είναι μηδενική ($Q_L = 0$), οπότε και η άεργη ισχύς που παραδίνει η γραμμή στο άκρο R (Q_R) θα είναι μηδενική. Η ενεργή ισχύς του φορτίου θα είναι ίση με αυτήν που παραδίνεται από τη γραμμή στο άκρο R (P_R) αφού μεταξύ του άκρου R και του φορτίου δεν υπάρχει άλλη ωμική αντίσταση:

$$P_L = P_R = \frac{V_S V_R}{Z} \cos(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \cos y \quad (3.1)$$

- όπου $V_S = 1,1 \cdot V_R$.



Άσκηση 2^η

Επίλυση (2/5)

- Από τη σχέση αυτή μας λείπει μόνο η γωνία θ , την οποία και θα υπολογίσουμε μέσω της αντίστοιχης σχέσης για την άεργη ισχύ:

$$Q_R = \frac{V_S V_R}{Z} \sin(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \sin y \quad (3.2)$$

- Από τη σχέση (3.2) θα προκύψει:

$$\theta = 11,138^\circ \quad (3.3)$$

- και αντικαθιστώντας την τιμή αυτή στη σχέση (3.1) θα πάρουμε για την ενεργή ισχύ του φορτίου:

$$P_L = 36,84 \text{ MW} / \text{ph}$$



Άσκηση 2^η

Επίλυση (3/5)

β) Την ενεργή ισχύ του φορτίου μπορούμε σε αυτήν την περίπτωση να την υπολογίσουμε με τη βοήθεια της σχέσης:

$$P_L = V_R I \cos \varphi \quad (3.4)$$

- Μας λείπει το ρεύμα. Για να το υπολογίσουμε θα χρησιμοποιήσουμε το (γνωστό) μέτρο της τάσης στο άκρο αποστολής:

- $|\bar{V}_S| = 1,1 \cdot \frac{132}{\sqrt{3}} \text{ kV} = \sqrt{\text{Re}(\bar{V}_S)^2 + \text{Im}(\bar{V}_S)^2} \quad (3.5)$

- όπου:

$$\bar{V}_S = \bar{V}_R + \bar{I}\bar{Z} \quad (3.6)$$

- και:

$$\text{Re}(\bar{V}_S) = \text{Re}(\bar{V}_R) + \text{Re}(\bar{I}\bar{Z}) = \dots = 76,21 + 30,099 I \quad (3.7)$$

$$\text{Im}(\bar{V}_S) = \text{Im}(\bar{V}_R) + \text{Im}(\bar{I}\bar{Z}) = \dots = 19,3I \quad (3.8)$$



Άσκηση 2^η

Επίλυση (4/5)

- Αντικαθιστώντας τις (3.7) και (3.8) στη σχέση (3.5) θα πάρουμε τελικά ένα τριώνυμο με άγνωστο το μέτρο του ρεύματος (I), από όπου θα προκύψει:

$$I = 0,2486 \text{ kA} \quad (3.9)$$

- οπότε τελικά θα πάρουμε από τη σχέση (3.4):

$$P_L = 15,16 \text{ MW / ph}$$



Άσκηση 1^η

Επίλυση (5/5)

γ) Όπως είδαμε και στην προηγούμενη άσκηση, η μέγιστη ενεργή ισχύς που μπορεί να μεταφέρει η γραμμή θα δίνεται από τη σχέση:

$$P_{R\max} = \frac{V_S V_R}{Z} - \frac{V_R^2}{Z} \cos \gamma = 105,65 \text{ MW / ph}$$



Άσκηση 3^η

Εκφώνηση

- Μια γραμμή μεταφοράς τροφοδοτεί φορτίο 600MW με $\cos\phi=0,8$ επαγωγικό. Η γραμμή έχει αντίδραση $j21.83\Omega$. Να υπολογιστεί η απαιτούμενη παροχή άεργης ισχύος στο τέλος της γραμμής, ώστε οι τάσεις στην αρχή και το τέλος της γραμμής να είναι ίσες με 275kV.



Άσκηση 3^η

Επίλυση (1/8)

- Καταρχήν θα μετατρέψουμε τις τάσεις της εκφώνησης σε φασικές και τις ισχύεις σε μονοφασικές, έτσι ώστε να μπορέσουμε στη συνέχεια να χρησιμοποιήσουμε το μονοφασικό ισοδύναμο για τις πράξεις μας.
- Η ισχύς ανά φάση του φορτίου θα είναι:

$$P = \frac{600}{3} = 200 \text{ MW} / \text{ph}$$

- ενώ αντίστοιχα η φασική τάση θα είναι:

$$V_R = \frac{275}{\sqrt{3}} = 158,77 \text{ kV} / \text{ph}$$



Άσκηση 3^η

Επίλυση (2/8)

- Στο άκρο R μετά την αντιστάθμιση θα έχουμε τις εξής άεργες ισχείς:
 - Την άεργη ισχύ που απορροφά το φορτίο (Q_L)
 - Την άεργη ισχύ που μεταφέρει η γραμμή (Q_R)
 - Την άεργη ισχύ αντιστάθμισης (Q_A)



Άσκηση 3^η

Επίλυση (3/8)

- Για την άεργη ισχύ του φορτίου έχουμε:

$$Q_L = P_L \tan \varphi = 150 \text{ MVar} / \text{ph} \quad (4.1)$$

- Θεωρούμε ότι η γραμμή μας έχει μηδενικές ωμικές απώλειες ($\gamma = 90^\circ$), οπότε η άεργη ισχύς που παραδίνεται από αυτή στο άκρο R θα δίνεται από τη σχέση:

$$Q_R = \frac{V_S V_R}{Z} \cos(\theta) - \frac{V_R^2}{Z} \quad (4.2)$$



Άσκηση 3^η

Επίλυση (4/8)

- Από τη σχέση αυτή μας λείπει η γωνία θ , την οποία όμως μπορούμε να υπολογίσουμε με τη βοήθεια της αντίστοιχης σχέσης για την ενεργή ισχύ που παραδίδεται από τη γραμμή στο άκρο R (η οποία με τη σειρά της είναι ίση με την ενεργή ισχύ του φορτίου αφού δεν υπάρχουν ωμικές απώλειες μεταξύ του άκρου R και του φορτίου).

$$P_R = \frac{V_S V_R}{Z} \sin(\theta) = 200 \text{ MW} / \text{ph} \quad (4.3)$$

- Από τη σχέση (4.3) θα προκύψει για τη γωνία θ :

$$\theta = 9,97^\circ \quad (4.4)$$

- και αντικαθιστώντας την τιμή αυτή στη σχέση (4.2) θα πάρουμε τελικά:

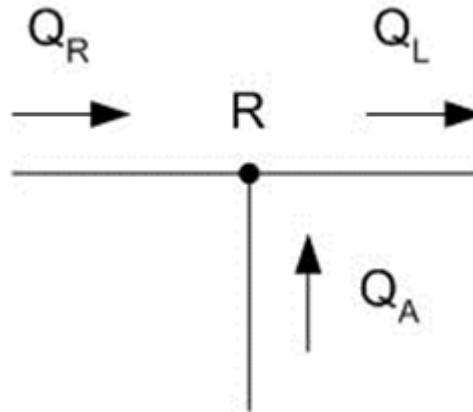
$$Q_R = -17,44 \text{ MVar} / \text{ph} \quad (4.5)$$



Άσκηση 3^η

Επίλυση (5/8)

- Στη συνέχεια θα κάνουμε τον ισολογισμό άεργης ισχύος στο άκρο R (παραλαβής) που θα μας βοηθήσει να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ισχύ αντιστάθμισης. Οι συμβατικές φορές της άεργης ισχύος παρουσιάζονται στο (σχ. 4.1):



σχ. 4.1



Άσκηση 3^η

Επίλυση (6/8)

- Η συνολική άεργη ισχύς που εισέρχεται στο άκρο R θα είναι προφανώς ίση με την συνολική άεργη ισχύ που εξέρχεται από αυτό, οπότε από το (σχ. 4.1) προκύπτει για την ισχύ αντιστάθμισης:

$$Q_A = Q_L - Q_R = 150 - (-17,44) = 167,44 \text{ MVar / ph} \quad (4.6)$$

- Η προέκυψε θετική ως προς την αυθαίρετη συμβατική φορά του (σχ. 4.1).



Άσκηση 3^η

Επίλυση (7/8)

- Χρειαζόμαστε δηλαδή μέσα αντιστάθμισης που να **προσφέρουν** άεργη ισχύ, δηλαδή πυκνωτές. Αν αυτοί συνδεθούν σε αστέρα τότε η χωρητικότητά τους μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$Q_A = V_R^2 C_Y \omega \quad (4.7)$$

- από όπου προκύπτει:

$$C_Y = \frac{Q_A}{V_R^2 \omega} = \dots = 21,14 \mu F / ph \quad (4.8)$$



Άσκηση 3^η

Επίλυση (8/8)

- Αν οι πυκνωτές συνδεθούν σε τρίγωνο, τότε θα είναι αντίστοιχα:

$$Q_A = (\sqrt{3}V_R^2)C_\Delta\omega \quad (4.9)$$

- από όπου θα προκύψει:

$$C_\Delta = \frac{Q_A}{3V_R^2\omega} = \frac{C_Y}{3} = 7,047 \mu F \quad (4.10)$$



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λαμπρίδης Δημήτρης, Ανδρέου Γεώργιος, Δούκας Δημήτριος. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II, Κοντή 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

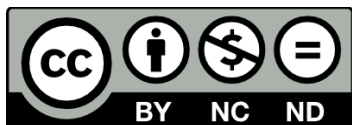
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





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.

