

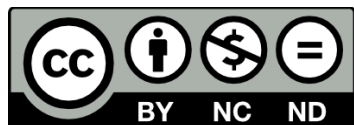


# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II

Μάθημα ασκήσεων 4: 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.



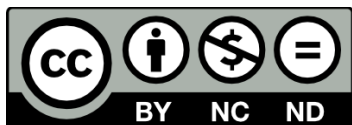
# Χρηματοδότηση

- 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<sup>η</sup>

## Εκφώνηση

- Μια γραμμή 275kV θεωρείται μικρού μήκους και έχει σύνθετη αντίσταση σειράς  $0,03+j0,265\Omega/\text{km}$ , μήκος 140km και ονομαστική επιτρεπόμενη φόρτιση 1600A (760MVA στα 275kV). Για τάση φορτίου 275kV να υπολογιστούν:
  - α) Η αντιστάθμιση στο άκρο R, ώστε η πτώση τάσης να περιορίζεται στο 10% όταν ο καταναλωτής απορροφά 600MW με συντελεστή ισχύος 0,9 επαγωγικό.
  - β) Η παρεχόμενη ισχύς στον καταναλωτή, όταν αυτός έχει συντελεστή ισχύος 0,8 επαγωγικό, για να έχουμε πτώση τάσης 10% χωρίς αντιστάθμιση.
  - γ) Η αντιστάθμιση που χρειάζεται για να διατηρηθεί η πτώση τάσης στο 10%, όταν το φορτίο του καταναλωτή μηδενιστεί.



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (1/10)

- **α)** Πρέπει να υπολογίσουμε το ισοζύγιο άεργης ισχύος στο άκρο R χρησιμοποιώντας τη συνθήκη:

$$V_S = 1,1V_R \quad (5.1)$$

- Για την άεργη ισχύ που απορροφά το φορτίο ( $Q_L$ ) έχουμε:

$$Q_L = P_L \tan \varphi = 96,86 \text{MVar} / \text{ph} \quad (5.2)$$



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (2/10)

- Όσον αφορά στην άεργη ισχύ που παραδίνεται από τη γραμμή στο άκρο  $R$  ( $Q_R$ ), αυτή θα την υπολογίσουμε όπως και στις προηγούμενες ασκήσεις με τη βοήθεια των σχέσεων:

$$P_R = \frac{V_S V_R}{Z} \cos(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \cos y \quad (5.3)$$

$$Q_R = \frac{V_S V_R}{Z} \sin(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \sin y \quad (5.4)$$

- Από τη σχέση (5.3) θα προκύψει:

$$\theta = 15,35^\circ$$

- και αντικαθιστώντας την τιμή αυτή στη σχέση (5.4) θα πάρουμε τελικά για την  $Q_R$ :

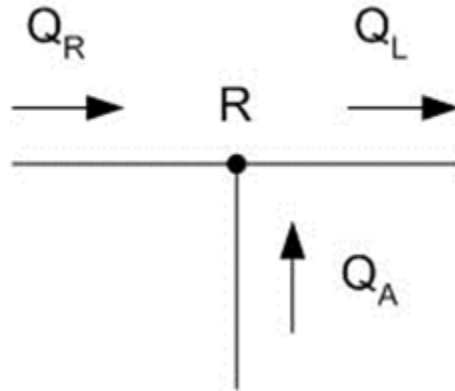
$$Q_R = 18,62 \text{ MVar} / \text{ph} \quad (5.5)$$



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (3/10)

- Για τον ισολογισμό της αέργης ισχύος στο άκρο R (παραλαβής) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το (σχ. 5.1):



σχ. 5.1





# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (4/10)

- Με τις φορές που έχουν δηλωθεί στο (σχ. 5.1) θα είναι:

$$Q_A + Q_R = Q_L \Rightarrow Q_A = 78,25 \text{ MVar} / \text{ph} \quad (5.6)$$

- Άρα απαιτούνται πυκνωτές με χωρητικότητα:

$$C_Y = \frac{Q_A}{V_R^2 \omega} = \dots = 9,88 \mu\text{F} / \text{ph} \quad (5.7)$$

- ή:

$$C_\Delta = \frac{C_Y}{3} = 3,29 \mu\text{F} \quad (5.8)$$



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (5/10)

**β)** Θέλουμε να υπολογίσουμε την παρεχόμενη ισχύ στον καταναλωτή για πτώση τάσης 10% ( $V_S = 1,1V_R$ ). Αυτή θα δίνεται από τον τύπο:

$$\bar{S}_R = \bar{V}_R \bar{I}^* \quad (5.9)$$

- Πρέπει λοιπόν να υπολογίσουμε το ρεύμα που διαρρέει τη γραμμή μεταφοράς. Είναι όμως:

$$\bar{V}_S = \bar{V}_R + \bar{I}\bar{Z} \quad (5.10)$$

- και:

$$\operatorname{Re}(\bar{V}_S) = \operatorname{Re}(\bar{V}_R) + \operatorname{Re}(\bar{I}\bar{Z}) \quad (5.11)$$

$$\operatorname{Im}(\bar{V}_S) = \operatorname{Im}(\bar{V}_R) + \operatorname{Im}(\bar{I}\bar{Z}) \quad (5.12)$$



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (6/10)

- Από τις σχέσεις (5.11), (5.12) θα προκύψει το εξής σύστημα εξισώσεων:

$$\operatorname{Re}(\bar{V}_S) = 158,77 + 25,61I \quad (5.13)$$

$$\operatorname{Im}(\bar{V}_S) = 27,15I \quad (5.14)$$

- Γνωρίζουμε όμως ότι:

$$|\bar{V}_S| = \sqrt{(\operatorname{Re}(\bar{V}_S))^2 + (\operatorname{Im}(\bar{V}_S))^2} \quad (5.15)$$

- από όπου, με τη βοήθεια των σχέσεων (5.13) και (5.14), θα προκύψει τελικά για το ρεύμα:

$$\bar{I} = 0,591 \angle -36,87^\circ \text{ kA} \quad (5.16)$$

- Άρα η συνολική παρεχόμενη ισχύς στον καταναλωτή θα είναι:

$$\bar{S}_R = 93,83 \angle 36,87^\circ \text{ MVA} = 75,1 + j56,3 \text{ MVA} / \text{ph}$$



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (7/10)

γ) Από τα δεδομένα μας έχουμε για την περίπτωση αυτή:

$$P_L = 0 \quad (5.17)$$

$$Q_L = 0 \quad (5.18)$$

$$V_S = 1,1V_R \quad (5.19)$$



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (8/10)

- Θα υπολογίσουμε πάλι το ισοζύγιο άεργης ισχύος στο άκρο R (παραλαβής), χρησιμοποιώντας τις γνωστές σχέσεις:

$$P_R = \frac{V_S V_R}{Z} \cos(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \cos y \quad (5.20)$$

$$Q_R = \frac{V_S V_R}{Z} \sin(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \sin y \quad (5.21)$$

- Τελικά θα πάρουμε:

$$\theta = -0,589^\circ \quad (5.22)$$

- και:

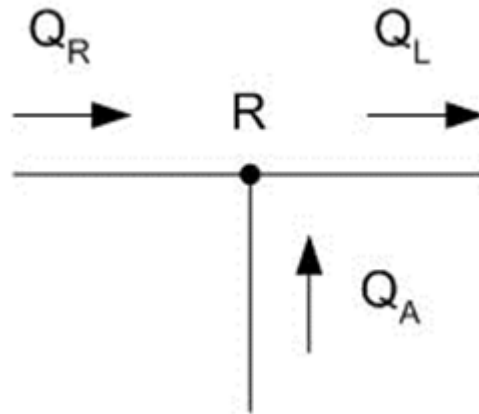
$$Q_R = 67,9 \text{ MVar} / \text{ph} \quad (5.23)$$



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (9/10)

- Για τον ισολογισμό της αέργης ισχύος στο άκρο R μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το (σχ. 5.2)



σχ. 5.2



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (10/10)

- Από τα παραπάνω θα προκύψει τελικά για την αντιστάθμιση:

$$Q_A = -Q_R = -67,9 \text{ MVar} / \text{ph}$$

- Βάσει της φοράς που επιλέξαμε για την αντιστάθμισή μας στο (σχ. 5.2), η ισχύς αντιστάθμισης προέκυψε αρνητική, άρα θα χρειαστούμε ως μέσα αντιστάθμισης πηνία με αυτεπαγωγή:

$$L_Y = \frac{V_R^2}{Q_A \omega} = \dots = 1,18 \text{ H} / \text{ph}$$

- ή:

$$L_{\Delta} = 3L_Y = 3,545 \text{ H}$$



# Άσκηση 2<sup>η</sup>

## Εκφώνηση

- Μια τριφασική γραμμή μεταφοράς 275 kV μικρού μήκους έχει σε σειρά αντίσταση αμελητέα και επαγωγική αντίδραση  $21,83\Omega$  στα 50Hz. Η γραμμή τροφοδοτεί ένα φορτίο το οποίο απορροφά σε ονομαστική τάση 275kV ισχύ 600MW με συντελεστή ισχύος 0,98 επαγωγικό.
- α) Αν η τάση στην αρχή της γραμμής είναι 275kV, να υπολογιστούν το ρεύμα της γραμμής, η τάση στο φορτίο, η ενεργή και άεργη ισχύς που απορροφά το φορτίο.
- β) Ποια είναι η απαιτούμενη αντιστάθμιση στο άκρο του καταναλωτή ώστε για το παραπάνω φορτίο η τάση στην αρχή και στο τέλος της γραμμής να είναι 275kV.
- γ) Μετά την προσθήκη της αντιστάθμισης να υπολογιστούν το ρεύμα της αντιστάθμισης, το ρεύμα της γραμμής και ο συντελεστής ισχύος στην αρχή της γραμμής.

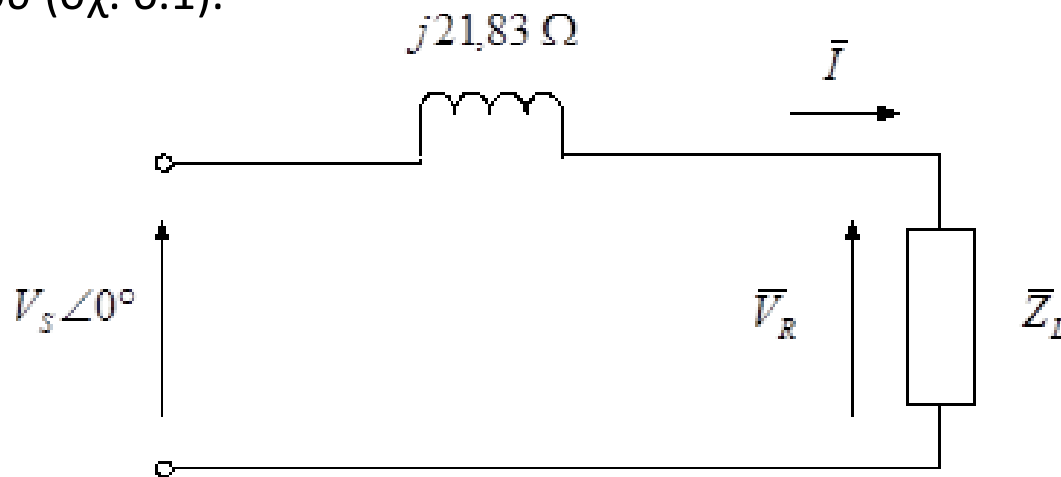




# Άσκηση 2<sup>η</sup>

## Επίλυση (1/10)

- **α) Παρατήρηση:** Αντίθετα από τις περιπτώσεις που έχουμε δει μέχρι τώρα, αυτή τη φορά έχουμε δεδομένη την τάση, την οποία και χρειαζόμαστε για την επίλυση της σχέσης (6.1), και άγνωστη την τάση. Άρα θα χρησιμοποιήσουμε αυτήν ως τάση αναφοράς.
- Αφού γνωρίζουμε την τάση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το ισοδύναμο κύκλωμα του (σχ. 6.1).



σχ. 6.1



# Άσκηση 2<sup>η</sup>

## Επίλυση (2/10)

- Ο πιο εύκολος τρόπος να υπολογίσουμε το ρεύμα της γραμμής είναι να χρησιμοποιήσουμε τον τύπο:

$$\bar{I} = \frac{\bar{V}_S}{\bar{Z}_R + \bar{Z}_L} \quad (6.1)$$

- όπου  $\bar{Z}_R$  η σύνθετη αντίσταση της γραμμής και  $\bar{Z}_L$  η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση του φορτίου.



# Άσκηση 2<sup>η</sup>

## Επίλυση (3/10)

- Η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση του φορτίου θα προκύψει με την ονομαστική τάση του φορτίου από τη σχέση:

$$P_L = \frac{V_N^2}{Z_L} \cos \phi \quad (6.2)$$

- και θα είναι τελικά:

$$\bar{Z}_L = 123,51 \angle 11,48^\circ \Omega \quad (6.3)$$

- Από τις σχέσεις (6.1), (6.3) θα προκύψει τελικά για το ρεύμα:

$$\bar{I} = 1,224 \angle -20,97^\circ \text{ kA} \quad (6.4)$$



# Άσκηση 2<sup>η</sup>

## Επίλυση (4/10)

- ενώ για την τάση στο φορτίο θα ισχύει:

$$\bar{V}_R = \bar{V}_S - \bar{I}\bar{Z}_R \quad (6.5)$$

- οπότε θα είναι:

$$\bar{V}_R = 151,28 \angle -9,5^\circ \text{ kV} / \text{ph}, \quad \text{ή}$$
$$V_R = 262,02 \text{ kV} \quad (6.6)$$

- Για την μιγαδική ισχύ που απορροφά το φορτίο έχουμε:

$$\bar{S}_L = \bar{V}_R \bar{I}^* = \dots = 181,47 + j36,82 \text{ MVA} / \text{ph} \quad (6.7)$$

- οπότε θα είναι:

$$P_L = 181,47 \text{ MW} / \text{ph} \quad (6.8)$$

$$Q_L = 36,82 \text{ MVar} / \text{ph} \quad (6.9)$$



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (5/10)

**β) Παρατήρηση:** Από εδώ και πέρα αλλάζουν τα δεδομένα του προβλήματος, οπότε θα θεωρήσουμε πλέον ότι η τάση στο άκρο R είναι η  $\bar{V}'_R = V_R \angle 0^\circ$  (το ίδιο θα ισχύει και στο τρίτο μέρος της άσκησης).

- Πρέπει να υπολογίσουμε όλες τις άεργες ισχύεις στο άκρο R (παραλαβής).
- Για την άεργη ισχύ του φορτίου έχουμε:

$$Q_L = P_L \tan \varphi = 40,62 \text{ MVar} / \text{ph} \quad (6.10)$$



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (6/10)

- Για την άεργη ισχύ που παραδίνει η γραμμή στο άκρο  $R$  θα χρησιμοποιήσουμε τις σχέσεις:

$$P_R = \frac{V_S V_R}{Z} \cos(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \cos y \quad (6.11)$$

$$Q_R = \frac{V_S V_R}{Z} \sin(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \sin y \quad (6.12)$$

- ΟΠΟΥ  $V_S = V_R$ .

- Από τις σχέσεις (6.11) και (6.12) θα πάρουμε τελικά:

$$\theta = 9,97^\circ \quad (6.13)$$

- ΚΑΙ:

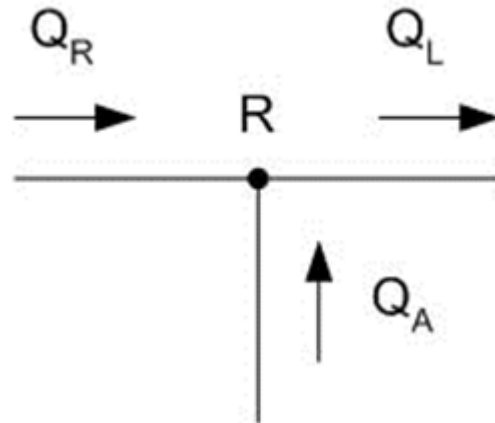
$$Q_R = -17,44 \text{ MVar} / \text{ph} \quad (6.14)$$



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (7/10)

- Για το ισοζύγιο άεργης ισχύος στο άκρο R θα έχουμε:



σχ. 6.1



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (8/10)

$$Q_A = Q_L - Q_R = 40,62 - (-17,44) = 58,06 \text{ MVar} / \text{ph} \quad (6.15)$$

- Άρα θα χρησιμοποιήσουμε πυκνωτές. Αν αυτοί συνδεθούν σε αστέρα, τότε η χωρητικότητα τους θα είναι:

$$C_Y = \frac{Q_A}{V_R^2 \omega} = \dots = 7,33 \mu\text{F} / \text{ph} \quad (6.16)$$

- ενώ αν συνδεθούν σε τρίγωνο, τότε θα είναι αντίστοιχα:

$$C_\Delta = \frac{C_Y}{3} = 2,44 \mu\text{F} \quad (6.17)$$





# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (9/10)

γ) Για το ρεύμα της αντιστάθμισης ισχύει:

$$\bar{I}_C = \frac{\bar{V}_R}{\bar{Z}_C} = \dots = 356,43 \angle 90^\circ A \quad (6.18)$$

• Για το ρεύμα του φορτίου έχουμε αντίστοιχα:

$$\bar{I}_L = \frac{P_L}{V_R \cos \varphi} = \dots = 1,285 \angle -11,478^\circ kA \quad (6.19)$$

• και το ρεύμα της γραμμής θα είναι:

$$\bar{I}_R = \bar{I}_C + \bar{I}_L = \dots = 1,264 \angle 4,98^\circ kA \quad (6.20)$$



# Άσκηση 1<sup>η</sup>

## Επίλυση (10/10)

- Ο συντελεστής ισχύος στην αρχή της γραμμής είναι το συνημίτονο της γωνίας μεταξύ της τάσης στην αρχή της γραμμής και του ρεύματος της γραμμής. Πρέπει λοιπόν να υπολογίσουμε επιπλέον τη γωνία της τάσης στην αρχή της γραμμής, από τη στιγμή που το μέτρο της είναι ίσο με 275 kV.

$$\bar{V}_S = \bar{V}_R + \bar{I}_R \bar{Z} = \dots = 158,77 \angle 9,97^\circ \text{ kV} / \text{ph} \quad (6.21)$$

- Άρα θα είναι τελικά:

$$\varphi_S = \theta - \varphi = 9,97 - 4,98 \Rightarrow \cos \varphi_S = 0,9962$$



# Άσκηση 3<sup>η</sup>

## Εκφώνηση

- Δίνεται κοντή γραμμή μεταφοράς SR μήκους 20km και διατομής 95mm<sup>2</sup> με ηλεκτρικά χαρακτηριστικά  $R' = 0,215\Omega/\text{km}$  και  $X' = 0,334\Omega/\text{km}$ . Η τάση στο άκρο S είναι 20kV. Ζητούνται τα παρακάτω:
- α) Ποια είναι τα απαιτούμενα μέσα αντιστάθμισης, ώστε για φορτίο που απορροφά από τη γραμμή  $P = 8\text{MW}$ ,  $Q = 7\text{MVar}$  υπό τάση 20kV, η τάση στο φορτίο να είναι 19,5kV για σταθερή τάση τροφοδοσίας.
- β) Μετά την προσθήκη της αντιστάθμισης το φορτίο αποσυνδέεται. Τι τιμή παίρνει η τάση στο άκρο του καταναλωτή;



# Άσκηση 3<sup>η</sup>

## Επίλυση (1/8)

α) Γνωρίζουμε ότι το φορτίο απορροφά από τη γραμμή  $P = 8\text{MW}$  και  $Q = 7\text{MVAR}$  υπό τάση  $V_1 = 20\text{kV}$ . Η ενεργή και άεργη ισχύς ενός φορτίου εξαρτώνται όμως από την τάση, οπότε στην περίπτωση μας θα πρέπει να υπολογίσουμε τις νέες τους τιμές όταν το φορτίο βρίσκεται υπό τάση  $19,5\text{ kV}$  (αυτό είναι και το μόνο « περίεργο » σημείο της άσκησης).

- Για την ισχύ που απορροφά το φορτίο στα  $20\text{ kV}$  ισχύει:

$$\bar{S}_1 = \sqrt{3}\bar{V}_1\bar{I}_1^* = \sqrt{3}\bar{V}_1 \cdot \frac{\bar{V}_1^*/\sqrt{3}}{Z_L^*} \Rightarrow \bar{S}_1 = \frac{V_1^2}{Z_L^*} \quad (1.1)$$

- Για την ισχύ που απορροφά το φορτίο στα  $19,5\text{ kV}$  ισχύει:

$$\bar{S}_2 = \frac{V_2^2}{Z_L^*} \quad (1.2)$$



# Άσκηση 3<sup>η</sup>

## Επίλυση (2/8)

- Θα είναι λοιπόν:

$$\frac{\bar{S}_2}{\bar{S}_1} = \frac{V_2^2}{V_1^2} \Rightarrow \bar{S}_2 = \frac{V_2^2}{V_1^2} \cdot \bar{S}_1 = \alpha \cdot \bar{S}_1 \quad (1.3)$$

- όπου  $\alpha = \frac{V_2^2}{V_1^2}$ .

- Παρατήρηση: Είναι:  $\tan \varphi = \frac{Q_2}{P_2} = \frac{aQ_1}{aP_1} = \frac{Q_1}{P_1}$

- Οπότε ο συντελεστής ισχύος δε θα αλλάξει με την αλλαγή της τάσης του φορτίου.



# Άσκηση 3<sup>η</sup>

## Επίλυση (3/8)

- Για την άσκησή μας , καταρχήν θα πρέπει να υπολογίσουμε τη σύνθετη αντίσταση της γραμμής. Γνωρίζουμε ότι:  $l= 20\text{km}$ ,  $R'=0,215\Omega/\text{km}$  και  $X'=0,334\Omega/\text{km}$ . Οπότε θα είναι:

$$\bar{Z} = 4,3 + j6,68 = 7,944 \angle 57,23^\circ \Omega \quad (1.4)$$

- Για το φορτίο μας υπό τη νέα τάση θα ισχύει σύμφωνα με τα παραπάνω:

$$\bar{S}_2 = \frac{19,5^2}{20^2} (8 + j7) = 7,605 + j6,65 \text{ MVA} \quad (1.5)$$

- Εφόσον ζητάμε αντιστάθμιση θέλουμε προφανώς να υπολογίσουμε το ισοζύγιο άεργης ισχύος στο άκρο R.



# Άσκηση 3<sup>η</sup>

## Επίλυση (4/8)

- Για την άεργη ισχύ του φορτίου γνωρίζουμε από τα παραπάνω ότι:

$$Q_L = 6,65 \text{ MVar} \quad (1.6)$$

- Η άεργη ισχύς που θα παραδώσει η γραμμή στο άκρο R θα είναι:

$$Q_R = \frac{V_S V_R}{Z} \sin(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \sin y \quad (1.7)$$

- Από τη σχέση μας λείπει η γωνία  $\theta$ , την οποία θα υπολογίσουμε από την αντίστοιχη σχέση της γνωστής  $P_R$ . (Είναι  $P_R = P_L$  καθώς όλη η ενεργή ισχύς που παραδίνει η γραμμή στο άκρο R καταναλώνεται στο φορτίο):

$$P_R = 7,605 \text{ MW} = \frac{V_S V_R}{Z} \cos(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \cos y \Rightarrow \dots \Rightarrow \theta = 10,28^\circ \quad (1.8)$$

- Οπότε από τη σχέση (1.8) θα προκύψει τελικά:

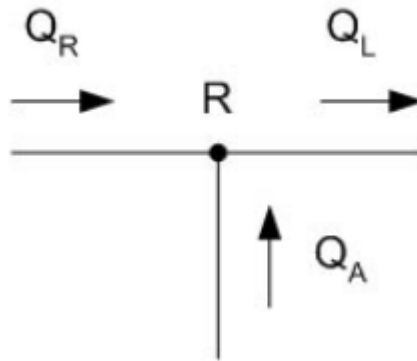
$$Q_R = -4,373 \text{ MVar} \quad (1.9)$$



# Άσκηση 3<sup>η</sup>

## Επίλυση (5/8)

- Για τον ισολογισμό της άεργης ισχύος στο άκρο R μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το (σχ. 1.1):



σχ. 1.1





# Άσκηση 3<sup>η</sup>

## Επίλυση (6/8)

$$Q_A = Q_L - Q_R = 11,023 \text{ MVAR} \quad (1.10)$$

- Οπότε απαιτούνται πυκνωτές χωρητικότητας:

$$C_Y = \frac{Q_A}{V_R^2 \cdot \omega} = 92,27 \mu\text{F} / \text{ph} \quad \text{σε αστέρα, ή}$$

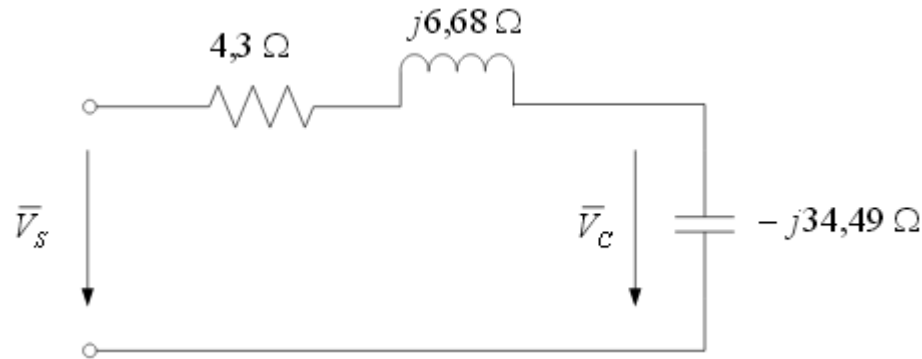
$$C_{\Delta} = \frac{C_Y}{3} = 30,76 \mu\text{F} \quad \text{σε τρίγωνο}$$



# Άσκηση 3<sup>η</sup>

## Επίλυση (7/8)

- Έστω ότι το φορτίο αποσυνδέεται, η αντιστάθμιση παραμένει συνδεδεμένη και η τάση τροφοδοσίας ( $V_s$ ) παραμένει 20 kV. Το νέο ισοδύναμο κύκλωμα θα είναι το:



- Όπου η χωρητική αντίδραση του πυκνωτή της αντιστάθμισης θα είναι:

$$X_C = -\frac{j}{C\omega} = -j34,49 \Omega \quad (1.13)$$



# Άσκηση 3<sup>η</sup>

## Επίλυση (8/8)

- Η τάση στο άκρο του καταναλωτή είναι προφανώς η τάση στα άκρα του πυκνωτή αντιστάθμισης. Εδώ έχουμε μόνο μία τάση ( τη  $V_s$ ), οπότε θα χρησιμοποιήσουμε αυτή για αναφορά μας. Θα είναι δηλαδή:

$$V_s = \frac{20}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \text{ kV / ph} \quad (1.14)$$

- Η νέα συνολική σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος θα είναι:

$$\bar{Z}' = 4,3 + j6,68 - j34,49 = 4,3 - j27,82 = 28,148 \angle -81,21^\circ \Omega \quad (1.15)$$

- Ενώ το ρεύμα που θα διαρρέει το κύκλωμα θα είναι το:

$$I = \frac{V_s}{\bar{Z}'} = 0,41 \angle 81,21^\circ \text{ kA} \quad (1.16)$$

- Η τάση τέλος στα άκρα του πυκνωτή αντιστάθμισης θα είναι:

$$\bar{V}_C = \bar{V}_R = \bar{I} \bar{Z}_C = 14,148 \angle -8,79^\circ \text{ kV / ph}$$

ή

$$V_R = 24,506 \text{ kV} \quad (1.17)$$



# Άσκηση 4<sup>η</sup>

## Εκφώνηση

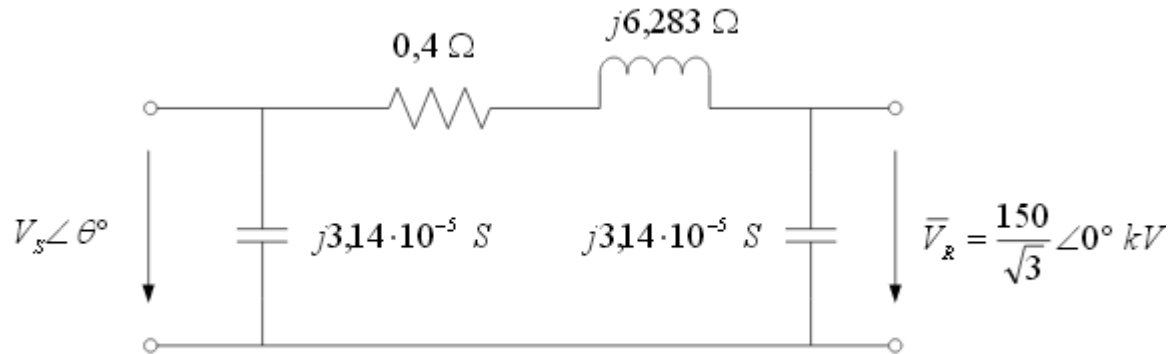
- Μια γραμμή μεταφοράς 150kV μήκους 20km έχει  $R'=20\text{m}\Omega/\text{km}$ ,  $L'=1\text{mH}/\text{km}$ . Στο άκρο του καταναλωτή R υπάρχει φορτίο 20MW,  $\cos\phi=0.8$  επαγωγικό υπό τάση 150kV. Να υπολογιστεί η αντιστάθμιση που απαιτείται το άκρο R για να έχουμε ελάχιστες απώλειες στη γραμμή.



# Άσκηση 4<sup>η</sup>

## Επίλυση (1/6)

- Το κύκλωμά μας φαίνεται στο σχ. 2.1:



Σχ. 2.1

- **Παρατήρηση:** Η διαφορά από τις προηγούμενες ασκήσεις αντιστάθμισης είναι ότι εδώ λαμβάνουμε υπόψη και την εγκάρσια αγωγιμότητα της γραμμής, την οποία και παριστάνουμε στο ισοδύναμο κύκλωμα με δύο ίσες συγκεντρωμένες αγωγιμότητες στα άκρα S και R. Σε αυτήν την περίπτωση και κατά τον υπολογισμό του ισοζυγίου άεργης ισχύος στο άκρο R θα πρέπει να λάβουμε υπόψη την άεργη ισχύ που θα προσφέρει η αντίστοιχη εγκάρσια αγωγιμότητα.



# Άσκηση 4<sup>η</sup>

## Επίλυση (2/6)

- Καταρχήν θα υπολογίσουμε τα χαρακτηριστικά της γραμμής . Η σύνθετη αντίσταση σειράς της θα είναι:

$$\bar{Z} = R' \cdot l + j\omega L' \cdot l = 0,4 + j6,283 = 6,296 \angle 86,36^\circ \Omega \quad (2.1)$$

- Ενώ οι εγκάρσιες αγωγιμότητές της θα είναι αντίστοιχα:

$$\frac{\bar{Y}}{2} = j \frac{C' \omega}{2} = j3,14 \cdot 10^{-5} \Omega^{-1} \quad (2.2)$$

- Θέλουμε να υπολογίσουμε την αναγκαία αντιστάθμιση στο άκρο R για ελάχιστες απώλειες στη γραμμή. Οι απώλειες στη γραμμή όμως οφείλονται μόνο στον διαμήκη κλάδο του ισοδύναμου – Π του σχ . 2.1, και είναι ίσες με:

$$P_R = 3 \cdot R \cdot I_R^2 = 3 \cdot R \cdot \left( \frac{I_C}{2} + I_L \right)^2 \quad (2.3)$$



# Άσκηση 4<sup>η</sup>

## Επίλυση (3/6)

- Από τα μεγέθη της σχέσης (2.3) το μόνο που μεταβάλλεται είναι το ρεύμα φορτίου  $I_L$ . Οι απώλειες της γραμμής θα ελαχιστοποιούνται λοιπόν για ελάχιστο  $I_L$ . Είναι όμως:

$$I_L = \frac{P_L}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \phi} \quad (2.4)$$

- Οπότε θα έχουμε  $I_L \rightarrow \min$  για  $\cos \phi \rightarrow 1$ , δηλαδή θα έχουμε ελαχιστοποίηση των απωλειών γραμμής για συντελεστή ισχύος στο φορτίο ίσο με 1 (αφού σε αυτήν την περίπτωση από τη γραμμή θα μεταφέρεται μόνο η ενεργή ισχύς του φορτίου).
- Για να υπολογίσουμε την αντιστάθμιση πρέπει κατά τα γνωστά να υπολογίσουμε το ισοζύγιο άεργης ισχύος στο άκρο R.



# Άσκηση 4<sup>η</sup>

## Επίλυση (4/6)

- Το φορτίο απαιτεί άεργο ισχύ:

$$Q_L = P_L \cdot \tan \phi = 22,5 \text{ MVA}_r \quad (2.5)$$

- Η εγκάρσια χωρητικότητα στον εγκάρσιο κλάδο του ισοδύναμου – π στο άκρο R προσφέρει άεργο ισχύ:

$$Q_{C/2} = 3 \cdot \left( \frac{V_R}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot \frac{C}{2} \cdot \omega = V_R^2 \cdot \frac{C\omega}{2} = 0,707 \text{ MVA}_r \quad (2.6)$$

- Η δε γραμμή ούτε παραδίνει ούτε παραλαμβάνει άεργη ισχύ στο άκρο R, καθώς λόγω της συνθήκης μας για ελάχιστες απώλειες η γραμμή μεταφέρει μόνο την ενεργή ισχύ που απαιτεί το φορτίο. Είναι λοιπόν:

$$Q_R = 0 \text{ MVA}_r \quad (2.7)$$

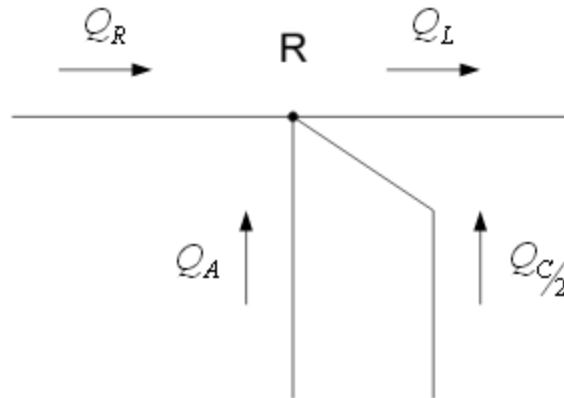




# Άσκηση 4<sup>η</sup>

## Επίλυση (5/6)

- Για τον ισολογισμό της αεργής ισχύος στο άκρο R μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το (σχ. 2.2):



σχ. 2.2



# Άσκηση 4<sup>η</sup>

## Επίλυση (6/6)

$$Q_A = Q_L - Q_{C/2} = 21,79 \text{ MVar} \quad (2.8)$$

- Οπότε απαιτούνται πυκνωτές χωρητικότητας:

$$C_Y = \frac{Q_A}{V_R^2 \cdot \omega} = 3,083 \text{ } \mu\text{F} / \text{ph} \quad \text{σε αστέρα, ή}$$

$$C_{\Delta} = \frac{C_Y}{3} = 1,028 \text{ } \mu\text{F} \quad \text{σε τρίγωνο}$$



# Άσκηση 5<sup>η</sup>

## Εκφώνηση

- Δίνεται γραμμή μεταφοράς SR με τα εξής στοιχεία:  $l=150\text{km}$ ,  $U_N=400\text{kV}$ ,  $L'=1\text{mH/km}$ ,  $C'=14\text{nF/km}$ . Στο άκρο R υπάρχει καταναλωτής με στοιχεία  $U_R=400\text{kV}$ ,  $P=600\text{MW}$ ,  $\cos\phi=0.9$  επαγωγικό. Να υπολογιστούν τα απαιτούμενα μέσα αντιστάθμισης στον καταναλωτή ώστε να έχουμε:
  - α) μηδενική πτώση τάσης στη γραμμή
  - β) 5% πτώση τάσης στη γραμμή
  - γ) ελάχιστες απώλειες πάνω στη γραμμή.



# Άσκηση 5<sup>η</sup>

## Επίλυση (1/7)

- Από τα στοιχεία της εκφώνησης μπορούμε καταρχήν να υπολογίσουμε τη σύνθετη αντίσταση σειράς και τις εγκάρσιες αγωγιμότητες της γραμμής. Θα προκύψει:

$$\bar{Z} = 4,5 + j47,12 = 47,36 \angle 84,55^\circ \Omega \quad (3.1)$$

$$\frac{\bar{Y}}{2} = j0,3298 \cdot 10^{-3} S \quad (3.2)$$



# Άσκηση 5<sup>η</sup>

## Επίλυση (2/7)

- α) Θέλουμε μηδενική πτώση τάσης, οπότε η συνθήκη που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι η  $V_S = V_R = 400 \text{ kV}$ .
- Κατά τα γνωστά θα υπολογίσουμε το ισοζύγιο άεργης ισχύος στο άκρο R.
- Η άεργη ισχύς που απαιτεί το φορτίο θα είναι:

$$Q_L = P_L \tan \phi = 290,59 \text{ MVAr} \quad (3.3)$$

- Για την άεργη ισχύ που παραδίνει η γραμμή στο άκρο R θα χρησιμοποιήσουμε τις σχέσεις:

$$P_R = P_L = \frac{V_S V_R}{Z} \cos(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \cos y \Rightarrow \dots \Rightarrow \theta = 10,37^\circ \quad (3.4)$$

$$Q_R = \frac{V_S V_R}{Z} \sin(y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \sin y = -112,66 \text{ MVAr} \quad (3.5)$$

- **ΚΑΙ**



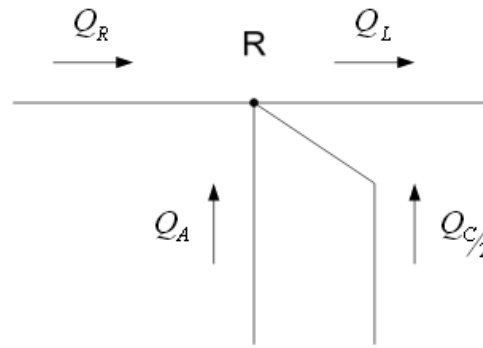
# Άσκηση 5<sup>η</sup>

## Επίλυση (3/7)

- Επίσης, η άεργη ισχύς που θα προσφέρει στο άκρο R η αντίστοιχη ισοδύναμη εγκάρσια αγωγιμότητα της γραμμής θα δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{C/2} = V_R^2 \cdot \frac{C\omega}{2} = 52,768 \text{ MVAR} \quad (3.6)$$

- Από τον ισολογισμό άεργης ισχύος στο άκρο R (σχ . 3.1) θα προκύψει τελικά για την απαιτούμενη αντιστάθμιση:



Σχ. 3.1



# Άσκηση 5<sup>η</sup>

## Επίλυση (4/7)

$$Q_A = Q_L - Q_R - Q_{C/2} = 350,482 \text{ MVar} \quad (3.7)$$

- Οπότε απαιτούνται πυκνωτές χωρητικότητας:

$$C_Y = \frac{Q_A}{V_R^2 \cdot \omega} = 6,972 \mu\text{F} / \text{ph} \quad \text{σε αστέρα, ή}$$

$$C_{\Delta} = \frac{C_Y}{3} = 2,32 \mu\text{F} \quad \text{σε τρίγωνο}$$



# Άσκηση 5<sup>η</sup>

## Επίλυση (5/7)

- Θέλουμε 5% πτώση τάσης, οπότε η συνθήκη που θα χρησιμοποιήσουμε θα είναι η  $V_S = 1,05 \cdot V_R$ .
- Προφανώς η άεργη ισχύς του φορτίου, καθώς και αυτή της ισοδύναμης εγκάρσιας αγωγιμότητας στο άκρο R θα παραμείνουν ίδιες όπως στο προηγούμενο ερώτημα. Αυτή που μεταβάλλεται είναι η άεργη ισχύς που παραδίνεται στο άκρο R από τη γραμμή. Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (3.4) και (3.5) θα προκύψει:

$$\theta = 9,596^\circ \quad (3.10)$$

- και  $Q_R = 62,52 \text{ MVAR} \quad (3.11)$





# Άσκηση 5<sup>η</sup>

## Επίλυση (6/7)

- Από τον ισολογισμό άεργης ισχύος στο άκρο R θα προκύψει:

$$Q_A = Q_L - Q_R - Q_{C/2} = 175,3 \text{ MVAR} \quad (3.12)$$

- Οπότε απαιτούνται πυκνωτές χωρητικότητας:

$$C_Y = \frac{Q_A}{V_R^2 \cdot \omega} = 3,48 \text{ } \mu\text{F} / \text{ph} \quad \text{σε αστέρα, ή}$$

$$C_{\Delta} = \frac{C_Y}{3} = 1,162 \text{ } \mu\text{F} \quad \text{σε τρίγωνο}$$



# Άσκηση 5<sup>η</sup>

## Επίλυση (7/7)

- γ) Η συνθήκη μας για ελάχιστες απώλειες στη γραμμή είναι η  $Q_R = 0 \text{ MVAr}$ . Οι υπόλοιπες άεργες ισχύεις στο άκρο R θα παραμείνουν ίδιες, οπότε ο ισολογισμός άεργης ισχύος στο άκρο R θα δώσει τελικά:

$$Q_A = Q_L - Q_{C/3} = 237,822 \text{ MVAr} \quad (3.15)$$

- Οπότε απαιτούνται πυκνωτές χωρητικότητας:

$$C_Y = \frac{Q_A}{V_R^2 \cdot \omega} = 4,73 \text{ } \mu\text{F} / \text{ph} \quad \text{σε αστέρα, ή}$$

$$C_{\Delta} = \frac{C_Y}{3} = 1,577 \text{ } \mu\text{F} \quad \text{σε τρίγωνο}$$



# 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](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.

