

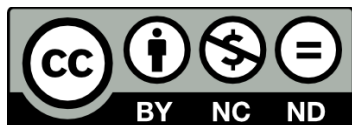


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II

Ενότητα 3: Κοντές Γραμμές Μεταφοράς

Λαμπρίδης Δημήτρης
Ανδρέου Γεώργιος

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.



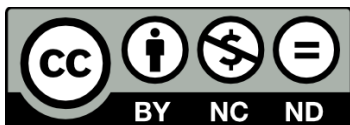


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



Κοντές Γραμμές 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

Περιεχόμενα ενότητας

1. Γραμμές Μεταφοράς
2. Κοντές Γραμμές Μεταφοράς
3. Πτώση Τάσης σε Κοντές ΓΜ
4. Πτώση Τάσης σε Κοντές Γραμμές με Αμελητέες Απώλειες
5. Σχέσεις Ισχύος σε Κοντές Γραμμές
6. Σχέσεις Ισχύος σε Κοντές Γραμμές με Αμελητέες Απώλειες
7. Συμπεράσματα



Γραμμές Μεταφοράς (1/2)

- Οι μελέτες που απαιτούνται για τον προσδιορισμό μιας Γραμμής Μεταφοράς (ΓΜ) Ηλεκτρικής Ενέργειας αφορούν σε:

A) Υπολογισμούς μηχανικής αντοχής:

- Οι **δυνάμεις** προσδιορίζουν τη **μηχανική αντοχή** αγωγών και μονωτήρων.
- Το **βέλος** προσδιορίζει το **ύψος** των πύργων και τις αποστάσεις ανάρτησης.
- Το **ύψος** και οι **δυνάμεις** προσδιορίζουν την απαιτούμενη **αντοχή** του πύργου.



Γραμμές Μεταφοράς (2/2)

B) Υπολογισμούς διηλεκτρικής αντοχής:

- Η **τάση** λειτουργίας και οι πιθανές **υπερτάσεις** προσδιορίζουν τη **μόνωση** και τις **αποστάσεις των αγωγών**.

Γ) Ηλεκτρικούς υπολογισμούς:

- Η μεταφερόμενη **ισχύς** και η **απόσταση** προσδιορίζουν την **πτώση τάσης**, τη **διατομή των αγωγών** και το **είδος της αντιστάθμισης**.



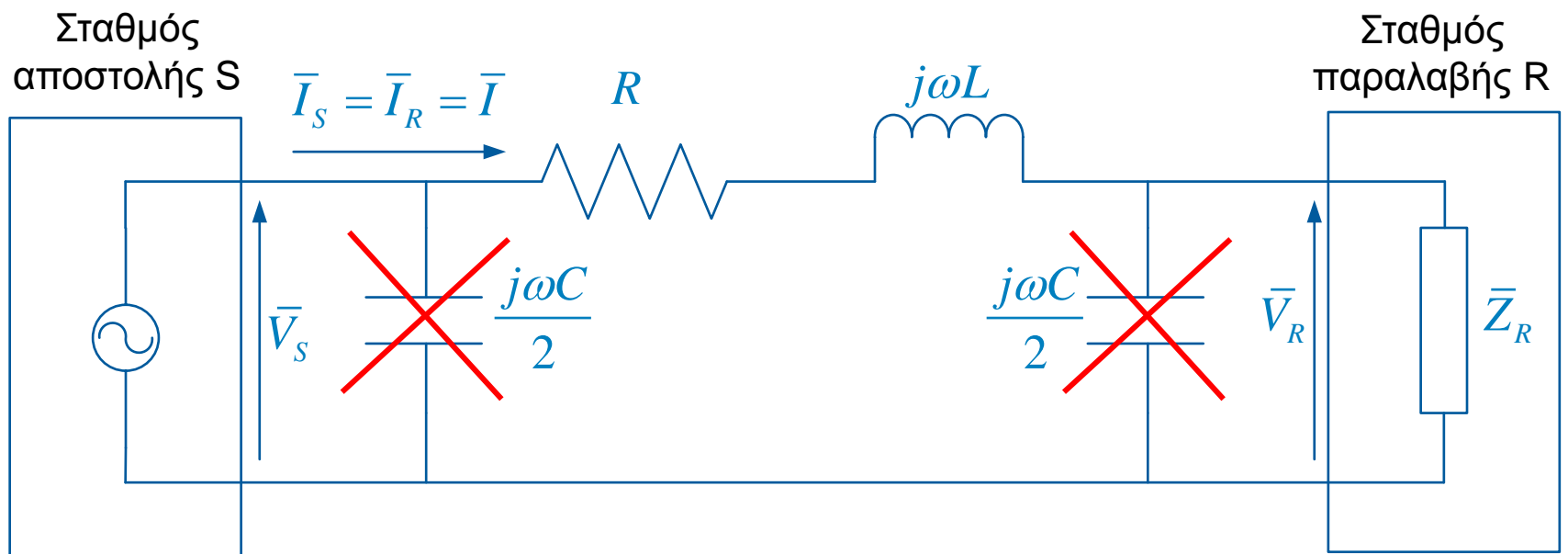
Κοντές Γραμμές Μεταφοράς (1/7)

- **Κοντή ΓΜ** είναι μια γραμμή για την οποία μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το ρεύμα στην αρχή της γραμμής (**σταθμός αποστολής S**) είναι ίσο με το ρεύμα στο τέλος της γραμμής (**σταθμός παραλαβής R**), δηλαδή ότι το χωρητικό ρεύμα $VC\omega$ είναι αμελητέο σε σχέση με το ρεύμα του φορτίου I_r .



Κοντές Γραμμές Μεταφοράς (2/7)

- Απεικόνιση με ισοδύναμο κύκλωμα συγκεντρωμένων παραμέτρων:



Κοντές Γραμμές Μεταφοράς (3/7)

- **Κοντή ΓΜ** είναι μια γραμμή για την οποία μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το ρεύμα στην αρχή της γραμμής (**σταθμός αποστολής S**) είναι ίσο με το ρεύμα στο τέλος της γραμμής (**σταθμός παραλαβής R**), δηλαδή ότι το χωρητικό ρεύμα $V_C\omega$ είναι **αμελητέο** σε σχέση με το ρεύμα του φορτίου I_r .
- Εξίσωση κοντής ΓΜ: $\bar{V}_S = \bar{V}_R + \bar{I}\bar{Z}$.



Κοντές Γραμμές Μεταφοράς (4/7)

- Χωρητικά ρεύματα σε εναέρια γραμμές μεταφοράς και καλώδια:

Τάση [kV]	Χωρητικό Ρεύμα [A/km]	
	Εναέρια ΓΜ	Καλώδια
20	0,04	0,5 ... 1,5
150	0,33	3,7 ... 11
400	0,87	10 ... 30



Κοντές Γραμμές Μεταφοράς (5/7)

- Ορισμοί μεγεθών:

Τάσεις στα άκρα R, S :
$$\bar{V}_R = V_R \angle 0^\circ \quad \bar{V}_S = V_S \angle \theta$$

Ρεύμα κυκλώματος:
$$\bar{Z}_R = Z_R \angle \phi = R_R + jX_R \quad \bar{I} = I \angle -\phi$$

$$\text{όπου } \phi = \tan^{-1} \frac{X_R}{R_R}$$

Γραμμή μεταφοράς:
$$\bar{Z} = Z \angle \gamma = R + jX \quad \text{όπου } \gamma = \tan^{-1} \frac{X}{R}$$



Κοντές Γραμμές Μεταφοράς (6/7)

- Μιγαδική ισχύς άκρου παραλαβής R :

$$\bar{S}_R = P_R + jQ_R = V_R I \cos \varphi + jV_R I \sin \varphi$$

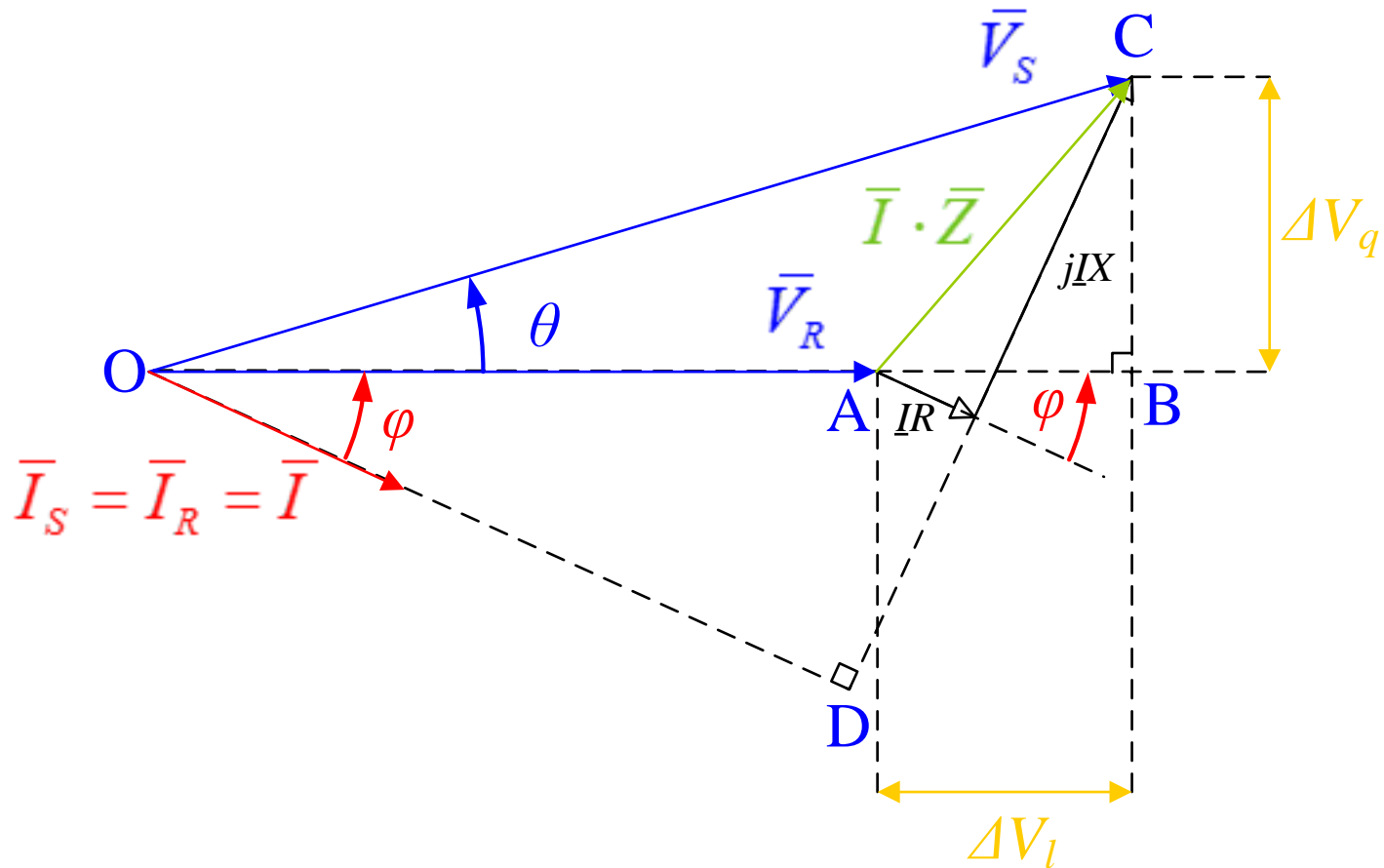
- Μιγαδική ισχύς άκρου αποστολής S :

$$\bar{S}_S = P_S + jQ_S = V_S I \cos(\psi + \varphi) + jV_S I \sin(\psi + \varphi)$$



Κοντές Γραμμές Μεταφοράς (7/7)

- Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων και ρευμάτων κοντής ΓΜ:



Πτώση Τάσης σε Κοντές ΓΜ (1/4)

- Πτώση τάσης σε μία ΓΜ είναι η διαφορά των μέτρων $V_S - V_R$. Από το τρίγωνο OBC στο διανυσματικό διάγραμμα θα έχουμε:

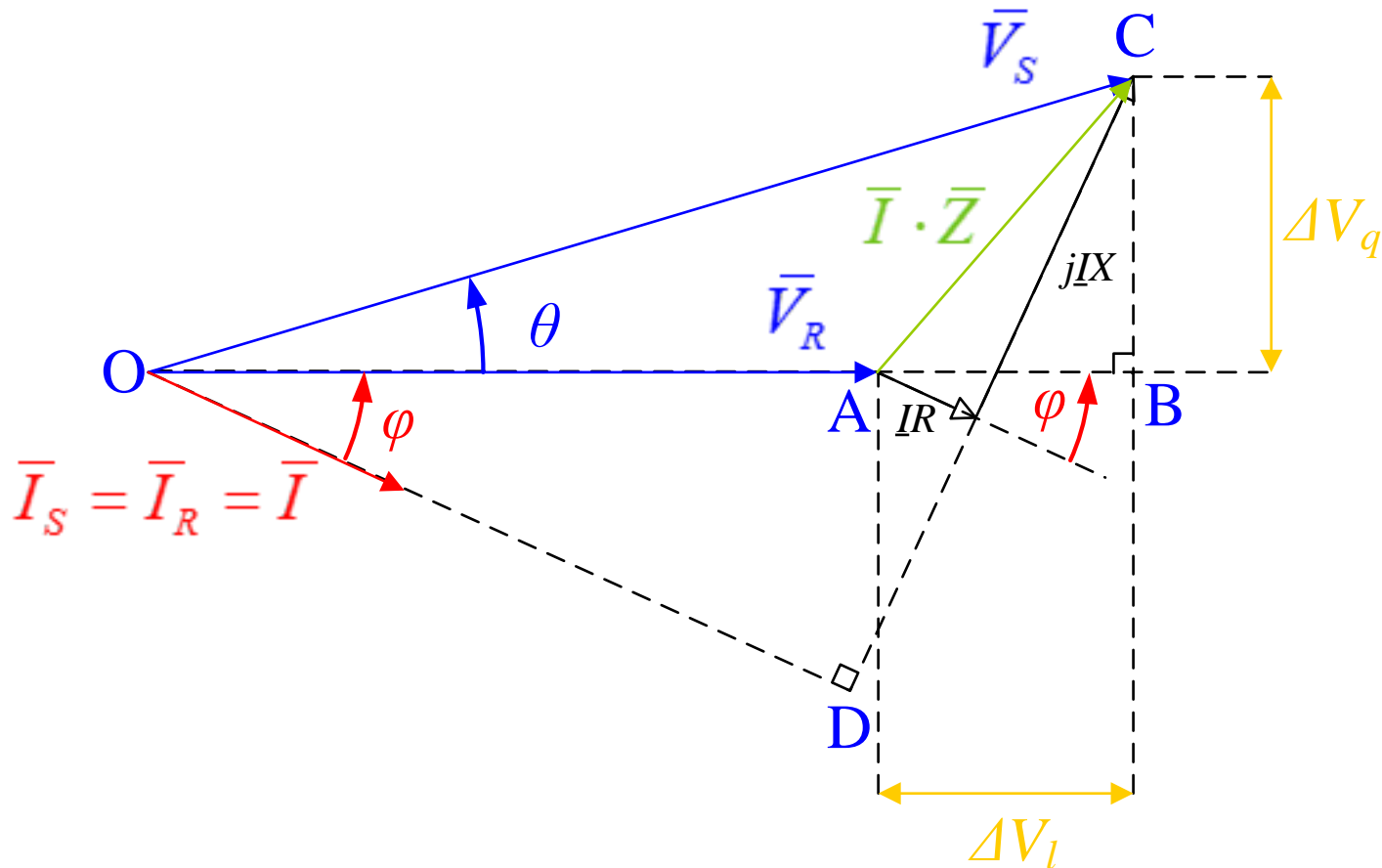
$$V_S = \sqrt{(V_R + IR \cos \varphi + IX \sin \varphi)^2 + (IX \cos \varphi - IR \sin \varphi)^2}$$

- Αυτή είναι και η ακριβής σχέση υπολογισμού της V_S συναρτήσει της V_R , υπό την παραδοχή ότι η φόρτιση του άκρου R είναι δεδομένη, δηλαδή τα P_R και Q_R είναι γνωστά.



Πτώση Τάσης σε Κοντές ΓΜ (2/4)

- Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων και ρευμάτων κοντής ΓΜ:



Πτώση Τάσης σε Κοντές ΓΜ (3/4)

- Με τη βοήθεια του τριγώνου ABC στο διανυσματικό διάγραμμα μπορούμε να διαχωρίσουμε σε:

- Διαμήκη πτώση τάσης:

$$\Delta V_l = IR \cos \varphi + IX \sin \varphi = \frac{P_R}{V_R} R + \frac{Q_R}{V_R} X$$

- Εγκάρσια πτώση τάσης:

$$\Delta V_q = IX \cos \varphi - IR \sin \varphi = \frac{P_R}{V_R} X - \frac{Q_R}{V_R} R$$



Πτώση Τάσης σε Κοντές ΓΜ (4/4)

- Θα είναι λοιπόν:

$$V_S^2 = (V_R + \Delta V_l)^2 + (\Delta V_q)^2$$

- Για μικρές γωνίες ϑ , μπορούμε να κάνουμε την προσέγγιση:

$$\Delta V_q \ll \Delta V_l$$

οπότε τελικά προκύπτει προσεγγιστικά:

$$V_S \approx V_R + \Delta V_l$$

$$V_S \approx V_R + \frac{P_R}{V_R} R + \frac{Q_R}{V_R} X = V_R + IR \cos \varphi + IX \sin \varphi$$

- Αυτή η παραδοχή ισχύει συνήθως στα **δίκτυα διανομής**.



Πτώση Τάσης σε Κοντές Γραμμές με Αμελητέες Απώλειες (1/4)

- Οι ΓΜ 150-400 kV έχουν $X/R \approx 3...14$.
- Μπορεί λοιπόν να γίνει η παραδοχή ότι $R \approx 0$, και αντίστοιχα να προκύψει προσεγγιστικά ότι:

$$V_S \approx V_R + \frac{Q_R}{V_R} X$$

δηλαδή η πτώση τάσης είναι ανάλογη του έργου φορτίου που μεταφέρεται.

- **Θετικό Q_R** (επαγωγικό φορτίο) οδηγεί σε **πτώση** της τάσης V_R στο σταθμό παραλαβής.
- Αντίθετα, **αρνητικό Q_R** (χωρητικό φορτίο) οδηγεί σε **ανύψωση** της τάσης V_R .



Πτώση Τάσης σε Κοντές Γραμμές με Αμελητέες Απώλειες (2/4)

- Επίσης, για $R = 0$ προκύπτει για την εγκάρσια πτώση τάσης:

$$\Delta V_q = \frac{P_R}{V_R} X \Rightarrow P_R = \frac{V_R}{X} \Delta V_q$$

δηλαδή η εγκάρσια πτώση τάσης ΔV_q είναι ανάλογη της μεταφερόμενης ενεργής ισχύος P_R .

- Από το τρίγωνο OBC στο διανυσματικό διάγραμμα είναι:

$$\Delta V_q = V_S \sin \theta$$

οπότε η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$P_R = \frac{V_S V_R}{X} \sin \theta$$



Πτώση Τάσης σε Κοντές Γραμμές με Αμελητέες Απώλειες (3/4)

- Αυτό σημαίνει ότι η μεταφορά ενεργού ισχύος γίνεται κυρίως με στροφή της τάσης V_S κατά ϑ , ενώ η μέγιστη τιμή της P_R είναι $V_R V_S / X$.
- Αυτός είναι επίσης ο πρώτος λόγος, για τον οποίο χρησιμοποιούμε υψηλή τάση (ΥΤ) για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας (ΗΕ).



Πτώση Τάσης σε Κοντές Γραμμές με Αμελητέες Απώλειες (4/4)

- Έστω:
 - P_{loss} : ισχύς απωλειών στη ΓΜ.
 - P_{tr} : μεταφερόμενη ισχύς στο φορτίο.
- **Παραδοχή:** Αν στο τέλος της γραμμής υπάρχει καθαρό ωμικό φορτίο

τότε:

$$X_R = 0 \Rightarrow \cos \varphi = 1 \Rightarrow Q_R = 0 \Rightarrow V_R = V_S = V$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{loss} = I^2 R \\ P_{tr} = VI \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{P_{loss}}{P_{tr}} = R \frac{P_{tr}}{V^2}$$

- Αυτός είναι ο **δεύτερος λόγος**, για τον οποίο **χρησιμοποιούμε υψηλή τάση (ΥΤ) για μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας (ΗΕ)**.



Σχέσεις Ισχύος σε Κοντές Γραμμές (1/3)

- Σταθμός παραλαβής R :

$$\bar{S}_R = \bar{V}_R \cdot \bar{I}^* = \frac{V_R V_S}{Z} \angle (y - \theta) - \frac{V_R^2}{Z} \angle y$$

οπότε:

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

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



Σχέσεις Ισχύος σε Κοντές Γραμμές (2/3)

- **Μέγιστο** μεταφερόμενης ενεργής ισχύος έχουμε για

$$y = \theta$$

όπου θα είναι:

$$P_{R \max} = \frac{V_R V_S}{Z} - \frac{V_R^2}{Z} \cos y$$



Σχέσεις Ισχύος σε Κοντές Γραμμές (3/3)

- Σταθμός αποστολής S :

$$\bar{S}_S = \bar{V}_S \cdot \bar{I}^* = \frac{V_S^2}{Z} \angle y - \frac{V_S V_R}{Z} \angle (y + \theta)$$

οπότε:

$$P_S = \frac{V_S^2}{Z} \cos(y) - \frac{V_S V_R}{Z} \cos(y + \theta)$$

$$Q_S = \frac{V_S^2}{Z} \sin(y) - \frac{V_S V_R}{Z} \sin(y + \theta)$$



Σχέσεις Ισχύος σε Κοντές Γραμμές με Αμελητέες Απώλειες (1/2)

- Παραδοχή: $R = 0$, οπότε $\gamma = 90^\circ$ και από τις προηγούμενες σχέσεις προκύπτει:
- Σταθμός παραλαβής R :

$$P_R = \frac{V_R V_S}{X} \sin(\theta)$$

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



Σχέσεις Ισχύος σε Κοντές Γραμμές με Αμελητέες Απώλειες (2/2)

- Σταθμός αποστολής S :

$$P_S = \frac{V_S V_R}{X} \sin(\theta)$$

$$Q_S = \frac{V_S^2}{X} - \frac{V_S V_R}{X} \cos(\theta)$$



Έλεγχος της Τάσης (1/2)

- ΧΤ: όρια $\pm 5\%$ (\leftarrow ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ).
- ΥΤ: όρια $\pm 10\%$ (\leftarrow ΚΑΤΑΝΑΛΩΤΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ).
- Διόρθωση τάσης γίνεται με:
 - **Αλλαγή λόγου μετασχηματισμού ($\pm 12\%$)**
 - Διακόπτες υπό φορτίου (On Load Tap Changers – OLTC).
 - Γίνεται με ηλεκτρονόμους ανίχνευσης τάσης.
 - Εισάγεται χρονική καθυστέρηση στον ηλεκτρονόμο για να μη διεγερθεί από μεταβατικά φαινόμενα.



Έλεγχος της Τάσης (2/2)

– Αλλαγή άεργης ισχύος Q_R :

- L ή C παράλληλα στο φορτίο \rightarrow διόρθωση $\cos\varphi$.

– Μείωση αντίστασης γραμμής ($R \downarrow$):

- Γραμμή μεγαλύτερης διατομής.
- Ισορροπία στο οικονομικό όριο.

– Μείωση αντίδρασης γραμμής ($X \downarrow$):

- Δεν μπορούμε φυσικά να μειώσουμε την απόσταση μεταξύ των αγωγών, λόγω κινδύνου διάσπασης, επαφής αγωγών.
- Λύση: Κύκλωμα πολλαπλών αγωγών/φάση (π.χ. 2 αγωγοί/φάση \Rightarrow 20% μείωση της αυτεπαγωγής L).



Συμπεράσματα

- Σε ΓΜ με αμελητέες απώλειες ($R \rightarrow 0$) η πτώση τάσης δίνεται με ικανοποιητική ακρίβεια από τη σχέση:

$$V_S - V_R \approx \frac{Q_R}{V_R} X$$

- Όσο μειώνεται ο $\cos\phi$ των επαγωγικών φορτίων των ΓΜ, τόσο αυξάνεται η πτώση τάσης.
- Μπορούμε να αντιμετωπίσουμε το φαινόμενο αυξάνοντας το συνολικό $\cos\phi$, με την προσθήκη πυκνωτών.
- Χωρητικό φορτίο σε ΓΜ θα προκαλέσει ανύψωση τάσης στο άκρο R .



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λαμπρίδης Δημήτρης, Ανδρέου Γεώργιος. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II, Κοντές Γραμμές 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

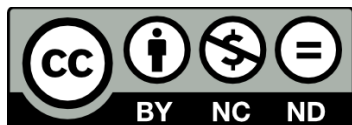
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ