

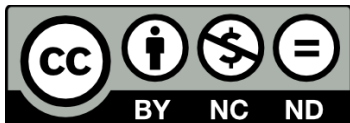


# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II

Ενότητα 7: Η Ομοιογενής Γραμμή Μεταφοράς ως Τετράπολο

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.

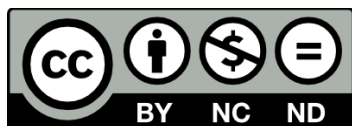


Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





# Η Ομοιογενής Γραμμή Μεταφοράς ως Τετράπολο



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. Η Γραμμή Μεταφοράς ως τετράπολο
2. Ισοδύναμα Π- και Τ- τετράπολα μιας γραμμής μεταφοράς
3. Υπολογισμός σφάλματος που υπεισέρχεται στην προσέγγιση μιας γραμμής μεταφοράς με τα στοιχεία της συγκεντρωμένα



# Ομοιογενής Γραμμή Μεταφοράς (1/3)

- Οι εξισώσεις τάσεων και γραμμών μιας ομοιογενούς μακριάς γραμμής μεταφοράς μπορούν να γραφούν για το άκρο αποστολής  $S$  ως:

$$\bar{V}_S = \cosh(\bar{\gamma} \ell) \bar{V}_R + \sinh(\bar{\gamma} \ell) \bar{Z}_0 \bar{I}_R = \bar{A} \bar{V}_R + \bar{B} \bar{I}_R$$

$$\bar{I}_S = \frac{\sinh(\bar{\gamma} \ell)}{\bar{Z}_0} \bar{V}_R + \cosh(\bar{\gamma} \ell) \bar{I}_R = \bar{C} \bar{V}_R + \bar{D} \bar{I}_R$$

Όπου:

$$\bar{A} = \bar{D} = \cosh(\bar{\gamma} \ell)$$

$$\bar{B} = \bar{Z}_0 \sinh(\bar{\gamma} \ell)$$

$$\bar{C} = \frac{\sinh(\bar{\gamma} \ell)}{\bar{Z}_0}$$



# Ομοιογενής Γραμμή Μεταφοράς (2/3)

- Οι εξισώσεις αυτές μπορούν να γραφούν υπό μορφή πινάκων ως εξής:

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_S &= \bar{A} \bar{V}_R + \bar{B} \bar{I}_R \\ \bar{I}_S &= \bar{C} \bar{V}_R + \bar{D} \bar{I}_R \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_S \\ \bar{I}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{B} \\ \bar{C} & \bar{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{I}_R \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_S \\ \bar{I}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{I}_R \end{bmatrix}$$



# Ομοιογενής Γραμμή Μεταφοράς (3/3)

όπου ο πίνακας  $[\bar{T}]$  των παραμέτρων μεταφοράς είναι:

$$[\bar{T}] = \begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{B} \\ \bar{C} & \bar{D} \end{bmatrix}$$

$$\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{D} = ct$$

Παρατηρούμε ότι:  $\bar{A} = \bar{D}$  , επομένως προκύπτουν τα εξής

$$\bar{A} \bar{D} - \bar{B} \bar{C} = 1$$

συμπεράσματα:





# Ομοιογενής ΓΜ ως Τετράπολο (1/2)

- Οι εξισώσεις:

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_S &= \bar{A} \bar{V}_R + \bar{B} \bar{I}_R \\ \bar{I}_S &= \bar{C} \bar{V}_R + \bar{D} \bar{I}_R \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{bmatrix} \bar{V}_S \\ \bar{I}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{B} \\ \bar{C} & \bar{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{I}_R \end{bmatrix}$$

περιγράφουν ένα γραμμικό, συμμετρικό, παθητικό τετράπολο με παραμέτρους μεταφοράς:  $\bar{A}$ ,  $\bar{B}$ ,  $\bar{C}$  και  $\bar{D}$  .

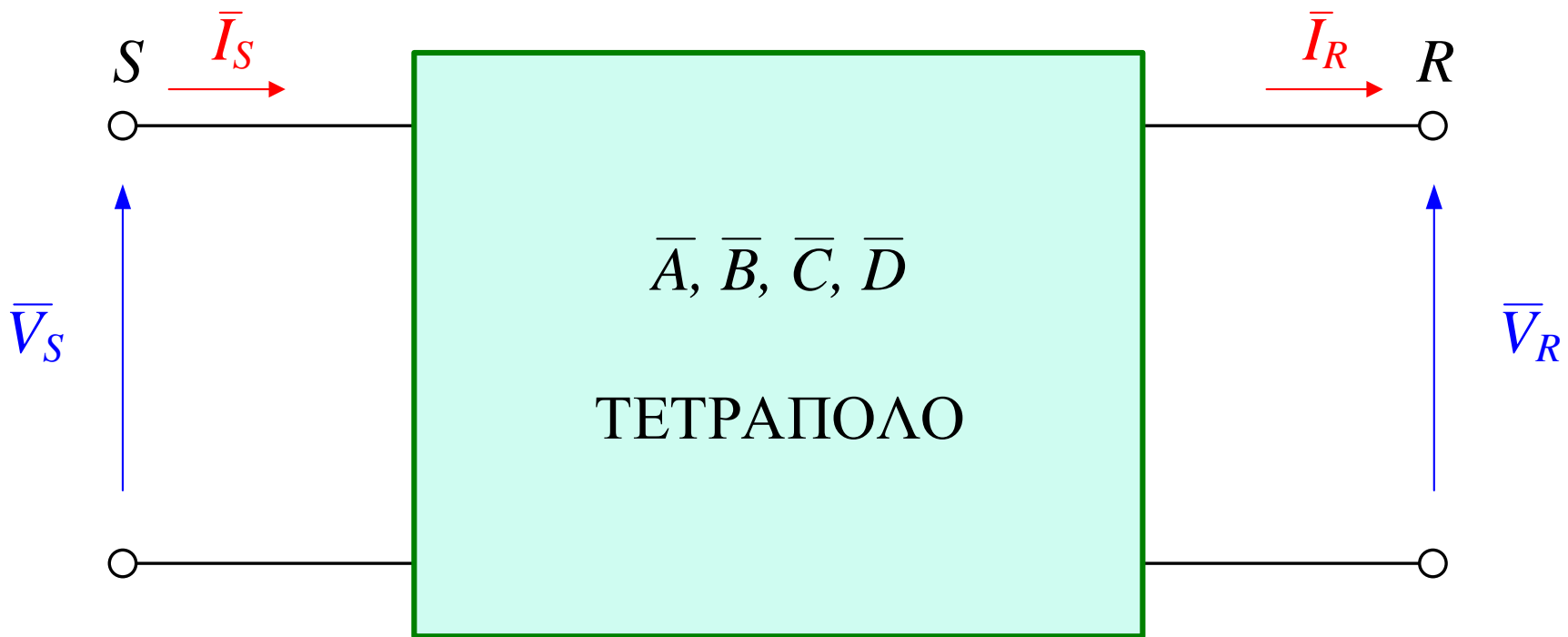


# Ομοιογενής ΓΜ ως Τετράπολο (2/2)

- Το τετράπολο αυτό μπορεί να προσομοιώσει πλήρως μια μακριά ομοιογενή γραμμή μεταφοράς, όσον αφορά σε **υπολογισμούς των τερματικών μεγεθών τάσης – ρεύματος** (δηλαδή  $\bar{V}_S$  και  $\bar{I}_S$  συναρτήσει των  $\bar{V}_R$  και  $\bar{I}_R$  και αντίστροφα)
- Το  $ABCD$  τετράπολο μπορεί να είναι ένα  **$\Pi$ -τετράπολο** η ένα  **$T$ -τετράπολο**.



# Αναφορές Τάσεων και Ρευμάτων ABCD Τετραπόλου (1/2)



# Αναφορές Τάσεων και Ρευμάτων ABCD Τετραπόλου (2/2)

- Από τις αρχικές σχέσεις τάσεων και ρευμάτων:

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_S &= \bar{A} \bar{V}_R + \bar{B} \bar{I}_R \\ \bar{I}_S &= \bar{C} \bar{V}_R + \bar{D} \bar{I}_R \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{bmatrix} \bar{V}_S \\ \bar{I}_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A} & \bar{B} \\ \bar{C} & \bar{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{I}_R \end{bmatrix}$$

προκύπτουν για συγκεκριμένες συνθήκες και οι παρακάτω σχέσεις για τις ABCD παράμετρος:

$$\bar{A} = \frac{\bar{V}_S}{\bar{V}_R} \quad [\bar{I}_R = 0] \qquad \bar{C} = \frac{\bar{I}_S}{\bar{V}_R} \quad [\bar{I}_R = 0]$$

$$\bar{B} = \frac{\bar{V}_S}{\bar{I}_R} \quad [\bar{V}_R = 0] \qquad \bar{D} = \frac{\bar{I}_S}{\bar{I}_R} \quad [\bar{V}_R = 0]$$



# Αντίστροφες παράμετροι μεταφοράς

- Από τις παραπάνω σχέσεις μπορούμε να υπολογίσουμε και τη σχέση των  $\bar{V}_R$  και  $\bar{I}_R$  από τις  $\bar{V}_S$  και  $\bar{I}_S$  :

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{I}_R \end{bmatrix} = [\bar{T}]^{-1} \begin{bmatrix} \bar{V}_S \\ \bar{I}_S \end{bmatrix} \Rightarrow$$

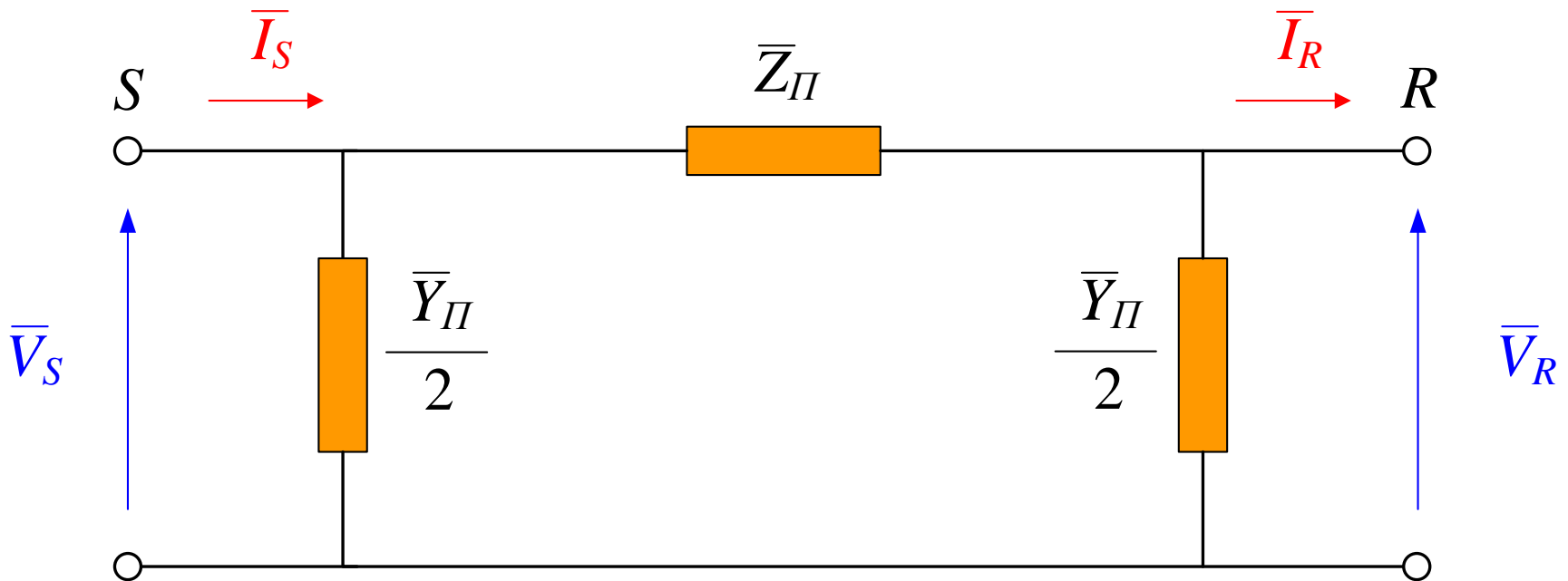
$$\begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{I}_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{D} & -\bar{B} \\ -\bar{C} & \bar{A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{V}_S \\ \bar{I}_S \end{bmatrix} \Rightarrow$$

$$\bar{V}_R = \bar{D} \bar{V}_S - \bar{B} \bar{I}_S$$

$$\bar{I}_R = -\bar{C} \bar{V}_S + \bar{A} \bar{I}_S$$

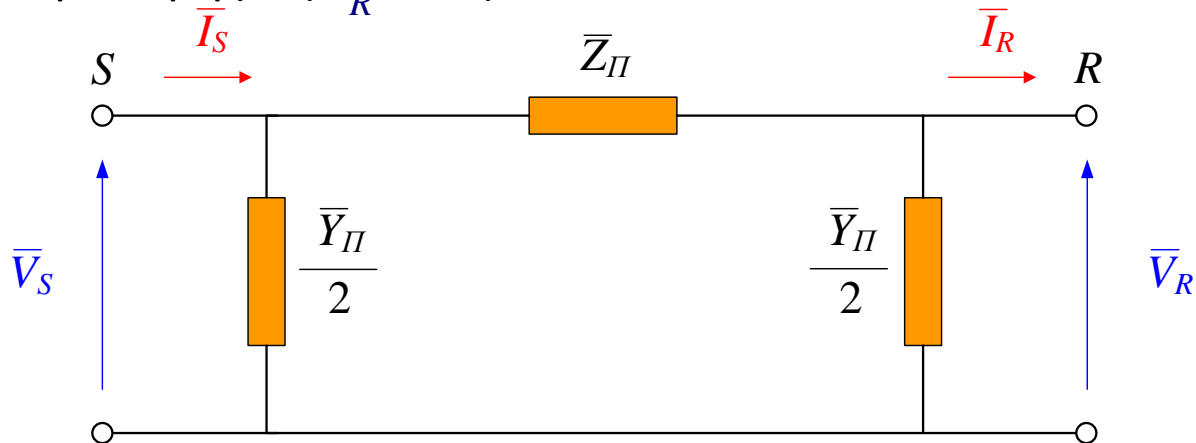


# Ισοδύναμο Π-τετράπολο Μακριάς Ομοιογενούς ΓΜ (1/8)



# Ισοδύναμο Π-τετράπολο Μακριάς Ομοιογενούς ΓΜ (2/8)

- Για να υπολογίσουμε τις παραμέτρους του Π-τετραπόλου, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε κάποιες οριακές συνθήκες. Π.χ., για ανοιχτό κύκλωμα στο άκρο παραλαβής  $R$  ( $\bar{I}_R = 0$ ):

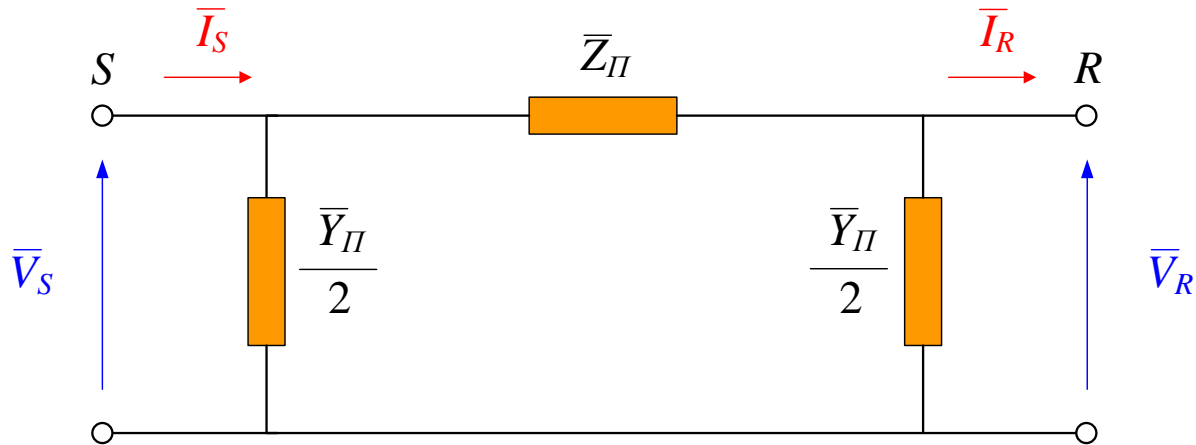


$$\bar{Z}_S = \frac{\bar{V}_S}{\bar{I}_S} = \left( \frac{2}{\bar{Y}_\Pi} \right) \parallel \left( \bar{Z}_\Pi + \frac{2}{\bar{Y}_\Pi} \right) = \frac{1 + \frac{\bar{Y}_\Pi \bar{Z}_\Pi}{2}}{\frac{\bar{Y}_\Pi}{2} \left( 2 + \frac{\bar{Y}_\Pi \bar{Z}_\Pi}{2} \right)} = \frac{\bar{A}}{\bar{C}}$$



# Ισοδύναμο Π-τετράπολο Μακριάς Ομοιογενούς ΓΜ (3/8)

- Αντίστοιχα, για βραχυκύκλωμα στο άκρο παραλαβής  $R$  ( $\bar{V}_R = 0$ ):



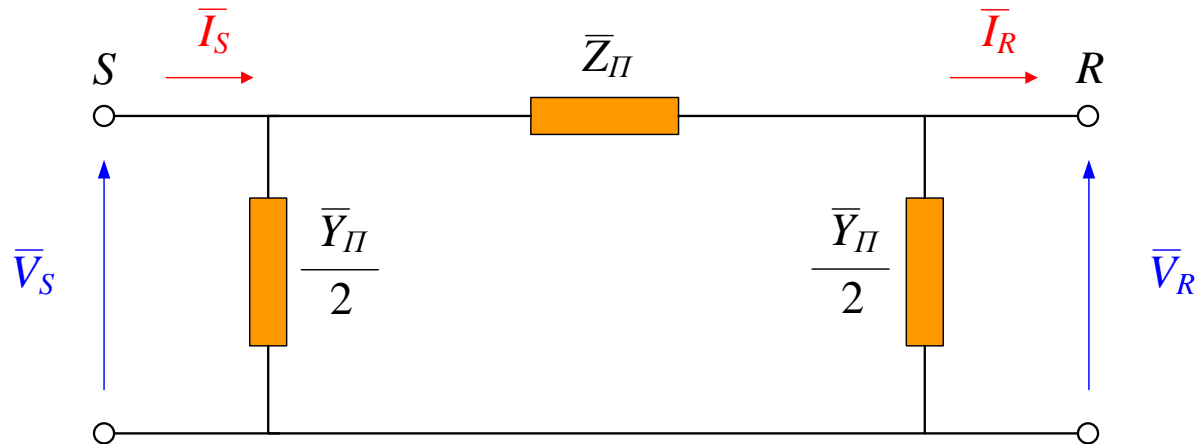
$$\bar{Z}_S = \frac{\bar{V}_S}{\bar{I}_S} = \left( \frac{2}{\bar{Y}_\Pi} \right) \parallel (\bar{Z}_\Pi) = \frac{\bar{Z}_\Pi}{1 + \frac{\bar{Y}_\Pi \bar{Z}_\Pi}{2}} = \frac{\bar{B}}{\bar{D}}$$





# Ισοδύναμο Π-τετράπολο Μακριάς Ομοιογενούς ΓΜ (4/8)

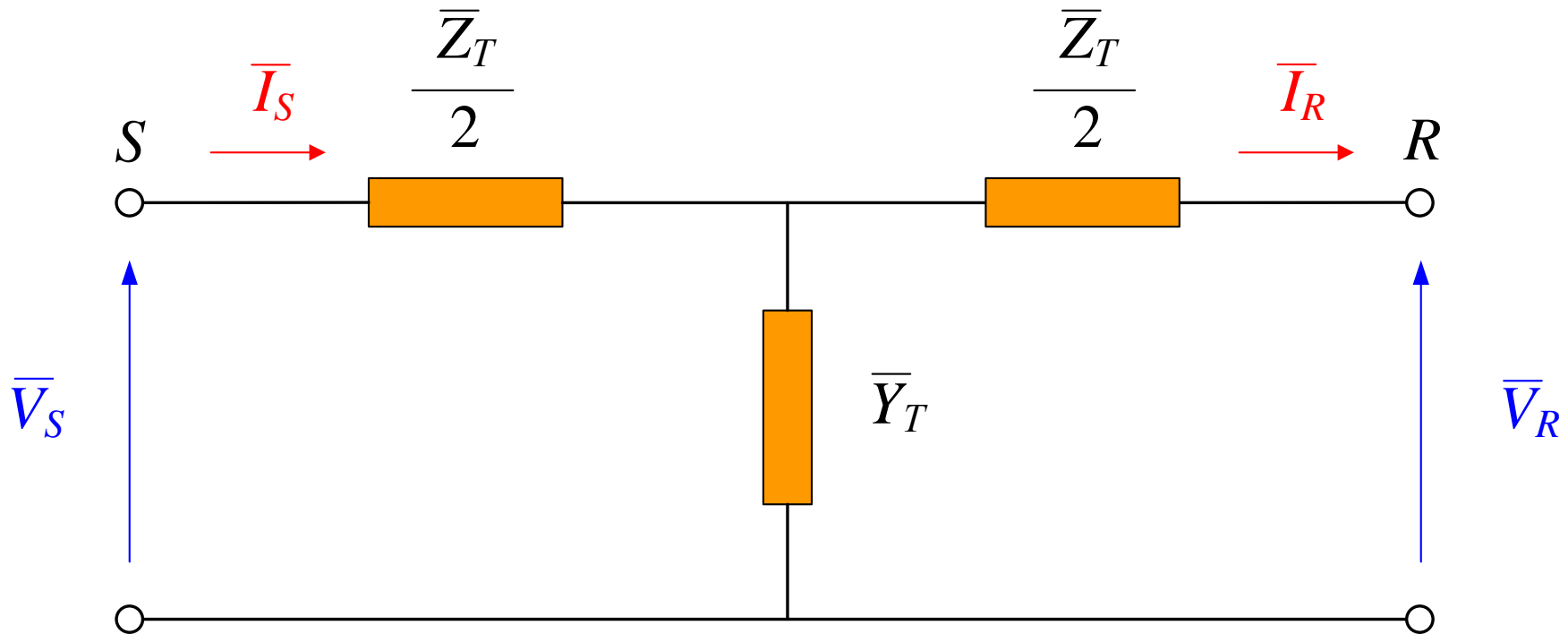
- Τα στοιχεία του Π-τετραπόλου θα είναι:



$$\frac{\bar{Y}_{\Pi}}{2} = \frac{\tanh\left(\frac{1}{2} \bar{\gamma} \ell\right)}{\bar{Z}_0} \quad \text{και} \quad \bar{Z}_{\Pi} = \bar{Z}_0 \sinh(\bar{\gamma} \ell)$$

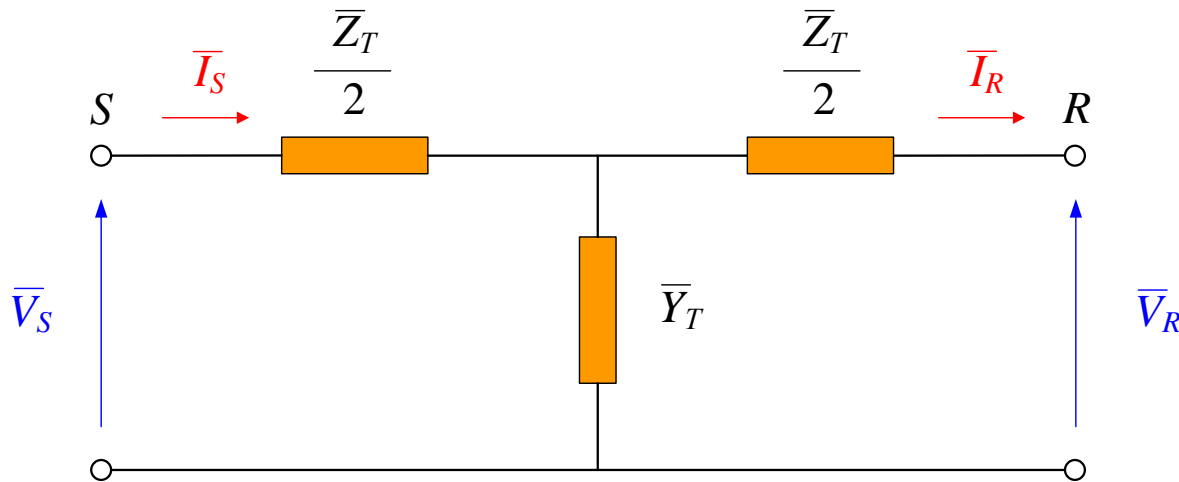


# Ισοδύναμο Τ-τετράπολο Μακριάς Ομοιογενούς ΓΜ (5/8)



# Ισοδύναμο Τ-τετράπολο Μακριάς Ομοιογενούς ΓΜ (6/8)

- Και σε αυτή την περίπτωση, για ανοιχτό κύκλωμα στο άκρο παραλαβής  $R$  ( $\bar{I}_R = 0$ ) θα είναι:

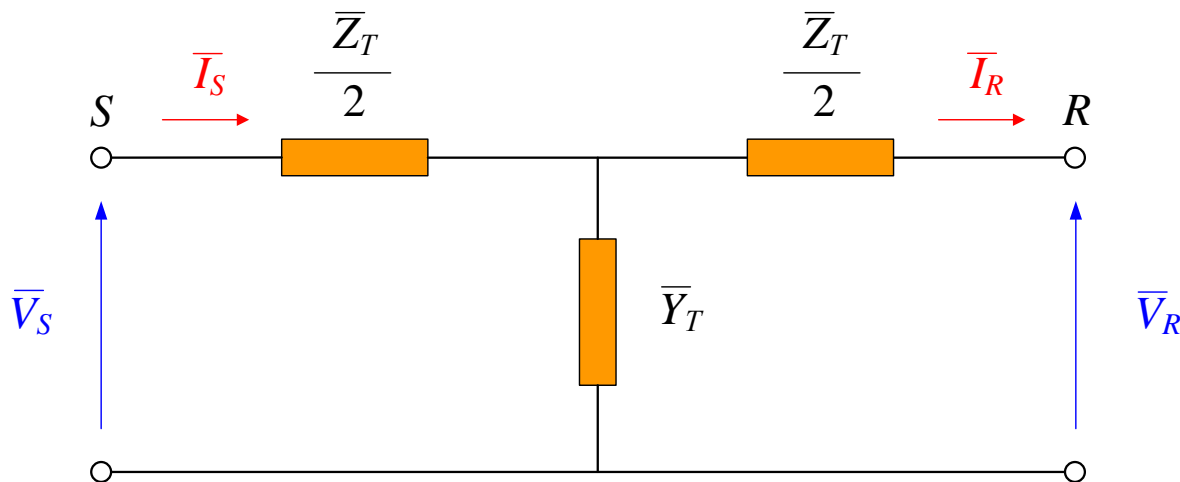


$$\bar{Z}_S = \frac{\bar{V}_S}{\bar{I}_S} = \left( \frac{\bar{Z}_T}{2} \right) + \left( \frac{1}{\bar{Y}_T} \right) = \frac{1 + \frac{\bar{Y}_T \bar{Z}_T}{2}}{\bar{Y}_T} = \frac{\bar{A}}{\bar{C}}$$



# Ισοδύναμο Τ-τετράπολο Μακριάς Ομοιογενούς ΓΜ (7/8)

- Αντίστοιχα, για βραχυκύκλωμα στο άκρο παραλαβής  $R$  ( $\bar{V}_R = 0$ ):

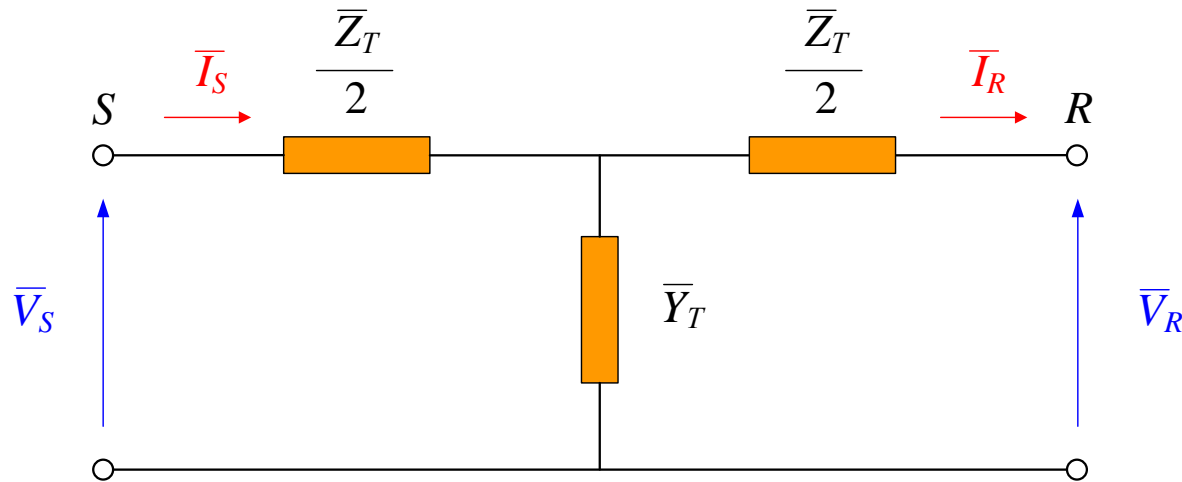


$$\bar{Z}_S = \frac{\bar{V}_S}{\bar{I}_S} = \left( \frac{\bar{Z}_T}{2} \right) + \left( \frac{1}{\bar{Y}_T} \parallel \frac{\bar{Z}_T}{2} \right) = \frac{\bar{Z}_T \left( 2 + \frac{\bar{Y}_T \bar{Z}_T}{2} \right)}{1 + \frac{\bar{Y}_T \bar{Z}_T}{2}} = \frac{\bar{B}}{\bar{D}}$$



# Ισοδύναμο Τ-τετράπολο Μακριάς Ομοιογενούς ΓΜ (8/8)

- Τα στοιχεία του Τ-τετραπόλου θα είναι:



$$\frac{\bar{Z}_T}{2} = \bar{Z}_0 \tanh\left(\frac{1}{2} \bar{\gamma} \ell\right) \quad \text{και} \quad \bar{Y}_T = \frac{\sinh(\bar{\gamma} \ell)}{\bar{Z}_0}$$



# Γραμμή Μεταφοράς Μικρού Μήκους ως Τετράπολο (1/3)

- **Ορισμός:** Ονομάζουμε Γραμμή Μεταφοράς Μικρού Μήκους τη Γραμμή Μεταφοράς για την οποία ισχύει η σχέση:

$$|\bar{\gamma} \ell| \ll 1$$

- Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις εξής προσεγγίσεις για τις σύνθετες αντιστάσεις και αγωγιμότητες των τετραπόλων:

$$\left. \begin{aligned} \sinh \bar{x} &= \bar{x} + \frac{\bar{x}^3}{3!} + \frac{\bar{x}^5}{5!} + \frac{\bar{x}^7}{7!} + \dots \\ \tanh \bar{x} &= \bar{x} - \frac{\bar{x}^3}{3} + \frac{2\bar{x}^5}{15} - \frac{17\bar{x}^7}{315} + \dots \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} \sinh(\bar{\gamma} \ell) &= \bar{\gamma} \ell \left[ 1 + \frac{1}{6}(\bar{\gamma} \ell)^2 \right] + R_s(3) \\ \tanh \frac{(\bar{\gamma} \ell)}{2} &= \frac{\bar{\gamma} \ell}{2} \left[ 1 - \frac{1}{12}(\bar{\gamma} \ell)^2 \right] + R_t(3) \end{aligned}$$

όπου  $R_s(3)$ ,  $R_t(3)$  είναι υπόλοιπα με όρους  $\geq 3^{\text{ης}}$  τάξης.



# Γραμμή Μεταφοράς Μικρού Μήκους ως Τετράπολο (2/3)

- Επίσης θα είναι:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\gamma} &= \sqrt{\bar{Z}' \bar{Y}'} \\ \bar{Z}_0 &= \sqrt{\frac{\bar{Z}'}{\bar{Y}'}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\bar{\gamma} \bar{Z}_0 = \bar{Z}' = R' + jL'\omega \Rightarrow \bar{\gamma} \bar{Z}_0 \ell = R + jL\omega = \bar{Z}$$

$$\frac{\bar{\gamma}}{\bar{Z}_0} = \bar{Y}' = G' + jC'\omega \Rightarrow \frac{\bar{\gamma}}{\bar{Z}_0} \ell = G + jC\omega = \bar{Y}$$



# Γραμμή Μεταφοράς Μικρού Μήκους ως Τετράπολο (3/3)

- Άρα λοιπόν για το  $\Pi$ -τετράπολο θα ισχύουν οι σχέσεις:

$$\bar{Z}_{\Pi} = (R + jL\omega) \left[ 1 + \frac{1}{6}(\bar{\gamma} \ell)^2 \right]$$
$$\frac{\bar{Y}_{\Pi}}{2} = \frac{1}{2}(G + jC\omega) \left[ 1 - \frac{1}{12}(\bar{\gamma} \ell)^2 \right]$$

- Για το  $T$ -τετράπολο θα ισχύουν αντίστοιχα:

$$\frac{\bar{Z}_T}{2} = \frac{1}{2}(R + jL\omega) \left[ 1 - \frac{1}{12}(\bar{\gamma} \ell)^2 \right]$$
$$\bar{Y}_T = (G + jC\omega) \left[ 1 + \frac{1}{6}(\bar{\gamma} \ell)^2 \right]$$





# Υπολογισμός Σφάλματος σε Εναέριες ΓΜΧΑ (1/5)

- Είναι δυνατή η προσέγγιση μιας μακριάς ομοιογενούς ΓΜ με συγκεντρωμένα στοιχεία, ισομοιρασμένα στα σκέλη των ισοδυνάμων  $\Pi$  και  $T$  τετραπόλων.
- Το σφάλμα που υπεισέρχεται με αυτή την προσέγγιση θα είναι μικρότερο η ίσο του  $|\bar{\gamma} \ell|$ .
- Το σφάλμα που υπεισέρχεται στους υπολογισμούς για τον προσδιορισμό των  $L'$  και  $C'$  μιας ΓΜ είναι της τάξης του 5%
- Μπορούν λοιπόν να επιτραπούν προσεγγίσεις που επιφέρουν σφάλματα μικρότερα του 5%.



# Υπολογισμός Σφάλματος σε Εναέριες ΓΜΧΑ (2/5)

- Σε εναέριες ΓΜΧΑ είναι όμως:

$$\left. \begin{array}{l} R' \rightarrow 0 \\ G' \rightarrow 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} \bar{\gamma} = j\beta, \quad \beta = \omega\sqrt{L'C'} = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} \\ \bar{\gamma} \ell = j\beta \ell = j\omega \ell \sqrt{L'C'} = j\frac{\omega}{c} \ell = j\frac{2\pi \ell}{\lambda} \end{array}$$

ενώ για συχνότητα  $f = 50$  Hz είναι:

$$\lambda = 6000 \text{ km}, \quad c = 300 \text{ m}/\mu\text{s} \text{ και } \theta \cong 6^\circ / 100 \text{ km}$$



# Υπολογισμός Σφάλματος σε Εναέριες ΓΜΧΑ (3/5)

- Μπορούμε λοιπόν να υπολογίσουμε τα ανηγμένα σφάλματα  $\Delta_1, \Delta_2$  που υπεισέρχονται κατά τον υπολογισμό του διαμήκους και των εγκάρσιων κλάδων του ισοδύναμου  $\Pi$ -τετραπόλου, συναρτήσει του μήκους μιας εναέριας ΓΜΧΑ.

$$\left. \begin{aligned} \sinh(\bar{\gamma}l) &= \sinh(j\beta l) = j \sin(\beta l) \\ \cosh(\bar{\gamma}l) &= \cosh(j\beta l) = \cos(\beta l) \\ \tanh(\bar{\gamma}l) &= \frac{\sinh(\bar{\gamma}l)}{\cosh(\bar{\gamma}l)} = j \tan(\beta l) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} \Delta_1 &= \frac{|\sinh(\bar{\gamma}l)| - |\bar{\gamma}l|}{|\sinh(\bar{\gamma}l)|} = \frac{\sin(\beta l) - \beta l}{\sin(\beta l)} \\ \Delta_2 &= \frac{\left| \tanh\left(\frac{\bar{\gamma}l}{2}\right) \right| - \left| \frac{\bar{\gamma}l}{2} \right|}{\left| \tanh\left(\frac{\bar{\gamma}l}{2}\right) \right|} = \frac{\tan\left(\frac{\beta l}{2}\right) - \frac{\beta l}{2}}{\tan\left(\frac{\beta l}{2}\right)} \end{aligned}$$



# Υπολογισμός Σφάλματος σε Εναέριες ΓΜΧΑ (4/5)

$l$	$\beta l$	$\beta l$	$\Delta_1$	$\Delta_2$
[km]	[°]	[rad]	[%]	[%]
50	3	0,052360	-0,046	0,023
100	6	0,104720	-0,183	0,091
200	12	0,209440	-0,735	0,366
300	18	0,314159	-1,664	0,824
400	24	0,418879	-2,985	1,466
500	30	0,523599	-4,720	2,295
600	36	0,628319	-6,896	3,312
700	42	0,733038	-9,551	4,518
800	48	0,837758	-12,731	5,918



# Υπολογισμός Σφάλματος σε Εναέριες ΓΜΧΑ (5/5)

- Άρα τα σφάλματα σε εναέριες ΓΜΧΑ μήκος  $l < 200$  km είναι  $< 1\%$  (ασήμαντα σφάλματα).
- Τα σφάλματα σε εναέριες ΓΜΧΑ μήκος  $l < 500$  km είναι  $< 5\%$  (επιτρεπτά σφάλματα).



# Παράδειγμα (1/11)

Δίνεται τριφασική εναέρια γραμμή μεταφοράς (ΓΜ) ονομαστικής τάσης **400 kV**,  $f = 50 \text{ Hz}$ .

Η ΓΜ έχει μήκος **400 km** και τα ηλεκτρικά της χαρακτηριστικά είναι:

$$R' = 30,7 \text{ m}\Omega / \text{km}, \quad L' = 0,795 \text{ mH} / \text{km}, \quad G' = 0 \quad \text{και} \quad C' = 14,5 \text{ nF} / \text{km}.$$

Η ΓΜ τροφοδοτεί συνεχώς στο άκρο R τα παρακάτω φορτία:

Φορτίο 1:  $P_1 = 410 \text{ MW}$  με  $\cos\phi_1 = 0,85$  επαγωγικό υπό τάση **400 kV**  
και

Φορτίο 2:  $P_2 = 410 \text{ MW}$  με  $\cos\phi_2 = 0,85$  χωρητικό υπό τάση **400 kV**.

Σε όλες τις παρακάτω περιπτώσεις η τάση στο άκρο παραλαβής R της ΓΜ παραμένει σταθερή και ίση με **400 kV**.



# Παράδειγμα (2/11)

A) Κάνοντας προσομοίωση της ΓΜ με ένα Π-ισοδύναμο τετράπολο με συγκεντρωμένα στοιχεία, ζητούνται:

A1) Να υπολογιστεί η % πτώση τάσης που παρουσιάζεται στη ΓΜ, το ρεύμα  $I_S$  και ο συντελεστής ισχύος στο άκρο αποστολής S.

A2) Η πτώση τάσης που υπολογίστηκε στο ερώτημα (A1) είναι επιτρεπτή ή όχι και γιατί;

A3) Να υπολογιστεί η απαιτούμενη αντιστάθμιση (σε αστέρα) στο άκρο παραλαβής R, έτσι ώστε η τάση στο άκρο αποστολής S της γραμμής να είναι επίσης 400 kV.



# Παράδειγμα (3/11)

- Καταρχήν θα υπολογίσουμε τα συγκεντρωμένα στοιχεία του ισοδύναμου  $\Pi$ -τετραπόλου της ΓΜ, καθώς και τα λειτουργικά στοιχεία των φορτίων:

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΜ

$l$ (Μήκος)	400 km	$f$	50 Hz
$R$	12,280 $\Omega$	$\omega$	314,1592654 rad/s
$L$	0,318 H		
$X$	99,903 $\Omega$		
$Z$	100,655	$y =$	82,99 <sup>o</sup> = 1,448 rad
$C$	5,800E-06 F	$C/2$	2,900E-06 F
$Y/2$	9,111E-04 1/ $\Omega$		
$V_R$	230,940 kV/ph	$\Rightarrow$	$I_{C/2 \text{ imag}}$ 210,401 A





# Παράδειγμα (4/11)

## ΦΟΡΤΙΟ 1

$U_1 =$	400,000 kV				
$P_1 =$	410,000 MW				
$\cos\phi_1 =$	0,850	επαγωγικό			
$\phi_1 =$	0,555 rad	=	31,79 °		
$Q_1 =$	254,095 MVar				
$S_1 =$	482,353 MVA				
$I_1 =$	696,217 A				
$I_1 =$	696,217	-31,79 °	$I_{1 \text{ real}}$	591,784 A	$I_{1 \text{ imag}}$ -366,755 A

## ΦΟΡΤΙΟ 2

$U_2 =$	400,000 kV				
$P_2 =$	410,000 MW				
$\cos\phi_2 =$	0,850	χωρητικό			
$\phi_2 =$	0,555 rad	=	31,79 °		
$Q_2 =$	-254,095 MVar				
$S_2 =$	482,353 MVA				
$I_2 =$	696,217 A				
$I_2 =$	696,217	31,79 °	$I_{2 \text{ real}}$	591,784 A	$I_{2 \text{ imag}}$ = 366,755 A
$I_{\text{KAT}} =$	1183,568	0,00 °	$I_{\text{KAT real}}$	1183,568 A	$I_{\text{KAT imag}}$ = 0,000 A



# Παράδειγμα (5/11)

- Με βάση τα λειτουργικά στοιχεία των φορτίων, μπορούμε να υπολογίσουμε την πτώση τάσης της ΓΜ:

## A1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

$I_R =$	1202,124	$10,08^\circ$	$I_{R\text{real}} =$	1183,568 A	$I_{R\text{imag}} =$	210,401 A
$I_{RZ} =$	120,999	$\varphi_R =$	0,175930312 rad			
$V_S =$	254,909	$28,29^\circ$	$V_{S\text{real}} =$	224,455 kV/ph	$V_{S\text{imag}} =$	120,825 kV/ph
$U_S =$	441,516 kV		$U_S - U_R =$	41,516 kV		
$U_R =$	400,000 kV		$V_S - V_R =$	23,969 kV/ph		
				% ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ	$(U_S - U_R) * 100 / U_R =$	10,379 %

## A2: ΕΠΙΤΡΕΠΤΗ ΠΤΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ;

Όχι, γιατί είναι μεγαλύτερη του  $\pm 10\%$



# Παράδειγμα (6/11)

- Στη συνέχεια υπολογίζουμε το ισοζύγιο άεργης ισχύος στο άκρο  $R$  για να βρούμε την απαιτούμενη αντιστάθμιση:

## A3: ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΓΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ

$P_{\text{KAT}} =$	273,333 MW/ph	$V_R =$	230,940 kV/ph	$Z =$	100,655 Ω/ph	
$Q_{\text{KAT}} =$	0,000 MVar/ph	$V_S =$	230,940 kV/ph	$y =$	1,448 rad	
$P_R = P_{\text{KAT}} =$	273,333 MW/ph	$\Rightarrow$	$\theta =$	0,5694 rad	$=$	32,62 °
$Q_R =$	-117,828 MVar/ph	$Q_{C/2} =$	48,590 MVar/ph			
$Q_{\text{KAT}} = Q_R + Q_{C/2} + Q_{\text{ANT}}$	$\Rightarrow$	$Q_{\text{ANT}} =$	69,238 MVar/ph			ΘΕΤΙΚΗ, ΑΡΑ ΠΥΚΝΩΤΗΣ

$C_{\text{ΑΣΤΕΡΑ}} =$	4,13236E-06 F/ph
$C_{\text{ΤΡΙΓΩΝΟ}} =$	1,37745E-06 F/κλάδο



# Παράδειγμα (7/11)

B) Αν η ίδια ΓΜ θεωρηθεί **μακριά ομοιογενής γραμμή με διανεμημένα στοιχεία**, ζητούνται:

B1) Να υπολογιστεί η % **πτώση τάσης** που παρουσιάζεται στη ΓΜ, το **ρεύμα  $I_S$**  και ο **συντελεστής ισχύος στο άκρο αποστολής S**.

B2) Η πτώση τάσης που υπολογίστηκε στο ερώτημα (B1) είναι επιτρεπτή ή όχι και γιατί;



# Παράδειγμα (8/11)

- Καταρχήν θα υπολογίσουμε πάλι τα στοιχεία της ομοιογενούς μακριάς ΓΜ:

$R' =$	30,700	mΩ/km			
$L' =$	0,795	mH/km			
$\omega L' =$	249,757	mΩ/km			
$Z' = R' + jL'\omega =$	30,7+249,756615960389i	mΩ/km =	251,636	mΩ/km	82,99 °
$=$	3,07E-002+0,249756615960389i	Ω/km =	2,516E-01	Ω/km	82,99 °
$R = R'   =$	12,280	Ω			
$L = L'   =$	0,318	H			
$\omega L =$	99,903	Ω			
$Z = R + j\omega L =$	12,28+99,9026463841554i	Ω =	100,655	Ω	
$G' =$	0,000	μS/km			
$C' =$	14,500	nF/km			
$\omega C' =$	4,555	μS/km			
$Y' = G' + jC'\omega =$	4,5553093477052i	μS/km =	4,555	μS/km	90,00 °
$=$	4,5553093477052E-006i	S/km =	4,555E-06	S/km	90,00 °
$G = G'   =$	0,000E+00	S			
$C = C'   =$	5,800E-06	F			
$\omega C =$	1,822E-03	S			
$Y = G + j\omega C =$	1,82212373908208E-003i	S =	1,822E-03	S	



# Παράδειγμα (9/11)

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΜ (συνέχεια)

$Z_0 =$	234,593074552796-14,3639973975493i	$\Omega =$	235,032	$\Omega$	-3,50 °
$\underline{y} = \alpha + j\beta =$	6,54324516154695E-005+1,06864402541725E-003i	/km =	1,071E-03	/km	86,50 °
$\alpha =$	6,543E-05	Np/km			
$\beta =$	1,069E-03	rad/km			
$=$	0,061	° / km			
$=$	6,123	° / 100 km			
$ \underline{y}  = \alpha + j\beta =$	2,61729806461878E-002+0,4274576101669i	=	0,428		86,50 °
$\alpha =$	0,026	Np			
$\beta =$	0,427	rad			
$=$	24,492	°			
$\sinh( \underline{y} ) =$	2,38207248549585E-002+0,414700511926244i	=	0,415		86,71 °
$\cosh( \underline{y} ) =$	0,91033437085393+1,08514707431505E-002i	=	0,910		0,68 °
		$A =$	0,91033437085393+1,08514707431505E-002i		
		=	0,910		0,68 °
		$B =$	11,5449341558719+96,9437072815717i		
		=	97,629		83,21 °
		$C =$	-6,67231035386789E-006+1,76733550923464E-003i		
		=	1,767E-03		90,22 °



# Παράδειγμα (10/11)

- Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε πάλι τα στοιχεία του φορτίου:

## B1: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΤΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ

ΤΑΣΗ - ΡΕΥΜΑ ΑΚΡΟΥ ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ R (ΔΕΔΟΜΕΝΑ  $P_R, \cos\psi_R$ )

$P_R =$	273,333	MW /ph =	820,000 MW
$\cos\psi_R =$	1,000	επαγωγικό	επαγωγικό χωρητικό
$\psi_R =$	0,000	°	
$U_R =$	230,940	kV/ph =	400,000 kV
$\theta_R =$	0,000	°	(ΤΑΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ)
$\underline{U}_R =$	230940,10767585	V/ph	
$I_R =$	1183,568	A	
$\psi_R =$	0,000	°	
$\underline{I}_R =$	1183,56805183873	A	



# Παράδειγμα (11/11)

- Με βάση αυτά μπορούμε πάλι να υπολογίσουμε την επιθυμητή πτώση τάσης:

<u>ΤΑΣΗ - ΡΕΥΜΑ ΑΚΡΟΥ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ S (ΑΓΝΩΣΤΑ P<sub>S</sub>, Q<sub>S</sub>)</u>			
U <sub>S</sub> =	252,738	kV/ph =	437,755 kV
θ <sub>S</sub> =	27,639	°	
<u>U</u> <sub>S</sub> =	223896,932853506+117245,514587139i	V/ph	
I <sub>S</sub> =	1155,335	A	
ψ <sub>I<sub>S</sub></sub> =	21,370	°	
<u>I</u> <sub>S</sub> =	1075,90177376185+420,992106889057i	A	
ψ <sub>S</sub> =	6,269	°	
cos(ψ <sub>S</sub> ) =	0,994	χωρητικό	
% ΠΤΩΣΗ ΤΑΣΗΣ			(U <sub>S</sub> -U <sub>R</sub> )*100/U <sub>R</sub> = 9,439 %





# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λαμπρίδης Δημήτρης, Ανδρέου Γεώργιος. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II, Η Ομοιογενής Γραμμή Μεταφοράς ως Τετράπολο». 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

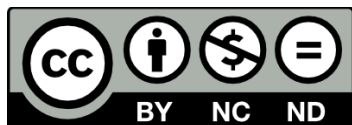
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





# Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα  
Θεσσαλονίκη, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ