

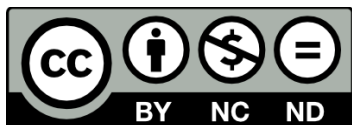


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II

Ενότητα 8: Ισχύς Εισόδου και Εξόδου ΓΜ, Ευστάθεια ΣΓ – Άπειρου Ζυγού, Λειτουργικά Διαγράμματα Μακρών Ομοιογενών ΓΜ

Λαμπρίδης Δημήτρης
Ανδρέου Γεώργιος

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

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.



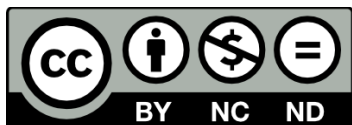
Χρηματοδότηση

- 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.





Ισχύς Εισόδου και Εξόδου ΓΜ, Ευστάθεια ΣΓ – Άπειρου Ζυγού, Λειτουργικά Διαγράμματα Μακριών Ομοιογενών ΓΜ



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



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
πρόγραμμα για την ανάπτυξη

Περιεχόμενα ενότητας

1. Ισχύς εισόδου και εξόδου ομοιογενούς ΓΜ
2. Ευστάθεια στη συνεργασία ομοιογενούς ΓΜ με γεννήτρια
3. Λειτουργικά διαγράμματα μακριών ομοιογενών ΓΜ



Ισχύς Εισόδου και Εξόδου Ομοιογενούς ΓΜ (1/2)

- Από τις σχέσεις ενός ABCD τετραπόλου προκύπτουν:

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

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



Ισχύς Εισόδου και Εξόδου Ομοιογενούς ΓΜ (2/2)

- Η μιγαδική ισχύς στο άκρο παραλαβής R θα είναι:

$$\bar{S}_R = \bar{V}_R \bar{I}_R^* = \bar{V}_R \frac{\bar{V}_S^* - \bar{A}^* \bar{V}_R^*}{\bar{B}^*} \Rightarrow \boxed{\bar{S}_R = P_R + j Q_R = \frac{\bar{V}_R \bar{V}_S^* - \bar{A}^* \bar{V}_R^2}{\bar{B}^*}}$$

- Ενώ η μιγαδική ισχύς στο άκρο αποστολής S θα είναι αντίστοιχα:

$$\bar{S}_S = \bar{V}_S \bar{I}_S^* = \bar{V}_S \frac{\bar{A}^* \bar{V}_S^* - \bar{V}_R^*}{\bar{B}^*} \Rightarrow \boxed{\bar{S}_S = P_S + j Q_S = \frac{\bar{A}^* \bar{V}_S^2 - \bar{V}_S \bar{V}_R^*}{\bar{B}^*}}$$



Μιγαδική Ισχύς Απωλειών (1/2)

$$\begin{aligned}\bar{S}_V &= \bar{S}_S - \bar{S}_R = \frac{\bar{A}^* V_S^2 - \bar{V}_S \bar{V}_R^*}{\bar{B}^*} - \frac{\bar{V}_R \bar{V}_S^* - \bar{A}^* V_R^2}{\bar{B}^*} = \\ &= \frac{\bar{A}^* (V_S^2 + V_R^2) - (\bar{V}_S \bar{V}_R^* + \bar{V}_R \bar{V}_S^*)}{\bar{B}^*} = P_V + j Q_V\end{aligned}$$

- Ενεργή Ισχύς Απωλειών: $P_V = P_S - P_R$
- Άεργη Ισχύς Απωλειών: $Q_V = Q_S - Q_R$



Μιγαδική Ισχύς Απωλειών (2/2)

- Για $Q_V > 0 \Leftrightarrow Q_S > Q_R \mapsto$ Η ΓΜ συμπεριφέρεται επαγωγικά, δηλαδή καταναλώνει άεργη ισχύ Q_V .
- Για $Q_V < 0 \Leftrightarrow Q_S < Q_R \mapsto$ Η ΓΜ συμπεριφέρεται χωρητικά, δηλαδή παράγει άεργη ισχύ Q_V .
- Αν θέσουμε:

$$\bar{A} = A e^{ja} \quad \bar{B} = B e^{jb}$$

$$\bar{V}_R = V_R e^{j\theta_R} \quad \bar{V}_S = V_S e^{j\theta_S}$$

$$\theta \hat{=} \theta_S - \theta_R,$$

τότε από τις προηγούμενες σχέσεις θα έχουμε:



Ενεργή και Άεργη Ισχύς στο Άκρο Παραλαβής R (1/2)

$$P_R + j Q_R = \frac{\bar{V}_R \bar{V}_S^* - \bar{A}^* V_R^2}{\bar{B}^*} \Rightarrow$$

$$P_R = \frac{V_R V_S}{B} \cos(b - \theta) - \frac{A V_R^2}{B} \cos(b - a)$$

$$Q_R = \frac{V_R V_S}{B} \sin(b - \theta) - \frac{A V_R^2}{B} \sin(b - a)$$



Ενεργή και Άεργη Ισχύς στο Άκρο Αποστολής S (2/2)

$$P_S + j Q_S = \frac{\bar{A}^* V_S^2 - \bar{V}_S \bar{V}_R^*}{\bar{B}^*} \Rightarrow$$

$$P_S = \frac{A V_S^2}{B} \cos(b - a) - \frac{V_R V_S}{B} \cos(b + \theta)$$

$$Q_S = \frac{A V_S^2}{B} \sin(b - a) - \frac{V_R V_S}{B} \sin(b + \theta)$$



Ισχύς Εισόδου και Εξόδου ΓΜΧΑ

- Παραδοχές σε ΓΜΧΑ:

$$\left. \begin{array}{l} R' \rightarrow 0 \\ G' \rightarrow 0 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} \bar{\gamma} = j\beta, \quad \beta = \omega\sqrt{L'C'} = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} \\ \bar{Z}_0 = Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \end{array}$$

$$\sinh(\bar{\gamma} \ell) = \sinh(j\beta\ell) = j\sin(\beta\ell) \Rightarrow \begin{cases} \bar{B} = jZ_0 \sin(\beta\ell) \\ b = \frac{\pi}{2} \end{cases}$$

$$\cosh(\bar{\gamma} \ell) = \cosh(j\beta\ell) = \cos(\beta\ell) \Rightarrow \begin{cases} \bar{A} = \cos(\beta\ell) \\ a = 0 \end{cases}$$



Ενεργή και Άεργη Ισχύς στο Άκρο Παραλαβής R ΓΜΧΑ

$$\left. \begin{aligned} P_R &= \frac{V_R V_S}{B} \cos(b - \theta) - \frac{A V_R^2}{B} \cos(b - a) \\ Q_R &= \frac{V_R V_S}{B} \sin(b - \theta) - \frac{A V_R^2}{B} \sin(b - a) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$



Ενεργή και Άεργη Ισχύς στο Άκρο Παραλαβής R ΓΜΧΑ

$$P_R = \frac{V_R V_S}{Z_0 \sin(\beta l)} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \frac{V_R V_S}{Z_0 \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)} \sin \theta$$
$$Q_R = \frac{V_R V_S}{Z_0 \sin(\beta l)} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) - \frac{V_R^2 \cos(\beta l)}{Z_0 \sin(\beta l)} =$$
$$\frac{V_R V_S}{Z_0 \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)} \cos \theta - \frac{V_R^2}{Z_0} \cot\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)$$



Ενεργή και Άεργη Ισχύς στο Άκρο Παραλαβής S ΓΜΧΑ (1/2)

$$\left. \begin{aligned} P_S &= \frac{AV_S^2}{B} \cos(b-a) - \frac{V_R V_S}{B} \cos(b+\theta) \\ Q_S &= \frac{AV_S^2}{B} \sin(b-a) - \frac{V_R V_S}{B} \sin(b+\theta) \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$



Ενεργή και Άεργη Ισχύς στο Άκρο Παραλαβής S ΓΜΧΑ (2/2)

$$P_S = -\frac{V_R V_S}{Z_0 \sin(\beta l)} \cos\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) = \frac{V_R V_S}{Z_0 \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)} \sin \theta$$

$$Q_S = \frac{V_S^2 \cos(\beta l)}{Z_0 \sin(\beta l)} - \frac{V_R V_S}{Z_0 \sin(\beta l)} \sin\left(\frac{\pi}{2} + \theta\right) =$$
$$\frac{V_S^2}{Z_0} \cot\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right) - \frac{V_R V_S}{Z_0 \sin\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)} \cos \theta$$



Διερεύνηση μέγιστου ενεργής ισχύος (1/2)

- Για ομοιογενή ΓΜ είναι:

$$P_R = \frac{V_R V_S}{B} \cos(b - \theta) - \frac{A V_R^2}{B} \cos(b - a)$$

- Για ΓΜΧΑ θα είναι: $P_R = f(\sin \theta)$ για V_R, V_S, Z_0 και I σταθερά.
- Αν $\theta = b$ τότε $\cos(b - \theta) = 1$ οπότε:

$$P_R = P_{R \text{ MAX}} = \frac{V_R V_S}{B} - \frac{A V_R^2}{B} \cos(b - a)$$

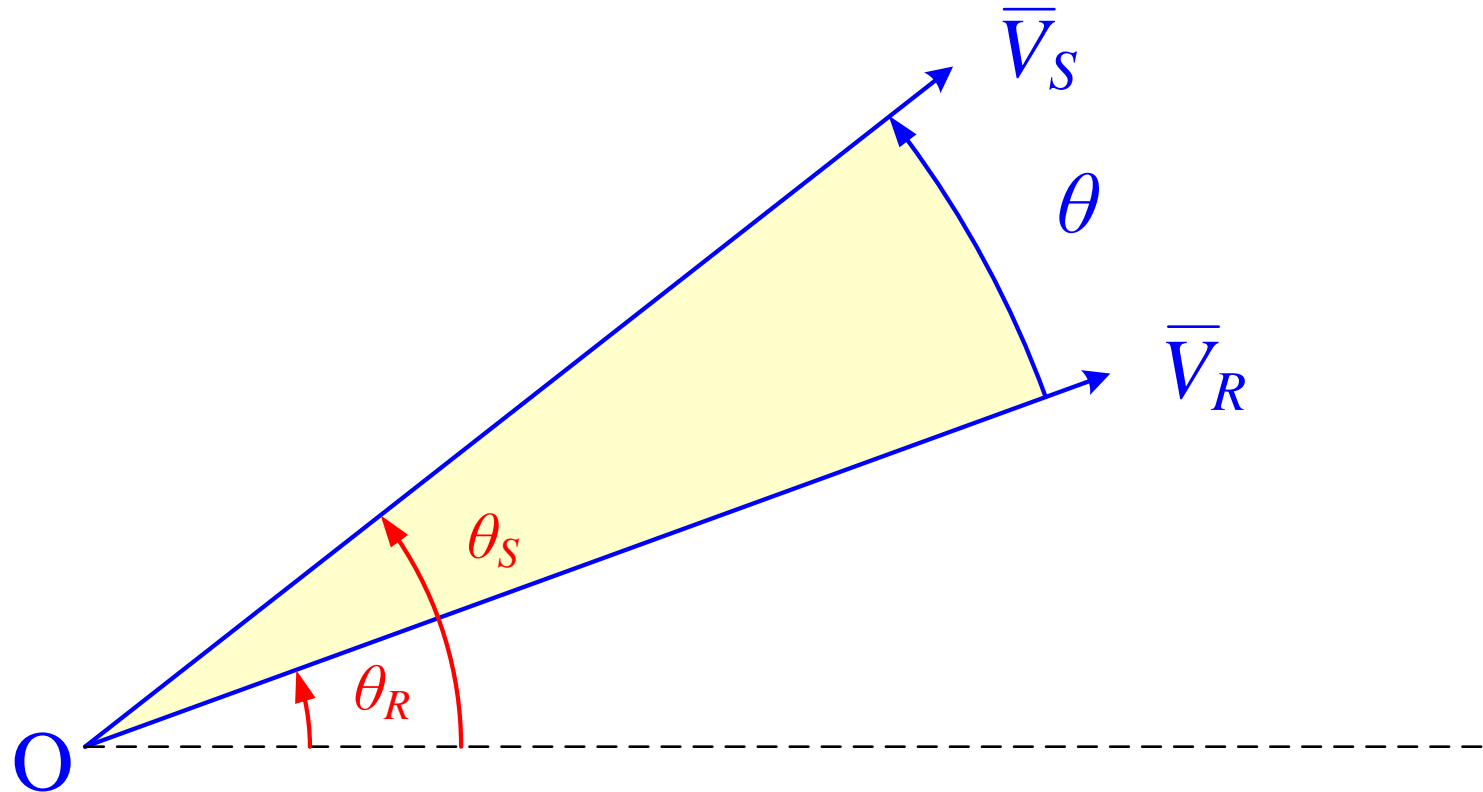


Διερεύνηση μέγιστου ενεργής ισχύος (2/2)

- Το $P_{R MAX}$ είναι ένα μέγιστο με θεωρητικό χαρακτήρα, καθώς άλλες λειτουργικές συνθήκες περιορίζουν αισθητά τη μεταφερόμενη ισχύ:
 - Όριο ευστάθειας.
 - Όριο πτώσης τάσης.
 - Θερμικά όρια.
- Όταν $V_R = V_S$ τότε $P_{R MAX} = \frac{V_R^2}{B} [1 - A \cos(b - a)]$ οπότε η αύξηση των τάσεων και η μείωση του B επιφέρουν την αύξηση της $P_{R MAX}$.



Διανυσματικό Διάγραμμα Τάσεων σε ΓΜ

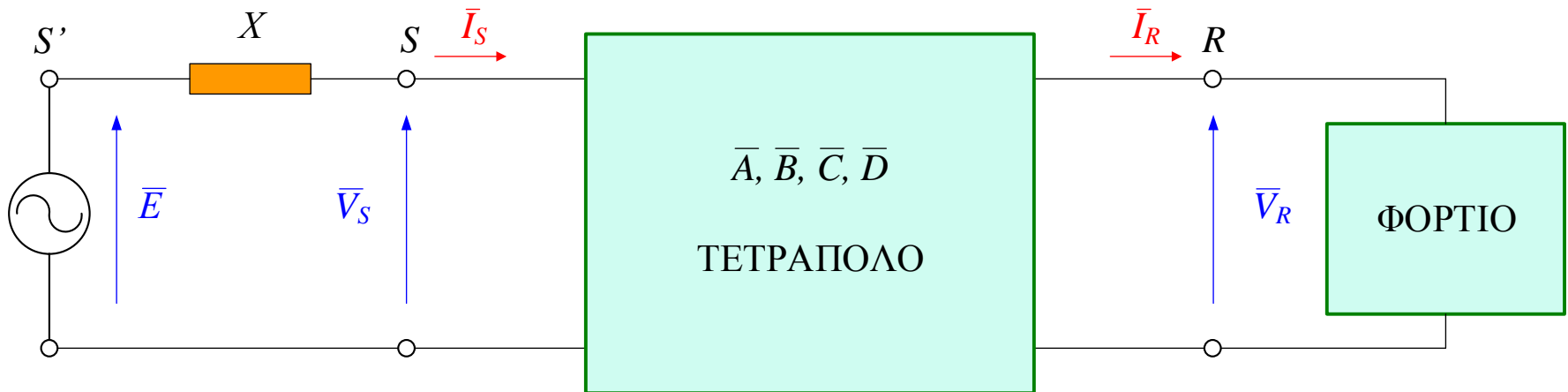


Συνδυασμός ΣΓ-ΓΜ-Φορτίου (1/9)

- Τα αρχικά δεδομένα ενός ΣΗΕ συμπεριλαμβάνουν:
 - Μια Σύγχρονη Γεννήτρια με αμελητέες απώλειες, ΗΕΔ E και αντίδραση X ,
 - Μια μακριά διασυνδετική ομοιογενή ΓΜ, ισοδύναμη με ένα $ABCD$ – τετράπολο, και
 - Ένα φορτίο με στοιχεία \bar{V}_R, \bar{I}_R .



Συνδυασμός ΣΓ-ΓΜ-Φορτίου (2/9)



Συνδυασμός ΣΓ-ΓΜ-Φορτίου (3/9)

- Για τη σύγχρονη γεννήτρια θα ισχύει:

$$\left. \begin{aligned} \bar{E} &= \bar{V}_S + jX\bar{I}_S \\ \bar{I}_S &= \bar{C}\bar{V}_R + \bar{D}\bar{I}_R \end{aligned} \right\} \Rightarrow \bar{E} = \bar{V}_S + jX(\bar{C}\bar{V}_R + \bar{D}\bar{I}_R)$$

- Επίσης, για τη ΓΜ θα είναι: $\bar{V}_S = \bar{A}\bar{V}_R + \bar{B}\bar{I}_R$

- Ο συνδυασμός των παραπάνω σχέσεων θα δώσει για το κύκλωμα:

$$\begin{aligned} \bar{E} &= \bar{A}\bar{V}_R + \bar{B}\bar{I}_R + jX\bar{C}\bar{V}_R + jX\bar{D}\bar{I}_R \Rightarrow \\ \bar{E} &= (\bar{A} + jX\bar{C})\bar{V}_R + (\bar{B} + jX\bar{D})\bar{I}_R = \bar{A}'\bar{V}_R + \bar{B}'\bar{I}_R \end{aligned}$$



Συνδυασμός ΣΓ-ΓΜ-Φορτίου (4/9)

- Αν θέσουμε:

$$\bar{A}' = \bar{A} + j X \bar{C} = A' e^{ja'}$$

$$\bar{B}' = \bar{B} + j X \bar{D} = B' e^{jb'}$$

$$\bar{V}_R = V_R e^{j\theta_R}$$

$$\bar{V}_S = V_S e^{j\theta_S}$$

$$\bar{E} = E e^{j\theta_E}$$

$$\theta \triangleq \theta_E - \theta_R = \theta_\ell + \theta_g$$

τότε θα έχουμε ένα νέο τετράπολο μεταξύ των άκρων S' και R , που συνδέει:



Συνδυασμός ΣΓ-ΓΜ-Φορτίου (5/9)

Τάση – ρεύμα εισόδου: $\begin{bmatrix} \bar{E} \\ \bar{I}_S \end{bmatrix}$

και τάση-ρεύμα εξόδου: $\begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{I}_R \end{bmatrix}$

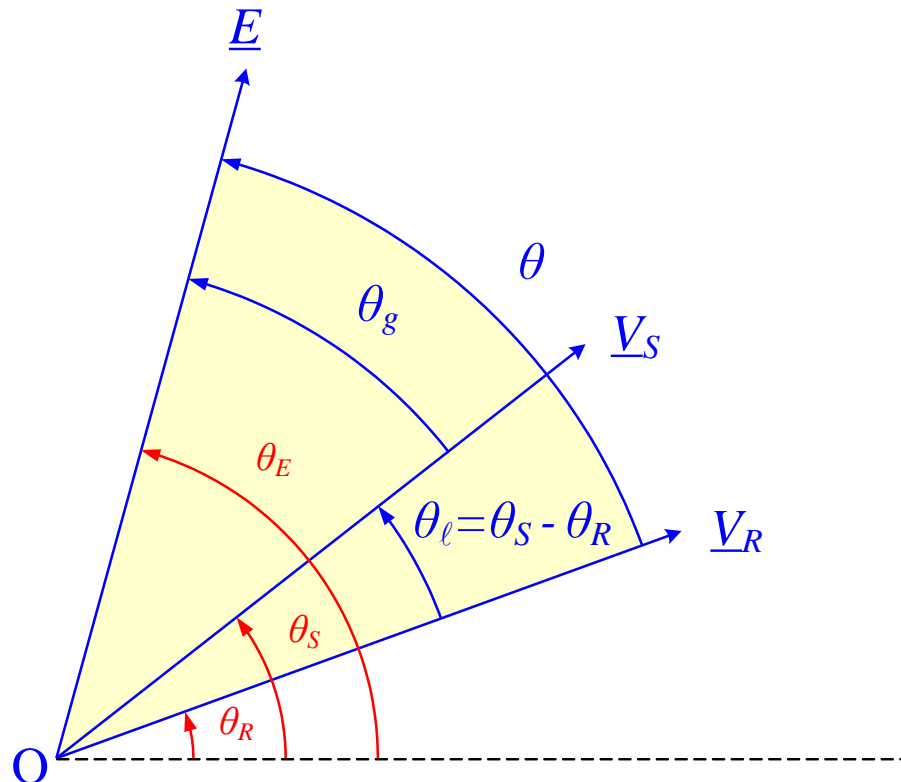
με ένα νέο πίνακα παραμέτρων μεταφοράς: $\begin{bmatrix} \bar{T}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A}' & \bar{B}' \\ \bar{C} & \bar{D} \end{bmatrix}$

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



Συνδυασμός ΣΓ-ΓΜ-Φορτίου (6/9)

- Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων ΣΓ που τροφοδοτεί φορτίο μέσω μακριάς ομοιογενούς ΓΜ ισοδύναμης με ένα $ABCD$ -τετράπολο:



Συνδυασμός ΣΓ-ΓΜ-Φορτίου (7/9)

- Η μεταφερόμενη ενεργή ισχύς P_R στο άκρο παραλαβής R θα είναι:

$$P_R = \frac{V_R E}{B'} \cos(b' - \theta) - \frac{A' V_R^2}{B'} \cos(b' - a')$$

- Για μια ΓΜΧΑ, γνωρίζουμε ήδη ότι είναι:

$$\bar{A} = \bar{D} = \cos(\beta \ell)$$

$$\bar{B} = j Z_0 \sin(\beta \ell) \quad \bar{C} = j \frac{\sin(\beta \ell)}{Z_0}$$



Συνδυασμός ΣΓ-ΓΜ-Φορτίου (8/9)

- Θα είναι λοιπόν:

$$\begin{aligned}\bar{A}' &= \bar{A} + j X \bar{C} = \cos(\beta \ell) + j X j \frac{\sin(\beta \ell)}{Z_0} = \\ &= \cos(\beta \ell) - \frac{X}{Z_0} \sin(\beta \ell) \Rightarrow \boxed{a' = 0^\circ}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{B}' &= \bar{B} + j X \bar{D} = j Z_0 \sin(\beta \ell) + j X \cos(\beta \ell) = \\ &= j [Z_0 \sin(\beta \ell) + X \cos(\beta \ell)] \Rightarrow \boxed{b' = 90^\circ}\end{aligned}$$

οπότε:

$$\boxed{P_R = \frac{V_R E}{Z_0 \sin(\beta \ell) + X \cos(\beta \ell)} \sin \theta}$$



Συνδυασμός ΣΓ-ΓΜ-Φορτίου (9/9)

- Επιπλέον, για κοντές ΓΜΧΑ θα είναι:

$$\begin{cases} Z_0 \sin(\beta \ell) \cong Z_0 \beta \ell = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \omega \sqrt{L' C'} \ell = \omega \ell L' = \omega L = X_\ell \\ X \cos(\beta \ell) \cong X \end{cases}$$

οπότε τελικά θα είναι:

$$P_R = \frac{V_R E}{X_\ell + X} \sin \theta$$



Ευστάθεια στο συνδυασμό ΣΓ- Άπειρου Ζυγού (1/2)

- Σε έναν εναλλακτικό τρόπο θεώρησης, τα δεδομένα ενός ΣΗΕ μπορεί να συμπεριλαμβάνουν:
 - Μια Σύγχρονη Γεννήτρια με αμελητέες απώλειες, με σταθερή διέγερση (δηλαδή με σταθερή ΗΕΔ E) και αντίδραση X ,
 - Μια μακριά διασυνδεδετική ομοιογενή ΓΜ, ισοδύναμη με ένα $ABCD$ – τετράπολο, και
 - Ένα άκαμπτο δίκτυο (άπειρος ζυγός) στο άκρο παραλαβής της ισχύος, με σταθερή τάση \bar{V}_R .



Ευστάθεια στο συνδυασμό ΣΓ- Άπειρου Ζυγού (2/2)

- Το Σύστημα έχει **ευστάθεια μόνιμης κατάστασης** όταν $\theta < 90^\circ$.
- Το Σύστημα έχει **ευστάθεια μεταβατικής κατάστασης** όταν:

$$\theta = \theta_g + \theta_\ell < 70^\circ$$

- Συνήθως η γωνία της γεννήτριας βρίσκεται στην περιοχή:

$$\theta_g = 30^\circ - 50^\circ$$

- Η γωνία της ΓΜ, για ΓΜΧΑ, είναι ίση με $\theta_l = \beta \cdot l$
(όπου $\beta \cong 6^\circ / 100 \text{ km}$)
- Έστω $\theta_g = 45^\circ$, οπότε θα πρέπει να είναι :

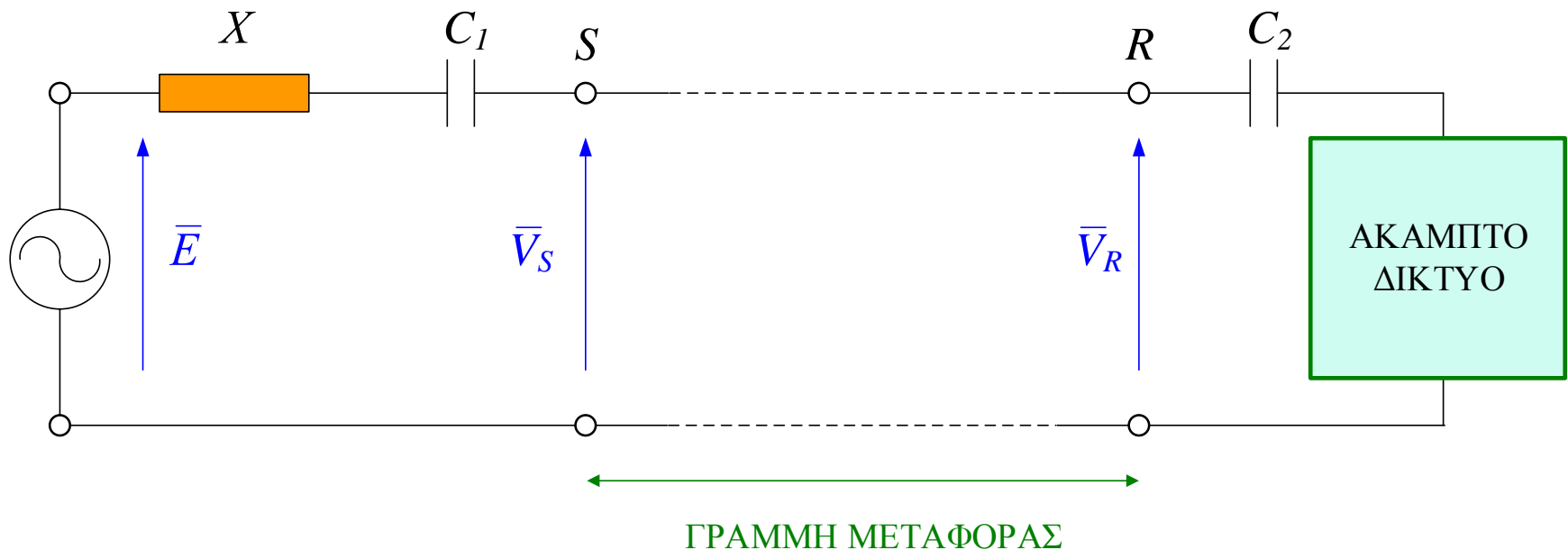
$$\theta_l < 25^\circ = \beta \cdot l \Rightarrow l < 416,6 \text{ km}$$

- **Γενικά, σε ΓΜ που έχουν μήκος μεγαλύτερο από 400 km αναμένονται προβλήματα ευστάθειας.**



Μέθοδοι βελτίωσης ευστάθειας συστήματος ΣΓ-Άπειρου Ζυγού που αφορούν στη διασυνδετική μακριά ΓΜ (1/4)

- Βελτίωση της ευστάθειας με πυκνωτές σειράς στην αρχή ή / και στο τέλος της διασυνδετικής μακριάς ΓΜ:



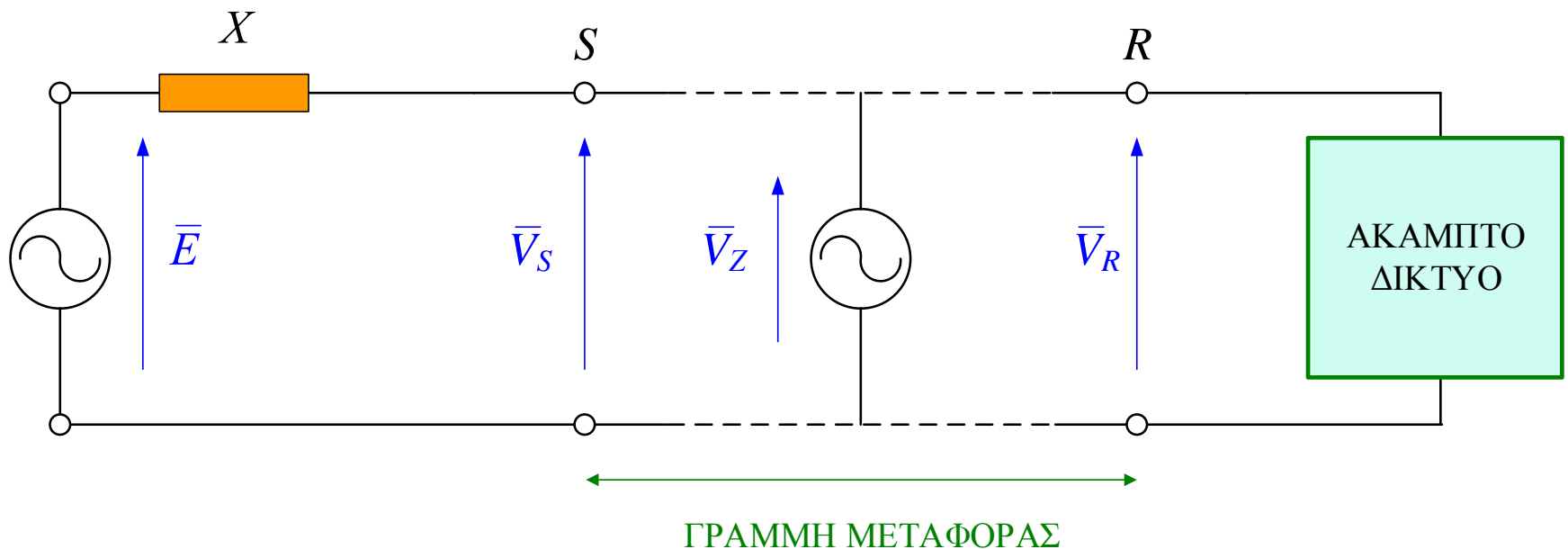
Μέθοδοι βελτίωσης ευστάθειας συστήματος ΣΓ-Άπειρου Ζυγού που αφορούν στη διασυνδετική μακριά ΓΜ (2/4)

Οι πυκνωτές σειράς προκαλούν **μείωση** στη συνολική διαμήκη επαγωγική αντίδραση (άρα και στη συνολική ισοδύναμη διαμήκη αυτεπαγωγή) της ΓΜ, επομένως **μειώνουν το συντελεστή στροφής φάσης β** , και τελικά **μειώνουν τη συνολική στρόφη** που προκαλεί η ΓΜ στο διάνυσμα της τάσης.



Μέθοδοι βελτίωσης ευστάθειας συστήματος ΣΓ-Άπειρου Ζυγού που αφορούν στη διασυνδεδετική μακριά ΓΜ (3/4)

- Βελτίωση της ευστάθειας με ενδιάμεση στήριξη της τάσης μέσω στρεφόμενου πυκνωτή τάσης V_Z στη μέση της διασυνδεδετικής μακριάς ΓΜ.



Μέθοδοι βελτίωσης ευστάθειας συστήματος ΣΓ-Άπειρου Ζυγού που αφορούν στη διασυνδετική μακριά ΓΜ (4/4)

Ένας σύγχρονος πυκνωτής που συνδέεται στη μέση μιας μακριάς ΓΜ μετατρέπει το ΣΗΕ σε ένα ισοδύναμο με ΓΜ μήκους ίσου με το μισό της πραγματικής ΓΜ.



Λειτουργικά διαγράμματα μακριών ομοιογενών ΓΜ

- Σε μια ΓΜ ενδιαφέρουν κυρίως τα εξής:
 - **Ενεργή και άεργη ισχύς,**
 - **Πτώση τάσης,**
 - **Μέγιστα ρεύματα και απώλειες,**
 - **Ευστάθεια στάσιμης και μεταβατικής κατάστασης.**
- Τα λειτουργικά διαγράμματα (ή κυκλικά διαγράμματα) οδηγούν σε χρήσιμα συμπεράσματα και εκτιμήσεις που αφορούν στα παραπάνω μεγέθη και καταστάσεις.



Κατασκευή λειτουργικού διαγράμματος (1/2)

- Για τη συγκεκριμένη ΓΜ ορίζουμε στο μιγαδικό επίπεδο τα σημεία λειτουργίας \mathbf{B} , που αναπαριστούν είτε το άκρο του διανύσματος της μιγαδικής ισχύος του καταναλωτή:

$$\bar{S}_R = P_R + jQ_R$$

- είτε το άκρο του διανύσματος της μιγαδικής ισχύος του άκρου αποστολής:

$$\bar{S}_S = P_S + jQ_S$$



Κατασκευή λειτουργικού διαγράμματος (2/2)

- Εφαρμόζουμε τους περιορισμούς που ισχύουν στη ΓΜ λόγω:
 - Ορίων πτώσης τάσης,
 - Ορίων ρευμάτων μόνιμης κατάστασης,
 - Ορίων ευστάθειας

και υπολογίζουμε τους γεωμετρικούς τόπους λειτουργίας της ΓΜ, σύμφωνα με τους επιβαλλόμενους περιορισμούς.



Λειτουργικό διάγραμμα άκρου παραλαβής R (1/5)

- Ορισμοί:

$$I_N = \frac{V_R}{Z_0} \quad P_N = \frac{V_R^2}{Z_0} = V_R I_N$$

$$i_R = \frac{I_R}{I_N} \quad i_S = \frac{I_S}{I_N}$$

$$\bar{S}_R = P_R + j Q_R \quad \bar{s}_R = \frac{\bar{S}_R}{P_N} = \frac{P_R}{P_N} + j \frac{Q_R}{P_N}$$

$$\bar{Z}_0 = Z_0 e^{j\zeta} \quad (\zeta \cong 0)$$



Λειτουργικό διάγραμμα άκρου παραλαβής R (2/5)

$$\bar{V}_S = \bar{A} \bar{V}_R + \bar{B} \bar{I}_R \Rightarrow$$

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

$$\begin{aligned} \bar{S}_R &= \bar{V}_R \bar{I}_R^* = \bar{V}_R \frac{\bar{V}_S^*}{\bar{B}^*} - \bar{V}_R \frac{\bar{A}^* \bar{V}_R^*}{\bar{B}^*} = \\ &= \frac{\bar{V}_R \bar{V}_S^*}{\bar{Z}_0^* [\sinh(\bar{\gamma} \ell)]^*} - V_R^2 \frac{1}{\bar{Z}_0^* [\tanh(\bar{\gamma} \ell)]^*} = \\ &= \frac{\bar{V}_R \bar{V}_S^*}{Z_0} \frac{e^{j\zeta}}{[\sinh(\bar{\gamma} \ell)]^*} - \frac{V_R^2}{Z_0} \frac{e^{j\zeta}}{[\tanh(\bar{\gamma} \ell)]^*} \end{aligned}$$



Λειτουργικό διάγραμμα άκρου παραλαβής R (3/5)

$$\bar{S}_R = \frac{\bar{S}_R}{P_N} = \bar{S}_R \frac{Z_0}{V_R^2} \Rightarrow$$

$$\bar{S}_R = \frac{\bar{V}_R \bar{V}_S^*}{Z_0} \frac{Z_0}{V_R^2} \frac{\bar{V}_R^*}{\bar{V}_R^*} \frac{e^{j\zeta}}{[\sinh(\bar{\gamma} \ell)]^*} - \frac{V_R^2}{Z_0} \frac{Z_0}{V_R^2} \frac{e^{j\zeta}}{[\tanh(\bar{\gamma} \ell)]^*} \Rightarrow$$

$$\bar{S}_R = - \frac{e^{j\zeta}}{[\tanh(\bar{\gamma} \ell)]^*} + \frac{e^{j\zeta}}{[\sinh(\bar{\gamma} \ell)]^*} \frac{\bar{V}_S^*}{\bar{V}_R^*}$$



Λειτουργικό διάγραμμα άκρου παραλαβής R (4/5)

$$\bar{I}_S = \bar{C} \bar{V}_R + \bar{D} \bar{I}_R \Rightarrow$$

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

$$\bar{S}_R = \bar{V}_R \bar{I}_R^* = \bar{V}_R \frac{\bar{I}_S^*}{\bar{D}^*} - \bar{V}_R \frac{\bar{C}^* \bar{V}_R^*}{\bar{D}^*} =$$

$$= \bar{V}_R \bar{I}_S^* \frac{1}{[\cosh(\bar{\gamma} \ell)]^*} - V_R^2 \frac{[\tanh(\bar{\gamma} \ell)]^*}{\bar{Z}_0^*} =$$

$$= -\frac{V_R^2}{Z_0} e^{j\zeta} [\tanh(\bar{\gamma} \ell)]^* + \bar{V}_R \bar{I}_S^* \frac{1}{[\cosh(\bar{\gamma} \ell)]^*}$$



Λειτουργικό διάγραμμα άκρου παραλαβής R (5/5)

$$\bar{s}_R = \frac{\bar{S}_R}{P_N} = \bar{S}_R \frac{Z_0}{V_R^2} \Rightarrow$$

$$\bar{s}_R = -e^{j\zeta} [\tanh(\bar{\gamma} \ell)]^* + \frac{\bar{V}_R}{V_R} \bar{I}_S^* \frac{Z_0}{V_R} \frac{1}{[\cosh(\bar{\gamma} \ell)]^*} \Rightarrow$$

$$\bar{s}_R = -e^{j\zeta} [\tanh(\bar{\gamma} \ell)]^* + \frac{\bar{V}_R}{V_R} \frac{\bar{I}_S^*}{I_N} \frac{1}{[\cosh(\bar{\gamma} \ell)]^*}$$



Γεωμετρικοί τόποι σημείων λειτουργίας (1/4)

(1ος) $\frac{V_S}{V_R} = \lambda = ct \stackrel{(1)}{\Rightarrow}$ ΓΕΩΜ. ΤΟΠΟΣ \overline{S}_R :

ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΚΕΝΤΡΟ O_1 ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΑ r_1
(στο σχήμα: κύκλοι K_0, K_1, K_2 για διάφορα λ)

$$\overline{OO}_1 = -\frac{e^{j\zeta}}{[\tanh(\bar{\gamma} \ell)]^*}, \quad r_1 = \frac{\lambda}{|\sinh(\bar{\gamma} \ell)|}$$



Γεωμετρικοί τόποι σημείων λειτουργίας (2/4)

$$\bar{s}_R = \frac{\bar{S}_R}{P_N} = \frac{\bar{V}_R \bar{I}_R^*}{P_N} = \frac{\bar{V}_R \bar{I}_R^*}{V_R I_N} \Rightarrow s_R = \frac{I_R}{I_N} = i_R$$

ανηγμένο ρεύμα άφιξης



(2ος) $i_R = ct \Rightarrow$ ΓΕΩΜ. ΤΟΠΟΣ i_R (s_R):

ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΚΕΝΤΡΟ Ο ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΑ r_0
(στο σχήμα: κύκλος K'_0)

$$I_\varepsilon: \text{ μέγιστο επιτρεπόμενο θερμικό ρεύμα } \Rightarrow r_0 = \frac{I_\varepsilon}{I_N}$$



Γεωμετρικοί τόποι σημείων λειτουργίας (3/4)

$$\frac{I_S}{I_N} = i_S$$

ανηγμένο ρεύμα αναχώρησης



(3ος)
$$i_S = \frac{I_S}{I_N} = \frac{I_\varepsilon}{I_N} = ct \Rightarrow$$
 ΓΕΩΜ. ΤΟΠΟΣ i_S (\underline{s}_R):

ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΚΕΝΤΡΟ O_2 ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΑ r_2
(στο σχήμα: κύκλος K'_2)

$$\overline{OO_2} = -e^{j\zeta} \left[\tanh(\bar{\gamma} \ell) \right]^*, \quad r_2 = \frac{I_\varepsilon}{I_N |\cosh(\bar{\gamma} \ell)|}$$



Γεωμετρικοί τόποι σημείων λειτουργίας (4/4)

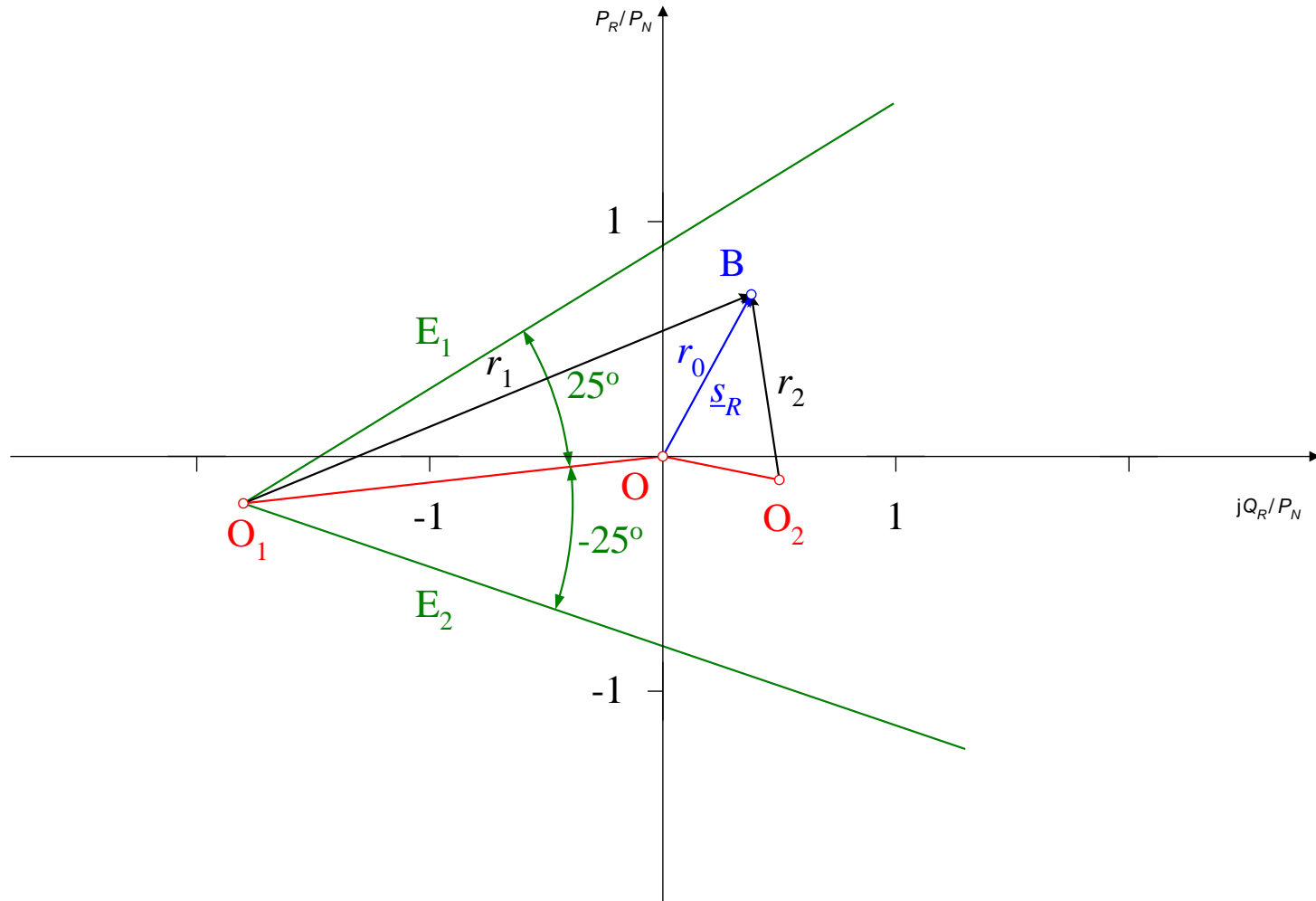
(4ος) $\theta = \angle \bar{V}_R, \bar{V}_S = ct$: ΕΥΘΕΙΑ ΜΕ ΑΡΧΗ O_1

(στο σχήμα ευθείες E_1, E_2)

$\theta_\ell < \pm 25^\circ$ (ΛΟΓΩ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ)

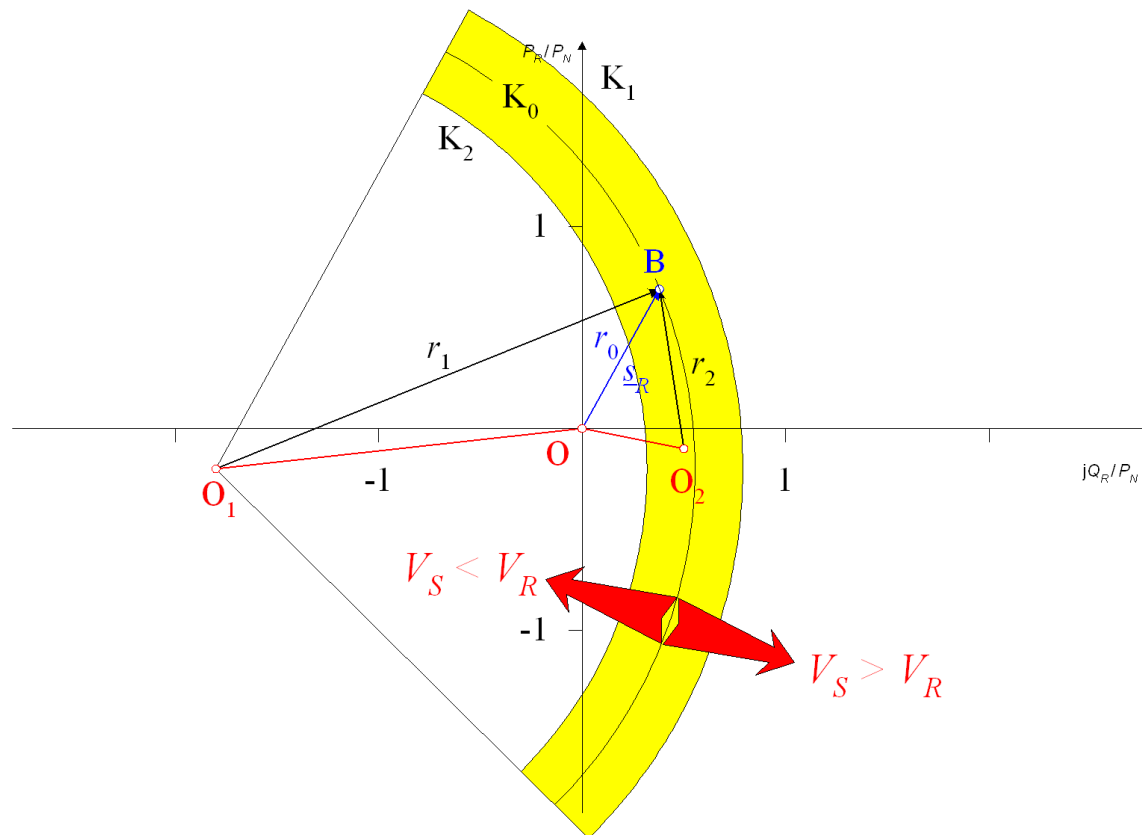


Λειτουργικό διάγραμμα ισχύος του άκρου παραλαβής R μακριάς ομοιογενούς ΓΜ (1/6)



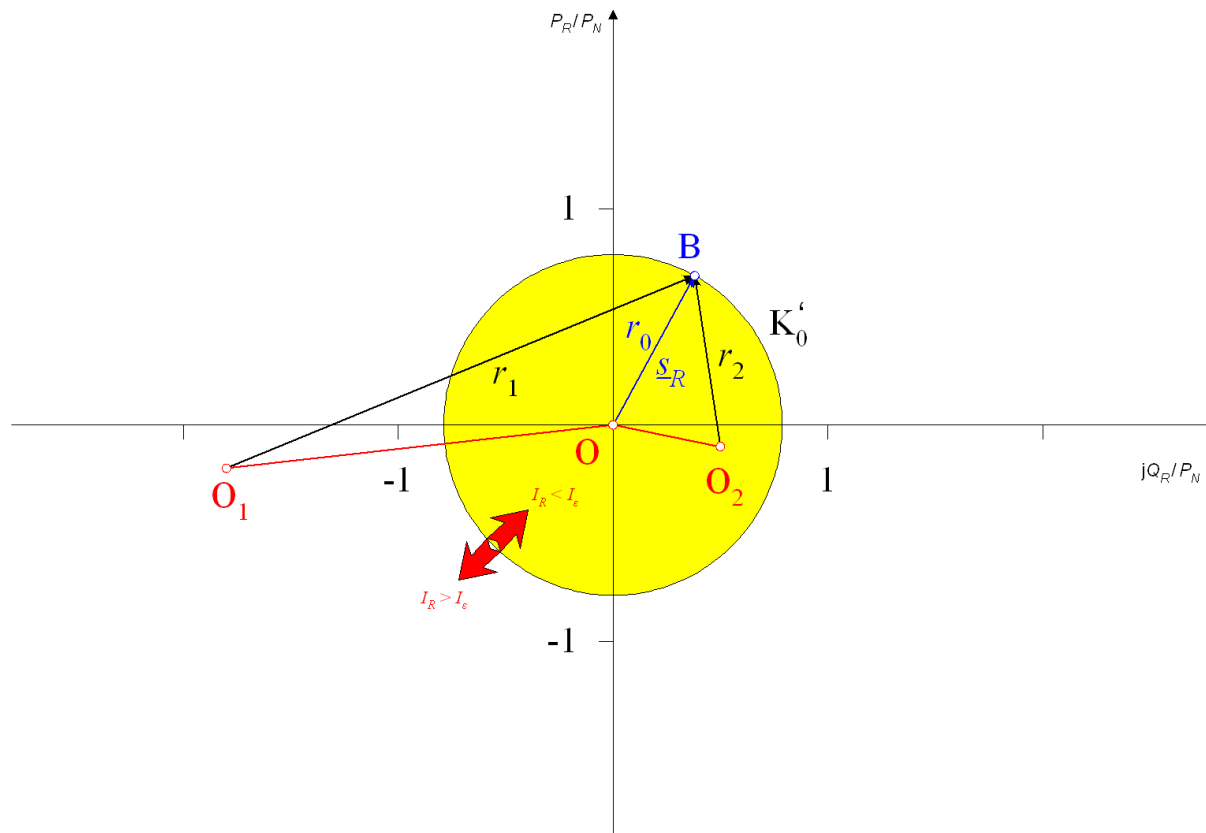
Λειτουργικό διάγραμμα ισχύος του άκρου παραλαβής R μακριάς ομοιογενούς ΓΜ (2/6)

Γεωμετρικός τόπος (1ος) επιτρεπόμενης πτώσης τάσης, για διάφορους σταθερούς λόγους τάσεων $V_S / V_R = \lambda$: κύκλος K_0 για $\lambda = 1$, κύκλος K_1 για $\lambda > 1$ και κύκλος K_2 για $\lambda < 1$.



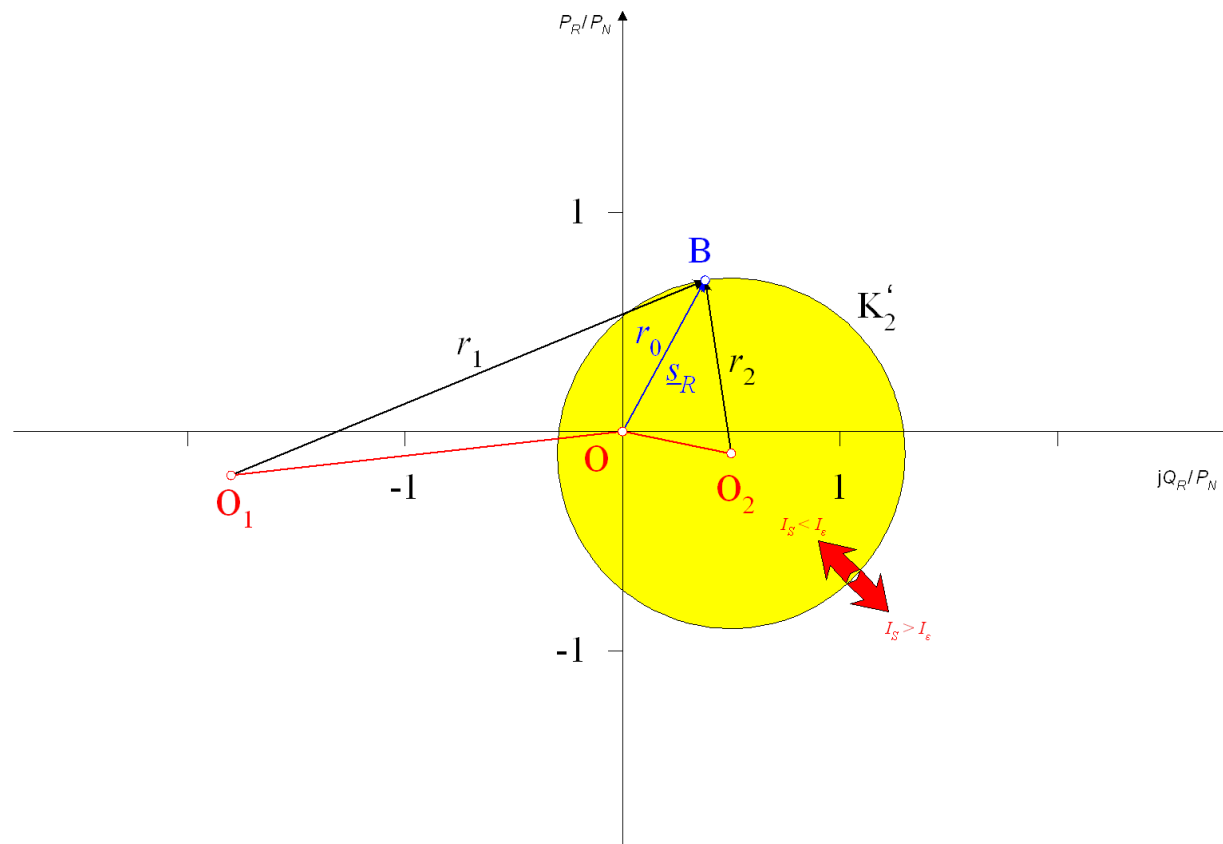
Λειτουργικό διάγραμμα ισχύος του άκρου παραλαβής R μακριάς ομοιογενούς ΓΜ (3/6)

Γεωμετρικός τόπος (2ος) επιτρεπόμενου ρεύματος άφιξης I_R : το I_ε είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο θερμικό ρεύμα φόρτισης της ΓΜ.



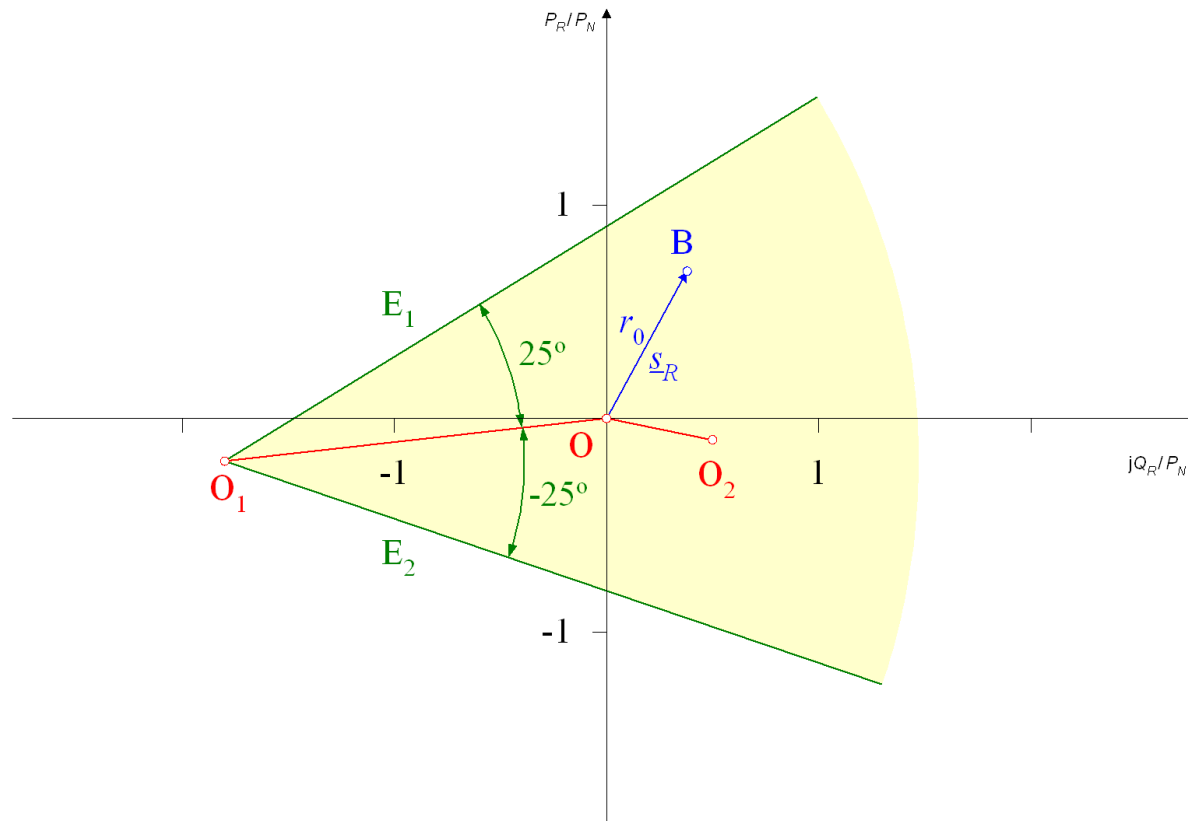
Λειτουργικό διάγραμμα ισχύος του άκρου παραλαβής R μακριάς ομοιογενούς ΓΜ (4/6)

Γεωμετρικός τόπος (3ος) επιτρεπόμενου ρεύματος αναχώρησης I_S : το I_ϵ είναι πάλι το μέγιστο επιτρεπόμενο θερμικό ρεύμα φόρτισης της ΓΜ.



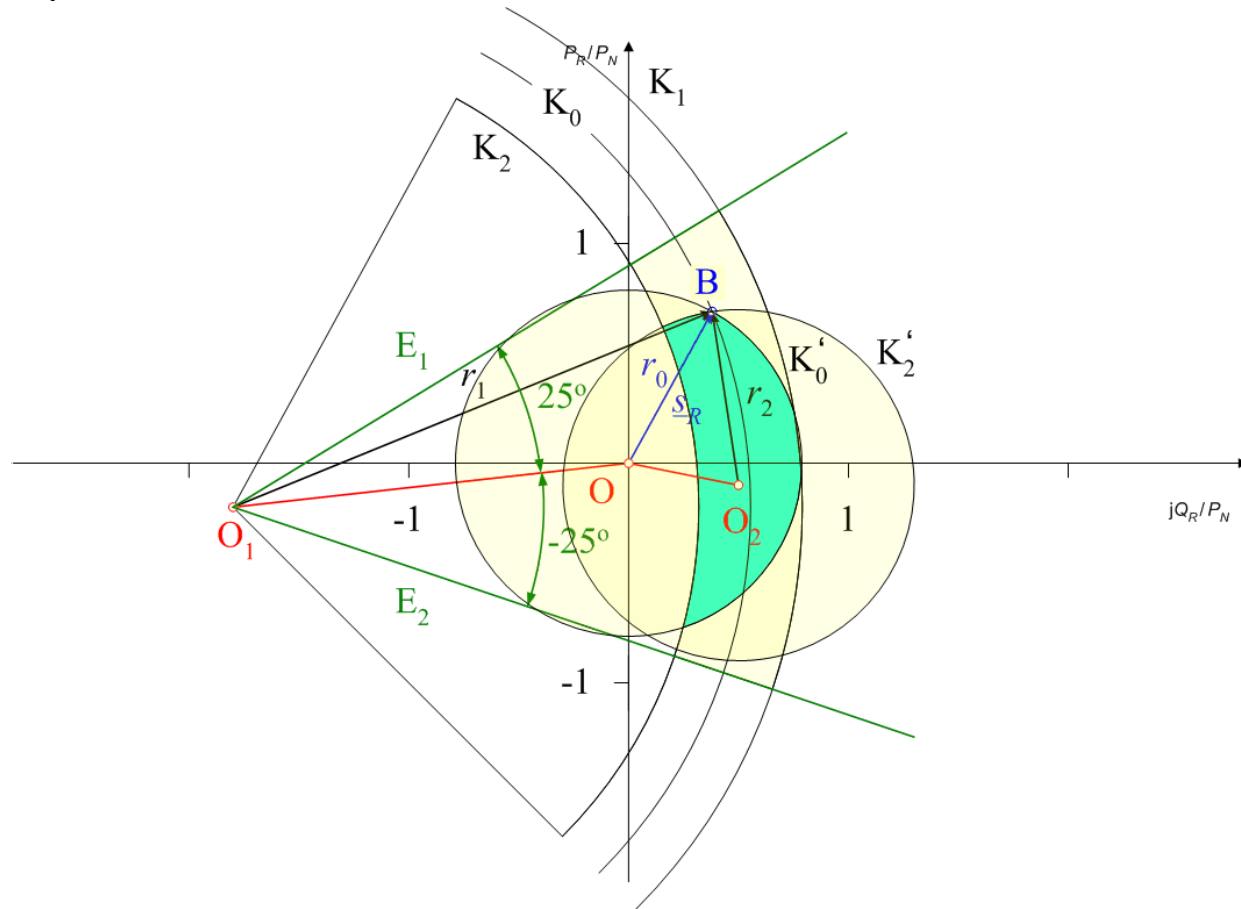
Λειτουργικό διάγραμμα ισχύος του άκρου παραλαβής R μακριάς ομοιογενούς ΓΜ (5/6)

- Γεωμετρικός τόπος (4ος) ορίου ευστάθειας μεταβατικής κατάστασης: ευθεία E_1 για $\theta_\ell = 25^\circ$ και ευθεία E_2 για $\theta_\ell = -25^\circ$.



Λειτουργικό διάγραμμα ισχύος του άκρου παραλαβής R μακριάς ομοιογενούς ΓΜ (6/6)

- Τομή γεωμετρικών τόπων:



Περιορισμοί Μεταφερόμενης Ισχύος

- Σε πολύ κοντές ΓΜ (π.χ. **15 km**) ο καθοριστικός παράγοντας είναι το **θερμικό ρεύμα**.
- Σε κοντές ΓΜ (π.χ. **50 km**) οι καθοριστικοί παράγοντες είναι το **θερμικό ρεύμα** και η **πτώση τάσης**.
- Σε μακριές ΓΜ (π.χ. **500 km**) οι καθοριστικοί παράγοντες είναι η **πτώση τάσης** και η **ευστάθεια**.

Στην τελευταία αυτή περίπτωση:

- **πρέπει να γίνει επαγωγική αντιστάθμιση για τη λειτουργία της γραμμής χωρίς φορτίο, αλλιώς έχουμε ανεπίτρεπτη ανύψωση τάσης,**
- **η γραμμή δεν μπορεί να μεταφέρει ενεργή ισχύ μεγαλύτερη της φυσικής της ισχύος ($P_R/P_N \leq 1$),**
- **η γραμμή μπορεί να μεταφέρει περιορισμένη άεργη ισχύ ($Q_R/P_N < 0,5$).**



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λαμπρίδης Δημήτρης, Ανδρέου Γεώργιος. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II, Ισχύς Εισόδου και Εξόδου ΓΜ, Ευστάθεια ΣΓ – Άπειρου Ζυγού, Λειτουργικά Διαγράμματα Μακριών Ομοιογενών ΓΜ». 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

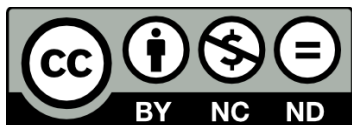
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





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