

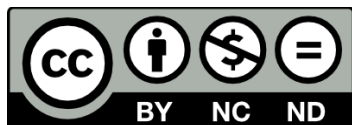


ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II

Ενότητα 6: Ειδικές Περιπτώσεις Γραμμών 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.



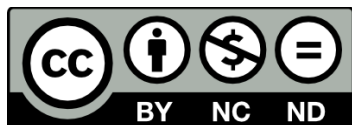
Χρηματοδότηση

- 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.





Ειδικές Περιπτώσεις Γραμμών 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. Γραμμή χωρίς απώλειες, εν κενώ
2. Γραμμή χωρίς απώλειες με βραχυκυκλωμένο άκρο
3. Φόρτιση γραμμής χωρίς απώλειες με καταναλωτή ίσο με την κυματική αντίσταση
4. Γραμμή χωρίς απώλειες φορτιζόμενη με ωμικό φορτίο
5. Γραμμή χωρίς απώλειες με οποιοδήποτε φορτίο



Γραμμές Μεταφοράς Χωρίς Απώλειες (ΓΜΧΑ) (1/2)

- Γενικές σχέσεις:

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

$$\text{και} \quad \begin{aligned} \sinh(\bar{\gamma}x) &= \sinh(j\beta x) = j \sin(\beta x) \\ \cosh(\bar{\gamma}x) &= \cosh(j\beta x) = \cos(\beta x) \end{aligned}$$



Γραμμές Μεταφοράς Χωρίς Απώλειες (ΓΜΧΑ) (2/2)

Εξισώσεις τάσεων και ρευμάτων μακριάς ομοιογενούς ΓΜΧΑ στο άκρο αποστολής **S**:

$$\bar{V}_S = \cos(\beta \ell) \bar{V}_R + j \sin(\beta \ell) Z_0 \bar{I}_R$$

$$\bar{V}(0) = \bar{V}_R \quad \text{και}$$

$$\bar{I}_S = j \frac{\sin(\beta \ell)}{Z_0} \bar{V}_R + \cos(\beta \ell) \bar{I}_R$$

$$\bar{I}(0) = \bar{I}_R \quad \text{ΓΝΩΣΤΑ}$$

και στο άκρο παραλαβής **R**:

$$\bar{V}_R = \cos(\beta \ell) \bar{V}_S - j \sin(\beta \ell) Z_0 \bar{I}_S$$

$$\bar{V}(l) = \bar{V}_S \quad \text{και}$$

$$\bar{I}_R = -j \frac{\sin(\beta \ell)}{Z_0} \bar{V}_S + \cos(\beta \ell) \bar{I}_S$$

$$\bar{I}(l) = \bar{I}_S \quad \text{ΓΝΩΣΤΑ}$$



ΓΜΧΑ, Ανοικτό κύκλωμα στο άκρο R (1/4)

Θα είναι $\bar{I}_R = 0$, οπότε :

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_S &= \cos(\beta \ell) \bar{V}_R \\ \bar{I}_S &= j \frac{\sin(\beta \ell)}{Z_0} \bar{V}_R \end{aligned} \right\} \Rightarrow \bar{Z}_S = \frac{\bar{V}_S}{\bar{I}_S} = -j Z_0 \cot(\beta \ell)$$

και: $V_R = \frac{V_S}{\cos(\beta \ell)}$

Για ένα **κρίσιμο μήκος** ℓ_κ μιας ΓΜΧΑ για το οποίο ισχύει:

$$\beta \ell_\kappa = \frac{\pi}{2} \left(\Rightarrow \ell_\kappa = \frac{\pi}{2\beta} = \frac{\pi \lambda}{2 \cdot 2\pi} = \frac{\lambda}{4} \right) \text{ προκύπτουν: } \begin{cases} V_R \rightarrow \infty \\ Z_S \rightarrow 0 \end{cases}$$



ΓΜΧΑ, Ανοικτό κύκλωμα στο άκρο R

(2/4)

- Για τη συχνότητα των **50 Hz**,
 - Σε εναέριες γραμμές είναι: $l_k = 1500 \text{ km}$, ενώ
 - Σε καλώδια είναι: $l_k = 750 - 950 \text{ km}$
- Στην τρίτη αρμονική (**150 Hz**) είναι αντίστοιχα:
 - Σε εναέριες γραμμές: $l_k = 500 \text{ km}$
 - Σε καλώδια: $l_k = 250 - 317 \text{ km}$
- Μια ΓΜΧΑ που λειτουργεί χωρίς φορτίο (η με πολύ μικρό φορτίο) παρουσιάζει στο άκρο παραλαβής R μια **υπέρταση που εξαρτάται από τη συχνότητα f** .
- Όσοι καταναλωτές βρίσκονται στο άκρο παραλαβής R μπορεί να έχουν τάση **υψηλότερη** από την τάση του άκρου αποστολής S .



ΓΜΧΑ, Ανοικτό κύκλωμα στο άκρο R (3/4)

- Επειδή η υπέρταση εξαρτάται από τη συχνότητα, στο άκρο παραλαβής R έχουμε **μεγάλη ανύψωση του ποσοστού των αρμονικών** που περιέχονται στη τάση (τάση κακής ποιότητας).
- Το φαινόμενο ονομάστηκε **φαινόμενο Ferranti** γιατί παρατηρήθηκε για πρώτη φορά από τον Sebastian Ziani de Ferranti, τον Οκτώβριο του 1890, στο Λονδίνο.



ΓΜΧΑ, Ανοικτό κύκλωμα στο άκρο R

(4/4)

- Για το ρεύμα στην αρχή της γραμμής ισχύει:

$$\bar{I}_S = j \frac{\sin(\beta \ell)}{Z_0} \bar{V}_R = j Y_C \bar{V}_R$$

- Αν λοιπόν $\beta \ell < \frac{\pi}{2} \Rightarrow \sin(\beta \ell) > 0$, τότε το \bar{I}_S είναι χωρητικό, δηλαδή $\bar{I}_S = +j Y_C \bar{V}_R$, όπου $Y_C = C\omega = \frac{\sin(\beta \ell)}{Z_0}$
- Αυτό ισχύει για ΓΜΧΑ μήκους: $\ell < \frac{\pi}{2\beta} = \frac{\pi}{2} \frac{\lambda}{2\pi} = \frac{\lambda}{4} = \ell_\kappa$, δηλαδή ισχύει πάντα για συχνότητα 50 Hz.



ΓΜΧΑ, Ανοικτό κύκλωμα στο άκρο R – προσεγγιστικές σχέσεις

Αν:

$$\frac{\ell}{\lambda} \rightarrow 0 \Rightarrow \frac{\beta \ell}{2\pi} \rightarrow 0 \Rightarrow \beta \ell \rightarrow 0 \Rightarrow \sin(\beta \ell) \rightarrow \beta \ell$$

οπότε είναι:

$$C\omega = \frac{\beta \ell}{Z_0} \Rightarrow C = \frac{\beta \ell}{\omega Z_0} = \frac{\omega \sqrt{L'C'} \ell}{\omega \sqrt{L'/C'}} = C' \ell$$

Τέλος :

$$I_S = \frac{V_R}{Z_0} \sin(\beta \ell) \cong \frac{V_R}{Z_0} \beta \ell = V_R C' \omega \ell$$

Δηλαδή:

$$\ell \uparrow \Rightarrow I_S \uparrow$$



Παράδειγμα

- Δίνεται τριφασικό καλώδιο, που λειτουργεί χωρίς φορτίο στο άκρο R , ονομαστικής τάσης:

$$U_R = 400 \text{ kV} \Rightarrow V_R = \frac{U_R}{\sqrt{3}} = 231 \text{ kV/ph}$$

με στοιχεία:

$$\left. \begin{array}{l} L' = 0,2 \text{ mH/km} \\ C' = 0,222 \text{ } \mu\text{F/km} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = 30 \text{ } \Omega \\ \beta = \omega \sqrt{L' C'} = 2,093 \cdot 10^{-3} \text{ rad/km} = \\ = 0,12^\circ / \text{km} \end{array}$$

και μήκος $l = 40 \text{ km}$. Ζητείται το μέτρο του ρεύματος I_S στο άκρο αποστολής της ισχύος S .



Λύση

α) Ακριβής σχέση:

$$I_S = \frac{\sin(\beta \ell)}{Z_0} V_R = \frac{\sin(2,093 \cdot 10^{-3} \cdot 40)}{30} \cdot 231 \cdot 10^3 = 644 \text{ A/ph}$$

β) Προσεγγιστική σχέση:

$$\begin{aligned} I_S &\cong V_R C' \omega \ell = 231 \cdot 10^3 \cdot 0,222 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \pi \cdot 40 \\ &= 644 \text{ A/ph} \end{aligned}$$



ΓΜΧΑ, Βραχυκύκλωμα στο άκρο R

(1/2)

Θα είναι $\bar{V}_R = 0$, οπότε :

$$\left. \begin{array}{l} \bar{V}_S = j \sin(\beta \ell) Z_0 \bar{I}_R \\ \bar{I}_S = \cos(\beta \ell) \bar{I}_R \end{array} \right\} \Rightarrow \bar{Z}_S = \frac{\bar{V}_S}{\bar{I}_S} = j Z_0 \tan(\beta \ell)$$

Για το κρίσιμο μήκος l_κ μιας ΓΜΧΑ για το οποίο ισχύει:

$$\beta l_\kappa = \frac{\pi}{2} \left(\Rightarrow l_\kappa = \frac{\pi}{2\beta} = \frac{\pi \lambda}{2 \cdot 2\pi} = \frac{\lambda}{4} \right) \text{ προκύπτουν: } \begin{cases} I_S \rightarrow 0 \\ Z_S \rightarrow \infty \end{cases}$$

• Μια ΓΜΧΑ που λειτουργεί βραχυκυκλωμένη και έχει μήκος ίσο με το κρίσιμο μήκος l_κ **δεν αντιδρά** στο άκρο αποστολής S στο βραχυκύκλωμα.



ΓΜΧΑ, Βραχυκύκλωμα στο άκρο R (2/2)

- Για $l < l_{\kappa} \Rightarrow \beta l < \frac{\pi}{2} \Rightarrow Z_0 \tan(\beta l) > 0 \Rightarrow$ έχουμε

ΕΠΑΓΩΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΓΡΑΜΜΗΣ.

- Για $l > l_{\kappa} \Rightarrow \beta l > \frac{\pi}{2} \Rightarrow Z_0 \tan(\beta l) < 0 \Rightarrow$ έχουμε

ΧΩΡΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΓΡΑΜΜΗΣ.

- Άρα λοιπόν, μια ΓΜΧΑ που βρίσκεται σε κατάσταση σφάλματος βραχυκύκλωσης έχει σχεδόν πάντα στην πράξη **επαγωγική συμπεριφορά**.



ΓΜ με προσαρμοσμένο καταναλωτή στο άκρο R

- Προσαρμογή στο άκρο R έχουμε όταν: $\bar{Z}_R = \bar{Z}_0$

- Θα είναι:
$$\left. \begin{array}{l} \bar{V}_R = \bar{Z}_R \bar{I}_R \\ \bar{Z}_R = \bar{Z}_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \bar{V}_R = \bar{Z}_0 \bar{I}_R$$

οπότε για τις τάσεις και τα ρεύματα σε οποιοδήποτε σημείο x της γραμμής
θα είναι:

$$\left. \begin{array}{l} \bar{V}(x) = \cosh(\bar{\gamma} x) \bar{V}_R + \sinh(\bar{\gamma} x) \bar{V}_R = \bar{V}_R e^{\bar{\gamma} x} \\ \bar{I}(x) = \sinh(\bar{\gamma} x) \bar{I}_R + \cosh(\bar{\gamma} x) \bar{I}_R = \bar{I}_R e^{\bar{\gamma} x} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\bar{V}(x) = \bar{V}_R e^{\bar{\gamma} x} = \bar{V}_R e^{\alpha x} e^{j\beta x}$$

$$\bar{I}(x) = \bar{I}_R e^{\bar{\gamma} x} = \bar{I}_R e^{\alpha x} e^{j\beta x}$$



ΓΜΧΑ με προσαρμοσμένο καταναλωτή στο άκρο R (1/5)

- Στην ΓΜΧΑ έχουμε επιπλέον ότι: $\alpha = 0$ και $\bar{Z}_0 = Z_0$

- Σε αυτή την περίπτωση θα είναι:
$$\left. \begin{aligned} \underline{V}_R &= \underline{Z}_R \underline{I}_R \\ \underline{Z}_R &= \underline{Z}_0 = Z_0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \underline{V}_R = Z_0 \underline{I}_R$$

οπότε για οποιοδήποτε σημείο x θα είναι:

$$\begin{aligned} \bar{V}(x) &= \cos(\beta x) \bar{V}_R + j \sin(\beta x) \bar{V}_R = \bar{V}_R e^{j\beta x} \\ \bar{I}(x) &= j \sin(\beta x) \bar{I}_R + \cos(\beta x) \bar{I}_R = \bar{I}_R e^{j\beta x} \end{aligned}$$

Και στο άκρο S θα είναι:

$$\left. \begin{aligned} \bar{V}_S &= \cos(\beta \ell) \bar{V}_R + j \sin(\beta \ell) \bar{V}_R = \bar{V}_R e^{j\beta \ell} \\ \bar{I}_S &= j \sin(\beta \ell) \bar{I}_R + \cos(\beta \ell) \bar{I}_R = \bar{I}_R e^{j\beta \ell} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\bar{Z}_S = \frac{\bar{V}_S}{\bar{I}_S} = \frac{\bar{V}_R}{\bar{I}_R} = Z_0$$



ΓΜΧΑ με προσαρμοσμένο καταναλωτή στο άκρο R (2/5)

- Σε μια ΓΜΧΑ που λειτουργεί με ωμικό φορτίο ίσο με την κυματική της αντίσταση υπάρχει μόνο ένα κύμα που οδεύει προς τα ελαττούμενα x .



Δεν υπάρχει επιστρέφον κύμα.

- Τάση και ρεύμα μένουν αμετάβλητα ως προς το μέτρο τους κατά την όδευση τους.



Η πτώση τάσης είναι μηδενική.



ΓΜΧΑ με προσαρμοσμένο καταναλωτή στο άκρο R (3/5)

- τάση και ρεύμα στρέφονται ταυτόχρονα κατά την όδευση τους, με γωνία στροφής ίση με βx .



η συνολική τους στροφή είναι ίση με βl .

$$V_S = V_R \quad I_S = I_R \quad (\text{ανεξάρτητα του μήκους } l \text{ της γραμμής})$$

Τάση και ρεύμα αλλάζουν μόνο τη φάση τους
με γωνία ίση με β rad/km ($=0,06^\circ/\text{km}$ για εναέριες ΓΜΧΑ)



ΓΜΧΑ με προσαρμοσμένο καταναλωτή στο άκρο R (4/5)

- Η μιγαδική ισχύς του καταναλωτή στο άκρο παραλαβής R θα είναι :

$$\bar{S}_R = 3 \cdot \bar{V}_R \bar{I}_R^* = 3 \cdot \bar{V}_R \frac{\bar{V}_R^*}{\bar{Z}_0^*} = 3 \cdot \frac{V_R^2}{\bar{Z}_0^*} = \frac{U_R^2}{\bar{Z}_0^*}$$

- Σε μια ΓΜΧΑ θα είναι όμως $\bar{Z}_0 = Z_0$, οπότε:

$$\bar{S}_R = \frac{U_R^2}{Z_0} = \frac{U_N^2}{Z_0} = P_N$$

- Η P_N ονομάζεται **φυσική ισχύς** ΓΜΧΑ. Αν μια ΓΜΧΑ μεταφέρει:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_R = P_N \\ Q_R = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow V_S - V_R = 0$$

- Άρα **μία προσαρμοσμένη ΓΜΧΑ δε χρειάζεται αντιστάθμιση.**



ΓΜΧΑ με προσαρμοσμένο καταναλωτή στο άκρο R (5/5)

- Εξήγηση:

Στο τυχόν σημείο x μιας προσαρμοσμένης ΓΜΧΑ

η L' της γραμμής καταναλίσκει: $Q_{L'x} = I_x^2 L' \omega \text{ VAr} / \text{km}$

η C' της γραμμής παράγει: $Q_{C'x} = -V_x^2 C' \omega \text{ VAr} / \text{km}$

Αλλά: $\frac{V_x}{I_x} = \frac{V_R}{I_R} = Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \Rightarrow I_x^2 L' = V_x^2 C' \Rightarrow$

$$Q_{L'x} + Q_{C'x} = 0$$

Άρα μια προσαρμοσμένη ΓΜΧΑ ζητά μηδενική άεργη ισχύ.



ΓΜΧΑ με μη προσαρμοσμένο ωμικό καταναλωτή στο άκρο R (1/6)

- Συνδυάζοντας τις σχέσεις που έχουμε δει μέχρι τώρα, προκύπτει με τη βοήθεια της φυσικής ισχύος της ΓΜΧΑ ότι:

$$V_S = V_R \sqrt{1 + \left(\frac{P_R^2}{P_N^2} - 1 \right) \sin^2(\beta \ell)}$$

- Για μικρά μήκη ℓ όμως, οπότε και για μικρές γωνίες $\beta \ell$ ισχύουν οι σχέσεις:

$$\frac{\ell}{\lambda} \rightarrow 0 \Rightarrow \beta \ell \rightarrow 0 \Rightarrow \sin(\beta \ell) \rightarrow \beta \ell \Rightarrow \sin^2(\beta \ell) = (\beta \ell)^2 = \left(\frac{2\pi \ell}{\lambda} \right)^2$$

- Αυτή η προσέγγιση ισχύει πρακτικά για γωνίες $< 30^\circ$, δηλ. πρακτικά για όλες σχεδόν τις εναέριες ΓΜ, αφού:

$$\beta \ell < 30^\circ = \frac{360^\circ}{12} \Rightarrow \ell < \frac{360^\circ}{12\beta} = \frac{\lambda}{12} = 500 \text{ km}$$



ΓΜΧΑ με μη προσαρμοσμένο ωμικό καταναλωτή στο άκρο R (2/6)

- Προκύπτει έτσι μια πρώτη προσέγγιση για την V_S :

$$V_S \cong V_R \sqrt{1 + \left(\frac{P_R^2}{P_N^2} - 1 \right) \left(\frac{2\pi \ell}{\lambda} \right)^2}$$

- Επίσης, για $-1 < z \leq 1$ ισχύει κατά Newton:

$$(1 + z)^{1/2} = 1 + \frac{1}{2}z - \frac{1}{8}z^2 + \frac{1}{16}z^3 - \dots$$

- Στη δική μας περίπτωση, και για $\frac{\ell}{\lambda} \rightarrow 0$, η σχέση $-1 < z \leq 1$ ισχύει πάντα για:

$$z = \left(\frac{P_R^2}{P_N^2} - 1 \right) \left(\frac{2\pi \ell}{\lambda} \right)^2$$



ΓΜΧΑ με μη προσαρμοσμένο ωμικό καταναλωτή στο άκρο R (3/6)

- Χρησιμοποιώντας λοιπόν το ανάπτυγμα κατά Newton, και παραλείποντας τους ανώτερους όρους, προκύπτει μια δεύτερη προσέγγιση για την V_S :

$$V_S \cong V_R \left[1 + \left(\frac{P_R^2}{P_N^2} - 1 \right) \frac{2\pi^2 \ell^2}{\lambda^2} \right]$$

οπότε η πώση τάσης θα είναι ίση με:

$$\frac{V_S - V_R}{V_R} = \left(\frac{P_R^2}{P_N^2} - 1 \right) 19,74 \left(\frac{\ell}{\lambda} \right)^2$$



ΓΜΧΑ με μη προσαρμοσμένο ωμικό καταναλωτή στο άκρο R (4/6)

- Προκύπτουν λοιπόν τα εξής συμπεράσματα:
 - Σε μια ΓΜΧΑ που τροφοδοτεί ωμικό φορτίο $Z_R \neq Z_0$ μεταφέροντας ενεργή ισχύ **μεγαλύτερη** της φυσικής της ισχύος P_N προκαλείται **πτώση τάσης**.
 - Σε μια ΓΜΧΑ που τροφοδοτεί ωμικό φορτίο $Z_R \neq Z_0$ μεταφέροντας ενεργή ισχύ **μικρότερη** της φυσικής της ισχύος P_N προκαλείται **ανύψωση τάσης**.
 - Τόσο η πτώση όσο και η ανύψωση τάσης είναι ανάλογες του **τετραγώνου** του μήκους l της γραμμής.



ΓΜΧΑ με μη προσαρμοσμένο ωμικό καταναλωτή στο άκρο R (5/6)

- Με ανάλογη ανάλυση προκύπτει για το άκρο S η εξής προσεγγιστική σχέση για την Q_S :

$$Q_S = P_N \left(\frac{P_R^2}{P_N^2} - 1 \right) \beta \ell = 2\pi \frac{\ell}{\lambda} P_N \left(\frac{P_R^2}{P_N^2} - 1 \right) \sim \ell$$

- Άρα λοιπόν:
 - Μια ΓΜΧΑ που τροφοδοτεί ωμικό φορτίο $Z_R \neq Z_0$ μεταφέροντας ενεργή ισχύ **μεγαλύτερη** της φυσικής της ισχύος P_N **καταναλώνει άεργη ισχύ.**
 - Μια ΓΜΧΑ που τροφοδοτεί ωμικό φορτίο $Z_R \neq Z_0$ μεταφέροντας ενεργή ισχύ **μικρότερη** της φυσικής της ισχύος P_N **παράγει άεργη ισχύ.**



ΓΜΧΑ με μη προσαρμοσμένο ωμικό καταναλωτή στο άκρο R (6/6)

- Όπως θα περιμέναμε, στα καλώδια :
 - Η κυματική αντίσταση Z_0 είναι μικρότερη,
 - Η φυσική ισχύς P_N είναι μεγαλύτερη,
 - Συνήθως η φυσική ισχύς είναι πολύ μεγαλύτερη του φορτίου P_R .
 - Άρα λοιπόν έχουμε συνήθως **ανύψωση τάσης**, και **χωρητική συμπεριφορά**, οπότε και χρειαζόμαστε **επαγωγική αντιστάθμιση**.



ΓΜΧΑ με μη προσαρμοσμένο σύνθετο καταναλωτή στο άκρο R ($1/4$)

- Προκύπτει ότι:

$$\left(\frac{V_S}{V_R}\right)^2 \frac{1}{\sin^2(\beta \ell)} = \left[\cot(\beta \ell) + \frac{Q_R}{P_N} \right]^2 + \left(\frac{P_R}{P_N}\right)^2$$

- Για V_R, V_S, l σταθερά, θα έχουμε $P_{R \text{ MAX}}$ όταν:

$$\cot(\beta \ell) + \frac{Q_R}{P_N} = 0 \Rightarrow Q_R = -P_N \cot(\beta \ell)$$

με

$$P_{R \text{ MAX}} = \frac{V_S}{V_R} \frac{P_N}{\sin(\beta \ell)}$$



ΓΜΧΑ με μη προσαρμοσμένο σύνθετο καταναλωτή στο άκρο R (2/4)

- Το $P_{R \text{ MAX}}$ είναι ένα μέγιστο με θεωρητικό χαρακτήρα.
- Υπάρχουν άλλες λειτουργικές συνθήκες που περιορίζουν αισθητά τη μεταφερόμενη ισχύ:
 - Όριο ευστάθειας.
 - Όριο πτώσης τάσης.
 - Θερμικά όρια.



ΓΜΧΑ με μη προσαρμοσμένο σύνθετο καταναλωτή στο άκρο R (3/4)

- Από την ίδια σχέση:

$$\left(\frac{V_S}{V_R}\right)^2 \frac{1}{\sin^2(\beta \ell)} = \left[\cot(\beta \ell) + \frac{Q_R}{P_N} \right]^2 + \left(\frac{P_R}{P_N}\right)^2 \Rightarrow$$

προκύπτει η πτώση τάσης:

$$\frac{V_S - V_R}{V_R} = \sqrt{\left[\cot(\beta \ell) + \frac{Q_R}{P_N} \right]^2 + \left(\frac{P_R}{P_N}\right)^2} \sin(\beta \ell) - 1$$

Αν:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_R = 0 \quad \& \quad P_R = P_N \Rightarrow V_S - V_R = 0 \\ Q_R \neq 0 \quad \vee \quad P_R \neq P_N \Rightarrow V_S - V_R \neq 0 \end{array} \right.$$



ΓΜΧΑ με μη προσαρμοσμένο σύνθετο καταναλωτή στο άκρο R (4/4)

- Για:

$$\frac{\ell}{\lambda} \rightarrow 0 \Rightarrow \beta \ell \rightarrow 0 \Rightarrow \sin^2(\beta \ell) \rightarrow (\beta \ell)^2 = \left(\frac{2\pi\ell}{\lambda}\right)^2$$

προκύπτει τελικά η προσεγγιστική σχέση για την πτώση τάσης:

$$= 19,74 \left(\frac{\ell}{\lambda}\right)^2 \left[\left(\frac{P_R}{P_N}\right)^2 - 1 + \left(\frac{Q_R}{P_N}\right)^2 \right] + 6,28 \left(\frac{\ell}{\lambda}\right) \frac{Q_R}{P_N} \sim \ell^2$$



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Λαμπρίδης Δημήτρης, Ανδρέου Γεώργιος. «ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ II, Ειδικές Περιπτώσεις Γραμμών 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

