

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

	Σελίδα
Κυκλώματα Προσαρμογής	
• Θεωρητική Ανάλυση Γραμμών Μεταφοράς	1- 1
• Χάρτης Smith	1-14
• Προσαρμογή Φορτίου με Γραμμή σε Σειρά	1-17
• Θεώρημα Μέγιστης Μεταφοράς Ισχύος	1-18
• Προσαρμογή- Z_0 και Συζυγής Προσαρμογή	1-21
• Γενική Αρχή Προσαρμογής	1-22
• Απλά Δίκτυα Προσαρμογής	1-23
• Προσαρμογή με Τμήματα Γραμμών-Stub	1-26
• Εφαρμογές του Χάρτη Smith	1-29
• Συντονισμένα Κυκλώματα	1-33
• Συσκευές-Φορτία Αρνητικής Αντίστασης	1-36

Γραμμές Μεταφοράς - Θεωρητική Ανάλυση
 Γραμμές που λειτουργούν σε Ρυθμό TEM: Ομογενικά, Μικροταινιακά
 R, L = ωμική αντίσταση, αυτεπαγωγή αγωγών / μον. μήκους
 G, C = αγωγιμότητα και χωρητικότητα διηλεκτρικού ανά μονάδα μήκους.

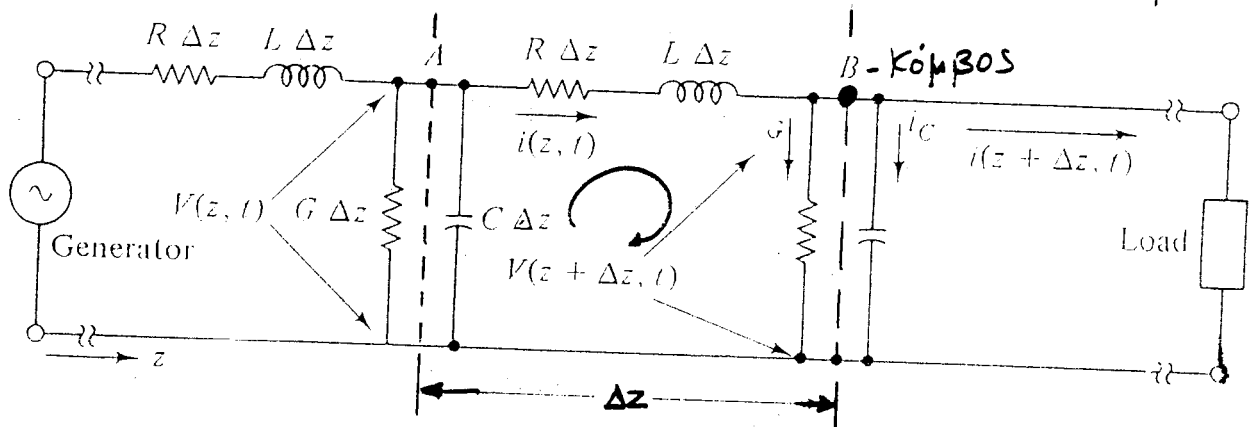


Figure 2-1-1 Elementary section of transmission line.

Μήκος Δz :

By Kirchhoff's voltage law, the summation of the voltage drops around the central loop is given by

Βρόχος:

$$v(z, t) = i(z, t)R \Delta z + L \Delta z \frac{\partial i(z, t)}{\partial t} + v(z, t) + \frac{\partial v(z, t)}{\partial z} \Delta z \quad (2-1-1)$$

Κόμβος Β:

$$i(z, t) = v(z + \Delta z) \cdot G \cdot \Delta z + C \cdot \Delta z \cdot \frac{\partial v(z + \Delta z)}{\partial t} + i(z + \Delta z, t)$$

Αποποίηση:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial v}{\partial z} &= R i + L \frac{\partial i}{\partial t} \\ -\frac{\partial i}{\partial z} &= G v + C \frac{\partial v}{\partial t} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{Αρμονικά } v, i \\ &v(z, t) = \text{Re}(V(z) e^{j\omega t}) \\ &i(z, t) = \text{Re}(I(z) e^{j\omega t}) \\ &\frac{\partial}{\partial t} \rightarrow j\omega \end{aligned} \right\} \begin{aligned} -\frac{\partial V}{\partial z} &= I(R + j\omega L) \\ -\frac{\partial I}{\partial z} &= V(G + j\omega C) \end{aligned} \quad (a)$$

Παραγωγιζόντας:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} &= \{-V(G + j\omega C)\}(R + j\omega L) = -V \cdot Z \cdot Y \\ -\frac{\partial^2 I}{\partial z^2} &= \{-I(R + j\omega L)\}(G + j\omega C) = -I \cdot Z \cdot Y \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{όπου} \\ &Z = R + j\omega L \\ &Y = G + j\omega C \end{aligned}$$

ΕΠΙΛΥΣΗ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Διαφορικές Εξισώσεις

Λύσεις

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} - (YZ) V = 0$$

$$\frac{\partial^2 I}{\partial z^2} - (YZ) I = 0$$

Θετουμε $\gamma^2 = YZ$

Ορισμοί

$V_+ e^{-\gamma z}$, $I_+ e^{+\gamma z}$

$V_- e^{+\gamma z}$, $I_- e^{-\gamma z}$

Κύμα τάσης, ρεύματος διαδιδόμενο $\rightarrow +z$

Κύμα τάσης, ρεύματος διαδιδόμενο $\rightarrow -z$

$$\rightarrow V(z) = V_+ e^{-\gamma z} + V_- e^{+\gamma z} \quad (\alpha')$$

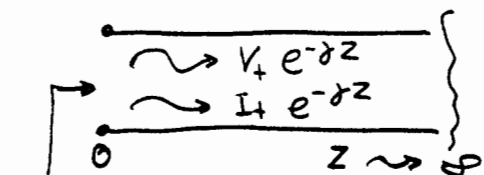
$$I(z) = I_+ e^{-\gamma z} + I_- e^{+\gamma z}$$

$$\gamma = \sqrt{YZ} = \{(G+j\omega C)(R+j\omega L)\}^{1/2}$$

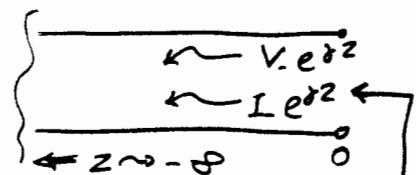
$$\gamma = \alpha + j\beta = \text{συνολική διάδοση}$$

Χαρακτηριστική Αντίσταση Z_0

$$Z_0 = Z_{in} = \frac{V}{I} \Big|_{l \rightarrow \infty} = \text{Αντίσταση εισόδου γραμμής "απείρον" μήκους}$$



$$Z_0 = \frac{Z}{\gamma} = \frac{V_+}{I_+} = -\frac{V_-}{I_-}$$



$$Z_{in} = Z_0 = \frac{V}{I} \Big|_{V_-=0} = \frac{Z}{\gamma} = \frac{V_+}{I_+}$$

$$Z_{in} = \frac{V}{I} \Big|_{V_+=0} = -\frac{Z}{\gamma} = \frac{V_-}{I_-} = -Z_0$$

Συμβέση Κύματος Τάσης - Κύματος Ρεύματος

$$(a) \rightarrow \frac{\partial V}{\partial z} = -IZ$$

$$\rightarrow \frac{\partial V}{\partial z} = -\gamma \{V_+ e^{-\gamma z} - V_- e^{+\gamma z}\} =$$

$$(a') \rightarrow V(z) = V_+ e^{-\gamma z} + V_- e^{+\gamma z} \quad \rightarrow \quad = -ZI = -Z \{I_+ e^{-\gamma z} + I_- e^{+\gamma z}\}$$

αρα:

$$I_+ = \frac{\gamma}{Z} V_+$$

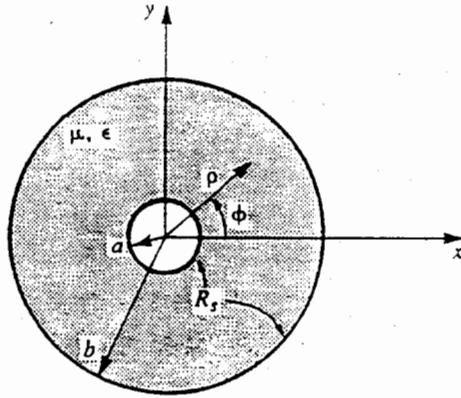
$$I_- = -\frac{\gamma}{Z} V_-$$

$$\Rightarrow \begin{cases} I(z) = \frac{\gamma}{Z} \{V_+ e^{-\gamma z} - V_- e^{+\gamma z}\} \\ V(z) = V_+ e^{-\gamma z} + V_- e^{+\gamma z} \end{cases}$$

δηλαδή:

$$V(z) = V_+ e^{-\gamma z} + V_- e^{+\gamma z}, \quad I(z) = \frac{V_+}{Z_0} e^{-\gamma z} - \frac{V_-}{Z_0} e^{+\gamma z} \quad (2)$$

Συνήθεις Γραμμές TEM



Geometry of a coaxial line with surface resistance R_s on the inner and outer conductors.

TABLE 3.1 Transmission Line Parameters for Some Common Lines

	COAX	TWO-WIRE	PARALLEL PLATE
	Ομοαξονική	Δύο αγωγών	Παράλληλων Ελαστών
L	$\frac{\mu}{2\pi} \ln \frac{b}{a}$	$\frac{\mu}{\pi} \cosh^{-1} \left(\frac{D}{2a} \right)$	$\frac{\mu d}{w}$
C	$\frac{2\pi\epsilon'}{\ln b/a}$	$\frac{\pi\epsilon'}{\cosh^{-1}(D/2a)}$	$\frac{\epsilon' w}{d}$
R	$\frac{R_s}{2\pi} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right)$	$\frac{R_s}{\pi a}$	$\frac{2R_s}{w}$
G	$\frac{2\pi\omega\epsilon''}{\ln b/a}$	$\frac{\pi\omega\epsilon''}{\cosh^{-1}(D/2a)}$	$\frac{\omega\epsilon'' w}{d}$

$$\epsilon^* = \epsilon_r \epsilon_0 (1 - j \tan \delta) = \epsilon' - j \epsilon''$$

$$\tan \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

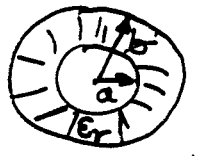
$$\epsilon'' = \frac{\sigma}{\omega} + (\epsilon'')_{\text{πολύων}}$$

Χαρακτηριστική Αντίσταση

$$Z_0 = \frac{Z}{Y} = \frac{Z}{\sqrt{ZY}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

Πωθός TEM

Ομοαξονικά Καλώδια



$$Z_0 = \frac{E_x}{H_y} = - \frac{E_y}{H_x}$$

$$Z_0 = \frac{\eta \ln(b/a)}{2\pi} \quad \left\{ \eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \eta_0 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \right.$$

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = \sqrt{\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}}{\frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \text{ F/m}}} = 120\pi \approx 377 \Omega$$

Χαρακτηριστική Αντίσταση αέρα

$$(\epsilon_0 = 10^{-9}/36\pi = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m})$$

Συνηθεις γραμμές TEM } $\mu_r = 1$
 Ομοαξονικά Καλώδια } Διηλεκτρικό μονωτικό

Σταθερά Διαδόσης:

$$\gamma = \sqrt{ZY} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon^*}$$

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' = \epsilon_0 \epsilon_r (1 - j \tan \delta)$$

α = συντελεστής εξασθένισης β = σταθερά φάσης:

Πωθός TEM: $\beta = \omega \sqrt{\mu \epsilon} = \frac{2\pi}{\lambda_g} \mid \lambda_g = \lambda \neq \lambda_0$ $= 2\pi f \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$

Διηλεκτρικά μονωτικά } $c = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ } $\beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon_r}$ } $\lambda_g = \lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$
 $\mu_r = 1$ } $\beta = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\epsilon_r}$ } $\lambda_0 = c/f$

Αύξηση $\epsilon_r \rightarrow$ μείωση $\lambda \rightarrow$ RF κυκλώματα μικροτέρων διαστάσεων

Ταχύτητα Φάσης και Ταχύτητα Ομάδος

Πωθός TEM $v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} = \frac{2\pi f}{2\pi/\lambda_g} = f \lambda_g = f \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$

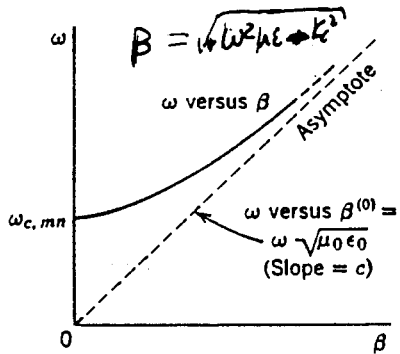
Ταχύτητα Ομάδος $v_g = \frac{d\omega}{d\beta} = \left(\frac{d\beta}{d\omega}\right)^{-1} = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}} = v_p$ ΔΕΝ ΥΠΑΡΧΕΙ διασπορά συχνοτήτων (3)

Διασπορά (βυχνότητας) σε κοίλους κυματοδηγούς: $\frac{\omega}{\beta} = \phi(f)$ οχι σταθ.

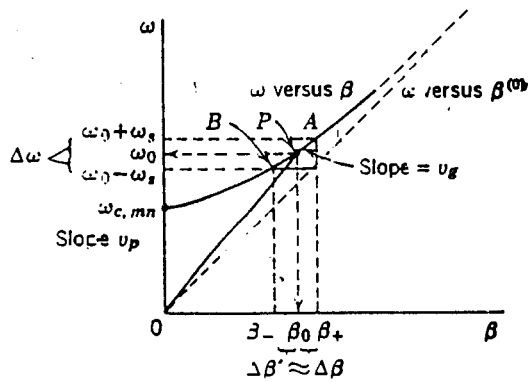
) Ταχύτητα Φάσης: $U_p = \omega/\beta =$ ταχύτητα διάδοσης συνεχούς κύματος

) Ταχύτητα Ομάδος $U_g = d\omega/d\beta \approx \frac{\Delta\omega}{\Delta\beta} =$ Ταχύτητα διάδοσης διαμορφωμένου βλήματος \rightarrow πληροφορίας.

8-5 Dispersion in Hollow Waveguides: Group Velocity



(a)



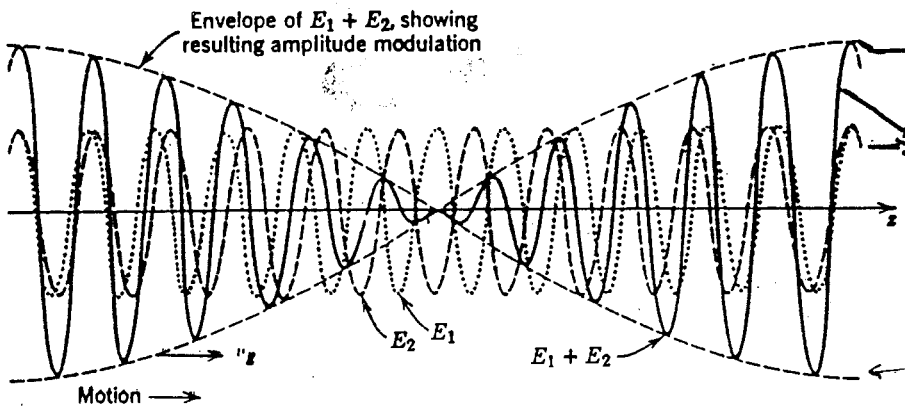
(b)

$\beta_- \rightarrow$ ανω αλενρική ζώνη
 $\beta_+ \rightarrow$ κατώ >> >>

Συνεχές κύμα (CW) \leftrightarrow Ταχύτητα Φάσης : ΔΕΝ μεταφέρει πληροφορία

Διαμορφωμένο κύμα \leftrightarrow Ταχύτητα Ομάδος : ΜΕΤΑΦΕΡΕΙ πληροφορία

FM



(a)

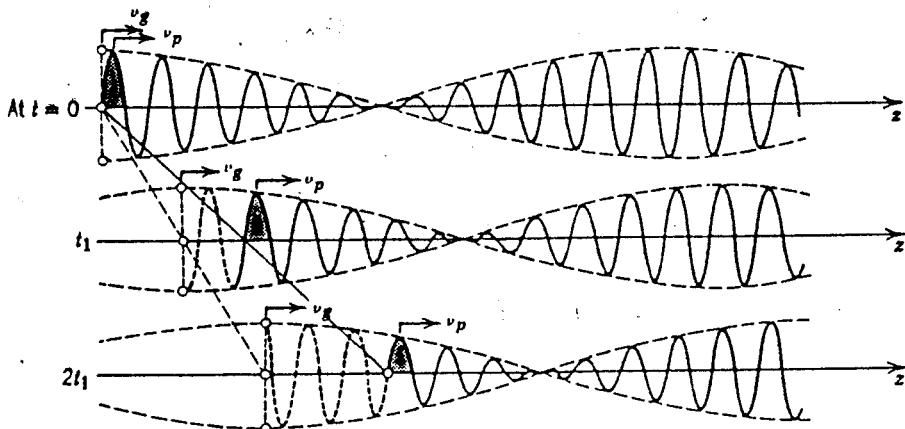
$U_g =$ τακ. μετώδους της περιβάλλουσα
 $U_p = \omega/\beta$ Η ταχύτητα φάσης κάθε αρμονικής είναι διαφορετική

Τα μέτωπα σιωπής φάσης πάνω στη περιβάλλουσα είναι:

$$\Delta\omega \cdot t - \Delta\beta \cdot z = \text{σταθ.}$$

$$\rightarrow \frac{dz}{dt} = \frac{\Delta\omega}{\Delta\beta} = U_g$$

$$\rightarrow U_g = \frac{\partial\omega}{\partial\beta} = \left(\frac{\partial\beta}{\partial\omega}\right)^{-1}$$



(b)

Για πυρήνες TE ή TM σε κυματοδηγό: $U_g = c \frac{d\omega}{df} = U_g^{(0)} \sqrt{1 - \left(\frac{f_{c, mn}}{f}\right)^2}$

Γραμμές μεταφοράς ή TEM - πυρήνι κυματοδηγοί: \rightarrow ΔΕΝ απουσιάζουν διασπορά $\rightarrow \beta = \omega \sqrt{\mu\epsilon}$ και $U_p = U_g = \text{σταθ. ανεξάρτητη του } f$

Γραμμές χωρίς Απώλειες $R=0$, $G=0$

$$\gamma = \alpha + j\beta = j\omega\sqrt{LC}$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC} \Big|_{\text{TEM}} = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{j\omega L}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Big|_{\text{TEM}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \epsilon_r}} = \frac{c}{\rho} = \rho^{-1} \lambda_g$$

Γραμμές TEM Μικροκυματικών Συχνοτήτων (Liao Sec. 13)

$$R \ll \omega L \quad G \ll \omega C$$

$$\gamma = \sqrt{(R+j\omega L)(G+j\omega C)} \approx j\omega\sqrt{LC} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{R}{j\omega L} + \frac{G}{j\omega C} \right) \right\}$$

$$(1+x)^{1/2} \Big|_{x \ll 1} \approx 1 + x/2$$

ορα :

$$\gamma = \alpha + j\beta \approx \frac{1}{2} \left\{ R\sqrt{\frac{C}{L}} + G\sqrt{\frac{L}{C}} \right\} + j\omega\sqrt{LC}$$

$$\text{ή } \underline{\alpha \approx \frac{1}{2} \left\{ R\sqrt{\frac{C}{L}} + G\sqrt{\frac{L}{C}} \right\}} \quad \underline{\beta \approx \omega\sqrt{LC}} \Big|_{\text{TEM}} = \omega\sqrt{\mu\epsilon}$$

Και

$$\underline{Z_0 = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{R}{j\omega L} - \frac{G}{j\omega C} \right) \right\} \approx \underline{\sqrt{\frac{L}{C}}}}$$

Πλάτος Τάσης και Ρεύματος Κατά μήκος γραμμής μεταφοράς

Πλάτος Διαδιδόμενων Κυμάτων

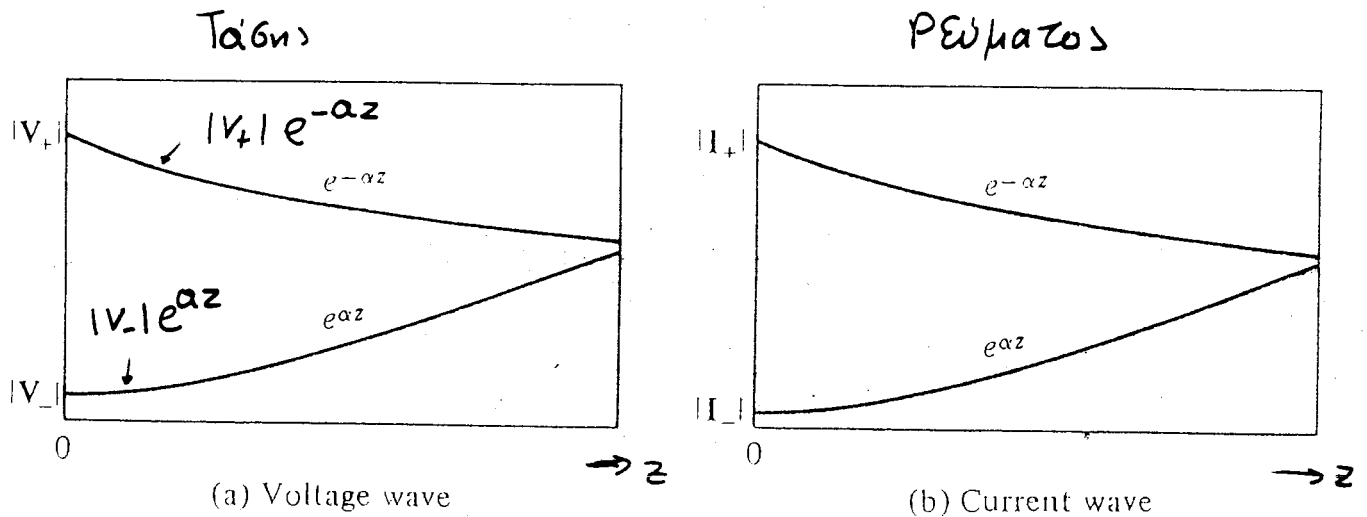


Figure 2-1-2 Magnitude of voltage and current traveling waves.

Ολική τάση στο σημείο $-z$, $V(z)$

$$V(z) = V_+ e^{-\gamma z} + V_- e^{\gamma z} = \underbrace{V_+ e^{-\alpha z}}_{\text{Πλάτος οδώντος}} e^{-j\beta z} + \underbrace{V_- e^{\alpha z}}_{\text{ανακτιωμένα}} e^{j\beta z}$$

Ολικό ρεύμα στο σημείο $-z$, $I(z)$

$$I(z) = I_+ e^{-\gamma z} + I_- e^{\gamma z} = \underbrace{I_+ e^{-\alpha z}}_{\text{Πλάτος οδώντος}} e^{-j\beta z} + \underbrace{I_- e^{\alpha z}}_{\text{ανακτιωμένα}} e^{j\beta z}$$

$$= \frac{V_+}{Z_0} e^{-\gamma z} - \frac{V_-}{Z_0} e^{\gamma z} = \underbrace{\frac{V_+}{Z_0} e^{-\alpha z}}_{\text{Πλάτος οδώντος}} e^{-j\beta z} - \underbrace{\frac{V_-}{Z_0} e^{\alpha z}}_{\text{ανακτιωμένα}} e^{j\beta z}$$

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

Τερματισμός Γραμμής

Αντίσταση Φορτίου

$$Z_L = \frac{V(l)}{I(l)} = \frac{V_+ e^{-\gamma l} + V_- e^{+\gamma l}}{\frac{1}{Z_0} (V_+ e^{-\gamma l} - V_- e^{+\gamma l})}$$

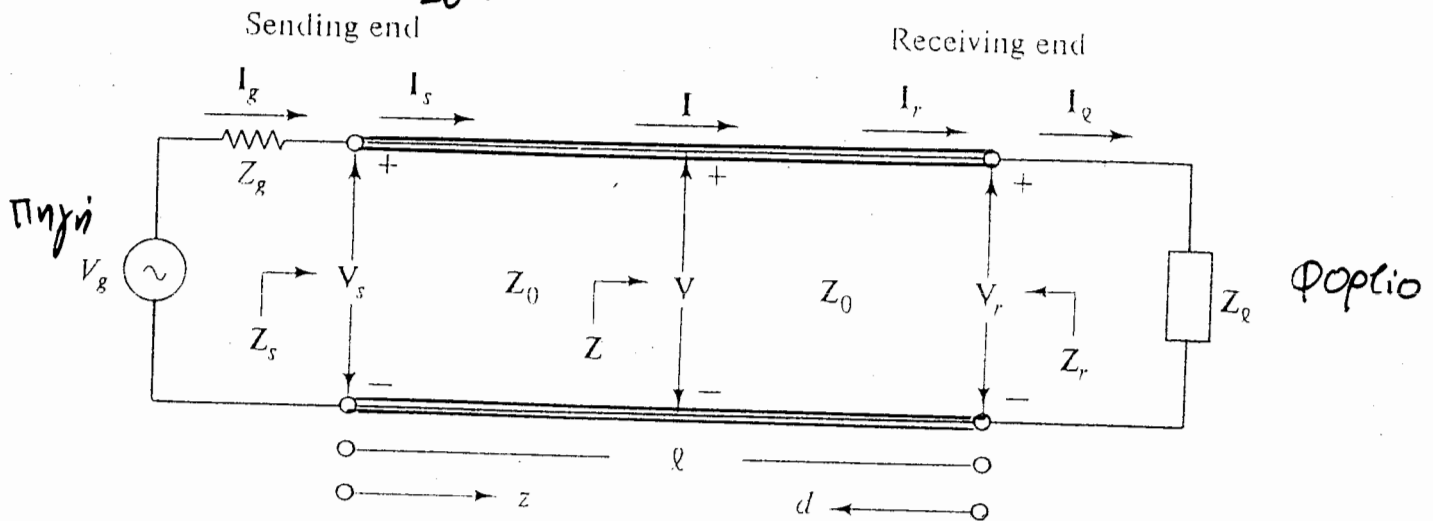


Figure 2-1-3 Transmission line terminated in a load impedance.

Συντελεστής Ανάκλασης: σε τυχαίο σημείο-z:

$$\text{Συντελεστής Ανάκλασης} = \frac{\text{Ανακλώμενη τάση (ή ρεύμα)}}{\text{Προσπίπτουσα τάση (ή ρεύμα)}}$$

$$\Gamma(z) = \frac{V_{ref.}}{V_{inc.}} = - \frac{I_{ref.}}{I_{inc.}} = \frac{V_- e^{+\gamma z}}{V_+ e^{-\gamma z}} = - \frac{I_- e^{+\gamma z}}{I_+ e^{-\gamma z}}$$

Συντελεστής ανάκλασης στο φορτίο, Γ_L

$$\Gamma(l) = \Gamma_L = \frac{V_- e^{+\gamma l}}{V_+ e^{-\gamma l}} = \frac{V_-}{V_+} e^{+2\gamma l} = \frac{V_-}{V_+} e^{+2\alpha l} e^{+2j\beta l} = |\Gamma_L| e^{j\theta_L}$$

Συντελεστής Ανάκλασης σε απόσταση d από το φορτίο:

$$\Gamma_d = \Gamma(z=l-d) = \frac{V_- e^{+\gamma(l-d)}}{V_+ e^{-\gamma(l-d)}} = \frac{V_- e^{\gamma l}}{V_+ e^{-\gamma l}} \cdot e^{-2\gamma d} = \Gamma_L e^{-2\gamma d}$$

$$\Gamma_d = |\Gamma_L| e^{j\theta_L} \cdot e^{-2\alpha d} \cdot e^{-2j\beta d} = \underbrace{|\Gamma_L| e^{-2\alpha d}}_{|\Gamma_d|} \cdot \underbrace{e^{j(\theta_L - 2\beta d)}}_{\angle \Gamma_d}$$

Παρίστασις των Συντελεστών Ανάκλασης

Γραφή με Απώλειες $\alpha \neq 0$

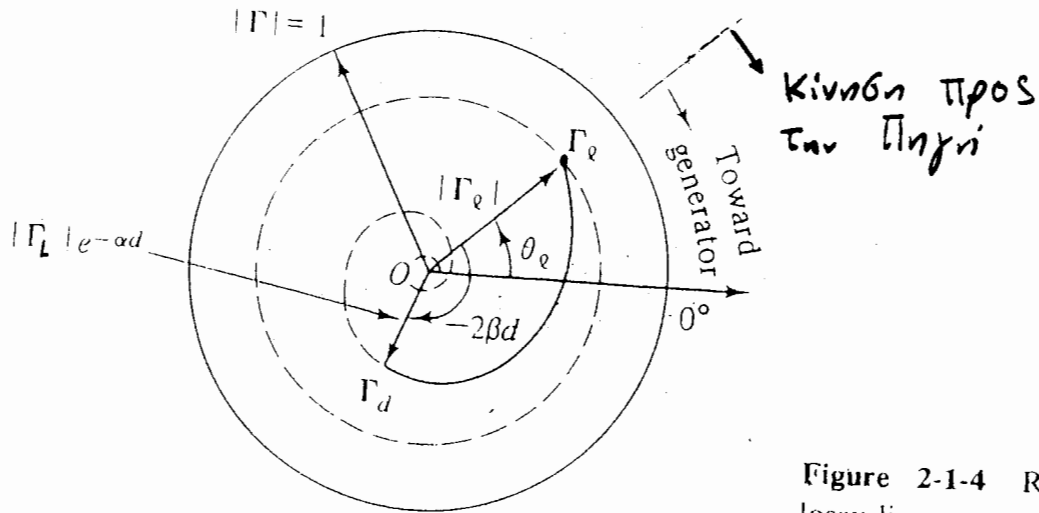


Figure 2-1-4 Reflection coefficient lossy line.

$$\Gamma_d = |\Gamma_d| e^{j\theta_d} = \underbrace{|\Gamma_L| e^{-2\alpha d}}_{\text{μειώνεται το πλάτος}} \cdot \underbrace{e^{j(\theta_e - 2\beta d)}}_{\text{σπειροειδής τροχιά}}$$

Γραφή χωρίς Απώλειες $\alpha \approx 0$

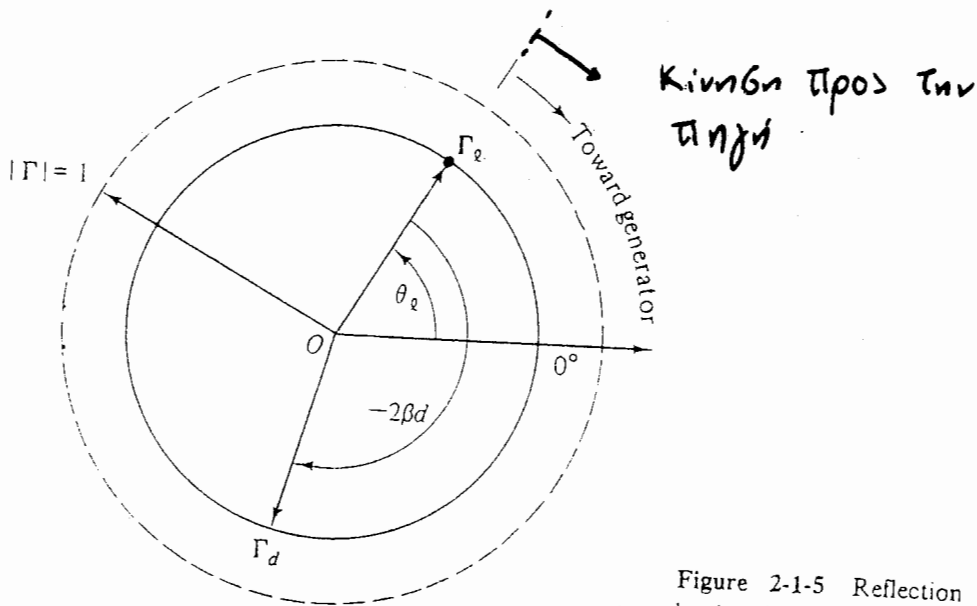


Figure 2-1-5 Reflection coefficient for lossless line.

$$\Gamma_d |_{\alpha \approx 0} = |\Gamma_d| e^{j\theta_d} = \underbrace{|\Gamma_L|}_{\text{σταθερό πλάτος}} \cdot \underbrace{e^{j(\theta_e - 2\beta d)}}_{\text{κυκλική τροχιά}}$$

$$2\beta d = 2 \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \cdot d$$

Συνολική Αντίσταση κατά μήκος της γραμμής

α) Στους ακροδέκτες του φορτίου:

$$Z_L = \frac{V(l)}{I(l)} = Z_0 \frac{V_+ e^{-\gamma l} + V_- e^{\gamma l}}{V_+ e^{-\gamma l} - V_- e^{\gamma l}} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_L}{1 - \Gamma_L}$$

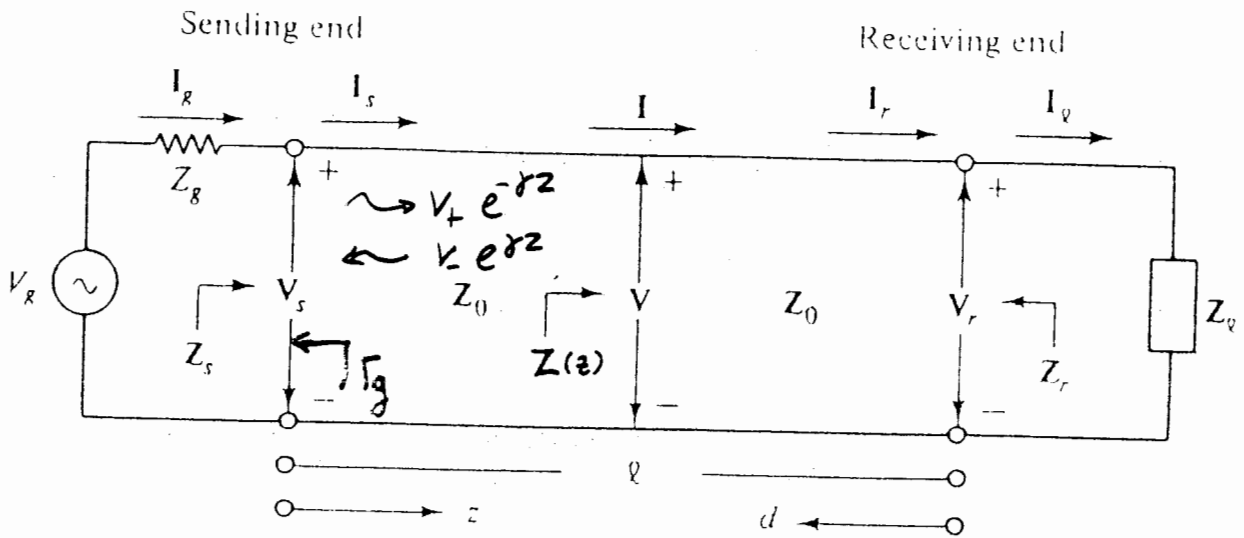


Figure 2-1-7 Diagram of a transmission line, showing notation.

β) Σε τυχαίο σημείο: z ← απόσταση z από την πηγή, βλέποντας

$$Z(z) = \frac{V(z)}{I(z)} = Z_0 \frac{V_+ e^{-\gamma z} + V_- e^{\gamma z}}{V_+ e^{-\gamma z} - V_- e^{\gamma z}} = Z_0 \frac{1 + \Gamma(z)}{1 - \Gamma(z)} \quad \begin{array}{l} \text{προς} \\ \text{το φορτίο} \end{array}$$

γ) Σε απόσταση d από το φορτίο:

$$Z_d = Z(z=l-d) = Z_0 \frac{1 + \Gamma(l-d)}{1 - \Gamma(l-d)} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_d}{1 - \Gamma_d} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_L e^{-2\gamma d}}{1 - \Gamma_L e^{-2\gamma d}}$$

δ) Στον ακροδέκτη της πηγής: (βλέποντας προς το φορτίο)

$$Z_s = Z(z=0) = Z_0 \frac{V_+ + V_-}{V_+ - V_-} = Z_0 \frac{1 + \Gamma(0)}{1 - \Gamma(0)}$$

1) Συντελεστής ανάκλασης της πηγής: βλέποντας προς την πηγή

$$\Gamma_g = \left. \frac{V_+ e^{-\gamma z}}{V_- e^{\gamma z}} \right|_{z=0} = \frac{V_+}{V_-}$$

2) Συντελεστής ανάκλασης στο σημείο z βλέποντας προς το φορτίο

$$\Gamma(z) = \frac{V_- e^{\gamma z}}{V_+ e^{-\gamma z}} = \frac{V_-}{V_+} e^{2\gamma z} = \Gamma(0) e^{2\gamma z}$$

Συνδέειν Αντιστάτην σε τυχαίο επίπεδο συνάρτησιν τῆς ἀντιστάτην φορτίου / ἢ τῆς εἰσόδου τῆς γραμμῆς

A) Ἀναζήτησις ἐπέ αὐτοῦ τῶν Φορτίου Κοιτάζοντα ἀπὸ τὸ Φορτίο

$$\alpha) \rightarrow \Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \text{καὶ} \quad \Gamma_d = \Gamma_L e^{-2\gamma d}$$

Σε ἀπόστασιν d ἀπὸ τὸ φορτίο:

$$\begin{aligned} \beta) \rightarrow Z_d &= Z_0 \frac{1 + \Gamma_d}{1 - \Gamma_d} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_L e^{-2\gamma d}}{1 - \Gamma_L e^{-2\gamma d}} = Z_0 \frac{e^{\gamma d} + \Gamma_L e^{-\gamma d}}{e^{\gamma d} - \Gamma_L e^{-\gamma d}} \\ &= Z_0 \frac{(Z_L + Z_0)e^{\gamma d} + (Z_L - Z_0)e^{-\gamma d}}{(Z_L + Z_0)e^{\gamma d} - (Z_L - Z_0)e^{-\gamma d}} = Z_0 \frac{Z_L(e^{\gamma d} + e^{-\gamma d}) + Z_0(e^{\gamma d} - e^{-\gamma d})}{Z_L(e^{\gamma d} - e^{-\gamma d}) + Z_0(e^{\gamma d} + e^{-\gamma d})} \\ &= Z_0 \frac{Z_L \cosh(\gamma d) + Z_0 \sinh(\gamma d)}{Z_L \sinh(\gamma d) + Z_0 \cosh(\gamma d)} = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \tanh(\gamma d)}{Z_0 + Z_L \tanh(\gamma d)} \end{aligned}$$

B) Ἀναζήτησις ἐπέ αὐτοῦ τῆς Πηγῆς (εἰσόδου): Κοιτάζοντα ἀπὸ τὸ Φορτίο

$$\delta) \rightarrow \Gamma(0) = \frac{Z_S - Z_0}{Z_S + Z_0} \quad \text{καὶ} \quad \Gamma(z) = \Gamma(0) e^{2\gamma z}$$

Σε ἀπόστασιν z ἀπὸ τὴν εἰσόδου

$$\begin{aligned} \beta) \rightarrow Z(z) &= Z_0 \frac{1 + \Gamma(z)}{1 - \Gamma(z)} = Z_0 \frac{1 + \Gamma(0) e^{2\gamma z}}{1 - \Gamma(0) e^{2\gamma z}} = Z_0 \frac{e^{-\gamma z} + \Gamma(0) e^{\gamma z}}{e^{-\gamma z} - \Gamma(0) e^{\gamma z}} \\ &= Z_0 \frac{(Z_S + Z_0)e^{-\gamma z} + (Z_S - Z_0)e^{\gamma z}}{(Z_S + Z_0)e^{-\gamma z} - (Z_S - Z_0)e^{\gamma z}} = Z_0 \frac{Z_S(e^{-\gamma z} + e^{\gamma z}) + Z_0(e^{-\gamma z} - e^{\gamma z})}{Z_S(e^{-\gamma z} - e^{\gamma z}) + Z_0(e^{\gamma z} + e^{-\gamma z})} \\ &= Z_0 \frac{Z_S \cosh(\gamma z) - Z_0 \sinh(\gamma z)}{-Z_S \sinh(\gamma z) + Z_0 \cosh(\gamma z)} = Z_0 \frac{Z_S - Z_0 \tanh(\gamma z)}{Z_0 - Z_S \tanh(\gamma z)} \end{aligned}$$

Γραμμῆς χωρὶς Ἀπώλειες $\gamma = \alpha + j\beta = j\beta$ καὶ $Z_0 = R_0 = \text{πραγματ.}$

$$Z_d = R_0 \frac{Z_L + jR_0 \tan(\beta d)}{R_0 + jZ_L \tan(\beta d)}$$

$$Z(z) = R_0 \frac{Z_S - jR_0 \tan(\beta z)}{R_0 - jZ_S \tan(\beta z)}$$

$$\tanh(jx) = j \tan(x)$$

9

Διαδιδόμενα Ισχύς - Συντελεστής Διαδομής:

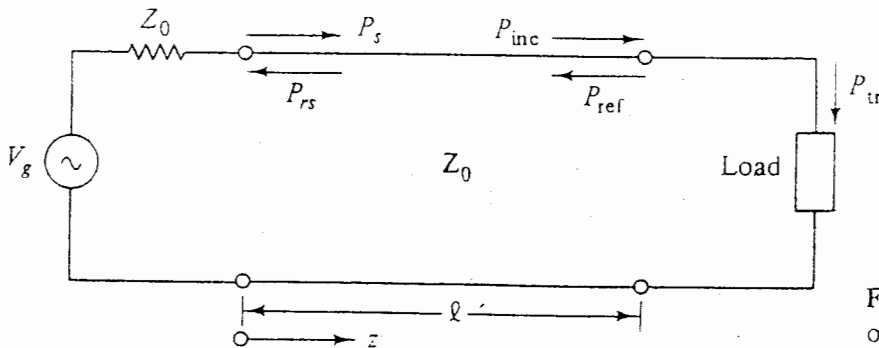


Figure 2-1-6 Power transmission on a line.

Διαδιδόμενο κύμα στο φορτίο

$$V_{tr} e^{-\gamma l} = V_+ e^{-\gamma l} + V_- e^{\gamma l}$$

και $Z_L = V_{tr} / I_{tr}$

$$I_{tr} e^{-\gamma l} = I_+ e^{-\gamma l} + I_- e^{\gamma l} \rightarrow \frac{V_{tr} e^{-\gamma l}}{Z_L} = \frac{V_+ e^{-\gamma l}}{Z_0} - \frac{V_- e^{\gamma l}}{Z_0}$$

Συντελεστής Διαδομής:

$$T = \frac{\text{Διαδιδόμενα τάση / ρεύμα}}{\text{Προσπίεζοντα τάση / ρεύμα}} = \frac{V_{tr}}{V_{inc}} = \frac{I_{tr}}{I_{inc}}$$

$$T = \frac{V_{tr} e^{-\gamma l}}{V_+ e^{-\gamma l}} = \frac{V_{tr}}{V_+} = 1 + \frac{V_- e^{\gamma l}}{V_+ e^{-\gamma l}} = 1 + \Gamma = 1 + \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{2 Z_L}{Z_L + Z_0}$$

Μέτρο Ισχύς Οδοντώντων Κυμάτων: στο φορτίο

Προσπίεζοντα: $\langle P_{inc} \rangle = \frac{|V_+ e^{-\alpha l}|^2}{2 Z_0}$

Ανακλώμενο: $\langle P_{ref} \rangle = \frac{|V_- e^{\alpha l}|^2}{2 Z_0}$

Διαδιδόμενο: $\langle P_{tr} \rangle = \frac{|V_{tr} e^{-\alpha l}|^2}{2 Z_L}$

Διατήρηση Ισχύος:

$$\langle P_{inc} \rangle = \langle P_{ref} \rangle + \langle P_{tr} \rangle$$

$$1 = \left| \frac{V_- e^{\alpha l}}{V_+ e^{-\alpha l}} \right|^2 + \left| \frac{V_{tr} e^{-\alpha l}}{V_+ e^{-\alpha l}} \right|^2 \frac{Z_0}{Z_L}$$

$$1 = |\Gamma|^2 + \frac{Z_0}{Z_L} \cdot |T|^2$$

$$|T|^2 = \frac{Z_L}{Z_0} [1 - |\Gamma|^2]$$

Σταθίμο Κύμα - Απότος Σταθίμων Κυμάτων:

Σταθίμα Ταίση: $V(z) e^{j\omega t} = \frac{|V_+| e^{j\theta_+}}{V_+} e^{-\alpha z} e^{-j\beta z} e^{j\omega t} + \frac{|V_-| e^{j\theta_-}}{V_-} e^{\alpha z} e^{j\beta z} e^{j\omega t}$

Πλάτος Σταθίμ. Ταίσης: $|V(z) e^{j\omega t}| = (|V_+| e^{-\alpha z})^2 + (|V_-| e^{\alpha z})^2 + 2|V_+||V_-| \cos(\theta_+ - \theta_- - 2\beta z)$

Ανεξάρητο τω χρόνω

Σταθίμο Κύμα

$2\beta = \frac{2\pi}{\lambda_{sc.}} = 2 \cdot \frac{2\pi}{\lambda}$

$\lambda_{sc.} = \lambda/2$

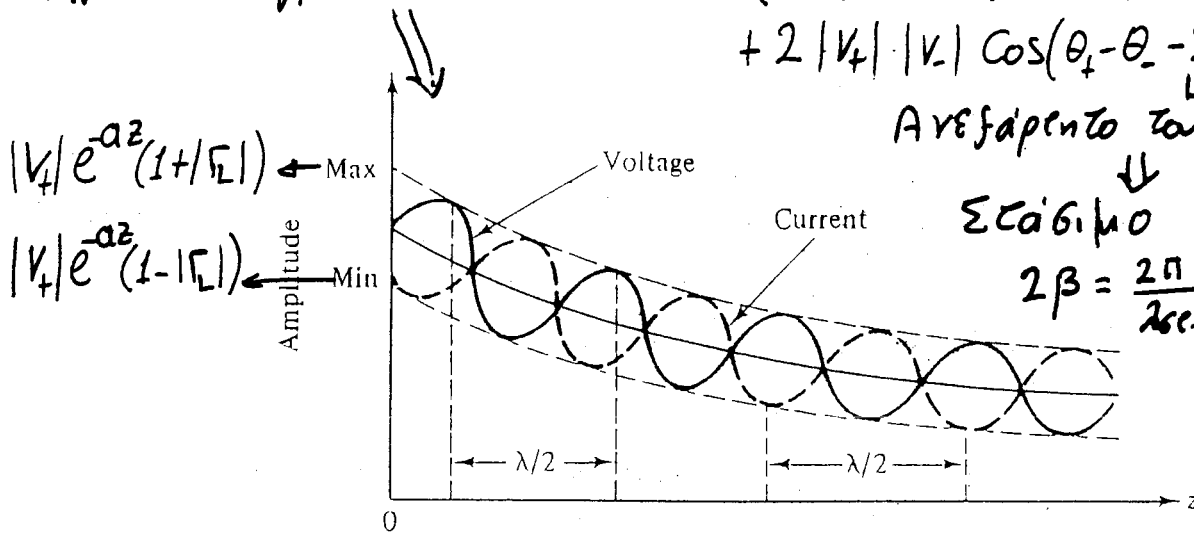


Figure 2-2-1 Standing-wave pattern in a lossy line.

Γραμμί χωρίσ απώλειες α=0

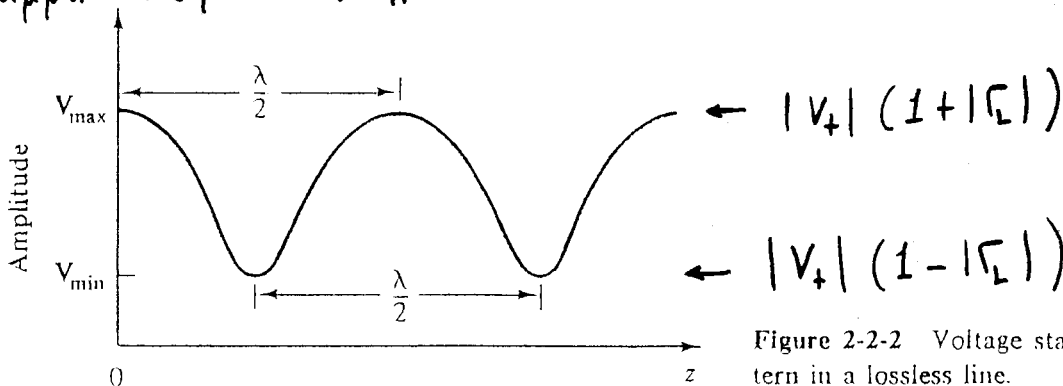


Figure 2-2-2 Voltage standing-wave pattern in a lossless line.

Απότος Σταθίμων Κυμάτων

$\rho = VSWR = ISWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{|I_{max}|}{|I_{min}|}$

$\rho = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$

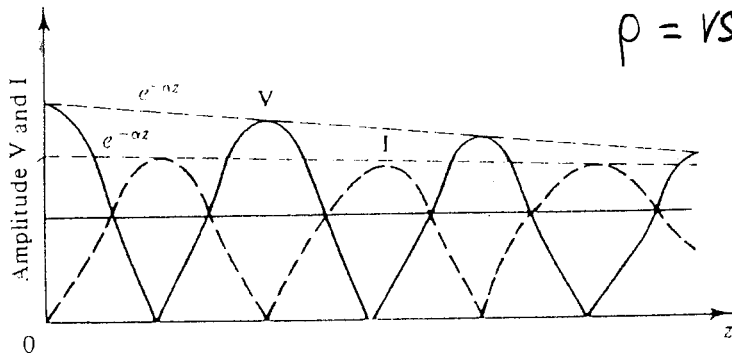


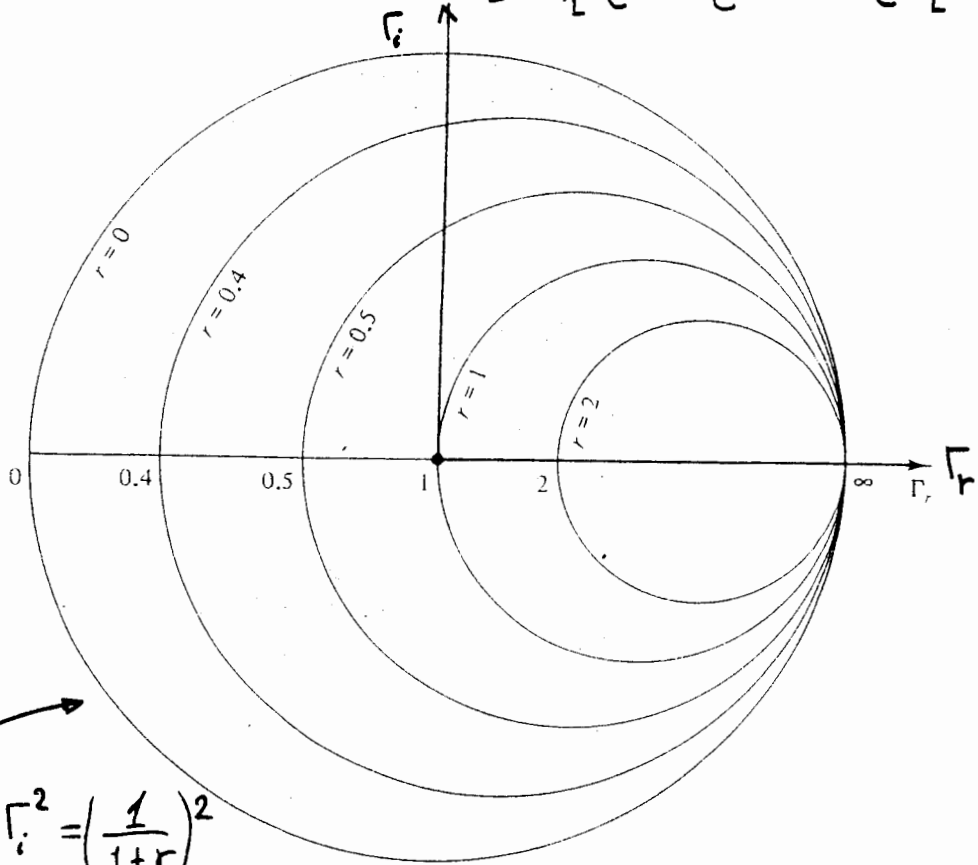
Figure 2-2-3 Pure standing waves of voltage and current.

(11)

Χάρτης

Smith

$$z = \frac{Z}{Z_0} = \frac{1 + \Gamma e^{-2\alpha d} e^{-2j\beta d}}{1 - \Gamma e^{-2\alpha d} e^{-2j\beta d}} \quad \left\{ \begin{array}{l} Z = r + jx \\ \Gamma = \Gamma_r + j\Gamma_i \end{array} \right.$$



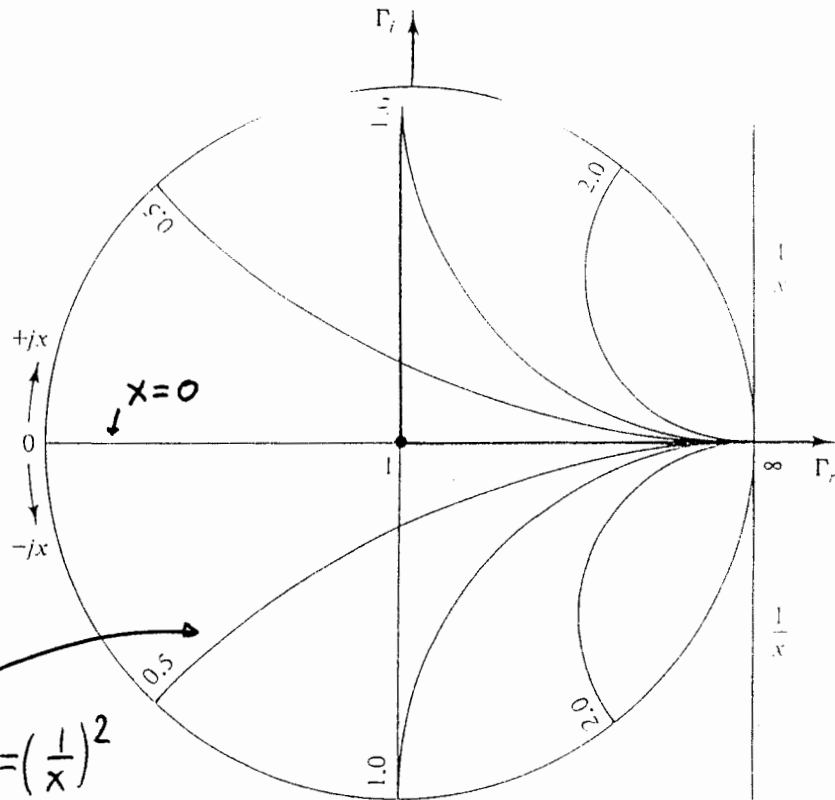
Κύκλοι
r = σταθ.

$$\left(\Gamma_r - \frac{r}{1+r} \right)^2 + \Gamma_i^2 = \left(\frac{1}{1+r} \right)^2$$

Κέντρο: $\Gamma_r = \frac{r}{1+r}$, $\Gamma_i = 0$

Figure 2-4-2 Constant resistance r circles.

ακτίνα: $\frac{1}{1+r}$



Κύκλοι
x = σταθ.

$$\left(\Gamma_r - 1 \right)^2 + \left(\Gamma_i - \frac{1}{x} \right)^2 = \left(\frac{1}{x} \right)^2$$

Κέντρο: $\Gamma_r = 1$, $\Gamma_i = \frac{1}{x}$

Figure 2-4-3 Constant reactance x circles.

ακτίνα: $\frac{1}{x}$

Χάρτης Smith Ευρέτων Αντιστάσεων:

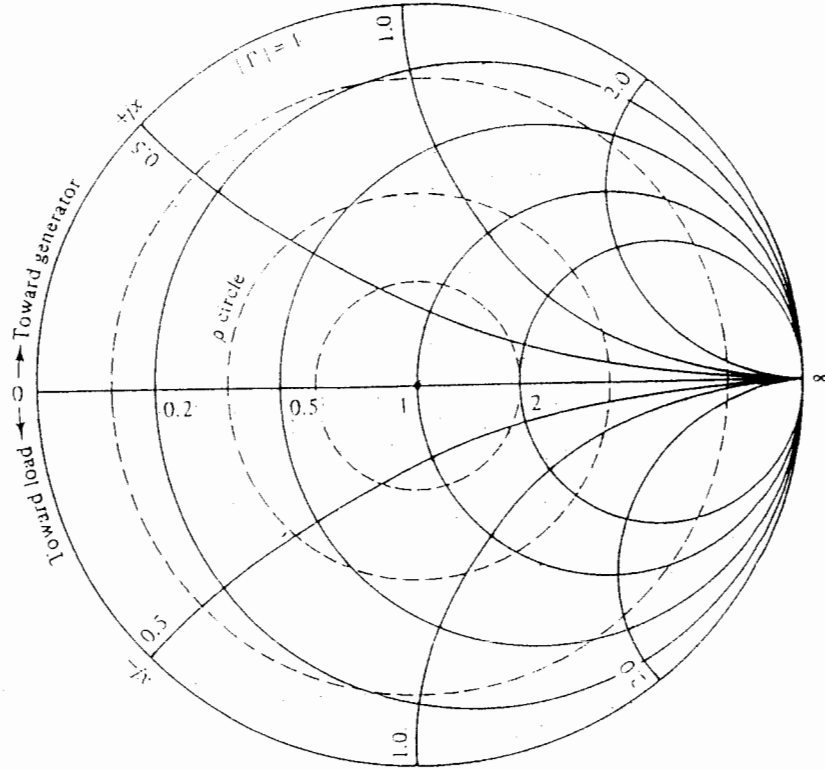


Figure 2-4-4 Smith chart.

Πρακτικός Χάρτης Smith

IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES

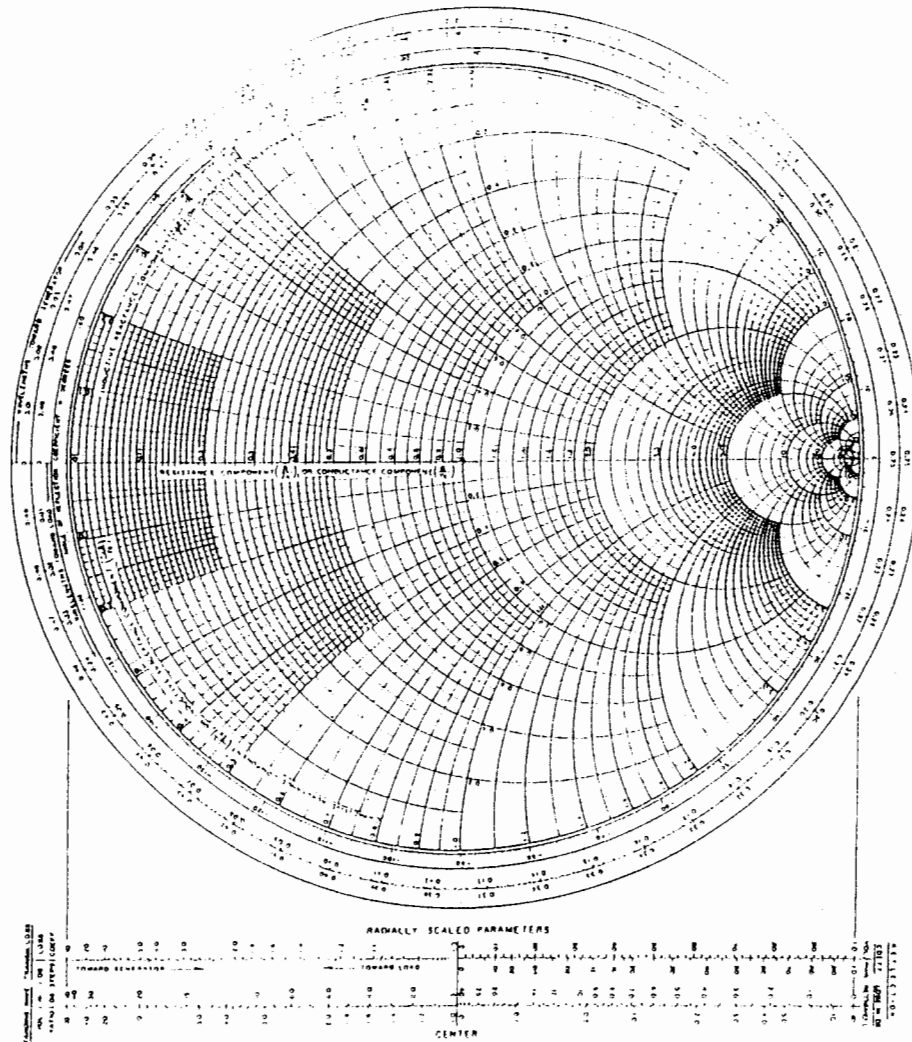
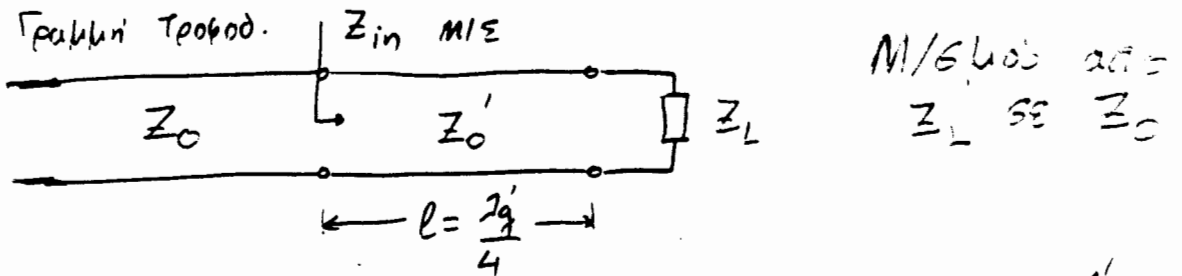


Figure 2-4-5 Normal Smith chart.

Γραμμική των Μετασχηματιστών Συνδέσης Αντίστασης:

A) Μ/βλτος Τεταρτον - μικρός κύματος $l = \lambda g / 4$



Αντίσταση Είσοδου γραμμής $l = \lambda g' / 4 \rightarrow \beta' l = \frac{2\pi}{\lambda g'} \cdot \frac{\lambda g'}{4} = \pi/2$

$$\tan(\frac{\pi}{2}) \sim \infty \rightarrow Z_{in} = Z_0' \frac{Z_L / \tan(\pi/2) + Z_0}{Z_0' \tan(\pi/2) + Z_L} = Z_0' \frac{Z_0}{Z_L} = \frac{(Z_0')^2}{Z_L}$$

$\alpha' \sim 0$ απεμπόλες απώλειες

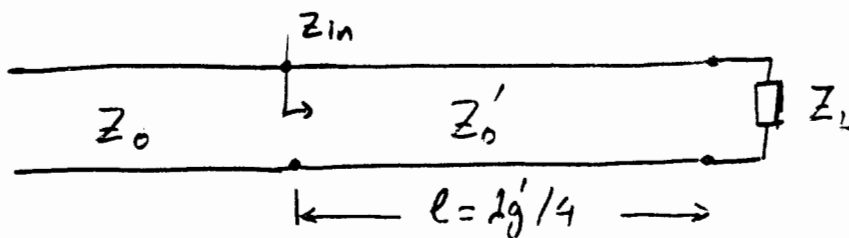
Συντελεστής ανάκλασης: $\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \Big|_{Z_{in} = Z_0} = 0$
 Γραμμής τροφοδοσίας - ΜΙΕ

$\Gamma_{in} = 0 \leftrightarrow Z_{in} = Z_0 \leftrightarrow$ Προσαρμογή - Z_0 , χωρίς ανακλάσεις

$$Z_{in} = Z_0 = \frac{(Z_0')^2}{Z_L} \rightarrow Z_0' = \sqrt{Z_0 Z_L} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Ισχύει μόνο για} \\ Z_0 = \text{πραγματική} \\ Z_L = \text{πραγματική} \end{array} \right.$$

Η γραμμική $Z_0' = \sqrt{Z_0 Z_L}$ και $l = \lambda g' / 4$ μετασχηματίζει - προσαρμόζει το φορτίο Z_L στη γραμμή καρ. αντ. Z_0

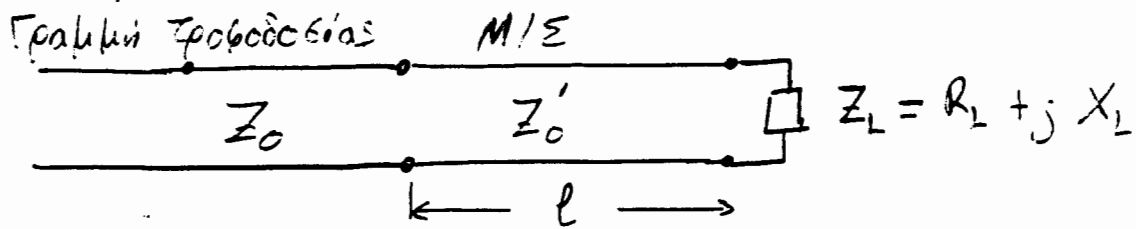
B) Μ/βλτος μισού - μικρός κύματος $l = \lambda g / 2$



$$\beta' l = \frac{2\pi}{\lambda g'} \cdot \frac{\lambda g'}{2} = \pi \rightarrow \tan(\beta' l) = 0 \rightarrow \left. \begin{array}{l} \text{Γραμμική } Z_0', \quad l = \lambda g' / 2 \\ \text{Εφαρ. των Μετασχηματιστών} \\ 1:1 \end{array} \right\}$$

$$Z_{in} = Z_0' \frac{Z_L + Z_0' \tan 0}{Z_0' + Z_L \tan 0} = Z_L$$

A) Προσαρμογή Φορτίου με μια γραμμή σε σειρά



$Z_0 = R_0$ καθαρά πραγματική (συχνά $Z_0 = 50 \Omega$)

1) Μεταχρηματισμός $\lambda/4 \leftrightarrow$ Προσαρμογή Πραγματικού (ωμικού) Φορτίου

$$\left. \begin{array}{l} Z_L = R_L = \text{Πραγματική} \\ X_L = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} l = \lambda g' / 4 \\ Z'_0 = \sqrt{R_L \cdot Z_0} = \sqrt{R_L R_0} \end{array}$$

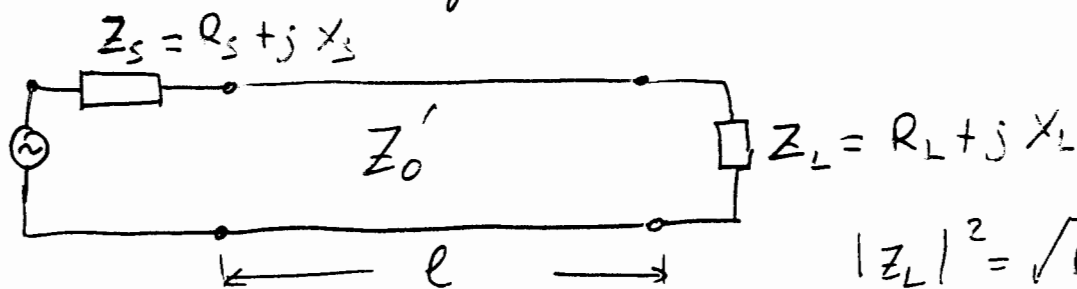
2) Προσαρμογή Μιγαδικού Φορτίου $Z_L = R_L + jX_L$

στην Πραγματική αντίσταση $Z_0 = R_0$
(Bahl & Bhartia --- microwave ... design, σελ. 133)

$$Z'_0 = \sqrt{\frac{R_0 R_L - (R_L^2 + X_L^2)}{(1 - R_L/R_0)}} \quad \text{και} \quad \tan \theta = \frac{\sqrt{(1 - R_L/R_0) \{R_0 R_L - (R_L^2 + X_L^2)\}}}{X_L}$$

όπου $\theta = \beta' l$

B) Προσαρμογή Μιγαδικού Φορτίου στην Μιγαδική αντίσταση πηγής: (Bahl & Bhartia σελ. 134)



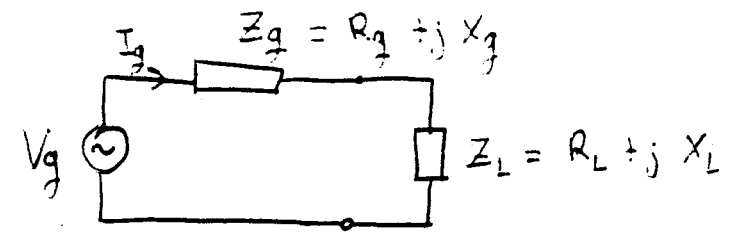
$$Z'_0 = \left\{ \frac{R_s \cdot |Z_L|^2 - R_L |Z_s|^2}{R_L - R_s} \right\}^{1/2}$$

$$|Z_L|^2 = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$$

$$|Z_s|^2 = \sqrt{R_s^2 + X_s^2}$$

$$\tan \theta = \tan(\beta' l) = \frac{Z'_0 \cdot (R_L - R_s)}{R_L \cdot X_s - R_s \cdot X_L}$$

Θεώρημα Μέγιστης Μεταφοράς Ισχύος



$$V_g = I (Z_g + Z_L)$$

$$I = I_g = \frac{V_g}{Z_g + Z_L}$$

1600. Thevenin
 16xύς που καταναλώνεται στο φορτίο: P_L

$$P_L = \frac{|I|^2}{2} R_L = \frac{1}{2} \frac{|V_g|^2 R_L}{|Z_g + Z_L|^2} = \frac{1}{2} \frac{V_g^2 R_L}{(R_g + R_L)^2 + (X_g + X_L)^2}$$

Μέγιστοποίηση 16xύς P_L

Συνθήκες Συζυγούς Προσαρμογής

$$\frac{\partial P_L}{\partial R_L} = 0 \text{ και } \frac{\partial P_L}{\partial X_L} = 0 \Rightarrow R_L = R_g \text{ και } X_L = -X_g$$

16xύς και $\frac{\partial^2 P}{\partial u \partial v} \Big|_{u,v=R_L, X_L} < 0 \iff$ μέγιστο

(Διπλωματική Σ. Κουκουρή Σεμ. II)

$$P_{L \max} = \frac{1}{2} \frac{V_g^2 R_L}{(2R_L)^2 + (-X_L + X_L)^2} \Rightarrow P_{L \max} = \frac{1}{2} \frac{V_g^2}{4R_L} = \frac{1}{2} \frac{V_g^2}{4R_g}$$

Μέγιστη Διδόση Ισχύος της γεννήτριας: $Z_L = Z_g^*$

$$P_{av} = P_{L \max} = \frac{1}{2} \frac{V_g^2}{4R_g} = \text{μέγιστη 16xύς που δίνει η γεννήτρια στο φορτίο}$$

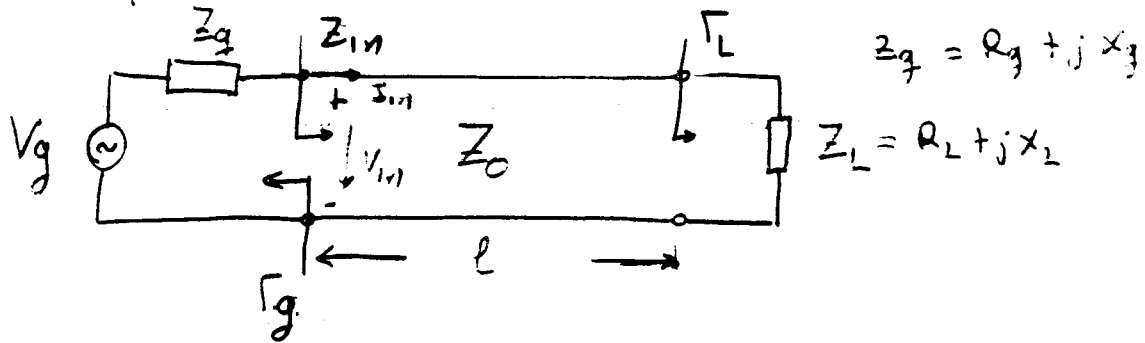
για $R_L = R_g$ και $X_L = -X_g$: Συνθήκες Συζυγούς Προσαρμογής

B. Πραγματικό Φορτίο: $X_L = 0$

$$P_{av} = P_{L \max} = P_L \Big|_{R_L = |Z_g| = \sqrt{R_g^2 + X_g^2}} = \frac{V_g^2}{2(R_L + R_g)} \cdot \frac{1}{2}$$

Για να πάρουμε rms αλφ

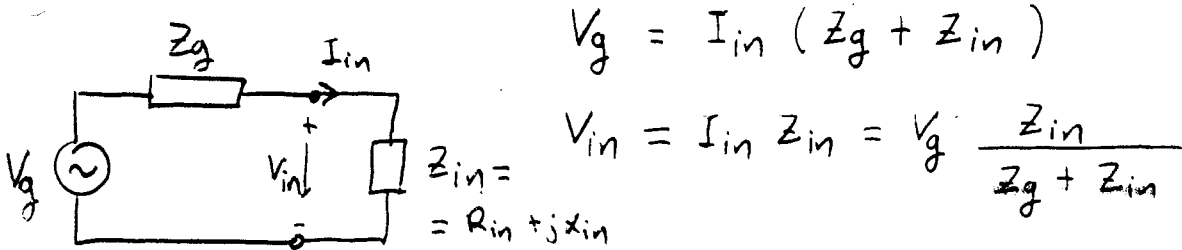
Προσαρμογή Γεννήτριας και Φορτίου: (Pozar σελ. 93)



Αντίσταση Είσοδου:

$$Z_{in} \Big|_{\text{αωο}} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_L e^{-j2\beta l}}{1 - \Gamma_L e^{-j2\beta l}} = Z_0 \frac{Z_L + j Z_0 \tan(\beta l)}{Z_0 + j Z_L \tan(\beta l)}$$

Ισχύς:



$$V_g = I_{in} (Z_g + Z_{in})$$

$$V_{in} = I_{in} Z_{in} = V_g \frac{Z_{in}}{Z_g + Z_{in}}$$

Ισχύς που καταναλώνεται στην Z_{in}

$$P_{in} = \frac{1}{2} \text{Re} \{ V_{in} I_{in}^* \} = \frac{1}{2} \text{Re} \{ I_{in} I_{in}^* Z_{in} \} = \frac{1}{2} |I_{in}|^2 \text{Re}(Z_{in})$$

$$P_{in} = \frac{1}{2} \frac{|V_g|^2}{|Z_g + Z_{in}|^2} \text{Re}(Z_{in}) = \frac{1}{2} \frac{|V_g|^2 \cdot R_{in}}{(R_{in} + R_g)^2 + (X_{in} + X_g)^2}$$

Μεγιστή Διαθέσιμη Ισχύς της γεννήτριας:

$$P_{av} = P_{in, \max} = P_{in} \Big|_{Z_{in} = Z_g^*} = \frac{1}{2} \frac{|V_g|^2}{4 R_g}$$

Συμφωνία Προσαρμογή $R_{in} = R_g$, $X_{in} = -X_g$

Συντελεστής ανάκλασης στην σύμφωνη προσαρμογή:

$$\Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_g}{Z_{in} + Z_g} \Big|_{\substack{R_{in} = R_g \\ X_{in} = -X_g}} = \frac{(R_{in} - R_g) + j(X_{in} - X_g)}{(R_{in} + R_g) + j(X_{in} + X_g)} = \frac{-2jX_g}{2R_g}$$

$\Gamma_{in} = -j X_g / R_g \neq 0$ υπάρχει ανακλώμενο (!) ισχύος συνιστά

2) Προσαρμογή - Γεννήτριας Γραμμής $Z_{in} = Z_g$ και $Z_L \neq Z_0$

$$Z_{in} = Z_g \rightarrow \Gamma_{in} = \frac{Z_{in} - Z_g}{Z_{in} + Z_g} = 0 \rightarrow (P_{in})_2 = \frac{1}{2} \frac{|V_g|^2 R_g}{4(R_g^2 + X_g^2)}$$

$\hookrightarrow R_{in} = R_g \quad X_{in} = X_g$

Παρατηρούμε: $(P_{in})_2 < P_{av} = \frac{1}{2} \frac{|V_g|^2}{4R_g}$

Ακόμη: στην γραμμή υπάρχει ανακλώμενο από $Z_L \neq Z_0$

3) Προσαρμογή Φορτίου - Γραμμής: $Z_L = Z_0$ και $Z_g \neq Z_{in}$

$$\left. \begin{array}{l} Z_L = Z_0 \rightarrow R_L = R_0 \\ \quad \quad \quad X_L = X_0 \end{array} \right\} \Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = 0 \Rightarrow Z_{in} = Z_0$$

Επειδή η γραμμή τερματίζει σε προσαρμοσμένο φορτίο δεν δημιουργείται ανακλώμενο $\rightarrow Z_{in} = Z_0$

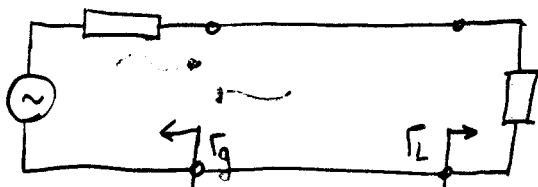
* $Z_{in} = Z_0 =$ καθαρά πραγματική

$$(P_{in})_3 = \frac{1}{2} \frac{|V_g|^2 Z_0}{(Z_0 + R_g)^2 + X_g^2}$$

Παρατηρούμε: $(P_{in})_3 < P_{av} = \frac{1}{2} \frac{|V_g|^2}{4R_g}$ } Η βέλτη προσαρμογή δίνει τη μέγιστη μεταφορά ισχύος

Αλλά $(P_{in})_3 > (P_{in})_2$ } Η προσαρμογή της γραμμής - φορτίου δίνει μεγαλύτερη μεταφορά ισχύος από την προσαρμογή της γεννήτριας - γραμμής.

Αναπαράσταση Ενέργειας Προσαρμογής



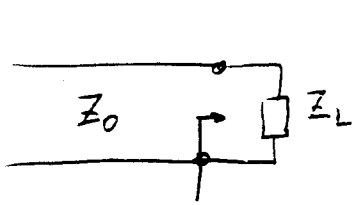
$$\begin{array}{l} T_0 \rightarrow \dots \rightarrow T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow \dots \\ \leftarrow \Gamma_1 \leftarrow \Gamma_2 \leftarrow \dots \\ \leftarrow \Gamma_1 \leftarrow \Gamma_2 \leftarrow \dots \\ \vdots \\ \leftarrow \Gamma_1 \leftarrow \Gamma_2 \leftarrow \dots \end{array}$$

$T_0 T_1 \dots$
 $T_0 T_1^2 \Gamma_L \Gamma_g$ - Ισοφαρμικοί
 $T_0 T_1^3 (\Gamma_L \Gamma_g)^2 / \angle T_1 \Gamma_L \Gamma_g = k \cdot 2\theta$

Τα κύματα που φθάνουν στο φορτίο μέσω πολλαπλών ανακλώσεων είναι ισοφαρικά και προστίθενται

Η ισχύς αποδίδει στο φορτίο μεγαλύτερη ισχύ από ότι χωρίς ανακλώσεις.

Προσαρμογή - Z_0 ή χωρίς ανακτώμενο $Z_L = Z_0$



$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \Big|_{Z_0 = Z_L} = 0$$

Προσαρμογή μέγιστης μεταφοράς ισχύος: $Z_L = Z_0^*$

$$\Gamma = \frac{(R_L - R_0) + j(X_L - X_0)}{(R_L + R_0) + j(X_L + X_0)} \Big|_{\substack{R_L = R_0 \\ X_L = -X_0}} = \frac{-2jX_0}{2R_0} = -j \frac{X_0}{R_0}$$

Στα RF - Μικροκυματικά κυκλώματα ($\omega \gg \omega_L \gg R$, $\omega C \gg G$) και ειδικά στο σχεδιασμό κυκλωμάτων που χρησιμοποιούνται γραμμές μικρής μήκους, οι απώλειες μπορεί να θεωρηθούν αμελητέες

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \approx \sqrt{\frac{L}{C}} = \text{Καθαρά Πραγματική} = R_0$$

$X_0 = 0$

Ετσι, η συνθήκη μέγιστης μεταφοράς ισχύος δίνει:

$$\Gamma = -j \frac{X_0}{R_0} = 0 \quad \text{συμπίπτει με την προσαρμογή χωρίς ανακτώμενο.}$$

Αλλά $Z_L = Z_0^* = R_0 \circ j$ Απαιτείται δίκτυο προσαρμογής

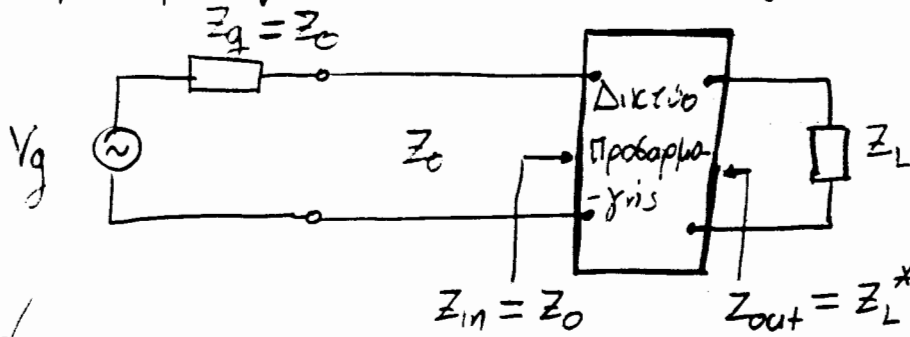
στην είσοδο του φορτίου για την αντιστάθμιση του X_L αφού στη γενική περίπτωση το φορτίο είναι μιγαδικό.

Η προσαρμογή χωρίς ανακτώμενο είναι πολύ σημαντική

και επιθυμητή, αφού η ύπαρξή της προκαλεί:

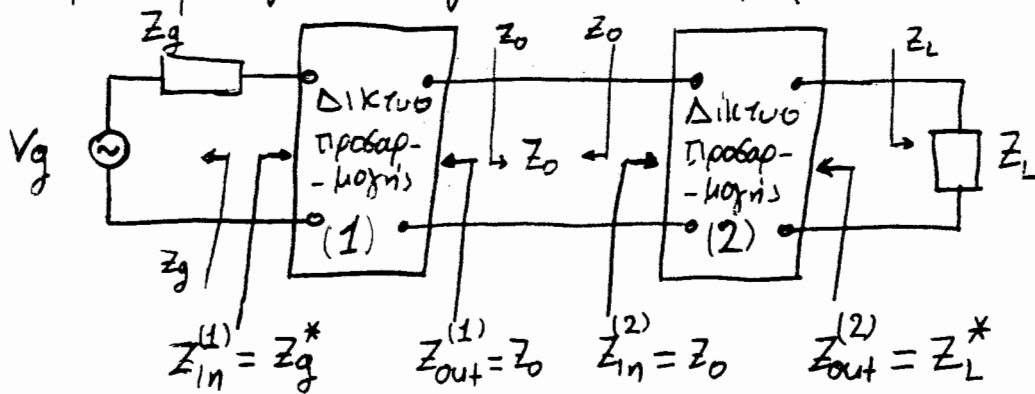
- Υψηλό VSWR \rightarrow αύξηση απωλειών
- \searrow Δημιουργεί προβλήματα στην πληθ-πομπή
- Παρεμβολή σημάτων
- Στα συστήματα υψηλής ισχύος - πιθανή διάτρηση διηλεκτρικού

A) Προσαρμογή Φορτίου όταν $Z_g = Z_0$ $Z_L \neq Z_0$

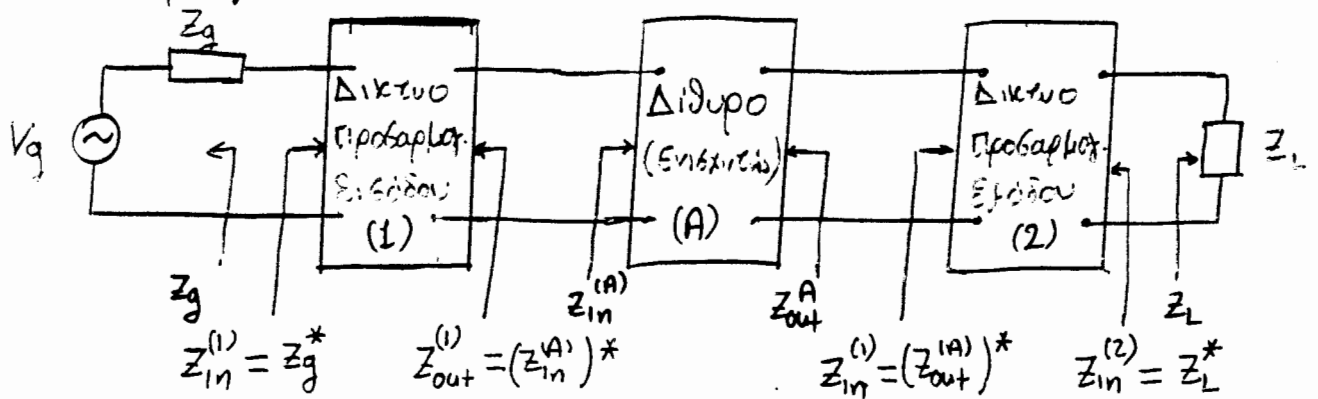


Στην περίπτωση που η πηγή είναι ήδη προσαρμοσμένη στη γραμμή

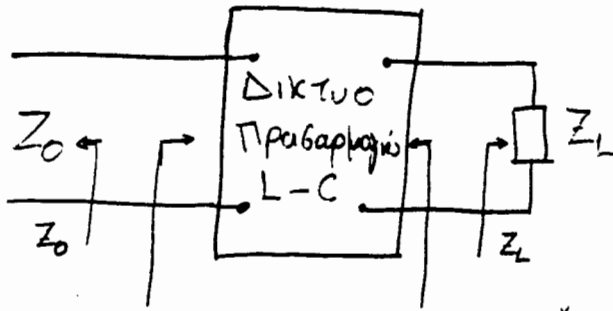
B) Προσαρμογή Πηγής και Φορτίου (Λίθο 6εμ. 55)



Γ) Προσαρμογή Διδύρου (α.κ. Ενισχυτή)



Δίκτυα L-C για την προσαρμογή μιγαδικού φορτίου Z_L



Κανονικοποίηση
 $Z_L = Z_L / Z_0 = r_L + jx_L$

$y_L = 1/Z_L = g_L + jb_L = Y/Y_0$

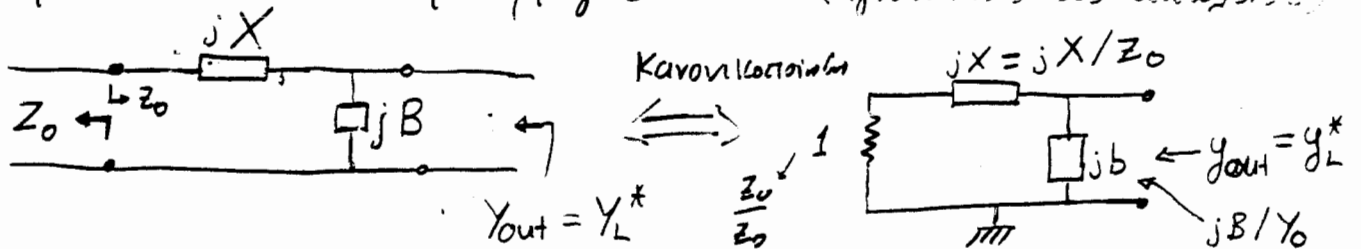
Συζυγής προσαρμογή φορτίου:

$Z_{out} = \frac{Z_{out}}{Z_0} = Z_L^* = r_L - jx_L$

$Y_{out} = y_L^* = g_L - jb_L$

$Z_{in} = Z_0$
 Καθαρή απαγωγική $Z_0 = 50\Omega$
 $Y_0 = \frac{1}{Z_0} = 0.02 \text{ mhos}$

A) Πρακτικά δίκτυα προσαρμογής L-C (απορώντας τις απώλειες)



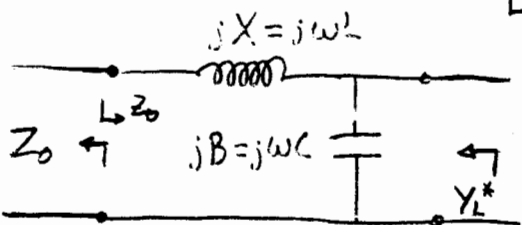
$Y_{out} = jb + \frac{1}{1+jX} = jb + \frac{1-jX}{1+X^2} = \frac{1}{1+X^2} - j\left(\frac{X}{1+X^2} - b\right) = g_L - jb_L$

$g_L = \frac{1}{1+X^2} \rightarrow X = \pm \sqrt{\frac{1-g_L}{g_L}} \Rightarrow \begin{cases} \text{Περιορισμός } g_L < 1 \leftrightarrow G_L < Y_0 \\ \text{Δύο λύσεις } + \rightarrow \text{πηνίο} \\ \quad \quad \quad - \rightarrow \text{πυκνωτής} \end{cases}$

$\frac{X}{1+X^2} - b = b_L \rightarrow b = g_L X - b_L \rightarrow b = \pm g_L \sqrt{\frac{1-g_L}{g_L}} - b_L \left. \begin{array}{l} \text{Δύο λύσεις} \\ \text{πυκνωτής, ή πηνίο} \end{array} \right\}$

1^η λύση: $G_L < Y_0 = 0.02 \text{ mhos}$

Μικρές αγωγιμότητες \rightarrow υψηλές αντιστάσεις φορτίου

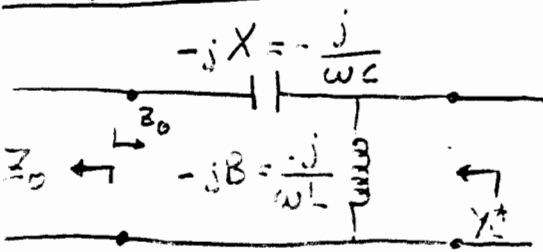


$jX = jX \cdot Z_0 = j\omega L = jZ_0 \sqrt{(1-g_L)/g_L}$

$jB = j\omega C = jb \cdot Y_0 = jY_0 \{ \sqrt{g_L(1-g_L)} - b_L \}$

2^η λύση: $G_L < Y_0 = 0.02 \text{ mhos}$

$L = \frac{Z_0}{\omega} \sqrt{\frac{1-g_L}{g_L}} \quad C = \frac{Y_0}{\omega} \{ \sqrt{g_L(1-g_L)} - b_L \}$



$-jX = -j/\omega C = -jX Z_0 = -jZ_0 \sqrt{(1-g_L)/g_L}$

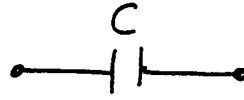
$-jB = -j/\omega L = -jb \cdot Y_0 = -jY_0 \{ \sqrt{g_L(1-g_L)} + b_L \}$

$L = \frac{1}{\omega Y_0 \{ \sqrt{g_L(1-g_L)} + b_L \}} \quad C = \frac{1}{\omega Z_0 \sqrt{(1-g_L)/g_L}}$

Κανονικοποίηση

Στοιχεία L, C σε σειρά

$$Z_0 = 50 \Omega$$



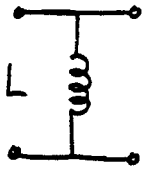
$$jX = j \frac{X}{Z_0} = j \frac{\omega L}{Z_0}$$

$$-jX = -j \frac{X}{Z_0} = -j \frac{1}{\omega C Z_0}$$

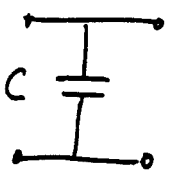
$$L = \frac{X Z_0}{\omega}$$

$$C = \frac{1}{X Z_0}$$

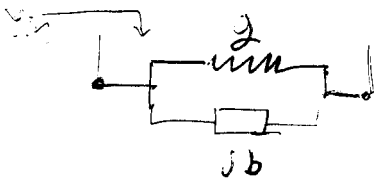
Στοιχεία L, C Παράλληλα, $Y_0 = 1/Z_0 = 0.02 \text{ mhos}$



$$-jb = -j \frac{B}{Y_0} = -j \frac{1}{\omega L Y_0} \rightarrow L = \frac{1}{b \omega Y_0}$$

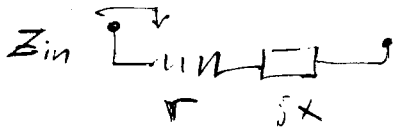


$$jb = j \frac{B}{Y_0} = j \frac{\omega C}{Y_0} \rightarrow C = \frac{b Y_0}{\omega}$$



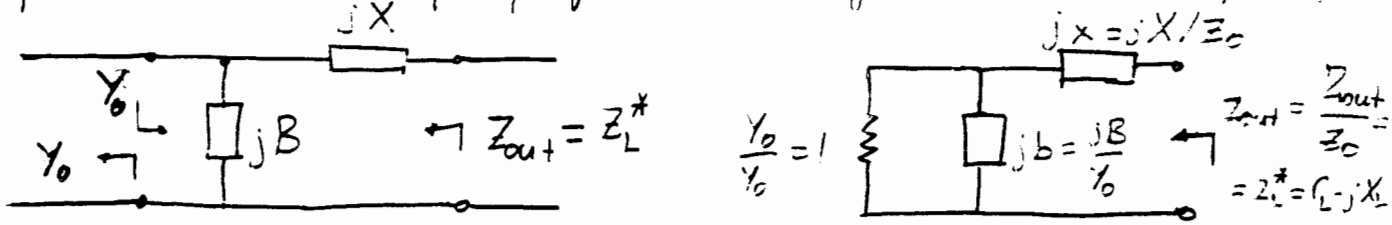
$$Z_{in} = \frac{1}{Y_{in}}$$

$$r + jx = \frac{1}{g + jb} = \frac{g - jb}{g^2 + b^2}$$



$$r = \frac{g}{g^2 + b^2} \quad x = -\frac{b}{g^2 + b^2}$$

B) Πρακτικά Δίκτυα Προβαρμόνης L-C (αφαιρώντας τις απώλειες)



$$Z_{out} = jX + \frac{1}{1+jb} = jX + \frac{1-jb}{1+b^2} = \frac{1}{1+b^2} - j\left(\frac{b}{1+b^2} - X\right) = r_L - jx_L$$

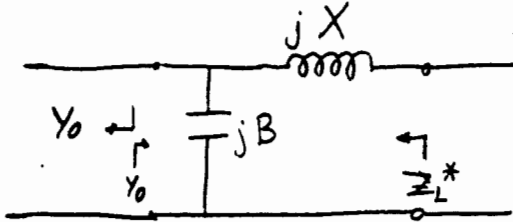
$$b = \pm \sqrt{\frac{1-r_L}{r_L}}$$

$$X = \pm r_L \sqrt{\frac{1-r_L}{r_L}} - x_L = \pm \sqrt{r_L(1-r_L)} - x_L$$

Περιορισμός: $r_L < 1 \rightarrow R_L < Z_0 \rightarrow$ Μικρές ωμικές

αυτιότητες \rightarrow Υψηλές αγωγιμότητες φασίου

3^η Πύλη: $R_L < Z_0$:

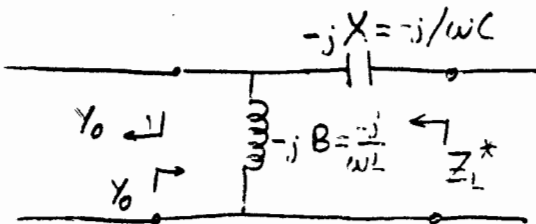


$$jX = j\omega L = jX Z_0 = j Z_0 \left\{ \sqrt{r_L(1-r_L)} - x_L \right\}$$

$$jB = j\omega C = jb Y_0 = j Y_0 \sqrt{(1-r_L)/r_L}$$

$$L = \frac{Z_0}{\omega} \left\{ \sqrt{r_L(1-r_L)} - x_L \right\}; \quad C = \frac{Y_0}{\omega} \sqrt{\frac{1-r_L}{r_L}}$$

4^η Πύλη: $R_L < Z_0$



$$-jX = \frac{-j}{\omega C} = -jX Z_0 = -j Z_0 \left\{ \sqrt{r_L(1-r_L)} + x_L \right\}$$

$$-jB = \frac{-j}{\omega L} = -jb Y_0 = -j Y_0 \sqrt{\frac{1-r_L}{r_L}}$$

$$L = \frac{1}{\omega Y_0 \sqrt{(1-r_L)/r_L}}; \quad C = \frac{1}{\omega Z_0 \left\{ \sqrt{r_L(1-r_L)} + x_L \right\}}$$

Επιλογή Δικτύου Προβαρμόνης, ανάλογα με το φορτίο.

$$Z_L = R_L + j X_L$$

υποδοχής

$$Y_L = G_L + j B_L$$



$R_L < Z_0$ Πύλες 3 ή 4

$G_L < Y_0$ Πύλες 1 ή 2

Επαγωγικό

Χωρητικό

Επαγωγικό

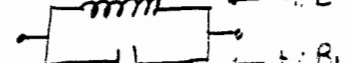
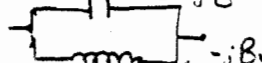
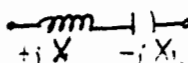
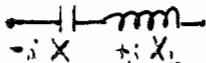
Χωρητικό

Πύλη - 4

Πύλη - 3

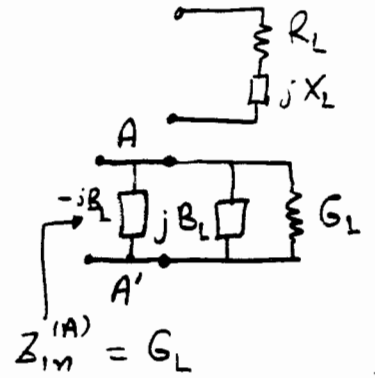
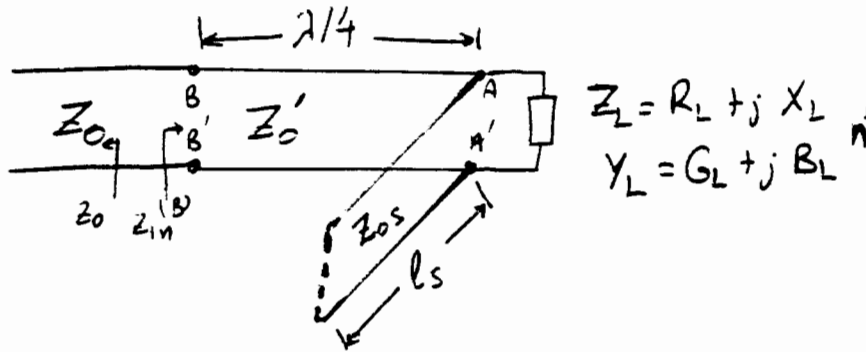
Πύλη - 1

Πύλη - 2



Προσαρμογή με Τμήματα Γραμμών Μεταφοράς + Stub.

A) Μισός $\lambda/4$ και Stub.



Το παράλληλα συνδεδεμένο stub χρησιμοποιείται για την αντίστροφη της αντίδρασης φορτίου jB_L εισάγοντας παράλληλα μια αντίδραση ίση με $-jB_L$

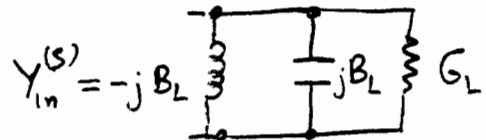
1. Μίσθος των Ισοδυνάμων Γεωργίας Z_L στο παράλληλο Y_L

$$Y_L = G_L + jB_L = \frac{1}{Z_L} = \frac{1}{R_L + jX_L} = \frac{R_L - jX_L}{R_L^2 + X_L^2} \begin{cases} G_L = R_L / (R_L^2 + X_L^2) \\ jB_L = -jX_L / (R_L^2 + X_L^2) \end{cases}$$

2. Επιλογή κατάλληλου Stub (μικρό μήκος $l_s < \lambda/4$)

α) Βραχυκυκλωμένο stub \Leftrightarrow αν $jB_L = \text{χωρητική} = j\omega C_L$

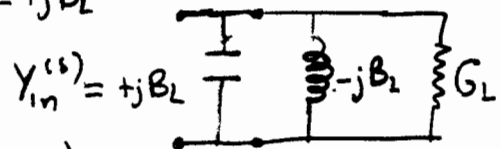
$$\begin{cases} Y_{in}^{(s)} = -jY_0^{(s)} \cot(\beta_s l_s) = -jB_L \\ 0 < l_s < \lambda_s / 4 \end{cases}$$



$$\beta_s l_s = \cot^{-1}(B_L / Y_0^{(s)}) \Leftrightarrow l_s / \lambda_s = \frac{1}{2\pi} \cot^{-1}(B_L / Y_0^{(s)})$$

β) Ανοικτοκυκλωμένο stub \Leftrightarrow αν $\text{Im}(Y_L) = \text{επαγωγική} = -jB_L$

$$\begin{cases} Y_{in}^{(s)} = jY_0^{(s)} \tan(\beta_s l_s) = -\text{Im}(Y_L) = +jB_L \\ 0 < l_s < \lambda_s / 4 \end{cases}$$



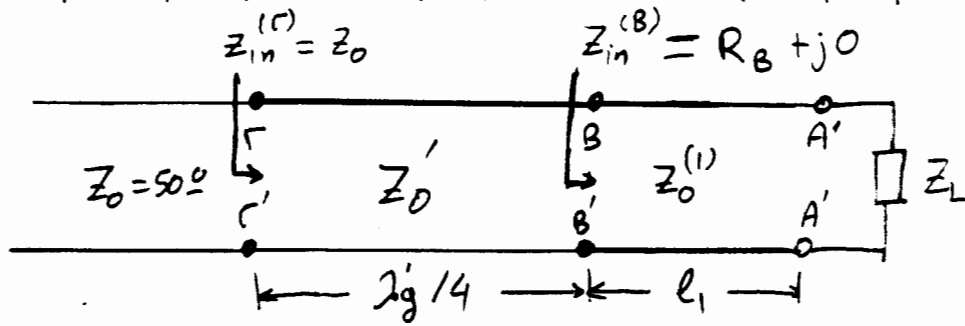
$$l_s / \lambda_s = \frac{1}{2\pi} \tan^{-1}(B_L / Y_0^{(s)})$$

3) Μεταβλητικότητα της $G_L = \text{πραγματική}$ στην $Z_0 = 50\Omega$
Χρησιμοποιείται μισός $\lambda/4$ (Προσοχή! $G_L \neq 1/R_L$)

$$Z_0' = \sqrt{Z_0 / G_L}$$

$$Z_{in}^{(B)} = (Z_0')^2 / (1/G_L) = Z_0$$

B) Προσαρμογή με γραμμή σε σειρά με μετασχηματιστή $\lambda/4$



1) Η γραμμή-1 επιλέγεται έτσι ώστε η $Z_{in}^{(B)} = R_B + j0 =$ καθαρά πραγματική

Η επιλογή αυτή γίνεται πολύ εύκολα στο χαρτί Smith.

• Το ποδετείται το φορτίο Z_L/Z_0

a) Εάν η R_L είναι κοντά στα 50Ω ή δεν μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα ο συντελεστής ποιότητας $Q = X/R = x/r$ τότε:

• Επιλέγουμε $Z_0^{(1)} = Z_0$ οπότε χαράζουμε τον ομοκεντρο κύκλο που περνά από το Z_L

• Κινούμαστε από το φορτίο - προς τη γεννήτρια μέχρι να συναντήσουμε τον άξονα των πραγματικών $Re(\Gamma)$ ή $x=0$ (όταν υπολογιστεί θα βρούμε το μήκος l_1)

β) Εάν το Q είναι κρίσιμο: κυκλώματα ευρείας ζώνης ή κυκλώματα υψηλής ισχύος \leftrightarrow απαιτούν χαμηλό Q , π.χ. $Q < 1$

• Χαράζουμε την καμπύλη $Q = \sigma/\omega = Q_{max}$

• Επιλέγουμε την $Z_0^{(1)}$ έτσι ώστε $Q < Q_{max}$

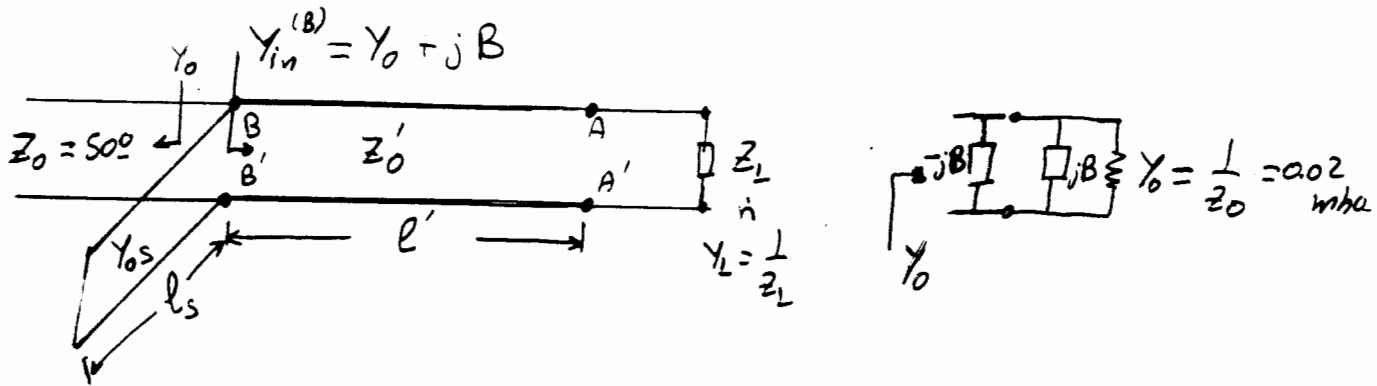
• Αν αυτό δεν γίνεται με μια γραμμή χρησιμοποιούμε δύο ή περισσότερες.

• Προσδιορίζουμε το μήκος l_1 (ή l_2, l_3, \dots) ώστε $Z_{in}^{(B)} = R_B + j0$

γ) Προσαρμογή ως $Z_{in}^{(B)} = R_B + j0$ όταν $Z_0 = 50 \Omega$.

$$Z_0' = \sqrt{R_B \cdot Z_0}$$

Προσαρμογή με γραμμή και stub



1) Η γραμμή (Z_0', l') επιλέγεται έτσι ώστε στην είσοδο της η αγωγιμότητα είσοδα να είναι $Y_{in}^{(B)} = Y_0 + jB$

Η προσαρμογή γίνεται κατά προτίμηση στον μικτό χάρτη Smith: Συνδέων Αντιστάσεων και αγωγιμοτήτων

- Το ποδετούμε το φορτίο Z_L (χάρτης αντιστάσεων) ή Y_L (χάρτης αγωγιμοτήτων)
- Επιλέγουμε $Z_0' = Z_0$ και σχεδιάζουμε τον ομόκεντρο κύκλο που περνά από το φορτίο
- Κινούμαστε από το φορτίο προς την γεννήτρια μέχρι να συναντήσουμε τον κύκλο μοναδιαίας αγωγιμότητας $\text{Re}(y) = 1$ ή $g = 1$ δηλ. $\text{Re}(y) = Y_0$ οπότε ($y = Y/Y_0 = g + jb$)
- Προσδιορίζουμε έτσι το μήκος l'/λ_g

2) Αντιστάθμιση των φανταστικών μέρους jB με stub.

- Διαβάζουμε στο ορθό των μοναδιαίων κύκλων την $Y_{in}^{(B)} = Y_0 + jB$

• Αν η jB είναι χωρητική ($jB = j\omega C$) \rightarrow κάτω μέρος του χάρτη Smith \rightarrow απαιτείται βραχύ κύκλωμένο stub $Y_{in}^{(S)} = -jB$

• Αν η jB είναι επαγωγική ($jB = -j/\omega L$) \rightarrow άνω μέρος του χάρτη Smith \rightarrow απαιτείται ανοικτό κύκλωμένο stub $Y_{in}^{(S)} = +jB$

Εφαρμογές του Χάρτη Smith

1. Προσδιορισμός της συνδέουσας αντίστασης σε οποιοδήποτε σημείο της γραμμής εάν γνωρίζουμε (π.χ. από μετρήσεις):

α) Την αντίσταση Z_L ή την αγωγιμότητα Y_L του φορτίου
• Κανονικοποίηση - Τοποθέτηση φορτίου

$$Y_0 = 1/Z_0 \quad Z_L = Z_L/Z_0 \quad \text{ή} \quad Y_L = Y_L/Y_0$$
$$Z_0 = 50\Omega \rightarrow Y_0 = 0.02 \text{ mhos}$$

• Σχεδιάζουμε κύκλο με κέντρο αυτό του χάρτη Smith που περνάει από το φορτίο

• Κινούμαστε κατά d/λ_g προς την γεννήτρια (δεξιόστροφα) και προσδιορίζουμε την επιθυμητή αντίσταση $Z(d)/Z_0 = Z(d)$

β) Γνωρίζοντας το λόγο VSWR και ένα σημείο αναφοράς, συνήθως το $d_{min} = \text{θέση ελάχιστου τάσης σταθ. κύματος}$, (οποιοδήποτε ελάχιστο)

• Σχεδιάζουμε ένα ομόκεντρο κύκλο που περνάει από το σημείο τα άξονα $\text{Re}(\Gamma)$ όπου τοποθετήθηκε ο VSWR

• Κινούμαστε κατά d_{min}/λ_g προς το φορτίο και προσδιορίζεται η θέση των $Z_L \rightarrow$ ακολουθούμε τη διαδικασία (α).

Άξονας $\text{Re}(\Gamma) \rightarrow X_L = 0 \rightarrow \Gamma_L = (R_L - Z_0)/(R_L + Z_0)$

2) Σχεδιασμός των μεταβολών συνάρτησε της συχνότητας.
 $Z(f), Y(f), Z_L(f), Y_L(f)$

3) Εφαρμογές προσαρμογής συνδέουσας αντιστάσεων.

4) Ανάλυση Παραμέτρων Σκέδασης

α) με γνωστές τις S-παραμέτρους προσδιορίζουμε την αντίσταση εισόδου Z_{in} και εξόδου Z_{out} της συσκευής.

β) Ανάλυση / Σχεδιασμός Ενισχυτών + Ευστάθεια

γ) Ανάλυση / Σχεδιασμός Ταλαντωτών + Περιοχές αστάθειας

→ Το ποδέτησι του VSWR στο χαρτι Smith

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma_L|}{1 - |\Gamma_L|}$$

$$\Gamma_L = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$Z_L = R_L + jX_L$$

$$|\Gamma_L|_{X_L=0} = \frac{\sqrt{(R_L - Z_0)^2}}{\sqrt{(R_L + Z_0)^2}} = \frac{|R_L - Z_0|}{|R_L + Z_0|}$$

$$|\Gamma_L|_{X_L=0} = \begin{cases} (R_L - Z_0) / (R_L + Z_0) & \text{για } R_L > Z_0 \\ -(R_L - Z_0) / (R_L + Z_0) & \text{για } R_L < Z_0 \end{cases}$$

Για $R_L > Z_0$

$$VSWR = \frac{(R_L + Z_0) + (R_L - Z_0)}{(R_L + Z_0) - (R_L - Z_0)} = \frac{2R_L}{2Z_0}$$

Για $R_L < Z_0$

$$VSWR = \frac{(R_L + Z_0) - (R_L - Z_0)}{(R_L + Z_0) + (R_L - Z_0)} = \frac{2Z_0}{2R_L}$$

Το ποδέτησι του $VSWR = R_L / Z_0$ για $R_L > Z_0$ } $X_L = 0$
 του $1 / VSWR = R_L / Z_0$ για $R_L < Z_0$ }

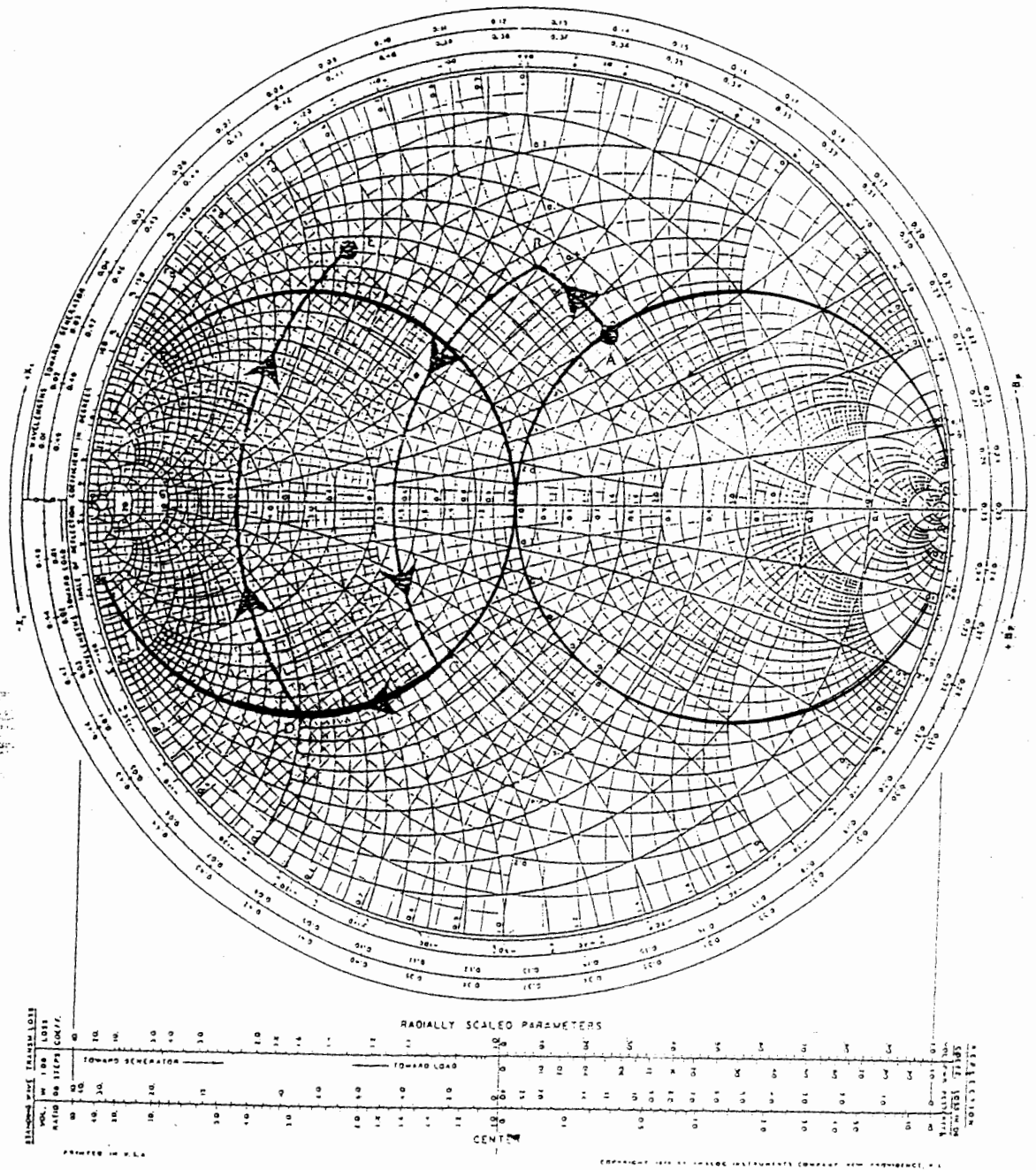
Μπορούν να τοποθετηθούν και τα δύο σημεία στον άξονα $Re(\Gamma)$ και σχεδιάζουμε τον κύκλο.

Αριστερό σημείο $\frac{1}{VSWR} \rightarrow R_L < Z_0$ αντιστοιχεί στα ελάχιστα του στάθμης κύματος (αίθρα).

Δεξιό σημείο $VSWR \rightarrow R_L > Z_0$ αντιστοιχεί στα μέγιστα του στάθμης κύματος (είθρα).

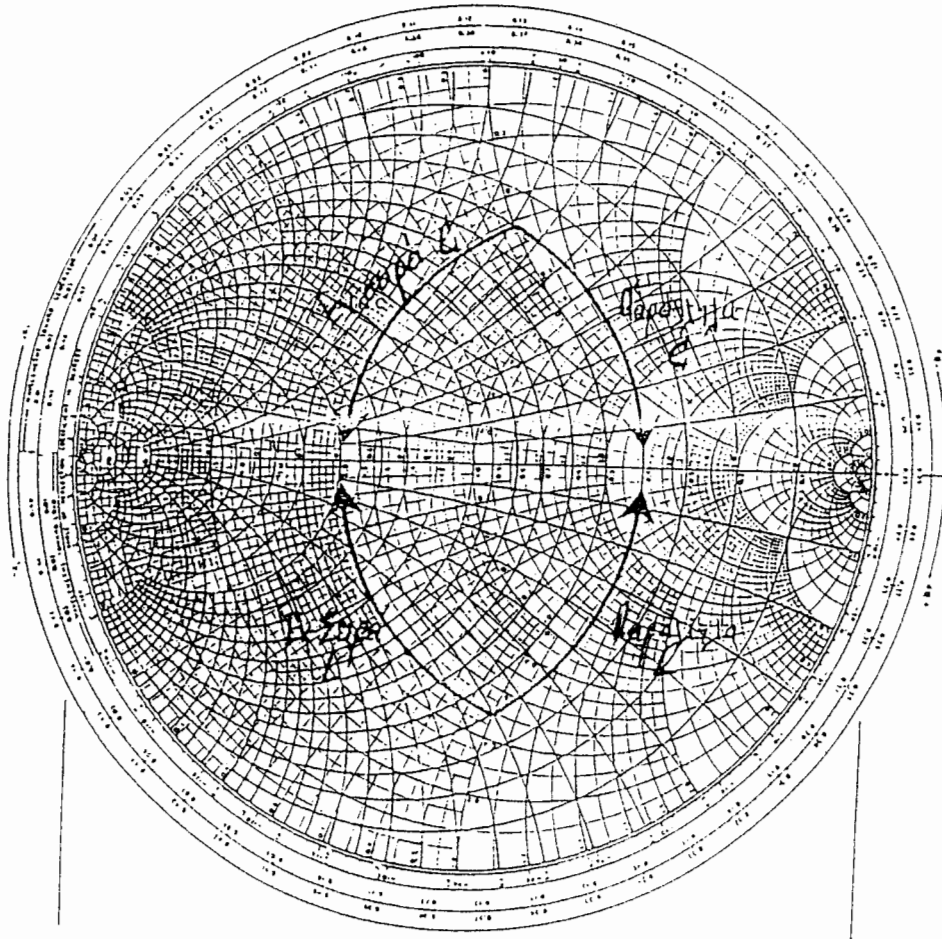
→ Προσδιορισμός συντελεστής Αγωγιμότητας στο χαρτι Smith αντίστροφων

$$Y_L = \frac{1}{Z_L} = \frac{1}{|Z_L|} e^{j\theta_L} = \frac{1}{|Z_L|} \cdot e^{-j\theta_L} = Y_L e^{-j\theta_L} \left. \begin{array}{l} \text{Σημείο } Y_L / Y_0 \text{ είναι} \\ \text{αντιδιαμέτρικο του } \frac{Z_L}{Z_0} \end{array} \right\}$$



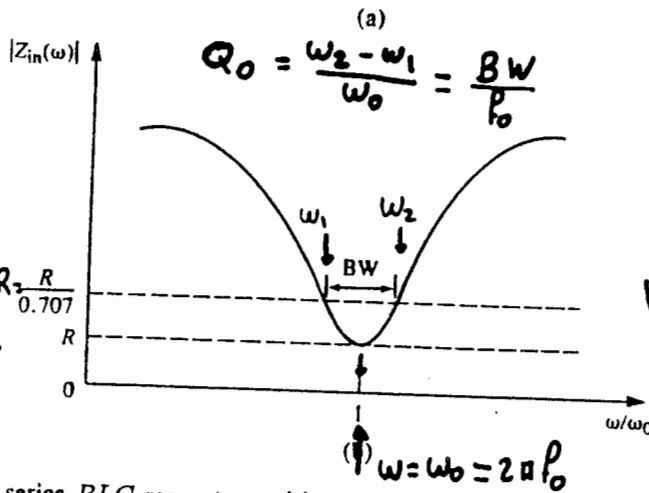
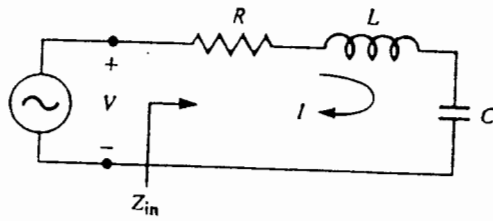
Σχ. 2-18 Η γραφική επίλυση πάνω στο χάρτη Smith; [20, σελ. 91]

Πολύ βασικό, αν όχι απαραίτητο, για την επίλυση προβλημάτων προσαρμογής είναι να γνωρίζουμε τη συμπεριφορά παθητικών στοιχείων (πυκνωτών, πηνίων) πάνω στο χάρτη Smith. Είναι σαφές ότι η συμπεριφορά του στοιχείου που εξετάζουμε εξαρτάται άμεσα από τον τρόπο που συνδέεται το στοιχείο (εν σειρά ή παράλληλα). Στο Σχ. 2-16 φαίνονται παραστατικά οι 4 διαφορετικές περιπτώσεις.



Σχ. 2-16 Συμπεριφορά των στοιχείων L,C πάνω στο χάρτη Smith, [20, σελ.89]

Συντονισμένο Κύκλωμα Σειράς



$\phi = \pm 45^\circ$
 $Re(Z_{in}) = \frac{R}{\sqrt{2}}$

A series RLC resonator and its response. (a) The series RLC circuit. (b) The input impedance magnitude versus frequency.

Σύνδεση Αντίσθ. Εισόδου

$$Z_{in} = R + j\omega L - j \frac{1}{\omega C}$$

Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργ.

$$W_e = \frac{1}{4} |V_c|^2 \cdot C = \frac{1}{4} |I|^2 \frac{1}{\omega^2 C}$$

Αποθήκ. Μαγνητικής Ενέργειας

$$W_m = \frac{1}{4} |I|^2 L$$

Ισχύς Απωλειών

$$P_e = \frac{1}{2} |I|^2 R$$

Συντονισμός :

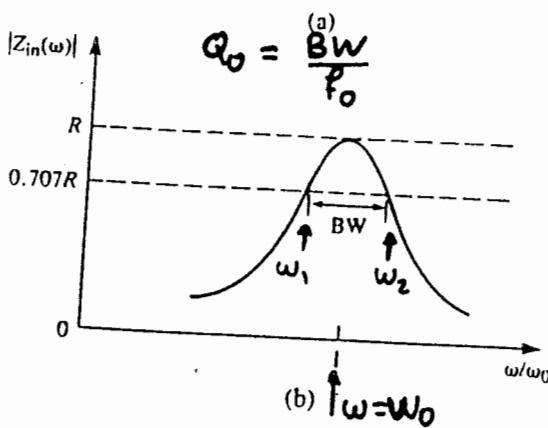
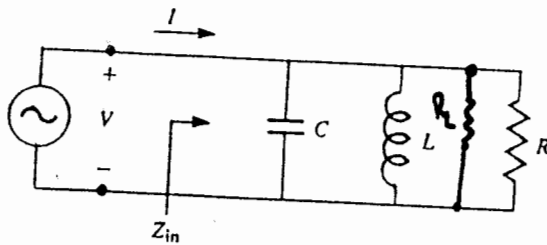
$$W_m = W_e \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Συντ. Ποιότητας χωρίς φασία :

$$Q_0 = \frac{2\omega_0 W_m}{P_e} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC}$$

Γενικά : $Q = \omega \frac{W_m + W_e}{P_e}$

Κύκλωμα Παράλληλου Συντονισμού :



$\phi = \pm 45^\circ$
 $\frac{R}{\sqrt{2}}$

A parallel RLC resonator and its response. (a) The parallel RLC circuit. (b) The input impedance magnitude versus frequency.

Σύνδεση Αγωγιμότητα Εισόδου

$$Y_{in} = \frac{1}{R} + j\omega C - j \frac{1}{\omega L}$$

Αποθήκ. Ηλεκτρικής Ενέργειας

$$W_e = \frac{1}{4} |V|^2 \cdot C$$

Αποθήκ. Μαγνητικής Ενέργειας

$$W_m = \frac{1}{4} |I_L|^2 L = \frac{1}{4} |V|^2 \frac{1}{\omega^2 L}$$

Ισχύς Απωλειών

$$P_e = \frac{1}{2} |V|^2 / R$$

Συντονισμός :

$$W_m = W_e \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Q χωρίς φασία :

$$Q_0 = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 RC$$

Q με φασία R_t

όπου $R_t = \frac{R_L \cdot R}{R_L + R}$

$$Q = \frac{R_t}{\omega_0 L}$$

ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΜΕ ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

1. Βραχυκυκλωμένη Γραμμή Μεταφοράς

Γραμμή με φορτίο Z_L

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \tanh(\gamma l)}{Z_0 + Z_L \tanh(\gamma l)}$$

Βραχυκυκλωμένη Γραμμή $Z_L = 0$

$$Z_{in} = Z_0 \tanh(\gamma l)$$

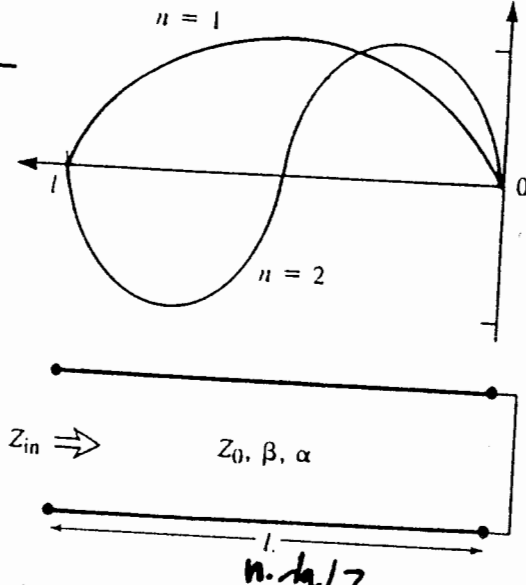
όπου $\gamma = \alpha + j\beta$

Συntonισμός (εστω $\alpha = 0$)

$$\text{Im}(Z_{in})|_{\alpha=0} = Z_0 \tan \beta l = 0$$

$$\rightarrow \beta l = n\pi \rightarrow l = n \cdot \frac{\lambda_g}{2}$$

$n = 1, 2, 3, \dots$



✓ Κατανομή τάσης κατά μήκος της γραμμής
 ↓
 Συntonισμένο εστιαίο
 $Z_{in} \approx Z_0 \alpha l + j Z_0 \frac{\pi \Delta \omega}{\omega_0}$
 ↓ $= R + j 2L \Delta \omega$
 $R = Z_0 \alpha l$
 $L = \frac{Z_0 \pi}{2 \omega_0}, C = \frac{1}{\omega_0^2 L}$
 και
 $Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\pi}{2 \alpha l} = \frac{\beta}{2 \alpha}$

FIGURE 7.4

A short-circuited length of lossy transmission line, and the voltage distributions for $n = 1$ ($l = \lambda/2$) and $n = 2$ ($l = \lambda$) resonators.

2. Ανοικτοκυκλωμένη Γραμμή Μεταφοράς: $Z_L \rightarrow \infty \rightarrow \frac{1}{Z_L} \rightarrow 0$

$$Z_{in} = \frac{Z_0}{\tanh(\gamma l)} \Big|_{\alpha=0} = \frac{Z_0}{j \tan \beta l} = \frac{1}{Y_{in}} \quad Y_{in} = j \tan \beta l / Z_0$$

Συntonισμός

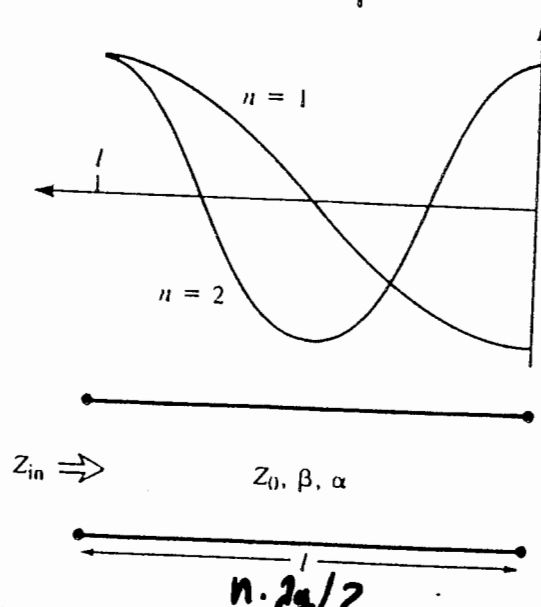
$$\text{Im}(Y_{in}) = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow \tan(\beta l) = 0$$

$$\rightarrow \beta l = n\pi$$

$$\rightarrow l = n \cdot \frac{\lambda_g}{2}$$

$$n = 1, 2, \dots$$



Κατανομή τάσης κατά μήκος της γραμμής
 ↓
 Παράλληλος Συntonισμός
 $Z_{in} \approx \frac{Z_0}{\alpha l + j \pi \Delta \omega / 2 \omega_0} =$
 $= \frac{1}{(1/R) + j 2 \Delta \omega C}$
 $R = Z_0 / \alpha l, C = \frac{\pi}{2 \omega_0 Z_0}$
 $L = 1 / (\omega_0^2 C)$
 $Q = \omega_0 R C = \frac{\pi}{2 \alpha l} = \frac{\beta}{2 \alpha}$

FIGURE 7.5

An open-circuited length of lossy transmission line, and the voltage distributions for $n = 1$ ($l = \lambda/2$) and $n = 2$ ($l = \lambda$) resonators.

Συντονισμένα Κυκλώματα με γραμμές Μεταφοράς

1. Βραχυκυκλωμένη Γραμμή \leftrightarrow Συντονισμένο Σειράς ($Z_L = 0$)

$$Z_{in} = Z_0 \tanh(\gamma l) \Big|_{\gamma = \alpha + j\beta} = Z_0 \frac{\tanh(\alpha l) + j \tan(\beta l)}{1 + j \tanh(\alpha l) \tan(\beta l)}$$

Γραμμή με αμελητέες απώλειες $\alpha \approx 0$

$$Z_{in} \approx j Z_0 \tan(\beta l)$$

Συντονισμός Σειράς: $\text{Im}(Z_{in}) = 0 \rightarrow \tan \beta l = 0$

$$\rightarrow \tan(\beta l) = \tan(n\pi) \rightarrow \beta l = n\pi \rightarrow \frac{2\pi l}{\lambda} = n\pi$$

$$l = n \frac{\lambda}{2} \text{ για } n = 1, 2, 3, \dots$$

2. Βραχυκυκλωμένη Γραμμή \leftrightarrow Παράλληλος Συντονισμός ($Z_L = \infty$)

$$Z_{in} \approx j Z_0 \tan \beta l = \frac{1}{Y_{in}} \rightarrow Y_{in} = -j \cot(\beta l) / Z_0$$

Παράλληλος Συντονισμός: $\text{Im}(Y_{in}) = 0 \rightarrow$

$$\rightarrow \cot(\beta l) = 0 \rightarrow \beta l = (2n+1) \frac{\pi}{2} \rightarrow$$

$$l = (2n+1) \frac{\lambda}{4} \text{ για } n = 0, 1, 2, \dots$$

3. Ανοικτοκυκλωμένη Γραμμή \leftrightarrow Παράλληλος Συντονισμός ($Y_L = 0$)

$$\rightarrow Z_L \sim \infty \rightarrow Y_L = 1/Z_L \sim 0$$

$$Z_{in} = \frac{Z_0}{\tanh(\gamma l)} \rightarrow \text{αμελητέες απώλειες } Z_{in} \Big|_{\alpha \approx 0} \approx \frac{Z_0}{j \tan(\beta l)} = \frac{1}{Y_{in}}$$

$$\rightarrow Y_{in} = j \tan(\beta l) / Z_0$$

Παράλληλος Συντονισμός: $\text{Im}(Y_{in}) = 0 \rightarrow$

$$\rightarrow \tan \beta l = 0 \rightarrow l = n \cdot \lambda / 2 \text{ για } n = 1, 2, 3, \dots$$

4. Ανοικτοκυκλωμένη Γραμμή \leftrightarrow Συντονισμός Σειράς:

$$\text{Συντονισμός Σειράς: } \text{Im}(Z_{in}) = 0 \rightarrow \frac{Z_0}{\tan \beta l} = 0 \rightarrow$$

$$\rightarrow \cot(\beta l) = 0 \rightarrow l = (2n+1) \frac{\lambda}{4} \text{ για } n = 0, 1, 2, \dots$$

Συσκευές - Φορτία Αρνητικής Αντίστασης

Ενεργά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό
 Ταλαντωτών Παρουσιάζουν Αρνητική Πραγματική αντίσταση:
 "Αποδίδουν - δεν καταναλώνουν RF ενέργεια".

$$Z_L = -R + jX \quad \text{ή} \quad z = Z_L/Z_0 = -r + jx$$

$$\text{Άλλα: } \Gamma_L = \frac{Z_L + Z_0}{Z_L - Z_0} = \frac{Z_L/Z_0 + 1}{Z_L/Z_0 - 1} = \frac{z + 1}{z - 1}$$

$$\text{άρα: } \Gamma_L = \frac{-r + jx - 1}{-r + jx + 1} = \frac{-(r+1) + jx}{-r+1 + jx} \rightarrow |\Gamma_L| = \left\{ \frac{(r+1)^2 + x^2}{(1-r)^2 + x^2} \right\}$$

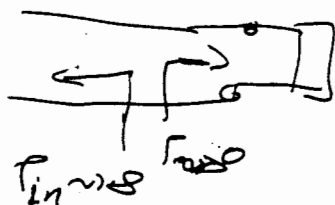
? "Προβαρκοχή" (\Leftrightarrow μηδενισμός του φανταστικού μέρους) $\leftarrow |\Gamma_L| > 1$

$$\Gamma_L \Big|_{x=0} = \frac{-(r+1)}{1-r} \Rightarrow |\Gamma_L| > 1$$

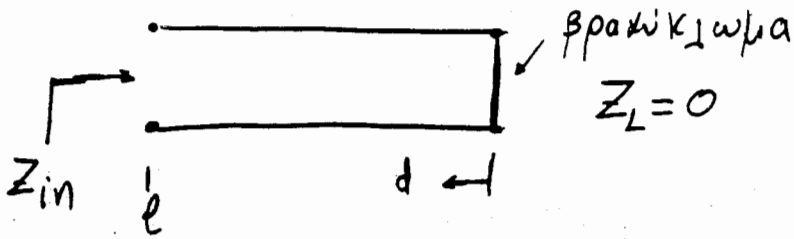
Και $\Gamma_L \Big|_{x=0, r \rightarrow 1} \sim \infty$

Χάρτης Smith $|\Gamma_L| > 1$ } Εκτεταμένος Χάρτης
 $\text{Re}(z) < 0$ } Smith

Συμπιεσμένος ($|\Gamma_L| < 1$) Χάρτης Smith
 (compressed Smith chart)



Ειδικές Περιπτώσεις Τερματισμού Γραμμών
 1) Βραχυκυκλωμένη Γραμμή $Z_L = 0$



$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + Z_0 \tanh(\gamma l)}{Z_0 + Z_L \tanh(\gamma l)} \Big|_{Z_L=0} = Z_0 \tanh(\gamma l)$$

Γραμμές χωρίς απώλειες $\alpha = 0$

$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \alpha + j\beta \approx j\beta \\ \tanh(jx) &= j \tan(x) \\ \beta l &= \frac{2\pi}{\lambda_g} \cdot l \end{aligned} \right\} \begin{aligned} Z_{in} \Big|_{Z_L=0} &\approx j Z_0 \tan(\beta l) = \\ &= j Z_0 \tan\left(2\pi \cdot \frac{l}{\lambda_g}\right) \\ Z_{in} \Big|_{Z_L=0} &= jX = \text{φανταστική αντίσταση.} \end{aligned}$$

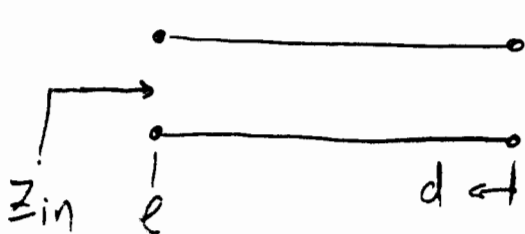
Γραμμές με απώλειες

$$Z_{in} \Big|_{Z_L=0} = Z_0 \tanh(\alpha l + j\beta l) = Z_0 \frac{\tanh(\alpha l) + j \tan(\beta l)}{1 + j \tanh(\alpha l) \tan(\beta l)}$$

$$\tanh(\alpha \pm j\beta) = \frac{\tanh(\alpha) \pm j \tanh(\beta)}{1 \pm \tanh(\alpha) \tanh(\beta)}$$

Γραμμές μικρού μήκους } $\alpha \ll 1$ } $\tanh(\alpha l) \Big|_{\alpha l \ll 1} \approx \alpha l$
 με αμελητέες απώλειες } $\alpha l \ll 1$ }

2) Ανοικτοκυκλωμένη Γραμμή $Z_L = \infty \rightarrow 1/Z_L \sim 0$



$$Z_{in} \Big|_{Z_L \sim \infty} = \frac{Z_0}{\tanh(\gamma l)}$$

χωρίς απώλειες

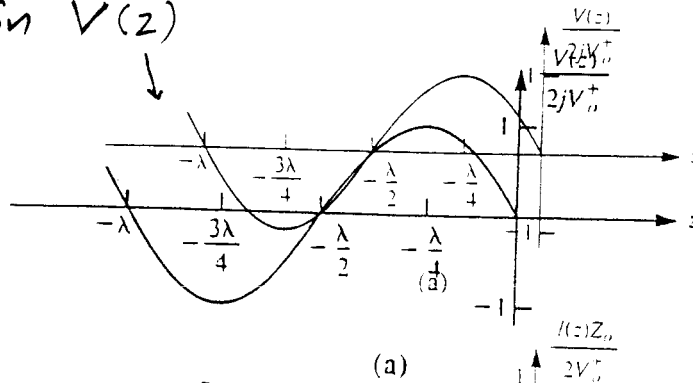
$$Z_{in} \Big|_{\alpha \sim 0, Z_L \sim \infty} \approx -j Z_0 \cot(\beta l)$$

ΜΕ ΑΠΩΛΕΙΕΣ: $Z_{in} \Big|_{Z_L \sim \infty} = Z_0 (1 + j \tanh(\alpha l) \tan(\beta l)) / (\tanh(\alpha l) + j \tan(\beta l))$

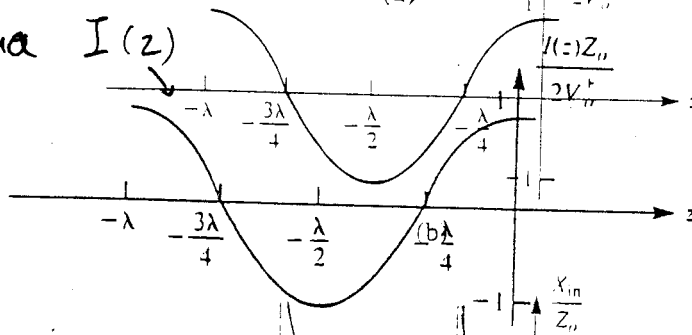
Βραχυκυκλωμένη γραμμή

Μεταβολή των $V(z)$, $I(z)$ και $Z(z)$ κατά μήκος της γραμμής, όταν Z η αποδοχή από το φορτίο.

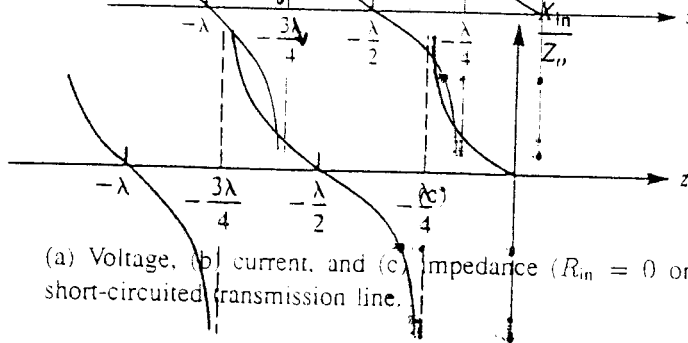
Ολική τάση $V(z)$



Ολικό ρεύμα $I(z)$



Συνολική αντίσταση $Z(z) = jX(z)$

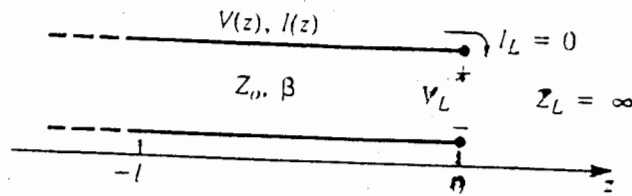


(a) Voltage, (b) current, and (c) impedance ($R_{in} = 0$ or ∞) variation along a short-circuited transmission line.

(c)

(a) Voltage, (b) current, and (c) impedance ($R_{in} = 0$ or ∞) variation along a short-circuited transmission line.

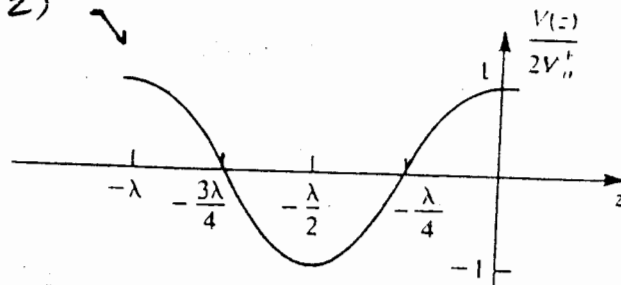
Ανοικτοκυκλωμένη Γραμμή



A transmission line terminated in an open circuit.

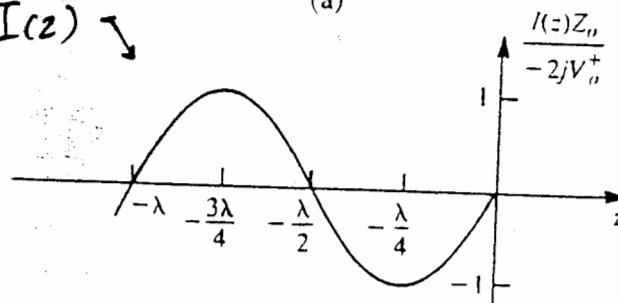
Μεταβολή των $V(z)$, $I(z)$ και $Z(z)$ συναρτήσει της απόστασης από το σημείο z

Ολική τάση $V(z)$

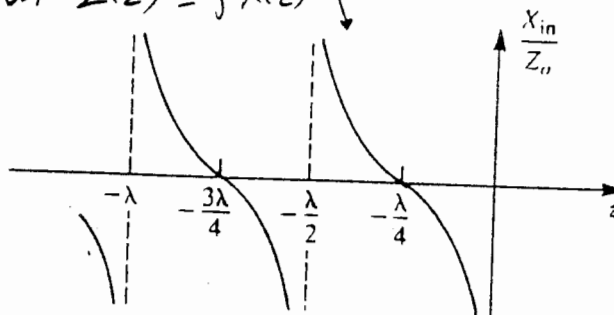


(a)

Ολικό ρεύμα $I(z)$



Είδηση Αντίστασης $Z(z) = jX(z)$

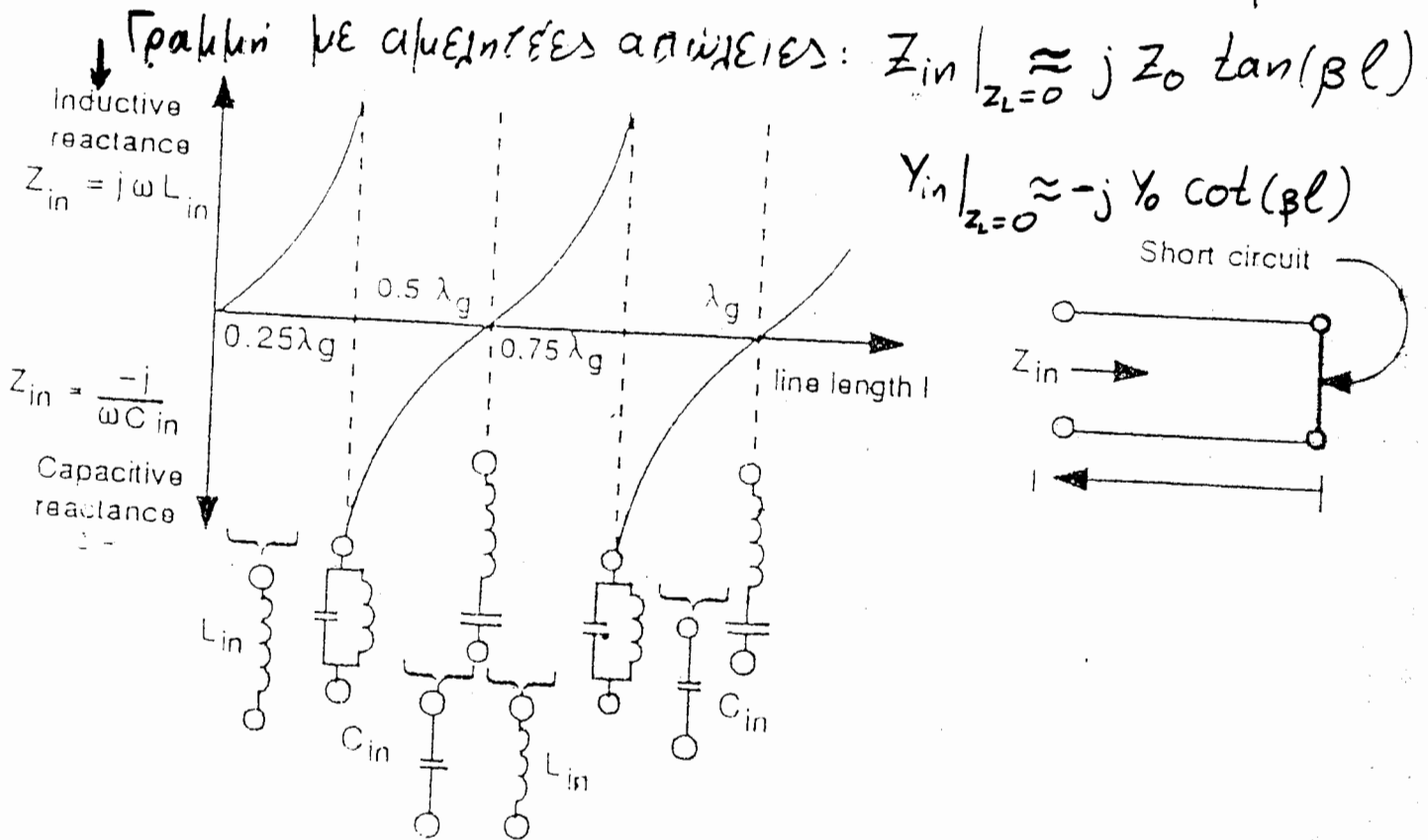


(c)

FIGURE 3.8

(a) Voltage, (b) current, and (c) impedance ($R_{in} = 0$ or ∞) variation along an open-circuited transmission line.

Βραχυκυκλωμένη γραμμή $Z_L = 0$
 Μεταβολή της αντίστασης εισόδου συναρτήσει του μήκους



$0 < l < \lambda_g/4$ επαγωγική αντίδραση εισόδου:



$$Z_{in} = j\omega L_{in} \rightarrow L_{in} = \frac{Z_0}{\omega} \tan(2\pi \cdot l/\lambda_g)$$

$l = \lambda_g/4$ → Παράλληλος συντονισμός (μεγάλη αντίσταση)



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Θεωρητικά } Z_{in} = j Z_0 \tan\left(\frac{2\pi}{\lambda_g} \cdot \frac{\lambda_g}{4}\right) \rightsquigarrow \infty \\ \text{Πρακτικά } Z_{in} = \frac{Z_0}{\tanh(\alpha l)} \Big|_{\alpha l \ll 1} \approx \frac{Z_0}{\alpha l} \end{array} \right.$$

$\lambda_g/4 < l < \lambda_g/2$ χωρητική συμπεριφορά



$$Z_{in} = \frac{1}{j\omega C_{in}} = -j Z_0 / \tan(\beta l) \rightarrow C_{in} = \frac{1}{Z_0 \omega |\tan(2\pi \cdot l/\lambda_g)|}$$

$l = \lambda_g/2$ → Συντονισμός σειράς (μικρή αντίσταση)

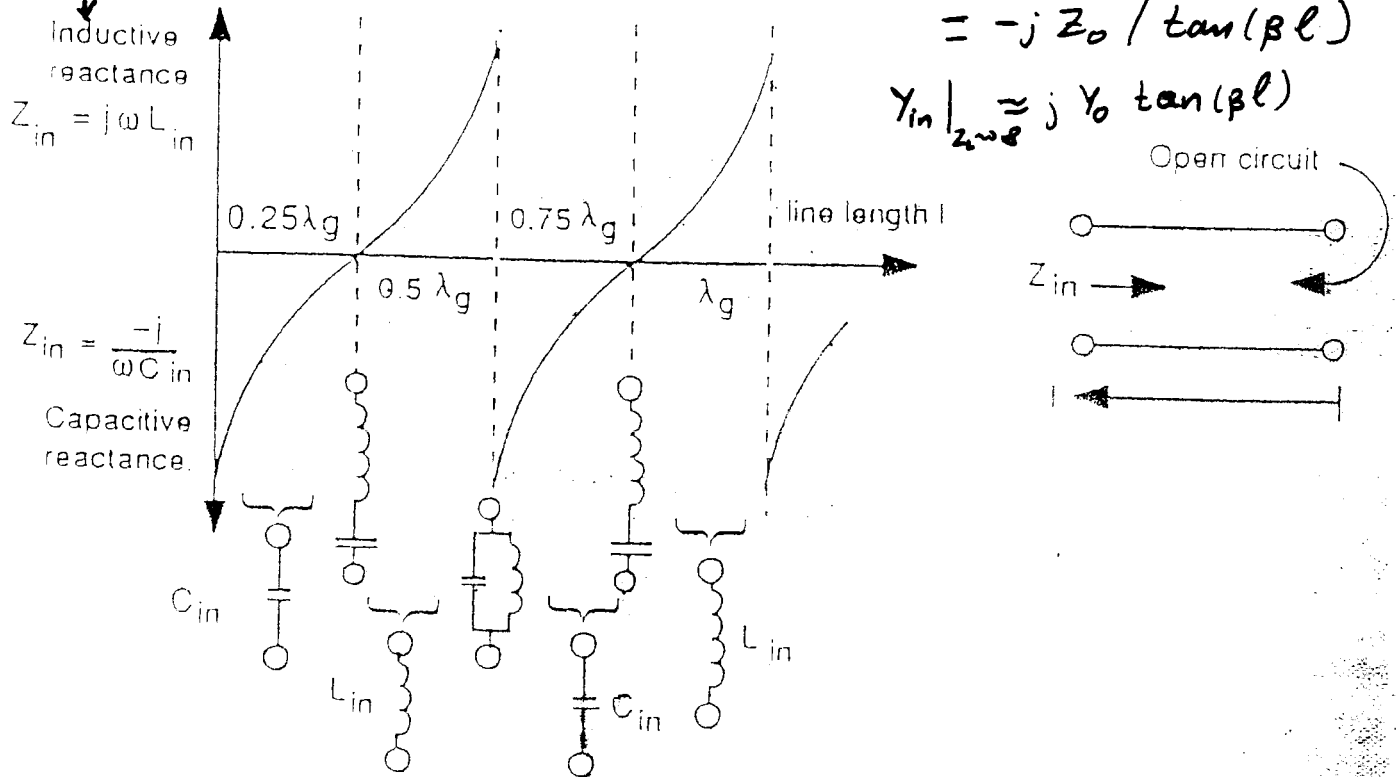


$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Θεωρητικά } Z_{in} = j Z_0 \tan(\pi) \rightsquigarrow 0 \\ \text{Πρακτικά } Z_{in} = Z_0 \tanh(\alpha l) \Big|_{\alpha l \ll 1} \rightsquigarrow Z_0 \alpha l \end{array} \right.$$

Ανοικτοκυκλωμένο γραμμή $Z_L \sim \infty$, $1/Z_L \sim 0$

Μεταβολή της αντίστασης εισόδου συνάρτηση του μήκους γραμμή με αμελητέες απώλειες: $Z_{in}|_{Z_L \sim \infty} \approx -j Z_0 \cot(\beta l) = -j Z_0 / \tan(\beta l)$

$$Y_{in}|_{Z_L \sim \infty} \approx j Y_0 \tan(\beta l)$$



$0 < l < \lambda_g/4$ χωρητική αντίδραση εισόδου



$$Z_{in} = \frac{-j}{\omega C_{in}} \rightarrow C_{in} = \frac{1}{\omega Z_0 \cot(2\pi \cdot l / \lambda_g)}$$

$l = \lambda_g/4$

Συντονισμός Σειράς $\tan \beta l \sim \infty$



Θεωρητικά $Z_{in} = -j Z_0 \cot(\pi/2) \sim 0$

Πρακτικά $Z_{in} = Z_0 \tanh(\alpha l) |_{\alpha l \ll 1} \approx Z_0 \cdot \alpha l$

$\lambda_g/4 < l < \lambda_g/2$

Επαγωγική αντίδραση εισόδου



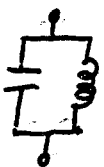
$$Z_{in} = j\omega L_{in} \rightarrow L_{in} = Z_0 |\cot \beta l| / \omega$$

$l = \lambda_g/2$

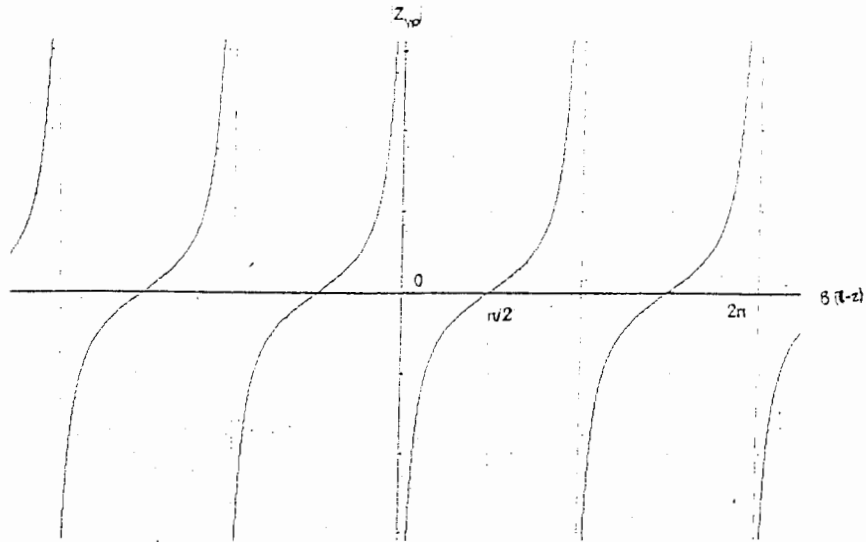
Παραλληλός Συντονισμός $\tan \beta l \sim 0$

Θεωρητικά $Z_{in} \approx -j Z_0 \cot(\pi) \sim \infty$

Πρακτικά $Z_{in} = \frac{Z_0}{\tanh(\alpha l)} |_{\alpha l \ll 1} \approx \frac{Z_0}{\alpha l}$



Στο παρακάτω σχήμα (Σχ. 1-12) φαίνεται η μεταβολή της σύνδετης αντίστασης μιας ανοιχτοκυκλωμένης γραμμής καθώς κινούμαστε από το φορτίο προς τη γεννήτρια :



Σχ. 1-12 Μεταβολή της σύνδετης αντίστασης μιας ανοιχτοκυκλωμένης γραμμής.

Όπως και προηγουμένως είναι πολύ σημαντικό να προσδιορίσουμε τη συμπεριφορά της σύνδετης αντίστασης εισόδου ($z=0$) μιας ανοιχτοκυκλωμένης γραμμής σε σχέση με το μήκος της. Αυτή η μελέτη είναι σημαντική γιατί βρίσκουμε άμεση εφαρμογή της γραμμής αυτής στο ανοιχτοκυκλωμένο stub. Με τη βοήθεια του προηγούμενου σχήματος καταλήγουμε στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα :

Μήκος γραμμής	Μεταβίβαση
$0 < l < \frac{\lambda}{4}$	χωρητική — —
$l = \frac{\lambda}{4}$	$Z_{in} = 0$, σε σειρά συντονισμένο κύκλωμα
$\frac{\lambda}{4} < l < \frac{\lambda}{2}$	επαγωγική — —
$l = \frac{\lambda}{2}$	$Z_{in} \rightarrow \infty$, παράλληλο συντονισμένο κύκλωμα

Πίνακας 1-2 Συμπεριφορά ανοιχτοκυκλωμένης γραμμής