ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

HELLENIC REPUBLIC
National and Kapodistrian University of Athens

Εισαγωγή στη Σχεδίαση Κυκλωμάτων RF

Παθητικά δικτυώματα RLC

Passive RLC Networks

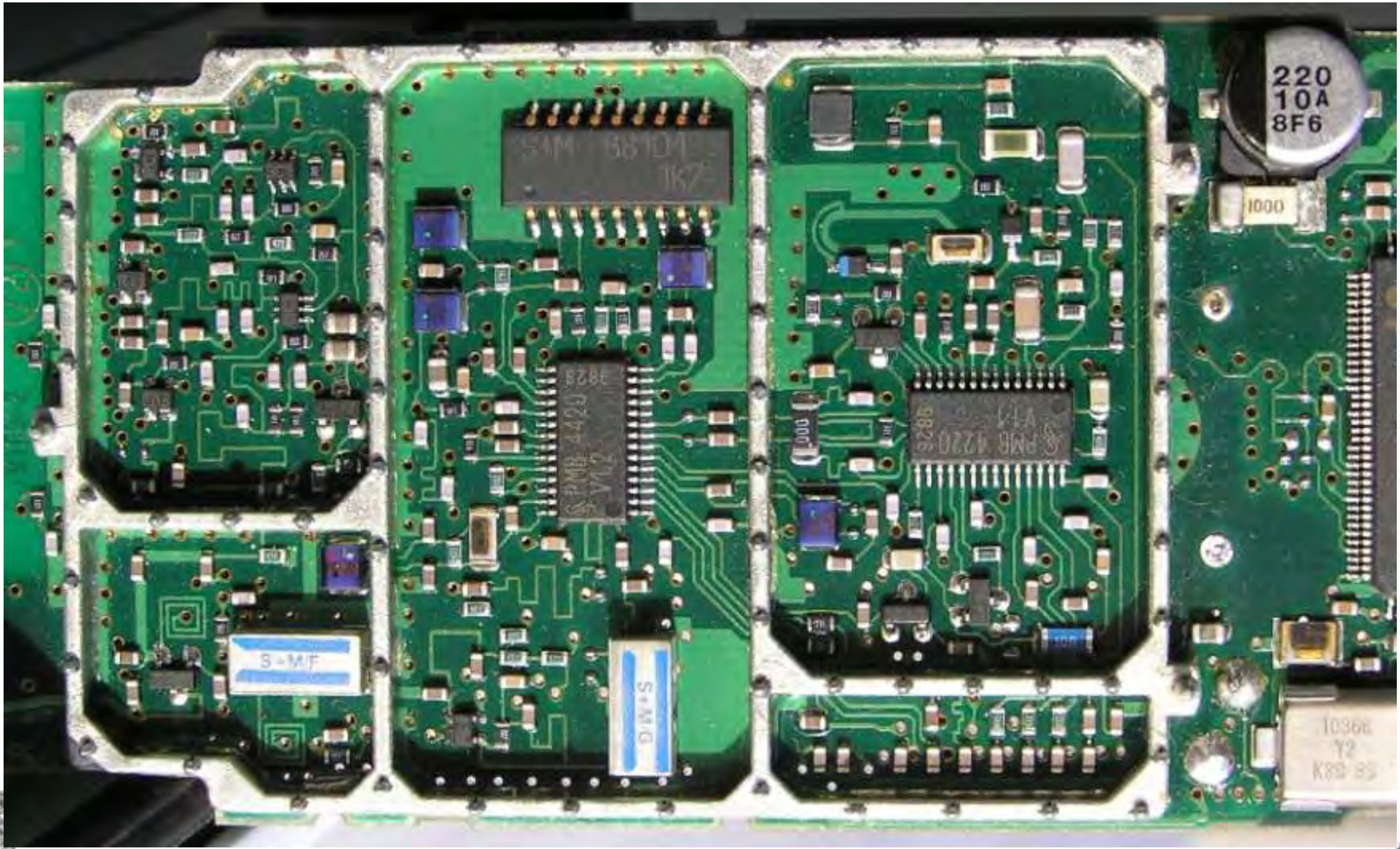
Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Lee, κεφάλαιο 4

- **Προσαρμογή**
- **Φιλτράρισμα**
- **Αντιστάθμιση**

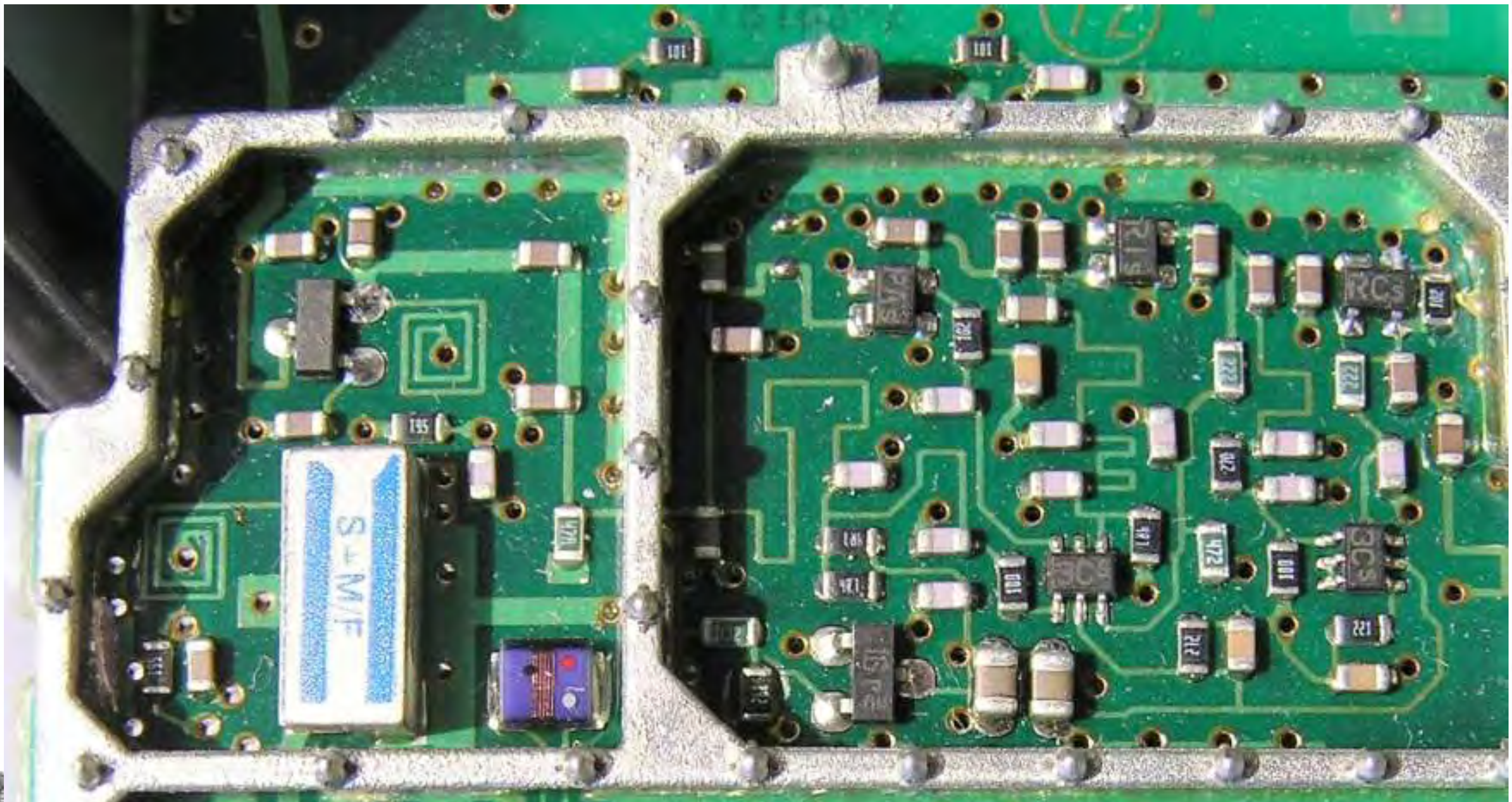
Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

- **Στα κυκλώματα RF τα περισσότερα εξαρτήματα είναι παθητικά**



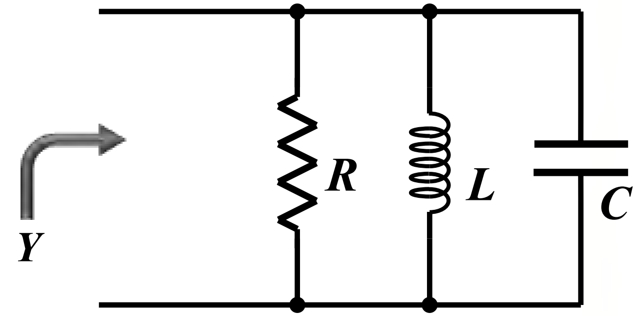
Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

- **Στα κυκλώματα RF τα περισσότερα παθητικά εξαρτήματα είναι πηνία, πυκνωτές και αντιστάσεις**



Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Παράλληλο κύκλωμα *RLC*:



Αγωγιμότητα (admittance):

$$Y = \frac{1}{R} + \frac{1}{j\omega L} + j\omega C$$

$$Y = G + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

Συχνότητα συντονισμού $\omega = \omega_0$

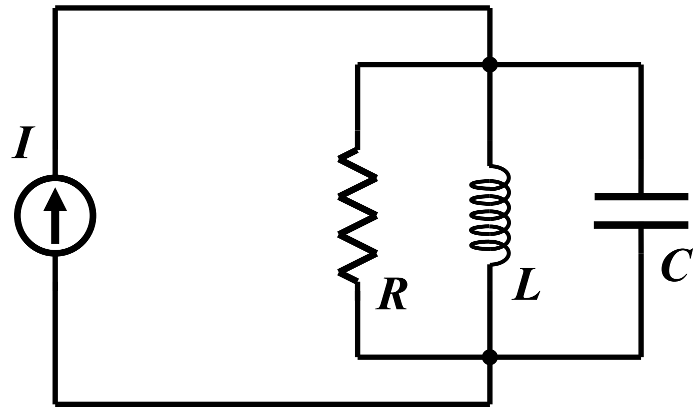
$$\omega_0 C = \frac{1}{\omega_0 L} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

1nH, 1pF => 5GHz

1μH, 1nF => 5MHz

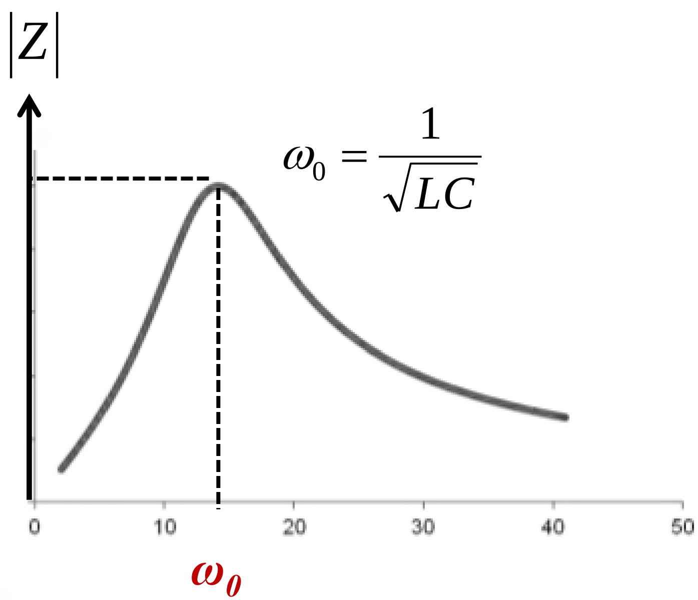
Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

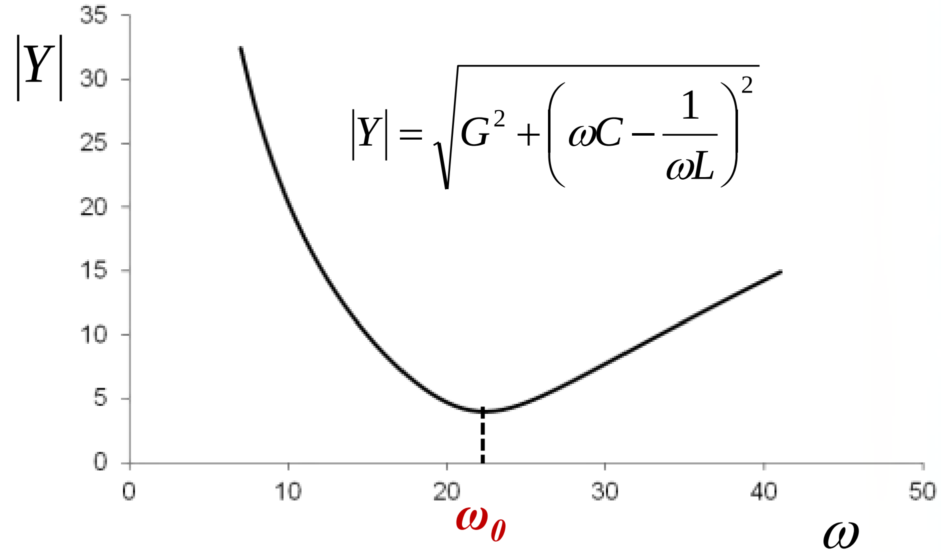
Παράλληλο κύκλωμα *RLC*:



Αγωγιμότητα (admittance): $Y = G + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$

Στο συντονισμό: $Y=G,\ \omega=\omega_0$





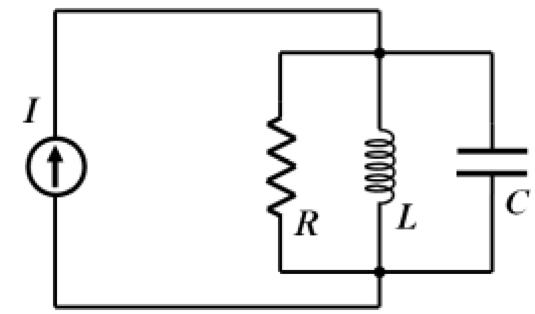
Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Συντελεστής ποιότητας *Q*:

Ορισμός: $$Q = \frac{\omega(\alpha\pi o\theta\eta\kappa\varepsilon\upsilon\mu\varepsilon\nu\eta \quad \varepsilon\nu\varepsilon\rho\gamma\varepsilon\iota\alpha \quad \alpha\nu\alpha \quad \kappa\upsilon\kappa\lambda o)}{(\mu\varepsilon\sigma\eta \quad \kappa\alpha\tau\alpha\nu\alpha\lambda\omega\sigma\eta \quad \iota\sigma\chi\upsilon o\varsigma)}$$

Το Q εξαρτάται από το ω, συνήθως όμως υπολογίζεται στο συντονισμό (ω_0)

$$Q(\omega=\omega_0) = \omega_0 \frac{\frac{1}{2}CV_C^2}{\frac{1}{2}\frac{V^2}{R}} = \omega_0 RC$$



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Το *Q* γράφεται και ως εξής:

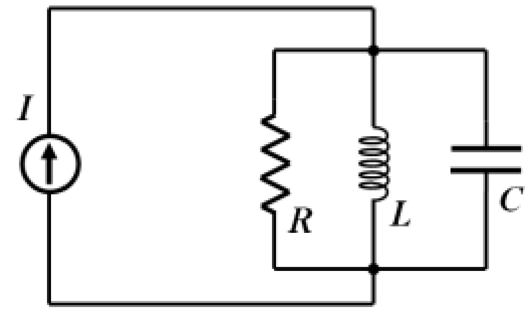
$$Q\Big|_{\omega=\omega_0} = \frac{R}{L\omega_0} = \frac{RC}{\sqrt{LC}} = \frac{R}{\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

Διαστάσεις αντίστασης

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Συντελεστής ποιότητας Q:

Δεύτερος ορισμός: $$Q = 2\pi \frac{W_{\max}}{W_{tot}}$$



W_{max} = η μέγιστη αποθηκευόμενη ενέργεια

W_{tot} = η ολική ενέργεια που χάνεται ανά περίοδο στο συντονισμό

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

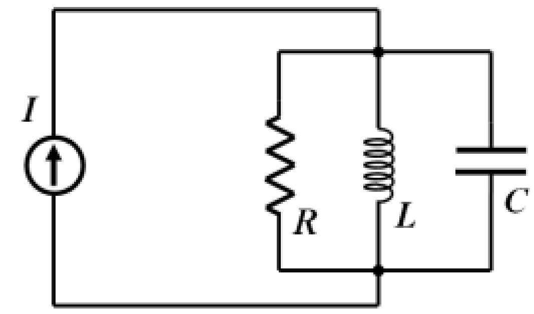
$$Q(\omega = \omega_0) = 2\pi \frac{\frac{1}{2} C V_{C\max}^2}{T_0 \frac{1}{2} \frac{V_{\max}^2}{R}} = \omega_0 RC$$

Για R→∞ => Q →∞ (μειώνεται η κατανάλωση)

Για L/C →0 => Q →∞

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Χαρακτηριστική αντίσταση Z του δικτυώματος στο συντονισμό ($\omega=\omega_0$):



Ορισμός, στο συντονισμό το Z είναι:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = |Z_C| = |Z_L|$$

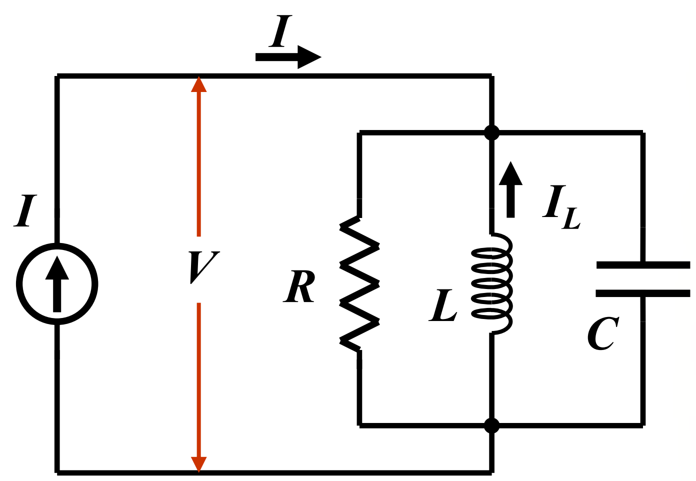
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Z(\omega = \omega_0) = \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \frac{L}{\sqrt{LC}} = \frac{\sqrt{LC}}{C}$$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Τα ρεύματα των κλάδων στον συντονισμό:

$$\left|I_L\right| = \left|I_C\right| = \frac{|V|}{Z_L} = \frac{|I|R}{\omega_0 L} = |I|\frac{R}{\frac{L}{\sqrt{LC}}}$$



$$\left|I_L\right| = Q\cdot|I| \quad \Rightarrow \quad \left|I_L\right| >> I$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Δηλ. Το ρεύμα στους κλάδους L και C είναι Q φορές το ολικό ρεύμα.

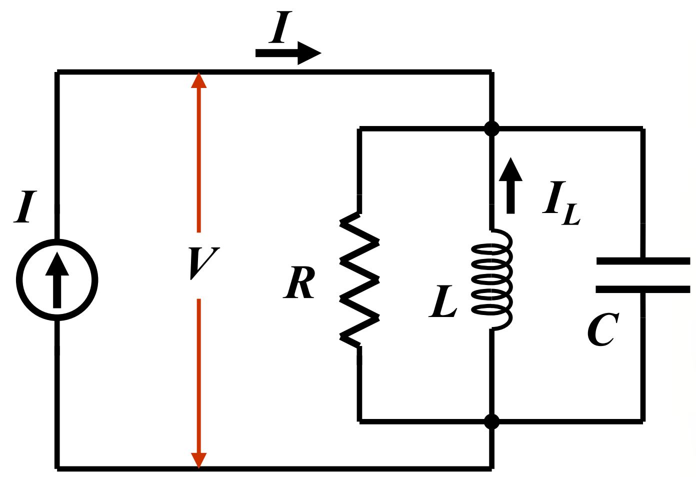
$$Q\Big|_{\omega=\omega_0} = \frac{R}{L\omega_0} = \frac{R}{\frac{1}{C\omega_0}}$$

$$Q\Big|_{\omega=\omega_0} = \frac{R}{Z_{L,C}}$$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Εύρος Ζώνης B και Q:

Εξετάζουμε το δικτύωμα σε συχνότητες πολύ κοντά στο συντονισμό



$$Y = G + j\frac{1}{\omega L}\left(\omega^2 LC - 1\right)$$

$$Q\Big|_{\omega=\omega_0} = \frac{R}{L\omega_0} = \frac{R}{\frac{1}{C\omega_0}}$$

Έστω ότι $\omega = \omega_0 + \Delta\omega$,

$$\Delta\omega << \omega_0$$

$$Y = G + j\frac{1}{\omega L}\left((\omega_0 + \Delta\omega)^2 LC - 1\right)$$

$$Y = G + j\frac{1}{\omega L}\left((\omega_0^2 + \cancel{\Delta\omega^2} + 2\omega_0 \cdot \Delta\omega)LC - 1\right)$$

$$\Delta\omega^2 \approx 0$$

$$\omega_0^2 LC = 1$$

Τελικά: $Y = G + j2C \cdot \Delta\omega$ $\qquad G = 1/R$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

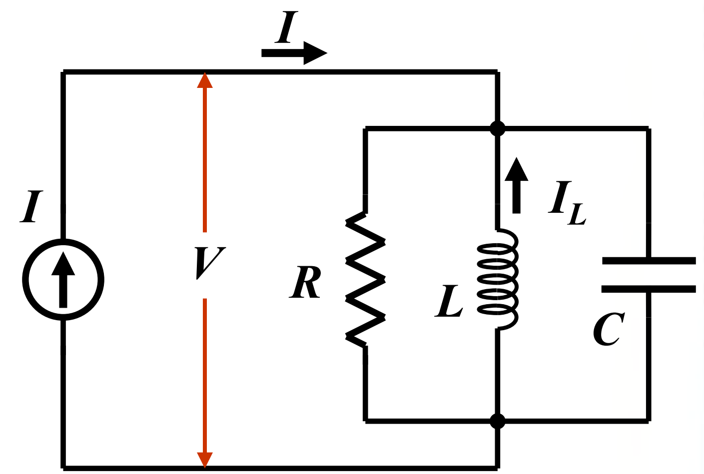
Εύρος Ζώνης *B* και *Q*, συνέχεια-1-:

$$Y = G + j2C \cdot \Delta\omega$$

$$G = 1/R$$

$$Y_0 = Y\big|_{\omega=\omega_0} = G$$

Ισοδυναμεί με παράλληλο δικτύωμα RC, του οποίου το εύρος ζώνης στα -3dB είναι 1/RC.



Για ποιο $\Delta\omega$, η αγωγιμότητα Y γίνεται $2Y_0$; οπότε η ισχύς μειώνεται αντίστοιχα κατά 3dB;

$$Q\big|_{\omega=\omega_0} = \frac{R}{L\omega_0} = \frac{R}{\dfrac{1}{C\omega_0}}$$

$$2Y_0 = G + 2jC \cdot \Delta\omega$$

$$2G = G + 2jC \cdot \Delta\omega$$

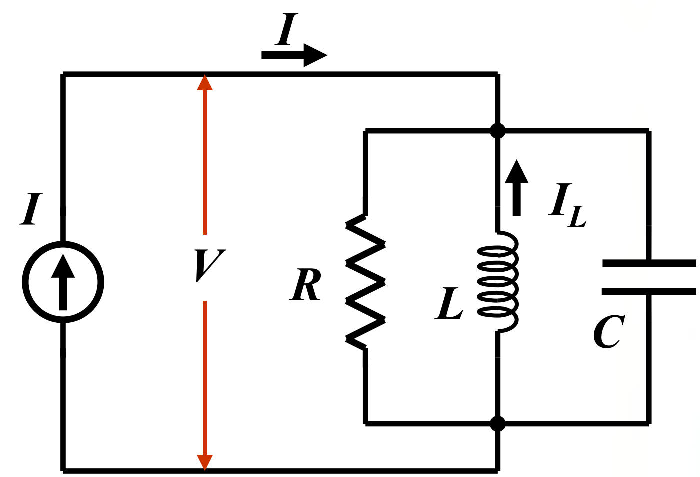
Τελικά: $$\Delta\omega = \frac{1}{2j \cdot RC}$$

Το Y γίνεται πραγματικό μόνο στο συντονισμό, για $\omega=\omega_0 + \Delta\omega$ το Y γενικά είναι μιγαδικός.

Το μέτρο του Y για μισή ισχύ γίνεται: $Y\sqrt{2}$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Εύρος Ζώνης B και Q, συνέχεια-2-:



Στις συχνότητες $\omega_1 = \omega_0 - \Delta\omega$ και $\omega_2 = \omega_0 + \Delta\omega$ που έχουμε μισή ισχύ ισχύει: $Re\{Y\} = Im\{Y\}$

$$|\Delta\omega| = \frac{1}{2 \cdot RC}$$

$$Q\Big|_{\omega=\omega_0} = \frac{R}{L\omega_0} = \frac{R}{\dfrac{1}{C\omega_0}}$$

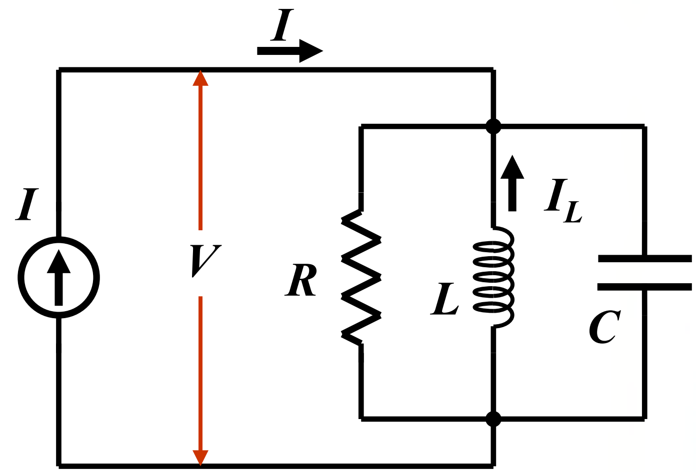
Εύρος Ζώνης $B = 2\Delta\omega = (\omega_0 - \Delta\omega,\ \omega_0 + \Delta\omega)$

$$B = \frac{1}{RC}$$

$$\frac{B}{\omega_0} = \frac{1}{\omega_0 RC} = \frac{1}{Q}$$ Επομένως $$Q = \frac{\omega_0}{B}$$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Κυμάτωση και Q:

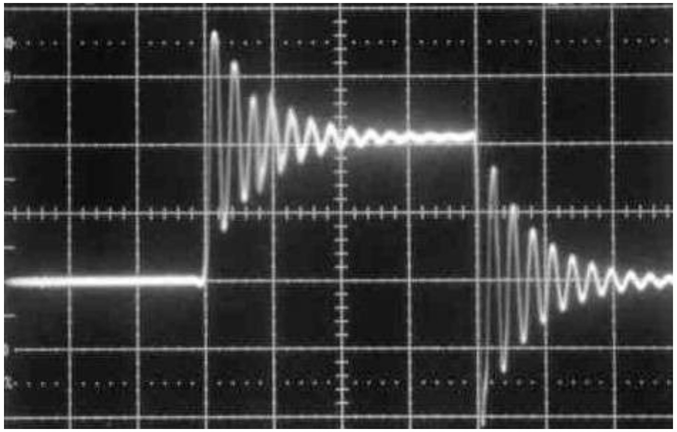


$$V(t) \propto V_0 e^{-t/2RC}$$

ή

$$V(t) \propto V_0 e^{-(t/T)(\pi/Q)}$$

$$Q = \frac{\omega_0}{B} \qquad Q = \frac{R}{L\omega_0} = \omega_0 RC$$

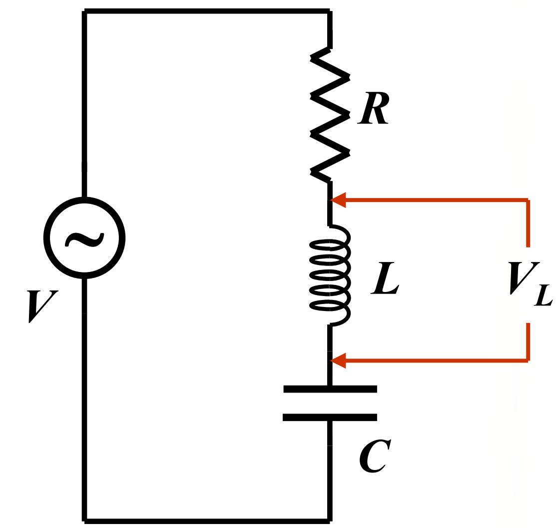


Μεγάλο Q σημαίνει μεγάλος χρόνο αποκατάστασης.

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Κύκλωμα *RLC* σειράς:

$$Q_S\big|_{\omega=\omega_0} = \omega_0 \frac{L}{R} = \frac{\sqrt{\frac{L}{C}}}{R} = \frac{1}{RC\omega_0}$$



$$V_L = Q_S V$$
$$V_C = Q_S V$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

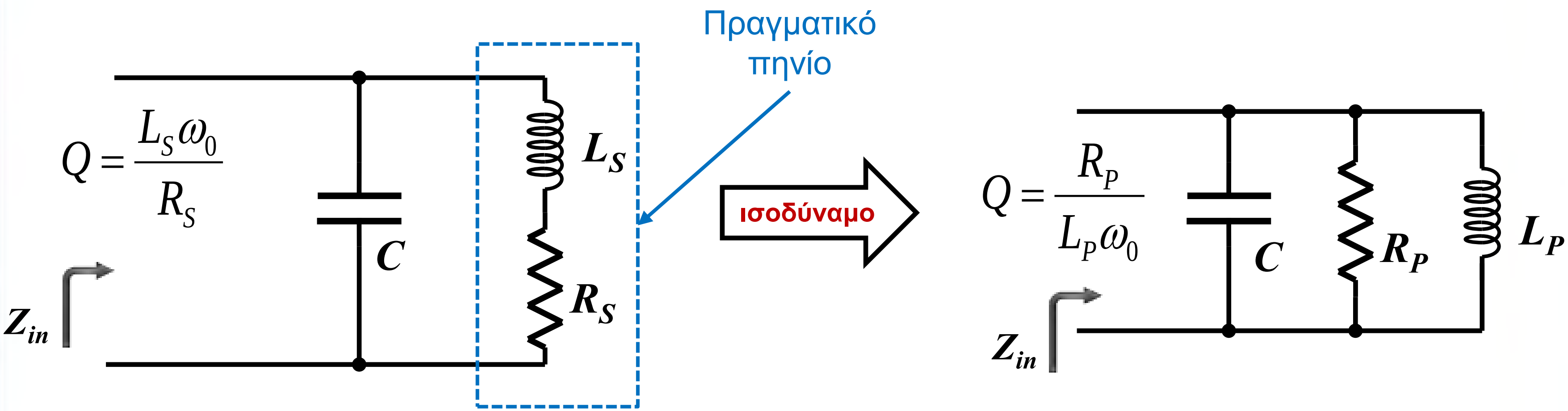
Οι τάσεις στα άκρα των L και C είναι Q φορές η τάση εισόδου.

$$Q_S\big|_{\omega=\omega_0} = \frac{L\omega_0}{R}$$

Υπενθύμιση: $Q_P\big|_{\omega=\omega_0} = \frac{R}{L\omega_0} = RC\omega_0$

Κύκλωμα *RLC* περιορισμένου εύρους ζώνης

Μετατροπή κυκλώματος *RLC* σειράς σε παράλληλο: $S \rightarrow P$



$$Q = \frac{L_S \omega_0}{R_S}$$

$$Q = \frac{R_P}{L_P \omega_0}$$

Πρέπει: $$R_S + j\omega_0 L_S = \frac{R_P \cdot j\omega_0 L_P}{R_P + j\omega_0 L_P}$$

$$R_S + j\omega_0 L_S = \frac{R_P^2 \cdot j\omega_0 L_P + \omega_0^2 L_P^2 R_P}{R_P^2 + \omega_0^2 L_P^2}$$

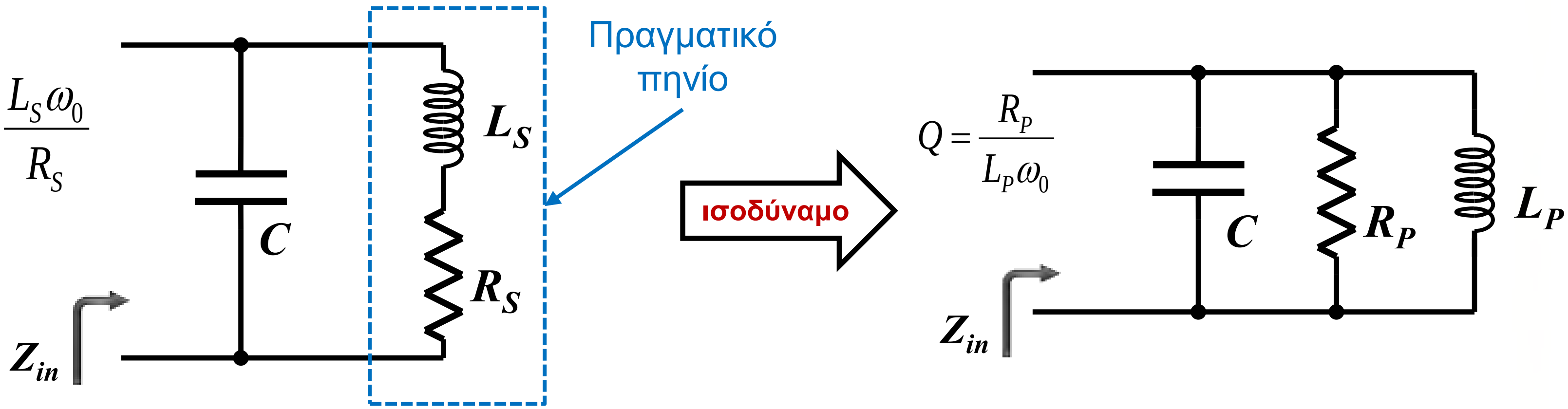
$$\begin{cases} R_S = \dfrac{\omega_0^2 L_P^2 R_P}{R_P^2 + \omega_0^2 L_P^2} \\[2ex] \omega_0 L_S = \dfrac{R_P^2 \cdot \omega_0 L_P}{R_P^2 + \omega_0^2 L_P^2} \end{cases}$$

Κύκλωμα RLC περιορισμένου εύρους ζώνης

Μετατροπή κυκλώματος RLC σειράς σε παράλληλο: $S \rightarrow P$

$$Q = \frac{L_S\omega_0}{R_S}$$

$$Q = \frac{R_P}{L_P\omega_0}$$



$$R_S = \frac{\omega_0^2 L_P^2 R_P}{R_P^2 + \omega_0^2 L_P^2} = \frac{1}{\dfrac{R_P^2}{\omega_0^2 L_P^2} + 1} R_P \rightarrow R_P = (Q^2+1) R_S$$

$$L_S = \frac{R_P^2 \cdot L_P}{R_P^2 + \omega_0^2 L_P^2} = \frac{\dfrac{R_P^2}{\omega_0^2 L_P^2}}{\dfrac{R_P^2}{\omega_0^2 L_P^2} + 1} L_P \rightarrow L_P = \frac{Q^2+1}{Q^2} L_S$$

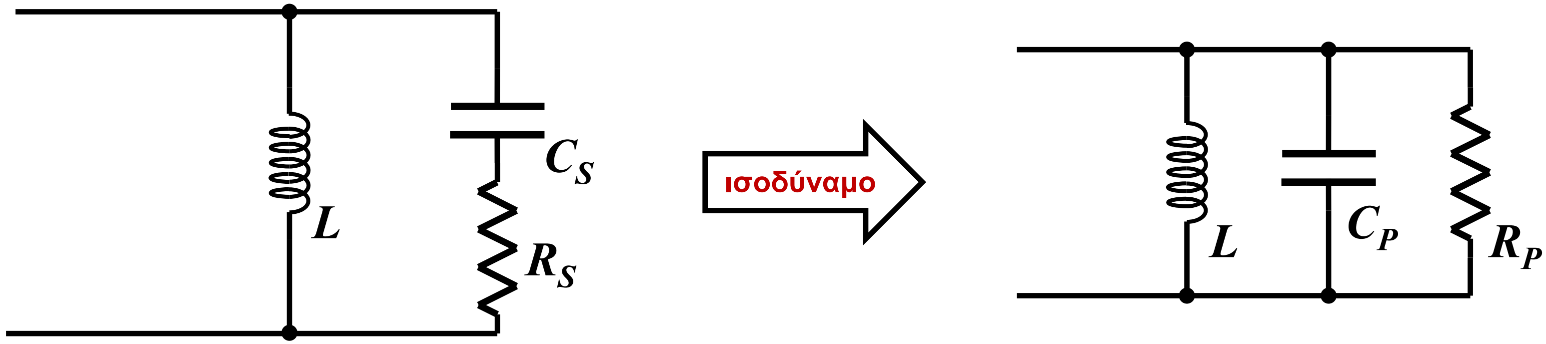
Ισοδυναμία των κυκλωμάτων προϋποθέτει:
$Q = R_P/\omega_0 L_P = \omega_0 L_S/R_S$.

Μετασχηματισμός της αντίστασης προς τα άνω

$$Z_{in}\Big|_{\omega\approx\omega_0} = R_P \approx Q^2 R_S$$

Κύκλωμα *RLC* περιορισμένου εύρους ζώνης

Μετατροπή κυκλώματος *RLC* σειράς σε παράλληλο: $S \rightarrow P$

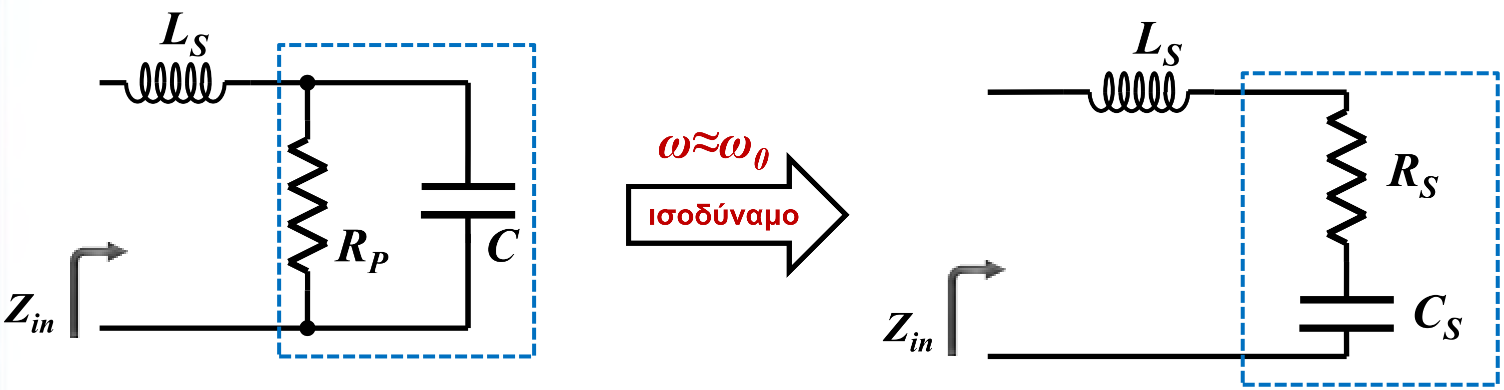


$$R_P = (Q^2 + 1) R_S$$

$$C_P = \frac{Q^2}{Q^2 + 1} C_S$$

Κύκλωμα *RLC* περιορισμένου εύρους ζώνης

Μετατροπή κυκλώματος *RLC* παράλληλου σε σειρά: $P \rightarrow S$



Ισοδυναμία των κυκλωμάτων προϋποθέτει: $Q = R_P/\omega_0 L_P = \omega_0 L_S/R_S$

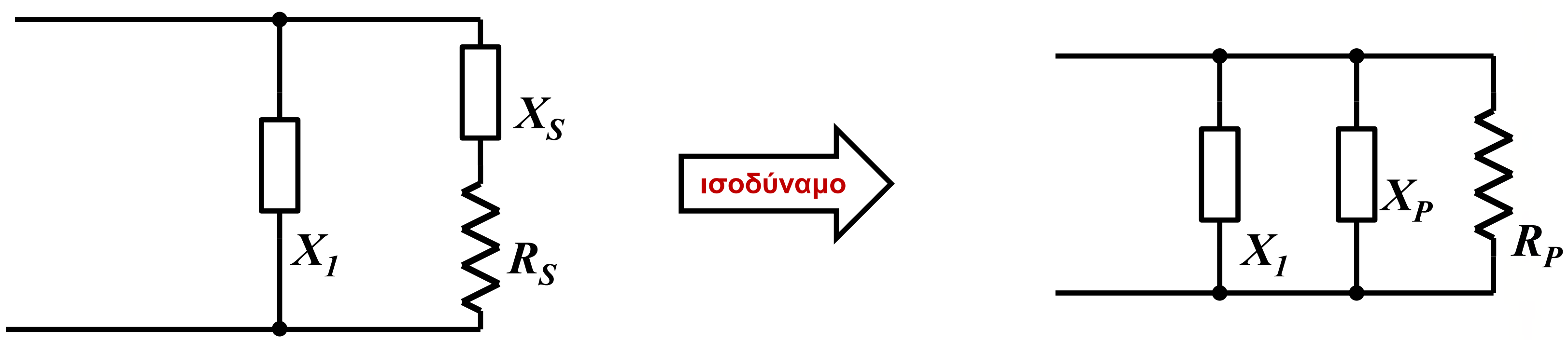
$$\frac{1}{R_P} + j\omega C = \frac{j\omega C_S \cdot \frac{1}{R_S}}{j\omega C_S + \frac{1}{R_S}} \quad \left\{ \begin{array}{l} R_S = \left.\dfrac{R_P}{R_P^2\omega^2C^2+1}\right|_{\omega\approx\omega_0} = \dfrac{R_P}{Q^2+1} = \dfrac{R_P}{Q^2} \\ C_S = C \cdot \left.\dfrac{R_P^2\omega^2C^2+1}{R_P^2\omega^2C^2}\right|_{\omega\approx\omega_0} = C \cdot \dfrac{Q^2+1}{Q^2} \approx C \end{array} \right.$$

Μετασχηματισμός της αντίστασης προς τα κάτω

$$Z_{in}\Big|_{\omega\approx\omega_0} = R_S \approx \frac{R_P}{Q^2}$$

Κύκλωμα RLC περιορισμένου εύρους ζώνης

Γενικά μετατροπή RLC σειράς σε παράλληλο: $S \rightarrow P$



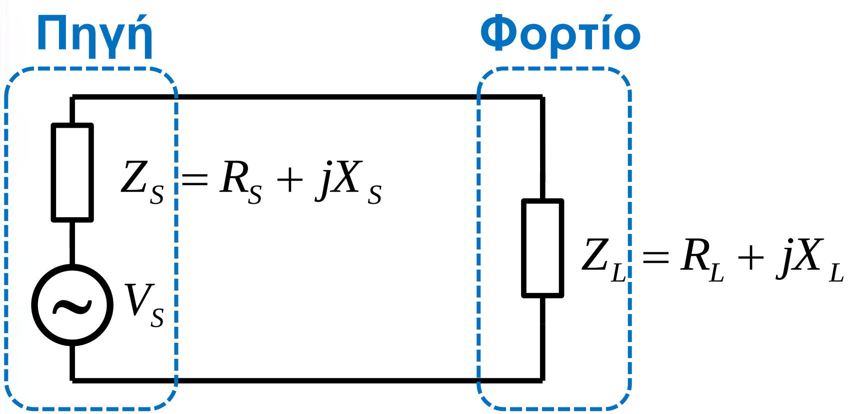
$$R_P = (Q^2 + 1) R_S \qquad X_P = \frac{Q^2+1}{Q^2} X_S$$

Όπου: $X = j\omega L$ **ή** $X = \dfrac{1}{j\omega C}$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Δικτυώματα *RLC* σαν μετασχηματιστές αντιστάσεων

Προσαρμογή: Με δεδομένη την αντίσταση της πηγής Z_S, ποια αντίσταση φόρτου Z_L μεγιστοποιεί την ισχύ που αποδίδεται στον φόρτο; Η ισχύς εξόδου αποδίδεται στην R_L.



$$P_L = \frac{|V_R|^2}{R_L} = \frac{|I_R \cdot R_L|^2}{R_L} = |I_R|^2 \cdot R_L$$

$$P_L = \frac{|V_S|^2}{|Z_S + Z_L|^2} \cdot R_L = \frac{|V_S|^2 \cdot R_L}{\left(\sqrt{(R_L + R_S)^2 + (X_L + X_S)^2}\right)^2}$$

$$P_L = \max, \Rightarrow \frac{\partial P_L}{\partial R_L} = 0 \quad \begin{cases} R_L = R_S \\ X_L = -X_S \end{cases} \qquad Z_L = R_S - jX_S = Z_S^*$$

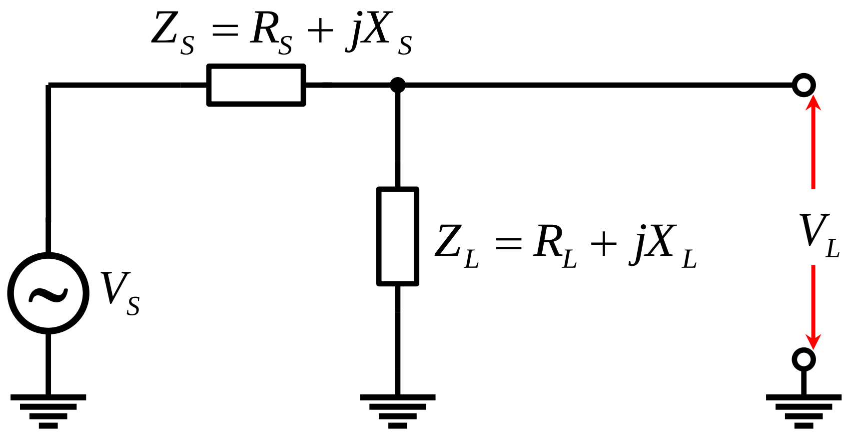
συζυγής

Για να γίνει μέγιστη η ισχύς εξόδου, πρέπει $X_L = -X_S$ και $R_L = R_S$

Για μέγιστη μεταφορά ισχύος πρέπει οι δύο αντιστάσεις να είναι συζυγείς μιγαδικές

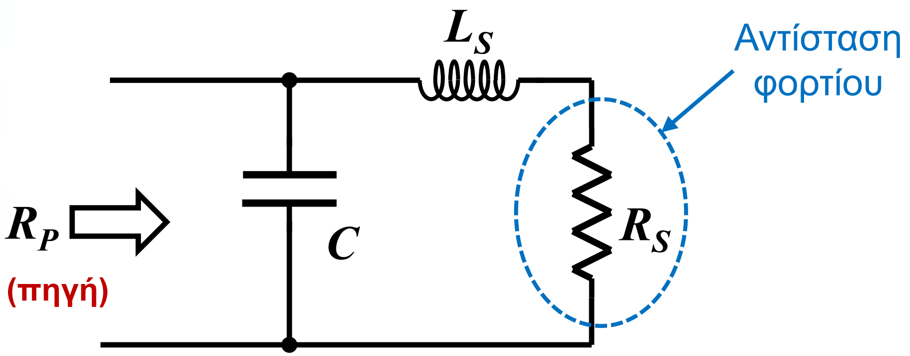
Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Δικτυώματα *RLC* σαν μετασχηματιστές αντιστάσεων

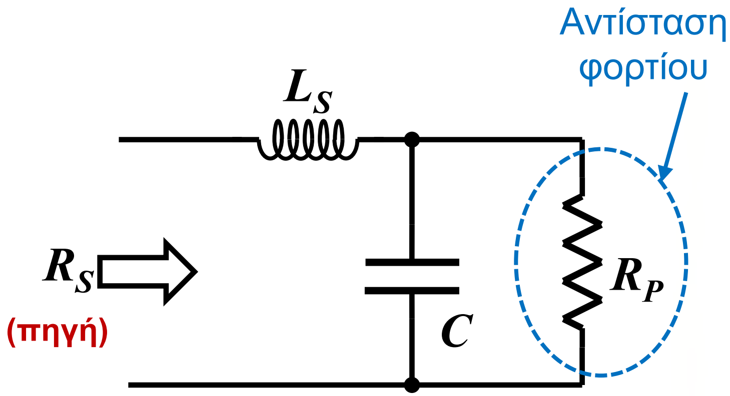


Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Προσαρμογή με δικτυώματα τύπου L :



(α)
Μετασχηματισμός αντίστασης προς τα άνω
Upward impedance transformer

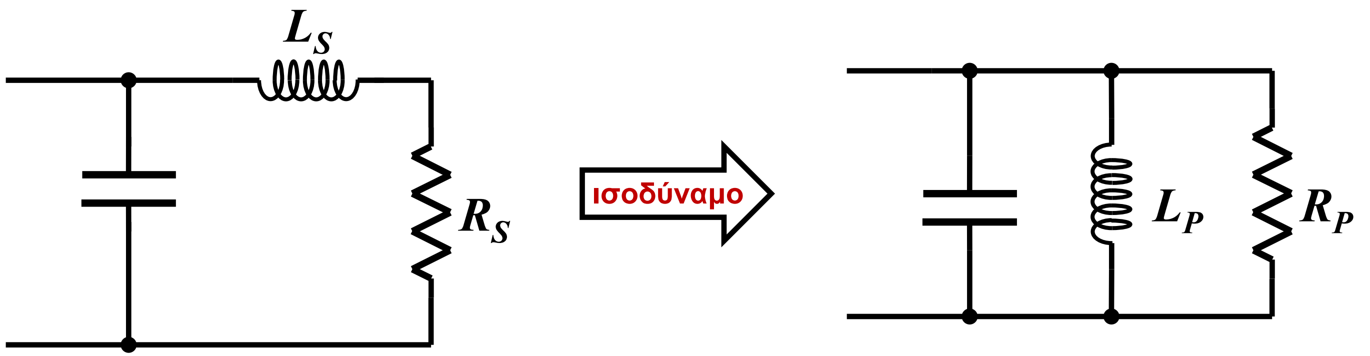


(β)
Μετασχηματισμός αντίστασης προς τα κάτω
Downward impedance transformer

Δεν μπορούμε να μεταβάλουμε την τιμή του Q στα 2 παραπάνω κυκλώματα. Μπορούμε να προσαρμόσουμε το R_S στο R_P αλλά το Q θα προκύψει από υπολογισμό.

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Μετασχηματισμός αντίστασης προς τα άνω, (α) κύκλωμα:



$$L_P = \frac{Q^2+1}{Q^2} L_S$$

$$R_P = (Q^2+1) R_S$$

Ισχύει: $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{L_P C}} = \dfrac{1}{\sqrt{L_S C}}$

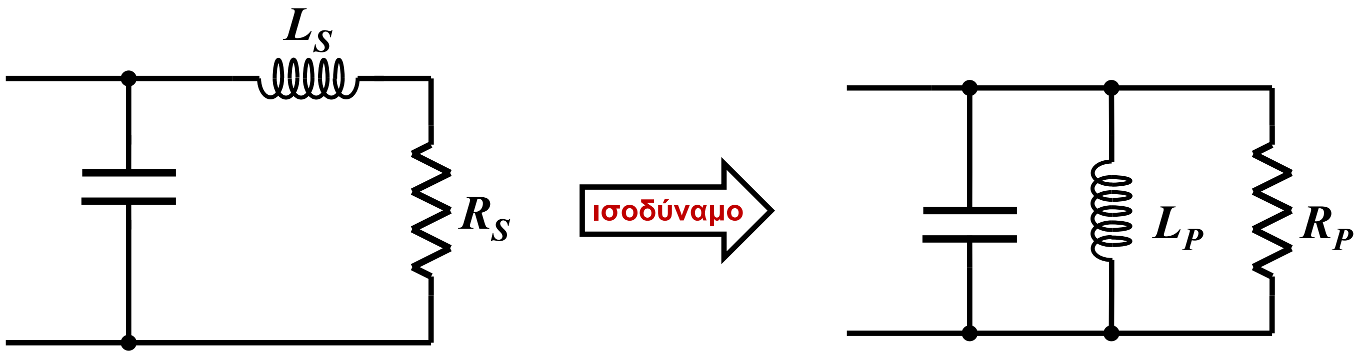
$Q = \dfrac{R_P}{\omega_0 L_P}$ **ή** $Q = \dfrac{\omega_0 L_S}{R_S}$

Αν $Q^2 >> 1 \Rightarrow Q^2+1 \approx Q^2 \Rightarrow L_P \approx L_S$ **και** $R_P \approx Q^2 R_S$ **και επίσης** $Q = \sqrt{\dfrac{R_P}{R_S}}$

$Q = \dfrac{\omega_0 L_S}{R_S} = \dfrac{1}{\omega_0 C R_S} = \dfrac{R_P}{\omega_0 L_P} = \omega_0 C R_P \quad \Rightarrow \quad \omega_0 C R_S \cdot \omega_0 C R_P = 1$ **άρα** $\omega_0 C = \dfrac{1}{\sqrt{R_S R_P}}$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Μετασχηματισμός αντίστασης προς τα άνω, (α) κύκλωμα:



$$Q = \sqrt{\frac{R_P}{R_S}} \qquad R_P \approx Q^2 R_S \qquad L_P \approx L_S \qquad \omega_0 C = \frac{1}{\sqrt{R_S R_P}}$$

Ισχύει:

$$\begin{cases} Z_0 = \sqrt{\dfrac{L_S}{C}} \\ Q = \omega_0 C R_P \\ Q = \dfrac{\omega_0 L_S}{R_S} \end{cases}$$

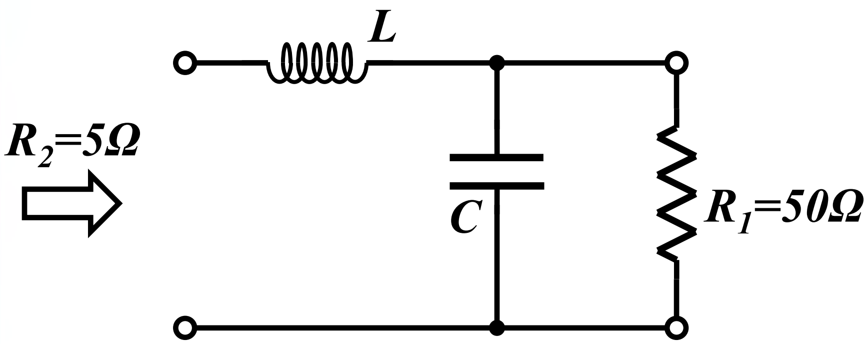
άρα $$Z_0 = \sqrt{\frac{\omega_0 L_S}{\omega_0 C}} = \sqrt{\frac{\omega_0 L_S}{\omega_0 C}} = \sqrt{\frac{QR_S}{\frac{Q}{R_P}}} = \sqrt{R_S R_P} \qquad L^2 = \frac{R_S R_P}{\omega_0^2}$$

Z_0 = χαρακτηριστική αντίσταση του δικτυώματος

Με αυτό το δικτύωμα έχουμε δύο βαθμούς ελευθερίας (το ω_0 και τον λόγο αντιστάσεων). Για ανεξάρτητο υπολογισμό του Q χρησιμοποιούνται άλλοι τύποι δικτυωμάτων.

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Παράδειγμα προσαρμογής με δικτύωμα τύπου L:

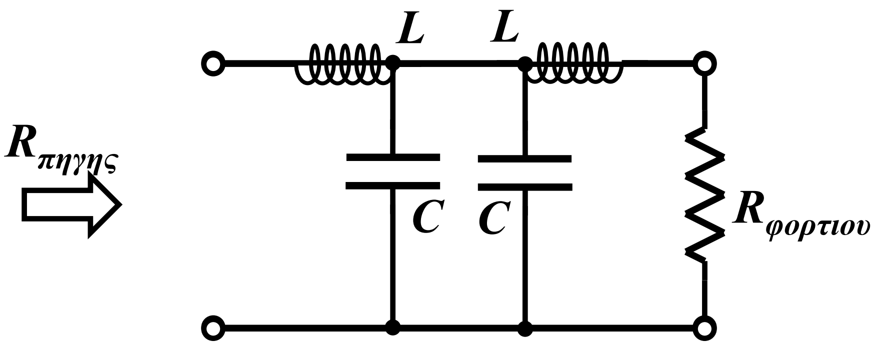


Downward impedance transformer

να σχεδιαστεί δικτύωμα τύπου L με $R_P=50\Omega$, $R_S=5\Omega$, $f_0=1GHz$, $B=25MHz$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Προσαρμογή με δικτυώματα τύπου L :



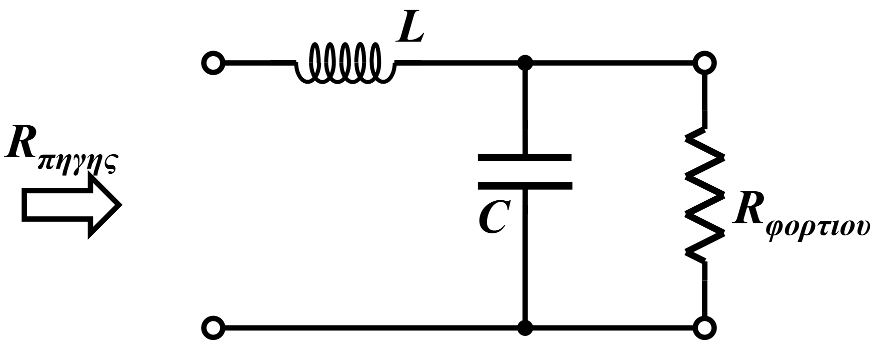
(β)

Downward impedance transformer

Upward impedance transformer

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Προσαρμογή με δικτυώματα τύπου L :

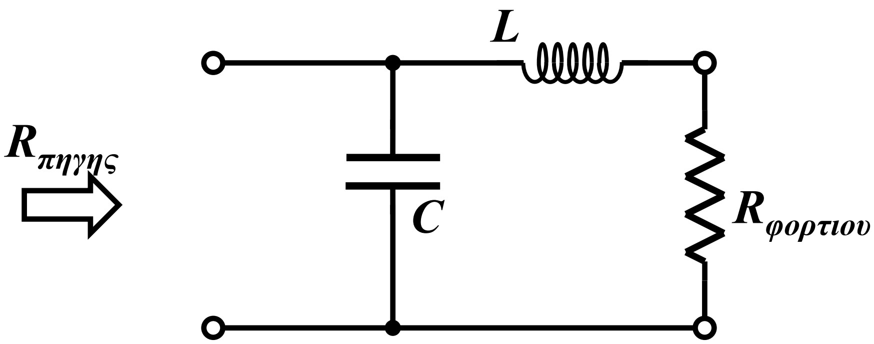


(β)
Downward impedance transformer

Προηγούμενη διαφάνεια χωρίς κίνηση

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Προσαρμογή με δικτυώματα τύπου L :

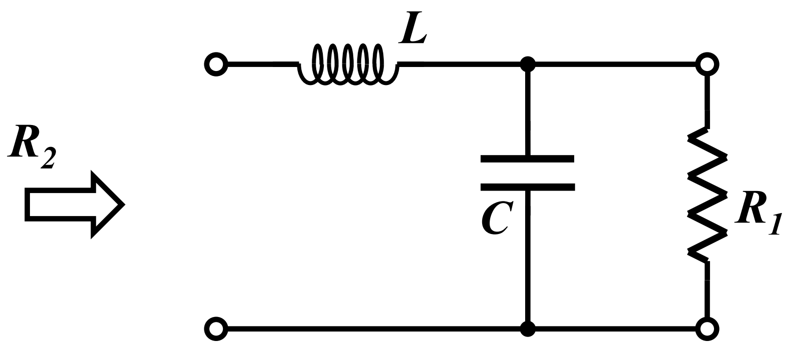


(α)
Upward impedance transformer

Προηγούμενη διαφάνεια χωρίς κίνηση

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Προσαρμογή με δικτύωμα τύπου L, παράδειγμα:



(β)

Downward impedance transformer

Μετασχηματισμός της αντίστασης προς τα κάτω

Αν $Q^2 >> 1$

$$R_1 \approx Q^2 R_2$$

$$Q = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

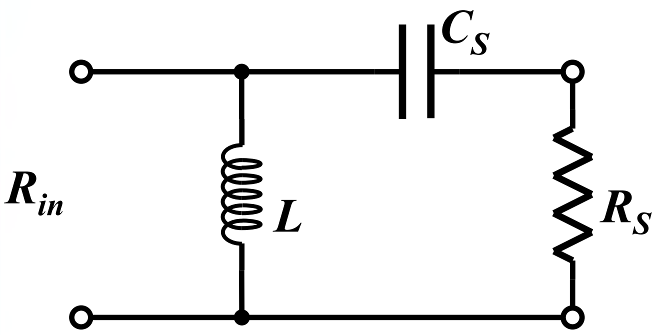
Αν $Q^2 > 1$ $\quad Q = \sqrt{\frac{R_1}{R_2} - 1}$

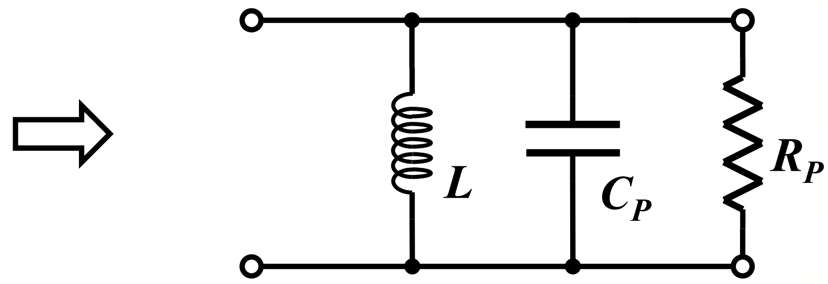
$$\omega_0 C = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2}} \qquad L^2 = \frac{R_1 R_2}{\omega_0^2}$$

$$Z_0 = \sqrt{R_1 R_2}$$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Προσαρμογή με δικτύωμα τύπου L :





Αν $Q^2 >> 1$ $\quad R_P \approx Q^2 R_S$

$$Q = \sqrt{\frac{R_P}{R_S}} \qquad C_P \approx C_S$$

$$Q_P = \frac{R_P}{\omega_0 L} = \omega_0 C_P R_P \qquad Q_S = \frac{\omega_0 L}{R_S} = \frac{1}{\omega_0 C_S R_S}$$

$$Q^2 > 1 \qquad Q = \sqrt{\frac{R_P}{R_S} - 1}$$

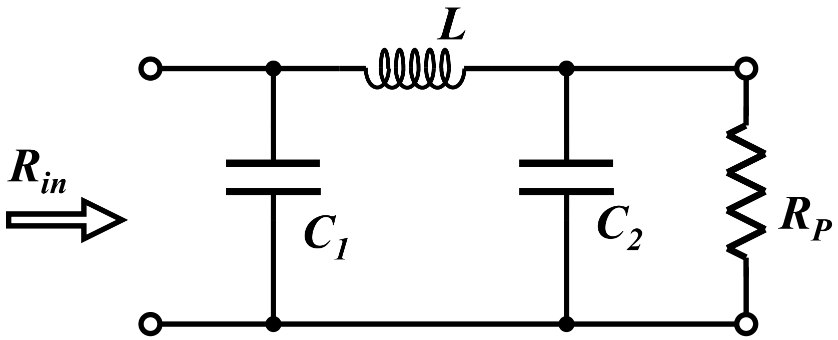
$$L^2 = \frac{R_S R_P}{\omega_0^2}$$

$$Z_0 = \sqrt{R_1 R_2}$$

$$\omega_0 C = \frac{1}{\sqrt{R_P R_S}}$$

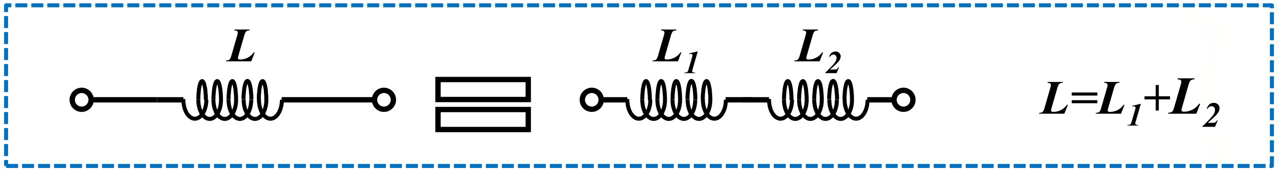
Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

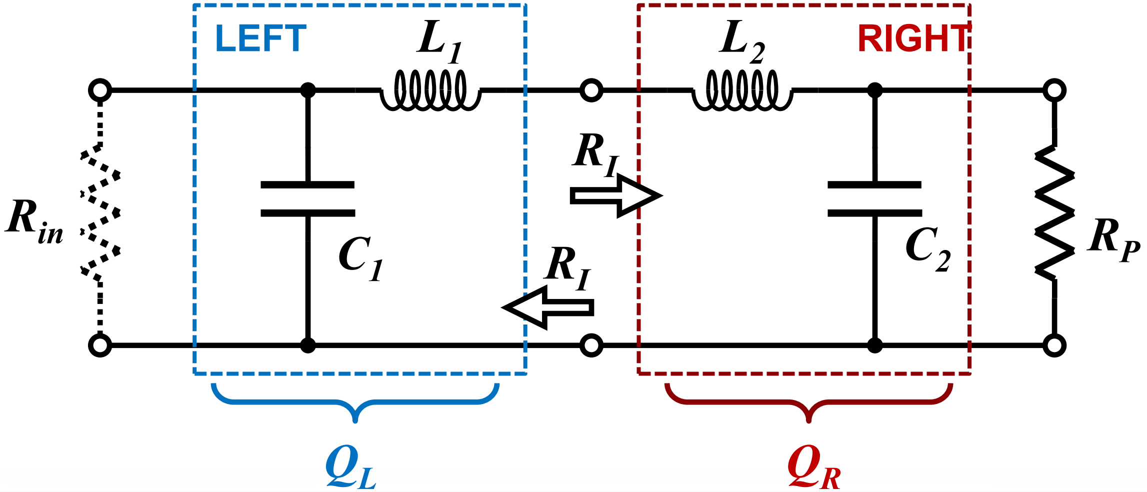
Προσαρμογή με δικτύωμα τύπου *Π* :



Το δικτύωμα στην είσοδο θα «φαίνεται» ως R_{in}

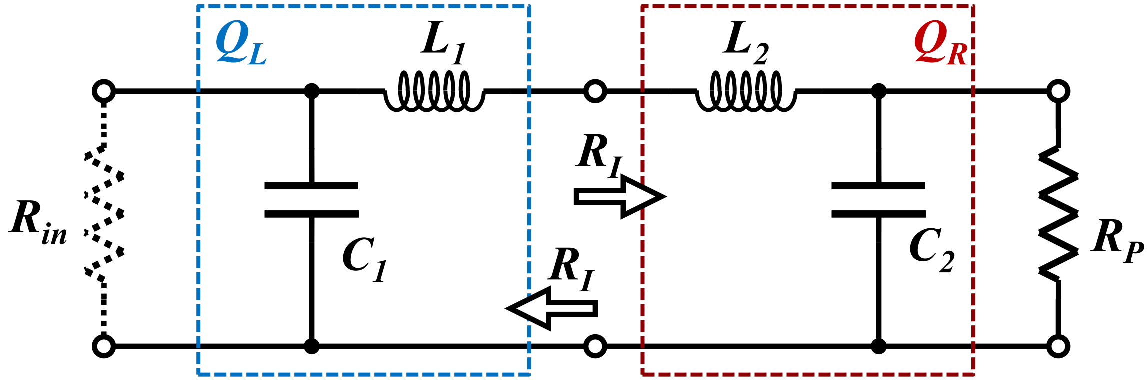
Το δικτύωμα τύπου-π ισοδυναμεί με δύο διαδοχικά δικτυώματα τύπου-L





Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Προσαρμογή με δικτύωμα τύπου *Π* :



Γνωστά τα εξής:
R_{in} , R_P , και Q

$$Q_L = \frac{\omega_0 L_1}{R_I} = \frac{1}{\omega_0 C_1 R_I}$$

$$Q_R = \frac{\omega_0 L_2}{R_I}$$

$$R_{in} = (Q_L^2 + 1)R_I$$

$$R_P = (Q_R^2 + 1)R_I$$

$$Q_L = \sqrt{\frac{R_{in}}{R_I} - 1}$$

$$Q_R = \sqrt{\frac{R_P}{R_I} - 1}$$

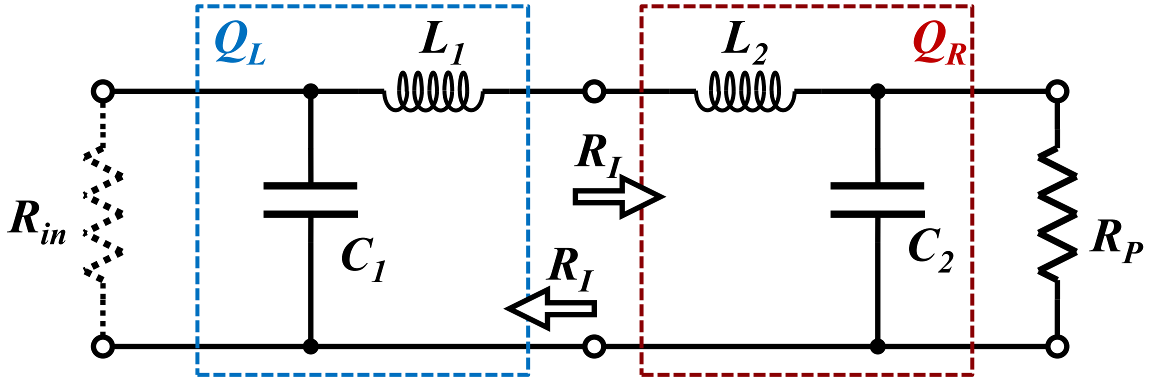
Ολικό Q

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R_I} = \frac{\omega_0 L_1}{R_I} + \frac{\omega_0 L_2}{R_I} = Q_R + Q_L$$

$$Q = \sqrt{\frac{R_P}{R_I} - 1} + \sqrt{\frac{R_{in}}{R_I} - 1}$$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Προσαρμογή με δικτύωμα τύπου *Π* :



Γνωστά τα εξής:
ω_0 , R_{in} , R_P , και Q

Ολικό Q $\quad Q = \sqrt{\dfrac{R_P}{R_I} - 1} + \sqrt{\dfrac{R_{in}}{R_I} - 1}$

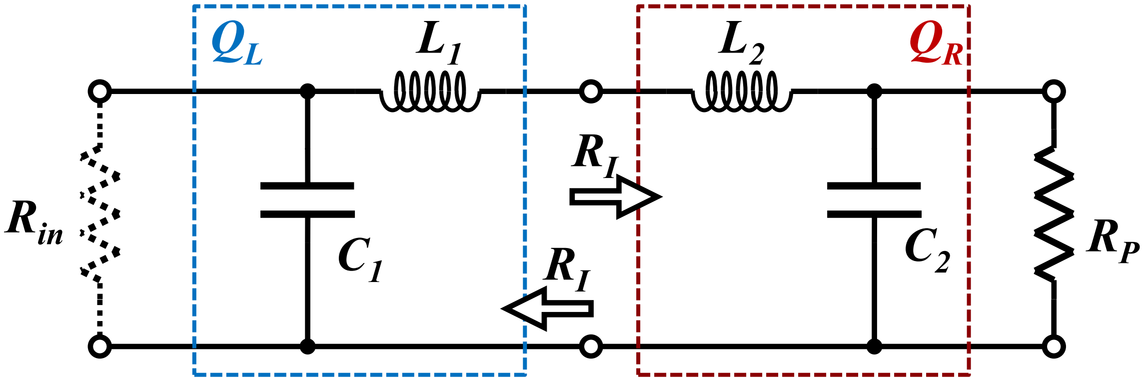
Αν $Q^2{}_{L,R} >> 1$ $\quad Q = \dfrac{\sqrt{R_P} + \sqrt{R_{in}}}{\sqrt{R_I}}$ $\quad R_I = \dfrac{\left(\sqrt{R_P} + \sqrt{R_{in}}\right)^2}{Q^2}$

$$L = L_1 + L_1 = \frac{QR_I}{\omega_0} \qquad Q_L = \frac{1}{\omega_0 C_1 R_I} \qquad (Q_L)^2 = \frac{R_{in}}{R_I} \qquad C_1 = \frac{1}{\omega_0 R_I Q_L} \qquad C_1 = \frac{Q_L}{\omega_0 R_{in}}$$

$$Q_R = \frac{1}{\omega_0 R_I C_2} \qquad C_2 = \frac{1}{\omega_0 R_I Q_R} \qquad C_2 = \frac{Q_R}{\omega_0 R_P}$$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Ανακεφαλαίωση στο δικτύωμα τύπου *Π* :



Γνωστά τα εξής:
ω_0 , R_{in} , R_P , και Q

Πρώτα βρίσκω το R_I

$$R_I = \frac{\left(\sqrt{R_P} + \sqrt{R_{in}}\right)^2}{Q^2}$$

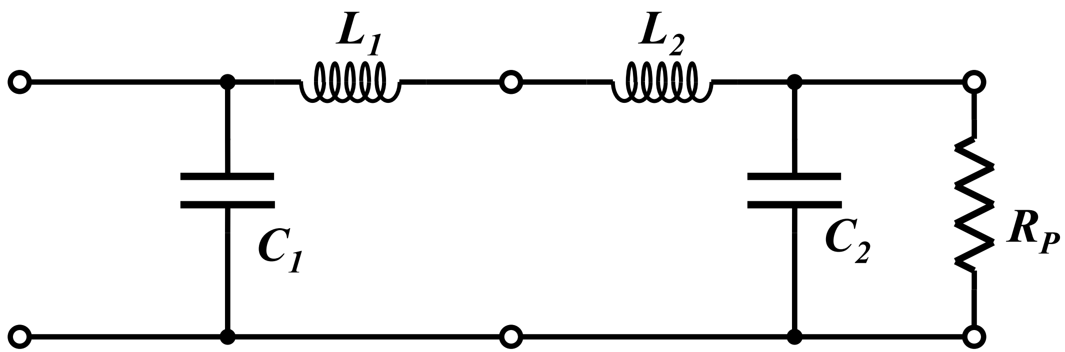
$$Q_L = \sqrt{\frac{R_{in}}{R_I} - 1} \qquad Q_R = \sqrt{\frac{R_P}{R_I} - 1}$$

$$L_1 = \frac{Q_L R_I}{\omega_0} \qquad C_1 = \frac{Q_L}{\omega_0 R_{in}} \qquad L_2 = \frac{Q_R R_I}{\omega_0} \qquad C_2 = \frac{Q_R}{\omega_0 R_P}$$

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

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

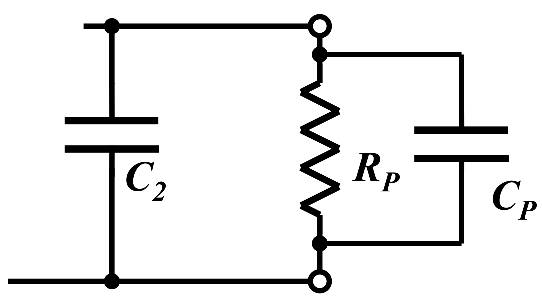
δικτύωμα τύπου *Π* :



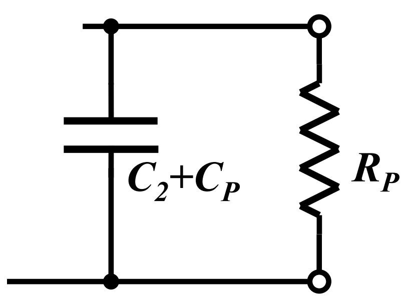
Με αυτό το δικτύωμα λαμβάνουμε εύκολα υπ΄ όψη μας τις παρασιτικές χωρητικότητες

Αν το φορτίο R_P περιέχει παρασιτική χωρητικότητα C_P, την ενσωματώνουμε στον C_2

αρχικά



τελικά



Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Προσαρμογή με δικτύωμα τύπου *Π* :

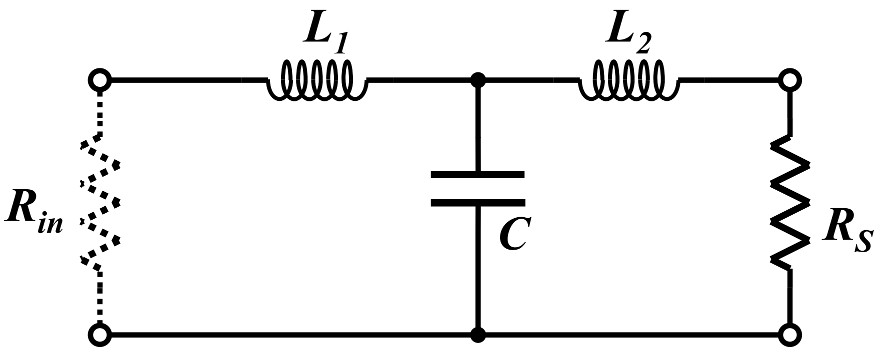
να σχεδιαστεί δικτύωμα τύπου Π με R_P=50Ω, R_S=5Ω, f_0=1GHz, B=25MHz και το Q να είναι 40.

$$Q = \frac{f_0}{B} = 40$$

το R_S στο R_P το Q θα

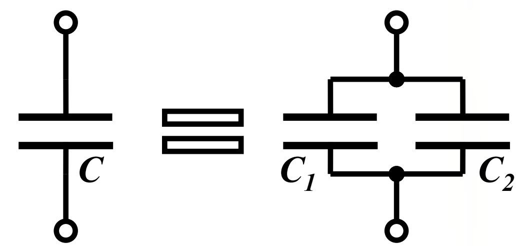
Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

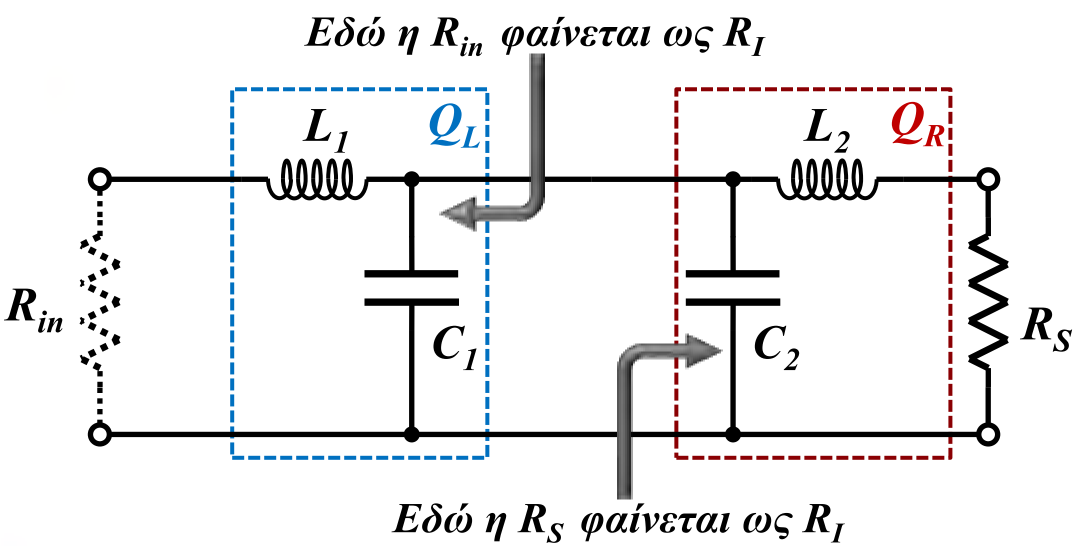
Προσαρμογή με δικτύωμα τύπου T :



Το δικτύωμα αυτό είναι δυαδικό του τύπου-Π.
Χρησιμοποιείται όταν το φορτίο (R_S) περιέχει* και αυτεπαγωγή

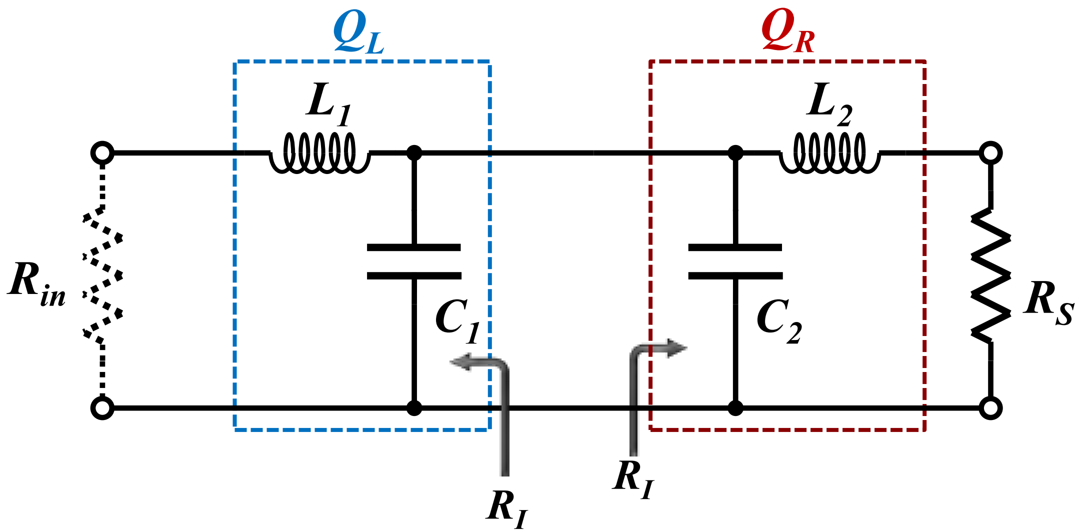
(*η οποία ενσωματώνεται στο L_2)





Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Προσαρμογή με δικτύωμα τύπου T :



Υπολογισμοί: $Q = \omega_0 R_I (C_1 + C_2)$ $\quad$ $Q = \sqrt{\frac{R_I}{R_{in}} - 1} + \sqrt{\frac{R_I}{R_S} - 1}$ $\quad$ $C_1 + C_2 = \frac{Q}{\omega_0 R_I}$

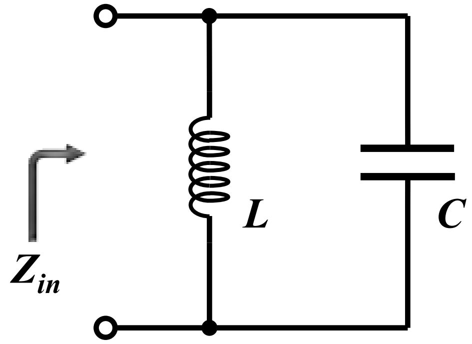
$L_1 = \frac{Q_L R_{in}}{\omega_0}$ $\quad$ $L_2 = \frac{Q_R R_S}{\omega_0}$

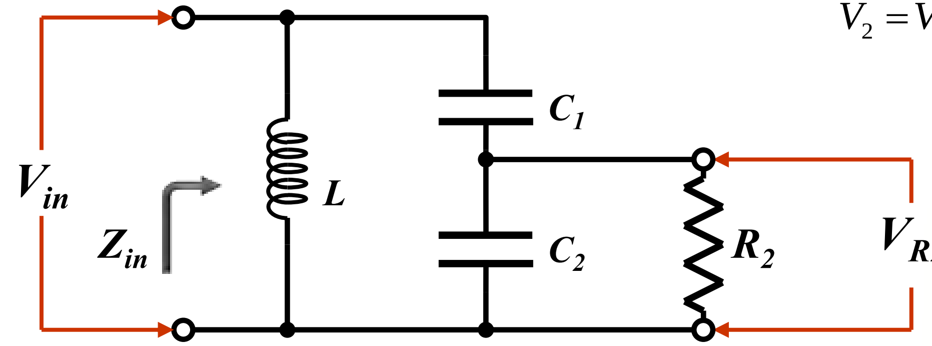
να αποδειχτούν οι παραπάνω σχέσεις ως άσκηση.

Το δικτύωμα αυτό είναι χρήσιμο όταν τα παρασιτικά του φόρτου και της πηγής είναι αυτεπαγωγικά

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Συντονιζόμενο Δικτύωμα Προσαρμογής με μεσαία λήψη πυκνωτών:





$V_2 = V_{R2}$

$R_2 < |Z_{in}|$

Χρησιμοποιείται στους ταλαντωτές διότι συνδυάζει το συντονιζόμενο κύκλωμα με την προσαρμογή αντιστάσεων χωρίς υποβάθμιση του Q. Σε ένα κύκλωμα χωρίς απώλειες ο υποβιβασμός της τάσης συνοδεύεται από υποβιβασμό των αντιστάσεων, ανάλογο προς το τετράγωνο του υποβιβασμού της τάσης, ώστε να διατηρηθεί η ισχύς:

Υπολογισμοί:

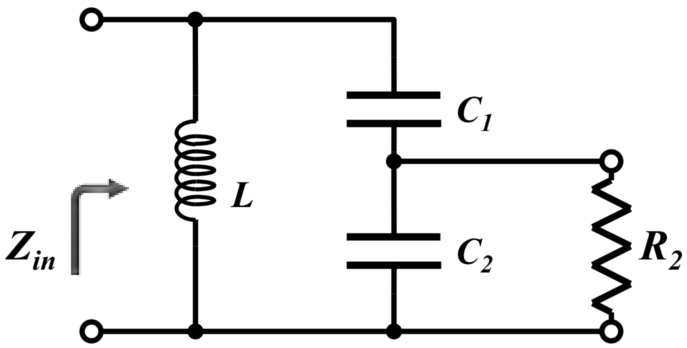
$$P_{in} = P_{out} \qquad \frac{V_{in}^2}{R_{in}} = \frac{V_{R2}^2}{R_2} \qquad \frac{R_2}{R_{in}} = \frac{V_{R2}^2}{V_{in}^2} = \frac{\left(V_{in}\dfrac{(1/j\omega C_2)}{(1/j\omega C_1)+(1/j\omega C_2)}\right)^2}{V_{in}^2} = \left(\frac{C_1}{C_1+C_2}\right)^2$$

$$Q = \frac{R_{in}}{\omega_0 L} \qquad L = \frac{R_{in}}{\omega_0 Q}$$

Παράλληλο δικτύωμα

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Συντονιζόμενο Δικτύωμα Προσαρμογής με μεσαία λήψη πυκνωτών:



Η προηγούμενη σχέση επαληθεύεται ως εξής: αρχικά υπολογίζουμε την αγωγιμότητα του συνδυασμού των πυκνωτών με την αντίσταση

$$Y_{in} = \frac{j\omega C_1 - \omega^2 R_2 C_1 C_2}{j\omega R_2 (C_1 + C_2)} \qquad Y_{in} = G_{in} + jB_{in}$$

Το πραγματικό μέρος ισούται με:

$$G_{in} = \frac{\omega^2 R_2 C_1^2}{\omega^2 R_2^2 (C_1 + C_2)^2 + 1}$$

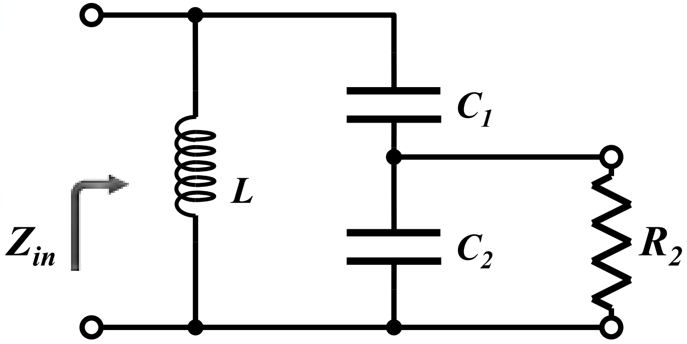
Και για ω>>

$$G_{in} \approx \frac{\omega^2 R_2 C_1^2}{\omega^2 R_2^2 (C_1 + C_2)^2} = G_2 \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right)^2 = \frac{G_2}{n^2}$$

Το n αντιστοιχεί στο λόγο σπειρών ενός ιδανικού μετασχηματιστή που κάνει τον ίδιο μετασχηματισμό αντιστάσεων με το χωρητικό διαιρέτη.

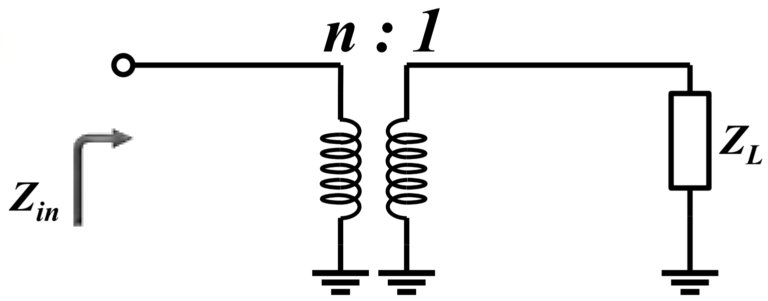
Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Συντονιζόμενο Δικτύωμα Προσαρμογής με μεσαία λήψη πυκνωτών:



n **= λόγος σπειρών ιδανικού μετασχηματιστή που κάνει τον ίδιο μετασχηματισμό αντιστάσεων**

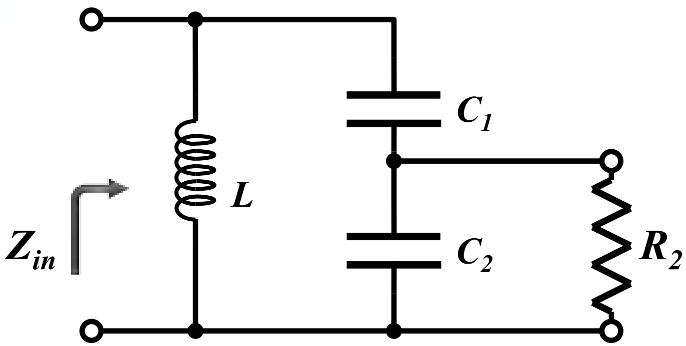
$$G_{in} = \frac{G_2}{n^2}$$



$$Z_{in} = n^2 Z_L$$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Συντονιζόμενο Δικτύωμα Προσαρμογής με μεσαία λήψη πυκνωτών:



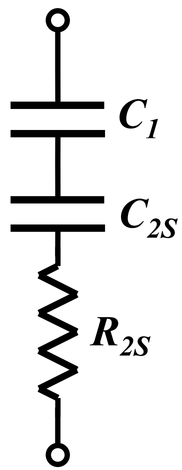
$$Y_{in} = \frac{j\omega C_1 - \omega^2 R_2 C_1 C_2}{j\omega R_2 (C_1 + C_2)} \qquad Y_{in} = G_{in} + jB_{in}$$

Το φανταστικό μέρος ισούται με:

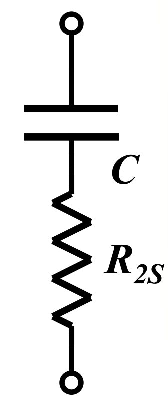
$$B_{in} = \frac{\omega C_1 + \omega^2 R_2^2 C_1 C_2 (C_1 + C_2)}{\omega^2 R_2^2 (C_1 + C_2)^2 + 1}$$

Και για ω>> $\quad B_{in} \approx \frac{\omega C_1 C_2}{(C_1 + C_2)} = \omega C_{eq}$

Για μεγαλύτερη ακρίβεια, μετατρέπουμε το παράλληλο R_2C_2 σε σειρά.

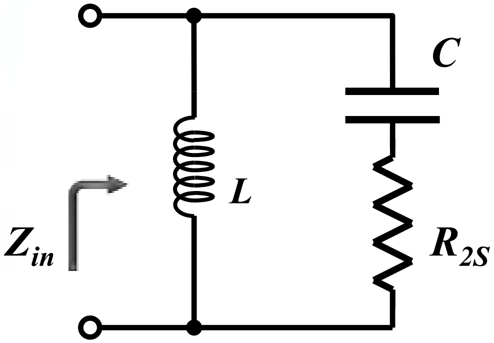


Κατόπιν συνδυάζουμε τη C_1 με τα C_{2S} και R_{2S} και έχουμε ένα RC σειράς παράλληλα με την L,



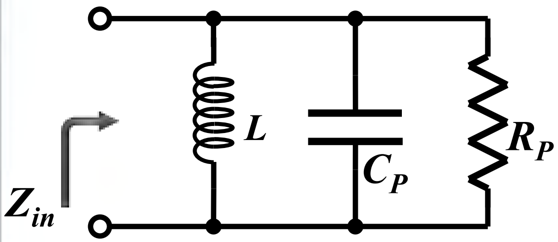
Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Συντονιζόμενο Δικτύωμα Προσαρμογής με μεσαία λήψη πυκνωτών:



Μετατρέπουμε το RC στο ισοδύναμο παράλληλο και βρίσκουμε την παράλληλη R_P που θα είναι η R_{in}.
Για το σκοπό αυτό προσδιορίζουμε πρώτα το απαιτούμενο Q του δικτυώματος.

$$Q = \frac{\omega_0}{\omega_{-3dB}} = \frac{R_{in}}{\omega_0 L} \Rightarrow L = \frac{R_{in}}{\omega_0 Q}$$



Η αντίσταση και η χωρητικότητα σειράς θα είναι:

$$R_{2S} = \frac{R_2}{(Q_2^2 + 1)} \qquad C_{2S} = \frac{Q_2^2 + 1}{Q_2^2} C_S$$

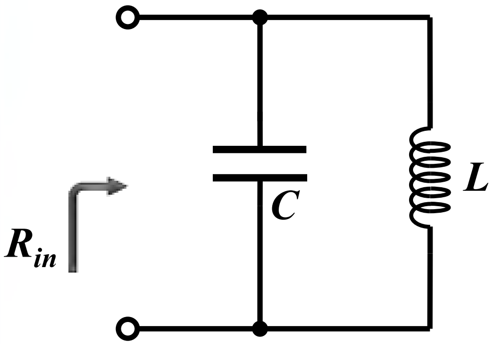
Το Q_2 αντιστοιχεί στον παράλληλο συνδυασμό RC.

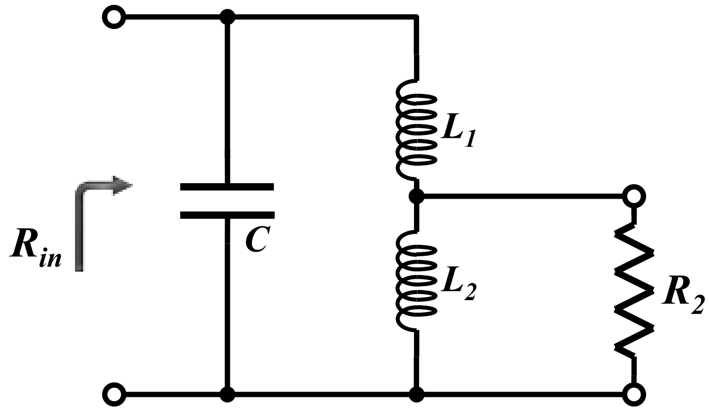
$$Q_2 = \omega_0 R_2 C_2 = \sqrt{\frac{R_2}{R_{in}}(Q^2 + 1) - 1}$$

Επίσης: $C_2 = \dfrac{\sqrt{\dfrac{R_2}{R_{in}}(Q^2 + 1) - 1}}{\omega_0 R_2}$ $\qquad C = C_{eq} = \dfrac{C_1 C_{2S}}{C_1 + C_{2S}}$ $\qquad Q = \dfrac{1}{\omega_0 R_{2S} C_{2S}}$ $\qquad C_1 = \dfrac{C_2 (Q_2^2 + 1)}{Q Q_2 - Q_2^2}$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Συντονιζόμενο Δικτύωμα Προσαρμογής με μεσαία λήψη πηνίων:





Κύκλωμα ανάλογο με το προηγούμενο, πάλι $R_2<R_{in}$

Υπολογίζουμε πρώτα το απαιτούμενο Q του δικτυώματος: $Q=\omega_0 R_{in} C$ $\quad C=\dfrac{Q}{\omega_0 R_{in}}$

Στη συνέχεια μετασχηματίζουμε τον παράλληλο συνδυασμό RL στον ισοδύναμο συνδυασμό σειράς:

$$R_S=\frac{R_2}{Q_2^2+1} \qquad L_{2S}=L_2\frac{Q_2^2}{Q_2^2+1}$$

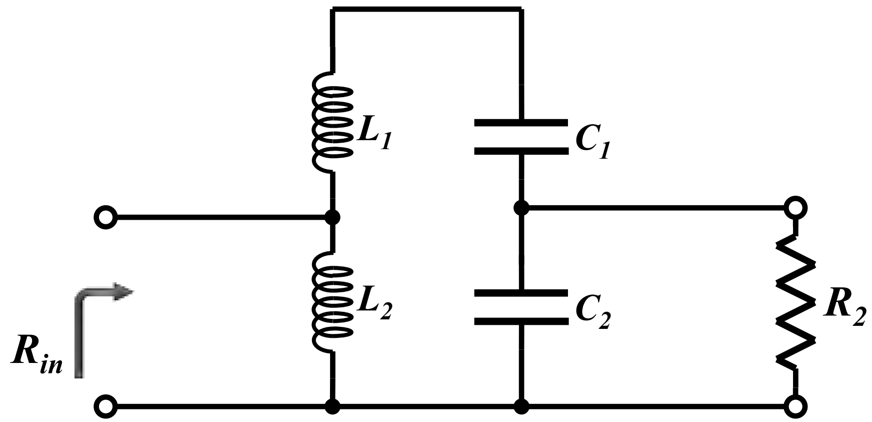
$$R_S=\frac{R_{in}}{Q_2+1} \qquad Q_2=\sqrt{\frac{R_2}{R_{in}}(Q^2+1)-1} \qquad Q_2=\frac{R_2}{\omega_0 L_2} \qquad L_2=\frac{R_2}{\omega_0\sqrt{\frac{R_2}{R_{in}}(Q^2+1)-1}}$$

Υπολογίζουμε τέλος το L_1 $\quad Q=\dfrac{\omega_0(L_1+L_{2S})}{R_{2S}} \quad\Rightarrow\quad L_1=L_2\dfrac{QQ_2-Q_2^2}{(Q_2^2+1)}$

Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

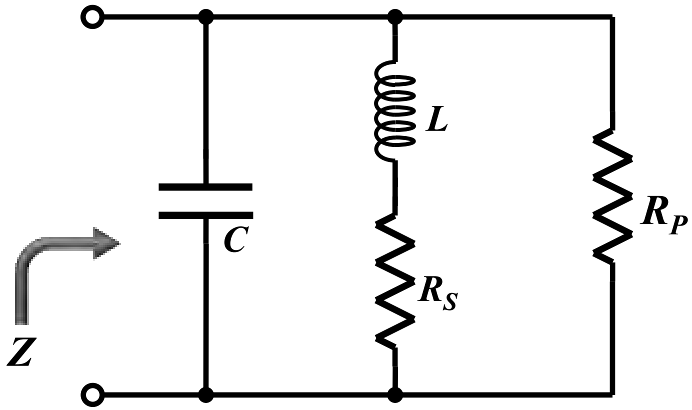
Συντονιζόμενο Δικτύωμα Προσαρμογής με διπλή μεσαία λήψη:

Αυξάνει την απαιτούμενη τιμή του L και μειώνει αυτή των C ώστε να φτάσουμε σε πιο πραγματοποιήσιμες τιμές.



Προσαρμογή – Φιλτράρισμα – Αντιστάθμιση

Άσκηση: *να υπολογιστεί η τιμή της σύνθετης αντίστασης Z. Δίνονται:*
$f=100MHz$, $C=1pF$, $L=10nH$, $R_P=1k\Omega$, $R_S=15\Omega$.
ποιο είναι το Q ;



Υπόδειξη, μετατρέπουμε το δικτύωμα σειράς σε παράλληλο: