

Διάλεξη 4
Απόκριση Συχνότητας - Συντονισμός



Εισαγωγή

- Στην προηγούμενη ανάλυση ασχοληθήκαμε με την εύρεση τάσεων και ρευμάτων σε κυκλώματα με πηγές σταθερής συχνότητας.
- Αν διατηρήσουμε το πλάτος της τάσης σταθερό και μεταβάλλουμε τη συχνότητα λαμβάνουμε την **απόκριση συχνότητας του κυκλώματος**.
 - ✓ **Παράδειγμα εφαρμογής:** Τα φίλτρα που επιτρέπουν τη διέλευση σημάτων ορισμένων συχνοτήτων και αποκόπτουν τα υπόλοιπα.
- Θα εξετάσουμε πρώτα την επίδραση της μεταβαλλόμενης συχνότητας σε αντιστάτη, επαγωγό και πυκνωτή.
 - ✓ Για τα στοιχεία αυτά είναι γνωστές οι σχέσεις που συνδέουν το μέτρο και τη φάση της σύνθετης αντίστασης με τη συχνότητα.

$$\dot{Z}_R = R \angle 0^\circ$$

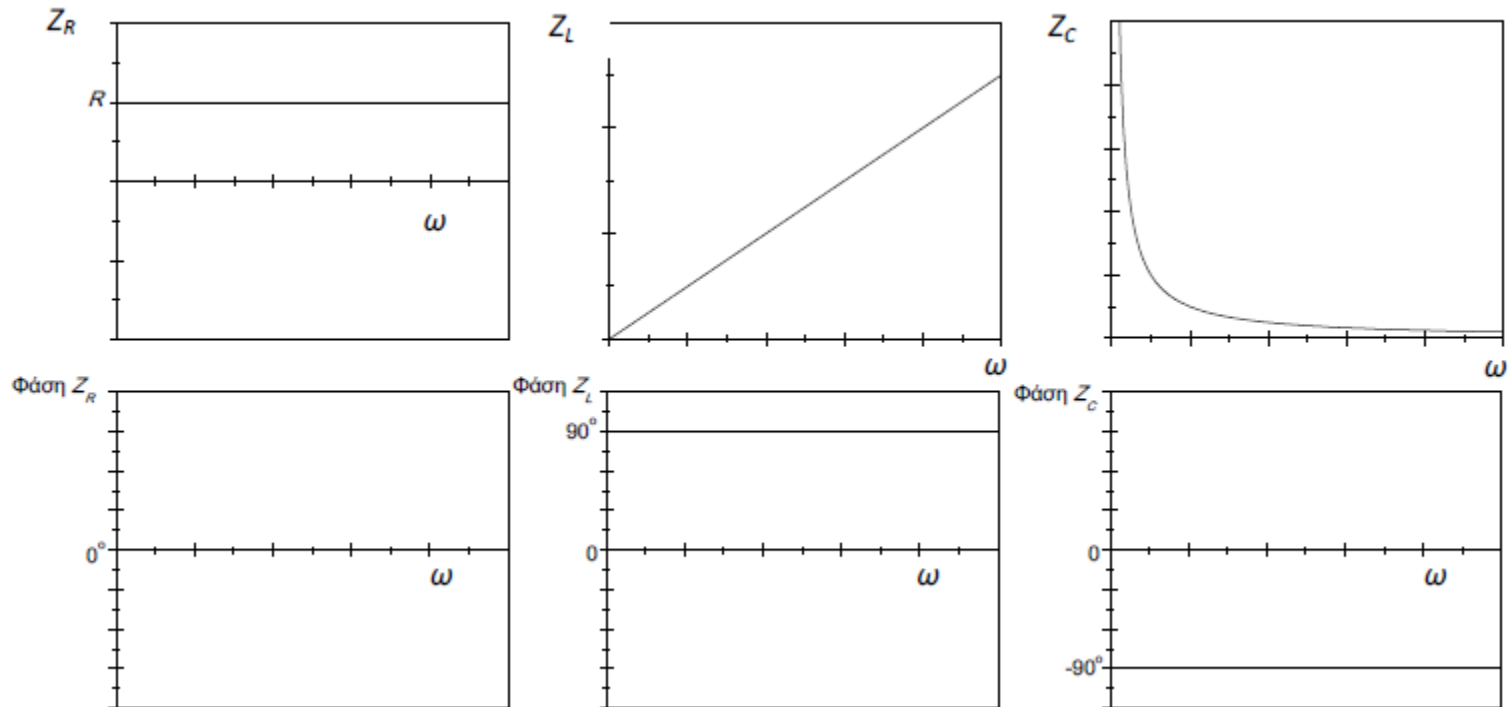
$$\dot{Z}_L = j\omega L = \omega L \angle 90^\circ$$

$$\dot{Z}_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{\omega C} \angle (-90^\circ)$$



Εισαγωγή

- Οι αντίστοιχες γραφικές παραστάσεις συναρτήσεως της συχνότητας φαίνονται στα επόμενα σχήματα.



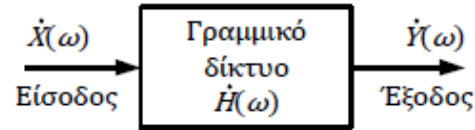
Εισαγωγή

- Παρατηρούμε ότι σε πολύ χαμηλές συχνότητες ο πυκνωτής συμπεριφέρεται σχεδόν ως ανοιχτοκύκλωμα και η σύνθετη αντίσταση είναι πολύ υψηλή.
- Σε υψηλές συχνότητες ο πυκνωτής παρουσιάζει μικρή σύνθετη αντίσταση.
- Το αντίστροφο συμβαίνει με τον επαγωγό, αφού η σύνθετη αντίσταση του επαγωγού αυξάνεται με τη συχνότητα.



Συνάρτηση Μεταφοράς

- Ένα γραμμικό κύκλωμα μπορεί να παρασταθεί από το παρακάτω διάγραμμα:



όπου $\dot{X}(\omega)$, $\dot{Y}(\omega)$ παριστάνονται οι φάσορες εισόδου και εξόδου του δικτύου.

- Η συνάρτηση μεταφοράς $\dot{H}(\omega)$ ενός κυκλώματος είναι το πηλίκο ενός φάσορα εξόδου $\dot{Y}(\omega)$, δηλαδή της τάσης κάποιου στοιχείου ή του ρεύματος, προς ένα φάσορα εισόδου $\dot{X}(\omega)$, δηλαδή την τάση ή το ρεύμα της πηγής. Ισχύει δηλαδή ότι:

$$\dot{H}(\omega) = \frac{\dot{Y}(\omega)}{\dot{X}(\omega)}$$

θεωρώντας μηδενικές αρχικές συνθήκες.



Συνάρτηση Μεταφοράς

- Η είσοδος και η έξοδος μπορούν να είναι είτε τάση είτε ρεύμα σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος, οπότε υπάρχουν 4 δυνατές συναρτήσεις. Αν συμβολίσουμε με δείκτες o, i τα μεγέθη εξόδου και εισόδου αντίστοιχα, τότε οι συναρτήσεις αυτές είναι οι εξής:

Κέρδος Τάσης	$\dot{H}(\omega) = \frac{\dot{U}_o(\omega)}{\dot{U}_i(\omega)}$
Κέρδος Ρεύματος	$\dot{H}(\omega) = \frac{\dot{I}_o(\omega)}{\dot{I}_i(\omega)}$
Σύνθετη Αντίσταση Μεταφοράς	$\dot{H}(\omega) = \frac{\dot{U}_o(\omega)}{\dot{I}_i(\omega)}$
Σύνθετη Αγωγιμότητα Μεταφοράς	$\dot{H}(\omega) = \frac{\dot{I}_o(\omega)}{\dot{U}_i(\omega)}$



Συνάρτηση Μεταφοράς

- Για να βρούμε κάποιο από τα παραπάνω μεγέθη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οποιαδήποτε από τις τεχνικές επίλυσης θέλουμε.
- Η συνάρτηση μεταφοράς γενικά είναι $\dot{H}(\omega) = H(\omega)\angle\varphi$
- Η απόκριση συχνότητας ενός κυκλώματος είναι γραφική παράσταση του μέτρου και της φάσης της συνάρτησης μεταφοράς $\dot{H}(\omega)$ συναρτήσει της συχνότητας ω , καθώς η συχνότητα μεταβάλλεται από 0 έως (θεωρητικά) ∞ .



Συνάρτηση Μεταφοράς

- Η συνάρτηση μεταφοράς μπορεί να εκφραστεί συναρτήσει του πολυωνύμου του αριθμητή και του πολυωνύμου του παρονομαστή ως εξής

$$\dot{H}(\omega) = \frac{\dot{N}(\omega)}{\dot{D}(\omega)}$$

όπου κοινοί παράγοντες έχουν αλληλοαναιρεθεί. Δηλαδή τα δύο πολυώνυμα δεν είναι απαραίτητα οι ίδιες εκφράσεις με τις συναρτήσεις εισόδου και εξόδου.

- Οι ρίζες του αριθμητή $\dot{N}(\omega) = 0$ ονομάζονται **μηδενικά της συνάρτησης μεταφοράς** και παριστάνονται με $j\omega = z_1, z_2, \dots$, ενώ οι ρίζες του παρονομαστή $\dot{D}(\omega) = 0$ ονομάζονται πόλοι και παριστάνονται με $j\omega = p_1, p_2, \dots$
- Στα **μηδενικά** η τιμή της συνάρτησης γίνεται **μηδέν** ενώ στους **πόλους** *άπειρη*.



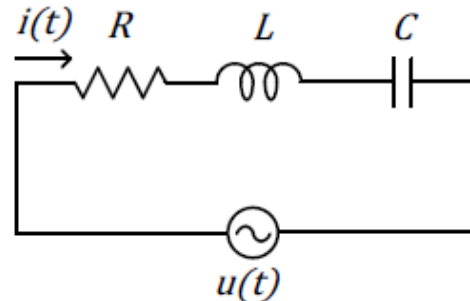
Συντονισμός

- Το πιο χαρακτηριστικό σημείο της απόκρισης συχνότητας ενός συστήματος είναι η οξεία κορυφή που μπορεί να εμφανίζει η χαρακτηριστική του πλάτους του.
- Ο συντονισμός είναι ένα φαινόμενο που προκύπτει σε οποιοδήποτε φυσικό σύστημα όταν μια συνάρτηση διέγερσης που ταλαντεύεται με σταθερό πλάτος παράγει απόκριση με μέγιστο πλάτος. Το σύστημα μπορεί να είναι ηλεκτρικό, μηχανικό κλπ.
- Η κατάσταση αυτή μπορεί να είναι επιθυμητή ή το αντίθετο ανάλογα με το σκοπό του συστήματος.
- Πιο συγκεκριμένος ορισμός: Σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο που περιλαμβάνει τουλάχιστον έναν επαγωγό και έναν πυκνωτή ο συντονισμός είναι η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το σύστημα όταν η τάση και το ρεύμα στους ακροδέκτες του δικτύου είναι σε φάση. Σε αυτή την κατάσταση η απόκριση του δικτύου παρουσιάζει μέγιστο πλάτος.



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Έστω το κύκλωμα RLC σειράς που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος θα είναι:

$$\dot{Z} = \dot{H}(\omega) = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$$

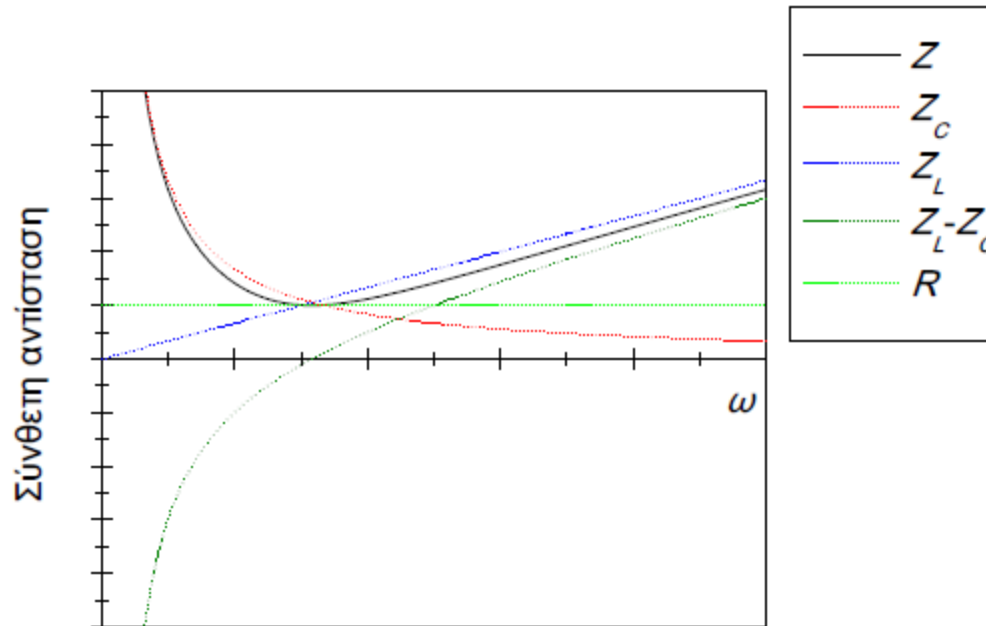
Με μέτρο και γωνία:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}, \quad \varphi = \tan^{-1} \left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \right)$$



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Γραφική παράσταση Μέτρου Z

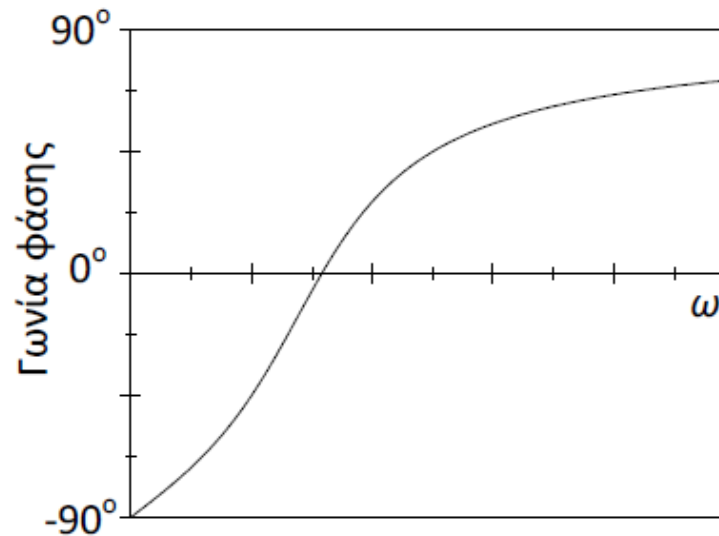


❖ Παρατηρούμε ότι σε χαμηλές συχνότητες επικρατεί ο πυκνωτής ενώ σε υψηλές ο επαγωγός.



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Γραφική παράσταση Φάσης Z



- ❖ Παρατηρούμε ότι η διαφορά φάσης τάσης-ρεύματος στο κύκλωμα για μικρές συχνότητες είναι αρνητική ενώ από μια τιμή συχνότητας και πάνω γίνεται θετική, δηλαδή ο συνολικός χαρακτήρας του κυκλώματος αλλάζει από χωρητικός σε επαγωγικό ανάλογα με τη συχνότητα.



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

✓ Σε ποια συχνότητα αλλάζει η συμπεριφορά του κυκλώματος;

Όπως αναφέρθηκε, η σύνθετη αντίσταση είναι

$$\dot{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

➤ Το φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης γίνεται μηδέν όταν:

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \Rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C}$$

➤ Αυτό συμβαίνει στη συχνότητα:

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

➤ Για τη συγκεκριμένη συχνότητα η σύνθετη αντίσταση θα είναι:

$$\dot{Z}_0 = R$$

❖ Δηλαδή η τάση και το ρεύμα είναι σε φάση, ο χαρακτήρας του κυκλώματος είναι καθαρά **ωμικός** και ο **συντελεστής ισχύος είναι μονάδα**.



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Το ρεύμα στο κύκλωμα είναι:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}} = \frac{\dot{U}}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

➤ Σύμφωνα με το παραπάνω η rms τιμή του ρεύματος θα είναι:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

➤ Η rms τιμή του ρεύματος γίνεται μέγιστη όταν $\omega = \omega_0$:

$$I_0 = \frac{\dot{U}}{R}$$

❖ Εφόσον η rms τιμή του ρεύματος γίνεται μέγιστη, η κυματομορφή του ρεύματος στη συχνότητα αυτή θα εμφανίζει το μέγιστο πλάτος. Τότε λέμε ότι έχουμε **συντονισμό ρεύματος** και η συχνότητα ω_0 ονομάζεται **συχνότητα συντονισμού**.



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Αν \dot{U}_L , \dot{U}_C , \dot{U}_R είναι οι πτώσεις τάσεις στα L, C, R αντίστοιχα τότε ισχύουν τα εξής:

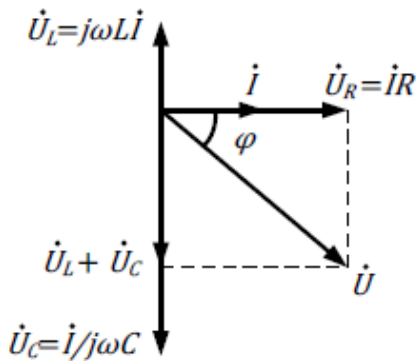
$\omega < \omega_0$	$ j\omega LI < \left \frac{1}{j\omega C} I \right \Rightarrow \dot{U}_L < \dot{U}_C $
$\omega = \omega_0$	$ j\omega_0 LI_0 = \left \frac{1}{j\omega_0 C} I_0 \right \Rightarrow \dot{U}_L = \dot{U}_C $
$\omega' > \omega_0'$	$ j\omega' LI' > \left \frac{1}{j\omega' C} I' \right \Rightarrow \dot{U}'_L > \dot{U}'_C $



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

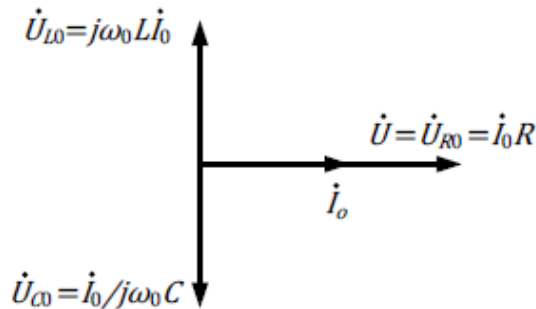
- ❖ Η συνισταμένη των τάσεων των στοιχείων φαίνεται στα διανυσματικά διαγράμματα που ακολουθούν.

Για συχνότητα $\omega < \omega_0$:



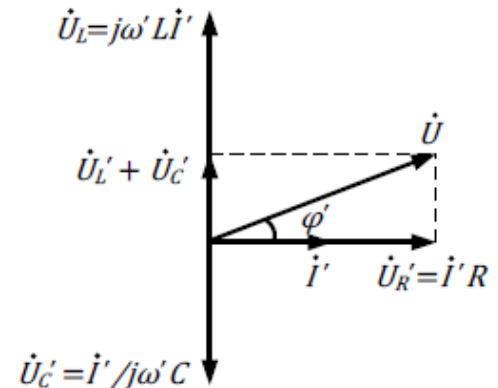
Χωρητικός χαρακτήρας

Για συχνότητα ω_0 :



Ωμικός χαρακτήρας

Για συχνότητα $\omega' > \omega_0$:



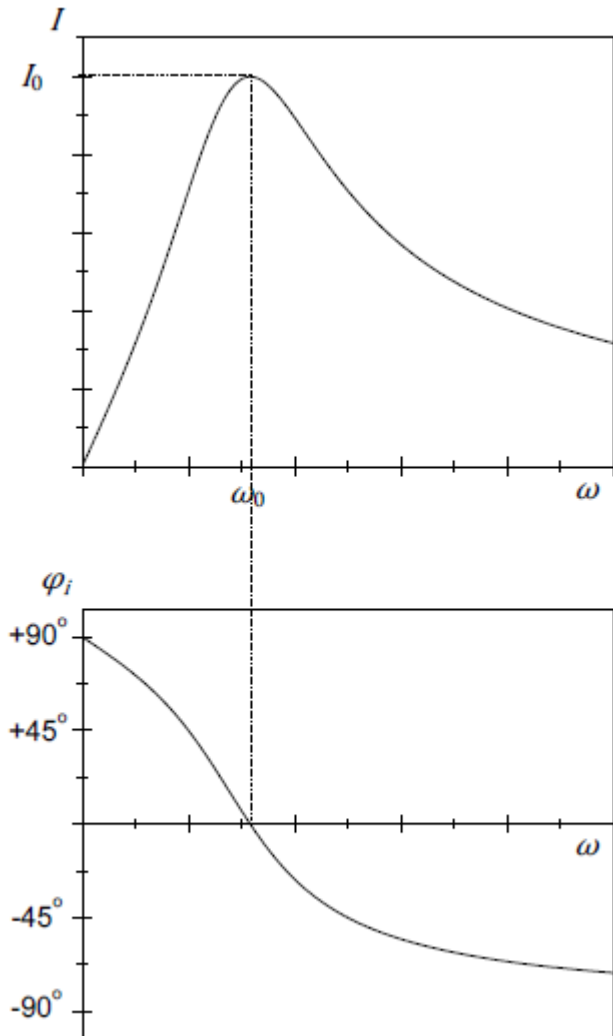
Επαγωγικός χαρακτήρας



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Καμπύλη συντονισμού

- Η απόκριση συχνότητας του ρεύματος του κυκλώματος φαίνεται στο σχήμα.
- Βασικό χαρακτηριστικό της απόκρισης συχνότητας ενός κυκλώματος που εμφανίζει συντονισμό σε κάποια συχνότητα είναι η εμφάνιση οξείας κορυφής στην χαρακτηριστική του πλάτους του.
- Όπως θα δούμε παρακάτω το πόσο οξεία είναι η καμπύλη συντονισμού καθορίζεται από το μέγιστο ποσό ενέργειας που μπορεί να αποθηκεύεται στο κύκλωμα σε σχέση με την ενέργεια που χάνεται κατά τη διάρκεια μιας πλήρους περιόδου της απόκρισης.



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Συντελεστής ποιότητας

- Για το κύκλωμα σειράς ορίζεται ο συντελεστής ποιότητας Q :

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 C R} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

- Στο συντονισμό προκύπτουν οι εξής τιμές:

$$I_0 = \frac{U}{R} \Rightarrow U_{R0} = U$$

$$U_{L0} = \omega_0 L I_0 = \omega_0 L \frac{U}{R} = Q U$$

$$U_{C0} = \frac{1}{\omega_0 C} I_0 = \frac{U}{\omega_0 C R} = Q U$$



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Συντελεστής ποιότητας

➤ Παρατηρήσεις

- ❖ Παρατηρούμε ότι ένα κύκλωμα με χαμηλή τιμή R έχει υψηλή τιμή Q
- ❖ Κατά το συντονισμό υπάρχει άνοδος της τάσης κατά μήκος του επαγωγού και του πυκνωτή ίση με το γινόμενο του συντελεστή ποιότητας και της τάσης της πηγής
- ❖ Όπως προέκυψε παραπάνω, στο συντονισμό σειράς ο συνδυασμός πηνίου-πυκνωτή λειτουργεί ως βραχυκύκλωμα και όλη η τάση της πηγής εφαρμόζεται στα άκρα της αντίστασης.
- ❖ Οι τάσεις στον επαγωγό και στον πυκνωτή είναι ίσες και αντίθετες, ωστόσο προσοχή: Η κάθε μία ξεχωριστά μπορεί να λάβει πολύ υψηλή τιμή. Πιο συγκεκριμένα, στα στοιχεία αυτά λαμβάνεται η τάση της πηγής ενισχυμένη κατά το συντελεστή ποιότητας.



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Συντελεστής ποιότητας

- Το ρεύμα του κυκλώματος μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση του συντελεστή ποιότητας ως ακολούθως:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}} = \frac{\dot{U}}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} = \frac{\dot{U}}{R \left[1 + jQ \left(\frac{\omega L}{RQ} - \frac{1}{\omega CRQ}\right)\right]} = \frac{\dot{U}}{R \left[1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)\right]}$$



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Εύρος ζώνης

- Επειδή ο εντοπισμός της συχνότητας ω_0 δεν είναι τόσο εύκολος, ορίζεται το **εύρος ζώνης**.
- Ορίζεται ως **εύρος ζώνης** το εύρος μεταξύ των συχνοτήτων ω_1 και ω_2 , στις οποίες η ενεργός ισχύς του κυκλώματος είναι ίση με τη μισή της ισχύος που καταναλώνεται στο συντονισμό. Οι συχνότητες ονομάζονται **συχνότητες μισής ισχύος**.
- Οι συχνότητες μισής ισχύος προκύπτουν δηλαδή όταν:

$$P_{hp} = \frac{I_0^2 R}{2} \Rightarrow I_{hp} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

- Άρα στις συχνότητες μισής ισχύος το ρεύμα του κυκλώματος είναι

$$\frac{\dot{U}}{R \left[1 + jQ \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \right]} = \frac{\dot{U}}{R\sqrt{2}}$$



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Εύρος ζώνης

- Το μέτρο του ρεύματος θα είναι:

$$\frac{U}{R\sqrt{1+Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}} = \frac{U}{R\sqrt{2}}$$

- Επομένως:

$$1+Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2 = 2 \Rightarrow Q\left(\frac{\omega}{\omega_0}-\frac{\omega_0}{\omega}\right) = \pm 1$$

- Λύνοντας την εξίσωση και λαμβάνοντας μόνο τις θετικές λύσεις βρίσκουμε

$$\omega_1 = \omega_0 \left[-\frac{1}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{1}{2Q}\right)^2 + 1} \right], \quad \omega_2 = \omega_0 \left[\frac{1}{2Q} + \sqrt{\left(\frac{1}{2Q}\right)^2 + 1} \right]$$



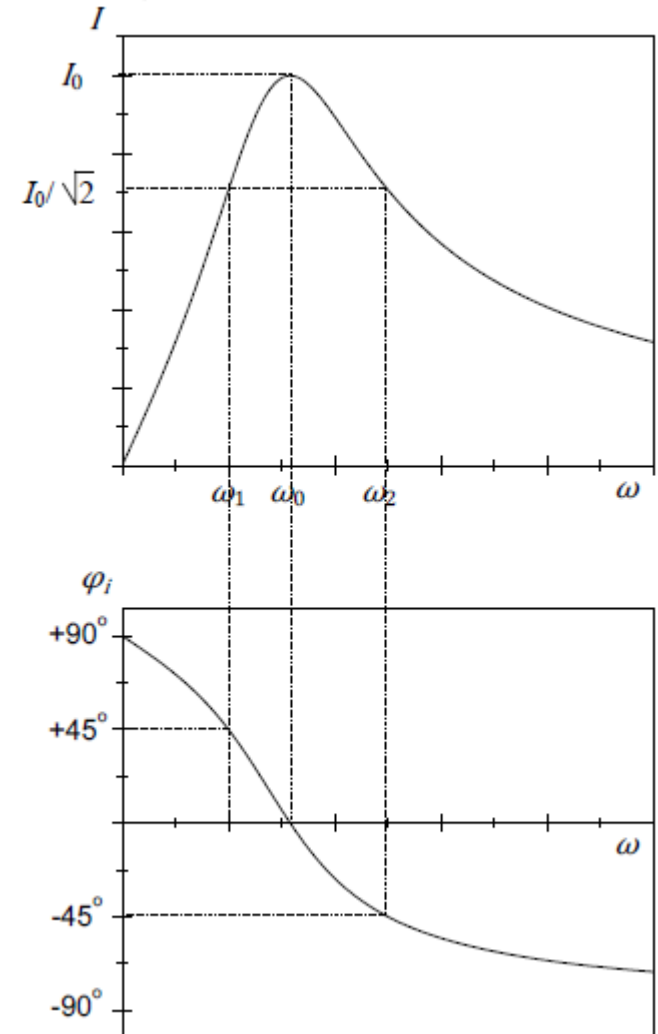
Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Εύρος ζώνης-Καμπύλη Συντονισμού

- Βλέπουμε ξανά εδώ την καμπύλη συντονισμού με τις συχνότητες μισής ισχύος.
- Με αφαίρεση των παραπάνω σχέσεων προκύπτει ότι το εύρος ζώνης είναι

$$BW = \Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = \frac{\omega_0}{Q}$$

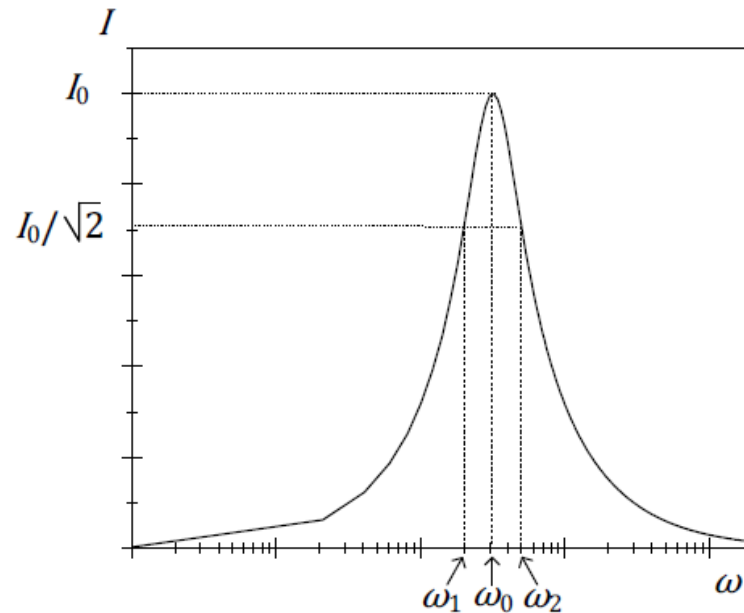
- Το εύρος ζώνης μειώνεται όσο αυξάνεται ο συντελεστής ποιότητας και η καμπύλη γίνεται πιο οξεία.
- Η δυνατότητα εντοπισμού της συχνότητας συντονισμού εξαρτάται λοιπόν από το Q .
- Αν εφαρμόσουμε ένα σήμα με μεγάλο εύρος συχνοτήτων σε ένα κύκλωμα με υψηλό Q , τότε μόνο οι συχνότητες εντός του εύρους ζώνης δεν θα αποσβεστούν. Το κύκλωμα δρα ως φίλτρο για τις υπόλοιπες.



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Εύρος ζώνης-Καμπύλη Συντονισμού

- Με πολλαπλασιασμό των σχέσεων που δίνουν τις πλευρικές συχνότητες προκύπτει επίσης ότι $\omega_0 = \sqrt{\omega_1\omega_2}$
- Αν για τον άξονα των συχνοτήτων χρησιμοποιηθεί λογαριθμική κλίμακα τότε μπορεί να καλυφθεί μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων. Τότε παρατηρούμε ότι η καμπύλη έχει τη συμμετρική μορφή του σχήματος.



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Συντελεστής ποιότητας

- Ο συντελεστής ποιότητας Q έχει πιο γενική σημασία η οποία μπορεί να διερευνηθεί μέσω ανάλυσης ενέργειας του κυκλώματος που εξετάζουμε.
- Έστω ότι εφαρμόζουμε στο RLC σειράς τάση στη συχνότητα συντονισμού:

$$u(t) = U\sqrt{2}\cos\omega_0 t$$

- Το ρεύμα θα είναι:

$$i(t) = \frac{U\sqrt{2}}{R}\cos\omega_0 t$$

- Η τάση στον πυκνωτή θα είναι:

$$u_C(t) = \frac{U\sqrt{2}}{\omega_0 RC}\cos(\omega_0 t - 90^\circ) = \frac{U\sqrt{2}}{\omega_0 RC}\sin\omega_0 t$$



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Συντελεστής ποιότητας

- Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε επαγωγό είναι

$$w_L(t) = \frac{1}{2} Li^2(t) = \frac{1}{2} L \left(\frac{U\sqrt{2}}{R} \cos \omega_0 t \right)^2 = \frac{2U^2 L}{2R^2} \cos^2 \omega_0 t \quad [J]$$

- Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε πυκνωτή είναι

$$w_C(t) = \frac{1}{2} Cu_C^2(t) = \frac{1}{2} C \left(\frac{U\sqrt{2}}{\omega_0 RC} \sin \omega_0 t \right)^2 = \frac{2U^2}{2\omega_0^2 CR^2} \sin^2 \omega_0 t \quad [J]$$

- Η συχνότητα συντονισμού είναι:

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

- Επομένως η ενέργεια του πυκνωτή θα γίνει:

$$w_C(t) = \frac{2U^2 L}{2R^2} \sin^2 \omega_0 t$$



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

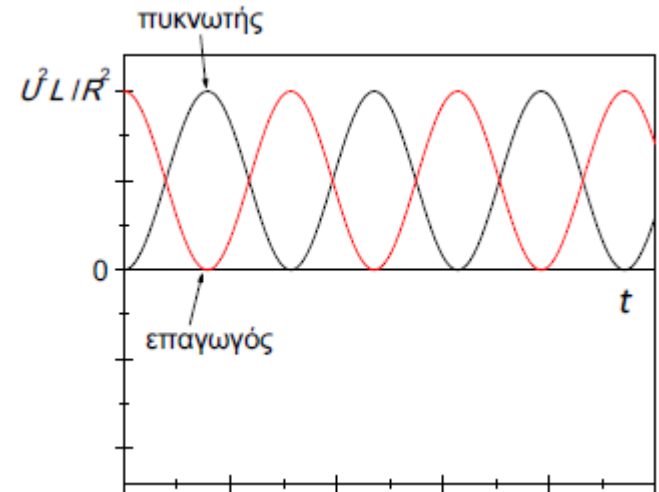
Συντελεστής ποιότητας

- Η συνολική ενέργεια που αποθηκεύεται στο κύκλωμα είναι

$$w_L(t) + w_C(t) = \frac{2U^2L}{2R^2} \cos^2 \omega_0 t + \frac{2U^2L}{2R^2} \sin^2 \omega_0 t = \frac{U^2L}{R^2}$$

❖ Δηλαδή η συνολική ενέργεια είναι μια σταθερά.

- Στο διπλανό σχήμα φαίνονται οι κυματομορφές της ενέργειας των δύο στοιχείων.
- Παρατηρούμε ότι στο συντονισμό υπάρχει συνεχής ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ του μαγνητικού πεδίου του επαγωγού και του ηλεκτρικού πεδίου του πυκνωτή.
- Όταν η ενέργεια στο ένα στοιχείο είναι μέγιστη στο άλλο είναι ελάχιστη.
- Η συνολική όμως ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο κύκλωμα κάθε στιγμή είναι σταθερή.



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Συντελεστής ποιότητας

➤ Η ενέργεια που καταναλώνεται από το κύκλωμα σε μία περίοδο είναι:

$$W_D = \int_0^T i^2(t) R dt = \int_0^T \left(\frac{2U^2}{R^2} \cos^2 \omega_0 t \right) R dt$$

Και εφόσον $\cos^2 \omega t = \frac{\cos 2\omega t + 1}{2}$:

$$W_D = \frac{U^2 T}{R^2}$$

Η ενέργεια που αποθηκεύεται βρέθηκε παραπάνω ότι είναι

$$W_S = \frac{U^2 L}{R^2}$$



Συντονισμός σε κύκλωμα RLC σειράς

Συντελεστής ποιότητας

Το πηλίκο τους είναι

$$\frac{W_S}{W_D} = \frac{\frac{U^2 L}{R^2}}{\frac{U^2 T}{R^2}} = \frac{L}{RT} = \frac{\omega_0}{2\pi R}$$

Επομένως

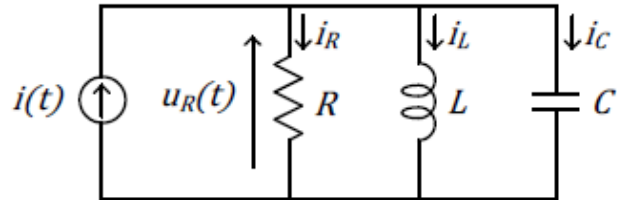
$$Q = 2\pi \frac{W_S}{W_D}$$

- Δηλαδή ο συντελεστής ποιότητας συσχετίζει την μέγιστη ενέργεια που αποθηκεύεται με την ενέργεια που καταναλώνεται στο κύκλωμα ανά κύκλο της ταλάντωσης.
- Αυτή η έκφραση του συντελεστή εφαρμόζεται σε ηλεκτρικά, μηχανικά, ακουστικά κλπ συστήματα και γι' αυτό θεωρείται ότι είναι ο ορισμός του.



Συντονισμός σε παράλληλο RLC

Έστω το κύκλωμα RLC σε παράλληλη σύνδεση:



Το ρεύμα θα είναι:

$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C$$

$$\dot{I} = \dot{U}\dot{Y} = \dot{U} \left[G + j \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \right]$$

Η σύνθετη αγωγιμότητα είναι:

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



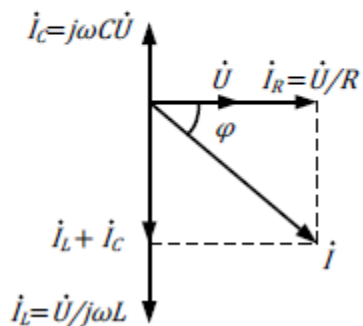
Συντονισμός σε παράλληλο RLC

Συντονισμός προκύπτει όταν το φανταστικό μέρος της \dot{Y} είναι μηδέν, δηλαδή όταν

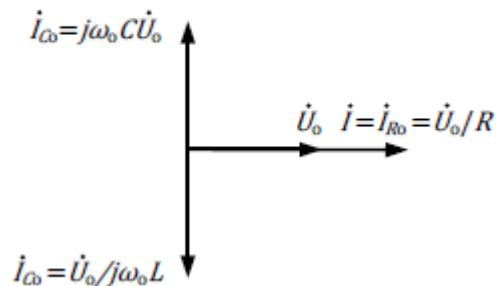
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Τότε: $\dot{Y}_0 = G$

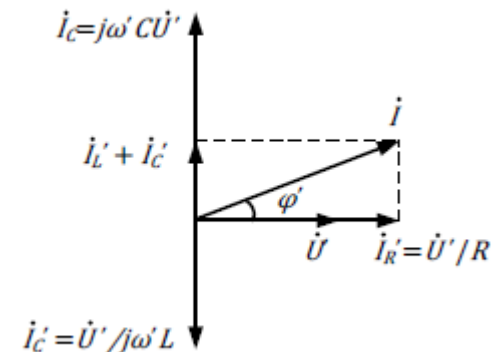
Για συχνότητα $\omega < \omega_0$:



Για συχνότητα ω_0 :



Για συχνότητα $\omega' > \omega_0$:



$$Q = \frac{R}{\omega_0 L} = \frac{1}{G \omega_0 L} = R \omega_0 C = \frac{\omega_0 C}{G}$$

