

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

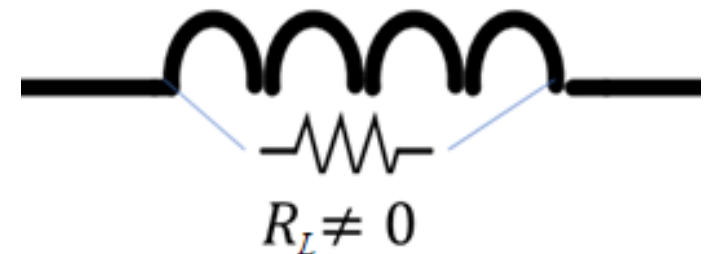
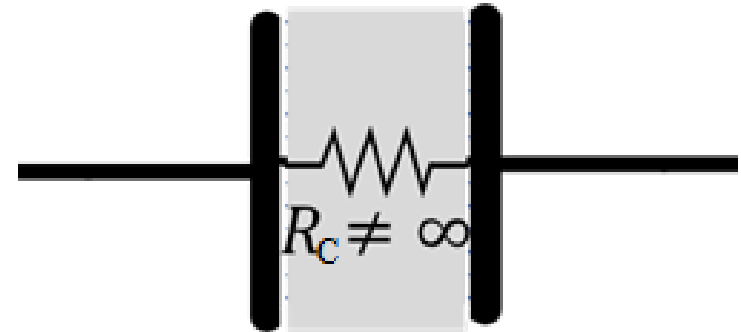
ΕΝΟΤΗΤΑ 4^Η

Μέτρηση σύνθετης αντίστασης

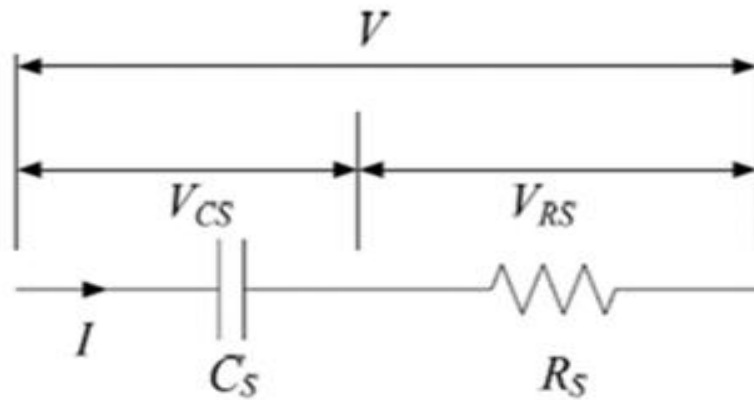
ΜΕΡΟΣ Α: ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΙ ΠΥΚΝΩΤΕΣ ΚΑΙ ΠΗΝΙΑ

Πυκνωτές και πηνία με απώλειες

- Οι πραγματικοί (μη ιδανικοί) πυκνωτές και τα πηνία παρουσιάζουν απώλειες, επειδή κατασκευάζονται από πραγματικά υλικά.
- Οι **πραγματικοί πυκνωτές**, επειδή τα διηλεκτρικά τους υλικά έχουν πεπερασμένη (πολύ μεγάλη, αλλά όχι άπειρη) ωμική αντίσταση ($R_C \neq \infty$).
- Τα **πραγματικά πηνία**, επειδή τα σύρματα από τα οποία κατασκευάζονται (χαλκός, συνήθως) είναι υλικά μικρής μεν αλλά όχι μηδενικής ωμικής αντίστασης ($R_L \neq 0$).

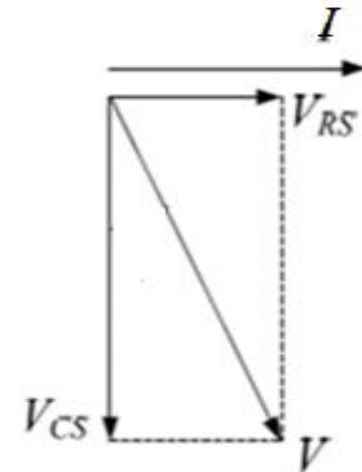


Ο πραγματικός πυκνωτής – Αντίσταση απωλειών σε σειρά (C_S, R_S)



(α)

Ισοδύναμο κύκλωμα πραγματικού πυκνωτή με την αντίσταση απωλειών θεωρούμενη σε σειρά με την χωρητικότητα



(β)

Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων

Σύνθετη αντίσταση πραγματικού πυκνωτή (C_S, R_S)

$$Z = R_S - j \frac{1}{\omega C_S}$$

ή σε μορφή Euler

$$Z = |Z|e^{j\theta}$$

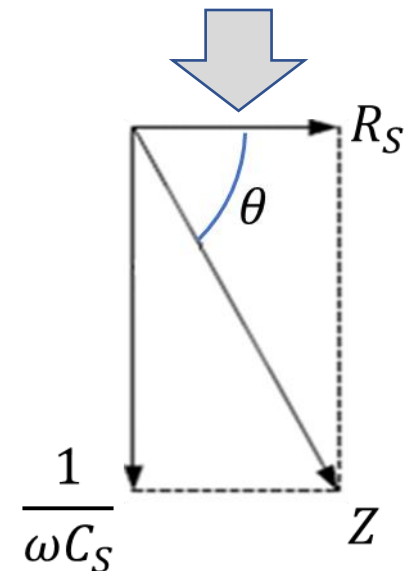
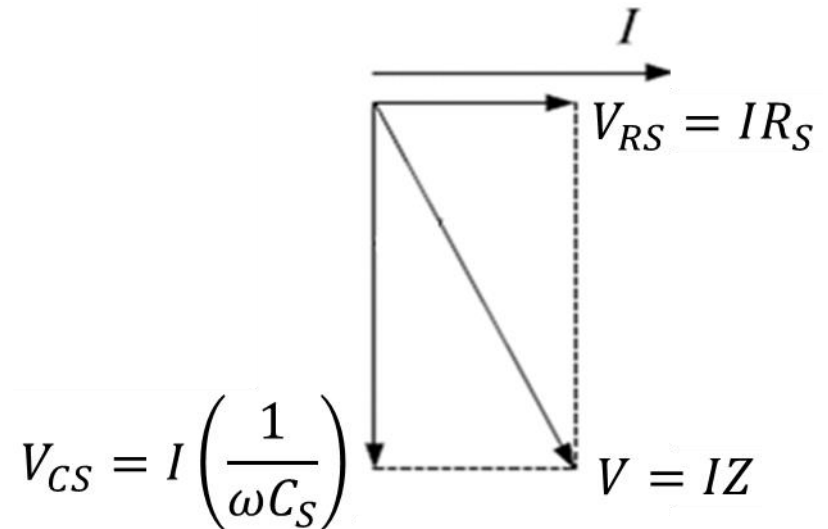
όπου

$$|Z| = \sqrt{R_S^2 + \left(\frac{1}{\omega C_S}\right)^2}$$

και

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{-\frac{1}{\omega C_S}}{R_S} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(-\frac{1}{\omega R_S C_S} \right)$$



Διανυσματικό διάγραμμα αντιστάσεων

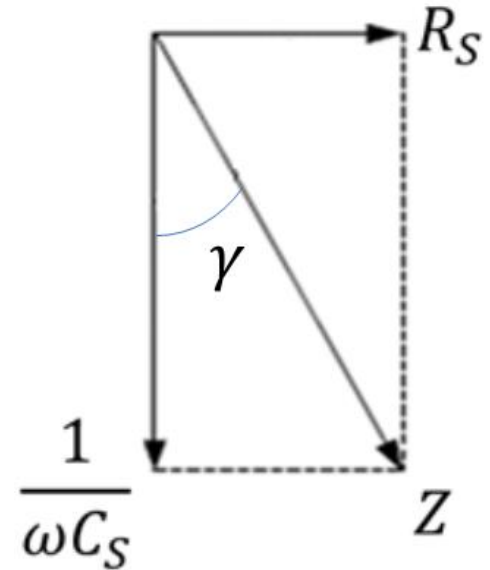
Συντελεστής απωλειών πυκνωτή (C_S, R_S)

- Γωνία απωλειών (γ): η γωνία μεταξύ X_{CS} και Z στο διάγραμμα αντιστάσεων
- Συντελεστής απωλειών $\alpha = \tan \gamma$

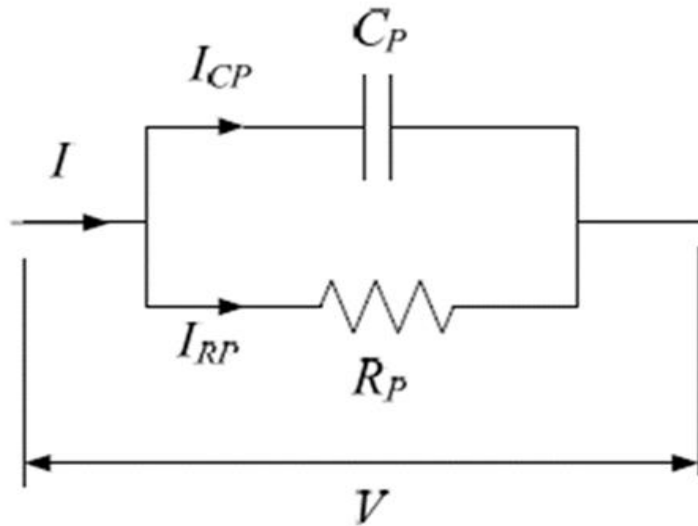
$$\alpha = \tan \gamma = \left| \frac{R_S}{\frac{1}{j\omega C_S}} \right|$$

ή

$$\alpha = \omega R_S C_S$$

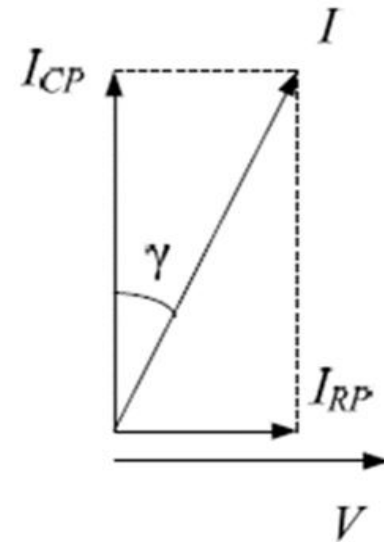


Πραγματικός πυκνωτής με παράλληλη αντίσταση απωλειών (C_P, R_P)



(α)

Ισοδύναμο κύκλωμα πραγματικού πυκνωτή με την αντίσταση απωλειών θεωρούμενη παράλληλη με την χωρητικότητα



(β)

Διανυσματικό διάγραμμα ρευμάτων

Σύνθετη αντίσταση πραγματικού πυκνωτή (C_P, R_P)

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_P} + j\omega C_P$$

ή, σε μορφή Euler

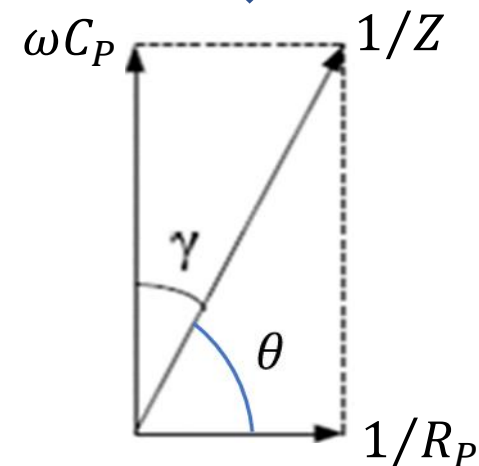
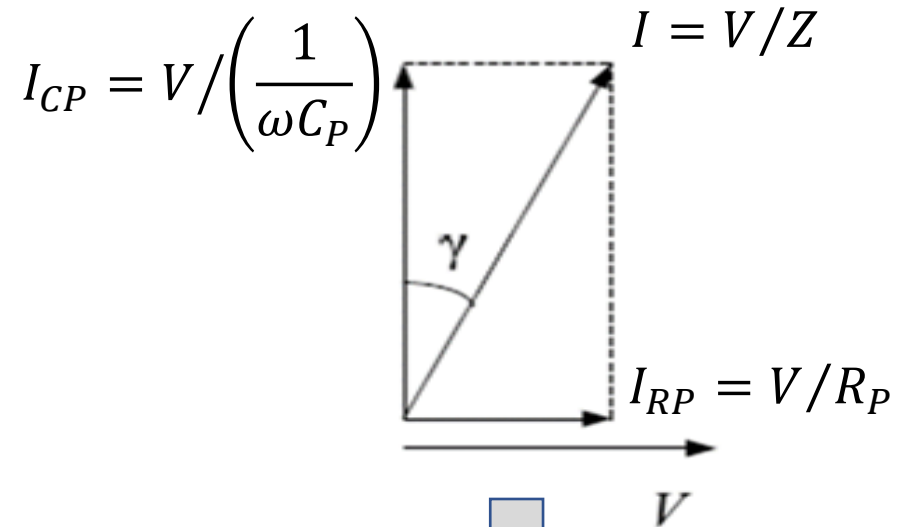
$$\frac{1}{Z} = \left| \frac{1}{Z} \right| e^{j\theta} \quad \Rightarrow \quad Z = |Z| e^{-j\theta}$$

όπου

$$|Z| = \frac{R_P}{\sqrt{1 + (\omega C_P R_P)^2}}$$

και

$$\theta = \tan^{-1}(\omega R_P C_P) = 90^\circ - \gamma$$

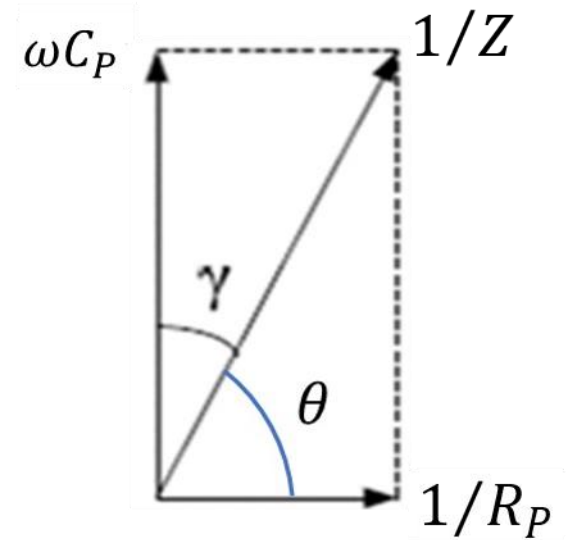


Διανυσματικό διάγραμμα αντιστάσεων

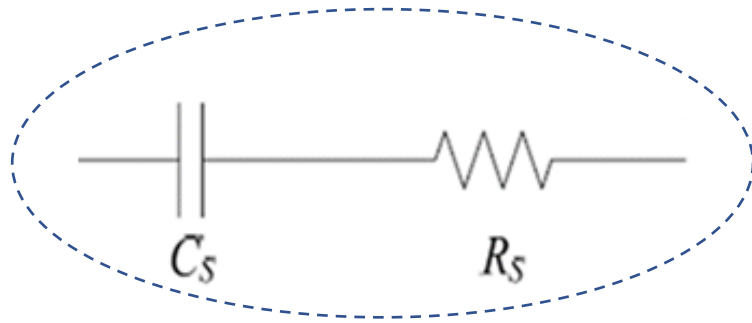
Συντελεστής απωλειών πυκνωτή (C_P, R_P)

- Συντελεστής απωλειών $\alpha = \tan \gamma$

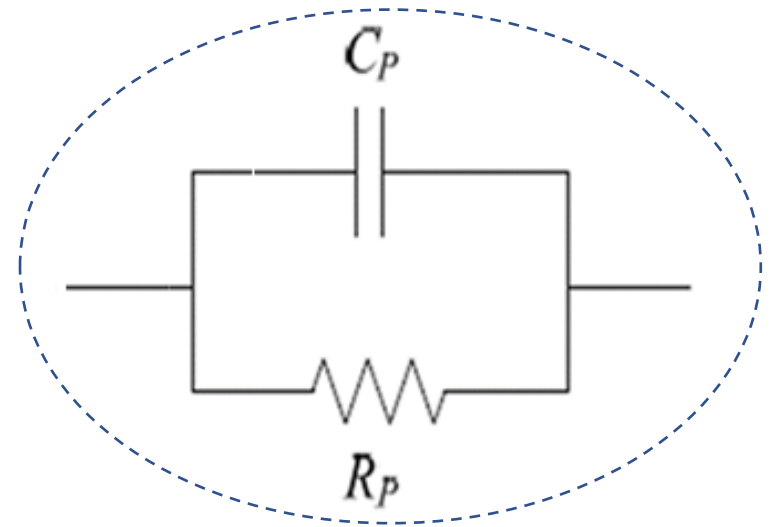
$$\alpha = \tan \gamma = \frac{1}{\omega R_P C_P}$$



(C_S, R_S) ή (C_P, R_P) ; Ποια είναι η ακριβέστερη (ορθότερη) επιλογή κυκλωματικής αναπαράστασης για έναν πραγματικό πυκνωτή ;

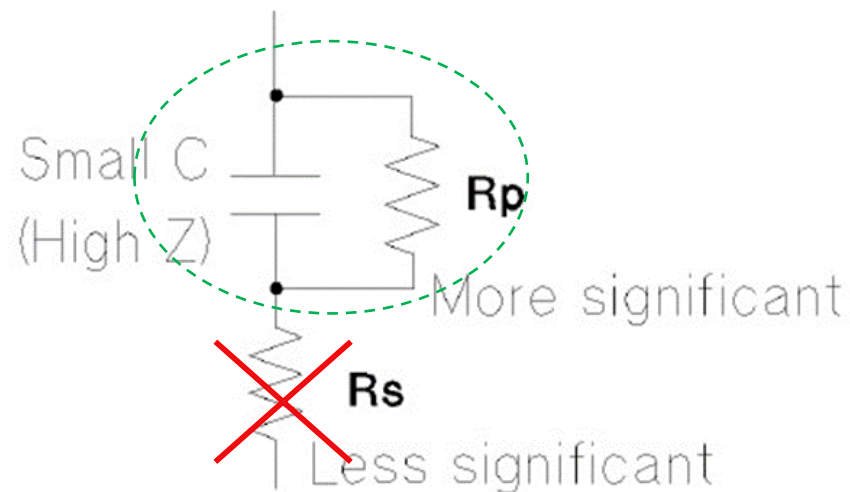


ή



Επιλογή της κατάλληλης κυκλωματικής αναπαράστασης για τον πραγματικό πυκνωτή - Πυκνωτής μικρής χωρητικότητας

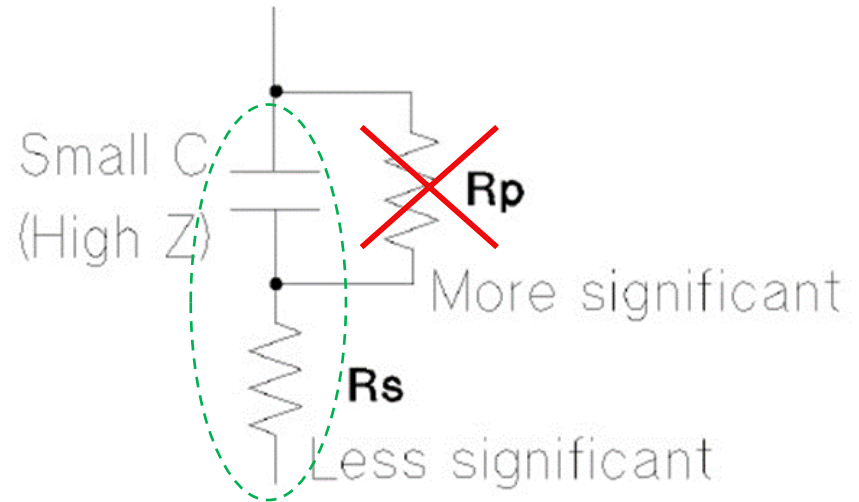
- Μικρή χωρητικότητα C συνεπάγεται μεγάλη αντίδραση $X_C = 1/(\omega C)$
- Η επίδραση της παράλληλης αντίστασης (R_p) είναι σημαντικότερη της σειριακής (R_s)
- Η μικρή τιμή της αντίστασης R_s την καθιστά αμελητέα συγκριτικά με την αντίδραση X_C



Συμπέρασμα: Πρέπει να θεωρηθεί παράλληλη συνδεσμολογία της αντίστασης απωλειών, δηλαδή, $X_C // R_p$.

Πυκνωτής μεγάλης χωρητικότητας

- Μεγάλη χωρητικότητα C συνεπάγεται μικρή ανάδραση $X_C = 1/(\omega C)$
- Η επίδραση της αντίστασης σε σειρά (R_s) είναι σημαντικότερη της παράλληλης (R_p).



Συμπέρασμα: Η σειριακή συνδεσμολογία της αντίστασης απωλειών πρέπει να επιλεγεί, δηλαδή, $X_C + R_s$.

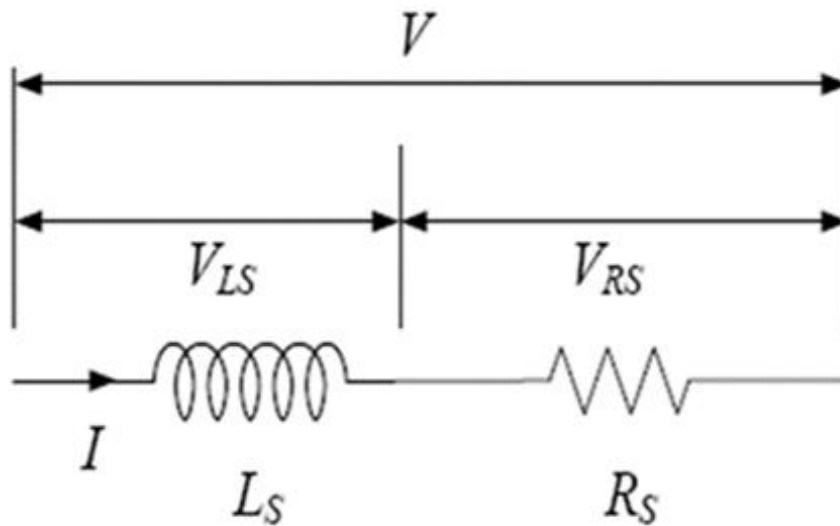
Ένας πρακτικός κανόνας για την επιλογή της κατάλληλης κυκλωματικής αναπαράστασης για τον πραγματικό πυκνωτή (C_S, R_S) vs (C_P, R_P)

- Για $X_C > 10 \text{ k}\Omega$, θεωρούμε την αντίσταση απωλειών σε παράλληλη συνδεσμολογία προς τη χωρητικότητα του πυκνωτή.
- Για $X_C < 10 \text{ }\Omega$, θεωρούμε συνδεσμολογία σε σειρά.
- Για ενδιάμεσες τιμές, συνήθως ακολουθούμε τις συστάσεις του κατασκευαστή.

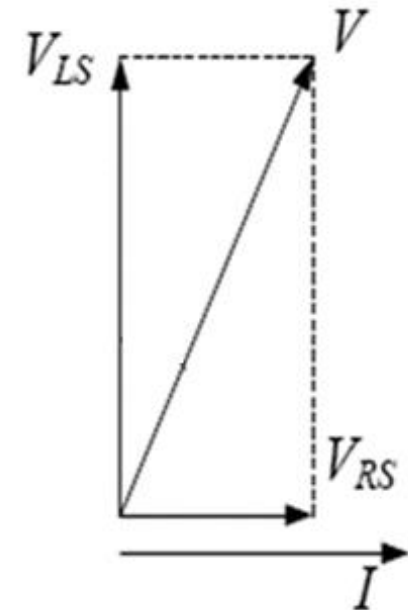
Παράδειγμα

Για πυκνωτή χωρητικότητας $20 \text{ }\mu\text{F}$ που λειτουργεί υπό εναλλασσόμενη τάση συχνότητας 1 kHz ($X_C \cong 8 \text{ }\Omega$), καταλληλότερη θεώρηση είναι με την αντίσταση απωλειών σε σειρά.

Το πραγματικό πηνίο – Αντίσταση απωλειών σε σειρά (L_S, R_S)



(α)



(β)

Ισοδύναμο κύκλωμα πραγματικού πηνίου με την αντίσταση απωλειών θεωρούμενη σε σειρά προς την αυτεπαγωγή

Διανυσματικό διάγραμμα τάσεων

Σύνθετη αντίσταση πηνίου (L_S, R_S)

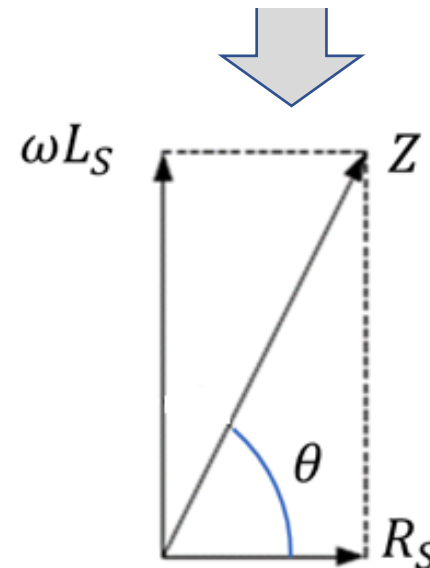
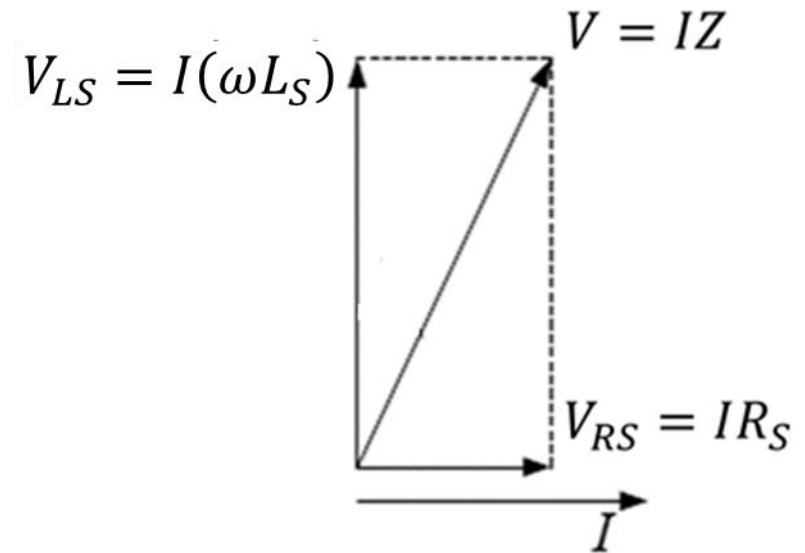
$$Z = R_S + j\omega L_S = |Z|e^{j\theta}$$

όπου

$$|Z| = \sqrt{R_S^2 + (\omega L_S)^2}$$

και

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\omega L_S}{R_S} \right)$$



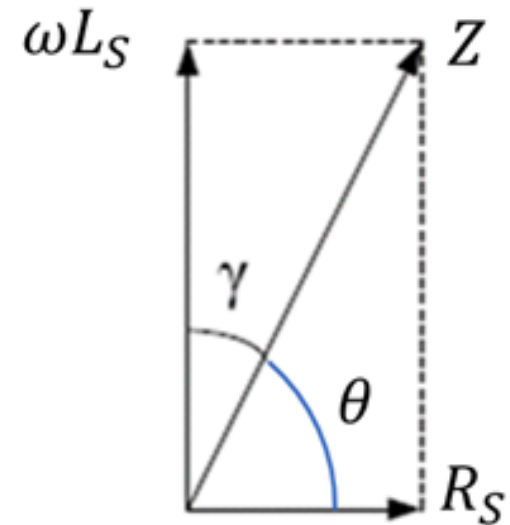
Συντελεστής απωλειών πηνίου – Αντίσταση απωλειών σε σειρά (L_S, R_S)

- Γωνία απωλειών (γ): η γωνία μεταξύ V_{L_S} και V στο διάγραμμα τάσεων

$$\gamma = 90^\circ - \theta$$

- Συντελεστής απωλειών $\alpha = \tan \gamma$

$$\alpha = \tan \gamma = \frac{R_S}{\omega L_S}$$

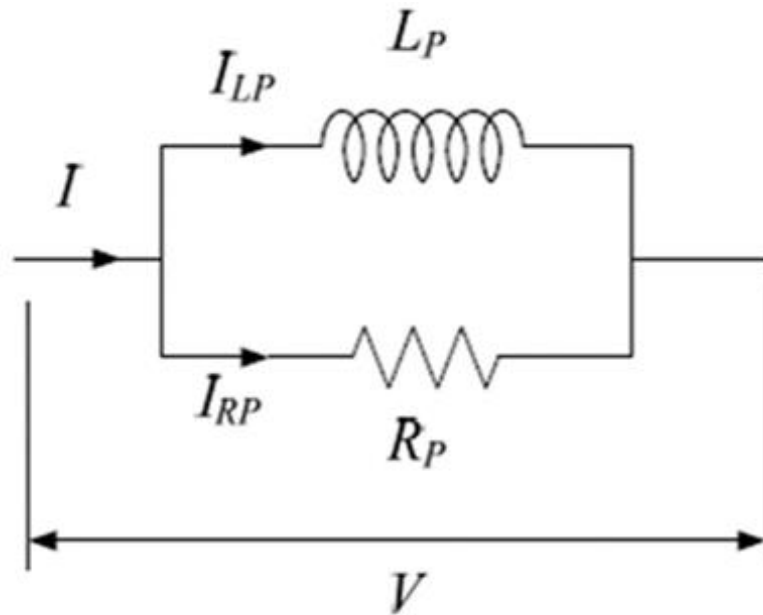


Συντελεστής ποιότητας πηνίου (L_S, R_S)

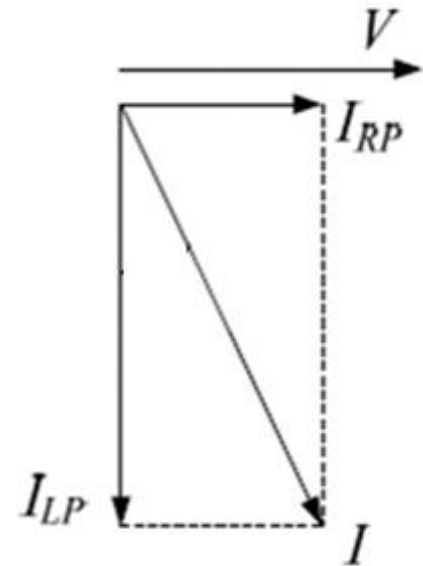
Στα πηνία, σαν μέτρο των απωλειών (της ωμικής αντίστασης, χρησιμοποιείται ο συντελεστής ποιότητας (quality factor), Q , περισσότερο από το συντελεστή απωλειών α .

$$Q = \frac{1}{\alpha} = \frac{\omega L_S}{R_S}$$

Πραγματικό πηνίο με παράλληλη αντίσταση απωλειών (L_P, R_P)



(α)



(β)

Ισοδύναμο κύκλωμα πραγματικού πηνίου με την αντίσταση απωλειών θεωρούμενη παράλληλη προς την αυτεπαγωγή

Διανυσματικό διάγραμμα ρευμάτων

Σύνθετη αντίσταση πηνίου με παράλληλη αντίσταση απωλειών (L_P, R_P)

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{R_P} - j \frac{1}{\omega L_P}$$

$$\frac{1}{Z} = \left| \frac{1}{Z} \right| e^{j\theta}$$

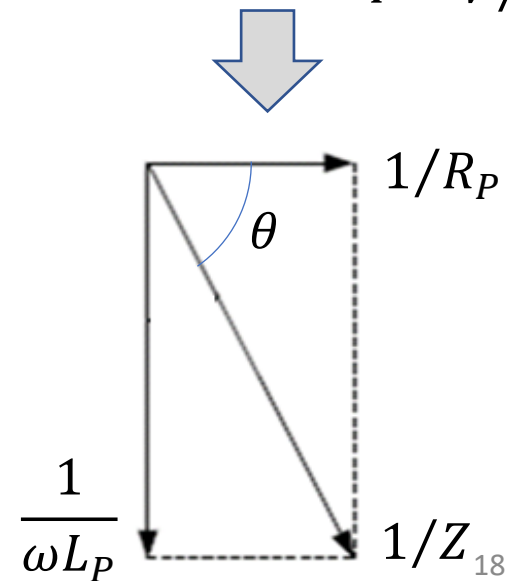
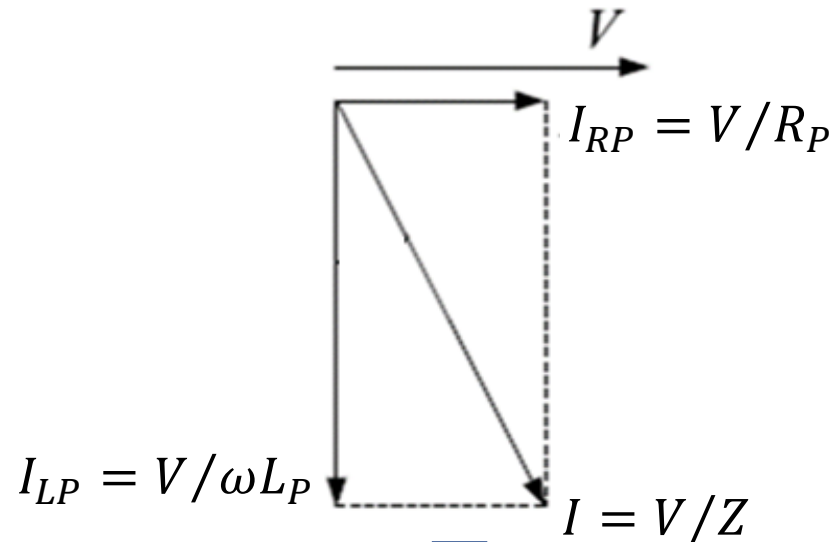
$$Z = |Z| e^{-j\theta}$$

όπου

$$|Z| = \frac{\omega R_P L_P}{\sqrt{R_P^2 + (\omega L_P)^2}}$$

και

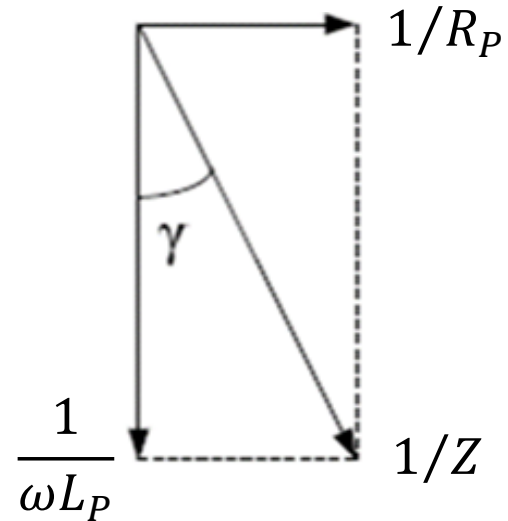
$$\theta = \tan^{-1} \left(-\frac{R_P}{\omega L_P} \right)$$



Συντελεστής απωλειών πηνίου με παράλληλη αντίσταση απωλειών (L_P, R_P)

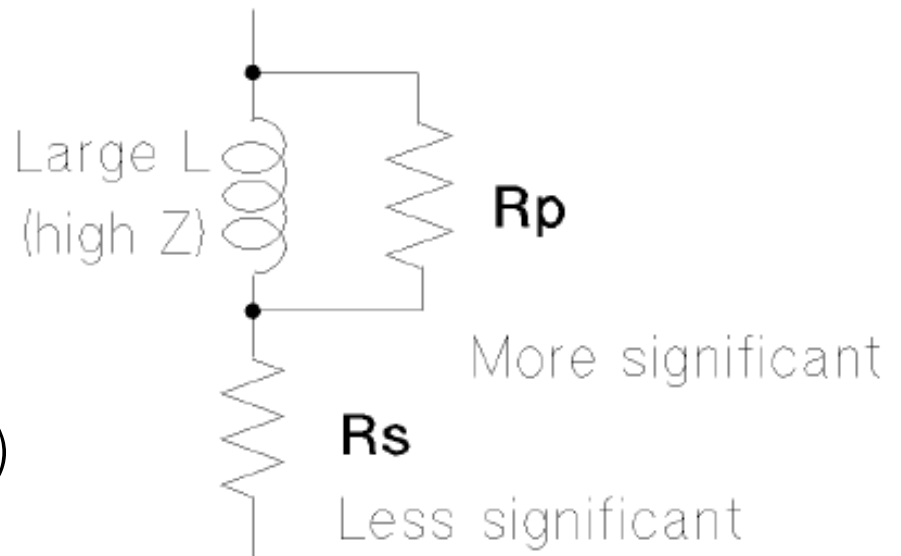
- Συντελεστής απωλειών $\alpha = \tan \gamma$

$$\alpha = \tan \gamma = \frac{\omega L_P}{R_P}$$



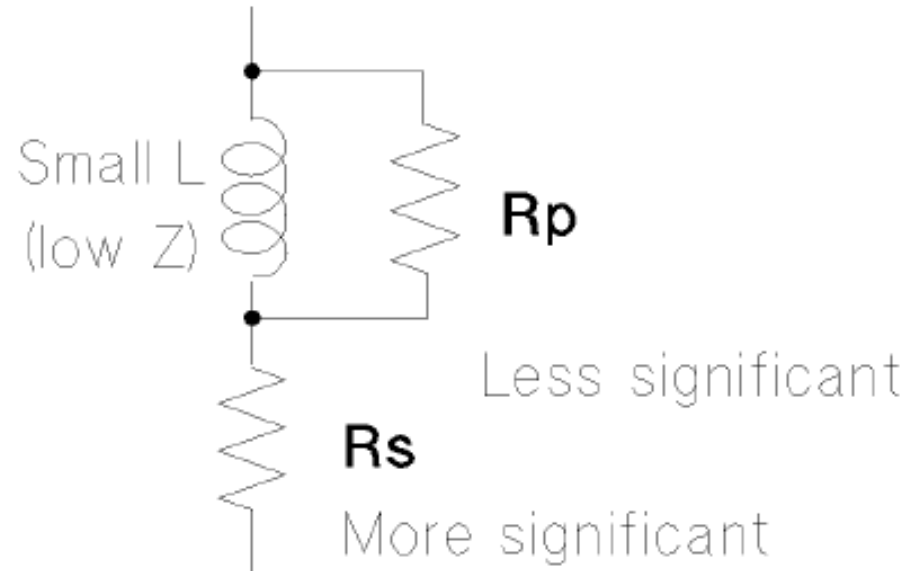
Επιλογή της κατάλληλης κυκλωματικής αναπαράστασης για πραγματικό πηνίο - Πηνίο μεγάλης αυτεπαγωγής

- Για μια ορισμένη συχνότητα, η ανάδραση $X_L = \omega L$ είναι σχετικά μεγάλη (συγκρινόμενη με ενός πηνίου μικρής αυτεπαγωγής L)
- Η επίδραση της παράλληλης αντίστασης (R_p) είναι σημαντικότερη της σειριακής (R_s)
- Η παράλληλη συνδεσμολογία της αντίστασης απωλειών ($X_L // R_p$) πρέπει να επιλεγεί.



Επιλογή της κατάλληλης κυκλωματικής αναπαράστασης για πραγματικό πυκνωτή - Πηνίο μικρής αυτεπαγωγής

- Για μικρές τιμές αυτεπαγωγής η ανάδραση $X_L = \omega L$ είναι σχετικά μικρή
- Η επίδραση της αντίστασης σε σειρά (R_s) είναι σημαντικότερη της παράλληλης (R_p).
- Η σειριακή συνδεσμολογία της αντίστασης απωλειών, δηλαδή, $X_L + R_s$, πρέπει να επιλεγεί.



Πρακτικός κανόνας για την επιλογή της κατάλληλης κυκλωματικής αναπαράστασης για το πραγματικό πηνίο (L_P, R_P) vs (L_S, R_S)

- Για $X_L < 10 \Omega$, θεωρούμε την αντίσταση απωλειών σε σειρά προς την αυτεπαγωγή του πηνίου.
- Για $X_C > 10 \text{ k}\Omega$,. θεωρούμε παράλληλη συνδεσμολογία
- Για ενδιάμεσες τιμές, συνήθως ακολουθούμε τις συστάσεις του κατασκευαστή.

Παράδειγμα

Για πηνίο αυτεπαγωγής 1 mH στο 1 kHz ($X_L \cong 6.3 \Omega$), καταλληλότερη θεώρηση είναι με την αντίσταση απωλειών σε σειρά.

Όργανα μέτρησης σύνθετης αντίστασης

E4980A Precision LCR Meter

20 Hz to 2 MHz

E4980AL Precision LCR Meter

20 Hz to 300 kHz/500 kHz/1 MHz



Basic Specifications

Measurement functions

Measurement parameters

- Cp-D, Cp-Q, Cp-G, Cp-Rp
- Cs-D, Cs-Q, Cs-Rs
- Lp-D, Lp-Q, Lp-G, Lp-Rp, Lp-Rdc
- Ls-D, Ls-Q, Ls-Rs, Ls-Rdc