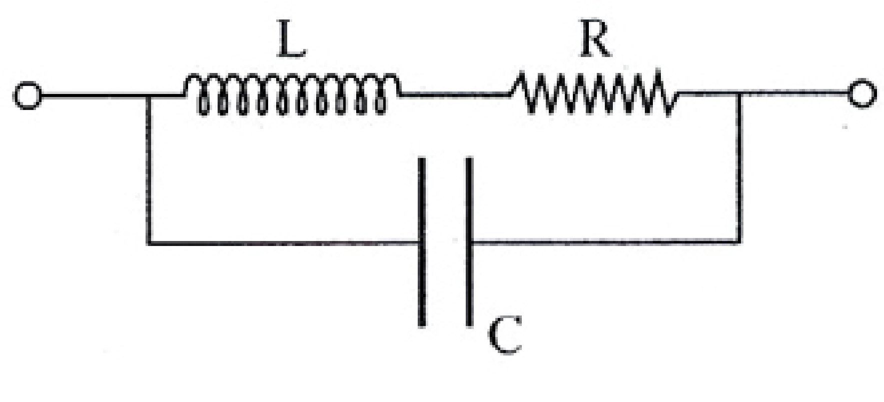
4.4 ΙΣΟΔΥΝΑΜΟ ΚΥΚΛΩΜΑ ΠΗΝΙΟΥ & ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

α) Στις υψηλές συχνότητες ένα πηνίο έχει το ισοδύναμο του σχ. 4.14 σ' αντίθεση με τις χαμηλές που μπορεί να θεωρηθεί σαν L και R σε σειρά, με Z=R, $X_L \cong 0$ και $X_C \cong \infty$.



Σχήμα 4.14

Έχουμε λοιπόν για τις υψηλές συχνότητες:

$$Z = R\,\frac{1 + j\,\omega\left(\frac{L}{R} - RC - \frac{L}{R}\,\omega^2 LC\right)}{\left(1 - \omega^2 LC\right)^2 + \omega^2 R^2 C^2} \qquad (\Omega) \qquad 4.32$$

και η συχνότητα συντονισμού του:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{L}\right)^2} \qquad \left(\frac{c}{s}\right) \tag{4.33}$$

αλλά επειδή R<<jωL τότε:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad \left(\frac{c}{s}\right) \qquad \text{ή} \qquad f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (Hz) \tag{4.34}$$

Αν στη 4.32 θέσουμε $\omega^2 LC = n^2$ τότε έχουμε $Z = R_i + j\omega L_i$:

όπου: $R_i = R\dfrac{1}{\left(1-n^2\right)^2 + n^2\dfrac{R^2C}{L}}$ και $L_i = \dfrac{\left(1-n^2\right) - \dfrac{C}{L}R^2}{\left(1-n^2\right)^2 + n^2\dfrac{R^2C}{L}}$

που σημαίνει ότι σε συχνότητες μικρότερες αυτής του αυτοσυντονισμού το πηνίο παρουσιάζει επαγωγική συμπεριφορά με $Z \cong X_L << X_C$ και $R \cong 0$, στον αυτοσυντονισμό:

$$Z = \frac{(\omega L)^2}{R} \qquad \text{με} \qquad X_L = X_C,$$

ενώ σε συχνότητες μεγαλύτερες του αυτοσυντονισμού $Z \cong X_C << X_L$ και το πηνίο παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά.

Συνήθως

$\dfrac{CR^2}{L} << 1 - n^2$ τότε $R_i \cong R\dfrac{1}{\left(1-n^2\right)^2}$ και $L_i \cong L\dfrac{1}{\left(1-n^2\right)^2}$

ανεξάρτητα από τη συχνότητα, για συχνότητεες μακριά από την ω_0. Για συχνότητες κοντά στην ω_0 όπου $n \cong 0{,}9999$ τα R_i, L_i εξαρτώνται από τη συχνότητα.

β) Ορίζεται ως συντελεστής ποιότητας η ποσότητα:

$$Q = \frac{\omega L_i}{R_i} \tag{4.35}$$

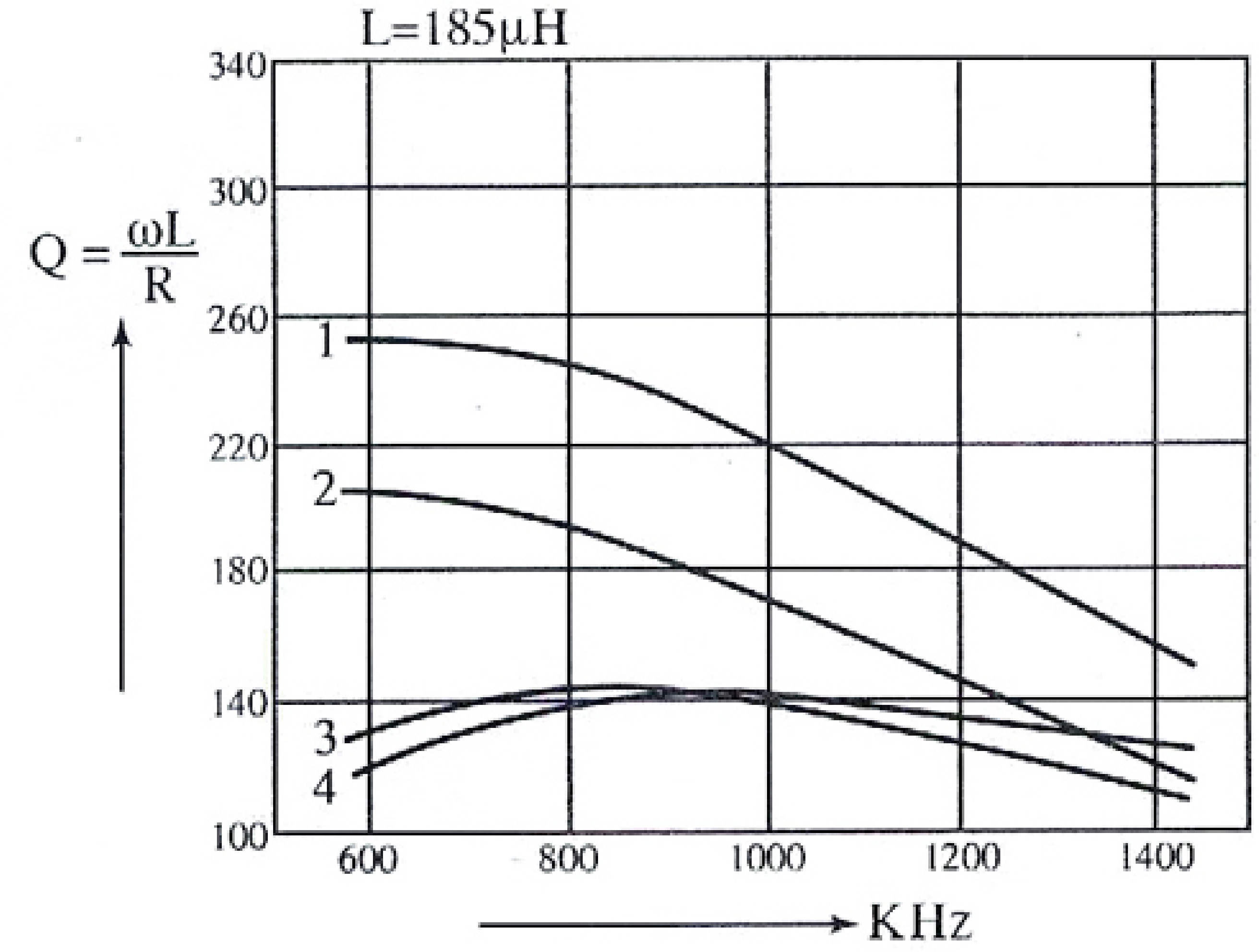
η οποία γίνεται:

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

για συχνότητες μακριά από την ω_0 (σχ. 4.15).

Ο λόγος $D = \dfrac{1}{Q} = \dfrac{R_i}{\omega L_i}$ καλείται συντελεστής απωλειών του πηνίου.

Η ισοδύναμη αντίσταση R_i αντιπροσωπεύει όλες τις απώλειες του πηνίου: του σύρματος, του πυρήνα, των ρευμάτων Foucault, των μονωτικών υλικών του σύρματος κ.λπ.



αριθμ. πηνίου	μήκος διαμ.	διαμ. πηνίου	διαμ. σύρματ.	σπείρες N
1	0.96	10.5	0.91	51
2	0.417	11.5	0.56	38
3	0.96	4.7	0.38	75
4	2.58	3.8	0.38	123

Μεταβολή Q για ίδιο L = 185μH σύμφωνα με τον πίνακα

Σχήμα 4.15

γ) Οι επιδράσεις του περιβάλλοντος σ' ένα πηνίο είναι μόνιμες ή παροδικές. Οι μηχανικές καταπονήσεις και η υγρασία προκαλούν πλαστικές μεταβολές στο πηνίο γι' αυτό και πρέπει να λαμβάνονται μέτρα. Η αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας λόγω απωλειών σ' ένα πηνίο, προκαλεί ελαστικές μεταβολές δηλαδή μεταβολές των διαστάσεών του, οι οποίες αποκαθίστανται μετά την παύση του φαινομένου. Ορίζεται ως θερμικός συντελεστής α_L ο λόγος:

$$\alpha_L = \frac{\Delta L}{\Delta T \cdot L} \qquad (1/{}^\circ C) \tag{4.36}$$

δ) Όταν εναλλασόμενο ρεύμα διαρρέει έναν αγωγό, η εναλλασσόμενη μαγνητική ροή μέσα στον αγωγό επάγει μία τάση. Αυτή η τάση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της πυκνότητας του ρεύματος στο εσωτερικό του αγωγού και την αύξησή της στην εξωτερική του επιφάνεια. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως επιδερμικό και γίνεται εμφανέστερο με την αύξηση της συχνότητας. Αποδεικνύεται ότι αν η διατομή ενός αγωγού είναι πολύ μεγαλύτερη από το πραγματικό πάχος του «στρώματος» του ρεύματος, τότε η πυκνότητα του ρεύματος μεταβάλλεται εκθετικά από την επιφάνεια προς το εσωτερικό του αγωγού. Το εντός του αγωγού βάθος στο οποίο η τιμή της πυκνότητας του ρεύματος ισούται με 1/e (e=2.718…) σε σχέση με αυτό της επιφάνειας, ονομάζεται ονομαστικό βάθος διείσδυσης και είναι:

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu}} \qquad (m) \tag{4.37}$$

όπου ρ η ειδική αντίσταση του αγωγού σε Ω·m,

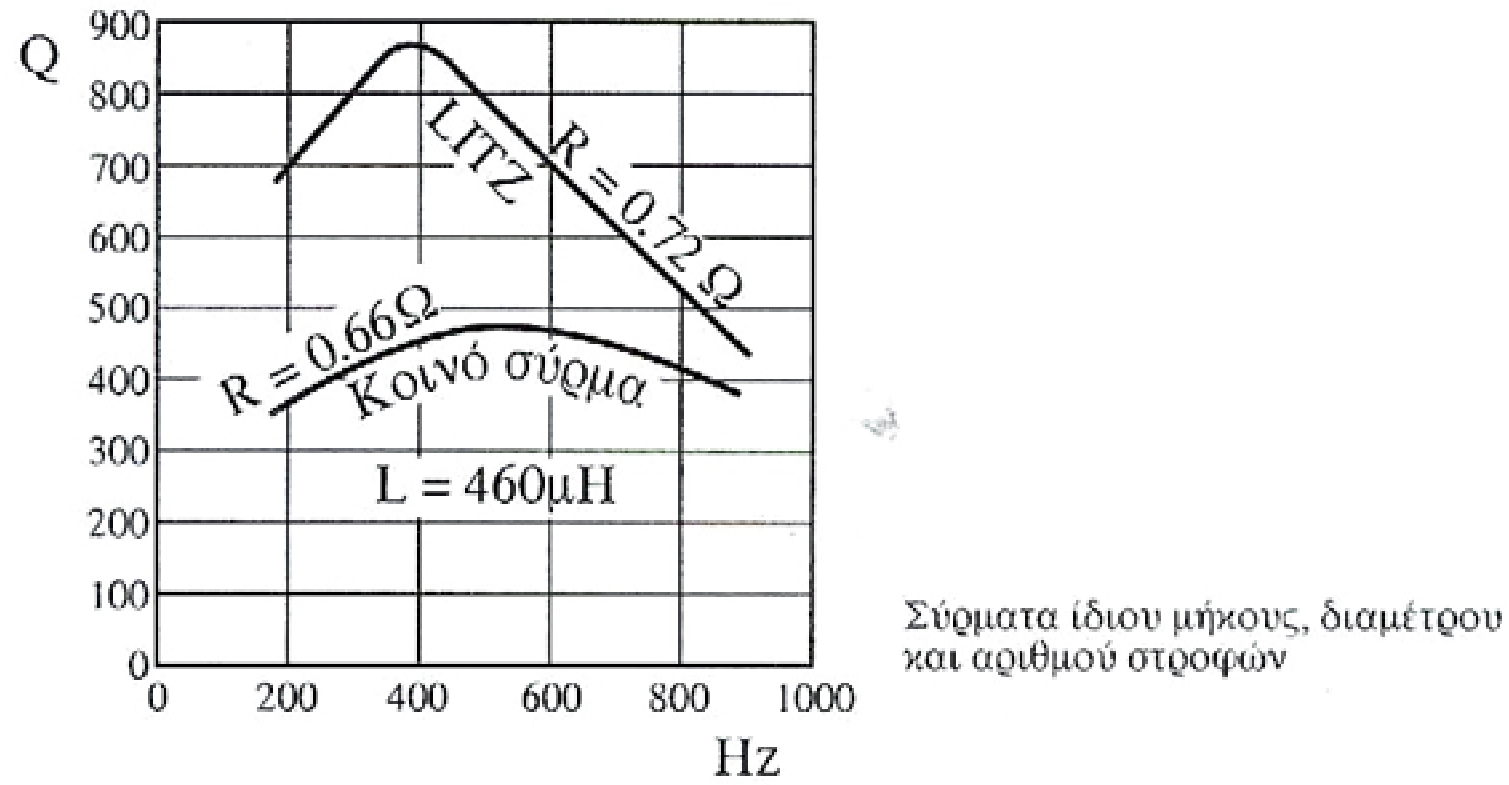
f η συχνότητα σε Hz και

μ η απόλυτη μαγνητική διαπερατότητα του αγωγού σε H/m.

Για αγωγό χαλκού έχουμε:

$$\delta = \frac{66{,}4}{\sqrt{f}} \qquad (mm) \qquad 4.38$$

Είναι γνωστό ότι η τιμή της αντίστασης ενός αγωγού αυξάνεται ανάλογα με τη συχνότητα του ρεύματος που τη διαρρέει. Αν χρησιμοποιείται μονόκλωνος αγωγός για την κατασκευή ενός πηνίου, πρέπει η διάμετρος του να επιλέγεται για τη συχνότητα λειτουργίας του, έχοντας υπόψη το επιδερμικό φαινόμενο. Για συχνότητες ως 2MHz μπορεί να χρησιμοποιηθούν και αγωγοί LITZENDRAHT ή LITZ που κατασκευάζονται από μονωμένους αγωγούς πλεγμένους μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο ώστε κάθε αγωγός να καταλαμβάνει διαδοχικά θέσεις που αντιστοιχούν σε διαφορετικές ακτίνες. Σε τέτοιες συχνότητες λειτουργίας το ονομαστικό βάθος διείσδυσης γίνεται περίπου ίσο με την ακτίνα καθενός από τους πλεγμένους αγωγούς. Η χρήση αγωγών LITZ απαιτεί προσοχή διότι έστω και ένας αγωγός αν κοπεί, αυξάνει σημαντικά η αντίστασή του σχ. 4.16. Για συχνότητες πάνω από 2MHz πρέπει να χρησιμοποιούνται μονόκλωνοι ή σωλεινοειδείς αγωγοί. Οι τελευταίοι έχουν τη δυνατότητα για υψηλά ρεύματα να ψύχονται, διαρρεόμενοι από αποσταγμένο νερό (υδρόψυκτα πηνία).



Σχήμα 4.16

ε) Για να προσδιορισθεί σωστά η μορφή του αγωγού πρέπει να γνωρίζουμε τη συχνότητα και το ρεύμα υψηλής συχνότητας I_f. Το ρεύμα αυτό δεν πρέπει να προκαλεί απώλειες μεγαλύτερες από αυτές του συνεχούς ρεύματος I_{DC}, διότι θα έχουμε υπερθέρμανση του αγωγού. Ισχύει:

$$I_f \cong 55\,\pi\,D\,\frac{\sqrt{\Delta T}}{\sqrt[4]{f}} \qquad (A) \qquad 4.39$$

όπου D = διάμετρος αγωγού σε cm,

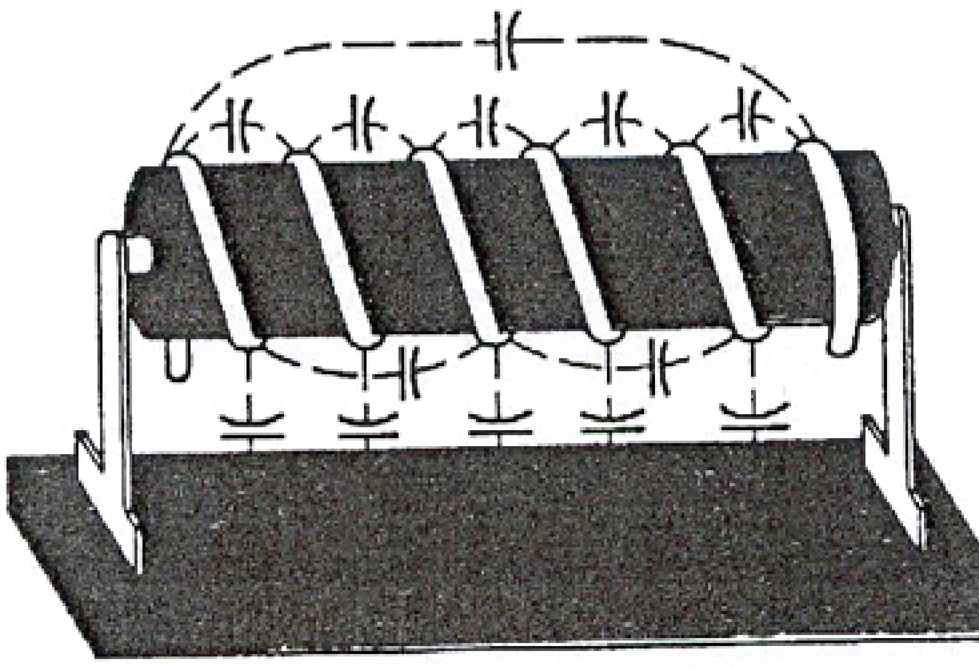
ΔT = διαφορά θερμοκρασίας σε °C και

f = συχνότητα λειτουργίας σε HZ.

Από τη 4.39 βρίσκουμε ότι:

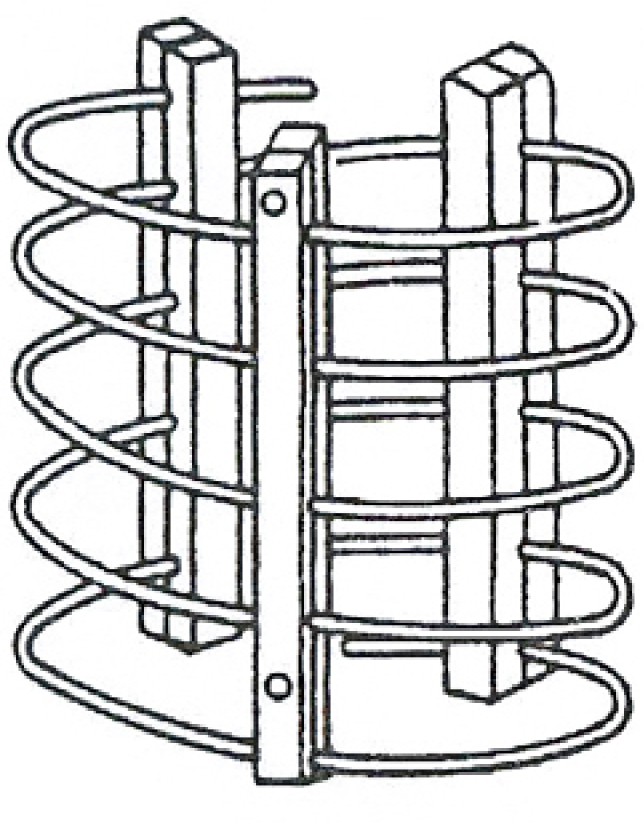
$$D \cong \frac{10\, I_f \sqrt[4]{f}}{55\, \pi \sqrt{\Delta T}} \qquad (\mathrm{mm}) \qquad 4.40$$

Αν D<5mm τότε χρησιμοποιείται στρογγυλό μονόκλωνο σύρμα. Αν 5<D<32mm χρησιμοποιείται σωληνοειδής αγωγός. Για D>32mm χρησιμοποιείται μεταλλική ταινία την οποία το επιδερμικό φαινόμενο επηρεάζει λιγότερο.

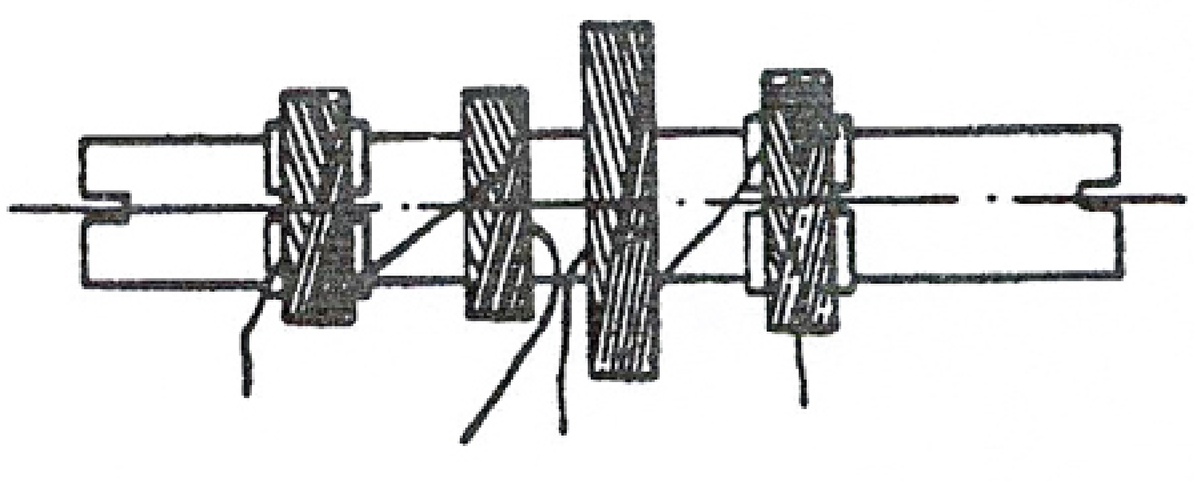


Σχήμα 4.17

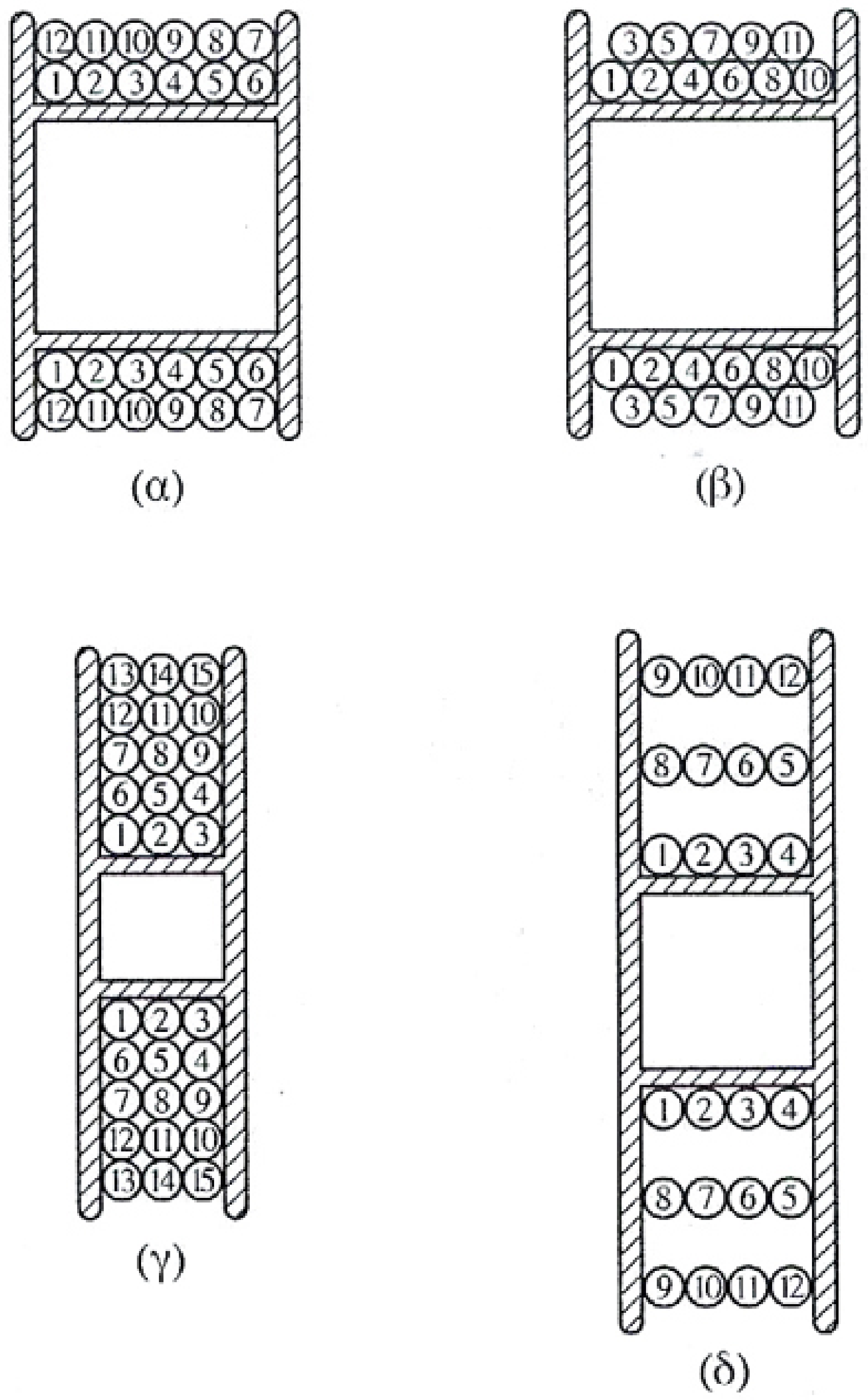
ζ) Σ' ένα πηνίο εμφανίζεται παρασιτική χωρητικότητα μεταξύ των σπειρών, αλλά και μεταξύ αυτών και της γης, όπως φαίνεται στο σχ. 4.17. Η συνολική επίδραση των διαφόρων χωρητικοτήτων ονομάζεται κατανεμημένη χωρητικότητα C_d (η C στο ισοδύναμο κύκλωμα του σχ. 4.14). Η παρουσία της C_d στις υψηλές συχνότητες δημιουργεί απώλειες στο διηλεκτρικό του και αυξάνεται με τη συχνότητα. Επιπλέον προκαλεί απόσβεση των ταλαντώσεων. Γι' αυτό το λόγο πρέπει να χρησιμοποιούμε τύμπανο με πολύ χαμηλό συντελεστή απωλειών, όσο το δυνατό λιγότερο μονωτικό στις σπείρες, οι ακροδέκτες του πηνίου να βρίσκονται όσο γίνεται σε μεγαλύτερη απόσταση, το ίδιο και οι σπείρες με σημαντικά διαφορετικά δυναμικά, να έχουμε το μεγαλύτερο δυνατό βήμα μεταξύ των σπειρών και σε πηνία πολλών στρώσεων, οι σπείρες να είναι διασταυρούμενες. Πρακτικά η C_d για πηνία απλής στρώσης αέρος είναι σε pF το μισό της ακτίνας του πηνίου σε cm.



Σχήμα 4.18



Σχήμα 4.19



Σχήμα 4.20

Στα πηνία πολλών στρώσεων στο σχ. 4.20 παρουσιάζονται διάφοροι τρόποι τυλίγματος. Στο α έχουμε αρκετή παρασιτική χωρητικότητα διότι η σπείρα 1 και 11 είναι γειτονικές, ενώ στο β έχουμε μικρή παρασιτική χωρητικότητα διότι οι ίδιες σπείρες είναι απομακρυσμένες. Μικρές χωρητικότητες παρουσιάζουν και τα γ, δ για τον ίδιο λόγο. Πολλές φορές το ίδιο πηνίο χωρίζεται σε διάφορους τομείς, όπως στο σχ. 4.19, ώστε οι στρώσεις να απέχουν μεταξύ τους.

Τελικά η κατανεμημένη χωρητικότητα επιδρά στα πραγματικά μεγέθη L, R και Q και τα καθιστά φαινόμενα L_φ, R_φ και Q_φ σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$L_\varphi = L\left(1+\frac{C_d}{C}\right) \qquad 4.41$$

$$R_\varphi = R\left(1+\frac{C_d}{C}\right)^2 \qquad 4.42$$

$$Q_\varphi = \frac{Q}{1+\frac{C_d}{C}} \qquad 4.43$$

όπου C η εξωτερική χωρητικότητα που χρειάζεται για να φέρει το L σε συντονισμό.

Παρατηρείται λοιπόν στο συντονισμό μία αύξηση της αυτεπαγωγής και της αντίστασης του πηνίου, ενώ ο συντελεστής ποιότητας ελαττώνεται, με αποτέλεσμα να αυξάνει το εύρος ζώνης του κυκλώματος σε σχέση με αυτό που έχει υπολογισθεί θεωρητικά.

Η συχνότητα συντονισμού ενός πηνίου δίνεται από τη σχέση:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\left(C + C_d\right)}} \qquad 4.44$$

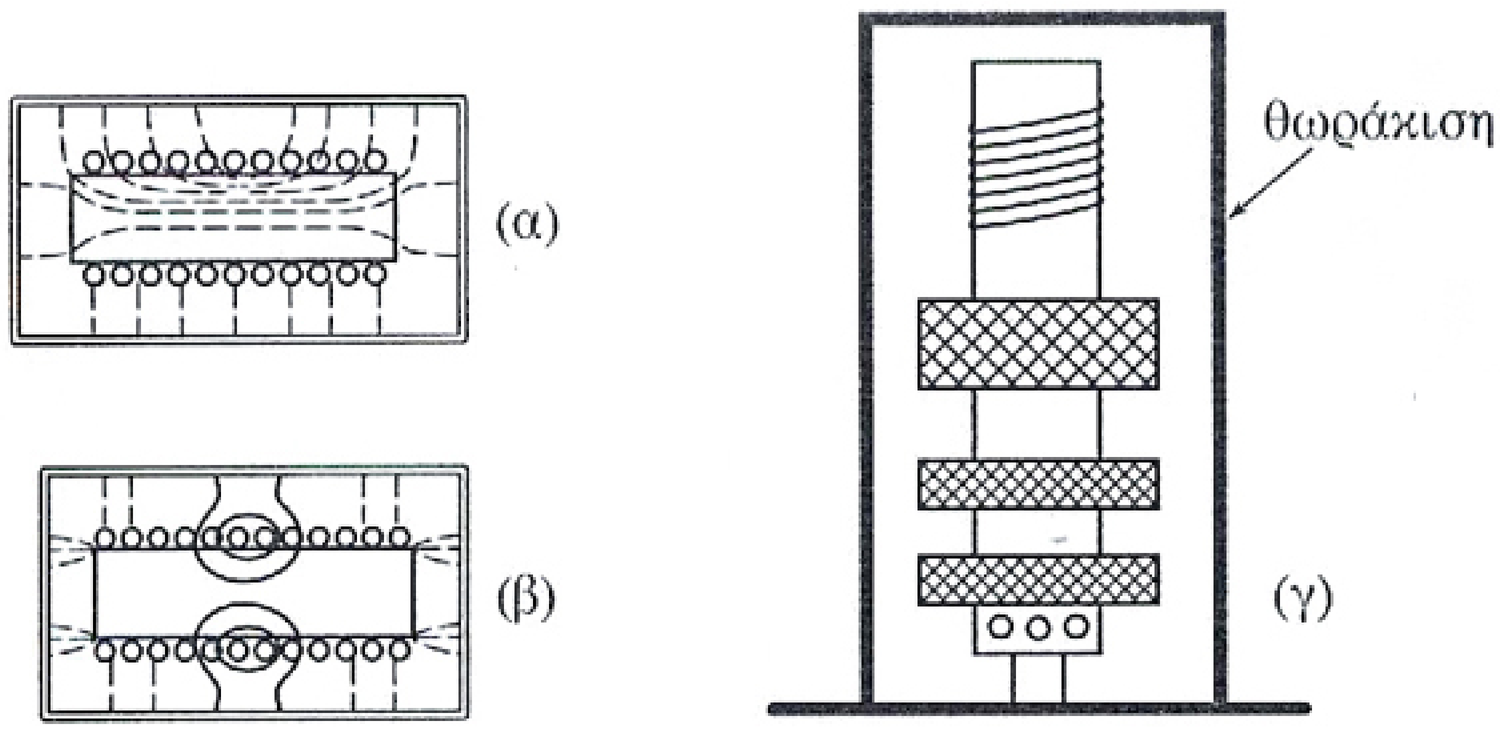
Η C μπορεί να προσδιορισθεί πειραματικά με το συντονισμό του πηνίου σε δύο διαφορετικές συχνότητες f_1 και f_2 με χωρητικότητες C_1 και C_2. Αν εφαρμόσουμε την 4.44 για f_1, f_2, C_1, C_2 τότε έχουμε:

$$C_d = \frac{\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 C_1 - C_2}{1 - \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2} \qquad 4.45$$

Αν επιλέξουμε $f_2 = 2f_1$ τότε προκύπτει:

$$C_d = \frac{C_1 - 4\,C_2}{3} \qquad 4.46$$

η) Πολύ συχνά στα κυκλώματα που περιλαμβάνουν αυτεπαγωγές απαιτείται αυτές να μην επηρεάζουν και επηρεάζονται από τον περιβάλλοντα χώρο. Για την απομόνωση των πηνίων χρησιμοποιούνται μεταλλικοί θώρακες μαγνητικοί (σιδερένιοι) ή αγώγιμοι (αλουμινένιοι ή μπρούτζινοι). Στα πηνία Χ.Σ. χρησιμοποιούνται οι σιδερένιοι έτσι ώστε οι μαγνητικές γραμμές να καταλήγουν στο θώρακα και καμία μαγνητική γραμμή να μην εμφανίζεται έξω από αυτόν σχ. 4.21α. Στα πηνία Υ.Σ. χρησιμοποιούνται οι αγώγιμοι θώρακες οι οποίοι τα περιβάλλουν. Το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί μέσα στη μάζα των θωράκων δινορεύματα Foucault και έτσι απορροφάται όλη τη μαγνητική ενέργεια που φθάνει σ' αυτά. Πολλές φορές για μεγαλύτερη ασφάλεια τοποθετείται και δεύτερος θώρακας που περιβάλλει το πρώτο (σχ. 4.21 β, γ).



Σχήμα 4.21

Οι θώρακες αυτοί γειώνονται. Η απορρόφηση ενέργειας όμως αυξάνει την ισοδύναμη αντίσταση του πηνίου με αποτέλεσμα να ελαττώνεται το Q. Γι' αυτό οι θώρακες πρέπει να βρίσκονται σε κάποια απόσταση από το πηνίο.