

5 Q-metru

Scopul lucrării este deprinderea și însușirea utilizării corecte a Q-metrului. Acesta este un aparat destinat măsurării inductanței și factorului de calitate a bobinelor și indirect a capacității și tangentei de pierderi a condensatoarelor la diferite frecvențe - la rezonanță. El se utilizează de asemenea pentru măsurarea parametrilor dipolilor în studiul dielectricilor și feritelor la înaltă frecvență.

Factorul de calitate a circuitului este o mărime scalară, egală cu raportul dintre energia înmagazinată în circuit și energia disipată de circuit de-a lungul perioadei corespunzătoare unei oscilații - raport, multiplicat cu 2π :

$$Q = 2\pi \frac{\text{energia înmagazinată în circuit}}{\text{energia disipată de circuit de - a lungul unui ciclu}}$$

5.1 Considerații teoretice

Se definește factorul de calitate al unei bobine ca fiind:

$$Q = \frac{\omega L}{r_L} = \frac{R_L}{\omega L} \quad (5.1)$$

unde r_L și R_L sunt rezistențele echivalente serie și paralel ale bobinei conform fig. 5.1 a.

Pentru un condensator factorul de calitate se definește conform ecuației 5.2:

$$Q = \frac{1}{\omega C r_C} = \omega C R_C \quad (5.2)$$

r_C și R_C sunt rezistențele echivalente serie și paralel ale condensatorului, conform schemelor echivalente simplificate prezentate în figura 5.1. b.

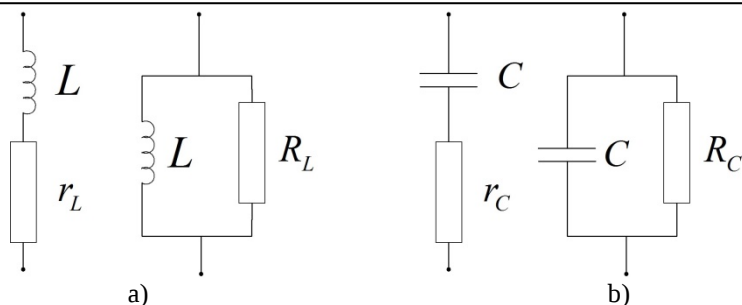


Fig. 5.1. Circuite echivalente serie și paralel ale bobinelor și condensatoarelor

Pentru condensatoare se utilizează pentru exprimarea pierderilor, inversul factorului de calitate numit tangenta unghiului de pierderi.

$$D = \operatorname{tg} \delta = \frac{1}{Q_C} \quad (5.3)$$

În cazul unui circuit oscilant serie, pierderile vor fi determinate de rezistența totală:

$$r = r_L + r_C \quad (5.4)$$

Deci factorul de calitate rezultă:

$$Q = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1}{\omega_0 r C} = \frac{\rho}{R} \quad (5.5)$$

unde ω_0 este pulsația de rezonanță:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5.6)$$

și ρ este impedanța critică

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5.7)$$

Determinând pe r , r_L și r_C din (5.1,5.2,5.5) înlocuind în (5.4) obținem pentru un circuit serie (fig. 5.2):

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_L} + \frac{1}{Q_C} \quad (5.8)$$

respectiv

$$Q = \frac{Q_L Q_C}{Q_L + Q_C} \quad (5.9)$$

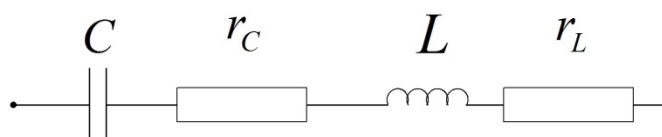


Fig. 5.2. Circuit oscilant serie, schema echivalentă

Un condensator sau o bobină ideală au factorul de calitate teoretic infinit. În general condensatorul se apropie de cazul ideal, încât într-o asemenea aproximație, factorul de calitate al circuitului se confundă cu factorul de calitate al bobinei.

În cazul circuitului oscilant paralel, considerând schema echivalentă derivație - fig. 5.3:

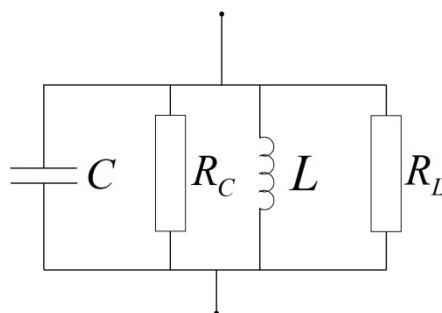


Fig. 5.3. Circuit oscilant paralel, schema echivalentă derivație

$$Q = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 C R \quad (5.10)$$

unde R este rezistența echivalentă:

$$R = \frac{R_L R_C}{R_L + R_C} \quad (5.11)$$

Cum

$$\begin{cases} R_L = Q_L \omega_0 L; & R_c = \frac{Q_C}{\omega_0 C} = Q_C \omega_0 L \\ R = Q \omega_0 L \end{cases} \quad (5.12)$$

rezultă că și în cazul circuitului oscilant derivație factorul de calitate se poate exprima cu relația (5.9).

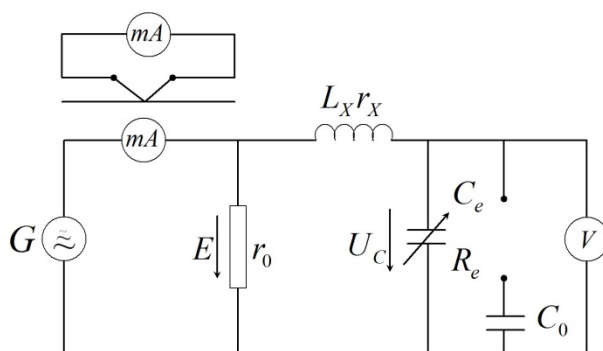


Fig. 5.4 Schema de principiu a Q-metrului

Schema de principiu simplificată a Q-metrului este prezentă în fig. 1.4 și constă din:

G-generator de înaltă frecvență (de la zeci de KHz la sute de MHz);

A-ampermetru de înaltă frecvență (poate fi magnetoelectric cu termocuplu);

r_0 - rezistența de cuplaj de valoare foarte mică ($r_0 \ll 0,05$);

r_x - rezistența echivalentă serie a bobinei L_x - exterioară aparatului;

C_e - condensator etalon variabil cu pierderi neglijabile ($Q_C \gg 5000$);

V - voltmetru electronic.

Circuitul oscilant L_x, C_e este alimentat cu tensiunea:

$$E = I_0 r_0 \quad (5.13)$$

menținută constantă, menținând constant curentul I . La rezonanță, prin reglajul capacității etalon C_e sau frecvenței sursei, reactanța circuitului oscilant devine zero și curentul prin circuitul oscilant ia valoarea:

$$I_0 = \frac{E}{r_x} \quad (5.14)$$

iar tensiunea la bornele condensatorului etalon este maximă:

$$U_C = I_0 X_C = \frac{I_0}{\omega_0 C_e} = I_0 \omega_0 L_x \quad (5.15)$$

Înlocuind pe I_0 rezultă:

$$\frac{U_C}{E} = \frac{\omega_0 L_x}{r_x} = Q_x \quad (5.16)$$

Cum tensiunea E este menținută constantă, factorul de calitate al bobinei este direct proporțional cu tensiunea de pe condensator, măsurată de voltmetrul electronic, a cărui scală se gradează direct în unități de factor de calitate. Pentru o măsurare dată, factorul de calitate se citește în dreptul deviației maxime atinsă de indicatorul voltmetrului.

5.2 Măsurarea directă a factorului de calitate

La rezonanță tensiunea pe condensatorul etalon dată de relația (5.15) nu este maximă (așa cum se afirmă în general), ci doar apropiată de $U_{C_{\max}}$, comițându-se astfel o eroare de metodă, după cum se va vedea mai jos.

Tensiunea de la bornele condensatorului este dată de relația:

$$U_C = \frac{E}{r_x + j(\omega L - \frac{1}{\omega C_e})} \cdot \frac{1}{j\omega C_e} \quad (5.17)$$

sau în modul:

$$U_C = \frac{E}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC_e)^2 + \omega^2 C_e^2 r_x^2}} \quad (5.18)$$

U_C este maxim când numitorul expresiei (5.18.) este minim, ceea ce se întâmplă în următoarele situații:

1. Măsurarea directă cu acordarea circuitului prin reglarea capacității condensatorului etalon :

$$C_{e \min} = \frac{L}{r^2 + \omega^2 L^2} \quad (5.19)$$

$$U_{C \max 1} = E \sqrt{Q^2 + 1} \quad (5.20)$$

$$Q_{1mas} = \sqrt{Q^2 + 1} \cong Q + \frac{1}{2Q} \quad (5.21)$$

Eroarea absolută de metodă este:

$$(\Delta Q_1) = Q_{1mas} - Q = \frac{1}{2Q} \quad (5.22)$$

Respectiv eroarea relativă:

$$\left[\frac{\Delta Q}{Q} \right]_1 = \frac{1}{2Q^2} \quad (5.23)$$

2. Măsurarea directă prin acordarea circuitului prin reglarea frecvenței generatorului etalon (la Q-metrele care permit acest lucru):

$$\omega_{\min} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}} \quad (5.24)$$

$$U_{C \max 2} = EQ \frac{Q}{\sqrt{Q^2 - \frac{1}{4}}} \quad (5.25)$$

$$Q_{2mas} = \frac{Q^2}{\sqrt{Q^2 - \frac{1}{4}}} \cong Q + \frac{1}{8Q} \quad (5.26)$$

Respectiv eroarea relativă:

$$\left[\frac{\Delta Q}{Q} \right]_2 = \frac{1}{8Q^2} \quad (5.27)$$

5.3 Scheme de montaj. Relații de calcul. Erori

5.3.1 Măsurarea inductanțelor de valoare medie

Schema de montaj este cea din fig. 5.4. Se aduce circuitul la rezonanță variind fie valoarea capacității etalon, valoarea frecvenței generatorului, fie ambele. Q_X se citește direct în dreptul deviației maxime a acului indicator.

L_X se calculează:

$$L_X = \frac{1}{\omega^2 C_e} \quad (5.28)$$

(ω și C_e sunt valorile pentru care s-a stabilit rezonanța).

R_X se calculează:

$$R_X = \frac{1}{\omega C Q_X} \quad (5.29)$$

5.3.2 Măsurarea impedanțelor mici (rezistențe mici, conductanțe mici, capacități mari) - admitanțe mari.

Impedanța Z_X se scrie:

$$Z_X = r_X + jX_X \quad (5.30)$$

Schema de măsurare de principiu este prezentată în fig. 5.5.

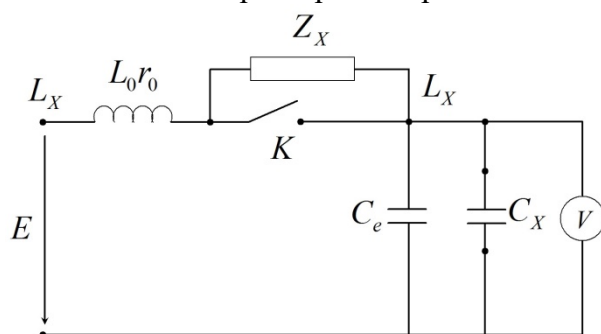


Fig. 5.5 Schema pentru măsurarea impedanțelor mici

Determinările se fac în două etape. În prima etapa (K -închis) la bornele " L_X " se conectează o bobina cunoscută L_0, r_0 (din setul de bobine al Q-metrului) și se aduce la rezonanță pentru pulsația ω și C_{e1} obținându-se Q_1 :

$$Q_1 = \frac{\omega L_0}{r_0} = \frac{1}{\omega C_{e1} r_0} \quad (5.31)$$

În etapa a doua (K -deschis) bobina cunoscută și impedanța necunoscută se leagă în serie și se aduce din nou circuitul la rezonanță pentru aceeași frecvență ω din prima etapa, în acest caz pentru C_{e2} se obține Q_2 :

$$Q_2 = \frac{\omega L_0 + X_X}{r_0 + r_X} = \frac{1}{\omega C_{e2} (r_0 + r_X)} \quad (5.32)$$

După înlocuiri simple rezultă:

$$r_X = (R_0 + R_X) - r_0 = \frac{1}{\omega} \left[\frac{1}{C_{e2} Q_2} - \frac{1}{C_{e1} Q_1} \right] \quad (5.33)$$

$$X_X = (\omega L_0 + X_X) - \omega L_0 = \frac{1}{\omega} \left[\frac{1}{C_{e2}} - \frac{1}{C_{e1}} \right] \quad (5.34)$$

$$Q_X = \frac{|X_X|}{r_X} = \frac{(C_{e1} - C_{e2}) Q_1 Q_2}{C_{e1} Q_1 - C_{e2} Q_2} \quad (5.35)$$

5.3.3 Măsurarea impedanțelor mari (rezistențe mari, inductivități mari, capacități mici) - admitanțe mici

Schema de măsurare de principiu este prezentată în fig. 5.6.

Determinările se fac în două etape. În prima etapă (K deschis) - Z_X este deconectat și circuitul cu bobina auxiliară L_0, r_0 se aduce la rezonanță:

$$\begin{cases} \omega L_0 = \frac{1}{\omega C_{e1}} \\ Q_1 = \frac{\omega L_0}{r_0} = \frac{1}{\omega C_{e1} r_0} \end{cases} \quad (5.36)$$

În etapa a doua se cuplează Z_X în paralel cu C_e (k închis), impedanța totală a circuitului devine:

$$\begin{aligned} Z_2 = R_0 + \frac{G_X}{G_X^2 + (B_X + C_{e2}\omega)^2} + \\ + j \left[\omega L_0 - \frac{B_X + \omega C_{e2}}{G_X^2 + (B_X + \omega C_{e2})^2} \right] \end{aligned} \quad (5.37)$$

Rezultă

$$Z_2 = R_0 + \frac{G_X}{(B_X + \omega C_{e2})^2} + j \left[\omega L_0 - \frac{1}{B_X + C_{e2}} \right] \quad (5.38)$$

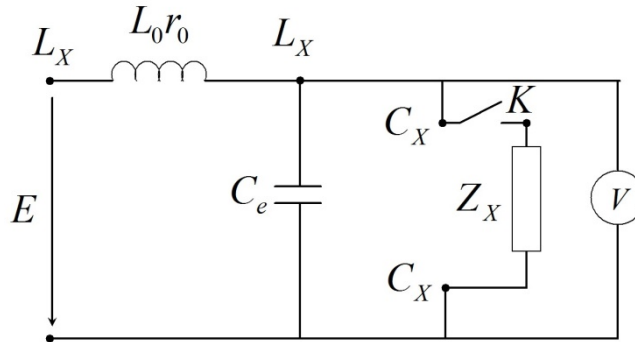


Fig.5.6 Schemă pentru măsurarea impedanțelor mari

La rezonanță, pentru aceeași frecvență ca în etapa întâi:

$$\begin{cases} \text{Im}\{Z_2\} = 0 \Rightarrow B_X + \omega C_{e2} = \frac{1}{\omega L_0} = \omega C_{e1} \\ \text{deci: } B_X = \omega(C_{e1} - C_{e2}) \end{cases} \quad (5.39)$$

Factorul de calitate al circuitului cu dipolul conectat este:

$$\begin{aligned} \frac{1}{Q_2} &= \frac{R_0 + G_X / (B_X + \omega C_{e2})^2}{\omega L_0} = \\ \frac{R_0}{\omega L_0} + \frac{G_X / (B_X + \omega C_{e2})^2}{B_X + \omega C_{e2}} &= \frac{R_0}{\omega L_0} + \frac{G_X}{\omega C_{e1}} \end{aligned} \quad (5.40)$$

unde: $\omega L_0 = B_X + \omega C_{e2}$

de unde rezultă valoarea conductanței măsurate:

$$G_X = \omega C_{e1} \left(\frac{1}{Q_2} - \frac{1}{Q_1} \right) \quad (5.41)$$

Factorul de calitate al dipolului are expresia :

$$Q_X = \frac{|B_X|}{G_X} = \frac{|C_{e1} - C_{e2}|}{C_{e1}} \frac{Q_1 Q_2}{Q_1 - Q_2} \quad (5.42)$$

Relațiile (5.41) și (5.42) se pot scrie la rezonanță:

$$\begin{aligned} X_X &= \frac{1}{\omega(C_{e2} - C_{e1})} \\ R_X &= \frac{Q_1 Q_2}{\omega(C_{e2} Q_1 - C_{e1} Q_2)} \end{aligned} \quad (5.43)$$

5.3.4 Măsurarea capacității proprii a unei bobine

Bobina are o capacitate proprie, inerentă. Notăm C_{0B} aceasta capacitate. Astfel condiția de rezonanță scrisă corect este:

$$\omega^2 L(C_e + C_{0B}) = 1 \quad (5.44)$$

5.3.4.1 Metoda analitică de determinare a capacității proprii a unei bobine.

Aducând circuitul la rezonanță pentru două valori ale pulsației (frecvenței) ω_1 și ω_2 și luând:

$$\omega_1 = \alpha \omega_2 \quad (5.45)$$

relația (5.44) se poate scrie în cele două cazuri:

$$\begin{cases} \omega_1^2 L(C_{e1} + C_{0B}) = 1 \\ \alpha^2 \omega_1^2 L(C_{e2} + C_{0B}) = 1 \end{cases} \quad (5.46)$$

De unde rezultă:

$$C_{0B} = \frac{C_{e1} - \alpha^2 C_{e2}}{\alpha^2 - 1} \quad (5.47)$$

Pentru:

$$\alpha = 2 \quad C_{Ob} = \frac{C_{e1} - 4C_{e2}}{3} \quad (5.48)$$

Pentru:

$$\alpha = \sqrt{2} \quad C_{Ob} = C_{e1} - 2C_{e2} \quad (5.49)$$

5.3.4.2 Metoda grafică de stabilire a capacității proprii a unei bobine.

Relația (5.46.) poate fi scrisă:

$$\frac{1}{f^2} = (2\pi)^2 LC_e + (2\pi)^2 LC_{0B} \quad (5.50)$$

care este ecuația unei drepte (fig. 5.7). Pentru aceeași bobină aducând circuitul la rezonanță la $f_1, C_{e1}; f_2, C_{e2}$ etc. se obține dreapta

exprimată de relația (5.50.) Prelungirea dreptei și intersectarea cu axa absciselor determină valoarea capacității C_{0B} .

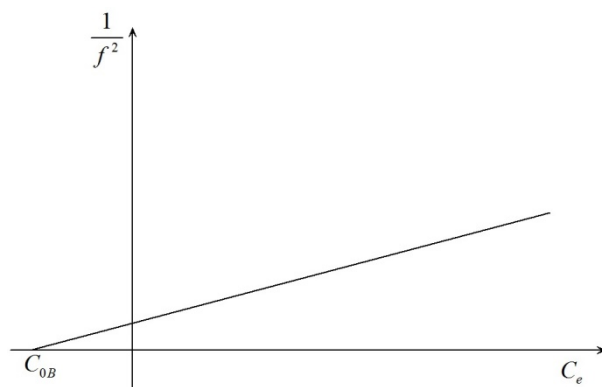


Fig.5.7 Metoda grafică de stabilire a capacității proprii a unei bobine

5.3.5 Măsurarea inductanței parazite a unui condensator

Inductanța parazită a unui condensator determină ca acel condensator să prezinte o capacitate efectivă diferită de cea nominală măsurată în foarte joasă frecvență. Se știe că dacă se notează cu C capacitatea nominală, cu C_{ef} capacitatea efectivă și cu L_C inductanța parazită serie a capacității, la pulsația ω , capacitatea efectivă C_{ef} este dată de relația:

$$C_{ef} = \frac{C}{1 - \omega^2 L_C C} \quad (5.51)$$

Determinând capacitatea efectivă în două măsurători, la două frecvențe ω_1 și ω_2 se deduce:

$$L_C = \frac{C_{ef2} - C_{ef1}}{C(\omega_2^2 C_{ef2} - \omega_1^2 C_{ef1})} \quad (5.52)$$

Dacă se fac mai multe măsurători, inductanța parazită poate fi determinată grafic (fig.5.8).

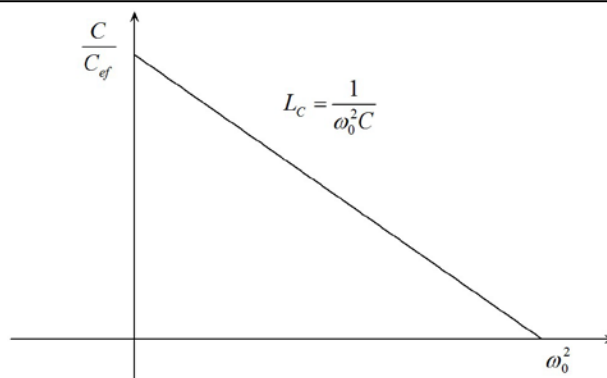


Fig.1.8 Determinarea grafică a inductanței parazite a condensatoarelor

Această metodă poate fi aplicată numai la condensatoare de hârtie, de capacități mari.

5.3.6 Metoda dezacordului de determinare a factorului de calitate (metoda de etalonare a Q-metrului).

Această metodă este mai precisă decât a citirii directe deoarece elimină erorile de etalonare a voltmetrului. Se pot folosi două variante, după cum Q-metrul dispune de un condensator variabil etalonat cu precizie sau de un generator propriu cu o bună etalonare de frecvență.

5.3.6.1 Metoda dezacordului capacitiv

Metoda presupune alegerea unei frecvențe menținută apoi constantă și aducerea la rezonanță a circuitului prin variația fină a capacității condensatorului etalon.

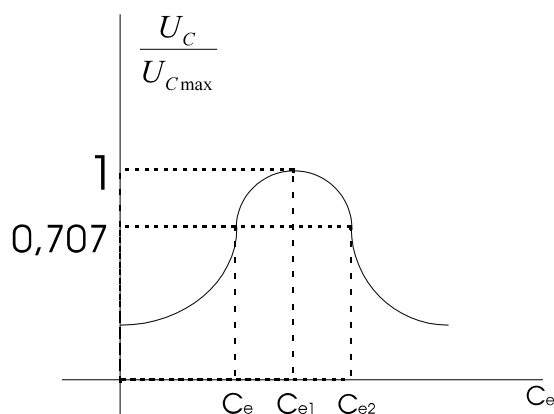


Fig.1.9 Metoda dezacordului capacitiv

Indicația voltmetrului electronic este proporțională cu factorul de calitate al circuitului:

$$U_{C_{\max 1}} = E \sqrt{Q^2 + 1} \quad (5.53)$$

Valoarea reglată a condensatorului etalon în acest caz este dată de

$$C = \frac{L}{(r^2 + \omega^2 L^2)} \quad (5.54)$$

Se impune condiția ca păstrând constantă valoarea frecvenței și modificând capacitatea, deviația voltmetrului să scadă de $\sqrt{2}$ ori față de deviația maximă adică:

$$U_C = \frac{1}{\sqrt{2}} U_{C_{\max}} \quad (5.55)$$

sau:

$$\frac{U_C}{E} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \frac{U_{C_{\max}}}{E} = \frac{1}{\sqrt{2}} Q \quad (5.56)$$

Expresia de mai sus devine:

$$\frac{E}{\omega^2} = (1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 C^2 r^2 = \frac{2}{Q_1^2} \quad (5.57)$$

De unde

$$Q = \frac{2C}{\Delta C_{0,707}} = \frac{C}{|C - C_{0,707}|} \quad (5.58)$$

5.3.6.2 Metoda dezacordului de frecvență

Metoda este similară cu cea precedentă. De această dată se alege o capacitate fixă și se aduce circuitul la rezonanță prin varierea fină a frecvenței.

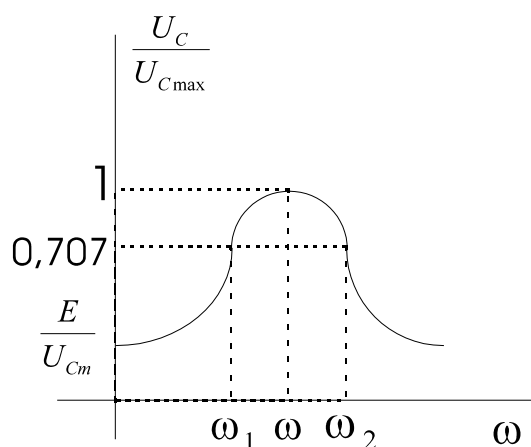


Fig.5.10 . Metoda dezacordului de frecvență

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} \left(1 - \frac{1}{2Q^2} \right) \quad (5.59)$$

$$Q = \frac{f}{\Delta f_{0,707}} = \frac{f}{2|f - f_{0,707}|} \quad (5.60)$$

Metoda dezacordului servește la etalonarea voltmetrului electronic, montat la bornele capacității etalon, pentru etalonarea lui în unități de factor de calitate.

De remarcat că determinarea factorului de calitate prin această metodă este mai precisă decât prin citire directă deoarece sunt înlăturate erorile de etalonare ale voltmetrului.

OBSERVAȚIE IMPORTANTĂ:

Q-metrul este prevăzut pe panoul posterior cu o bornă "FREQUENCY -MEASUREMENT" la care se cuplează un frecvențmetru digital, astfel încât citirile de frecvență să se facă cu rezoluție și implicit precizie ridicată.

5.3.7 Metoda măsurării "Q" a diferenței dintre două valori de factor de calitate.

Scara ΔQ a aparatului servește la o citire directă a diferenței dintre valorile factorului de calitate în cadrul variației 0 ± 30 unități. Acest mod de măsură este foarte util în scopul industrial de sortare a unor circuite a căror factori de calitate nu trebuie să varieze decât în limitele unui interval $\pm \Delta Q$ impus. Modul de lucru este următorul:

- Circuitul de măsură, considerat de referință se conectează la terminalele " L_x ";
- Se calibrează aparatul;
- Se măsoară factorul de calitate al circuitului de referință;
- Selectorul modului de lucru se trece de pe poziția "Q" pe poziția " ΔQ ";
- Acul indicator trebuie fixat pe poziția de zero din centrul scalei , operând din butonul "ZERO- Q";
- Circuitul de referință este schimbat cu altul , având un factor de calitate apropiat. Diferența exactă dintre cele două valori este arătată exact pe scara " ΔQ " a aparatului.

5.4 Aparatura folosită. Modul de experimentare

Se va folosi un aparat Q-metru "Tesla" tip BM 560 de uz industrial, destinat a lucra în gama de frecvență 50 KHz -35 MHz.

Eroarea de indicație a frecvenței în calibrarea scării generatorul este de 1%.

Eroarea de indicație a factorului de calitate citit în urma măsurilor nu este mai mare decât ε_{a1} ,respectiv ε_{a2} unde:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{a1} &= \pm(3 + \frac{Q_m}{Q}) \\ \varepsilon_{a2} &= \pm(6 + \frac{Q_m}{Q})\end{aligned}\quad (5.60)$$

pentru valori măsurate Q a factorului de calitate mai mici respectiv mai mari decât 300.

Valoarea cea mai mică a condensatorului de reglaj este cel mult 25 pF și valoarea cea mai mare este de cel puțin 540 pF.

Pe panoul frontal al Q-metrului este prezentată o nomograma care permite calculul direct al inductivităților măsurate la frecvențele indicate în tabel și marcate cu ” ” pe scara generatorului de frecvență.

Q-metrul este prevăzut cu un set de 12 bobine accesorii. Ele servesc pentru stabilirea parametrilor dipolilor prin metodele de măsurare indicate în secțiunea anterioară.

Caracteristicile acestor bobine sunt prezentate în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1 Caracteristicile bobinelor

Nr. bob	Domeniu de frecvența	Domeniu de factor de calitate Q (unități)	Capacitate de rezonanță (pF)	Inductanța	Capacitate inerentă (pF)
1	50-80 kHz	85-115	350-130	30mH	8,6±2,5
2	80-140 kHz	140-180	360-110	12mH	10±2,5
3	140-240 kHz	160-210	330-105	4,3mH	8,5±2,5
4	240-440 kHz	170-210	410-115	1,15mH	9,5±2,5
5	440-750 kHz	190-240	420-140	330μH	8,5±2,5
6	0,75-1,3 kHz	165-220	410-130	120μH	6±2,5
7	1,3-3 MHz	170-210	400-70	40μH	7±2
8	3-5 MHz	200-230	210-70	13,5μH	6±2
9	5-8 MHz	200-240	170-66,5	6,5μH	5,8±2
10	8-14 MHz	295-400	255-80	1,6μH	5,3±1,5
11	14-24 MHz	350-400	130-40	1μH	4±1,5
12	24-35 MHz	370-420	80-35	0,55μH	3,5±1,5

5.4.1 Manipularea Q-metrului

5.4.1.1 Pregătiri preliminare pentru lucru. Calibrarea

În scopul de a pregăti Q-metrul pentru aplicații este necesar a se controla și a pune în poziții inițiale următoarele:

- selectorul modului de măsură “Q - ΔQ ” pe poziția “Q”;
- comutatorul(din spatele panoului) ”INT-VOLTMETER-OFF” se trece pe poziția ”INT-VOLTMETER”;
- se introduce în spate cordonul de alimentare și comutatorul ”MAINS” (alimentare) se trece pe poziția “~” (După trecerea a aproximativ 15 minute - timp pentru stabilizarea temperaturii în interior - Q-metrul e gata de lucru);

5.4.1.2 Q-metrul se testează după următoarea procedură:

- selectorul generatorului de frecvență (FREQUENCY) trebuie fixat pe prima gamă a scalei;
- selectorul scalei factorului de calitate “Q RANGES” trebuie fixat pe poziția 300;
- pe panoul aparatului în dreptul inscripției “CALIBRATION vQ” există: în partea stângă un buton clapetă care în poziția apăsăat servește pentru verificarea calibrării Q-metrului, în partea dreaptă există un buton de reglare pentru calibrarea modului de funcționare “Q”.

5.4.1.3 Calibrarea modului de funcționare “Q”

Cu butonul clapeta apăsăat, calibrarea se consideră realizată când deviația acului este în dreptul reperului V de pe scala aparatului; la nevoie se reglează din butonul din dreapta inscripției “Q - CALIBRATION”.

Observație: calibrarea se face pentru fiecare gamă de frecvență, dar este valabilă pentru toate domeniile lui Q.

5.4.1.4 Calibrarea modului de funcționare ΔQ

Selectorul modului de lucru este trecut pe poziția “ Q” și selectorul de domenii “Q-RANGES” pe 300, verificarea calibrării se face apăsând pe butonul din stânga inscripției ”CALIBRATION-QV” și reglând la nevoie din butonul din dreptul inscripției “ZERO - Q”. Deviația acului trebuie să se stabilească în dreptul reperului “O” de pe scala aparatului.

[illegible]

5.5 Observații și concluzii

Se va studia cu atenție partea teoretică a lucrării întrucât ea reprezintă singura posibilitate de însușire a modului de măsurare cu Q-metrul.

Se vor trage concluzii referitoare la avantajele fiecărei metode de măsurare în parte, precum și asupra erorilor de măsurare aferente.