

Lucrarea 8

Q-metrul

1. Obiectivul lucrării

Lucrarea dorește să prezinte metoda de măsurare cu Q-metrul.

2. Principii teoretice

2.1 Q-metrul. Definirea factorului de calitate

Q-metrul este un aparat destinat măsurării directe a inductanței și a factorului de calitate a bobinelor și măsurării indirecte a capacității și tangentei unghiului de pierderi a condensatoarelor la diferite frecvențe pentru circuitele aflate în rezonanță. El se utilizează de asemenea pentru măsurarea parametrilor dipolilor în studiul dielectricilor și feritelor la înaltă frecvență.

Factorul de calitate al 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 ce va fi multiplicat cu 2π :

$$Q = 2\pi \frac{\text{energia înmagazinată în circuit}}{\text{energia disipată de circuit de - a lungul unui ciclu}} \quad (1)$$

Cu ajutorul parametrilor caracteristici se definesc :

- factorul de calitate al unei bobine:

$$Q = \frac{\omega L R_L}{r_L \omega L} \quad (2)$$

- factorul de calitate al condensatorului:

$$Q = \frac{1}{\omega C r_C} = \omega C R_C \quad (3)$$

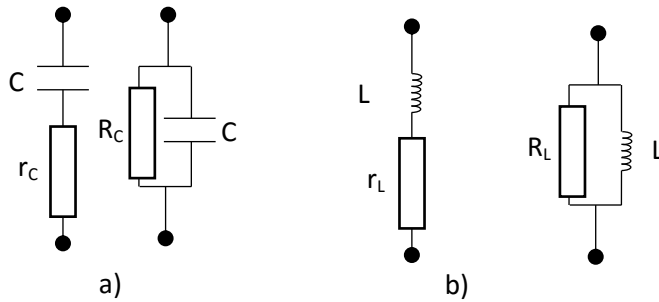


Fig. 1

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

$$D = \operatorname{tg} \delta = \frac{1}{Q_C} \quad (4)$$

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

$$r = r_L + r_C \quad (5)$$

Deci factorul de calitate rezultă:

$$Q = \frac{\omega_0 L}{r} = \frac{1}{\omega_0 C r} = \frac{\rho}{R} \quad (6)$$

unde ω_0 este pulsația de rezonanță:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (7)$$

și ρ este impedanța critică:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (8)$$

Determinând pe r , r_L și r_C din (2), (3), (6) și înlocuind în (5) obținem pentru un circuit serie:

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_L} + \frac{1}{Q_C} \quad (9)$$

respectiv:

$$Q = \frac{Q_L Q_C}{Q_L + Q_C} \quad (10)$$

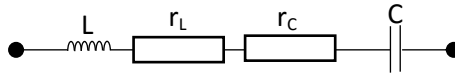


Fig. 2

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. 3):

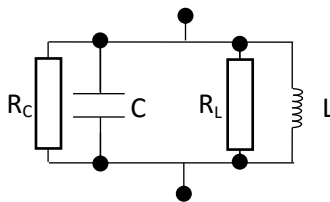


Fig. 3

$$Q = \frac{R}{\omega_0 L} = \omega_0 C R \quad (11)$$

unde R este rezistența echivalentă:

$$R = \frac{R_L R_C}{R_L + R_C} \quad (12)$$

Cum din analiza circuitului din figura 3 se poate calcula:

$$\begin{cases} R_L = Q_L \omega_0 L \\ R_C \frac{Q_C}{\omega_0} = Q_C \omega_0 L \\ R = Q \omega_0 L \end{cases} \quad (13)$$

rezultă că și în cazul circuitului oscilant derivație factorul de calitate se poate exprima cu relația (10).

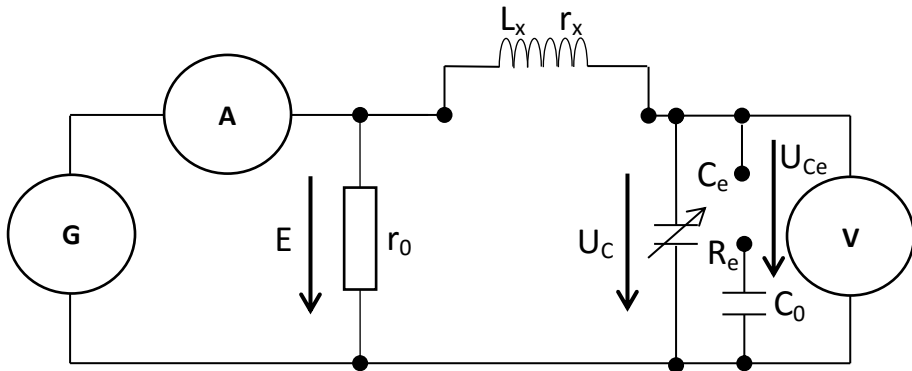


Fig. 4

Schema de principiu simplificată a Q-metrului este prezentată în figura 4 și constă în:

- G -generator de înaltă frecvență (de la zeci de Khz la sute de Mhz);
- A - ampermetru de înaltă frecvență;
- r_0 - rezistență de cuplaj de valoare foarte mică ($r_0 < 0,05 r_L \ll r_x$);
- r_x - rezistență echivalentă serie a bobinei L_x -exterioară aparatului;
- C_e - condensator etalon variabil cu pierderi neglijabile ($Q_C > 5000$);
- V - voltmetru electronic.

- Circuitul oscilant $L_X C_e$ este alimentat cu tensiunea:

$$E = I_0 r_0 \quad (14)$$

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

$$I_0 = \frac{E}{r_X} \quad (15)$$

iar tensiunea la bornele condensatorului etalon este maximă:

$$U_{C_e} = I_0; \quad X_{C_e} = \frac{I_0}{\omega_0 C_e} = I_0 \omega_0 L_X \quad (16)$$

înlocuind pe I_0 rezultă:

$$\frac{U_{C_0}}{E} = \frac{\omega_0 L_X}{r_X} = Q_X \quad (17)$$

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.

2.2 Măsurarea directă a factorului de calitate

La rezonanță tensiunea pe condensatorul etalon dată de relația (16) nu este maximă (așa cum se afirmă în general), ci doar apropiată de U_{cmax} , comițându-se astfel o eroare de metodă, după cum se va vedea mai jos.

Tensiunea de la bornele condensatorului este dată de relația:

$$U_C = \frac{E}{r_X + j(\omega L - \frac{1}{\omega C_e})} \quad (18)$$

sau în modul:

$$U_c = \frac{E}{\sqrt{(1 - \omega^2 LC_e)^2 + \omega^2 C_e^2 r_x^2}} \quad (19)$$

U_c este maxim când numitorul expresiei (19) este minim, ceea ce se întâmplă în următoarele situații:

2.2.1 Măsurarea directă cu acordarea circuitului prin reglarea capacității condensatorului etalon

Derivând în raport cu variabila C_e , adică reglând condensatorul C_e până la valoarea:

$$C_{e \min} = \frac{L}{r^2 + \omega^2 L^2} \quad (20)$$

și introducând în (19) se obține:

$$U_{C \max 1} = E\sqrt{Q^2 + 1} \quad (21)$$

adică deviația maximă pe scala voltmetrului electronic corespunde unui factor de calitate mai mare decât cel pentru care aparatul a fost etalonat - relația(18).

Valoarea factorului de calitate măsurat este :

$$Q_{1mas} = \sqrt{Q^2 + 1} = Q\left(1 + \frac{1}{Q}\right)^{\frac{1}{2}} \cong Q + \frac{1}{2Q} \quad (22)$$

Eroarea absolută este:

$$(\Delta Q_q) = Q_{1mas} - Q = \frac{1}{2Q} \quad (23)$$

Respectiv eroarea relativă:

$$\left[\frac{\Delta Q}{Q}\right]_1 = \frac{1}{2Q^2} \quad (24)$$

Pentru $Q > 10$ eroarea relativă este mai mică de 0,25%.

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

Derivând numitorul relației (19) în raport cu ω , adică variind frecvența generatorului pentru un C_e ales, se obține maximum expresiei (19) pentru:

$$\omega_{min} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{2Q^2}} \quad (25)$$

și după înlocuiri:

$$U_{c_{max2}} = EQ \frac{Q}{\sqrt{Q^2 - \frac{1}{4}}} \quad (26)$$

Se observă că $U_{C_{max2}} < U_{C_{max1}}$, deci mai apropiat de U_{CO} -relația (17), încât eroarea de metodă este mai mică decât în cazul precedent.

În această situație valoarea factorului de calitate măsurat este:

$$Q_{2mas} = \frac{Q^2}{\sqrt{Q^2 - \frac{1}{4}}} \cong Q \left(1 - \frac{1}{4Q}\right)^{-\frac{1}{2}} = Q + \frac{1}{8Q} \quad (27)$$

Eroarea relativă de metodă este:

$$\left[\frac{\Delta Q}{Q} \right]_2 = \frac{1}{8Q^2} \quad (28)$$

Se observă că pentru $Q > 10$ eroarea relativă este mai mică de 0,07%.

3. Schema de montaj. Relații de calcul. Erori

3.1 Măsurarea inductanțelor de valoare medie

Schema de montaj este cea din figura 4. Se aduce circuitul la rezonanță variind fie valoarea capacității etalon, fie valoarea frecvenței generatorului, fie ambele. Q_x se citește direct în dreptul deviației maxime a acului indicator.

L_x se calculează:

$$L_x = \frac{1}{\omega^2 C_e} \quad (29)$$

R_x se calculează:

$$R_x = \frac{1}{\omega C Q_x} \quad (29)$$

3.2 Măsurarea impedanțelor mici (rezistențe mici, conductanțe mici, capacități mari) – admitanțe mari.

Impedanța Z_x se scrie:

$$Z_x = r_x + jX_x \quad (30)$$

Schema de măsurare de principiu este prezentată în figura 5.

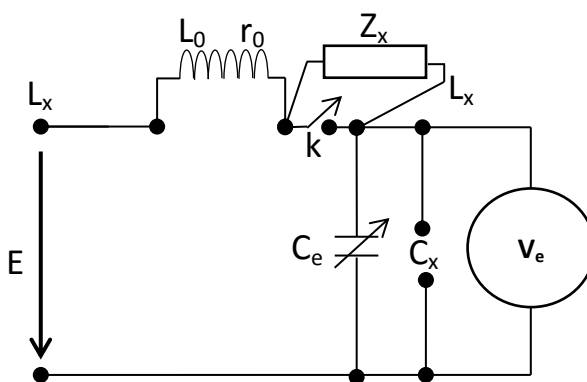


Fig. 5

Determinările se fac în două etape. În prima etapă (K-închis) la bornele “L_X” se conectează o bobină cunoscută L₀, r₀ (din setul de bobine al Q-metrului) și se aduce la rezonanță pentru pulsația ω și capacitatea C_{e1} obținându-se Q₁:

$$Q_1 = \frac{\omega L_0}{r_0} = \frac{1}{\omega C_{e1} r_0} \quad (31)$$

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 pulsație ω din prima etapă, în acest caz pentru C_{e2} se obține Q₂:

$$Q_2 = \frac{\omega L_0 + X_X}{r_0 + r_X} = \frac{1}{\omega C_{e2} (r_0 + r_X)} \quad (32)$$

După înlocuiri simple rezultă:

$$r_X = (R_0 + R_X) - r_0 = \frac{1}{\omega} \left[\frac{1}{C_{e2} Q_2} - \frac{1}{C_{e1} Q_1} \right] \quad (33)$$

$$X_X = (\omega L_0 + X_X) - \omega L_0 = \frac{1}{\omega} \left[\frac{1}{C_{e2}} - \frac{1}{C_{e1}} \right] \quad (34)$$

$$Q_X = \frac{|X_X|}{r_X} = \frac{(C_{e1} - C_{e2}) Q_1 Q_2}{C_{e1} Q_1 - C_{e2} Q_2} \quad (35)$$

În relația (34) dacă C_{e1} > C_{e2} reactanța X_X are caracter inductiv și inductanța echivalentă este:

$$L = \frac{C_{e1} - C_{e2}}{2\pi f C_{e1} C_{e2}} \quad (36)$$

În relația (34) dacă C_{e1} < C_{e2} reactanța X_X are caracter capacitiv și capacitatea echivalentă este:

$$C = \frac{C_{e1} C_{e2}}{C_{e2} - C_{e1}} \quad (37)$$

3.3 Măsurarea impedanțelor mari (rezistențe mari, conductanțe mari, capacități mari) – admitanțe mici.

Impedanța mare Z_X are admitanța echivalentă:

$$Y_X = G_X - jB_X; \quad Z_X = \frac{1}{Y_X} = \frac{G_X}{G_X^2 + B_X^2} + j \frac{B_X}{G_X^2 + B_X^2} \quad (38)$$

Factorul de calitate al unui dipol se definește ca raportul dintre reactanța și rezistența sa:

$$Q = \frac{X}{R} \quad (39)$$

Schema de măsurare de principiu este prezentată în figura 6.

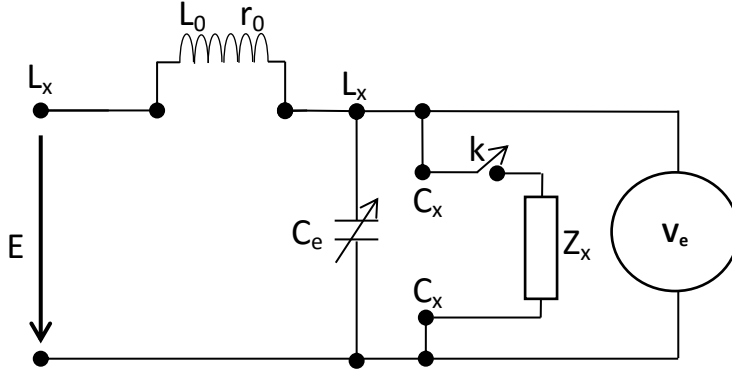


Fig.6

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:

$$\begin{cases} \omega L_0 = \frac{1}{\omega C_{e1}} \\ Q_1 = \frac{\omega L_0}{r_0} = \frac{1}{\omega C_{e1} r_0} \end{cases} \quad (40)$$

În etapa a doua se cuplează dipolul Y_x în paralel cu C_e (K-inchis), impedanța totală a circuitului devine:

$$Z_2 = R_0 + \frac{G_X}{G_X^2 + (B_X + C_{e2}\omega)^2} + j \left[\omega L_0 - \frac{B_X + \omega C_{e2}}{G_X^2 + (B_X + C_{e2}\omega)^2} \right] \quad (41)$$

G_X^2 se poate neglija și Z_2 devine:

$$Z_2 = R_0 + \frac{G_X}{(B_X + C_{e2}\omega)^2} + j \left[\omega L_0 - \frac{1}{B_X + C_{e2}} \right] \quad (42)$$

La rezonanță, pentru aceeași frecvență ca în etapa întâi:

$$\begin{cases} \{Z_2\} = 0 \Rightarrow B_X + \omega C_{e2} = \frac{1}{\omega L_0} = \omega C_{e1} \\ \text{deci: } B_X = \omega(C_{e1} - C_{e2}) \end{cases} \quad (43)$$

Factorul de calitate al circuitului cu dipolul conectat este:

$$\frac{1}{Q_2} = \frac{R_0 + G_X/(B_X + C_{e2}\omega)^2}{\omega L_0} = \frac{R_0}{\omega L_0} + \frac{G_X/(B_X + C_{e2}\omega)^2}{B_X + \omega C_{e2}} = \frac{R_0}{\omega L_0} + \frac{G_X}{\omega C_{e1}} \quad (44)$$

unde:

$$\omega L_0 = B_X + \omega C_{e2} \quad (45)$$

de unde rezultă valoarea conductanței măsurate:

$$G_X = \omega C_{e1} \left(\frac{1}{Q_2} - \frac{1}{Q_1} \right) \quad (46)$$

Factorul de calitate al dipolului are expresia:

$$Q_X = \frac{|B_X|}{G_X} = \frac{|C_{e1} - C_{e2}|}{C_{e1}} \frac{Q_1 Q_2}{Q_1 - Q_2} \quad (47)$$

Relațiile (46) și (47) se pot scrie la rezonanță:

$$R_X = \frac{Q_1 Q_2}{\omega(C_{e2} Q_1 - C_{e1} Q_2)} \quad (47)$$

$$X_X = \frac{1}{\omega(C_{e2} - C_{e1})} \quad (48)$$

Dipolul are caracter inductiv când $C_{e1} < C_{e2}$ și inductanța echivalentă este:

$$L = \frac{1}{\omega^2(C_{e2} - C_{e1})} \quad (49)$$

Dipolul are caracter capacitiv când $C_{e1} > C_{e2}$ și capacitatea echivalentă este:

$$C = C_{e1} - C_{e2} \quad (50)$$

3.4 Măsurarea capacității proprii a unei bobine.

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

$$\omega^2 L(C_e + C_{Ob}) = 1 \quad (51)$$

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

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

$$\omega_1 = \alpha \omega_2 \quad (52)$$

relația (51) se poate scrie în cele două cazuri:

$$\begin{cases} \omega_1^2 L(C_{e1} + C_{Ob}) = 1 \\ \alpha^2 \omega_1^2 L(C_{e1} + C_{Ob}) = 1 \end{cases} \quad (53)$$

De unde rezultă:

$$C_{Ob} = \frac{C_{e1} - \alpha^2 C_{e2}}{\alpha^2 - 1} \quad (54)$$

pentru:

$$\alpha = 2 \quad C_{Ob} = \frac{C_{e1} - 4C_{e2}}{3} \quad (55)$$

pentru:

$$\alpha = \sqrt{2} \quad C_{Ob} = C_{e1} - 2C_{e2} \quad (56)$$

3.4.1 Metoda grafică de stabilire a capacității proprii unei bobine.

Relația (51) poate fi scrisă:

$$\frac{1}{f^2} = (2\pi)^2 LC_e + (2\pi)^2 LC_{Ob} \quad (57)$$

care este ecuația unei drepte (figura 7). Pentru aceeași bobină aducând circuitul la rezonanță la $f_1, C_{e1}; f_2, C_{e2}$ etc. se obține dreapta exprimată de relația (53). Prolungirea dreptei și intersecția acesteia cu axa absciselor determină valoarea capacității C_{Ob} .

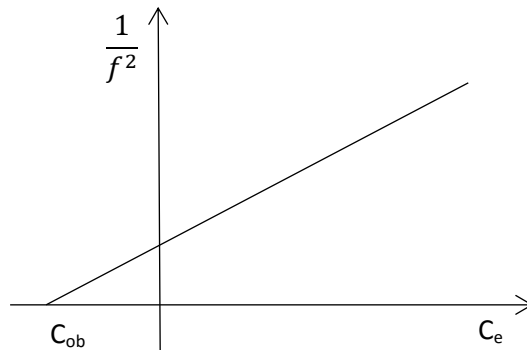


Fig. 7

Metoda grafică este mai puțin comodă față de cea analitică.

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:

$$C_{ef} = \frac{C}{1 - \omega^2 L_c C} \quad (58)$$

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

$$L_c = \frac{C_{ef2} - C_{ef1}}{C(\omega_2^2 C_{ef2} - \omega_1^2 C_{ef1})} \quad (59)$$

Dacă se fac mai multe măsurători, inductanța parazită poate fi determinată grafic (figura 8).

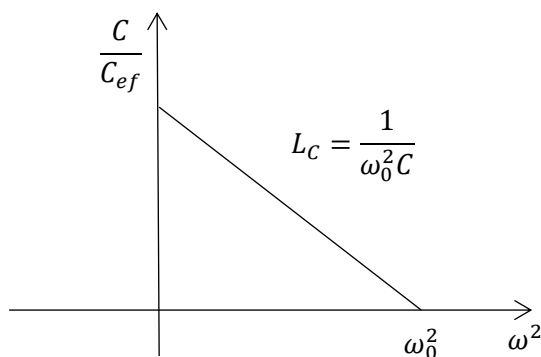


Fig. 8

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

Deci măsurătorile se fac după metoda de la paragraful 3.2 (montajul din figura 5) și C_{ef} se determină cu relația (37).

Pentru măsurarea condensatoarelor de precizie, care prezintă o capacitate mică și o inductanță extrem de mică, măsurătorile se fac după metoda de la punctul 3.3 (montajul din figura 6) și C_{ef} se determină cu relația (47), L_c determinându-se tot cu relația (55.). Ca și în cazul determinării capacității parazite a unei bobine, erorile care afectează o singură determinare pot fi eliminate, repetându-se măsurarea la diferite frecvențe și trasându-se graficul $L_c \omega^2$ în funcție de ω^2 . Panta acestei drepte este tocmai inductanța L_c .

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 ale 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.

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.

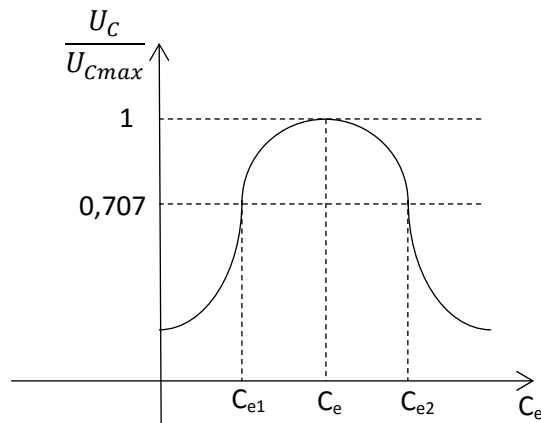


Fig. 9

Indicația voltmetrului electronic este dată de relația (21), prin urmare va fi proporțională cu factorul de calitate al circuitului, așa cum s-a menționat.

Valoarea reglată a condensatorului etalon în acest caz este dată de relația (20):

$$C = \frac{L}{r^2 + \omega^2 L} \quad (60)$$

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

$$U_C \frac{1}{\sqrt{2}} U_{Cmax} \quad (61)$$

sau

$$\frac{U_C}{E} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{U_{Cmax}}{E} = \frac{1}{\sqrt{2}} Q \quad (62)$$

Ținând cont de relația (19) expresia de mai sus devine:

$$\frac{E}{\omega^2} = (1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 C^2 r^2 = \frac{2}{Q_1^2} \quad (63)$$

Soluțiile acestei ecuații C_1 , C_2 sunt tocmai valorile capacității etalon pentru care este realizată condiția (62).

Din relațiile (63) și (20) se constată că:

$$C_1 + C_2 = 2C_{e\ min} \quad (64)$$

și expresia (65) se poate scrie:

$$Q = \frac{2C}{C_2 - C_1} = \frac{C_1 + C_2}{C_2 - C_1} = \frac{C}{C - C_1} = \frac{C}{C_2 - C} \quad (65)$$

Oricare din expresiile (65) servesc pentru determinarea prin calcul a factorului de calitate. De reținut că C_1 și C_2 sunt valorile capacității etalon pentru care deviația Q-metrului scade cu 3dB față de valoarea deviației maxime - respectiv este satisfăcută relația (61). Aceste valori ale capacităților sunt întâlnite sub forma $C_{0,707}$ și relația (65) se mai scrie:

$$Q = \frac{2C}{\Delta C_{0,707}} = \frac{C}{|C - C_{0,707}|} = \frac{\varepsilon_{C_{0,707}}}{|\Delta C_{0,707}|} \quad (66)$$

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.

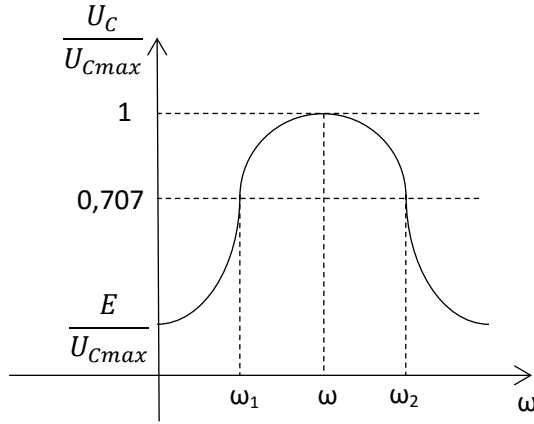


Fig. 10

Indicația voltmetrului electronic este dată de relația (26), deci, așa cum s-a arătat, va fi proporțională cu factorul de calitate al circuitului. Valoarea reglată a frecvenței în acest caz este dată de relația (25) sau:

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} \left(1 - \frac{1}{2Q^2} \right) \quad (67)$$

Se impune aceeași condiție: păstrând constantă valoarea capacității și modificând frecvența ca deviația să scadă de $\sqrt{2}$ față de deviația maximă, adică condiția (61) și cu rezolvarea aceleiași ecuații (62) însă în raport cu ω :

$$\omega^4 L^2 C^2 - \omega(2LC - C^2 r^2) + \left(1 - \frac{2}{Q_2^2} \right) = 0 \quad (68)$$

unde Q_2 este dat de relația (27)

După transformări simple, raportul $2\omega^2/\omega_2^2 - \omega_1^2$ devine:

$$Q = \frac{2\omega^2}{\omega_2^2 - \omega_1^2} = \frac{\omega}{\omega_2 - \omega_1} \frac{2\omega}{\omega_2 + \omega_1} \cong \frac{\omega}{\omega_2 - \omega_1} = \frac{\omega}{2(\omega - \omega_1)} = \frac{\omega}{2(\omega_2 - \omega)} \quad (69)$$

Oricare din aceste expresii servesc pentru determinarea factorului de calitate prin metoda decalajului de frecvență.

În literatură, expresia (69) se întâlnește scrisă sub forma:

$$Q = \frac{f}{\Delta f_{0,707}} = \frac{f}{2|f - f_{0,707}|} = \frac{\varepsilon_{f_{0,707}}}{|\Delta f_{0,707}|} \quad (70)$$

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.

3.7 Metoda măsurării diferenței dintre două valori de factor de calitate ΔQ

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 ai căror factori de calitate nu trebuie să varieze decât în limitele unui interval $\pm \Delta Q$ impus.

Modul de lucru este urmatorul:

- Circuitul de măsură, considerat de referință se conectează la terminalele “L_x”;
- Se calibrează aparatul;
- Se masoară 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- ΔQ ”;
- Circuitul de referință este schimbat cu altul, având un factor de calitate apropiat. Diferența exactă dintre cele două valori este indicată exact pe scala “ ΔQ ” a aparatului.

4. Mersul lucrării.

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 scalei generatorului este de 1%.

Eroarea de indicație a factorului de calitate citit în urma măsurărilor nu este mai mare de ε_{a1} , pentru valori ale frecvenței mai mici de 25 MHz și pentru valori măsurate Q ale factorului de calitate mai mici de 300, respectiv ε_{a2} în rest, unde:

$$\varepsilon_{a1} = \pm(3 + Q_m/Q);$$

$$\varepsilon_{a2} = \pm(6 + Q_m/Q).$$

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 nomogramă care permite calculul direct al inductivităților măsurate la frecvențele indicate în tabel și marcate cu „.” pe scala 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 1.

Tabelul 1

Nr. bobină	Domeniu de frecvență	Domeniu de factor de calitate Q (unități)	Capacitate de rezonanță (pF)	Inductanță	Capacitate (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 Mhz	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

4.1 Manipularea Q-metrului

4.1.1 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 este gata de lucru);

4.1.2 Testarea.

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 stânga un buton clapetă care în poziția apăsată servește pentru verificarea calibrării Q-metrului, în partea dreaptă există un buton de reglare pentru calibrarea modului de funcționare "Q".

4.1.3 Calibrarea modului de funcționare Q.

Cu butonul clapetă apăsător, calibrarea se consideră realizată când deviația acului este în dreptul reperului V (de culoare roșie) 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.

4.1.1 Calibrarea modului de funcționare ΔQ .

Selectorul modului de lucru este trecut pe poziția " ΔQ " și selectorul de domenii "Q-RANGES" pe 300, verificarea calibrării se face apăsând pe butonul din stânga inscripției "CALIBRATION-Q ∇ " și reglând la nevoie din butonul din dreptul inscripției "ZERO- ΔQ ". Deviația acului trebuie să se stabilească în dreptul reperului "0" de pe scala aparatului.

4.2 Măsurători cu Q-metrul

Lucrarea practică propriu-zisă constă în măsurarea parametrilor la un set de bobine prin metodele expuse la paragraful 2.

- Măsurarea factorului de calitate prin metoda directă a dezacordului de frecvență și a dezacordului capacitiv la același set de bobine.
- Măsurarea factorului de calitate prin modul de operare "ΔQ" a unui set de bobine față de o bobina de referință.

Datele se vor trece în tabelul 2.

Tabelul 2

Nr. bobinei	f [Hz]	C [pF]	Q	U [mV]	L [mH]	ε % (dezacord - valoare măsurată)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

5. Analiza rezultatelor

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.

6. Notatii

Tabelul 3 prezintă notațiile folosite în această lucrare.

Tabelul 3

Termen	Explicație
ω	Pulsația
ω_0	Pulsația de rezonanță
ρ	Impedanța critică
C	Capacitate
C_e	Condensator etalon
C_{ef}	Capacitatea efectivă
C_{Ob}	Capacitatea proprie a bobinei
E	Tensiune
ϵ_a	Eroarea absolută
ϵ_r	Eroarea relativă
f	Frecvență
G_x	Conductanța măsurată
I	Curent
I_0	Curentul prin circuitul oscilant
L	Inductanță
L_c	Inductanța parazită serie a capacității
Q	Factor de calitate
Q_L	Factor de calitate al bobinei
Q_C	Factor de calitate al condensatorului
R	Rezistența echivalentă
r	Rezistența totală
r_x/R_x	Rezistență echivalentă serie a bobinei
r_C/R_C	Rezistența condensatorului
r_L/R_L	Rezistența bobinei

$\operatorname{tg}\delta$	Tangenta unghiului de pierderi
U_c	Tensiunea la bornele condensatorului
U_{ce}	Tensiunea la bornele condensatorului etalon
X	Reactanță
X_c	Reactanță inductivă
X_L	Reactanță capacitivă
Y	Admitanță
Z	Impedanță