

Bobine

Scopul lucrării : Măsurarea comportării cu frecvența a bobinelor.

Bobina este o componentă electronică reactivă de circuit și are ca parametru electric esențial **inductivitatea proprie sau inductanța, L** . Dacă printr-o bobină ideală având inductanța L circulă un curent variabil în timp rezultă ,

$$(1) \quad u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

Caracterizarea bobinei practice (tehnice) numai prin mărimea inductanță este de cele mai multe ori insuficientă. Bobina tehnică (reală) este caracterizată de următorii parametri principali: **inductanța L , rezistența totală de pierderi r și capacitatea parazită C_0** . Elementele r și C_0 se mai numesc parazite ; acestea apar inerent la fabricarea bobinei și este necesar să se caute soluții pentru minimizarea lor.

La trecerea unui curent printr-o bobină aceasta va crea un flux magnetic proporțional cu intensitatea curentului,

$$(2) \quad \Phi(t) = L i(t)$$

Mărimea inductanței depinde de forma și dimensiunile geometrice ale bobinei (S, l), de numărul de spire al înfășurării bobinei (N) și de natura materialului prin care se închid liniile de flux magnetic (μ). Pentru o bobină a cărui flux se închide în totalitate printr-un mediu magnetic omogen de arie transversală constantă în orice punct al liniilor de câmp, avem,

$$(3) \quad \left\{ \begin{array}{l} L = \mu \frac{N^2 S}{l} \\ \mu = \mu_0 \cdot \mu_r \\ \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ (H/m) este permeabilitatea absolută a vidului} \\ \mu_r = \text{permeabilitatea relativă a materialului magnetic} \\ \mu_r \geq 1 \text{ în cazul bobinelor cu aer} \end{array} \right.$$

Pentru obținerea de inductivități mari, înfășurarea bobinei se realizează pe un miez magnetic , acesta având proprietatea importantă de a concentra prin el liniile de câmp magnetic (prin material liniile de câmp se închid mai ușor decât prin aer). Întreruperea longitudinală a miezului magnetic se numește întrefier și se utilizează pentru a controla intensitatea câmpului magnetic care determină fenomenul de saturație magnetică în material. Materialele magnetice utilizate pentru construcția miezurilor prezintă o dependență neliniară (cu histerezis) a inducției ca funcție de intensitatea câmpului magnetic. Interacțiunea substanței cu câmpul magnetic este caracterizată de fenomene de întârziere de tip cauzal acestea determinând caracter

complex al permeabilității magnetice relative atunci când bobina funcționează în regim armonic.

$$(4) \quad \underline{\mu}_r = \frac{1}{\mu_0} \frac{\underline{B}}{\underline{H}} = \underline{\mu}' - j\underline{\mu}''$$

O bobină ideală, având în vid inductivitatea L are în regim armonic impedanța,

$$(5) \quad \begin{cases} \underline{Z}_L = jX_L = j\omega L \\ X_L = \omega L \text{ se numește reactanța inductivă} \\ \omega = 2\pi f, \text{ este pulsația mărimilor electrice} \end{cases}$$

Dacă o bobină reală are un miez magnetic de permeabilitate complexă relativă $\underline{\mu}'$, aceasta are o impedanță (în ipoteza flux de scăpări nul),

$$(6) \quad \begin{cases} \underline{Z}_L = j\omega (\underline{\mu}_r L) = j\underline{\mu}' \cdot X_L + \underline{\mu}'' \cdot X_L = r_m + j\omega L_m \\ r_m = \text{rezistența pierderilor în miezul magnetic la pulsația } \omega \\ L_m = \text{inductanța echivalentă a bobinei cu miez} \end{cases}$$

Pentru bobinele cu miez magnetic inductanța variază odată cu modificarea permeabilității magnetice relative funcție de densitatea liniilor de câmp magnetic ce străbat miezul deci funcție de intensitate curentului electric prin spirele bobinei. Ne așteptăm din acest motiv ca la aceeași frecvență dar la nivele de solicitare în curent diferite să obținem rezultate diferite pentru inductanța bobinei. Rezultatele sunt cu atât mai diferite cu cât permeabilitatea relativă este mai mare (miez din fier moale , din permalloy sau din mumetal).

Rezistența totală de pierderi în curent alternativ este o măsură a pierderilor de energie activă în bobina reală.

Modelul bobinei reale cu N spire rezultă din analiza unei singure spire și din faptul că spirele (N) sunt înseriate. Fiecare spiră are în regim alternativ, o rezistență echivalentă mai mare decât cea din curent continuu din cauza efectului pelicular. La valori ale frecvenței mai mari decât o valoare critică rezistența de pierderi a unei spire (material **Cu**) este proporțională cu radicalul frecvenței ,

$$(7) \quad r_{Cu1} = \text{const.} \sqrt{f}$$

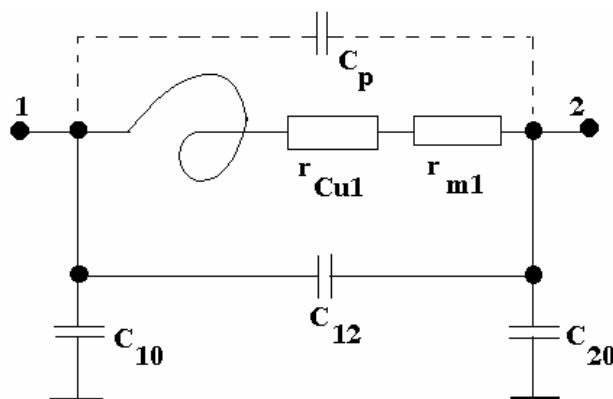


Fig. 1

Datorită fenomenelor de magnetizare, în cazul bobinei cu miez magnetic, există pierderi în materialul magnetic, prin curenți turbionari (proporționale cu pătratul frecvenței) și prin histerezis (proporționale cu frecvența). Celălalt element parazit al bobinei, capacitatea C_0 , este determinată de potențiale diferite între spirele învecinate (determină capacitatea C_{12}) și potențial diferit al spirei față de pământ (determină capacitățile C_{10} și C_{20}). Pentru o singură spirală rezultă din fig. 1 o capacitate parazită globală a unei spire,

$$(8) \quad C_P = C_{12} \frac{C_{10} C_{20}}{C_{10} + C_{20}}$$

În cazul bobinei cu un strat, capacitatea parazită poate fi redusă foarte mult prin realizarea bobinajului cu pas mai mare decât diametrul conductorului (neizolat) și prin reducerea diametrului conductorului de bobinaj. La bobinele cu mai multe straturi capacitatea parazită este cu atât mai mare cu cât numărul de spire pe strat este mai mare (lungimi mari ale bobinei) și numărul de straturi mai ridicat. De asemenea, în acest caz, impregnarea bobinei (operație necesară pentru rigidizare mecanică și pentru creșterea tensiunii de lucru) conduce la creșterea capacității parazite (lacurile și rășinile pentru impregnare au permitivitate electrică relativă mai mare decât a aerului). Admitanța unei spire, fig. 1, este

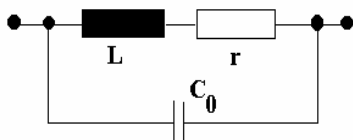
$$(9) \quad \underline{Y}_1 = \frac{1}{r_{Cu1} + r_{m1} + j\omega L_1} + j\omega C_P$$

Pentru o bobină cu N spire identice înseriate, rezultă admitanța bobinei,

$$(10) \quad \underline{Y} = \frac{1}{N} \underline{Y}_1 = \frac{1}{Nr_{Cu1} + Nr_{m1} + j\omega L_1} + j\omega \frac{C_P}{N} \quad \text{sau}$$

$$(11) \quad \underline{Y} = \frac{1}{R_{Cu} + R_m + j\omega L} + j\omega C_0$$

unde noii parametri caracterizează evident bobina în ansamblu, $r = R_{Cu} + R_m$ este rezistența de pierderi serie iar C_0 este capacitatea parazită. Rezultă deci pentru bobină schema echivalentă din fig. 2.



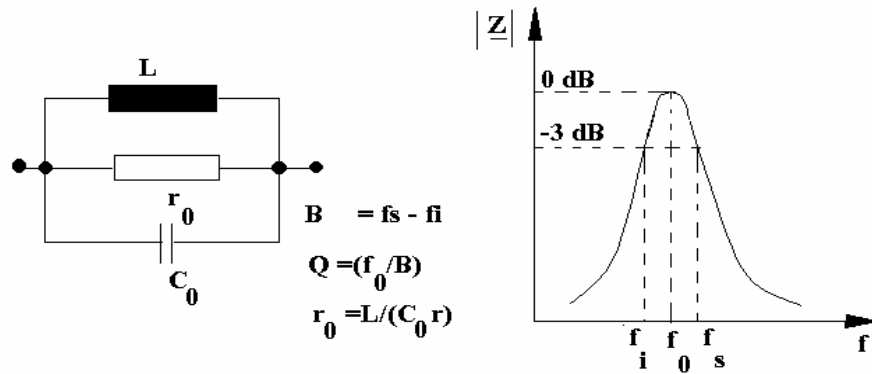


Fig. 2

Fig. 3

Pentru circuitul echivalent serie al bobinei avem , din fig. 2,

$$\left\{ \begin{array}{l} (12) \quad \underline{Y} = \frac{1}{r + j\omega L} + j\omega C_0, \text{ admitanța bobinei sau,} \\ (13) \quad \underline{Z} = \frac{(r + j\omega L) \frac{1}{j\omega C_0}}{r + j\omega L + \frac{1}{j\omega C_0}}, \text{ impedanța bobinei} \end{array} \right.$$

O bobină este cu atât mai bună cu cât energia reactivă acumulată (în regim variabil armonic) este mai mare la aceeași energie activă disipată în ea. Pentru aprecierea cantitativă a proprietății de acumulare a energiei se definește factorul de calitate al bobinei (sau tangenta unghiului de pierderi).

$$\left\{ \begin{array}{l} (14) \quad Q_L = \frac{\omega L}{r}, \text{ factorul de calitate} \\ (15) \quad \text{tg}\delta_L = \frac{1}{Q_L}, \text{ tangenta unghiului de pierderi} \end{array} \right.$$

Factorul de calitate depinde de frecvență, de dimensiunile și forma bobinei etc. Deoarece rezistența totală de pierderi r crește neliniar cu frecvența având o creștere foarte rapidă la frecvențe din domeniul în care se manifestă efectul pelicular, rezultă din relația (14) că factorul de calitate Q va avea o valoare maximă. Spre deosebire de condensatoare, pierderile de energie activă la aceeași energie acumulată în cazul bobinelor sunt mai mari. Cele mai bune bobine au Q sub **400** în timp ce condensatoarele cu styroflex sau mică au Q apropiat de **5.000**.

Circuitul echivalent serie este adecvat pentru modelarea bobinelor fără miez magnetic (bobine cu aer) și cu valori mici ale lui Q . În acest caz rezistența r este determinată practic numai de pierderile în cuprul înfășurărilor bobinei. Pentru bobine cu miez magnetic de mare permeabilitate magnetică este mai adecvat modelul paralel din fig. 3, în care r_0 este preponderent determinată de pierderile în miezul magnetic al bobinei. În fig.3 se dă și caracteristica de selectivitate a circuitului rezonant determinat de L , inductanța proprie și C_0 , capacitatea parazită. Factorul de calitate se poate aprecia și pe baza acestei caracteristici. Cu cât selectivitatea este mai mare (bandă de **3dB** mai îngustă) cu atât factorul de calitate este mai mare.

Bobinele sunt utilizate (după necesități) în toată gama de frecvențe. Bobinajele se execută din materiale cu conductivitate electrică ridicată, rezistență mecanică suficientă și rezistență la coroziune chimică. Cel mai bine realizează aceste cerințe (la un preț acceptabil) cuprul. În domeniul frecvențelor audio conductoarele din cupru sunt izolate cu email (polivinilacetat, poliuretanic, epoxidice, silicoorganice), cu email și fibre textile (email-mătase, email-bumbac, email- mătase-bumbac ...) sau cu fibre anorganice (sticlă). Temperaturile de lucru limită sunt 80°C pentru izolații cu email, 100°C-150°C pentru fibrele textile neimpregnate și 150°C-180°C pentru izolații din fibră de sticlă.

În domeniul de radiofrecvență sunt utilizate conductoare lițate. Acestea conțin **10..30** conductoare subțiri (lițe cu diametre sub **0,1 mm**) izolate individual cu un email iar ansamblul de lițe izolat cu bumbac sau mătase. “Desfacerea” conductorului în lițe diminuează foarte mult influența efectului pelicular, bobina realizată din astfel de conductor păstrându-și factorul de calitate ridicat până la câțiva MHz.

În domeniul frecvențelor foarte înalte sunt utilizate conductoare din cupru argintate. În general, la aceste frecvențe bobinele se realizează din conductoare masive neizolate, fără carcasă și fără miez magnetic. Comportarea bobinelor, având miez magnetic din ferită, cu frecvența și temperatura se poate observa din graficele care urmează:

-în fig. 4 este cazul a trei bobine cu miez cilindric 14,4 mm lungime și 7,5mm diametru pe care s-au bobinat 80 spire din cupru emailat de diametre 0,12mm, 0,15mm și 0,25mm. Se constată că efectul pelicular și pierderile prin curenți turbionari intervin și la frecvențe mici și chiar la conductoare de diametru relativ mare.

-în fig. 5 este cazul aceluiași miez magnetic ,conductorul de bobinaj este de 0,12mm dar numărul de spire este diferit. Se constată că prin scăderea numărului de spire ,la același diametru, valoarea maximă a lui Q se deplasează spre frecvențe mai mari.

-în fig. 6 este cazul unei bobine cu miez cilindric, lungime 25mm și diametru 8,9mm, având 60 spire din conductor lițat (30 lițe cu diametre egele 0,05mm). Se constată creșterea factorului de calitate.

-în fig. 7 este cazul unei bobine cu miez ,14,4mm lungime și 7,5mm diametru, având 80 spire din cupru emailat ,diametru 0.12mm. Din fig.6 și fig. 7 se vede influența temperaturii asupra factorului de calitate.

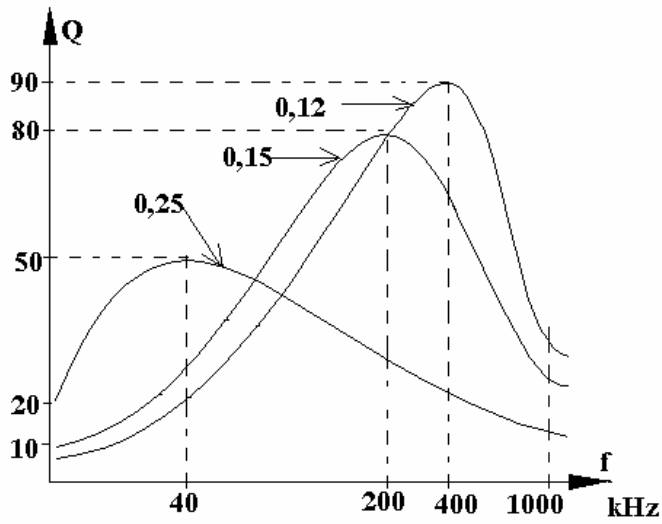


Fig. 4

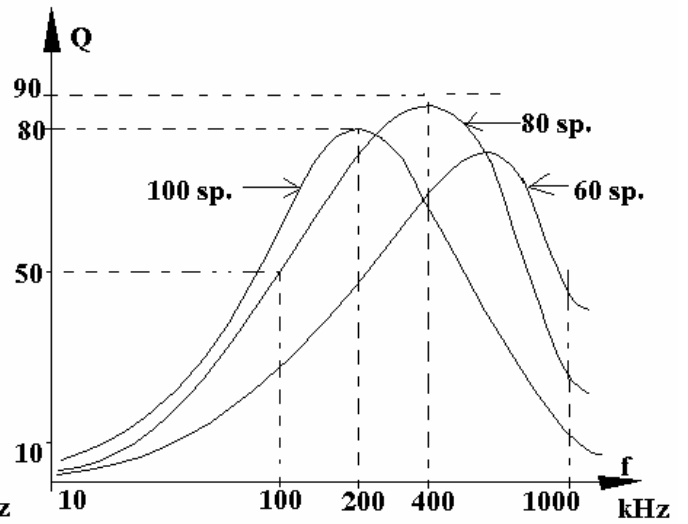


Fig. 5

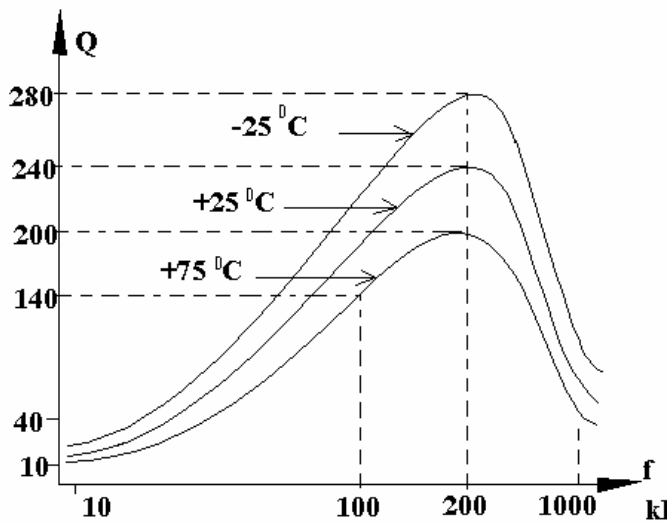


Fig. 6

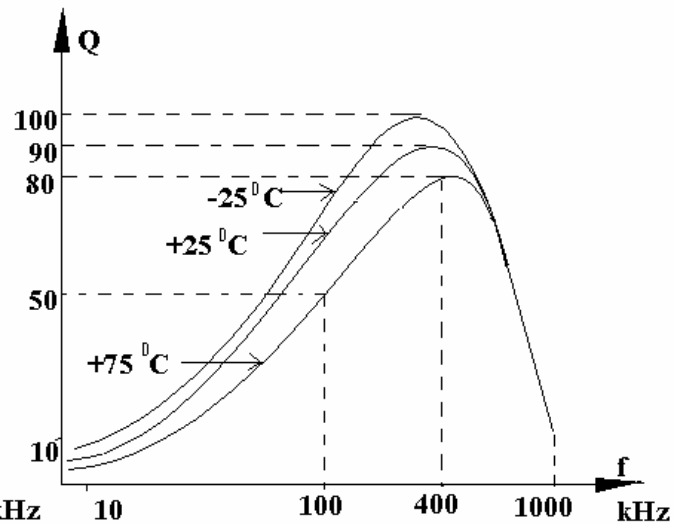


Fig. 7

Dependența inductanței unei bobine de curentul de pregmanetizare se poate observa din fig. 8.

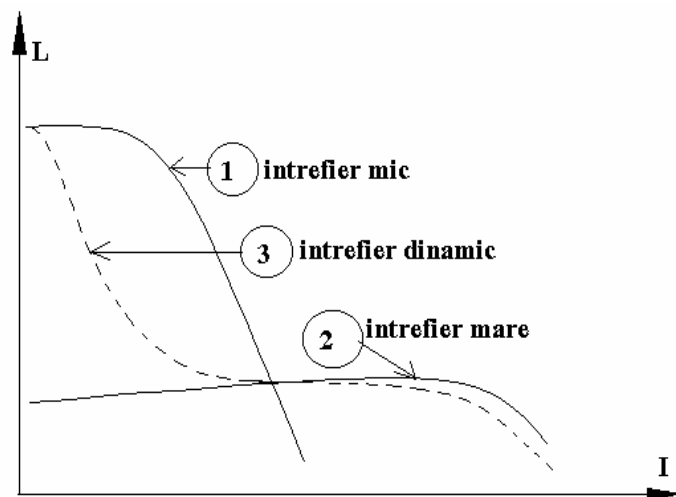


Fig. 8

Curba 1 ne arată că în prezența unui întrefier mic, la curent de premagnetizare mic, (curent de regim cc) inductanța bobinei este mare dar scade rapid la creșterea acestui curent din cauza saturării miezului magnetic.

Dacă se utilizează un miez magnetic cu întrefier mare se obține curba 2, inductanța este mică dar rămâne practic constantă într-o plajă largă a curentului de premagnetizare. Dacă bobina lucrează cu un curent de premagnetizare care se modifică în limite largi (cazul bobinelor din filtrele de netezire după redresor, bobine șoc) ar trebui ca întrefierul să se modifice pentru a se obține curba 3 (întrefier dinamic) ca să nu fie necesară supradimensionarea miezului magnetic pentru a evita saturarea la curenți mari. În literatură se găsesc soluții constructive pentru geometria întrefierului care asigură funcționarea pe o curbă apropiată de curba 3.

Modul de lucru

Se vor studia, utilizând Q-metrul, bobine fără miez magnetic precum și bobine cu miezul montat. Conform formulei Thomson frecvența de rezonanță în circuitul LC este,

$$(16) \quad f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} .$$

Având în vedere că bobina reală are o capacitate parazită paralel se obține rezonanța pentru L și un C cunoscut la o frecvență,

$$(17) \quad f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L(C+C_0)}} .$$

Din expresia factorului de calitate la frecvența de rezonanță se poate obține valoarea rezistenței de pierderi serie,

$$(18) \quad r = \frac{Q}{L\omega} .$$

1. Măsurarea inductanței și a elementelor parazite ale bobinei fără miez magnetic.

Capacitatea parazită se măsoară astfel:

-se fixează condensatorul variabil al Q-metrului, C_v , la valoarea maximă,
($C1 = 450\text{pF}$),

- se montează bobina de măsurat la bornele L_x ale Q-metrului,

-se caută rezonanța în circuit prin modificarea frecvenței Q-metrului pornind de la frecvențe mici spre mari. Se obține f_1 și se măsoară la f_1 și factorul de calitate Q_1 . **Atenție!**, Înainte de a citi factorul de calitate se verifică etalonarea aparatului (acul indicator trebuie să se găsească în dreptul marcajului de pe scala instrumentului).

-se fixează generatorul la frecvența $f_2 = 2 \cdot f_1$ și se realizează din nou rezonanța prin modificarea capacității condensatorului variabil. Se găsește valoarea $C2$ și se citește $Q2$,

- se calculează $C_0 = (C1 - 4C2)/3$

- se calculează, cu relația (17) , L , pentru ambele frecvențe,

