

Bobine MMIC

Introducere

Mai întâi, tronsoane scurte de linii de transmisiune (pe metalizarea M2 sau M3) pot fi folosite și tratate în simularea de circuit fie ca inductanțe concentrate, fie ca o linie de transmisiune. O formulă care leagă inductanța concentrată de lungimea liniei este dată prin relația :

$$L_e = \frac{Z_0 l \sqrt{\epsilon_{eff}}}{300} \quad (1.1)$$

unde l este în mm și L_e în nH. Valori pentru Z_0 și ϵ_{eff} pot fi găsite folosind curbele din fig.1.1 și 1.2.

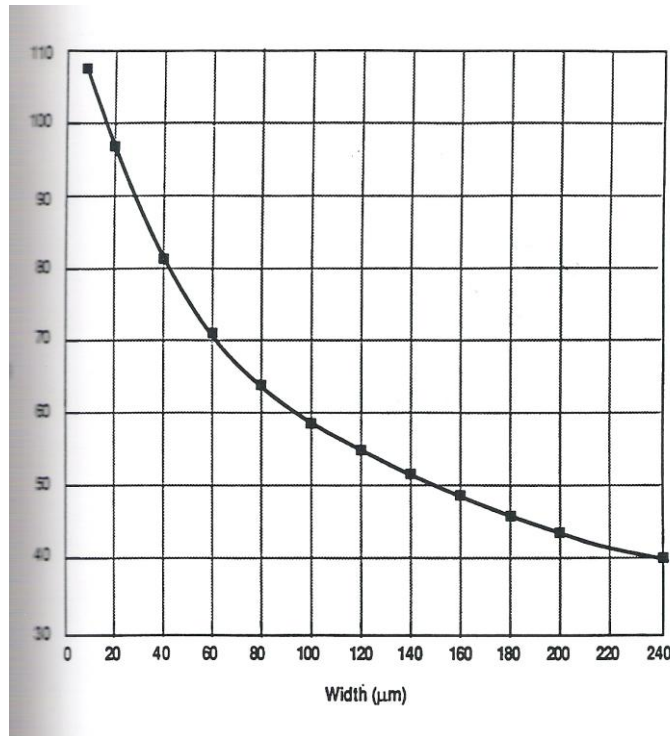


Fig.1.1. Impedanța caracteristică a liniilor pe metalizarea M3

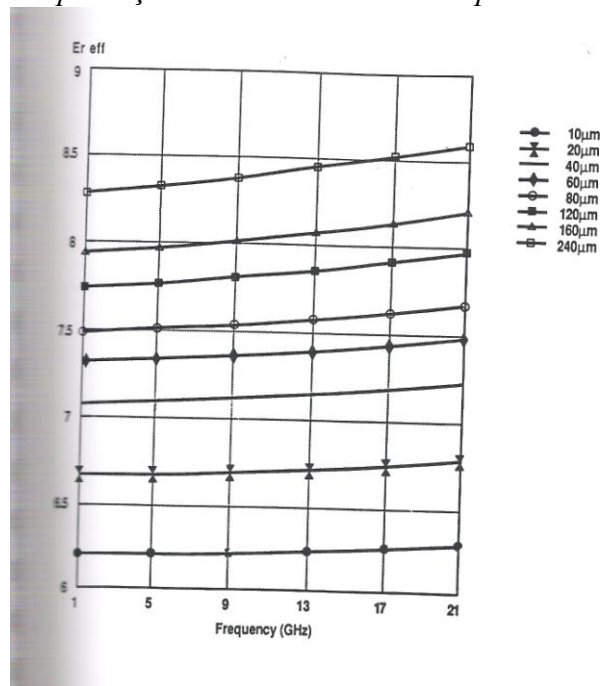


Fig.1.2. ϵ_r efectiv pentru liniile de pe metalizarea M3

Alternativ, pot fi folosite și metode analitice. Astfel, pentru impedanța caracteristică, pentru F20 Plessey Process, poate fi folosită relația :

$$Z_0 = 7.156906 \cdot 10^{-8} W^4 - 4.604555 \cdot 10^{-5} W^3 + 0.011097 W^2 - 1.332506 W + 120.004242 \quad (1.2)$$

unde Z_0 este exprimată în ohmi, iar lățimea benzii metalice, W , este exprimată în μm .

Constanta dielectrică efectivă, ϵ_{eff} , variază cu frecvența. ϵ_{eff} poate fi calculată cu relația :

$$\epsilon_{\text{eff}} = (4.913924 \cdot 10^{-5} W + 5.683995 \cdot 10^{-3}) f + 2.363121 W^{0.142442} + 2.900819 \quad (1.3)$$

unde W este exprimată în μm , iar f în GHz.

O a doua metodă, cea mai folosită, este utilizarea unei inductante planare spiralate. Inductanța spiralată este realizată prin înfășurarea unui număr de spire de bandă pe metalizarea M3 și realizarea conexiunii cu centrul spirei prin intermediul unei trecere metalizate pe nivelul inferior de metalizare M2. Bibliotecia standard conține o familie de inductanțe planare având toate o lățime a benzii și a interspațiului de $12 \mu\text{m}$, acoperindu-se intervalul 1 – 7 spire în pași întregi. Este disponibil un model analitic pentru un număr întreg sau semiîntreg de pași. Intervalul de inductante ce se pot obține în acest fel este $0.35 \text{ nH} - 13 \text{ nH}$, în pași discreți.

Există și posibilitatea unor geometrii non-standard, de exemplu cu raport între lățimea benzii și a interspațiului modificate pentru a se îmbunătăți capacitatea de transport în curent. Vom indica relațiile de proiectare și în acest caz.

O a treia metodă este utilizată pentru a obține bobine cu inductanțe foarte mari sau care să ocupe o suprafață foarte mică. Acestea sunt bobinele suprapuse. Acestea sunt realizate prin suprapunerea spirelor de pe nivelul superior de metalizare M3 cu spire similare, dar decalate, pe nivelul inferior de metalizare M2. Și în acest caz dispunem de expresii analitice de proiectare pentru celulele standard care conduc la valori de inductanță între 0.5 nH și 18 nH . Numărul preferat de spire este între 1 și 5, cu pași de un sfert de spirală.

Bobinele spiralate au un factor de calitate mai mic, dar sunt un mijloc foarte eficient de realizare a unei valori mari de inductanță pe unitatea de arie.

Bobine planare într-un singur strat

Un exemplu de bobină planară monostrat este în fig. 1.3.

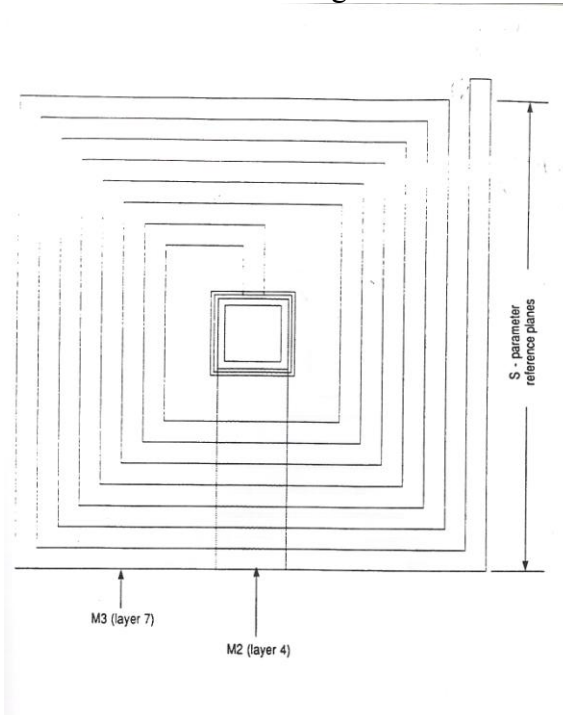


Fig.1.3. Bobină planară monostrat (4 spire)

Spirala este realizată pe metalizarea M3. Conexiunea la centrul bobinei este realizată utilizând o trecere pe nivelul M2 de metalizare. M2 este legat de M3 utilizând o interconexiune M2-M3. Lățimea minimă a benzii este $10\mu\text{m}$, iar interspațiul dintre benzi este tot de $10\mu\text{m}$. Lățimea minimă a trecerii este de $4\mu\text{m}$. În cazul celulelor standard, lățimea benzii și a interspațiului este de $12\mu\text{m}$, iar a trecerii de $40\mu\text{m}$. Modelul electric al acestei bobine este prezentat în fig.1.4

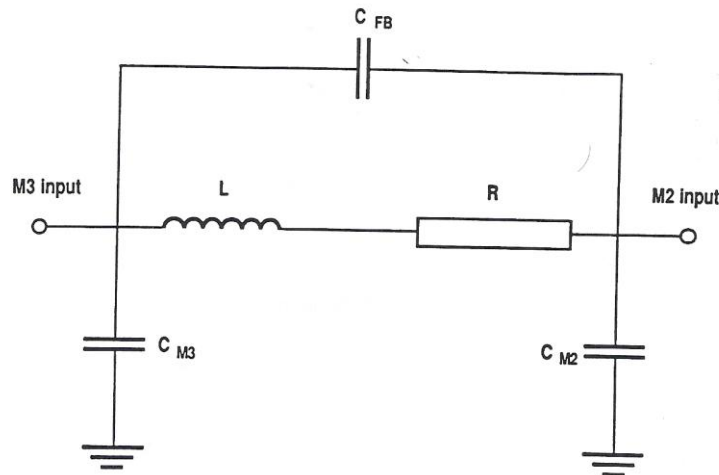


Fig.1.4. Modelul electric al bobinei planare monostrat.

Acest model este corect până la 80% din frecvența de rezonanță a lui S_{21} . În figurile 1.5 și 1.6 se prezintă curbele rezonanței lui S_{21} în funcție de numărul de spire și valoarea inductanței.

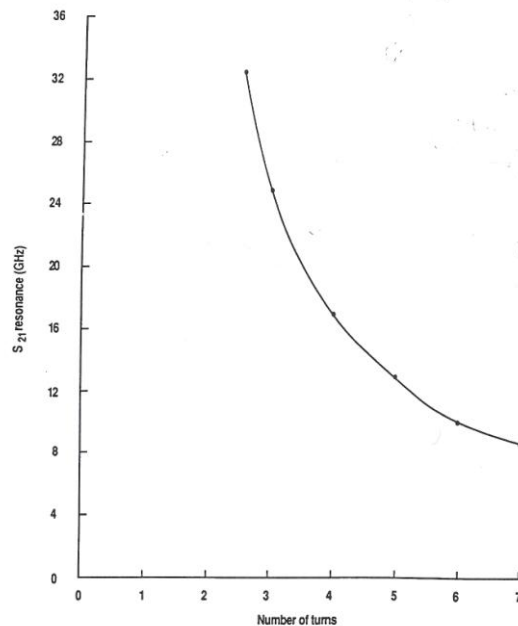


Fig.1.5. Rezonanța lui S_{21} în funcție de numărul de spire

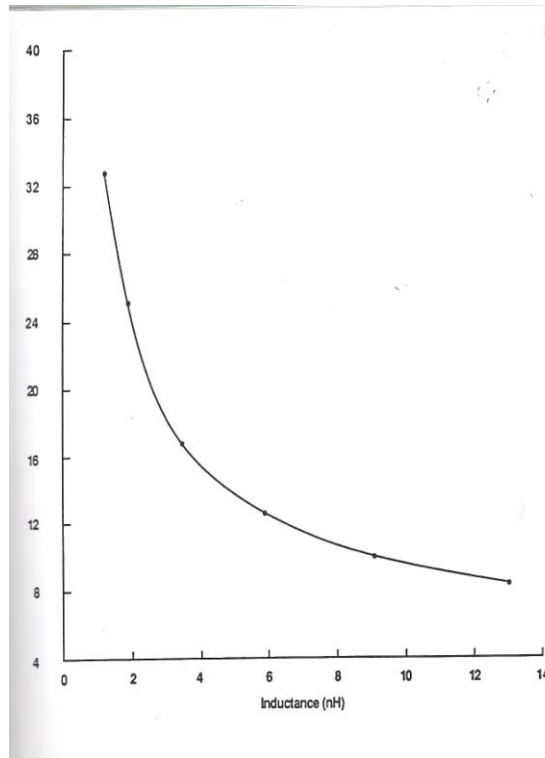


Fig.1.6. Rezonanța lui S_{21} în funcție de inductanță

Formulele analitice au fost deduse pentru a exprima fiecare element al modelului în funcție de numărul de spire (NT). Modelul este valabil pentru un număr întreg de spire sau pentru sferturi de spirală, între 1 și 7 spire.

Expresia care leagă inductanța (L) de numărul de spire (NT) este un polinom de gradul 8 :

$$y = ax^8 + bx^7 + cx^6 + dx^5 + ex^4 + fx^3 + gx^2 + hx + i \quad (1.4)$$

Unde coeficienții sunt dați de tabelul 1.

Rezistorul este dat de un polinom de gradul 4.

Capacitățile paralele sunt date de următoarele expresii :

$$C_{M2} = CA_2/1000(pF) \quad (1.5)$$

$$C_{M3} = CA_3/1000(pF) \quad (1.6)$$

Tabelul 1

x	L(nH)	NT
y	NT	L(nH)
a	0	0
b	0	0
c	-1.244773×10^{-5}	0
d	6.601764×10^{-4}	0
e	-0.013458	3.568872×10^{-3}
f	0.134896	-3.8747×10^{-2}
g	-0.717619	4.36441×10^{-1}
h	2.378735	-5.96717×10^{-1}
i	0.34576	5.48464×10^{-1}

Unde CA_2 și CA_3 sunt polinoame de gradul 4. Coeficienții pentru R, CA_2 și CA_3 sunt dați în tabelul 2.

Tabelul2

x	NT	NT	NT
y	R(Ω)	CA2(pF)	CA3(pF)
a	0	0	0
b	0	0	0
c	0	0	0
d	0	0	0
e	-8.715679×10^{-3}	1.7183×10^{-2}	7.7091×10^{-2}
f	1.17006×10^{-1}	-2.9383×10^{-1}	-1.319712
g	-4.14503×10^{-1}	2.482252	9.310673
h	1.540988	-4.46438×10^{-1}	-12.427652
i	-4.90493×10^{-1}	14.271271	16.686414

Capacitatea de reacție, C_{FB} , este dată de expresia :

$$C_{FB} = C_F / 1000 (pF) \quad (1.7)$$

Unde C_F este un polinom de gradul 8 cu următorii coeficienți :

Tabelul3

x	NT
y	CF(pF)
a	5.291501×10^{-3}
b	-1.91888×10^{-1}
c	2.936406
d	-24.65102
e	1.23379191×10^2
f	-3.73563243×10^2
g	6.58330576×10^2
h	-5.96458929×10^2
i	2.11078589×10^2

Trebuie observat că modelul este asimetric ($C_{M2} \neq C_{M3}$). Din acest motiv trebuie să avem grijă la amplasarea bobinei pe layout, pentru a asigura corecta orientare a ei în raport cu fișierul de simulare.

Curbe pentru valorile de inductanță în funcție de numărul de spire sau arie sunt prezentate în fig.1.7 și 1.8.

De notat că la optimizarea numărului de spire, rotunjirea se va face în totdeauna în jos, la cel mai apropiat întreg sau sfert de spirală. Dacă valoarea inductanței este critică, atunci inductanța suplimentară se va asigura printr-un tronson scurt de linie.

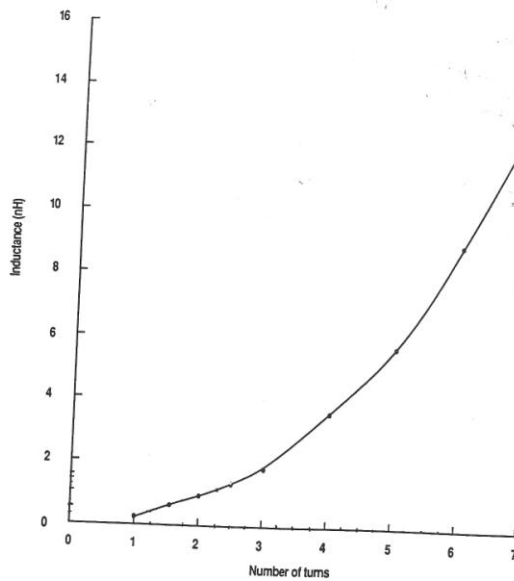


Fig.1.7. Inductanța bobinei planare MMIC în funcție de numărul de spire

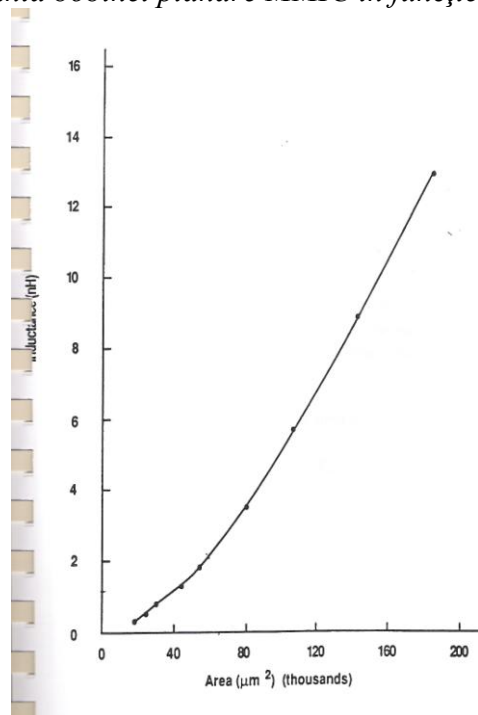


Fig.1.8 Inductanța bobinei planare MMIC în funcție de aria ocupată

Modelul electric pentru celule non-standard

Așa cum am mai precizat, pot fi fabricate spirale cu o geometrie non-standard (de exemplu un raport bandă/interstițiu diferit). Circuitul electric echivalent rămîne același ca cel pentru celule standard, dar valorile elementelor sunt date de următoarele expresii :

Valoarea inductanței este dată de :

$$L = \frac{L_1}{1 + \alpha d} + L_2 \quad (1.8)$$

Unde

$$L_1 = 0.0008NT^2s \left[\ln \frac{s}{b} + 0.726 + 0.178 \frac{b}{s} + \frac{b^2}{8s^2} - \frac{1}{NT} (G_1 + H_1) \right] \quad (1.9)$$

Cu

$$G_1 = \ln\left(\frac{W+3}{P}\right) \quad (1.10)$$

$$H_1 = H - \frac{0.04}{NT} \left(0.23 + 0.38NT + \ln\left(\frac{NT}{2}\right) \right) \quad (1.11)$$

W este lățimea benzii spiralei

H este o funcție de NT, numărul de spire, și este reprezentată în fig.1.9.

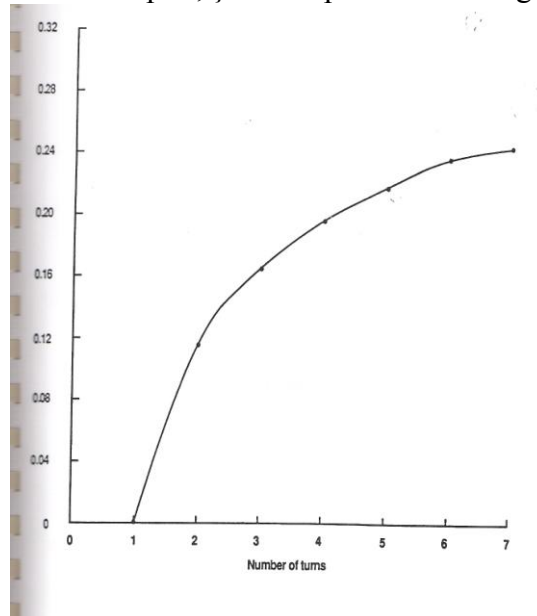


Fig.1.9. Factorul de corecție H în funcție de numărul de spire NT

$b = pNT$, unde p este suma dintre lățimea benzii și lățimea interspațiului

$s = I + (NT - 1/2)p$, unde I este dimensiunea interioară a bobinei (vezi fig.1.10), $I > 8W$

d este dimensiunea exterioară a bobinei

$\alpha = 2.12 \times 10^{-4}$.

În fig.1.10, este prezentată venerea unei bobine non-standard împreună cu dimensiunile geometrice utilizate mai sus.

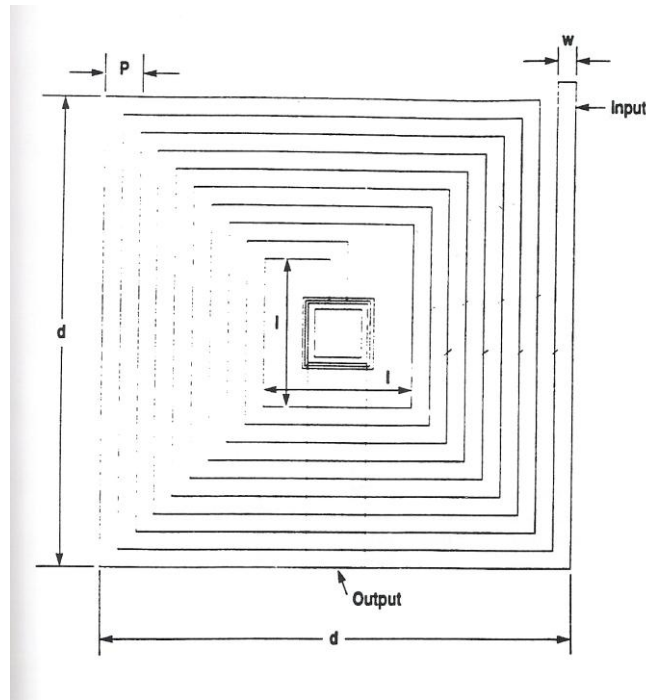


Fig.1.10. Vedere plana a unei bobine planare

Al doilea termen din expresia inductanței este L_2 . El este inductanța trecerii pe sub bobină și se calculează cu relația (1.1)

Capacitatea de reacție, pentru bobine cu 2-7 spire, este dată de relația :

$$C_{FB} = 1.55 + 0.029s \text{ (în fF)} \quad (1.12)$$

Capacitatea totală spre masa este dată de relația :

$$C_{M2} + C_{M3} = 0.00114d^2 \text{ (în fF)} \quad (1.13)$$

Capacitatea este împărțită între M_3 și M_2 în raportul 3 :2

Rezistența bobinei este dată de relația :

$$R = \frac{0.04s}{W} \text{ (în } \Omega \text{)} \quad (1.14)$$

Acest model este valabil pentru bobine cu W în intervalul $12\mu\text{m} - 24\mu\text{m}$.

Modelul bobinei multistrat

Modelul electric al bobinei multistrat poate fi folosit pînă la 20 GHz. Frecvența de rezonanță a lui S_{21} în funcție de numărul de spire și valoarea inductanței sunt prezentate în fig.1.11 și 1.12.

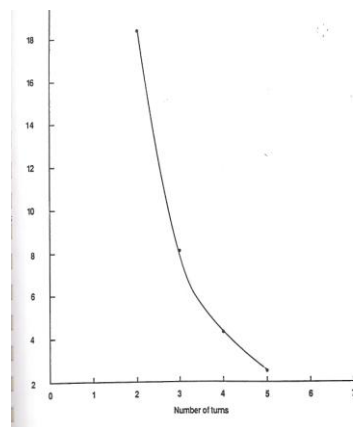


Fig.1.11 Rezonanța lui S_{21} în funcție de NT , pentru o bobină multistrat.

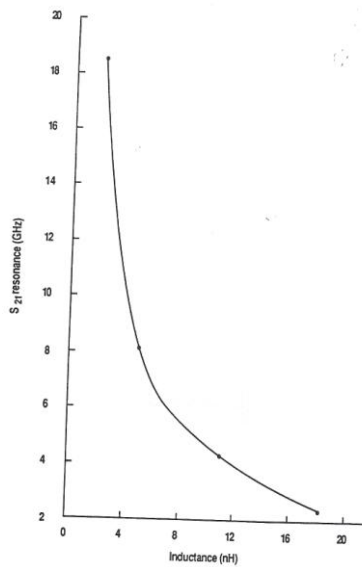


Fig.1.12 Rezonanța lui S₂₁ în funcție de inductanța bobinei, pentru o bobină multistrat

Modelul electric al bobinei multistrat este prezentat în fig.1.13.

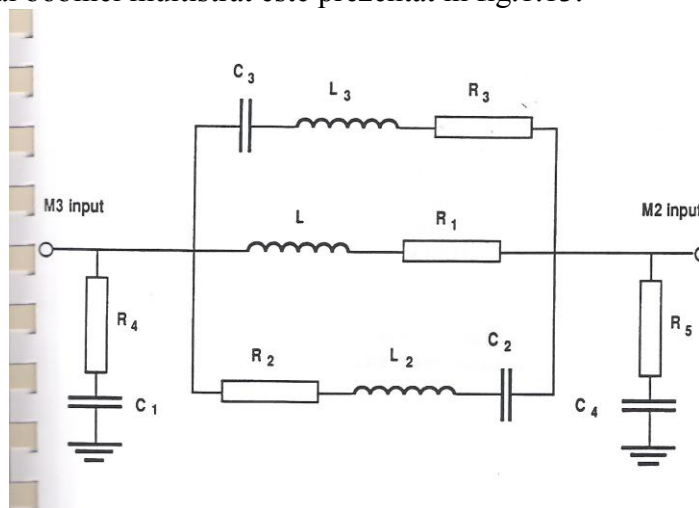


Fig.1.13. Modelul electric al bobinei multistrat

Acest model este valabil pentru bobine având un număr întreg de spire, sau în sfert de spirală, între 1 și 5.

Expresiile care leagă numărul de spire NT, de inductanța bobinei sunt polinoame de gradul 4 :

$$y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e \quad (1.15)$$

unde coeficienții sunt dați în tabelul4

Tabelul4

x	L(nH)	NT
y	NT	L(nH)
a	-2.152772×10^{-4}	-0.053453
b	8.406906×10^{-3}	0.646267
c	-0.115968	-1.784017
d	0.858321	3.279963
e	0.633288	-1.63455

În tabelele următoare sunt prezentați coeficienții polinomului care modelează termenii paraziti

Tabelul 5

x	NT	NT
y	L2(nH)	L3(nH)
a	2.083333×10^{-3}	-0.024567
b	-0.029167	0.334969
c	0.072917	-1.320638
d	0.554167	2.335636
e	-0.55	-1.0254

Tabelul 6

x	NT	NT	NT	NT
y	C1(pF)	C2(pF)	C3(pF)	C4(pF)
a	0	2.916667×10^{-4}	-5.75×10^{-5}	0
b	0	-3.083333×10^{-3}	1.113333×10^{-3}	0
c	0	0.013708	-2.9075×10^{-3}	0
d	0.02	-0.021917	0.024122	0.018
e	-0.015	0.012	-0.0196	-3×10^{-3}

Tabelul 6

x	NT	NT	NT	NT	NT
y	R1(Ω)	R2(Ω)	R3(Ω)	R4(Ω)	R5(Ω)
a	5.416667×10^{-3}	0.0625	0	0	0
b	-0.504167	-0.541667	0	0	0
c	4.924583	2.6875	0	0	0
d	-8.505833	-4.208333	0	0	0
e	7.68	2.5	15	30	30

În fig.1.14 și 1.15 este prezentată valoarea inductanței versus numărul de spire și, respectiv, valoarea inductanței în funcție de aria ocupată.

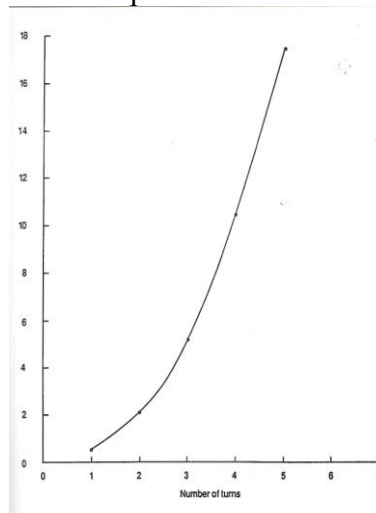


Fig.1.14. Valoarea inductanței vs numărul de spire pentru bobina multistrat

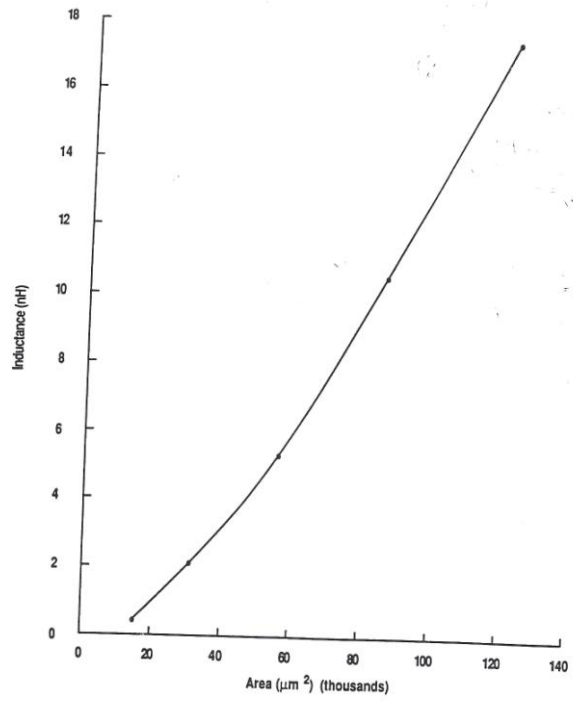


Fig.1.15. Valoarea inductantei vs. aria ocupată