

DISEÑO DE BOBINAS IMPRESAS DE TIPO MEANDRO DE DOBLE CARA

José Acuña González

José Luis Rodríguez Rodríguez

Fernando Obelleiro Basteiro

Departamento de Tecnologías de las Comunicaciones
Universidad de Vigo
acuna@com.uvigo.es

Departamento de Tecnologías de las Comunicaciones
Universidad de Vigo
banner@com.uvigo.es

Departamento de Tecnologías de las Comunicaciones
Universidad de Vigo
obi@com.uvigo.es

ABSTRACT

A lumped element model for a double side printed meander-line inductor with closed-form expressions for the model parameters L , C , R_l and R_c is presented. This structure is less expensive than coils and needs less area per unit of inductance than single-side printed meander-line inductors with a return plane. The model has been validated between 30 and 1000 MHz with measurements, finding a mean error in the inductance parameter of about 1 %.

1. INTRODUCCIÓN

Para el análisis y la síntesis de bobinas impresas es muy útil disponer de un modelo y de las relaciones entre sus parámetros y los parámetros físicos. Las bobinas tipo meandro de doble cara poseen menores costos y mejor reproducibilidad que las bobinas de hilo convencionales, aunque como contrapartida, ocupan mayor espacio y poseen un menor factor de calidad Q y una frecuencia de resonancia más baja. Si las comparamos con las inductancias tipo meandro de una sola cara, con plano de tierra como las analizadas en [1], tienen la ventaja de ocupar menos espacio por unidad de inductancia y poseen mayor factor Q y frecuencia de resonancia.

El modelo propuesto consiste en una inductancia con pérdidas, en paralelo con un condensador con pérdidas. Cada uno de los valores de estos componentes está asociado a la geometría de la bobina mediante ecuaciones que han sido deducidas de forma semi-analítica o empírica.

2. PARÁMETROS FÍSICOS

La forma geométrica de una bobina en forma de meandro se define mediante los parámetros mostrados en la figura 1. La longitud de los segmentos del meandro lo representaremos con l , la separación entre segmentos la denotaremos con s y al ancho de pista con w . Las constantes debidas al tipo de substrato son: el espesor de la placa de substrato que denotaremos con h y cuyo valor es de 1.5 mm, la permitividad eléctrica es 4.6 y el espesor del cobre es 0.035 mm.

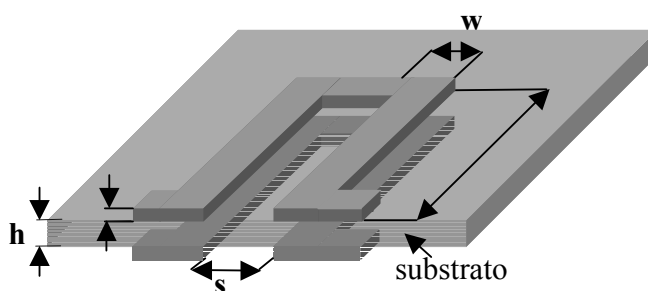


Figura 1. Parámetros geométricos de la bobina tipo meandro.

De acuerdo a las medidas de impedancia realizadas en bobinas este tipo, se propone un modelo de bobina con pérdidas en paralelo con un condensador también con pérdidas. Este modelo se muestra en la figura 2.

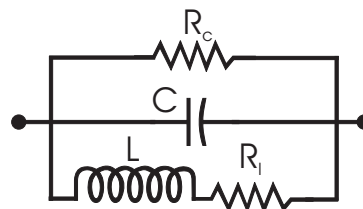


Figura 2. Modelo eléctrico utilizado.

La transferencia en el dominio de Laplace es:

$$Z(s) = \frac{R_c L s + R_c R_l}{C R_c L s^2 + (L + C R_l R_c) s + R_c + R_l} \quad (1)$$

que se puede escribir abreviadamente como:

$$Z(s) = \frac{s + a_0}{b_2 s^2 + b_1 s + b_0} \quad (2)$$

Debido a que se van a estimar los coeficientes a_0 y b_i a partir de las medidas se necesitan las relaciones con los parámetros del modelo L , C , R_l y R_c .

Estas se calculan igualando coeficientes en las dos ecuaciones anteriores y el resultado son las siguientes relaciones:

$$L = \frac{1}{b_0 - a_0 (b_1 - b_2 a_0)} \quad C = b_2$$

$$R_l = \frac{a_0}{b_0 - a_0 (b_1 - b_2 a_0)} \quad R_c = \frac{1}{b_1 - b_2 a_0}$$

3. FUNCIONES DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS

En esta sección se muestran las funciones deducidas para relacionar cada uno de los cuatro parámetros eléctricos del modelo con los parámetros geométricos de la estructura.

3.1. Inductancia

A partir de ecuaciones deducidas en [2], se propone para la inductancia la siguiente ecuación:

$$L = k_1 N l_e \ln \left(\frac{D+l_e}{D+l_e} \right) + k_2 \left[N D \frac{l_e^2}{w} \ln \left(\frac{w+B}{l_e} \right) + s_e \ln \left(\frac{E-s_e}{E+s_e} \right) - (F-h) \left(\frac{b^2 - l_e^3}{w^3} \right) \right] + k_3 N s_e + \quad (3)$$

$$+ k_4 \left[(F-h) + N l_e \ln \left(\frac{F-l_e}{F+l_e} \right) \right] + k_5 \left[-l_e \ln \left(\frac{F-l_e}{F+l_e} \right) + N (F-h) + N s_e \ln \left(\frac{E-s_e}{E+s_e} \right) + N \left(\frac{b^2 + l_e^3}{w^3} \right) \right] + k_6 [N(E-h) - s_e] +$$

$$+ N \left[k_7 l_e \ln \left(\frac{l_e+B}{w} \right) + k_8 \frac{l_e^2}{w} \ln \left(\frac{w+B}{l_e} \right) + k_9 w + k_{10} s_e \ln \left(\frac{s_e+A}{w} \right) + k_{11} \frac{A-s_e^3}{w^3} + k_{12} \frac{s_e^2}{w} \ln \left(\frac{w+A}{s_e} \right) + k_{13} l_e \ln \left(\frac{D+l_e}{D+l_e} \right) \right] +$$

$$+ k_{14} D + k_{15} l_e \ln \left(\frac{l_e+B}{w} \right) + k_{16} w + k_{17} s_e \ln \left(\frac{s_e+A}{w} \right) + k_{18} \left[\frac{A}{w^3} \frac{s_e^2}{w} \ln \left(\frac{w+A}{s_e} \right) \right] [nH]$$

Donde :

$$l_e = l - w \quad A = \sqrt{s_e^2 + w^2} \quad D = \sqrt{l_e^2 + s_e^2}$$

$$s_e = s + w \quad B = \sqrt{l_e^2 + w^2} \quad E = \sqrt{s_e^2 + h^2}$$

$$F = \sqrt{l_e^2 + h^2}$$

$$k_1 = 1.6 \quad k_2 = 59 \quad k_3 = 7252 \quad k_4 = 2 \quad k_5 = -4.2E-04 \quad k_6 = 257$$

$$k_7 = -1.2 \quad k_8 = -22 \quad k_9 = -1001 \quad k_{10} = -212 \quad k_{11} = -638 \quad k_{12} = -5843$$

$$k_{13} = 4 \quad k_{14} = 84 \quad k_{15} = 7.3 \quad k_{16} = 384 \quad k_{17} = 129 \quad k_{18} = -0.09$$

3.2. Capacidad

$$C = 10^{-3} \left[N \left(k_1 l + k_2 l w + k_3 \frac{l}{s} + k_4 \frac{1}{s} \right) + k_5 l + k_6 l w + k_7 \frac{l}{s} \right] [\text{pF}] \quad (4)$$

$$k_1 = 21 \quad k_2 = 4 \quad k_3 = -50 \quad k_4 = 499 \quad k_5 = 88 \quad k_6 = 76 \quad k_7 = -34$$

3.3. Resistencia serie

$$R_l = \frac{N}{w} (k_1 s^2 + k_2 s) + N \left(k_3 \frac{\text{length}}{w} + k_4 l^2 \right) + k_5 \frac{N^3}{w} + k_6 \frac{s^2}{w} + k_7 \frac{s l^2}{w} + k_8 \frac{s l}{w} + k_9 \frac{s}{w} + k_{10} \frac{l^2}{w} + (5)$$

$$+ k_{11} \frac{l}{w} + k_{12} \frac{1}{w} + k_{13} + k_{14} N^2 + k_{15} l^2 [\text{n}\Omega]$$

donde:

$$\text{length} = 2Nl + (2N-1)s \quad (6)$$

$$k_1 = -25.6 \quad k_2 = 147 \quad k_3 = 9.3 \quad k_4 = -3.7 \quad k_5 = 54 \quad k_6 = -8.1 \quad k_7 = 57.5$$

$$k_8 = -79 \quad k_9 = -1.8 \quad k_{10} = 68 \quad k_{11} = -76 \quad k_{12} = 436 \quad k_{13} = -31 \quad k_{14} = -11.3$$

$$k_{15} = 7.5$$

3.4. Resistencia paralelo

$$R_c = k_1 \frac{l}{w} + k_2 \frac{s}{w} + N \left[k_3 \text{length} + k_4 \frac{l}{w} + k_5 \frac{s}{w} + k_6 l + k_7 s \right] [\Omega] \quad (7)$$

donde:

$$k_1 = 214 \quad k_2 = 437 \quad k_3 = 1.2 \quad k_4 = -25 \quad k_5 = -273 \quad k_6 = -6.8 \quad k_7 = 931$$

En todas las expresiones anteriores, los valores de los coeficientes k_i se han obtenido realizando un ajuste con los valores de los parámetros eléctricos obtenidos de las medidas

3.5. Factor de calidad Q y frecuencia de resonancia

Este factor de calidad Q y la frecuencia de resonancia f_{res} se obtienen a partir del modelo eléctrico como sigue:

$$Q(\omega) = \frac{\text{Im}[Z(j\omega)]}{\text{Re}[Z(j\omega)]} = \frac{R_c \omega (L - \omega^2 L^2 C - R_l^2 C)}{R_l^2 + R_c R_l + \omega^2 L^2} \quad (8)$$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (9)$$

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un modelo eléctrico para las bobinas tipo meandro impresas en placas de circuito impreso y se han presentado relaciones entre sus parámetros y los parámetros físicos. El modelo propuesto permite diseñar bobinas desde 10 hasta 150 nH.

5. REFERENCIAS

- [1] J. Acuña, J. L. Rodriguez, F. Obelleiro. "Design of meander-line inductors on printed circuit boards", aceptado para publicación en *International journal of RF and Microwave Computer-Aided Design*.
- [2] C. Hoer, and C. Love. "Exact inductance equations for rectangular conductors with applications to more complicated geometries", *Journal of Research of NBS-C. Eng. and Instr.*, vol 69, No. 2 (1965).