C O E F I C I E N T E S   D E   A C O P L A M E N T O   D E   I N D U T O R E S

Por Luiz Amaral
PY1LL/AC2BR

Suponham-se, como na Figura 1, dois indutores com mesmo número de espiras por unidade de comprimento **N,** enrolados sobre uma mesma fôrma de raio **R**. Os indutores têm indutância e comprimento respectivamente **L1**, **C1** e **L2**, **C2** e a distância entre eles na fôrma é **C3**.

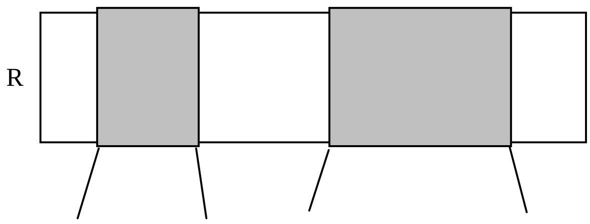

Figura 1

A expressão da indutância **L** de um indutor de **N** espiras e de comprimento **C** e raio **R** é dada por[1]:

$L=R^2.N^2/(9.R+10.C)$ (1)

Aplicando-se **(1)** a **L1** e a **L2**, tem-se:

$L1= R^2.N1^2/(9.R+10.C1)$ (2)

$L2= R^2.N2^2/(9.R+10.C2)$ (3)

Por outro lado, se pusermos os dois indutores em série, a indutância total será dada por:

L12=L1+L2+2.M12   (3), com **M12** a indutância mútua entre os dois indutores. **M12** pode ser escrito como:

M12=K12.√(L1.L2)   (4), com **K12** sendo o chamado coeficiente de acoplamento entre os indutores e pode variar de **0** a **1**.

L12=L1+L2+2.K12.√(L1.L2)   (5)

Em (5), tanto **L12** como **K12** são desconhecidos devido à distância finita **C3** entre os indutores.

Este artigo propõe-se justamente a deduzir uma expressão para esse coeficiente de acoplamento.

Para isto, vejamos o caso em que **C3** é nulo, isto é, os dois indutores formam um contínuo, como na Figura 2.

---

[1] **Esta expressão é válida apenas para as grandezas expressas em polagadas. Para centímetros uma conversão deve ser feita.**

Como agora os dois indutores formam um contínuo, a expressão **(1)** é aplicável, tendo-se então, como conhecido o valor da indutância total.

Os indutores têm agora indutância, comprimento e número de espiras respectivamente **La**, **Ca**, **Na** e **Lb**, **Cb**, **Nb.** O indutor total tem indutância **Lab,** comprimento **Cab=Ca+Cb** e número de espiras **Nab=Na+Nb**.

Podemos escrever:

$$\mathbf{Lab=La+Lb+2.Kab.\sqrt{(La.Lb)}} \quad \mathbf{(6)}$$

Como vale a expressão **(1)** para esse indutor total assim como para os dois indutores individuais, podemos usá-la em **(6)**:

$$\mathbf{R^2.Nab^2/(9.R+10.Cab)=R^2.Na^2/(9.R+10.Ca)+R^2.Nb^2/(9.R+10.Cb)+2.Kab.R^2.\sqrt{[Na^2.Nb^2/(9.R+10.Ca).(9.R+10.Cb)]}}$$

ou

$$\mathbf{Kab=\{(Na+Nb)^2/[9.R+10.(Ca+Cb)]-Na^2/(9.R+10.Ca)-Nb^2/(9.R+10.Cb)\}/(2.\ .\sqrt{[Na^2.Nb^2/(9.R+10.Ca).(9.R+10.Cb)]}} \quad \mathbf{(7)}$$

Em **(7)** todos os elementos do segundo membro são dados e, portanto, **Kab** é determinado.

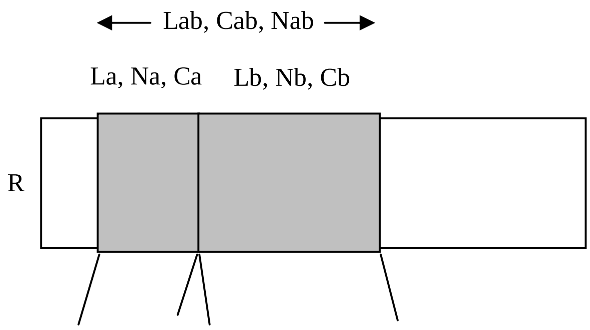

Figura 2

Isto mostra que é possível se determinar o coeficiente de acoplamento no caso dos dois indutores juntos.

No caso da Figura 1, pode-se usar um truque que é preencher o espaço entre os indutores com outro indutor imaginário de indutância, comprimento e número de espiras respectivamente **L3**, **C3** e **N3**, como na Figura 3.

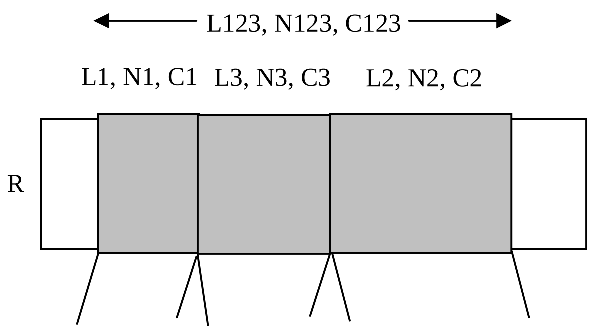

Figura 3

Nesse caso a indutância total é **L123**, seu comprimento **C123** e número de espiras **N123**.

Como **L1**, **L2** e **L3** formam um contínuo, pode-se aplicar **(6)** aos pares **L1-L3** e **L2-L3**, com o coeficiente de acoplamento **L12** sendo o elemento desconhecido a se calcular no caso **L1-L2**.

Fazendo-se essas aplicações, tem-se:

$$L13=L1+L3+2.K13.\sqrt{(L1.L3)} \quad (8)$$

$$L23=L2+L3+2.K23.\sqrt{(L2.L3)} \quad (9)$$

$$L12=L1+L2+2.K12.\sqrt{(L1.L2)} \quad (5)$$

Usando-se **(7)** em **(8)** e **(9)**, obtém-se os valores de **L13** e **L23**.

Escrevendo-se a expressão da indutância total, tem-se:

$$L123=L1+L2+L3+2K12.\sqrt{(L1.L2)}+2.K13.\sqrt{(L1+L3)}+2.K23.\sqrt{(L2.L3)} \quad (11)$$

Por ser um indutor contínuo, pode-se aplicar **(1)** em **L123**, ficando apenas **K12** como incógnita:

$$K12=L123-L1-L2-L3-2.K13.\sqrt{(L1+L3)}+2.K23.\sqrt{(L2.L3)} \quad (12)$$

Vemos que todo o segundo membro é conhecido pelo uso das expressões **(6)** e **(1)**, onde, apesar de **L3** não ser um indutor real, é usado para se resolver o problema apresentado na Figura 1, onde dois indutores estão separados fisicamente.

A condição fundamental utilizada é que o raio da fôrma seja o mesmo para todos os indutores e que o número de espiras por unidade de comprimento seja o mesmo para eles.

É mais eficiente o uso de um programa de computador para resolver a extensa equação para **K12** quando se substituem todos os valores no segundo membro de **(12)**.