
Instituto Politécnico do Porto

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Electrotécnica

Curso de Engenharia Electrotécnica

**Coeficiente de Auto-indução
Indutância**

Trabalho Laboratorial para ELECT-E

Setembro de 2022

Baseado no original de José Puga, Judite Ferreira, 1999

Aviso de Segurança

Siga as instruções dadas pelo Professor presente no laboratório. Em caso de dúvida chame o Professor e elucide-se.

Não exceder a tensão indicada para o sinal a aplicar aos enrolamentos.

Objectivos

Realizar experimentalmente a medição directa e indirecta do coeficiente de auto-indução de vários enrolamentos com núcleo de Ar e com núcleo de Ferro. Estabelecer a correlação entre as medidas obtidas e as variáveis associadas a cada um dos casos em análise.

Fundamentos Teóricos

Nesta secção são apresentados os fundamentos teóricos relevantes para o entendimento dos resultados que serão obtidos nos ensaios práticos.

Força electromotriz induzida e Indutância

Todo o condutor onde circula corrente eléctrica é abraçado pelas linhas de força do campo magnético por ele próprio criado. Se essa corrente é constante no tempo, o campo magnético também é constante no tempo e nada de especial acontece. Se essa corrente variar, varia também a configuração do campo em torno do condutor. Pela lei de Faraday surge então uma força electromotriz de auto-indução e por consequência uma corrente de auto-indução. As correntes induzidas chamam-se correntes de auto-indução ou extra-correntes e são particularmente importantes nos circuitos que contêm bobinas ou enrolamentos.

O efeito de auto-indução está permanente durante todo o funcionamento dos circuitos de corrente alternada. Nos circuitos de corrente contínua a auto-indução tem natureza transitória, ocorrendo aquando do estabelecimento e corte da alimentação dos circuitos. Os transitórios podem ser causa de graves perturbações e interferências para as quais existem técnicas específicas de mitigação.

Para cada circuito magnético linear existe proporcionalidade entre a corrente principal e o fluxo magnético a ela devido, tal como é indicado na equação 1 seguinte:

$$\boxed{\phi = LI} \quad \text{(Equ.1)} \quad \left| \begin{array}{l} \phi - \text{fluxo magnético (Wb)} \\ I - \text{intensidade da corrente (A)} \\ L - \text{coeficiente de auto-indução (H)} \end{array} \right.$$

em que:

A constante **L**, denominada indutância ou coeficiente de auto-indução, representa a proporcionalidade que caracteriza cada circuito magnético ou bobina. A unidade de **L** no **SI** é o Henry (**H**). Esta constante permite distinguir duas bobinas ou circuitos distintos para os quais a mesma variação da corrente origina diferentes variações de fluxo magnético (**φ**). Um Henry é a indutância de um circuito no qual uma variação de 1 **A** na corrente provoca uma variação de fluxo magnético de 1 **Wb**.

O coeficiente de auto-indução, **L**, depende das características da bobina. Este coeficiente é tanto maior quanto maior é o número de espiras e a secção da bobine, sendo tanto menor quanto maior é o seu comprimento. Esta relação é a dada pela seguinte expressão:

$$\boxed{L = \mu \frac{N^2 S}{l}} \quad \text{(Equ. 2)} \quad \left| \begin{array}{l} N - \text{número de espiras} \\ S - \text{secção transversal (m}^2\text{)} \\ l - \text{comprimento (m)} \\ \mu - \text{permeabilidade magnética do meio (H/m)} \\ L - \text{indutância (H)} \end{array} \right.$$

em que:

O fluxo induzido em cada espira é dado pelo produto **BS**. Em **N** espiras o fluxo é **N** vezes maior que o produzido por uma única espira, logo **φ = NBS**. Por outro lado, como **B = μH** e como pela lei de Ampere **H = NI/l**, então **B = μ NI/l**. Substituindo o valor de **B** na equação que nos dá o fluxo surge que **φ = N(μNI/l)S**. Como em simultâneo o fluxo é dado por **φ=LI**, tem-se que **L=μN²S/l**.

Pela lei de Faraday, a força electromotriz induzida é directamente proporcional à variação do fluxo encadeado em ordem ao tempo, isto é **e = -dφ/dt**. Substituindo nesta última **φ** por **Li** tem-se a seguinte equação (Equ. 3) que dá a força electromotriz induzida na indutância **L**:

$$\boxed{e = -L \frac{di}{dt}} \quad \text{(Equ. 3)} \quad \left| \begin{array}{l} L - \text{indutância (H)} \\ t - \text{tempo (s)} \\ i - \text{corrente (A)} \end{array} \right.$$

Princípio da Medição Indirecta do Coeficiente de Auto-Indução

O circuito utilizado para a medição indirecta da indutância é o apresentado na figura 1 seguinte.

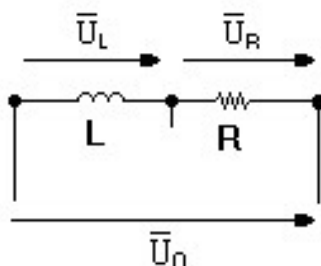


Fig. 1 Circuito RL série

Neste circuito a corrente que percorre a resistência é a mesma que percorre a indutância, pois estes dois componentes estão em série. Aplicando a lei das malhas, tendo em conta que a impedância da bobine é $2\pi fL$, e resolvendo em ordem à indutância L tem-se a relação matemática dada pela equação (Equ. 4):

$$L = \frac{R}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{U_0}{U_R}\right)^2 - 1}$$

(Equ. 4)

R – Resistência (Ω)
 U_0 – tensão no circuito (V)
 U_R – Tensão na Resistência (V)

em que :

Esta equação será a utilizada para a obtenção da medida indirecta da indutância.

Experiência: Medição do Coeficiente de Auto-Indução (L)

Nesta secção são realizadas as medições directas e indirectas da indutância apresentadas por duas bobinas, de 1000 e de 2000 espiras, quando estas se encontram com núcleo de Ar e com núcleo de Ferro.

Equipamento utilizado

- Gerador de sinais
- Osciloscópio
- Solenoide 2000 espiras com núcleo de Ar e de ferro de 10 cm
- Solenoide 1000 espiras com núcleo de Ar e de ferro de 10 cm
- Resistência de 470 Ω

Medição Directa de Indutância

Com o medidor RLC de bancada, realize a medição directa das indutâncias apresentadas pelas bobinas de 1000 e de 2000 espiras quando estas estão com núcleo de Ar e quando estão com núcleo de Ferro. Registe os 4 valores obtidos nas correspondentes tabelas Tab. 1, Tab. 2, Tab. 3 e Tab. 4, apresentadas seguidamente.

Medição Indirecta de Indutância

Realize a montagem referente ao circuito RL série apresentado na figura 2. De notar que o ponto de ligação comum à resistência, ao gerador de sinal é a referência de medição do osciloscópio.

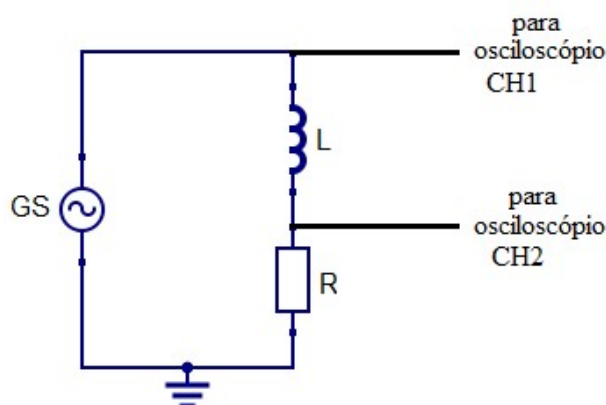


Fig. 2 Circuito RL série utilizado na medição indirecta da indutância

Repita o procedimento seguinte para as frequências e restantes condições indicadas nas tabelas Tab. 1, Tab. 2, Tab. 3 e Tab. 4, referentes às bobinas de 1000 e de 2000 espiras para a situação de núcleo de Ar e de Ferro. Tenha em atenção que o incremento de frequência entre leituras não é constante. Registe sempre a frequência para a qual conseguiu ajustar o gerador de sinal. Esse valor deve ser o utilizado nos cálculos e não o tablado.

- ajuste a tensão do gerador de sinal, GS, para aproximadamente 20 Vpp
- ajuste a frequência, f , da tensão do gerador de sinal, U_O , para o valor tablado
- meça e registe o valor da tensão, U_O , aplicada ao circuito, por leitura no CH1
- meça e registe o valor da frequência, f , aplicada ao circuito, por leitura no CH1
- meça e registe o valor da tensão, U_R , aos terminais da resistência, por leitura no CH2
- calcule e registe o valor da indutância, L , utilizando a equação 4

Tab.1 - Bobine de 1000 espiras com núcleo de Ar				
Medição directa (H)				
Freq.	f (Hz)	U _O (V)	U _R (V)	L (H)
5 kHz				
6 kHz				
7 kHz				
9 kHz				
11 kHz				
13 kHz				
15 kHz				
17 kHz				
19 kHz				
20 kHz				

Tab.1 - Bobine de 1000 espiras com núcleo de Ferro				
Medição directa (H)				
Freq.	f (Hz)	U _O (V)	U _R (V)	L (H)
5 kHz				
6 kHz				
7 kHz				
9 kHz				
11 kHz				
13 kHz				
15 kHz				
17 kHz				
19 kHz				
20 kHz				

Tab.1 - Bobine de 2000 espiras com núcleo de Ar				
Medição directa (H)				
Freq.	f (Hz)	U _O (V)	U _R (V)	L (H)
5 kHz				
6 kHz				
7 kHz				
9 kHz				
11 kHz				
13 kHz				
15 kHz				
17 kHz				
19 kHz				
20 kHz				

Tab.1 - Bobine de 2000 espiras com núcleo de Ferro				
Medição directa (H)				
Freq.	f (Hz)	U _O (V)	U _R (V)	L (H)
5 kHz				
6 kHz				
7 kHz				
9 kHz				
11 kHz				
13 kHz				
15 kHz				
17 kHz				
19 kHz				
20 kHz				