
Instituto Politécnico do Porto
Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Electrotécnica

Curso de Engenharia

**Indução Electromagnética
Forças de Origem Magnética**

Trabalho Laboratorial

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.

Objectivos

Observação da acção do fenómeno de indução electromagnética, da transmissão de energia sem ligação eléctrica e familiarização com as forças de origem electromagnética.

Introdução

Condutor Rectilíneo Longo

Para um condutor rectilíneo longo atravessado por uma corrente i o campo magnético a uma distância r desse condutor é dado pela seguinte expressão:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r} \quad (\text{Equ. 1})$$

Se um condutor rectilíneo percorrido por uma corrente eléctrica for colocado num campo magnético externo (\vec{B}) surge sobre ele uma força dada por:

$$\vec{F} = i\vec{L} \times \vec{B} \quad (\text{Equ. 2})$$

Quando o condutor não é rectilíneo este pode ser dividido em pequenos segmentos de recta sendo então a (Equ 3) aplicada a cada um destes segmentos.

$$d\vec{F} = id\vec{L} \times \vec{B} = -i\vec{B} \times d\vec{L} \quad (\text{Equ. 3})$$

Condutores Paralelos

Condutores paralelos que conduzem correntes no mesmo sentido são mutuamente atraídos. Contrariamente, condutores percorridos por correntes em sentidos opostos são repelidos. O módulo da força sobre um comprimento L de cada um dos condutores é dada por:

$$F_{ab} = i_b L B_a = \frac{\mu_0 L i_a i_b}{2\pi d} \quad (\text{Equ. 4})$$

Nesta equação d é a separação entre os condutores e percorridos pelas correntes i_a e i_b .

Solenóide e Toróide

No interior de um solenóide longo percorrido por uma corrente i_0 a densidade de fluxo magnético (**B**) em pontos próximos do seu centro é dado por:

$$B = \mu_0 \cdot i_0 \cdot n \quad (\text{Equ. 5})$$

Nesta equação **n** é o número de espiras por unidade de comprimento.

O campo magnético no interior de um toróide é dado por:

$$B = \frac{\mu_0 i_0 N}{2\pi} \frac{L}{R} \quad (\text{Equ. 6})$$

N – número de espiras, R – raio médio, L – comprimento do arco médio

Dipolo Magnético

O campo magnético produzido por uma bobina de corrente (um dipolo magnético) num ponto **P** localizado a uma distância **z** ao longo de seu eixo é paralelo a esse eixo e é dado por:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{N \vec{i} A}{z^3} \quad (\text{Equ. 7})$$

Nesta expressão $N \vec{i} A$ é denominado momento de dipolo da bobina.

Força Electromotriz Induzida

A força electromotriz induzida (FME) é dada pela lei de Faraday. No caso de o fluxo ser segundo a na perpendicular a um qualquer enrolamento, a FME é dada pela equação 7 seguinte:

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (\text{Equ. 8})$$

Esta expressão mostra que a existência de um campo magnético variável no tempo pode gerar força electromotriz num condutor. Consequentemente, pode surgir corrente eléctrica nesse mesmo condutor.

Trabalho Prático

São realizadas várias experiências para abordagem dos temas propostos para este trabalho. Na primeira é observado o fenómeno de indução electromagnética a diferentes níveis de tensão e a diferentes frequências. Na segunda experiência é observada a emissão de luz por LEDs e na terceira, é gerado som num pequeno altifalante. Por fim, a quarta experiência permite observar a ocorrência de som resultante da força electromagnética gerada numa bobina percorrida por corrente e na presença de um campo magnético permanente.

Equipamento e Material a Utilizar

- Gerador de sinais de baixa frequência
- Osciloscópio com FFT
- Captador acústico de proximidade
- Íman permanente em forma de paralelepípedo
- Uma bobina de 100 espiras solidária com uma cartolina
- Uma bobina de 110 espiras livre
- Altifalante Miniatura
- Dois diodos emissores de luz (LED)
- Uma mola para fixação relativa das bobinas

A figura seguinte, figura 1, apresenta a montagem já utilizada para a captação e correspondente visualização nos domínios do tempo e da frequência do sinal acústico. A zona evidenciada a cinzento é o microfone de proximidade, MICP. As 3 linhas de ligação são a alimentação positiva de 5V, a massa e a linha de sinal que estão identificadas, respectivamente, pelas cores laranja, verde e cinzenta. O bloco OSC (FFT) representa um osciloscópio com FFT. Esta montagem vai ser utilizada, mas experiências 3 e 4 deste trabalho.

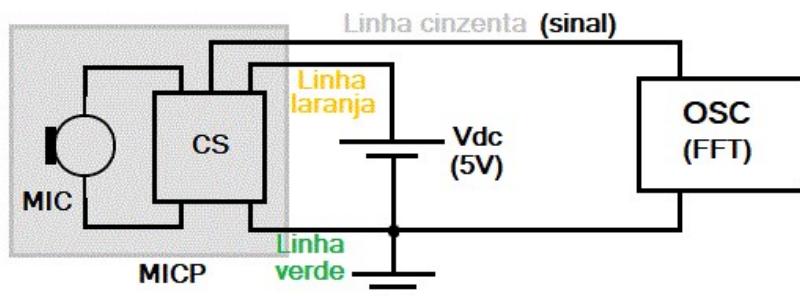


Fig. 1 Captação e visualização do sinal acústico

1) Indução Electromagnética

Coloque as duas bobinas, a de 100 espiras que se encontra solidária com a folha de cartolina e a bobina livre, sobrepostas e centradas uma com a outra tal com indicado no desenho exposto na figura 2. Não é necessário que o posicionamento seja perfeito mas sim que este se mantenha o mesmo durante toda a experiência. Utilize a mola para manter a posição relativa entre as duas bobinas. Ligue a bobina solidária com a folha de cartolina à saída do gerador de sinal e ligue cada um dos canais do osciloscópio a uma das bobinas.

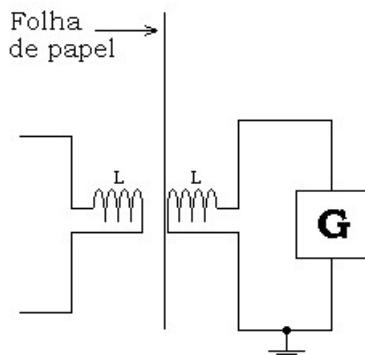


Fig. 2 Montagem para observação da indução electromagnética

Razão de transformação em função do nível de sinal:

Ajuste a frequência do sinal para do gerador para 10 kHz e forma de onda sinusoidal. Partindo do valor da tensão de 2 V_{pp} e até atingir 10 V_{pp}, preencha a tabela 1 seguinte. A tensão aplicada à bobina solidária com a folha de cartolina é **U_o** que deve ser próximo dos valores indicados na coluna da esquerda da tabela. A força electromotriz induzida na bobina livre é **U_e**.

Tab.1 - Bobinas sobrepostas e com núcleo de Ar			
Razão de transformação em função do nível de sinal			
	U _e (V)	U _o (V)	U _e /U _o
2 V_{pp}			
3 V_{pp}			
4 V_{pp}			
5 V_{pp}			
6 V_{pp}			
7 V_{pp}			
8 V_{pp}			
9 V_{pp}			
10 V_{pp}			

Razão de transformação em função da frequência do sinal:

Mantendo o posicionamento relativo das bobinas de ensaio anterior, realize as seguintes medições nas condições indicadas.

Ajuste a amplitude do sinal para o máximo e para forma de onda sinusoidal. Partindo da frequência de 10 kHz, com incrementos de 5 kHz até atingir os 50 kHz, preencha a seguinte tabela 2. As variáveis **f** e **U_o** são, respectivamente, a frequência e a tensão aplicadas à bobina. A força electromotriz que surge na bobina livre está representada por **U_e**. A frequência do sinal aplicado deve ser registada e deve ser próximo do indicado na coluna da esquerda da respectiva tabela.

Tab.2 - Bobinas de 100 espiras sobrepostas e com núcleo de Ar				
Razão de transformação em função da frequência do sinal				
Freq.	f (Hz)	U _e (V)	U _o (V)	U _e / U _o
10 kHz				
15 kHz				
20 kHz				
25 kHz				
30 kHz				
35 kHz				
40 kHz				
45 kHz				
50 kHz				

2) Indução Electromagnética e Emissão de Luz

Tal como na experiência anterior, coloque a bobina livre sobre a bobina solidária com a folha de cartolina mas não utilize a mola de fixação. Ligue a bobina solidária com a folha de cartolina ao gerador de sinal e a bobina livre ao conjunto dos LEDs, de acordo com o exposto na figura 3. Coloque o nível do sinal de saída do gerador no máximo e seleccione a forma de onda sinusoidal com frequência próxima dos 100 kHz.

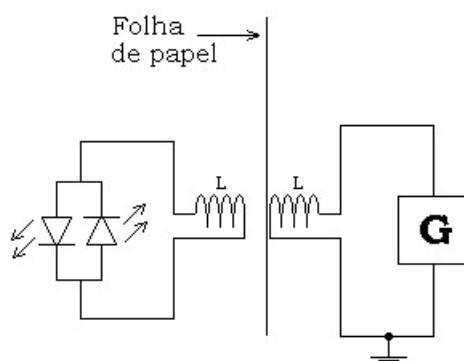


Fig. 3 Circuito para observação da emissão de luz

Proceda da seguinte forma:

Observando no osciloscópio a forma de onda da tensão aos terminais dos LEDs e a radiação luminosa por eles emitida:

- a) afaste lentamente as bobinas uma da outra mantendo-as paralelas e alinhadas;
- b) desloque a bobina livre paralelamente à outra mantendo-as encostadas;
- c) rode lentamente a bobina livre até aos 90º colocando-as na perpendicular e
- d) procure a posição relativa entre as bobinas que resulta na maior intensidade luminosa.

3) Indução Electromagnética e Sinal Acústico

Coloque a bobina de 100 espiras que se encontra solidária com a folha de cartolina sobe a bobina livre de acordo com o desenho exposto na figura 4. Ligue a bobina solidária com a folha de cartolina à saída do gerador de sinal e ligue a bobina livre ao pequeno altifalante.

Monte o circuito para captação de onda acústica apresentado na figura 1, colocando o receptor sonoro sobre o altifalante.

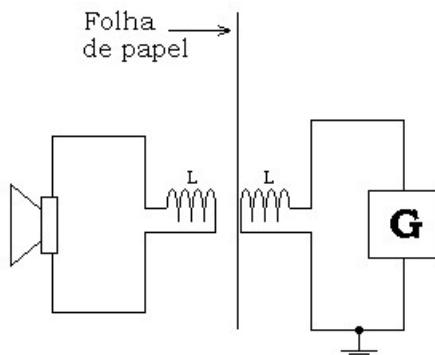


Fig. 4 Transmissão de energia para o altifalante

Proceda da seguinte Forma:

- a) coloque o nível do sinal de saída do gerador no máximo e seleccione a forma de onda sinusoidal com frequência próxima dos 3 kHz;
- b) sobreponha as duas bobinas colocando a bobina livre sobre a bobina solidária com a folha de papel;
- c) faça variar a frequência do gerador de sinal e identifique o limite inferior e o superior para os quais o sinal sonoro é audível;
- d) observe no osciloscópio a correspondente frequência e nível de sinal da faixa audível captados e
- e) compare os timbres e o espectro do som produzido para as formas de onda sinusoidal e quadrada, para a frequência 3 kHz.

4) Força Magnética e Sinal Acústico

Coloque a bobina de 100 espiras que se encontra solidária com a folha de cartolina tal como indicado no desenho exposto na figura 5 e ligue esta bobina à saída do gerador de sinal.

Utilize novamente o circuito para captação de onda acústica apresentado na figura 1, colocando o receptor sonoro sobre a folha de papel na zona da bobina.

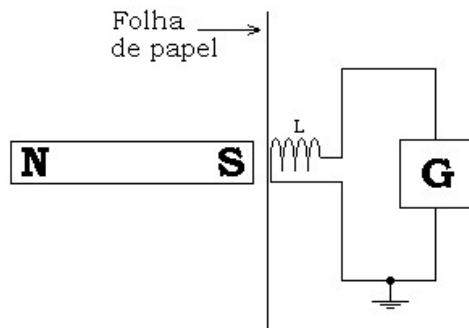


Fig. 5 Montagem para observação do sinal acústico

Proceda da seguinte Forma:

- a) coloque o nível do sinal de saída do gerador no máximo e seleccione a forma de onda sinusoidal com frequência próxima dos 3 kHz;
- b) aproxime um dos pólos do íman permanente à bobina solidária com a folha de papel;
- c) faça variar a frequência do gerador de sinal e identifique o limite inferior e o superior para os quais o sinal sonoro é audível;
- d) observe no osciloscópio a correspondente frequência e nível de sinal da faixa audível captados e
- e) compare os timbres e o espectro do som produzido para as formas de onda sinusoidal e quadrada, para a frequência 3 kHz.