

Indução Magnética

Física II, 2025/2026

José Luís Argain, Dário Passos

1 Resumo

Neste trabalho pretende-se estudar o fenómeno da indução magnética. Para isto, um campo magnético, de intensidade e frequência variáveis, é produzido num solenoide longo. Dentro deste último são introduzidas bobinas de indução mais pequenas, nas quais as tensões induzidas são medidas como função do número de espiras que possuem, do seu raio, da intensidade da corrente que origina o campo magnético e da frequência a ela associada.

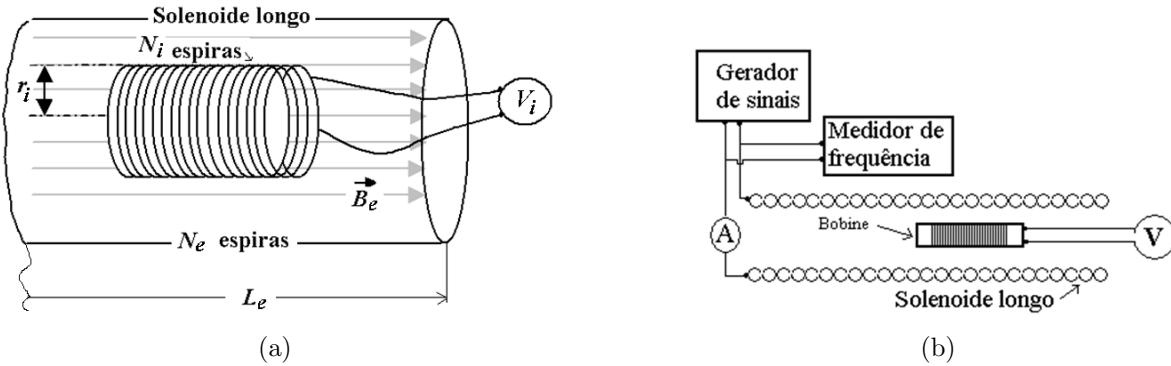


Figura 1: a) Indução magnética numa bobine de raio r_i e N_i espiras, por um campo magnético uniforme (\vec{B}_e), produzido por um solenoide longo, de comprimento L_e e N_e espiras. b) Esquema da montagem experimental.

2 Fundamento teórico

Uma bobina (ou solenóide) longa (solenóide exterior), de comprimento L_e e número de espiras N_e , é percorrida por uma corrente alternada sinusoidal, I_e (ver Fig. 1a),

$$I_e = I_0 \cos(2\pi f_e t + \phi), \quad (1)$$

em que I_0 é amplitude máxima da corrente, f_e a sua frequência e ϕ representa a fase inicial. No interior desta bobina grande produz-se um campo magnético alternado uniforme, B_e . Neste caso, a Lei de Faraday prevê o aparecimento de uma tensão induzida V_i , aos terminais da bobina interior, dada por:

$$V_i = V_0 \cos(2\pi f_e t + \psi), \quad (2)$$

em que a amplitude máxima é dada por

$$V_0 = \frac{2\pi^2 \mu_0 N_e I_e f_e N_i r_i^2}{L_e}, \quad (3)$$

e ψ é a fase inicial de V_i . Na expressão anterior μ_0 é uma constante universal denominada *permeabilidade magnética do vácuo*, a qual numa muito boa aproximação pode ser dada por $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A (ou V.s/(A.m)). Nesta configuração a bobina exterior é chamada bobina indutora e a interior bobina de indução.

Se numa determinada experiência se usar sempre a mesma bobina exterior e se se variar apenas as características da corrente exterior e da bobina interior, a equação anterior pode ser escrita na forma

$$V_0 = A(I_e f_e N_i r_i^2), \quad (4)$$

com

$$A = \frac{2\pi^2 \mu_0 N_e}{L_e}. \quad (5)$$

Se se variar, de cada vez, apenas um dos parâmetros entre parêntesis na equação anterior, é fácil verificar que V_0 será uma função linear do parâmetro variado (I_e , f_e , N_i ou r_i^2), isto é, o gráfico de V_0 em função desse parâmetro será uma reta. Nesta experiência, verificar-se-á a validade da (4)¹.

Consideremos, por exemplo, o caso em que só variamos I_e e fixamos f_e , N_i e r_i^2 . Por conveniência, a equação (4) pode ser escrita como

$$V_0 = \underbrace{A(f_e N_i r_i^2)}_{at} \times \underbrace{I_e}_x + \underbrace{0}_{bt}. \quad (6)$$

Medindo um conjunto de pontos (I_e , V_0) podemos determinar o declive da reta experimental e compará-lo com a_t . Um procedimento análogo é feito com as restantes 3 variáveis.

3 Materiais

Os materiais usados são (ver figura 2): Um solenoide longo, cinco bobinas pequenas, um gerador de sinais, um medidor de frequência digital (para o caso de o gerador de sinais não ter um visor incorporado), um multímetro, um voltímetro e fios de ligação.

4 Procedimento experimental

Na Fig. 1b mostra-se como efetuar a montagem experimental. A corrente que passa pelo solenoide longo é medida com o amperímetro e o valor da sua frequência é medido no gerador de sinais ou com a ajuda de um medidor de frequências digital. O efeito da variação da frequência da corrente associada ao campo magnético na tensão induzida deve ser estudado no intervalo de frequências de 1 kHz a 8 kHz dado que, para valores de $f < 0.5$ kHz, a ligação do solenoide longo é praticamente equivalente a fazer o curto-círcuito da fonte de alimentação; por outro lado, para $f > 10$ kHz a incerteza nas medições é muito elevada. A tensão induzida é medida com o multímetro digital. O seletor do tipo de sinal do gerador deverá apontar sempre para o sinal sinusoidal. As bobinas pequenas deverão ser colocadas o mais ao centro possível do solenoide longo, por ser esta a região onde o campo magnético é completamente uniforme.

¹Note-se que por tratar-se de grandezas elétricas variáveis no tempo, os instrumentos de medida usados nesta experiência (amperímetro e voltímetro) não têm a capacidade de ler os valores instantâneos das tensões e das correntes, mas apenas os seus valores eficazes. No entanto, é possível mostrar que a expressão (4) permanece válida, mesmo para valores eficazes de I e V .



Figura 2: Instalação experimental.

4.1 Determinação da tensão induzida em função da intensidade da corrente geradora do campo magnético

1. Fixar $f_e=1$ kHz no botão regulador de frequência do gerador de sinais;
2. Escolher uma das bobines, ligá-la ao voltímetro e introduzi-lo no solenóide. Desta forma já estão fixos os parâmetros f_e , N_i e r_i (N_i e r_i são lidos na referência da bobine);
3. Variar a corrente (medida no amperímetro) a partir dos 10 mA, com intervalos de 10mA, até atingir os 80 mA; para tal regule a amplitude de saída (Vpp) do gerador.
4. Registar numa tabela o valor de V_i para cada valor de I_e .

4.2 Determinação da tensão induzida em função da frequência da corrente geradora do campo magnético

1. Manter a mesma bobine do ponto anterior e fixar uma corrente $I_e = 30$ mA no botão regulador da amplitude do sinal. Desta forma já estão fixos os parâmetros I_e , N_i e r_i ;
2. Variar f_e a partir de 1 kHz, com intervalos aproximados de 0.5 kHz, até atingir os 8 kHz. Note-se que a variação de f_e pode alterar I_e . Por esta razão, sempre que se variar f_e , o valor de I_e deve ser ajustado para o valor $I_e = 30$ mA;
3. Registar numa tabela o valor de V_i para cada valor de f_e .

4.3 Determinação da tensão induzida em função do número de espiras da bobine de indução

1. Fixar $I_e=30$ mA e uma frequência $f_e=1$ kHz;
2. Escolher as bobines com o mesmo raio, r_i . Deste modo já estão fixos os parâmetros I_e , f_e e r_i ;
3. Para cada uma das bobinas escolhidas (i.e., para cada N_i) medir V_i e anotar os valores numa tabela.

4.4 Determinação da tensão induzida em função do raio das bobinas de indução

1. Fixar $I_e = 30$ mA e uma frequência $f_e = 1$ kHz;
2. Escolher as bobinas com o mesmo valor de N_i (tipicamente 3 bobinas). Desta forma já estão fixos os parâmetros I_e , f_e e N_i ;
3. Para cada uma das bobinas escolhidas (i.e., para cada N_i) medir V_i e anotar os valores de V_i e r_i numa tabela.

5 Análise dos resultados obtidos

Em todos os cálculos use as unidades no sistema SI.

5.1 Intensidade de corrente variável

Construir um gráfico de V_i em função de I_e . Ajuste uma reta de regressão linear ($y = ax + b$) ao gráfico, calculando o declive, a , a ordenada na origem, b , e os seus respetivos erros, δa e δb . Para isto, recomenda-se usar a função proj.lin do *software* Excel (ver seção 4.3 da sebenta "Fundamentos de Análise de Dados", na tutoria eletrónica). Note que o *software* Excel está acessível a todos os alunos da UAlg, no pacote Microsoft Office 365;

Calcule o declive teórica da reta, a_t como mostrado na equação (6) e verifique se o declive esperado $a_t \in [a - \delta a, a + \delta a]$. Determine também o erro relativo percentual, de a em relação a a_t .

Para os restantes três casos, proceda de modo similar.

Retires conclusões dos resultados obtidos.