FÍSICA III

Professora Mauren Pomalis

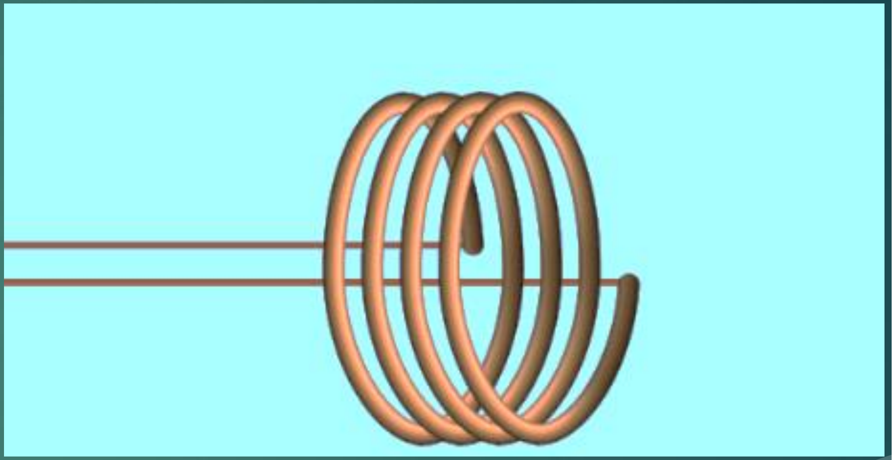
mauren.pomalis@unir.br

ENGENHARIA ELÉTRICA - 3º PERÍODO

UNIR/PORTO VELHO

2017/1

Indutância



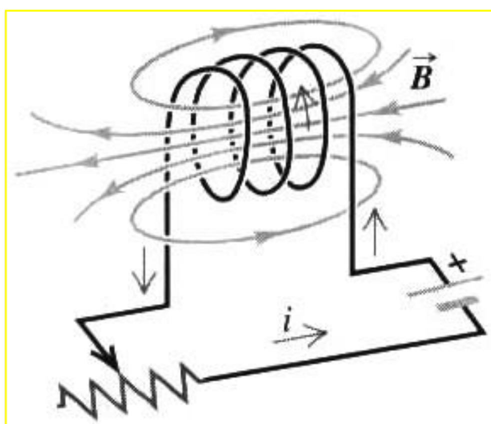
Sumário

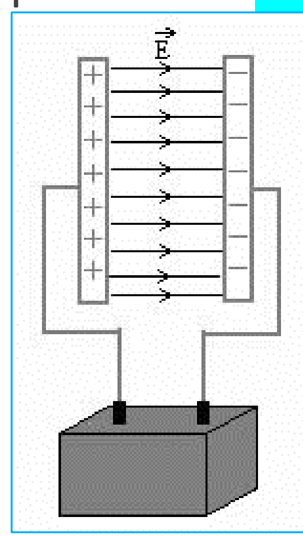
- Introdução
- Indutância
- Auto-indução
- Circuito RL (versus RC)
- Indução mútua

Introdução

- Da mesma forma que utilizamos duas placas paralela para representar um capacitor, o equivalente ao indutor é um solenoide.

- O capacitor é o dispositivo que convenientemente representa a criação de um campo elétrico, enquanto o solenoide produz um campo magnético.





Indutância

- Dessa forma, energia pode ser armazenada no campo magnético de um indutor exatamente como acontece no campo elétrico de um capacitor.
- Símbolo:

- Unidade S.I.: $1 \text{ henry} = 1\text{ H} = 1\text{ T}\cdot\text{m}^2/\text{A}.$

Joseph Henry
American Physicist (1797–1878)

Indutância

- Sendo as espiras do solenóide condutoras de corrente, *i*, que produz um fluxo magnético ϕ_B na região central do indutor (solenoide), então a indutância do indutor é dada com:

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} \qquad \text{(definição de indutância)}$$

N=nº de espiras

Fluxo Concatenado

Indutância de um solenóide

- A indutância por unidade de comprimento num solenoide longo, próximo ao seu centro é:

$$\frac{L}{l} = \mu_0 n^2 A \qquad \text{(solenóide)}$$

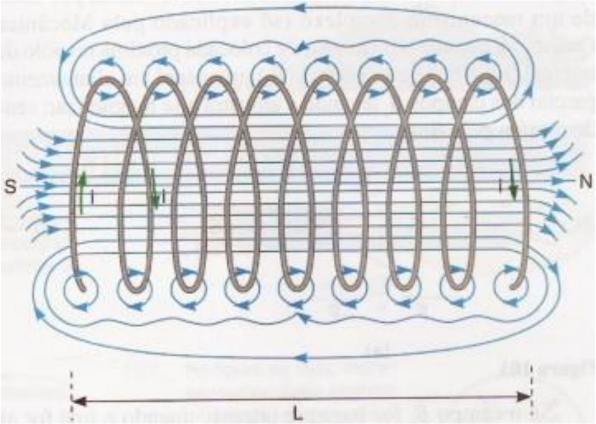
$n = N/l$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{T \cdot m/A} = 4\pi \times 10^{-7}\ \mathrm{H/m}.$$

N é o número de espiras. O número de espiras por unidade de comprimento é dado pelo quociente N/L, então n = N/L.

Exemplo

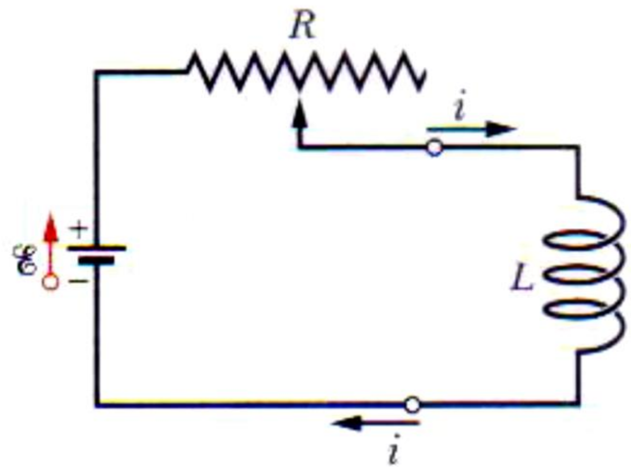
- 1. a)Calcule a indutância de um solenoide de 300 espiras, e 25 cm de comprimento, com área de secção transversal de 4 cm^2.



R.: 0,181 mH

Auto-indução

- “Uma *fem* induzida aparece numa bobina quando variamos a corrente nesta mesma bobina.”



Auto-indução

- Com as deduções de fórmulas, com:

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} \quad \rightarrow \quad N\Phi_B = Li$$

- E,
- Conforme a Lei de Faraday : Então:

$$\mathcal{E}_L = -\frac{d(N\Phi_B)}{dt} \quad \rightarrow \quad \boxed{\mathcal{E}_L = -L\frac{di}{dt} \quad \text{(força eletromotriz auto-induzida)}}$$

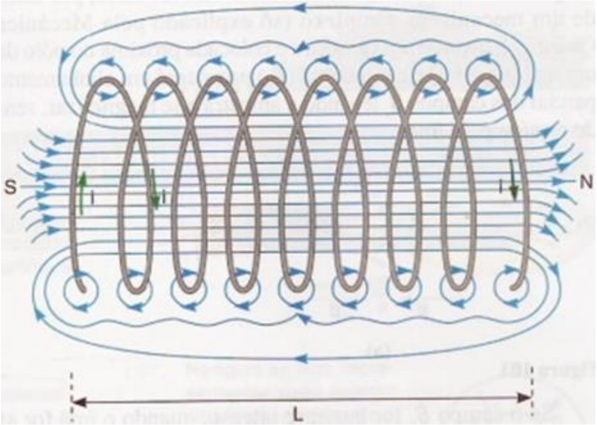
Auto-indução

Uma força eletromotriz induzida $\mathscr{E}_L$ aparece em todo indutor cuja corrente está variando.

- É importante frisar que a intensidade da corrente não tem influência sobre o módulo da *fem* induzida. Somente a VARIAÇÃO da corrente tem importância.

Exemplo

- 1. b) Calcule o valor da *fem* auto-induzida no solenoide se a corrente que ele carrega diminui à taxa de 50 A/s.

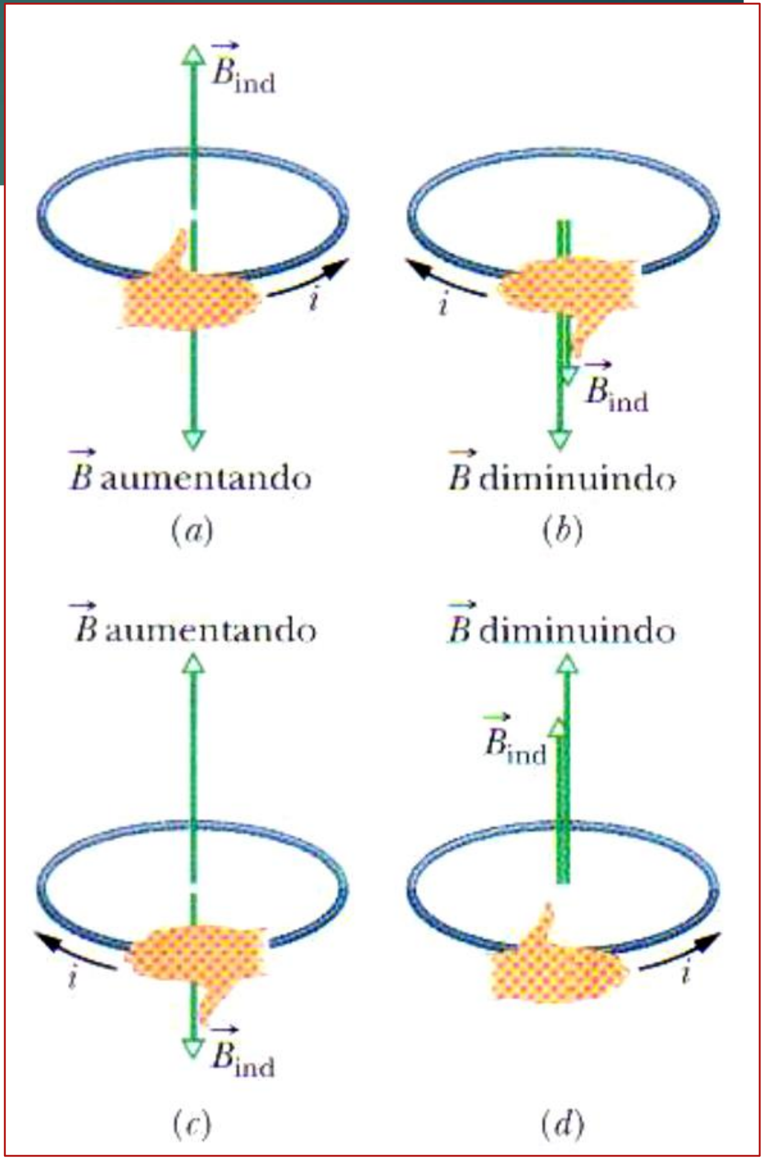


R.: 9,05mV

Auto-indução

- Também é necessário lembrar que o sinal negativo da fórmula representa que a *fem* atua de modo a se opor à variação que a produz.

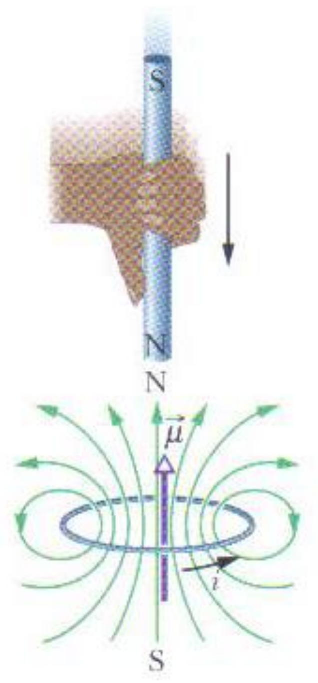
- Na lei de Lenz é apresentado este comportamento:



Lei de Lenz

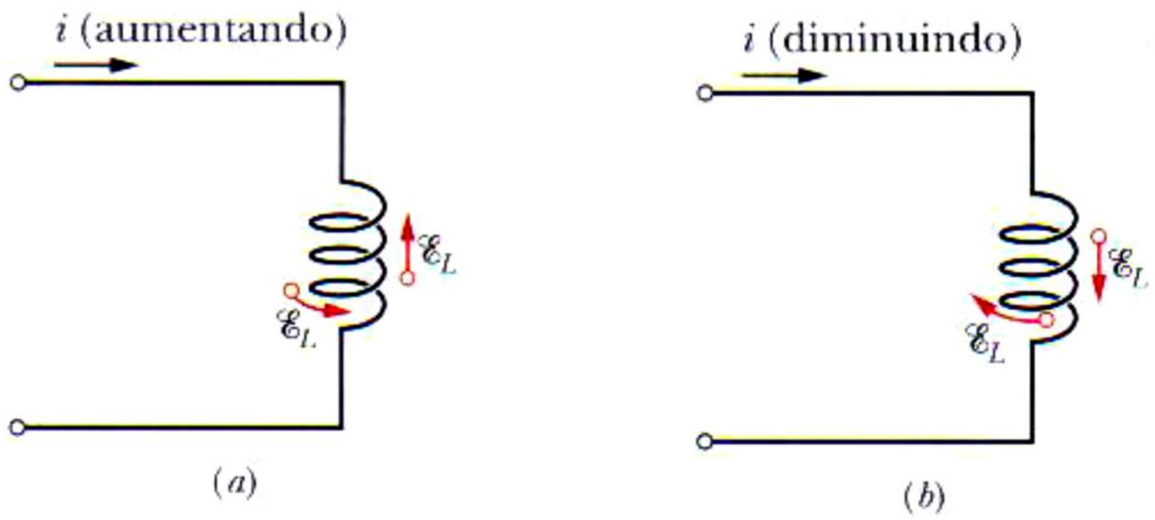
A corrente induzida em uma espira tem um sentido tal que o campo magnético produzido *pela corrente* se opõe ao campo magnético que induz a corrente.

- O momento dipolar magnético do campo magnético criado é oposto ao movimento do ímã.



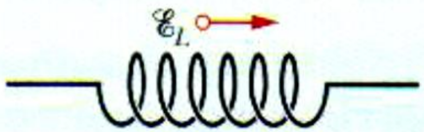
Auto-indução

- No caso de um circuito com indutor:



Indutância

TESTE 5 A figura mostra uma força eletromotriz $\mathscr{E}_L$ induzida em uma bobina. Escolha a opção correta para a corrente na bobina: (a) constante, da esquerda para a direita; (b) constante, da direita para a esquerda; (c) crescente, da esquerda para a direita; (d) decrescente, da esquerda para a direita; (e) crescente, da direita para a esquerda; (f) decrescente, da direita para a esquerda.



R.: d ou e

Fórmulas Indutância

$$L = \frac{N\Phi_B}{I}$$

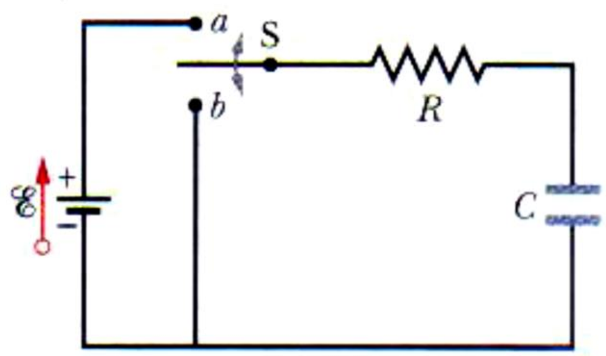
$$L = \mu_0 \frac{(n\ell)^2}{\ell} A$$

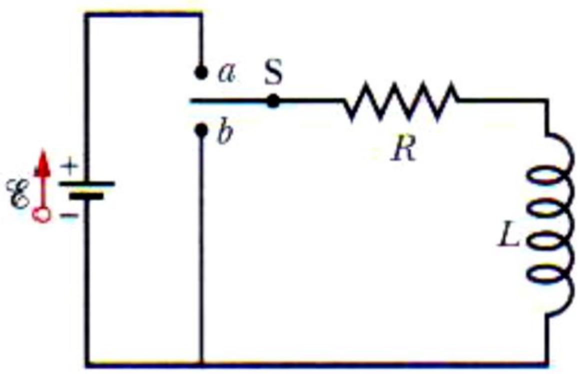
$$L = \mu_0 \frac{N^2}{\ell} A$$

$$L = \mu_0 n^2 V$$

$$L = \mu_0 n^2 A \ell$$

Circuitos RC x RL





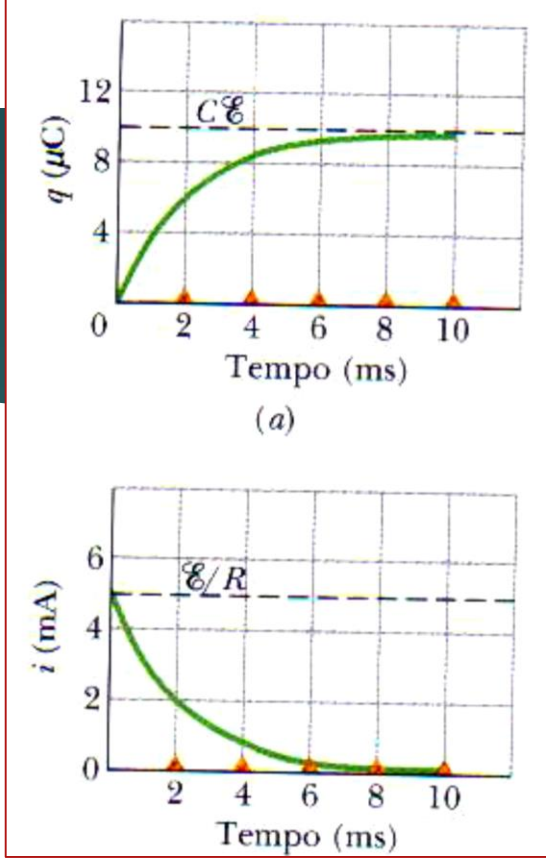
$$R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = \mathscr{E}$$

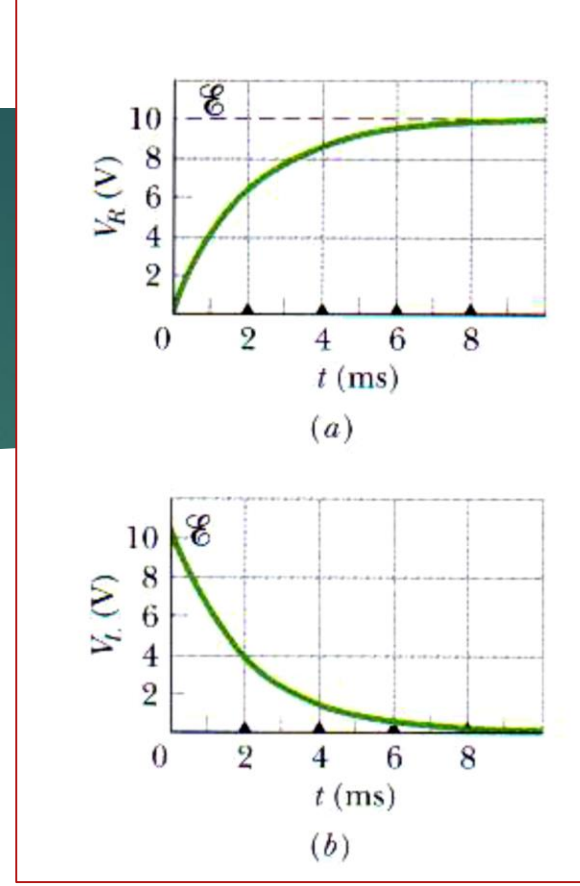
$$L\frac{di}{dt} + Ri = \mathscr{E} \qquad \text{(circuito } RL\text{)}$$

$$q = C\mathscr{E}(1 - e^{-t/RC}) \qquad \text{(carregamento de um capacitor)}$$

Um capacitor que está sendo carregado se comporta inicialmente como um fio comum. Após um longo período de tempo o capacitor se comporta como um fio interrompido.

Inicialmente um indutor se opõe a qualquer variação da corrente que o atravessa. Após um tempo suficientemente longo o indutor se comporta como um fio comum.





- De acordo com a regra das malhas:

$$i = \frac{dq}{dt} = \left(\frac{\mathscr{E}}{R}\right)e^{-t/RC} \qquad \text{(carregamento de um capacitor)}$$

$$i = \frac{\mathscr{E}}{R}(1 - e^{-t/\tau_L}) \qquad \text{(aumento da corrente)}$$

$$q = q_0 e^{-t/RC} \qquad \text{(descarga de um capacitor)}$$

$$i = \frac{\mathscr{E}}{R}e^{-t/\tau_L} = i_0 e^{-t/\tau_L} \qquad \text{(diminuição da corrente)}$$

$$\tau = RC \qquad \text{(constante de tempo)}$$

$$\tau_L = \frac{L}{R} \qquad \text{(constante de tempo)}$$

RESUMO

Circuitos *RC* Quando uma força eletromotriz $\mathscr{E}$ é aplicada a uma resistência R e uma capacitância C em série, como na Fig. 27-15 com a chave na posição a, a carga do capacitor aumenta com o tempo de acordo com a equação

$$q = C\mathscr{E}(1 - e^{-t/RC}) \quad \text{(carregamento de um capacitor)}, \qquad (27\text{-}33)$$

onde $C\mathscr{E} = q_0$ é a carga de equilíbrio (carga final) e $RC = \tau$ é a **constante de tempo capacitiva** do circuito. Durante o carregamento do capacitor a corrente é dada por

$$i = \frac{dq}{dt} = \left(\frac{\mathscr{E}}{R}\right)e^{-t/RC} \quad \text{(carregamento de um capacitor)}. \qquad (27\text{-}34)$$

Quando um capacitor se descarrega através de uma resistência R, a carga do capacitor diminui com o tempo de acordo com a equação

$$q = q_0 e^{-t/RC} \quad \text{(descarga de um capacitor)}. \qquad (27\text{-}39)$$

Durante a descarga do capacitor a corrente é dada por

$$i = \frac{dq}{dt} = -\left(\frac{q_0}{RC}\right)e^{-t/RC} \quad \text{(descarga de um capacitor)}. \qquad (27\text{-}40)$$

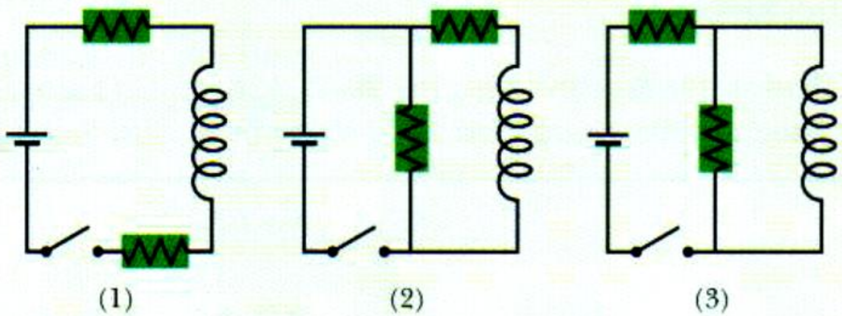
Circuitos *RL* Série Se uma força eletromotriz constante $\mathscr{E}$ é aplicada a um circuito com uma única malha constituído por uma resistência R e uma indutância L, a corrente tende para um valor final $\mathscr{E}/R$ de acordo com a equação

$$i = \frac{\mathscr{E}}{R}(1 - e^{-t/\tau_L}) \quad \text{(aumento da corrente)}, \qquad (30\text{-}41)$$

onde τ_L $(= L/R)$ governa a taxa de aumento da corrente e é chamada de **constante de tempo indutiva** do circuito. Quando a fonte de força eletromotriz constante é removida, a corrente diminui para zero a partir de um valor inicial i_0 de acordo com a equação

$$i = i_0 e^{-t/\tau_L} \quad \text{(diminuição da corrente)}. \qquad (30\text{-}45)$$

TESTE 6 A figura mostra três circuitos com fontes, indutores e resistores iguais. Coloque os circuitos na ordem da corrente que atravessa a fonte (a) logo depois que a chave é fechada e (b) muito tempo depois que a chave é fechada, começando pelo maior valor. (Se o leitor tiver dificuldade para responder, leia o exemplo a seguir e tente novamente.)



Inicialmente um indutor se opõe a qualquer variação da corrente que o atravessa. Após um tempo suficientemente longo o indutor se comporta como um fio comum.

Indutor

$$U_B = \frac{1}{2} L i^2 \qquad \text{(energia magnética)}$$

$$u_B = \frac{B^2}{2\mu_0} \qquad \text{(densidade de energia magnética)}$$

Capacitor:

$$U = \frac{1}{2} C V^2,$$

$$u = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E^2.$$

TESTE 7 A tabela mostra o número de espiras por unidade de comprimento, a corrente e a seção reta de três solenóides. Coloque os solenóides na ordem da densidade de energia magnética, começando pela maior.

Solenóide	Espiras por Unidade de Comprimento	Corrente	Área
a	$2n_1$	i_1	$2A_1$
b	n_1	$2i_1$	A_1
c	n_1	i_1	$6A_1$

$$u_B = \frac{U_B}{Al}$$

$$u_B = \tfrac{1}{2}\mu_0 n^2 i^2$$

$$u_B = \frac{Li^2}{2Al} = \frac{L}{l}\,\frac{i^2}{2A}$$

R.: *b, a, c*

Indução Mútua

Indução Mútua Se existem duas bobinas 1 e 2 próximas uma da outra, a variação da corrente em uma das bobinas pode induzir uma força eletromotriz na outra. Essa indução mútua é descrita pelas equações

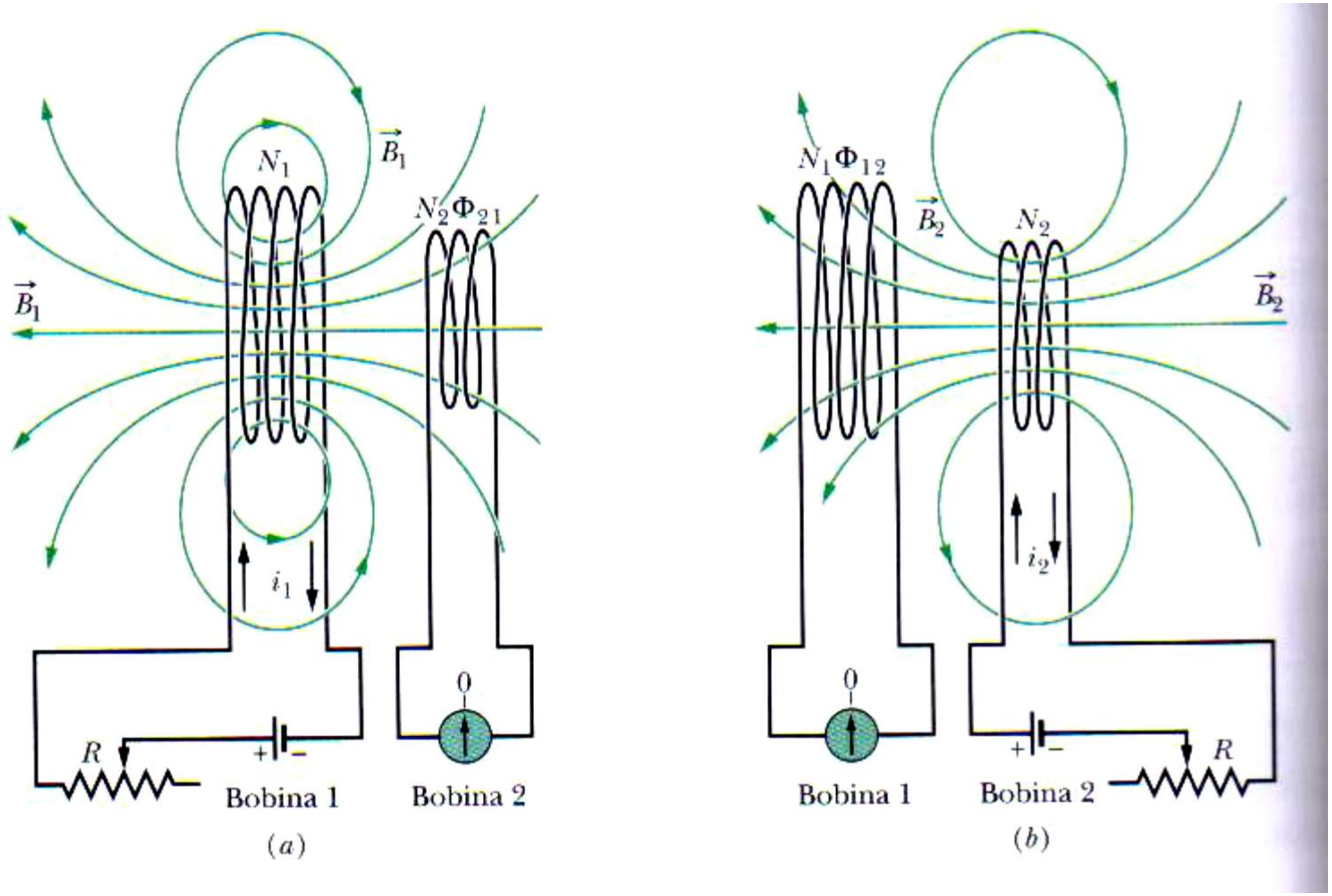
$$\mathscr{E}_2 = -M\frac{di_1}{dt} \tag{30-64}$$

e

$$\mathscr{E}_1 = -M\frac{di_2}{dt}, \tag{30-65}$$

onde M (medida em henrys) é a indutância mútua das bobinas.

Indução Mútua



Referências Bibliográficas

- HALLIDAY, Resnick. Física 3. 4ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 1996.
- HALLIDAY, Resnick. Física 3. 8ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2009.
- DIAS, V. S. Michael Faraday: Subsídios para metodologia de trabalho experimental. Dissertação de mestrado. USP, Instituto de Física. São Paulo, 2004.
- SERWAY, R.A.& JEWETT, J.W. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics. 8ª edição. Ed Brooks/Cole Cengage, 2010.
- TIPLER, Paul. Física Volume 2. 5ª edição. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2006.
- CROWELL, Benjamin. Eletricity and Magnetism. California, USA. Ed. Light and Matter, 2002.
- ULABY, Fawwaz T. Eletromagnetismo para engenheiros. Porto Alegre/RS. Editora Bookman, 2007. (original da Universidade de Michigan).