

Indução

Prof. Hilde Harb Buzzá

Campos Eléctricos Induzidos

Campos Elétricos Induzidos

Um campo magnético variável produz um campo elétrico!

Lei de Faraday geral

Campos Elétricos Induzidos

Um campo magnético variável produz um campo elétrico!

Lei de Faraday geral

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Campos Elétricos Induzidos

Um campo magnético variável produz um campo elétrico!

Lei de Faraday geral

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Campos Elétricos Induzidos

Um campo magnético variável produz um campo elétrico!

Lei de Faraday geral

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Campos Elétricos Induzidos

Um campo magnético variável produz um campo elétrico!

Lei de Faraday geral

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} \\ \varepsilon &= -\frac{d\Phi_B}{dt} \end{aligned} \right\} \oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Campos Elétricos Induzidos

Um campo magnético variável produz um campo elétrico!

Lei de Faraday geral

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Potencial elétrico não se aplica aos campos elétricos produzidos por indução

Indutores e Indutância

Indutor → usado para produzir campos magnéticos

Indutores e Indutância

Indutor → usado para produzir campos magnéticos

Indutância:
$$L = \frac{N\Phi_B}{i}$$

Indutores e Indutância

Indutor → usado para produzir campos magnéticos

Indutância:
$$L = \frac{N\Phi_B}{i}$$

Fluxo produzido por unidade de corrente!

Indutores e Indutância

Indutor → usado para produzir campos magnéticos

Indutância:
$$L = \frac{N\Phi_B}{i}$$

Fluxo produzido por unidade de corrente!

$$[L] = \frac{T/m^2}{A}$$

Indutores e Indutância

Indutor → usado para produzir campos magnéticos

Indutância: $L = \frac{N\Phi_B}{i}$ Fluxo produzido por unidade de corrente!

$$[L] = \frac{T/m^2}{A} = H(\text{henry})$$

Indutância de um Solenóide

$$N\Phi_B =$$

Indutância de um Solenóide

$$N\Phi_B = (nl)(BA)$$

Indutância de um Solenóide

$$N\Phi_B = (nl)(BA)$$

$$B = \mu_0 in$$

Indutância de um Solenóide

$$N\Phi_B = (nl)(BA)$$

$$B = \mu_0 in$$

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

Indutância de um Solenóide

$$N\Phi_B = (nl)(BA)$$

$$B = \mu_0 in$$

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} = \frac{(nl)(BA)}{i} =$$

Indutância de um Solenóide

$$N\Phi_B = (nl)(BA)$$

$$B = \mu_0 in$$

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} = \frac{(nl)(BA)}{i} = \frac{(nl)(\mu_0 in)(A)}{i}$$

Indutância de um Solenóide

$$N\Phi_B = (nl)(BA)$$

$$B = \mu_0 in$$

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} = \frac{(nl)(BA)}{i} = \frac{(nl)(\mu_0 in)(A)}{i} \rightarrow L = l\mu_0 n^2 A$$

Indutância de um Solenóide

$$N\Phi_B = (nl)(BA)$$

$$B = \mu_0 in$$

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} = \frac{(nl)(BA)}{i} = \frac{(nl)(\mu_0 in)(A)}{i} \rightarrow L = l\mu_0 n^2 A$$

$$\frac{L}{l} = \mu_0 n^2 A \quad \text{Indutância/comprimento no centro do solenoide}$$

Indutância de um Solenóide

$$N\Phi_B = (nl)(BA)$$

$$B = \mu_0 in$$

$$L = \frac{N\Phi_B}{i} = \frac{(nl)(BA)}{i} = \frac{(nl)(\mu_0 in)(A)}{i} \rightarrow L = l\mu_0 n^2 A$$

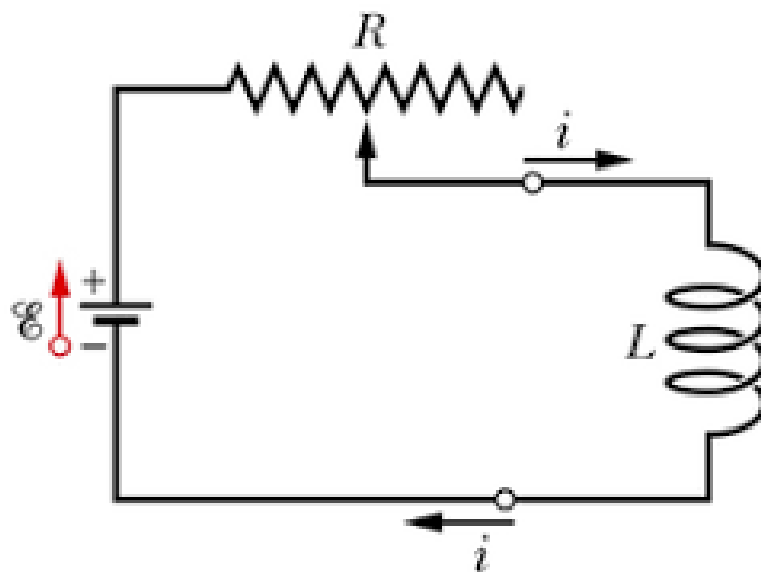
$$\frac{L}{l} = \mu_0 n^2 A$$

Indutância/comprimento no centro do solenoide

Depende da geometria!

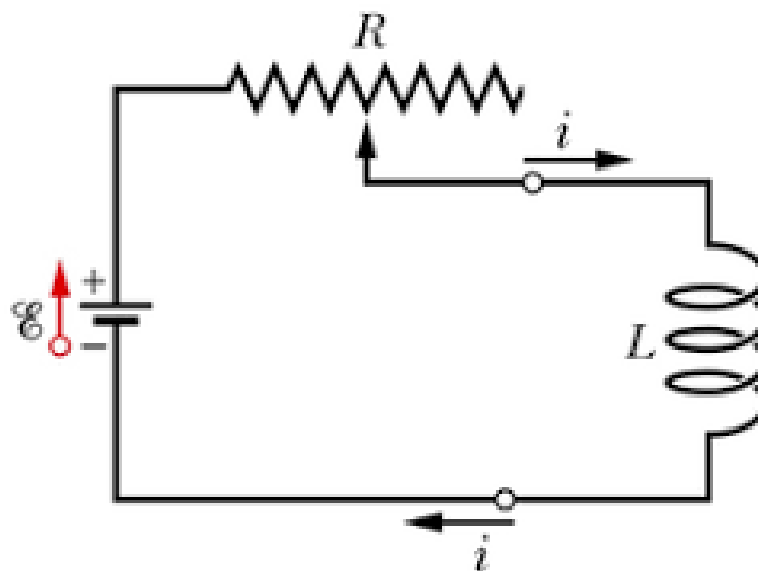
Autoindução

A corrente varia em todo indutor →



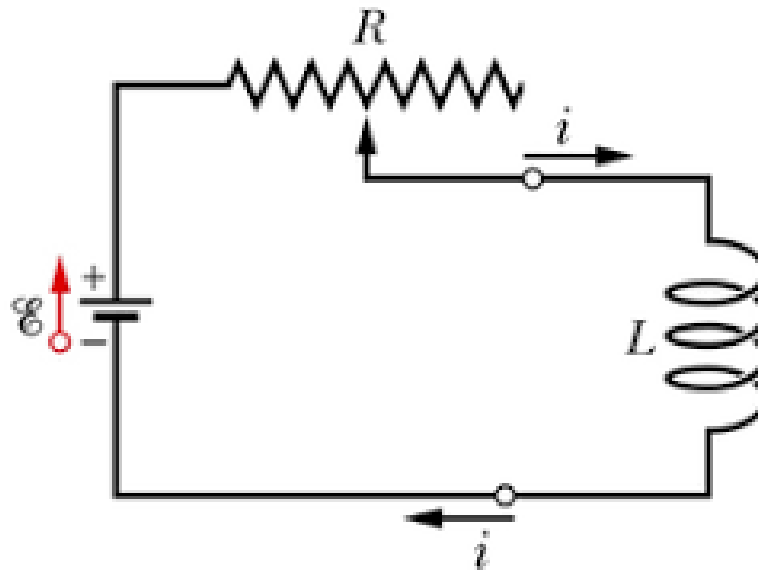
Autoindução

A corrente varia em todo indutor \rightarrow variação do fluxo magnético \rightarrow



Autoindução

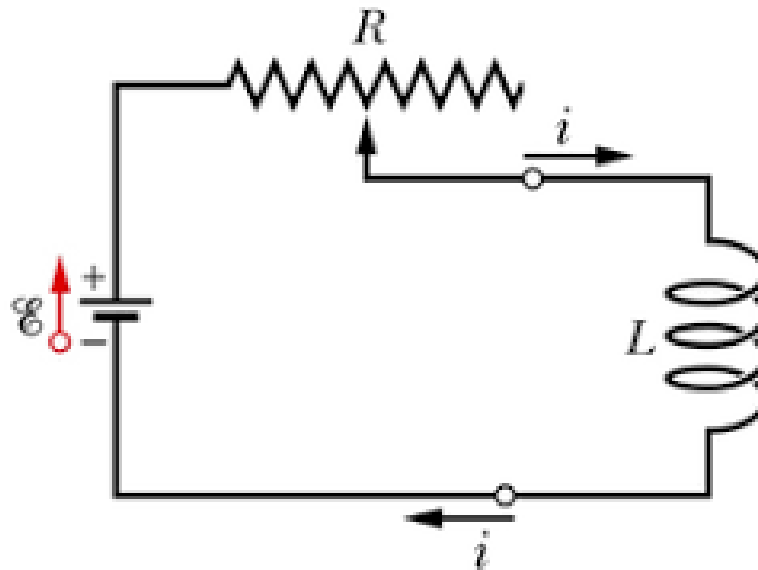
A corrente varia em todo indutor \rightarrow variação do fluxo magnético \rightarrow Surge uma força eletromotriz



Autoindução

A corrente varia em todo indutor \rightarrow variação do fluxo magnético \rightarrow Surge uma força eletromotriz

$$Li = N\Phi_B$$



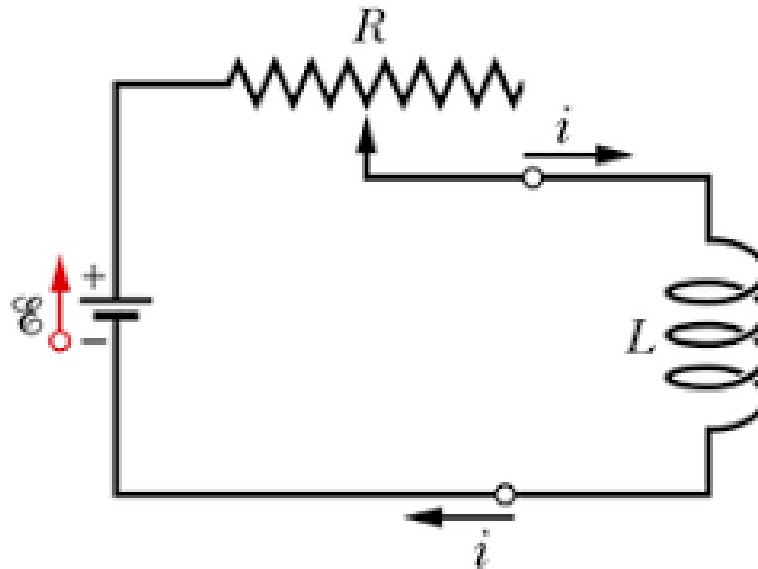
Autoindução

A corrente varia em todo indutor \rightarrow variação do fluxo magnético \rightarrow Surge uma força eletromotriz

$$Li = N\Phi_B$$

Lei de Faraday

$$\varepsilon_L = -\frac{d(N\Phi_B)}{dt}$$



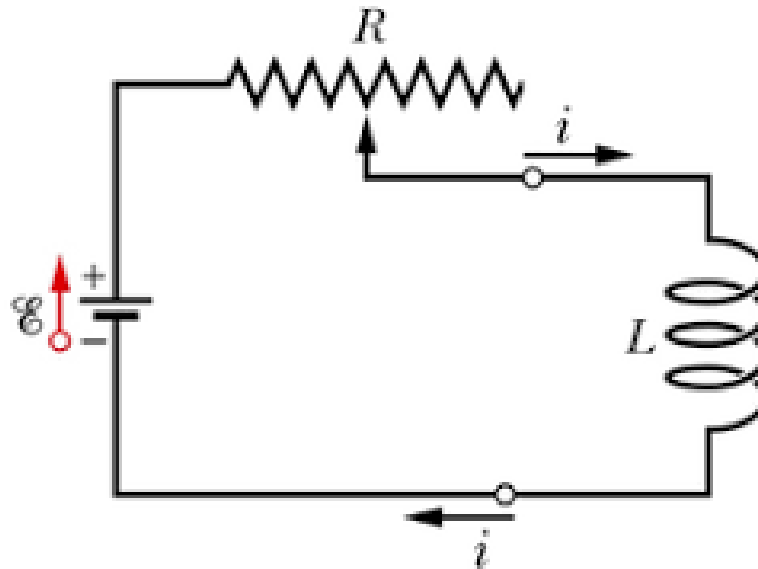
Autoindução

A corrente varia em todo indutor \rightarrow variação do fluxo magnético \rightarrow Surge uma força eletromotriz

$$Li = N\Phi_B$$

Lei de Faraday

$$\varepsilon_L = -\frac{d(N\Phi_B)}{dt}$$



$$\varepsilon_L = -\frac{d(Li)}{dt}$$

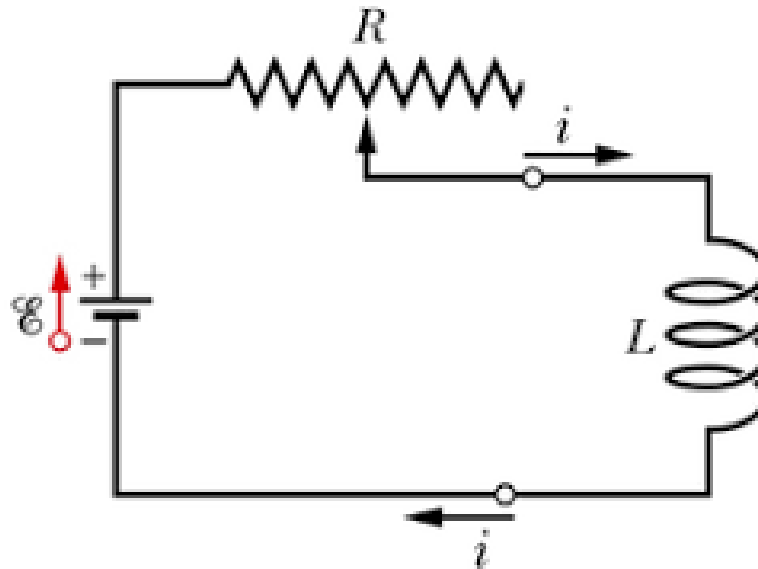
Autoindução

A corrente varia em todo indutor \rightarrow variação do fluxo magnético \rightarrow Surge uma força eletromotriz

$$Li = N\Phi_B$$

Lei de Faraday

$$\varepsilon_L = -\frac{d(N\Phi_B)}{dt}$$

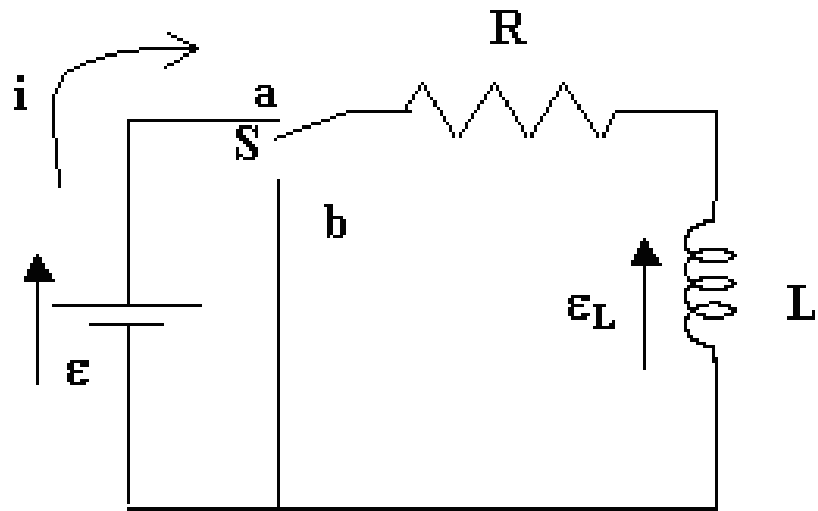


$$\varepsilon_L = -\frac{d(Li)}{dt}$$

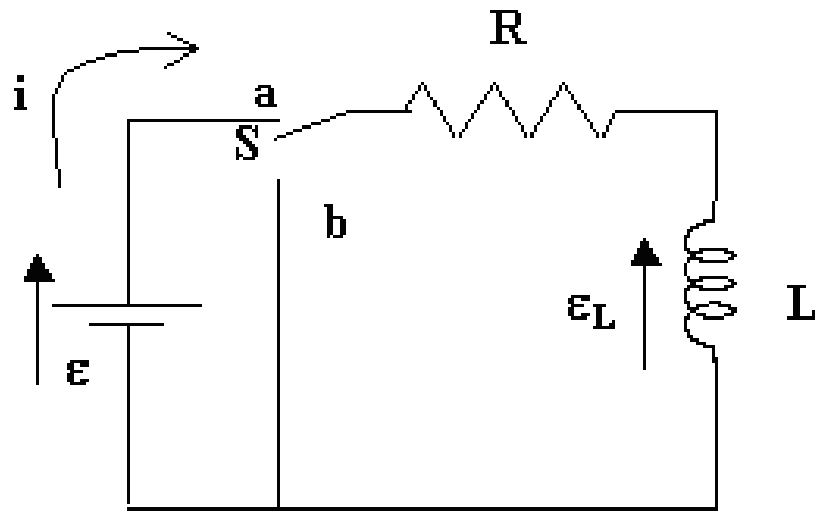
$$\varepsilon_L = -L\frac{di}{dt}$$

F.e.m. autoinduzida

Circuitos RL

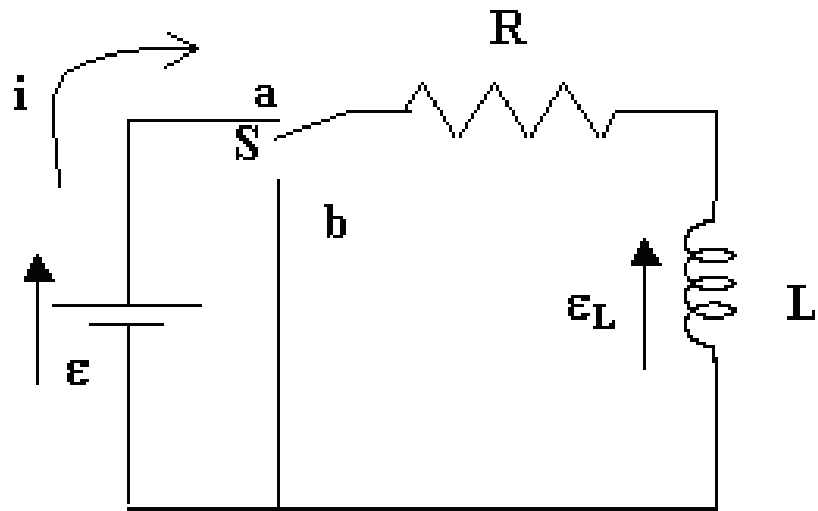


Circuitos RL



O indutor se opõe a qualquer variação. Em um tempo longo, ele passa a funcionar como um fio normal

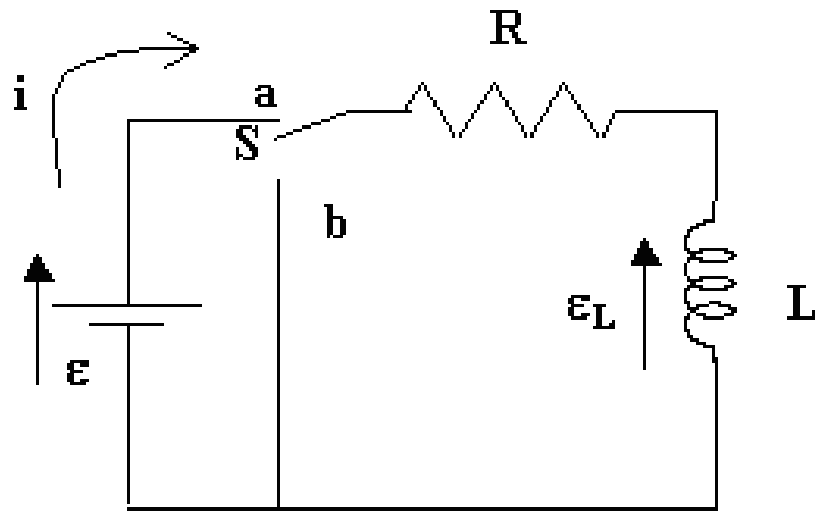
Circuitos RL



O indutor se opõe a qualquer variação. Em um tempo longo, ele passa a funcionar como um fio normal

\mathcal{E}_0

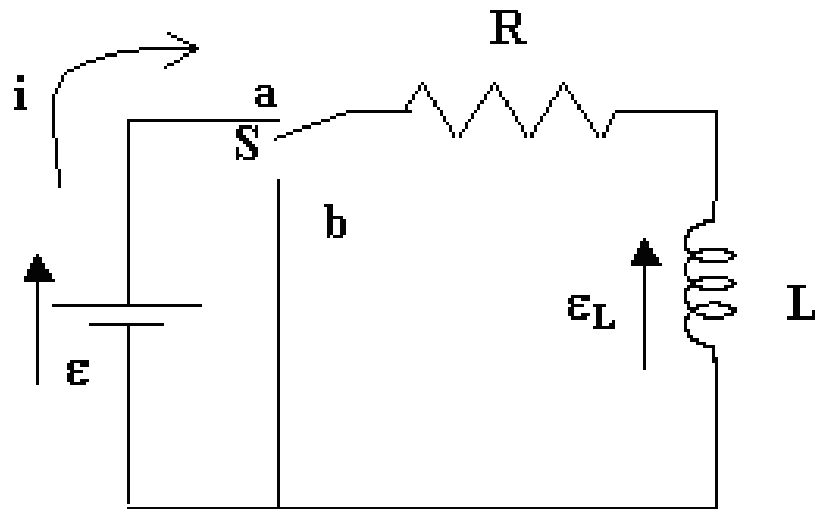
Circuitos RL



O indutor se opõe a qualquer variação. Em um tempo longo, ele passa a funcionar como um fio normal

$$\mathcal{E}_0 - iR$$

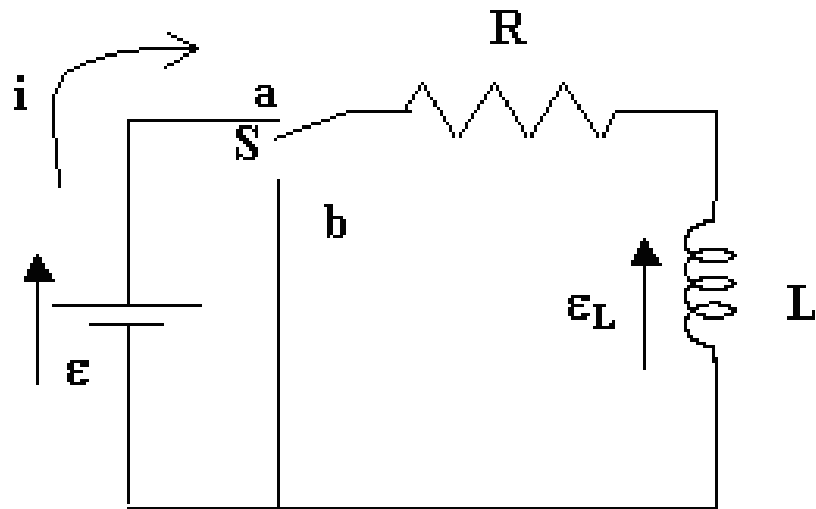
Circuitos RL



O indutor se opõe a qualquer variação. Em um tempo longo, ele passa a funcionar como um fio normal

$$\epsilon_0 - iR - L \frac{di}{dt}$$

Circuitos RL



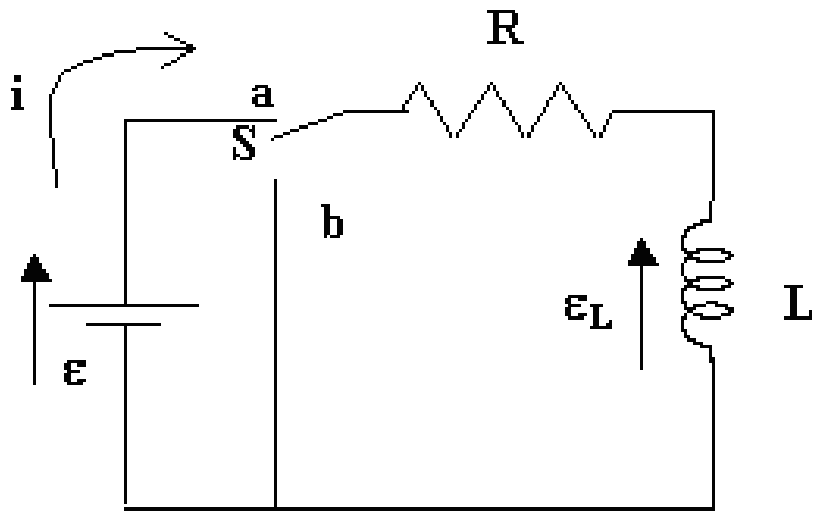
O indutor se opõe a qualquer variação. Em um tempo longo, ele passa a funcionar como um fio normal

$$\epsilon_0 - iR - L \frac{di}{dt} = 0$$

ϵ_L : contra a variação do sistema.

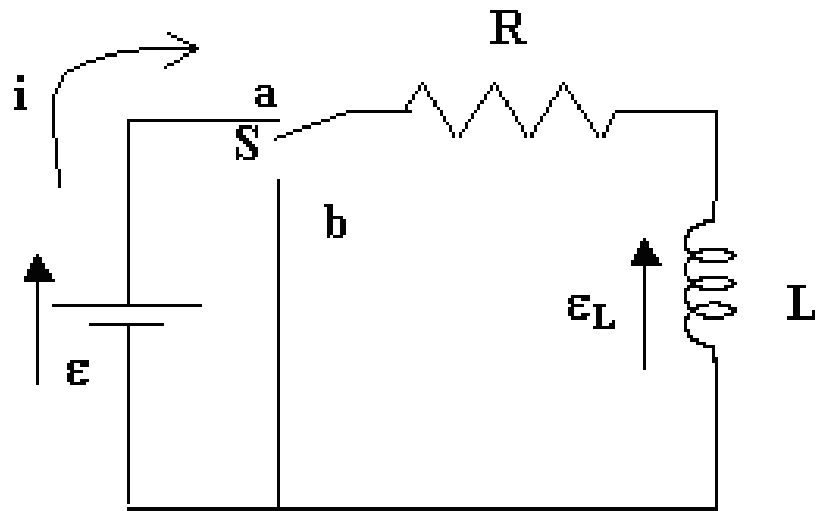
A corrente i está aumentando em L e, por isso, o sinal -

Circuitos RL



$$\mathcal{E}_0 - iR - L \frac{di}{dt} = 0$$

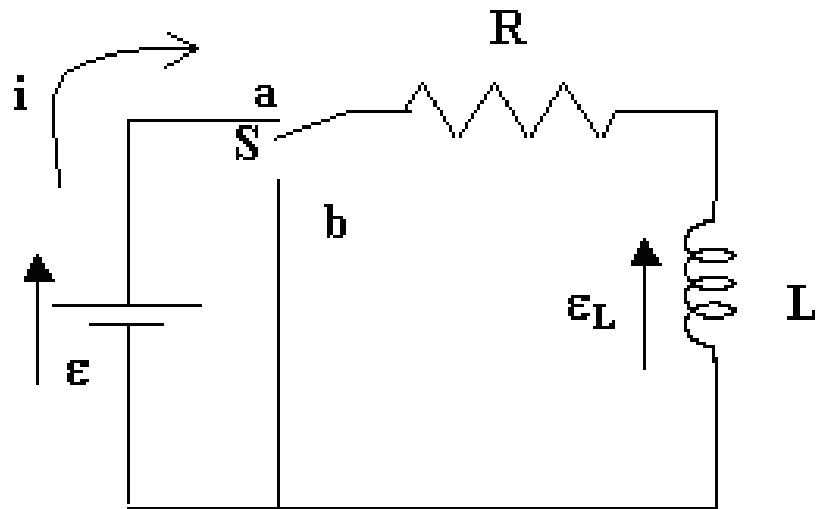
Circuitos RL



$$\mathcal{E}_0 - iR - L \frac{di}{dt} = 0$$

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \mathcal{E}_0$$

Circuitos RL

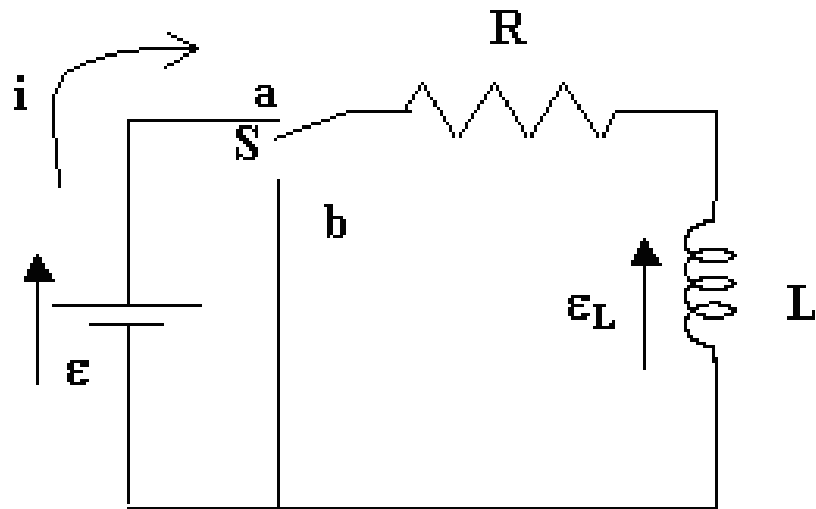


$$\varepsilon_0 - iR - L \frac{di}{dt} = 0$$

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \varepsilon_0$$

Possível solução dessa Equação Diferencial:

Circuitos RL



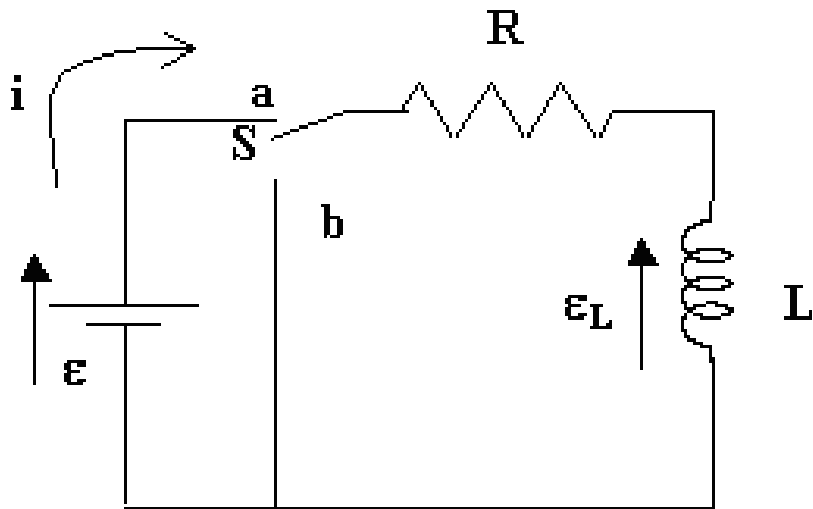
$$\varepsilon_0 - iR - L \frac{di}{dt} = 0$$

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \varepsilon_0$$

Possível solução dessa Equação Diferencial:

$$i = \frac{\varepsilon_0}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

Circuitos RL



$$\varepsilon_0 - iR - L \frac{di}{dt} = 0$$

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \varepsilon_0$$

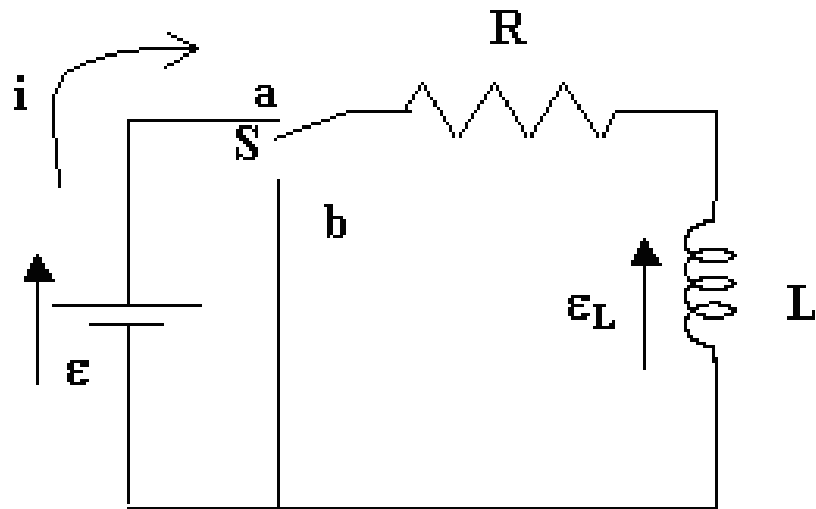
Possível solução dessa Equação Diferencial:

$$i = \frac{\varepsilon_0}{R} (1 - e^{-\frac{R}{L}t})$$

$$\tau_L = \frac{L}{R}$$

Constante de tempo indutiva

Circuitos RL



$$\varepsilon_0 - iR - L \frac{di}{dt} = 0$$

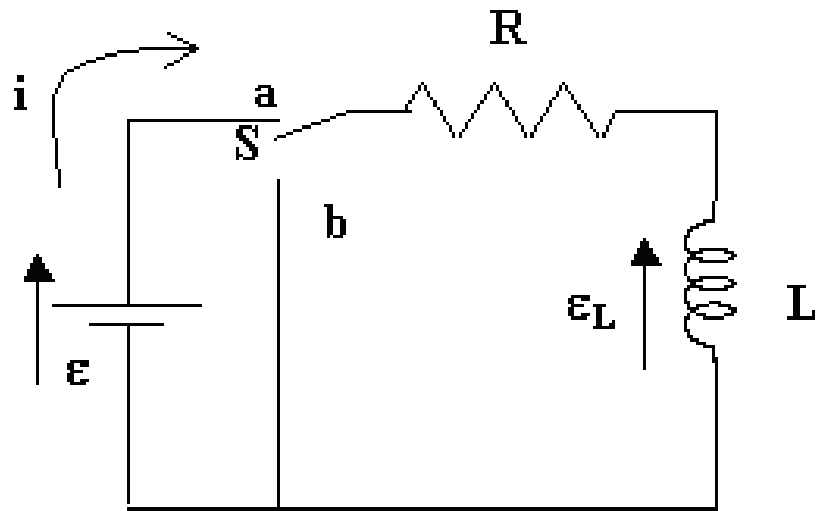
$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \varepsilon_0$$

Possível solução dessa Equação Diferencial:

$$i = \frac{\varepsilon_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

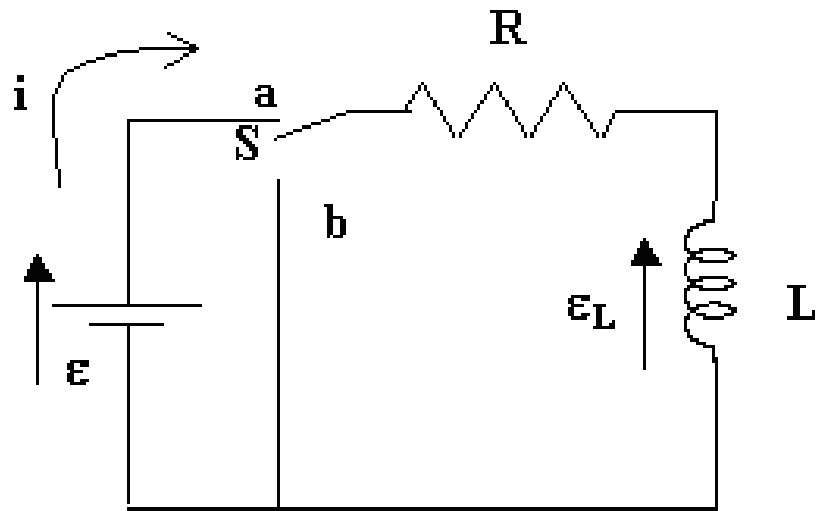
$$\tau_L = \frac{L}{R}$$

Circuitos RL



$$i = \frac{\mathcal{E}_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

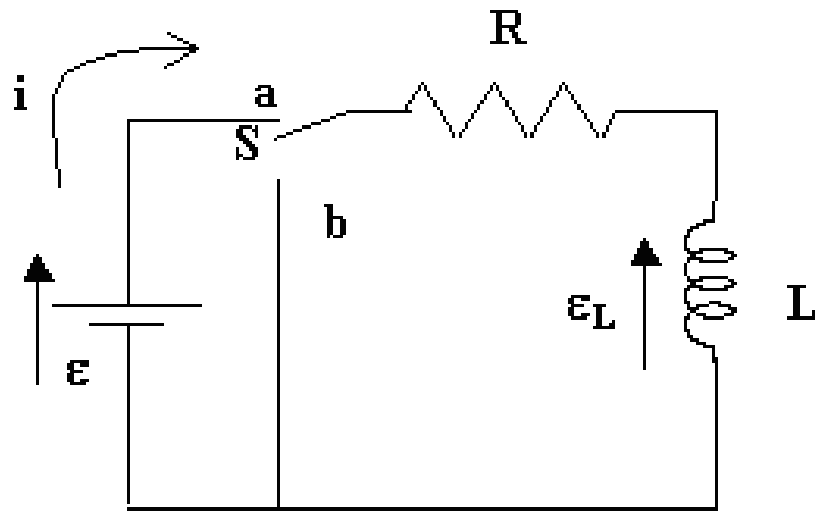
Circuitos RL



$t=0 \rightarrow ?$

$$i = \frac{\mathcal{E}_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

Circuitos RL

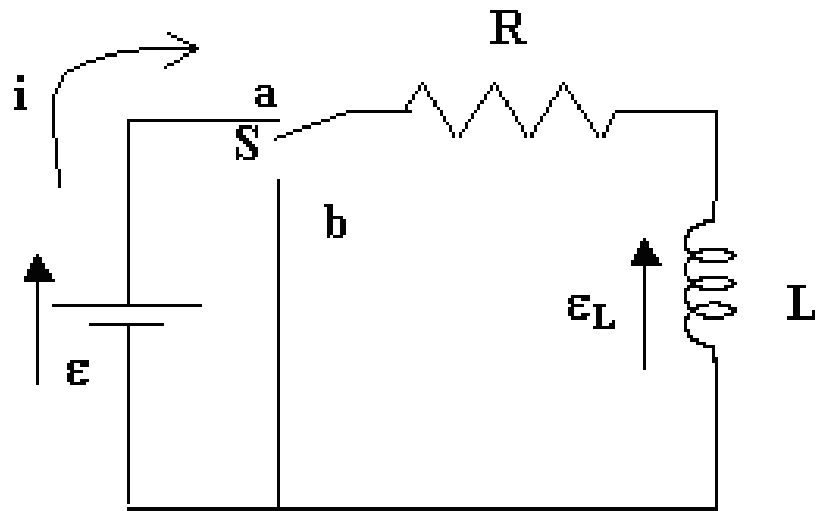


$t=0 \rightarrow ?$

$$i = \frac{\mathcal{E}_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

$$i = 0$$

Circuitos RL



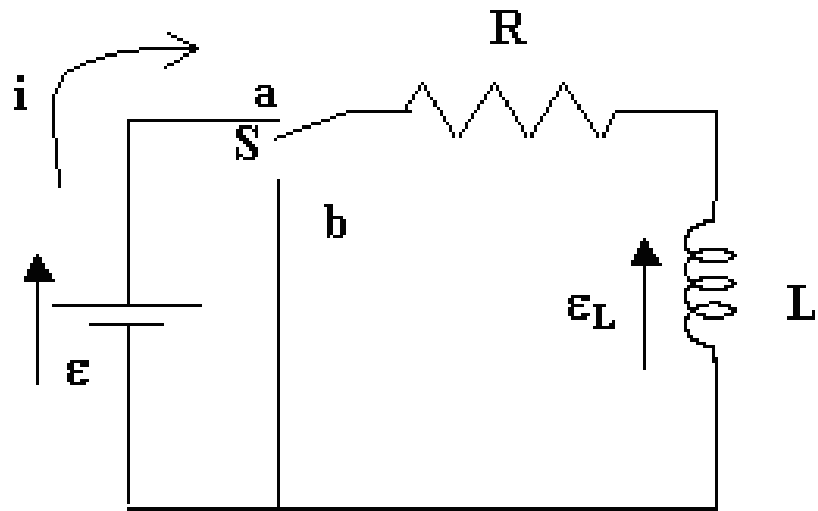
$$i = \frac{\epsilon_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

$t=0 \rightarrow ?$

$$i = 0$$

$t \gg 1 \rightarrow ?$

Circuitos RL



$$i = \frac{\epsilon_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

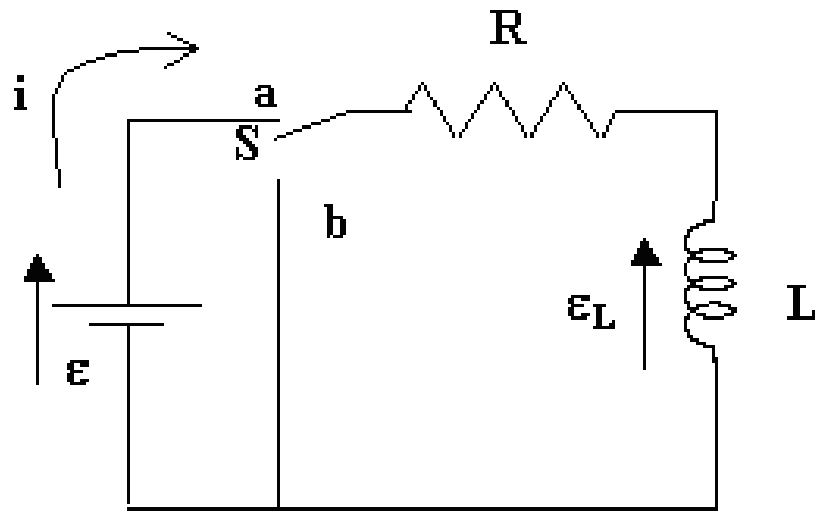
$t=0 \rightarrow ?$

$$i = 0$$

$t \gg 1 \rightarrow ?$

$$i = \frac{\epsilon_0}{R}$$

Circuitos RL



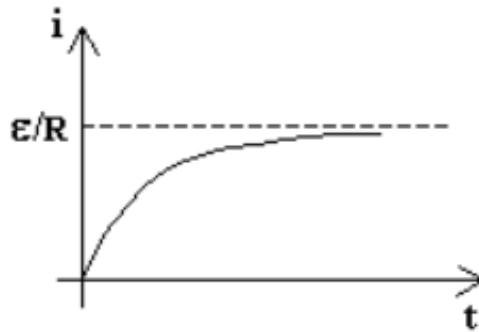
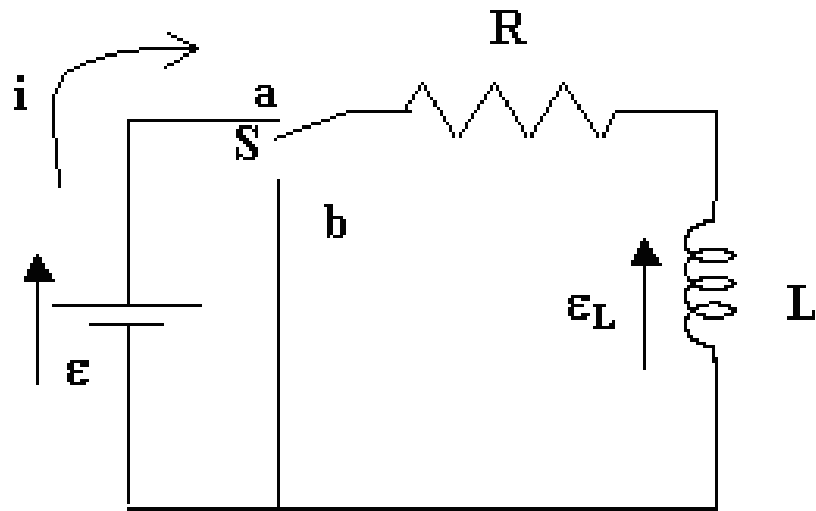
$$i = \frac{\epsilon_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

$$t=0 \rightarrow ? \quad i = 0$$

$$t \gg 1 \rightarrow ? \quad i = \frac{\epsilon_0}{R}$$

$$t = L/R = \tau_L \rightarrow$$

Circuitos RL



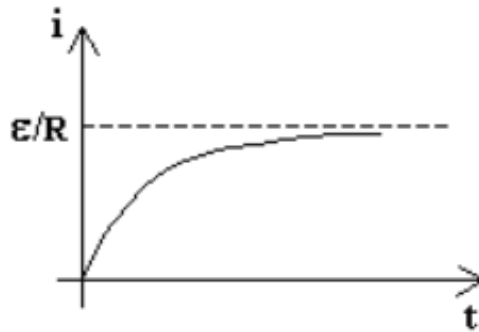
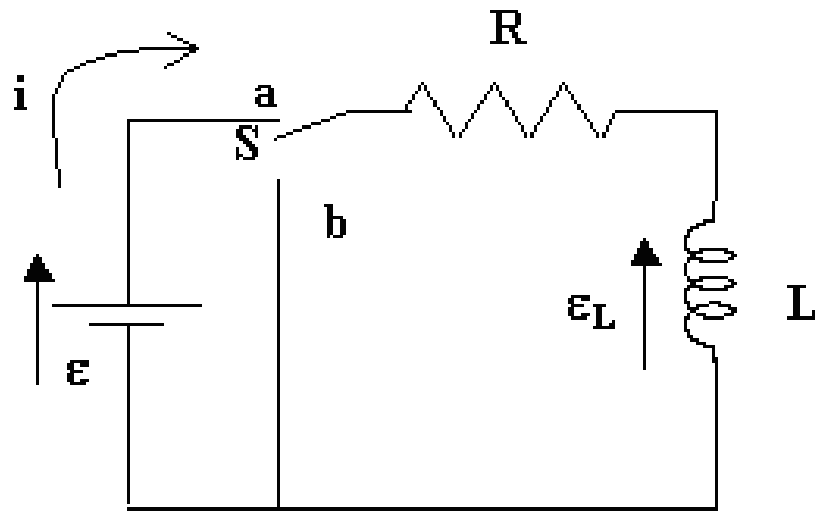
$$i = \frac{\varepsilon_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

$t=0 \rightarrow ?$ $i = 0$

$t \gg 1 \rightarrow ?$ $i = \frac{\varepsilon_0}{R}$

$t=L/R=\tau_L \rightarrow$ $i = \frac{\varepsilon_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$

Circuitos RL



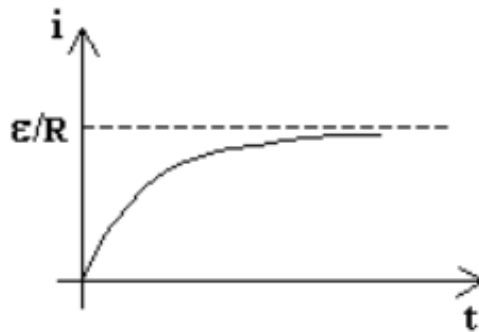
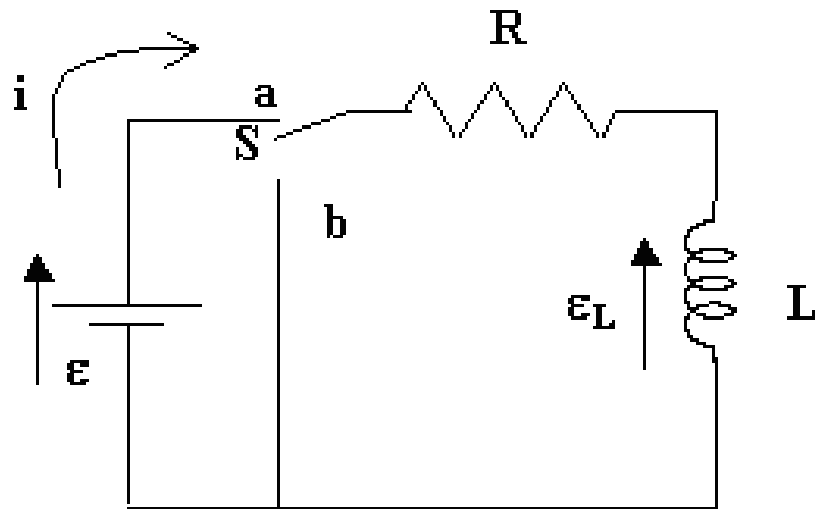
$$i = \frac{\varepsilon_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

$$t=0 \rightarrow ? \quad i = 0$$

$$t \gg 1 \rightarrow ? \quad i = \frac{\varepsilon_0}{R}$$

$$t=L/R=\tau_L \rightarrow \quad i = \frac{\varepsilon_0}{R} (1 - e^{-1})$$

Circuitos RL



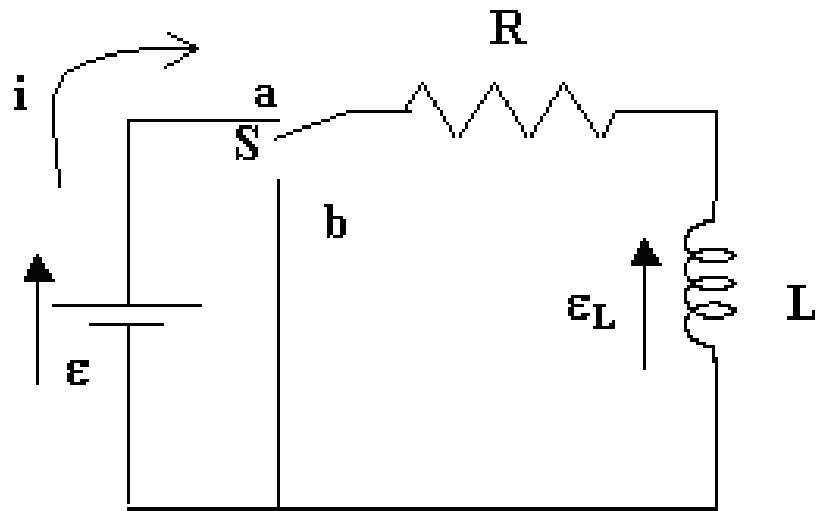
$$i = \frac{\varepsilon_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

$$t=0 \rightarrow ? \quad i = 0$$

$$t \gg 1 \rightarrow ? \quad i = \frac{\varepsilon_0}{R}$$

$$t=L/R=\tau_L \rightarrow \quad i = 0,63 \frac{\varepsilon_0}{R}$$

Circuitos RL



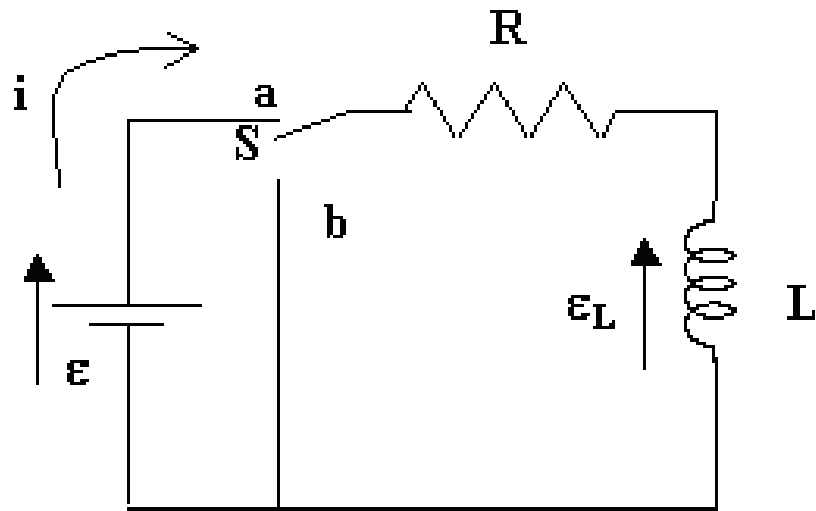
$$i = \frac{\varepsilon_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

$$t=0 \rightarrow ? \quad i = 0$$

$$t \gg 1 \rightarrow ? \quad i = \frac{\varepsilon_0}{R}$$

$$t=L/R=\tau_L \rightarrow \quad i = 0,63 \frac{\varepsilon_0}{R}$$

Circuitos RL



$$i = \frac{\varepsilon_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

$$V_R = Ri$$

$t=0 \rightarrow ?$

$$i = 0$$

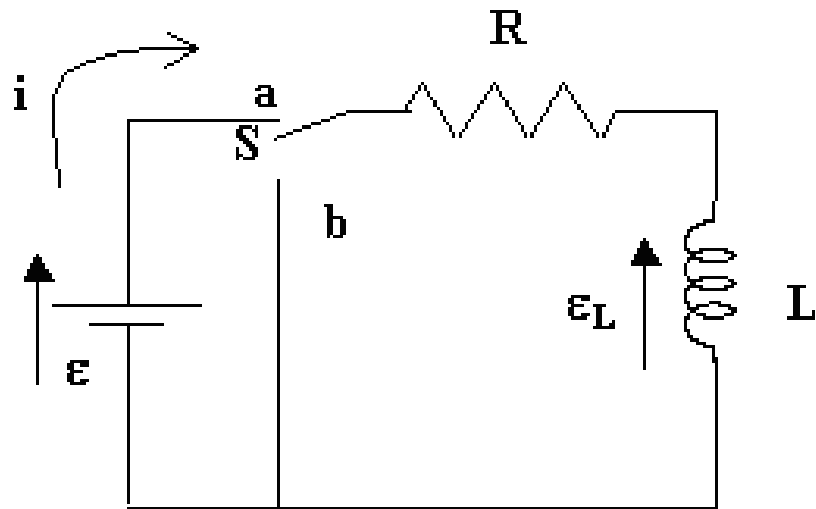
$t \gg 1 \rightarrow ?$

$$i = \frac{\varepsilon_0}{R}$$

$t=L/R=\tau_L \rightarrow$

$$i = 0,63 \frac{\varepsilon_0}{R}$$

Circuitos RL



$$i = \frac{\varepsilon_0}{R} (1 - e^{-t/\tau_L})$$

$$V_R = Ri$$

$t=0 \rightarrow ?$

$$i = 0$$

$$V_R = 0$$

$t \gg 1 \rightarrow ?$

$$i = \frac{\varepsilon_0}{R}$$

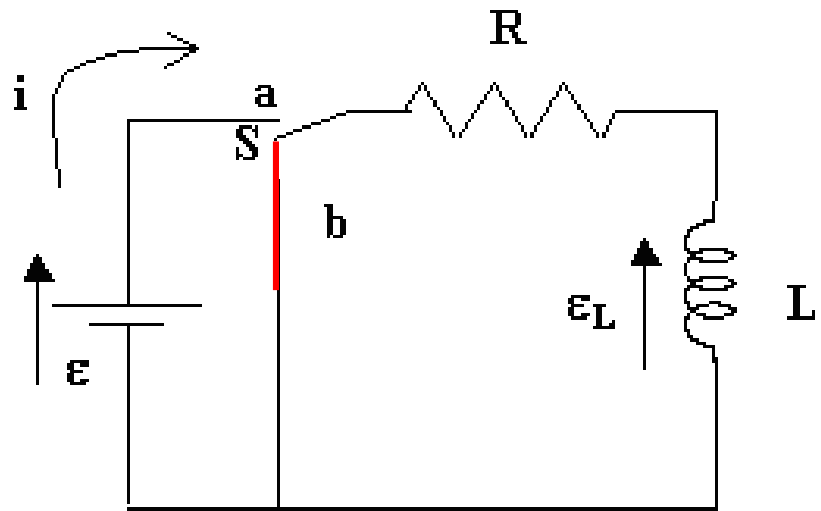
$$V_R = \varepsilon_0$$

$t = L/R = \tau_L \rightarrow$

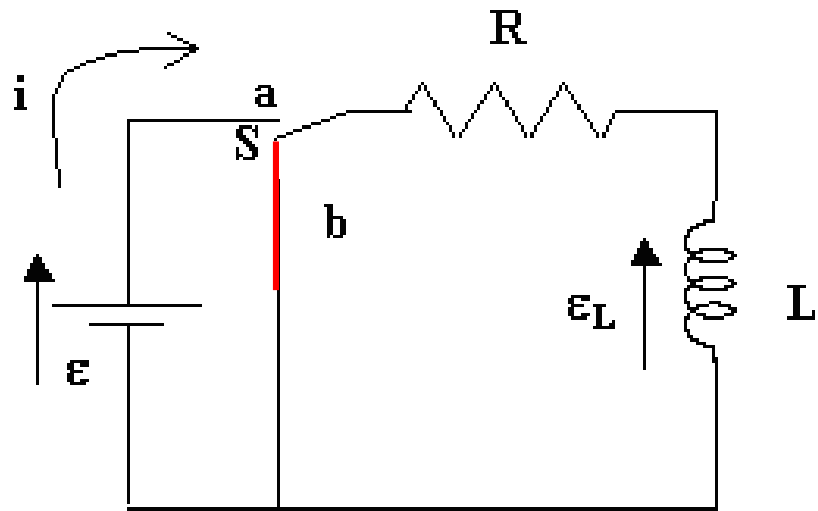
$$i = 0,63 \frac{\varepsilon_0}{R}$$

$$V_R = 0,63 \varepsilon_0$$

Circuitos RL

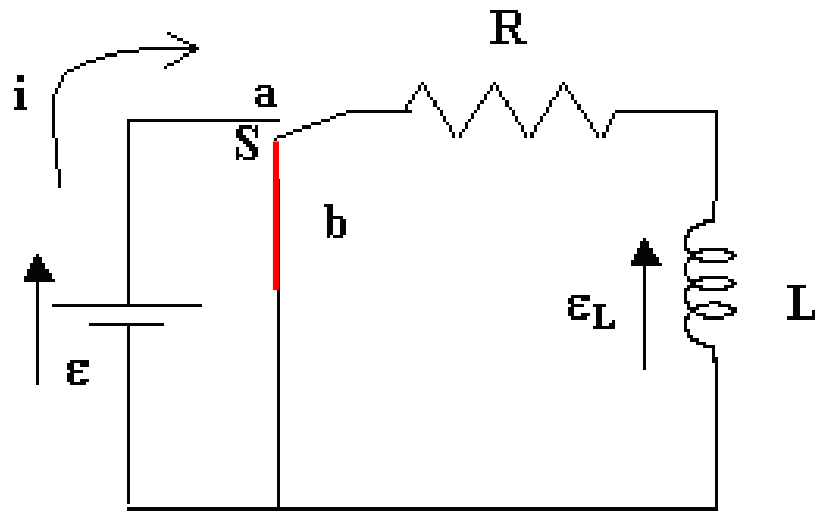


Circuitos RL



$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = 0$$

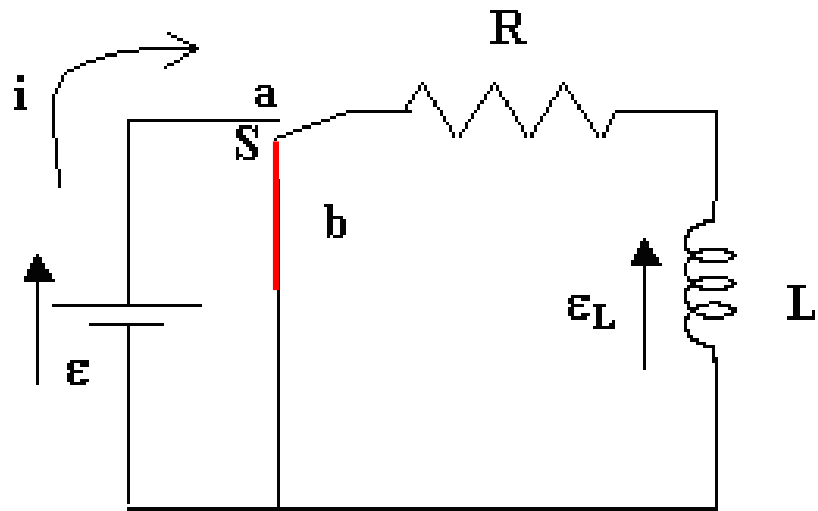
Circuitos RL



$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = 0$$

$$i = \frac{\mathcal{E}_0}{R} (e^{-t/\tau_L})$$

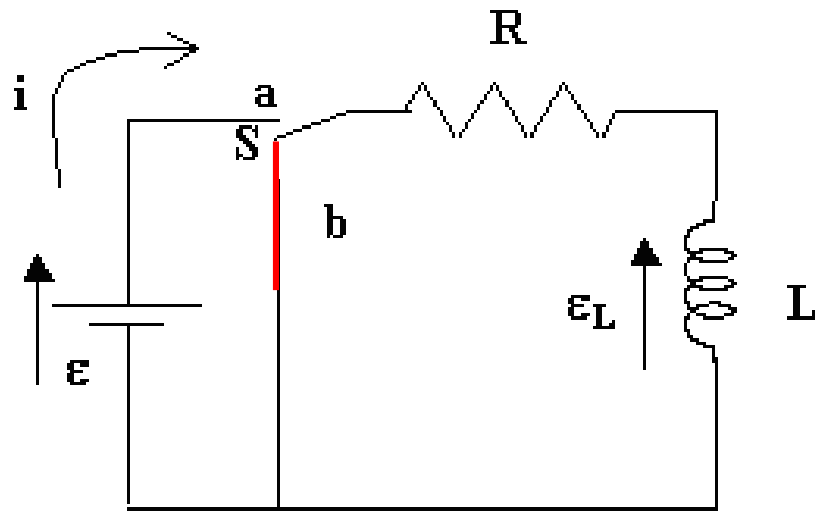
Circuitos RL



$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = 0$$

$$i = \frac{\mathcal{E}_0}{R} (e^{-t/\tau_L}) = i_0 (e^{-t/\tau_L})$$

Circuitos RL



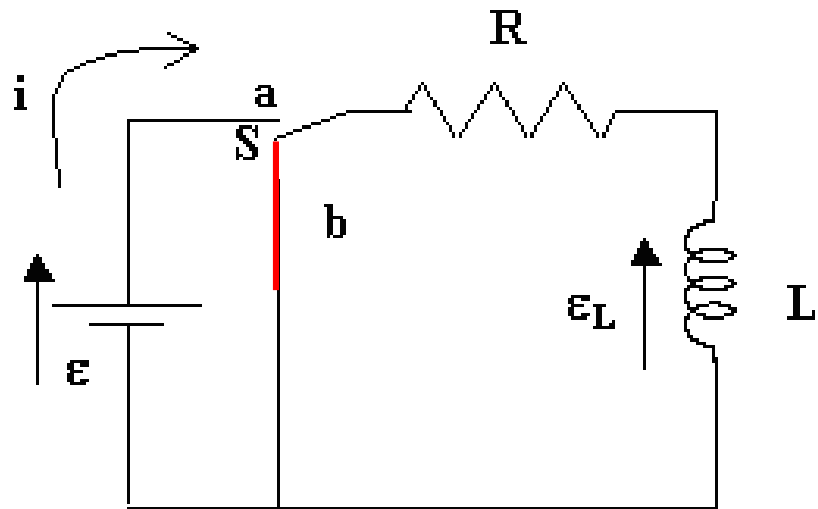
$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = 0$$

$$i = \frac{\mathcal{E}_0}{R} (e^{-t/\tau_L}) = i_0 (e^{-t/\tau_L})$$

$t=0 \rightarrow ?$

$t \gg 1 \rightarrow ?$

Circuitos RL



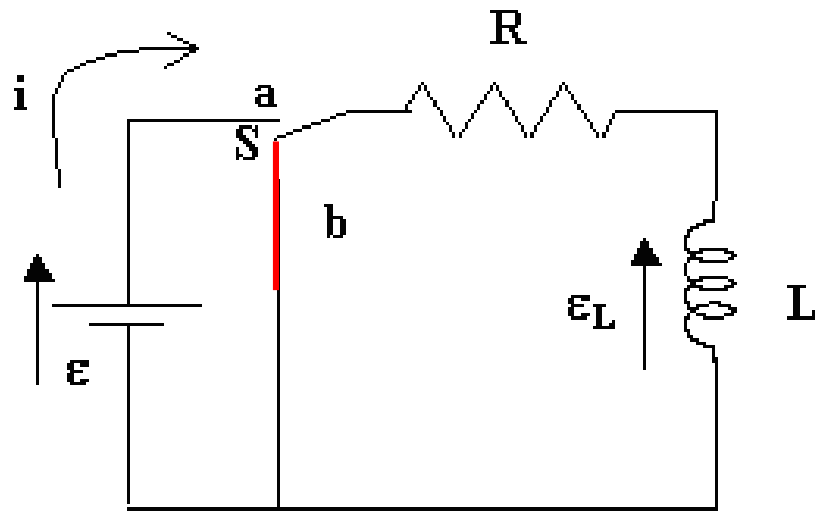
$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = 0$$

$$i = \frac{\mathcal{E}_0}{R} (e^{-t/\tau_L}) = i_0 (e^{-t/\tau_L})$$

$$t=0 \rightarrow ? \quad i = i_0$$

$$t \gg 1 \rightarrow ?$$

Circuitos RL



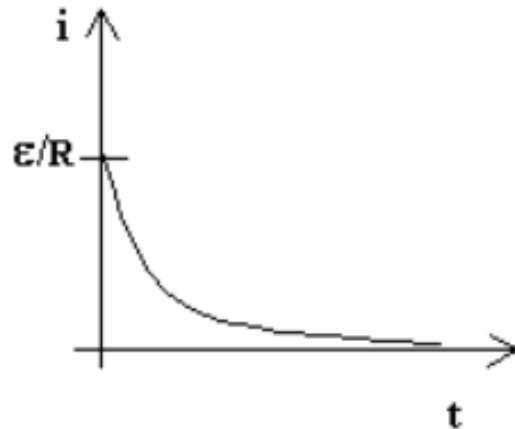
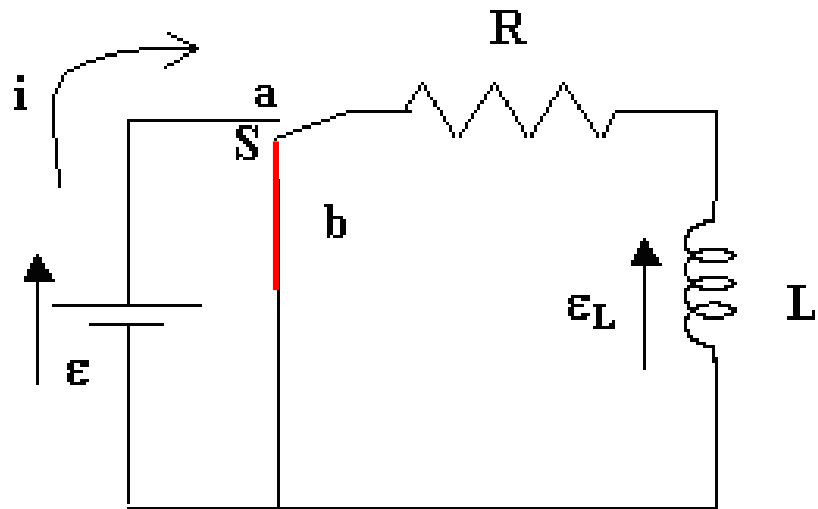
$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = 0$$

$$i = \frac{\mathcal{E}_0}{R} (e^{-t/\tau_L}) = i_0 (e^{-t/\tau_L})$$

$$t=0 \rightarrow ? \quad i = i_0$$

$$t \gg 1 \rightarrow ? \quad i = 0$$

Circuitos RL



$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = 0$$

$$i = \frac{\mathcal{E}_0}{R} (e^{-t/\tau_L}) = i_0 (e^{-t/\tau_L})$$

$$t=0 \rightarrow ? \quad i = i_0$$

$$t \gg 1 \rightarrow ? \quad i = 0$$

Energia Armazenada

Energia Armazenada

$$\varepsilon_0 = L \frac{di}{dt} + Ri$$

Energia Armazenada

$$\varepsilon_0 = L \frac{di}{dt} + Ri \quad \times i$$

Energia Armazenada

$$\varepsilon_0 = L \frac{di}{dt} + Ri \quad \times i$$

$$\varepsilon_0 i = Li \frac{di}{dt} + Ri^2$$

Energia Armazenada

$$\varepsilon_0 = L \frac{di}{dt} + Ri \quad \times i$$

$$\varepsilon_0 i = Li \frac{di}{dt} + Ri^2$$



Potência fornecida pela fonte

Energia Armazenada

$$\varepsilon_0 = L \frac{di}{dt} + Ri \quad \times i$$

$$\varepsilon_0 i = Li \frac{di}{dt} + Ri^2$$



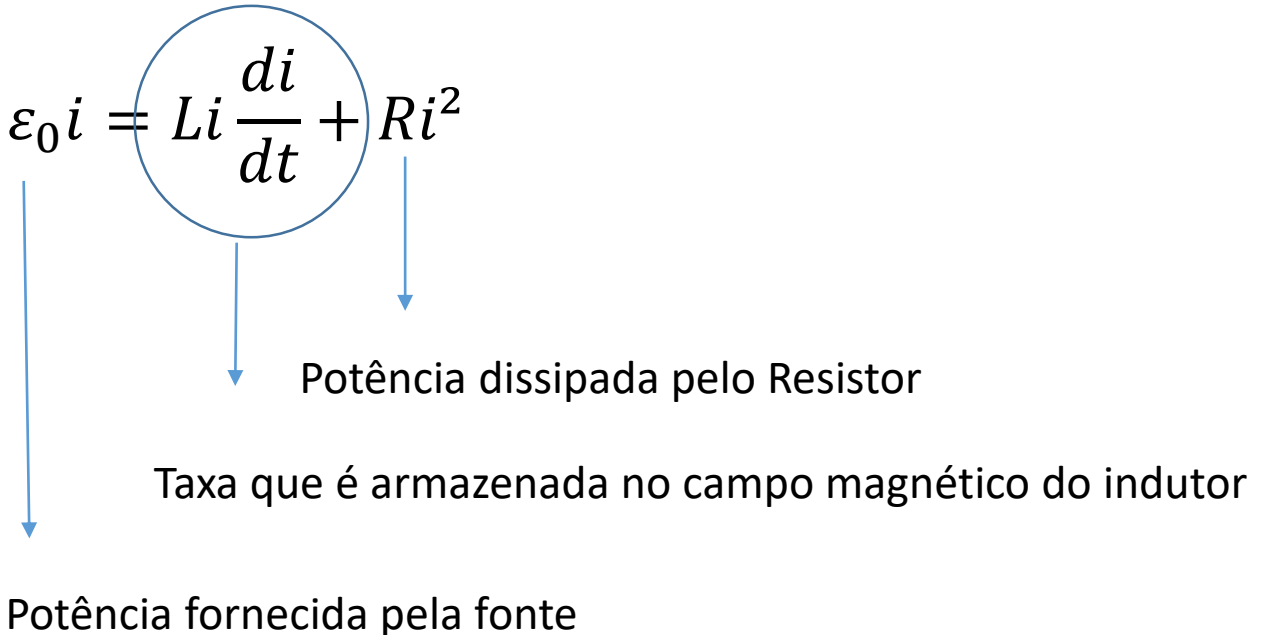
Potência fornecida pela fonte



Potência dissipada pelo Resistor

Energia Armazenada

$$\varepsilon_0 = L \frac{di}{dt} + Ri \quad \times i$$

$$\varepsilon_0 i = Li \frac{di}{dt} + Ri^2$$


Potência dissipada pelo Resistor

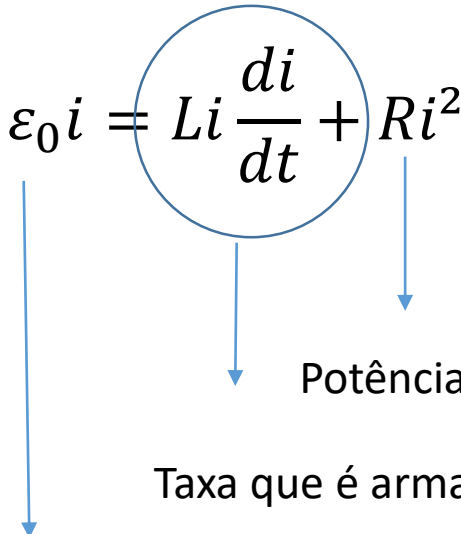
Taxa que é armazenada no campo magnético do indutor

Potência fornecida pela fonte

Energia Armazenada

$$\varepsilon_0 = L \frac{di}{dt} + Ri \quad \times i$$

$$\frac{dU_B}{dt} = Li \frac{di}{dt}$$

$$\varepsilon_0 i = Li \frac{di}{dt} + Ri^2$$


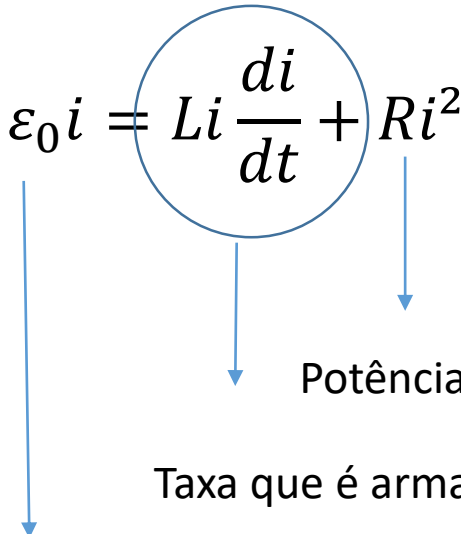
Potência dissipada pelo Resistor

Taxa que é armazenada no campo magnético do indutor

Potência fornecida pela fonte

Energia Armazenada

$$\varepsilon_0 = L \frac{di}{dt} + Ri \quad \times i$$

$$\varepsilon_0 i = Li \frac{di}{dt} + Ri^2$$


Potência dissipada pelo Resistor

Taxa que é armazenada no campo magnético do indutor

Potência fornecida pela fonte

$$\frac{dU_B}{dt} = Li \frac{di}{dt}$$

$$dU_B = Lidi$$

Energia Armazenada

$$\varepsilon_0 = L \frac{di}{dt} + Ri \quad \times i$$

$$\varepsilon_0 i = Li \frac{di}{dt} + Ri^2$$

Potência dissipada pelo Resistor

Taxa que é armazenada no campo magnético do indutor

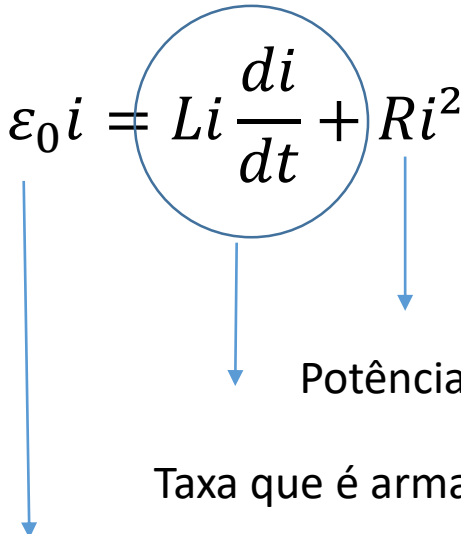
Potência fornecida pela fonte

$$\frac{dU_B}{dt} = Li \frac{di}{dt}$$

$$\int dU_B = \int Li di$$

Energia Armazenada

$$\varepsilon_0 = L \frac{di}{dt} + Ri \quad \times i$$

$$\varepsilon_0 i = Li \frac{di}{dt} + Ri^2$$


Potência dissipada pelo Resistor

Taxa que é armazenada no campo magnético do indutor

Potência fornecida pela fonte

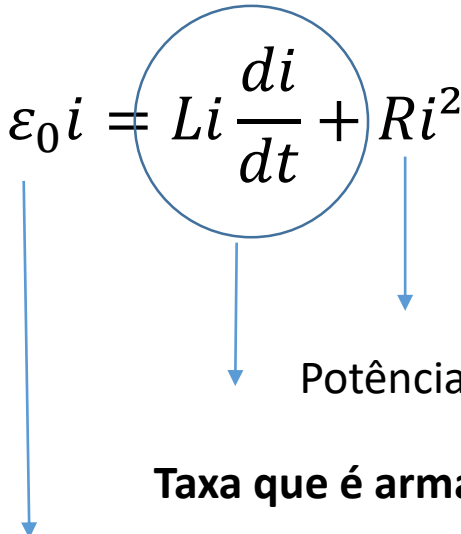
$$\frac{dU_B}{dt} = Li \frac{di}{dt}$$

$$\int dU_B = \int Li di$$

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

Energia Armazenada

$$\varepsilon_0 = L \frac{di}{dt} + Ri \quad \times i$$

$$\varepsilon_0 i = Li \frac{di}{dt} + Ri^2$$


Potência dissipada pelo Resistor

Taxa que é armazenada no campo magnético do indutor

Potência fornecida pela fonte

$$\frac{dU_B}{dt} = Li \frac{di}{dt}$$

$$\int dU_B = \int Li di$$

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

Energia armazenada no indutor

Energia Armazenada

$$\varepsilon_0 = L \frac{di}{dt} + Ri \quad \times i$$

$$\varepsilon_0 i = Li \frac{di}{dt} + Ri^2$$



Potência fornecida pela fonte



Taxa que é armazenada no campo magnético do indutor

Potência dissipada pelo Resistor

$$\frac{dU_B}{dt} = Li \frac{di}{dt}$$

$$\int dU_B = \int Li di$$

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

Energia armazenada no indutor

$$U_E = \frac{1}{2C} q^2$$

Energia armazenada no capacitor

Densidade de Energia

Densidade de Energia

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

Densidade de Energia

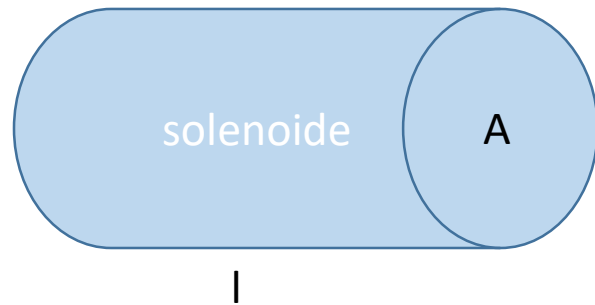
$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

$$u_B = U_B / \textit{Volume}$$

Densidade de Energia

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

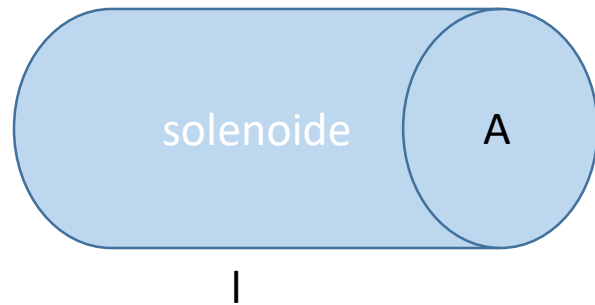
$$u_B = U_B / \textit{Volume}$$



Densidade de Energia

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

$$u_B = U_B / Al$$



Densidade de Energia

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

$$u_B = U_B / Al$$

$$u_B = \frac{Li^2}{2Al}$$



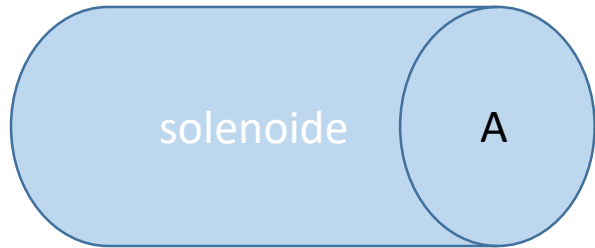
l

Densidade de Energia

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

$$u_B = U_B / Al$$

$$u_B = \frac{Li^2}{2Al}$$



Vimos:

$$\frac{L}{l} = \mu_0 n^2 A$$

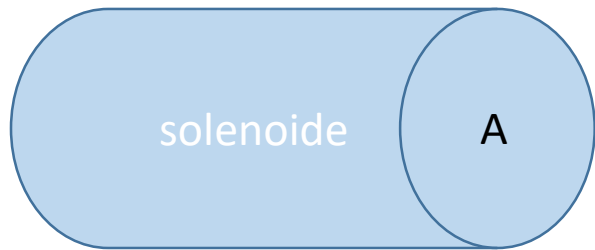
Indutância/comprimento no centro do solenoide

Densidade de Energia

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

$$u_B = U_B / Al$$

$$u_B = \frac{Li^2}{2Al} = \frac{\mu_0 n^2 Ai^2}{2A}$$



Vimos:

$$\frac{L}{l} = \mu_0 n^2 A$$

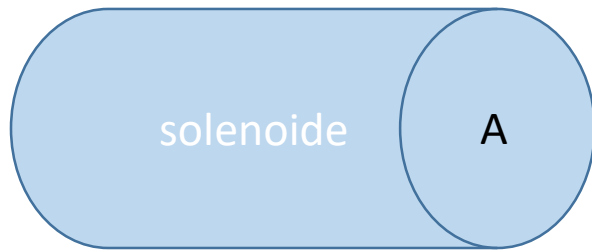
Indutância/comprimento no centro do solenoide

Densidade de Energia

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

$$u_B = U_B / Al$$

$$u_B = \frac{Li^2}{2Al} = \frac{\mu_0 n^2 Ai^2}{2A} = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 i^2$$



Vimos:

$$\frac{L}{l} = \mu_0 n^2 A$$

Indutância/comprimento no centro do solenoide

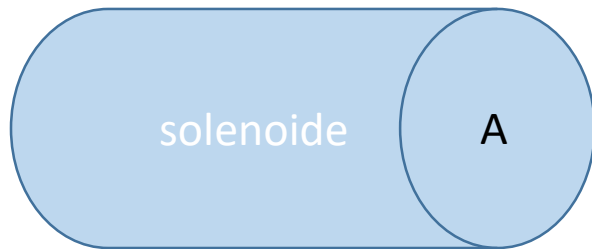
Densidade de Energia

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

$$u_B = U_B / Al$$

$$u_B = \frac{Li^2}{2Al} = \frac{\mu_0 n^2 Ai^2}{2A} = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 i^2$$

Vimos: $B = \mu_0 in$



Vimos:

$$\frac{L}{l} = \mu_0 n^2 A$$

Indutância/comprimento no centro do solenoide

Densidade de Energia

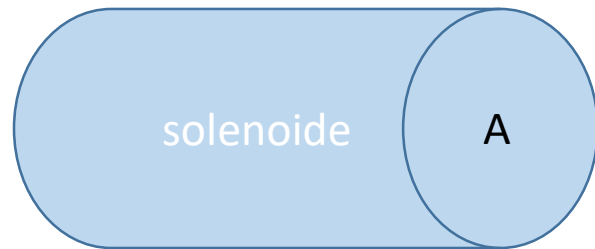
$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

$$u_B = U_B / Al$$

$$u_B = \frac{Li^2}{2Al} = \frac{\mu_0 n^2 Ai^2}{2A} = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 i^2$$

Vimos: $B = \mu_0 in$

$$u_B = \frac{B^2}{2\mu_0}$$



Vimos: $\frac{L}{l} = \mu_0 n^2 A$

Indutância/comprimento no centro do solenoide

Densidade de Energia

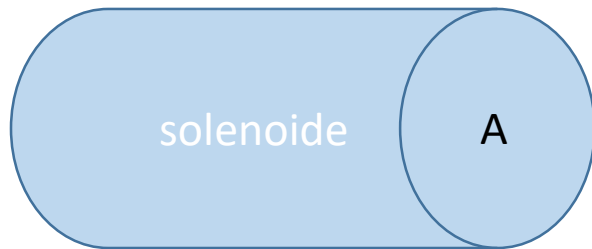
$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

$$u_B = U_B / Al$$

$$u_B = \frac{Li^2}{2Al} = \frac{\mu_0 n^2 Ai^2}{2A} = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 i^2$$

Vimos: $B = \mu_0 in$

$$u_B = \frac{B^2}{2\mu_0}$$



Vimos: $\frac{L}{l} = \mu_0 n^2 A$

Lembrando:

$$u_E = \epsilon_0 \frac{E^2}{2}$$

Densidade de Energia

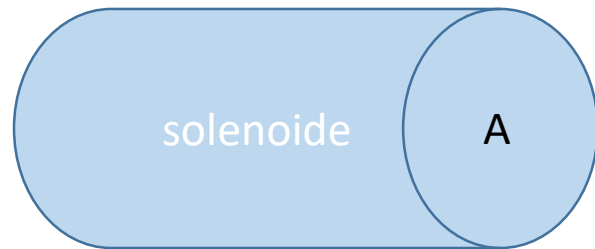
$$U_B = \frac{1}{2} Li^2$$

$$u_B = U_B / Al$$

$$u_B = \frac{Li^2}{2Al} = \frac{\mu_0 n^2 Ai^2}{2A} = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 i^2$$

Vimos: $B = \mu_0 in$

$$u_B = \frac{B^2}{2\mu_0}$$



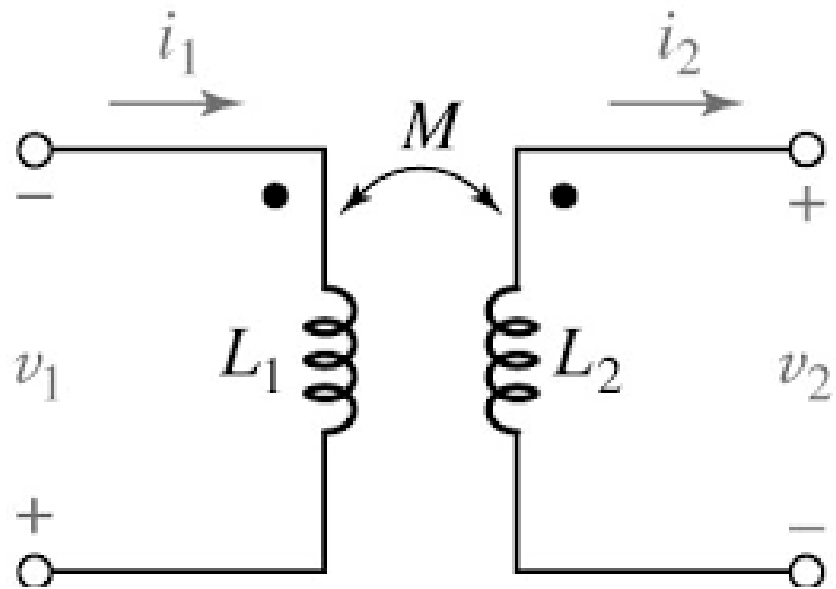
Vimos: $\frac{L}{l} = \mu_0 n^2 A$

Lembrando:

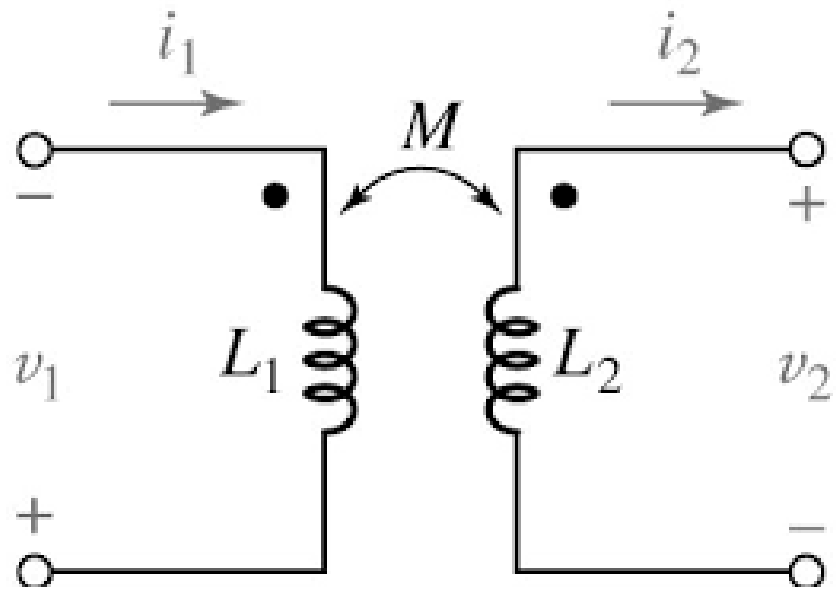
$$u_E = \varepsilon_0 \frac{E^2}{2}$$

Indutância mútua

Indutância mútua

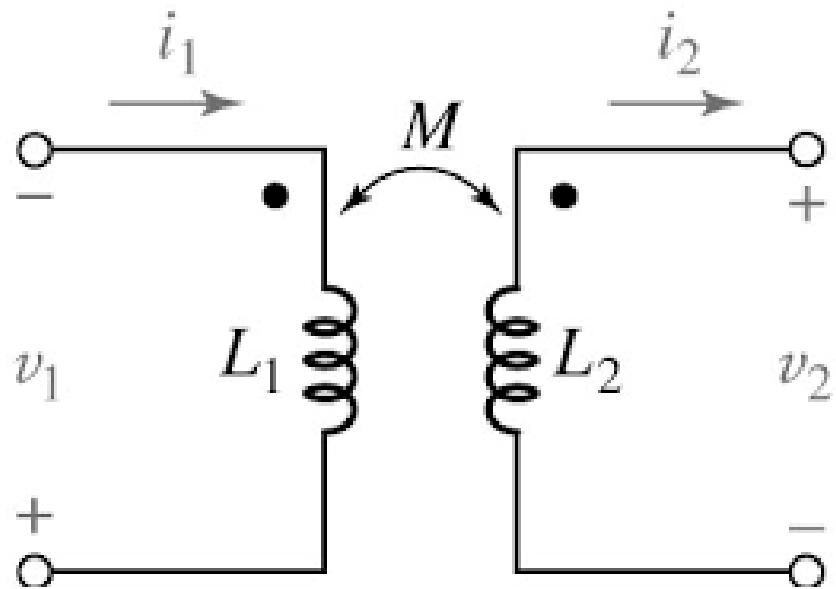


Indutância mútua



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

Indutância mútua

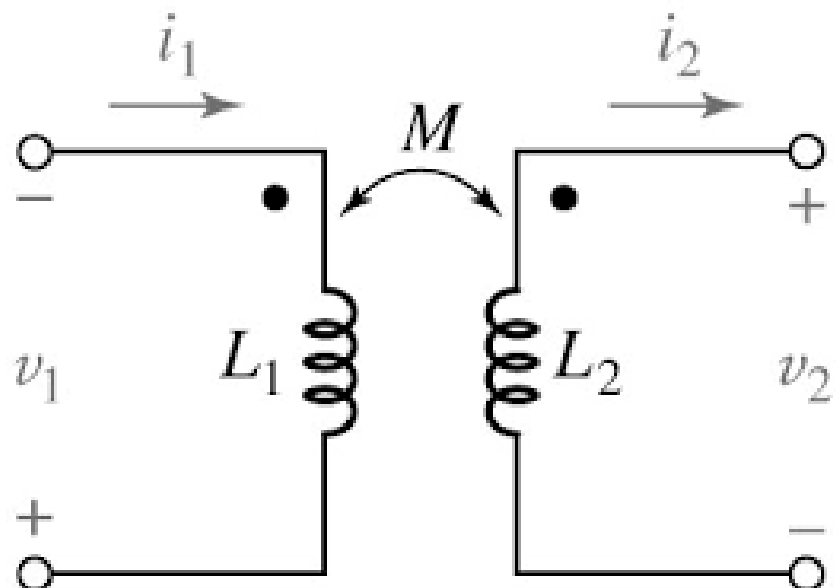


$$L = \frac{N\Phi_B}{i}$$

Indutância da bobina 2 em relação a bobina 1:

$$M_{21} = \frac{N_2\Phi_{21}}{i_1}$$

Indutância mútua



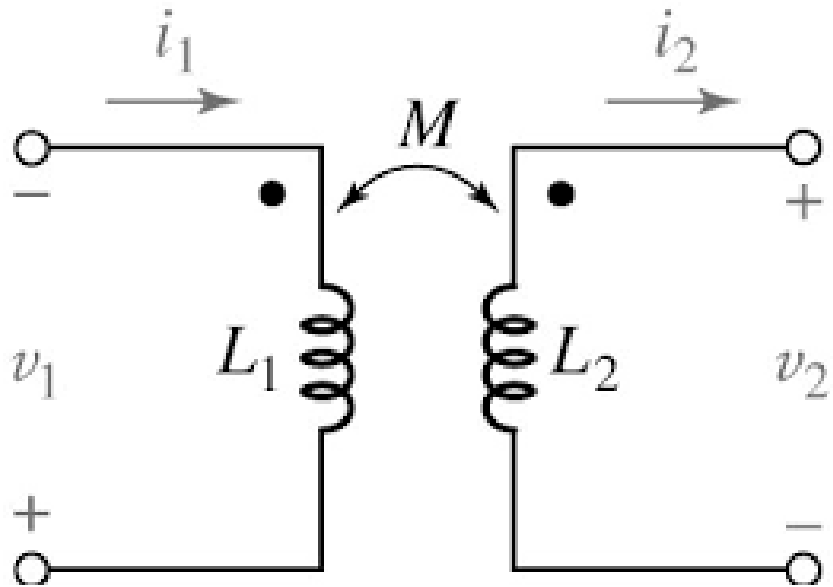
$$L = \frac{N\Phi_B}{i}$$

Indutância da bobina 2 em relação a bobina 1:

$$M_{21} = \frac{N_2\Phi_{21}}{i_1}$$

$$M_{21}i_1 = N_2\Phi_{21}$$

Indutância mútua



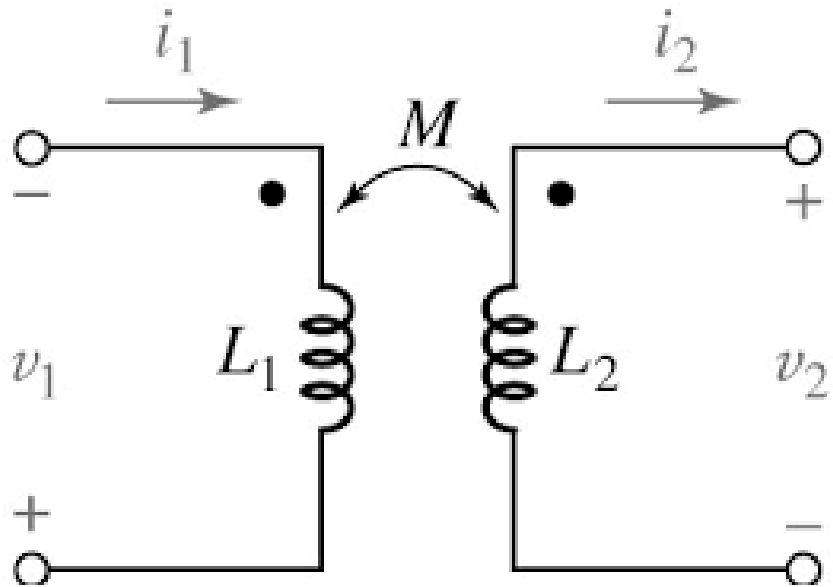
$$L = \frac{N\Phi_B}{i}$$

Indutância da bobina 2 em relação a bobina 1:

$$M_{21} = \frac{N_2\Phi_{21}}{i_1}$$

$$M_{21}i_1 = N_2\Phi_{21} \quad \times \frac{d}{dt}$$

Indutância mútua



$$M_{21} \frac{di_1}{dt} = N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt}$$

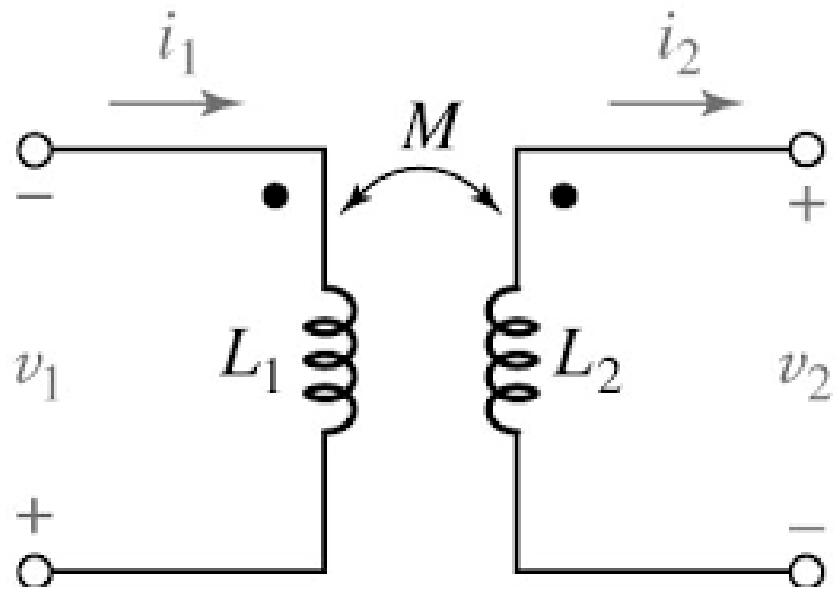
$$L = \frac{N\Phi_B}{i}$$

Indutância da bobina 2 em relação a bobina 1:

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{i_1}$$

$$M_{21} i_1 = N_2 \Phi_{21} \quad \times \frac{d}{dt}$$

Indutância mútua



$$M_{21} \frac{di_1}{dt} = N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt}$$

ε_2

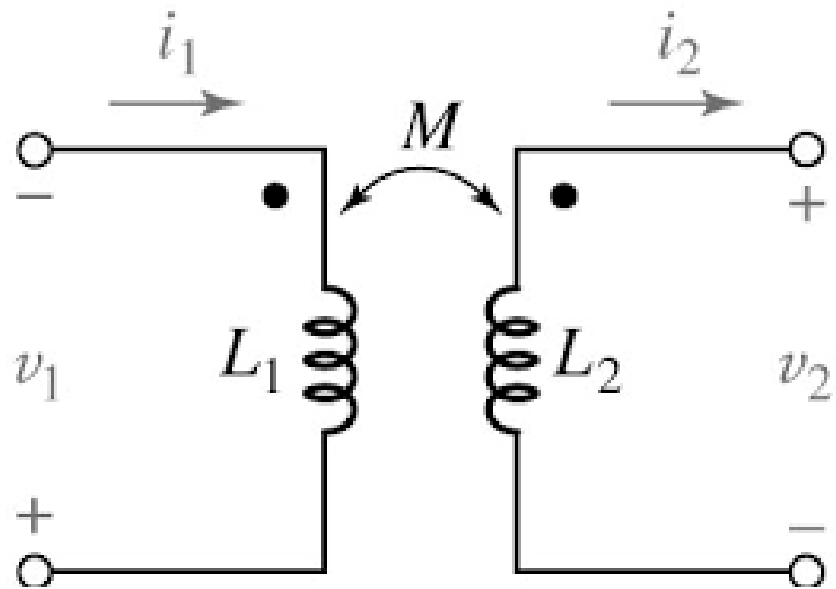
$$L = \frac{N\Phi_B}{i}$$

Indutância da bobina 2 em relação a bobina 1:

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{i_1}$$

$$M_{21} i_1 = N_2 \Phi_{21} \quad \times \frac{d}{dt}$$

Indutância mútua



$$M_{21} \frac{di_1}{dt} = N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} \quad \varepsilon_2 = -M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

ε_2

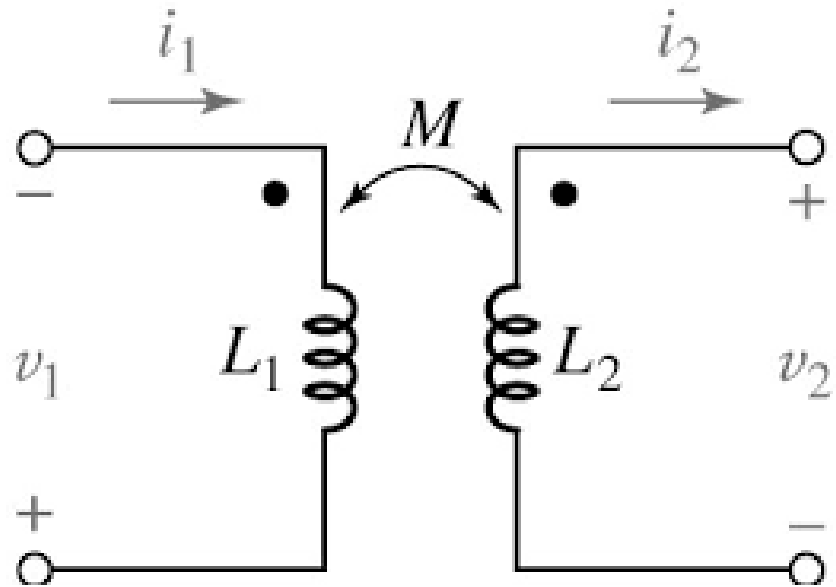
$$L = \frac{N\Phi_B}{i}$$

Indutância da bobina 2 em relação a bobina 1:

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{i_1}$$

$$M_{21} i_1 = N_2 \Phi_{21} \quad \times \frac{d}{dt}$$

Indutância mútua

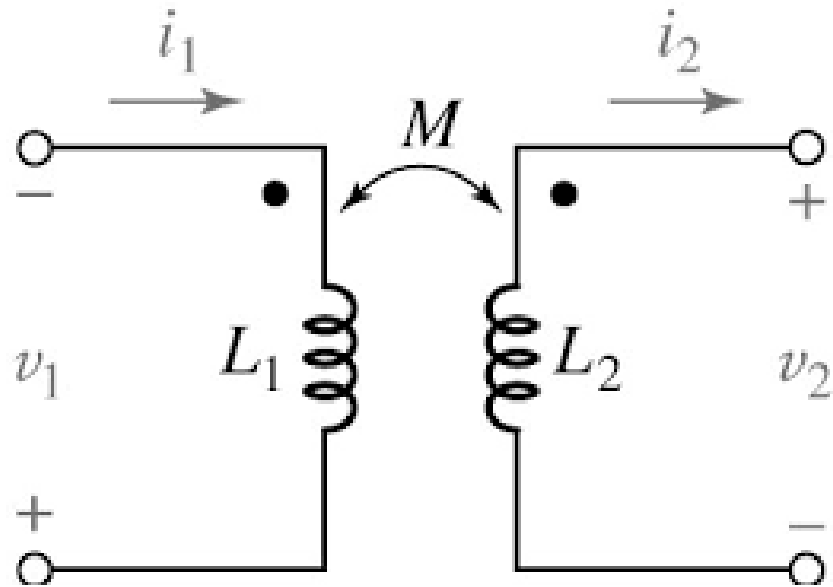


Indutância da bobina 2 em relação a bobina 1:

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{i_1}$$

$$\varepsilon_2 = -M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

Indutância mútua



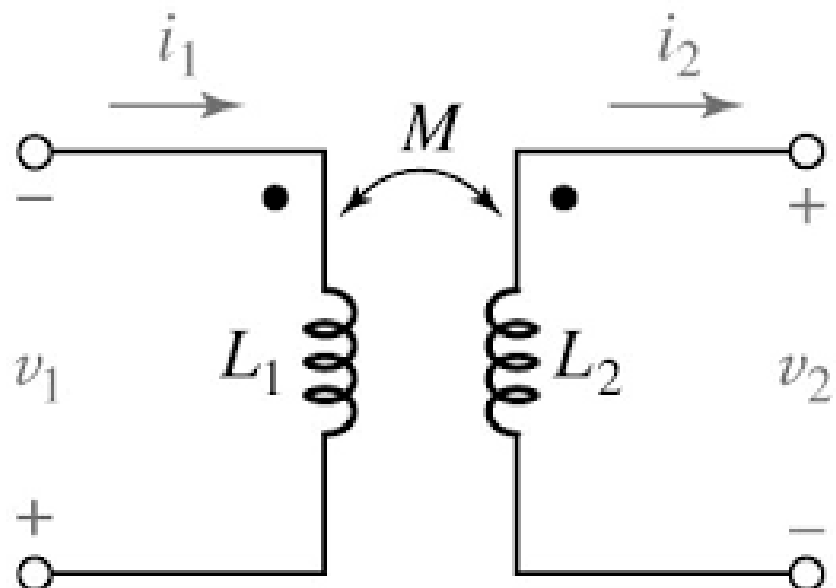
Indutância da bobina 2 em relação a bobina 1:

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{i_1}$$

$$\varepsilon_2 = -M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

Indutância da bobina 1 em relação a bobina 2:

Indutância mútua



Indutância da bobina 2 em relação a bobina 1:

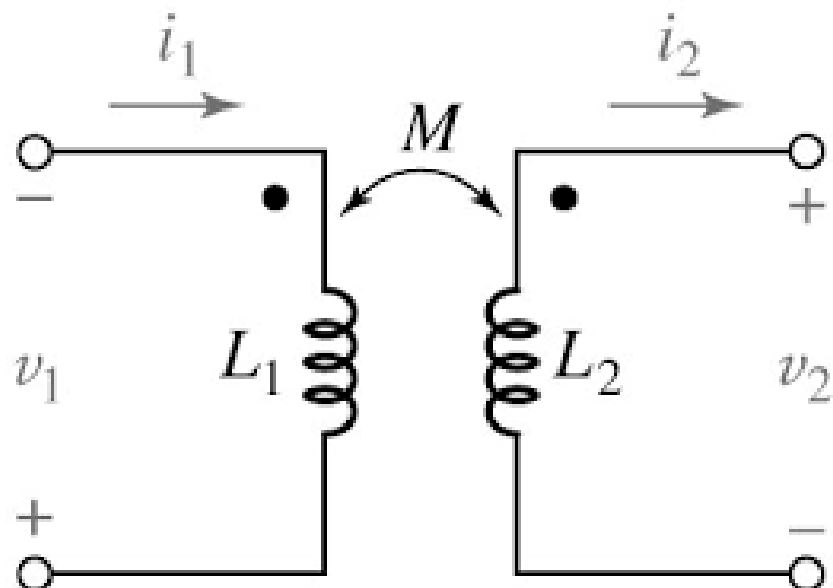
$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{i_1}$$

$$\varepsilon_2 = -M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

Indutância da bobina 1 em relação a bobina 2:

$$M_{12} = \frac{N_1 \Phi_{12}}{i_2}$$

Indutância mútua



Indutância da bobina 2 em relação a bobina 1:

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{i_1}$$

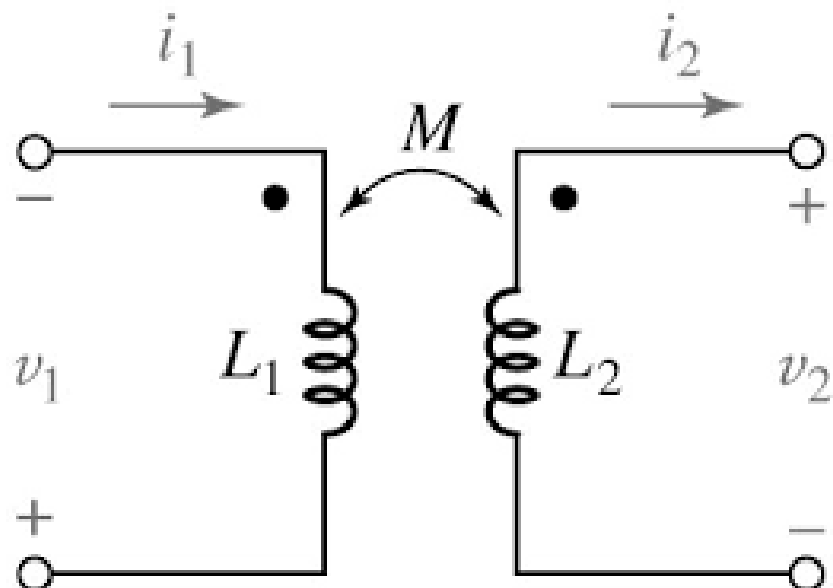
$$\varepsilon_2 = -M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

Indutância da bobina 1 em relação a bobina 2:

$$M_{12} = \frac{N_1 \Phi_{12}}{i_2}$$

$$\varepsilon_1 = -M_{12} \frac{di_2}{dt}$$

Indutância mútua



$$M_{21} = M_{12} = M$$

Indutância da bobina 2 em relação a bobina 1:

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{i_1}$$

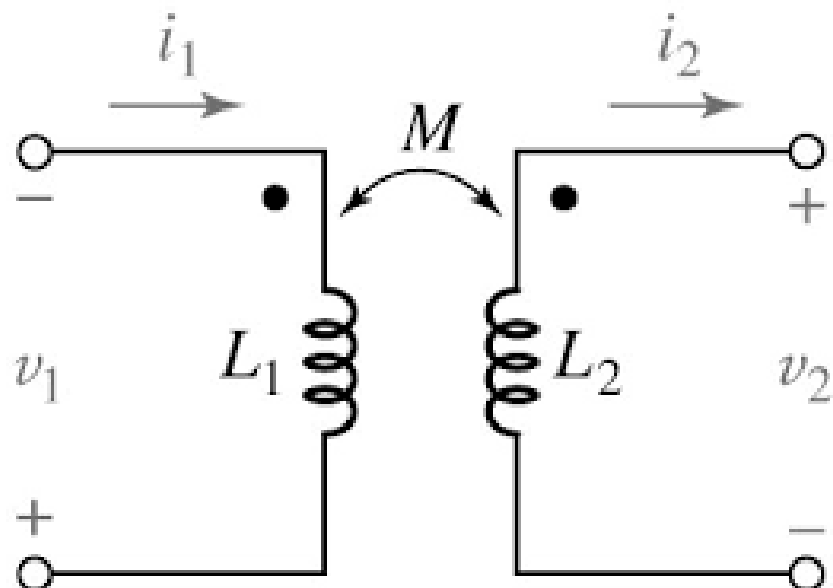
$$\varepsilon_2 = -M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

Indutância da bobina 1 em relação a bobina 2:

$$M_{12} = \frac{N_1 \Phi_{12}}{i_2}$$

$$\varepsilon_1 = -M_{12} \frac{di_2}{dt}$$

Indutância mútua



$$M_{21} = M_{12} = M$$

Indutância da bobina 2 em relação a bobina 1:

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{i_1}$$

$$\varepsilon_2 = -M \frac{di_1}{dt}$$

Indutância da bobina 1 em relação a bobina 2:

$$M_{12} = \frac{N_1 \Phi_{12}}{i_2}$$

$$\varepsilon_1 = -M \frac{di_2}{dt}$$