Note ainda que:
$\xi_1(t)$ e $\xi_2(t)$ oscilam na mesma frequência que a fonte (ω), onde:

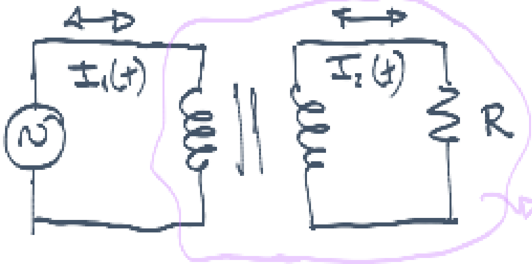
$$\frac{\xi_1(t)}{N_1}=\frac{\xi_2(t)}{N_2} \rightarrow \xi_2(t)=\frac{N_2}{N_1}\xi_1(t)=\frac{N_2}{N_1}\xi^1_{pico}\cos(\omega t)=\xi^2_{pico}\cos(\omega t)$$

$$\xi^2_{pico}=\frac{N_2}{N_1}\xi^1_{pico} \leftrightarrow \frac{\xi^2_{pico}}{\sqrt{2}}=\frac{N_2}{N_1}\frac{\xi^1_{pico}}{\sqrt{2}} \leftrightarrow \xi^2_{rms}=\frac{N_2}{N_1}\xi^1_{rms} \leftrightarrow \boxed{\frac{V_2}{V_1}=\frac{N_2}{N_1}} \;//$$

De forma sintética

"elevar a tensão" $\leftrightarrow$ $N_2>N_1$, $V_2>V_1$
"abaixar a tensão" $\leftrightarrow$ $N_2<N_1$, $V_2<V_1$

$\Rightarrow$ transformação de correntes $I_1(t)$, $I_2(t)$ / I^1_{rms}, I^2_{rms} / I_1, I_2 e resistências (resistência efetiva/equivalente)



$\rightarrow$ resistência equivalente.

* A potência consumida pela carga é a mesma fornecida pela fonte.
$P_c=V_2I_2$ (média consumida)
$P_f=V_1I_1$ (" fornecida)

$\mapsto$ Num transformador ideal $V_2I_2=V_1I_1$, assim as correntes se transformam da seguinte forma:

$$\frac{I_2}{I_1}=\frac{V_1}{V_2}=\frac{N_1}{N_2} \leftrightarrow \boxed{I_2=\frac{N_1I_1}{N_2}}$$

$\mapsto$ ligada ao transformador está a resistência (R), mas para a fonte $\xi_1(t)$ (R) não é (R) é uma resistência equivalente R_{eq}.

$$V_1I_1=R_{eq}I_1^2=V_2I_2=RI_2^2=R\frac{I_2}{I_1}\frac{I_2}{I_1}I_1^2=R\left(\frac{I_2}{I_1}\right)^2I_1^2=R\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2I_1^2$$

então:

$$R_{eq}I_1^2=R\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2I_1^2 \leftrightarrow \boxed{R_{eq}=R\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2} \;//$$

$\Rightarrow$ Assim, o transformador transforma resistências (R), tensões (V) e correntes (I), alterando de forma gera a impedância do circuito.

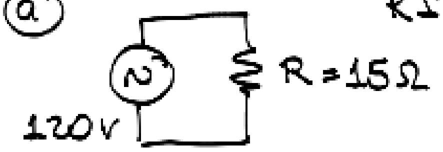
Exemplo: Um motor consome 960W de potência quando ligado a uma fonte de tensão efetiva de 120V. Esse motor é levado a um local onde a tensão é de 240V (rms) Calcule:

ⓐ Qual a relação entre o número de voltas das bobinas primária e secundária do transformador necessário para que o motor consuma a mesma potência?

ⓑ Qual a resistência efetiva do sistema (motor + transformador) no mesmo local?

Solução

ⓐ



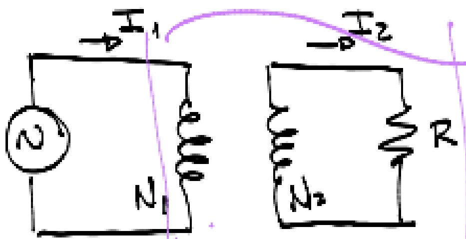
$$RI^2 = 960 = \frac{V^2}{R} \leftrightarrow R = \frac{120^2}{960} \leftrightarrow \boxed{R = 15\Omega}$$

resistência real do motor

$$I_{rms} = \frac{120}{15} = 8A$$

Novo local

ⓑ



Redução da tensão $V_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot V_1$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{120}{240} = \frac{1}{2} \leftrightarrow \boxed{N_2 = \frac{N_1}{2}}$$

O secundário deve ter a metade do número de voltas do primário!

$$R_{eq} = R\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = 15\left(\frac{2N_1}{N_1}\right)^2$$

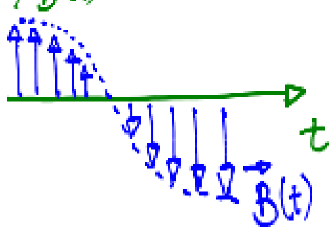
$$R_{eq} = 15 \times 4 \leftrightarrow \boxed{R_{eq} = 60\Omega}$$

7.8.1 → Perdas de energia no transformador

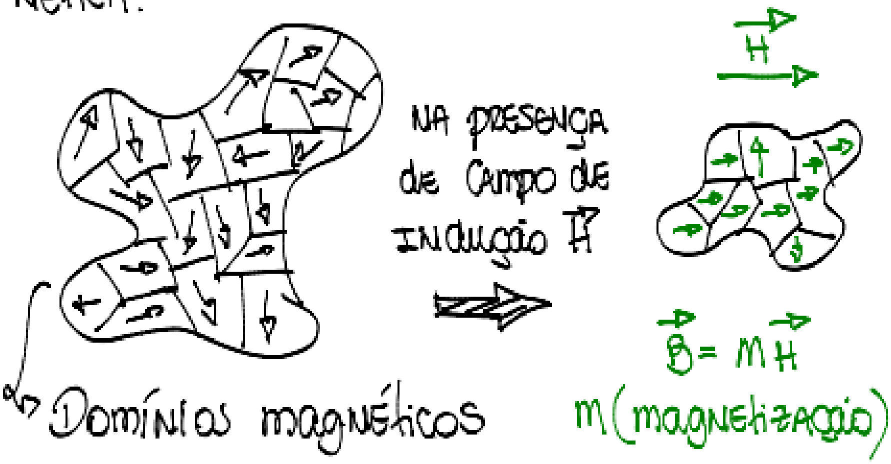
① Dissipação ohmica (resistência das bobinas)
② Processo de magnetização do ferro doce (Curvas de histerese)
③ Correntes parasitas (correntes de Foucault)

Fluxo de campo magnético varia senoidalmente $\phi_B(t)$

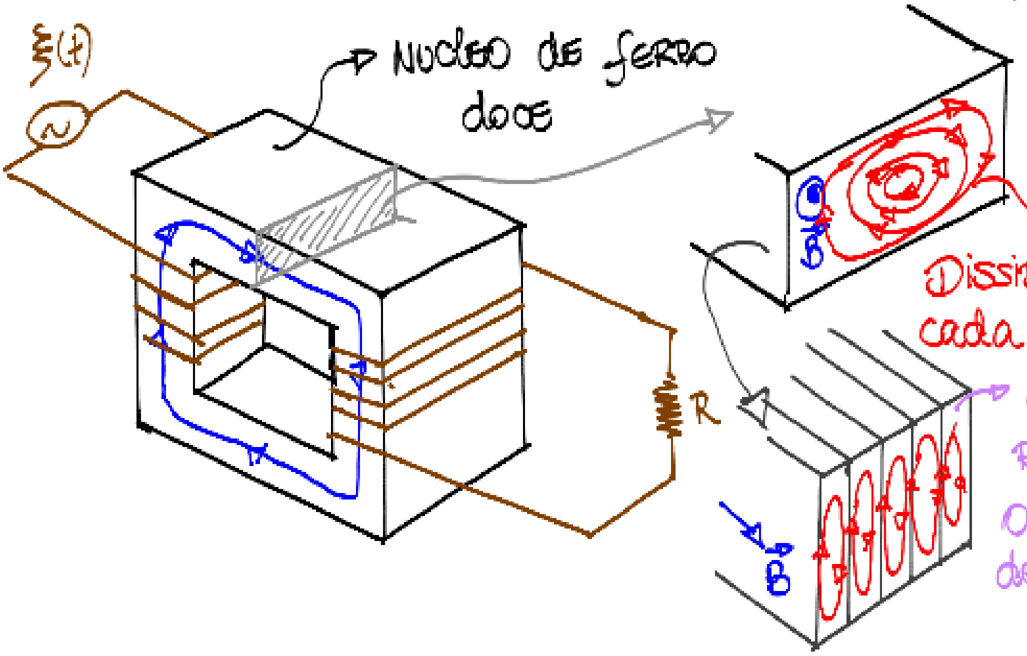
$$\phi_B(t) = \int \vec{B}(t) \cdot d\vec{a} = L\frac{dI(t)}{dt} = B.A \rightarrow \vec{B}(t) = \frac{L}{A_{rea}} I_{pk} \cos(\omega t + \delta)\hat{\phi}$$



O material ferromagnético na presença de campo externo $\vec{H}$ pode se polarizar a depender de seu nível de polarização magnética.



⇨ Correntes Parasitas (Correntes de Foucault/Eddy)



$\frac{d\phi_B(t)}{dt} \neq 0$

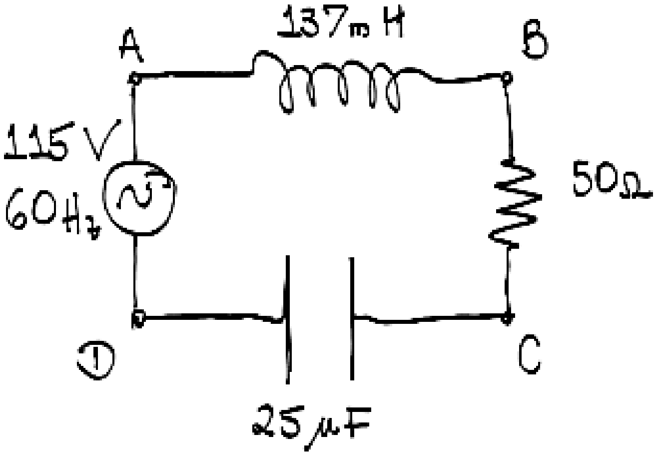
Correntes parasitas

Dissipam energia $\langle p \rangle = iR^2$ para cada loop.

Lâminas separadas por resina isolante, reduzindo o surgimento da correntes de Foucault.

7.8.2 → Exemplos de circuitos de Corrente Alternada.

Exemplo ①: Circuito RLC em série com fonte a.c.



Calcule:

a) Quanto vale a impedância Z do circuito?

b) Qual a corrente I_{rms} que "flui" pelo circuito?

c) Qual a tensão rms entre os terminais: V_{AB}, V_{BC}, V_{CD}, V_{AC} e V_{BD}.

a) Impedância do circuito em série Z

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{L^2}{\omega^2}\left(\omega^2 - \omega_0^2\right)} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2} = 50^2 + \left(\frac{1}{2\pi 60 \times 25\times10^{-6}} - 2\pi 60 \times 137\times10^{-3}\right)^2$$

$$\boxed{Z \approx 73{,}92\,\Omega}$$

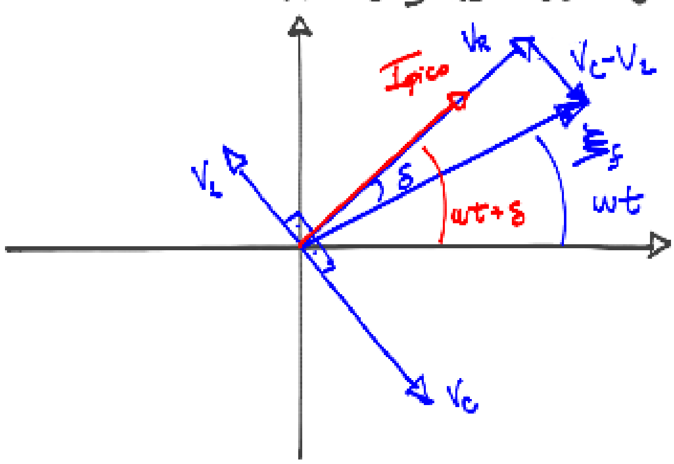
b) $I_{rms} = \frac{\xi_{rms}}{Z} = \frac{115\,V}{73{,}92\,\Omega} \approx 1{,}56\,A \leftrightarrow \boxed{I_{rms} \approx 1{,}56\,A}$ //

c) $V_{AB} = V_L = I_{rms} \cdot X_L = 1{,}56\,A \cdot 60 \cdot 2\pi \times 137\times10^{-3}\,H \approx 80{,}57$ Volts $\leftrightarrow V_{AB} = 80{,}57\,V$

$V_{BC} = V_C = I_{rms}\, X_C \approx 1{,}56 \cdot A \times \frac{1}{2\pi \times 60 \times 25\times10^{-6}\,F} \approx 165{,}52$ Volts $\leftrightarrow V_{BC} = 165{,}52\,V$

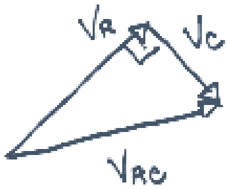
$V_{CD} = V_R = I_{rms} R \approx 1{,}56 \times 50\,\Omega \cdot A = 78$ Volts $\leftrightarrow V_{CD} = 78\,V$

No diagrama de fasores temos:



V_{AC} = Soma fasorial de V_R e V_L

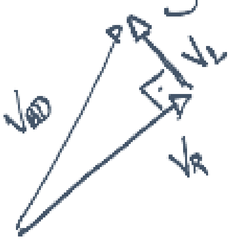
$\vec{V}_{AC} = \vec{V}_R + \vec{V}_L$ (abuso de notação)



$V_{AC}^2 = V_R^2 + V_C^2 = 78^2 + 165{,}52^2$

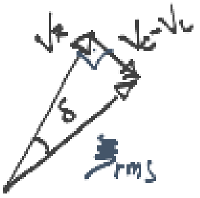
$\boxed{V_{AC} \approx 183 \text{ Volts}}$ //

V_{BD} = Soma fasorial entre V_R e V_L → $\vec{V}_{BD} = \vec{V}_R + \vec{V}_L$ (abuso de notação)



$V_{BD}^2 = V_L^2 + V_R^2 = 80{,}57^2 + 78^2 \leftrightarrow \boxed{V_{BD} \approx 112 \text{ Volts}}$ //

d) Quanto vale a diferença de fase (δ) entre a fonte ξ(t) e a corrente que flui I(t) pelo circuito.



$\text{Sen}\,\delta = \frac{C.O}{Hip} = \frac{165{,}52 - 80{,}57}{115} \approx 0{,}7387 \leftrightarrow \delta = \text{arcsen}(0{,}7387)$

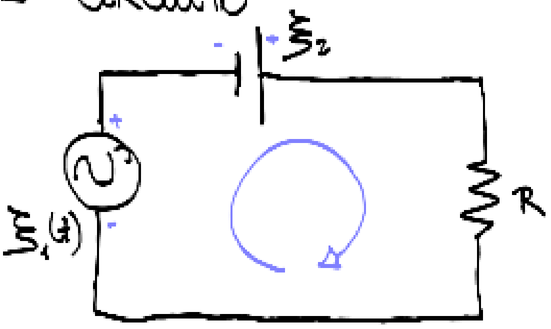
$\boxed{\delta \approx 0{,}83} \leftrightarrow 47{,}6°$, A corrente está adiantada 0,83 radianos em relação à fonte.

$\xi(t) = \xi_{pico} \cos(\omega t)$, $I(t) = I_{pico} \cos(\omega t + 0{,}83)$ //

 # Exemplo ②: No circuito abaixo estão ligados em série uma fonte d.c. $\xi_2 = cte = 18\,Volts$, uma fonte de tensão alternada de $\xi_1(t) = 20\cos(\omega t)$ e uma resistência $R = 36\,\Omega$. A fonte oscila numa frequência de 180 Hz.

Quais os valores máximos, mínimos, médios e quadrático médio da corrente que flui pelo circuito? $I_{máx}, I_{mín}, I_{méd}$ e I_{rms}?

Circuito



$\Rightarrow$ Lei das Malhas de Kirchhoff

$$\xi_1(t) + \xi_2 - RI(t) = 0$$

$$RI(t) = \xi_1(t) + \xi_2$$

$$I(t) = \frac{\xi_1(t)}{R} + \frac{\xi_2}{R}$$

$$I(t) = \frac{20}{36}\cos(\omega t) + \frac{18}{36}$$

Então:

$$\boxed{I(t) = \frac{20}{36}\cos(2\pi 180 t) + 0{,}5}$$

Valor máximo: $I_{máx} = \frac{20}{36} + 0{,}5 \simeq 1{,}05$ $\left(2\pi\omega t = n\pi,\ n = 0, 2, 4, 6, ..\right)$ $\to$ pares

Valor mínimo: $I_{mín} = -\frac{20}{36} + 0{,}5 \simeq -0{,}06$ $\left(2\pi\omega t = n\pi,\ n = 1, 3, 5, 7, ..\right)$ $\to$ impares

Valor médio: $I_{méd} = \langle I(t)\rangle = \frac{1}{T}\int_0^T I(t)\,dt = \cancelto{0}{\frac{1}{T}\int_0^T \frac{20}{36}\cos\omega t\,dt} + \cancelto{0{,}5}{\frac{1}{T}\int_0^T 0{,}5\,dt}$

$$\boxed{I_{méd} = 0{,}5\,A}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\langle I^2(t)\rangle} \to \langle I^2(t)\rangle = \frac{1}{T}\int_0^T I^2(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T \left(\frac{20}{36}\cos(\omega t) + 0{,}5\right)^2 dt$$

$$\langle I^2(t)\rangle = \frac{1}{T}\int_0^T \left[\left(\frac{20}{36}\cos(\omega t)\right)^2 + \frac{20}{36}\cos(\omega t) + 0{,}25\right] dt = \left(\frac{20}{36}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} + 0{,}25$$

$$\langle I^2(t)\rangle \simeq 0{,}4 \Leftrightarrow I_{rms} = \sqrt{0{,}4} \to \boxed{I_{rms} \approx 0{,}64\,A}$$

Fim das notas de aula de circuitos ac