

Aula-11 (Parte B)

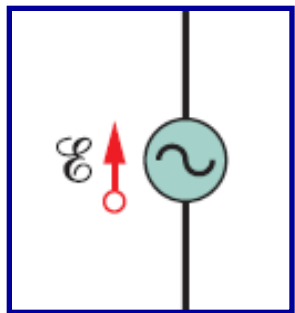
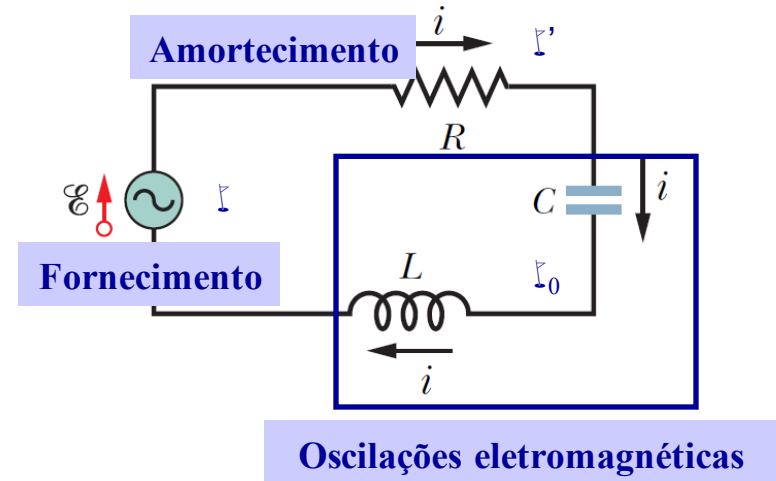
Corrente alternada

Curso de Física Geral F-328
1º semestre, 2016



Oscilações forçadas (RLC com fem)

As oscilações de um circuito RLC não serão totalmente amortecidas se um dispositivo de fem externo fornecer energia suficiente para compensar a energia térmica dissipada no resistor.



Gerador de tensão alternada (fem ca): $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin(\omega t)$

ω : frequência angular **propulsora**

Oscilações forçadas ($q(t)$, $i(t)$ e $V(t)$):

- Frequência: Qualquer que seja ω_0 (natural), oscilam com ω (propulsora)
- Corrente: $i(t) = I \sin(\omega t - \varphi)$

Corrente alternada (ca)

Definição:

A direção e a amplitude da corrente **varia com o tempo**

Requer o uso dos **valores instantâneos** (a um instante t) da corrente e da tensão alternada, desde que eles variam no tempo.



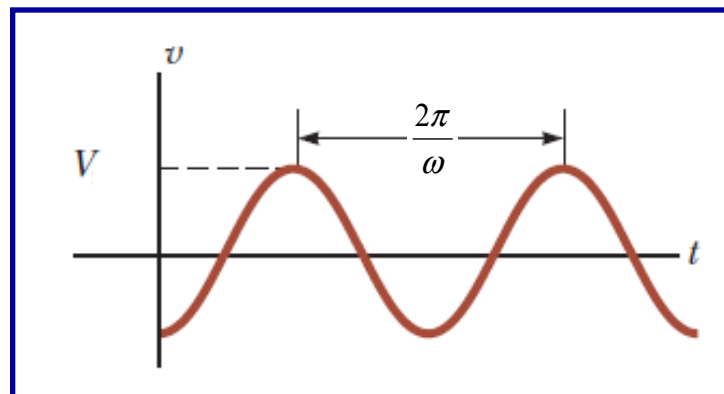
- Corrente: $i = I \sin(\omega t - \varphi)$

- Tensão: $v = V \sin(\omega t)$

I e V : valores máximos (amplitudes)

ω : frequência angular

φ : defase entre corrente e tensão



Impedância (Z)

Definição (no contexto dos circuitos elétricos):

Grau de **oposição** à circulação da corrente alternada

- Valor complexo
- Unidade SI: Ohm

$$\rightarrow Z = \frac{V}{I} = R + iX \quad (i = \sqrt{-1})$$

- Parte real: **Resistência R**

\rightarrow Constituinte que dissipa energia na forma de calor

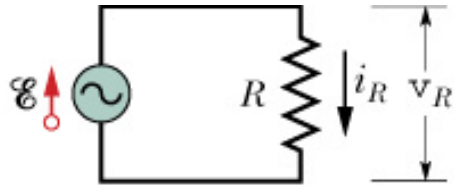


- Parte imaginária: **Reatância X**

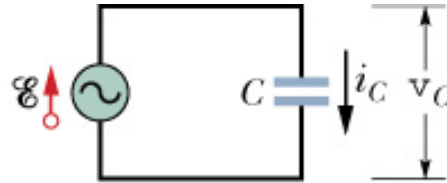
\rightarrow Constituinte que não dissipa energia na forma de calor
Armazenagem na forma de energias elétricas ou magnéticas



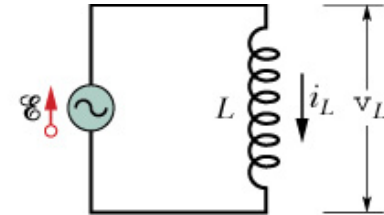
Revisão: três circuitos simples



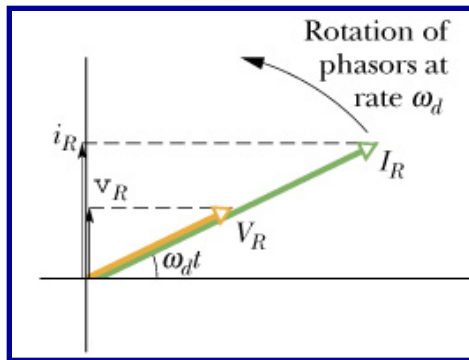
(a)



(a)



(a)

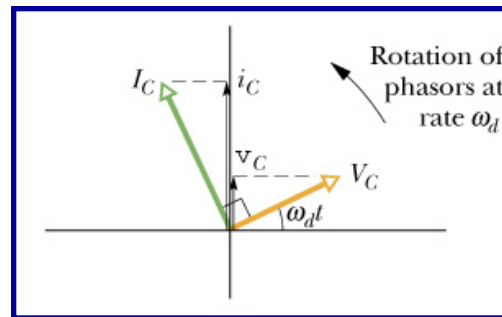


$$i_R = I_R \sin(\omega t)$$

$$Z_R = R$$

$$\phi = 0$$

(i em fase)

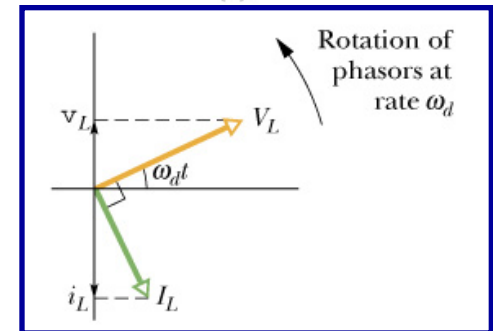


$$i_C = \frac{V_C}{X_C} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$Z_C = iX_C = \frac{i}{\omega C}$$

$$\phi = -\pi / 2$$

(i adiantada)



$$i_L = \frac{V_L}{X_L} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$Z_L = iX_L = i\omega L$$

$$\phi = \pi / 2$$

(i atrasada)

Circuito RLC série

fem aplicada: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin(\omega t)$

Corrente: $i(t) = I \sin(\omega t - \varphi)$

Objetivo: Determinar I e φ em função das grandezas R , L , C , \mathcal{E}_m , e ω

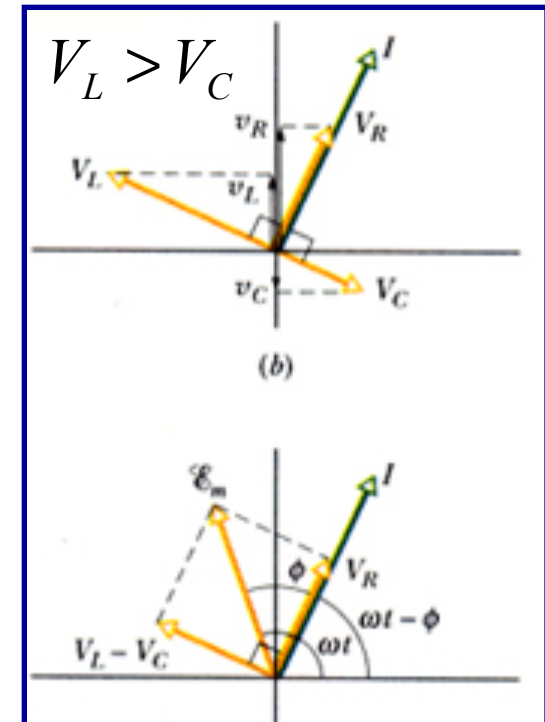
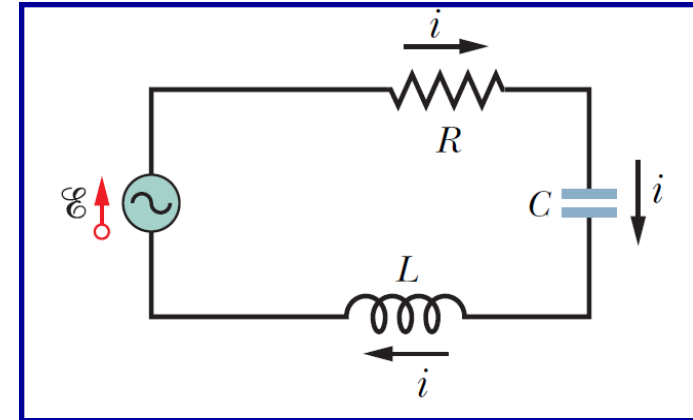
Soluções:

- Regras das malhas (valores instantâneos)
- Técnica dos fasores

$$\mathcal{E} = v_R + v_L + v_C \quad (\text{para qualquer } t)$$

$$\vec{\mathcal{E}}_m = \vec{V}_R + \vec{V}_L + \vec{V}_C$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_m^2 &= V_R^2 + (V_L - V_C)^2 \\ \mathcal{E}_m^2 &= (IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2 \end{aligned}$$



Circuito RLC série

➡ **Corrente:** $I = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$

➡ **Impedância:** $Z = \frac{\mathcal{E}_m}{I} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$

➡ **Constante de fase:**

$$\tan \varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

Ressonância

Como maximizar a amplitude I da corrente?

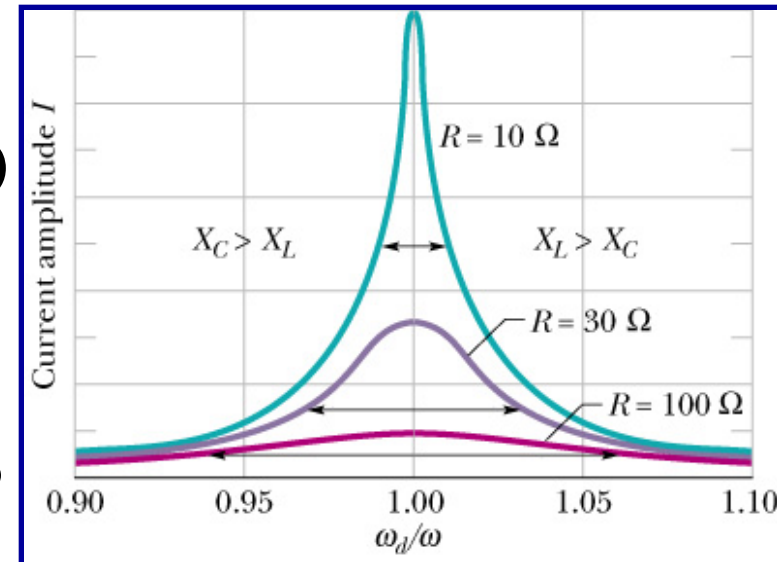
Minimizando a impedância Z para facilitar a passagem da corrente

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$X_L = X_C \quad \longleftrightarrow \quad \omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \longleftrightarrow \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \omega_0$$

Ressonância:

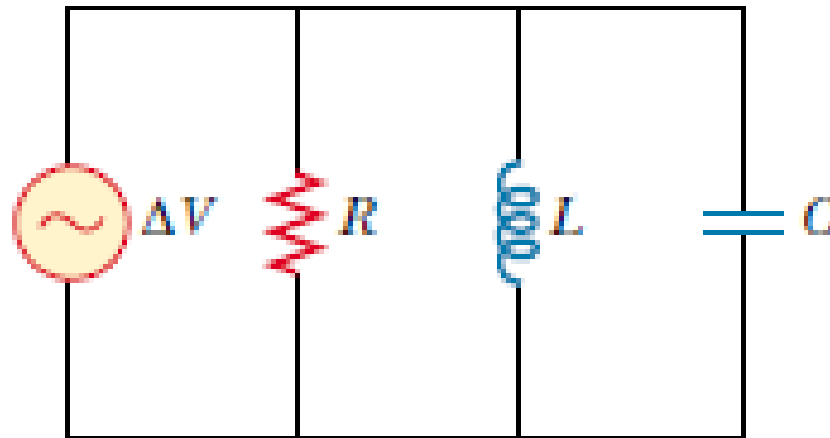
- Corrente máxima
- Condições de ressonância (equivalentes)
 - Circuito nem capacitivo nem indutivo ($X_L = X_C$)
 - Frequência **propulsora** coincide com a frequência angular **natural** do circuito ($\omega = \omega_0$)



Questão 01 - Circuito RLC - paralelo

Um resistor, um indutor e um capacitor são ligados em paralelo a uma fonte de *fem* senoidal. Qual das seguintes afirmações é verdadeira?

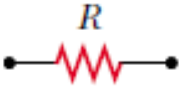
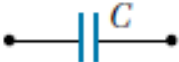
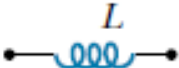
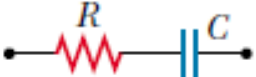
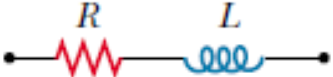
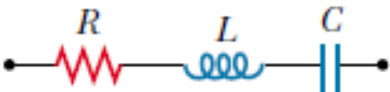
- a) as diferenças de potencial em todos os ramos estão em fase;
- b) as correntes em todos os ramos estão em fase;
- c) a corrente no ramo do capacitor está adiantada de um quarto de ciclo em relação à corrente no ramo do indutor;
- d) a diferença de potencial através do ramo do capacitor está adiantada de um quarto de ciclo em relação à diferença de potencial através do ramo do indutor;
- e) a corrente no ramo do capacitor está atrasada de um quarto de ciclo em relação à corrente no ramo do indutor;



Impedâncias e ângulos de fase

TABELA:

Impedância e ângulos de fase para várias combinações de elementos no circuito

Elemento	Impedância Z	Fase φ
	R	0°
	X_C	-90°
	X_L	$+90^\circ$
	$\sqrt{R^2 + X_C^2}$	Negativa, entre -90° e 0°
	$\sqrt{R^2 + X_L^2}$	Positiva, entre 0° e 90°
	$\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	Negativa, se $X_C > X_L$ Positiva, se $X_C < X_L$

Potência em circuitos ac (fonte)

- Instantânea: $P = \varepsilon i = \varepsilon_m \sin(\omega t) I \sin(\omega t - \varphi)$
 $= \varepsilon_m I \sin^2(\omega t) \cos \varphi - \varepsilon_m I \sin(\omega t) \cos(\omega t) \sin \varphi$

- Média num ciclo (de período T):

$$P_{med} = \varepsilon_m I \cos \varphi \frac{1}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t) dt = \frac{1}{2} \varepsilon_m I \cos \varphi$$

$$\longrightarrow P_{med} = \varepsilon_{rms} I_{rms} \cos \varphi$$

- Valores **rms**: valores constantes dando a mesma potência que a media no tempo de $i(t)$

$$\varepsilon_{rms} = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{2}} \qquad I_{rms} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

Potência em circuitos ac (resistor)

- **Instantânea:** $P = i^2 R = I^2 R \sin^2(\omega t - \varphi)$

- **Média** num ciclo (de período T):

$$P_{med} = \mathcal{E}_{rms} I_{rms} \cos \varphi = \mathcal{E}_{rms} I_{rms} \frac{R}{Z} = R I_{rms}^2 \quad \left(\cos \varphi = \frac{R}{Z} \right)$$

(Potência dissipada somente no resistor)

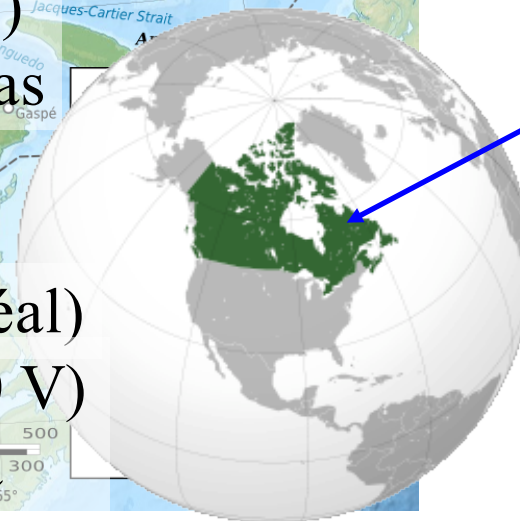
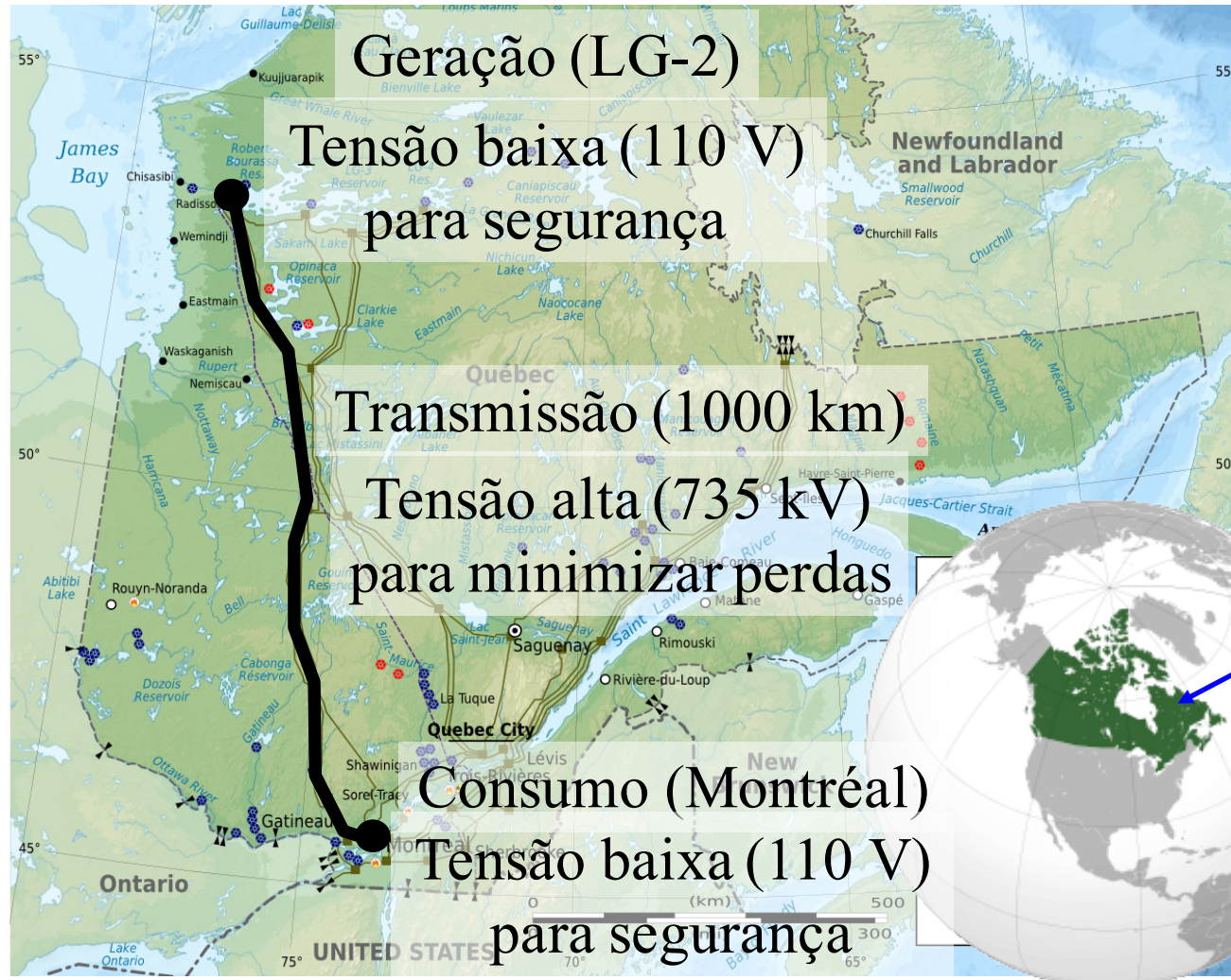
- **Fator de potência** ($\cos \varphi$):

- $\cos \varphi = 1$: circuito resistivo
transferência máxima de potência

 **ressonância**

- $\cos \varphi = 0$: circuito indutivo ou capacitivo

Transformadores



Québec



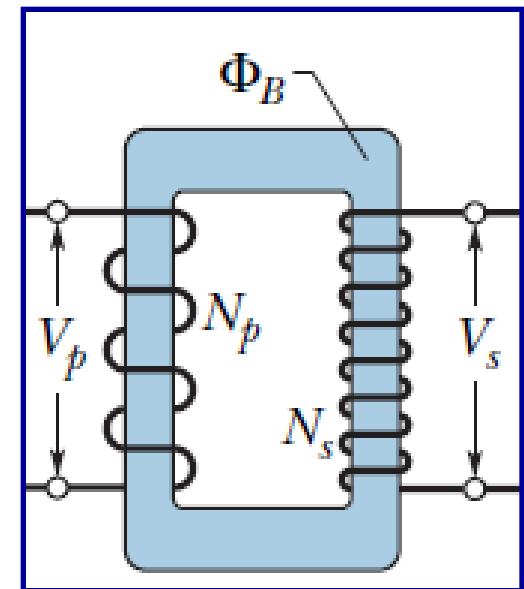
Sistema de distribuição ➡ Requer mudança de tensão

A taxa média de dissipação numa carga resistiva é: $P = V_{rms} I_{rms}$

Por razões de segurança, tanto na estação geradora quanto na extremidade receptora, é conveniente lidar com baixas voltagens. Já na transmissão, é conveniente lidar com baixas correntes.

Solução?

Transformador: dispositivo permitido aumentar ou diminuir a tensão em um **circuito ca**, de modo a manter constante o produto $I \times V$.



Primário Secundário₁₄

Transformador ideal

S aberta:

- Enrolamento primário: indutor puro
- Não há transferência de potência do gerador para o transformador

- $\cos\varphi = 0$

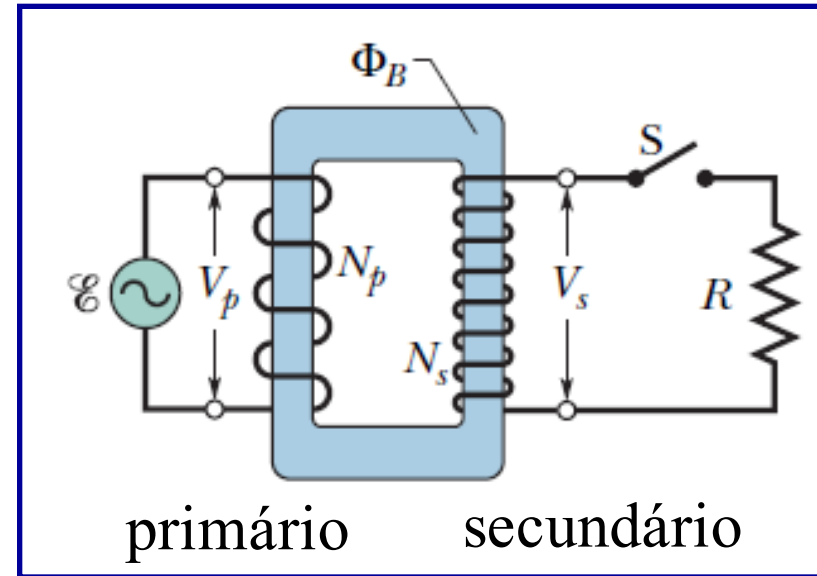
- Fluxo Φ_B atravessa os dois enrolamentos

- *fem* induzida **por espira** é a mesma nos dois:

$$\mathcal{E}_{esp} = \frac{d\phi_B}{dt} = \frac{V_P}{N_P} = \frac{V_S}{N_S}$$

➡ $V_S = \frac{N_S}{N_P} V_P$ (relação entre tensões)

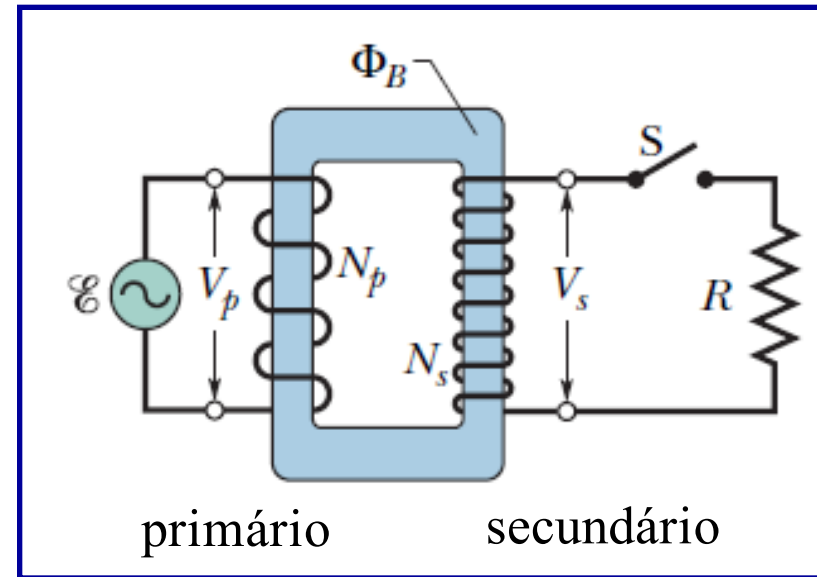
- Controle da tensão do secundário: N_S e N_P



Transformador ideal

S fechada:

- Há transferência de potência do gerador para a carga
- **Fator de potência é igual a 1** (ideal): taxa com que o gerador fornece energia ao enrolamento primário ($V_P I_P$) **igual** taxa de energia transferida do enrolamento primário ao secundário ($V_S I_S$): $I_P V_P = I_S V_S$



$$\Rightarrow I_S = I_P \frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} I_P \quad (\text{relação entre correntes})$$

Transformador ideal

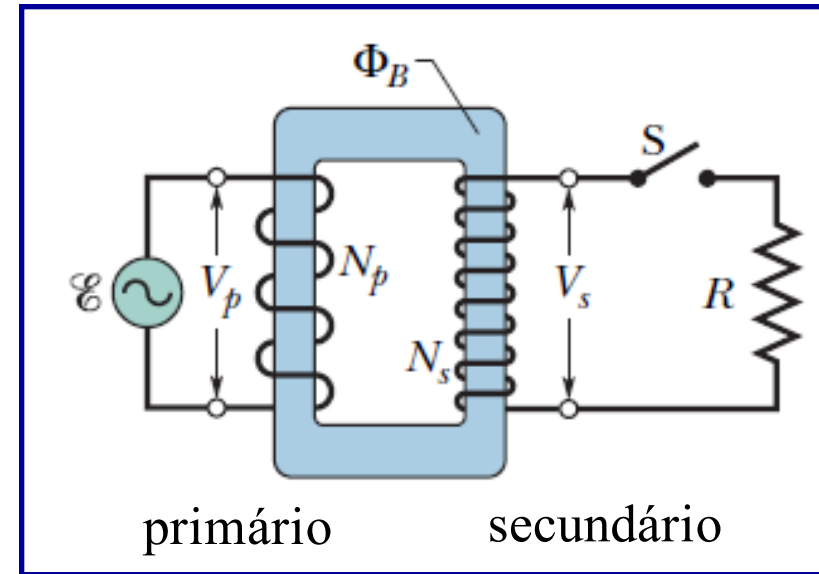
S fechada:

- Lembrando que $I_S = \frac{V_S}{R}$

$$I_P = I_S \frac{N_S}{N_P} = \frac{V_S}{R} \frac{N_S}{N_P} = \frac{N_S^2}{N_P^2} \frac{V_P}{R} = \frac{V_P}{\left(\frac{N_P}{N_S}\right)^2 R}$$

- Do ponto de vista do primário, a resistência equivalente da carga não é R mas R_{eq}

$$\rightarrow R_{eq} = \left(\frac{N_P}{N_S}\right)^2 R$$

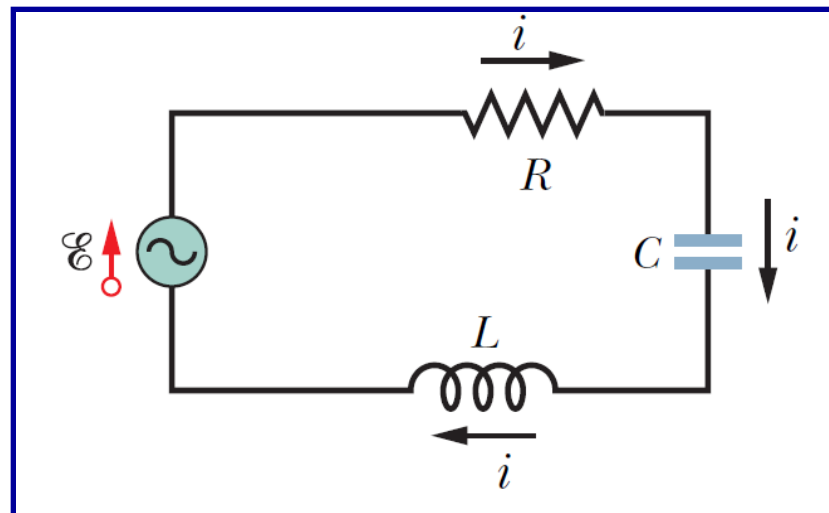


(resistência equivalente)

Questão 02 - Circuito *RLC*-forçado

Em um circuito *RLC* série com fonte de *fem* senoidal, a corrente está atrasada em relação à *fem* aplicada. A taxa com a qual o resistor dissipa energia pode ser aumentada:

- a) aumentando a frequência propulsora, sem fazer outras alterações;
- b) aumentando a indutância, sem fazer outras alterações;
- c) diminuindo a amplitude da *fem* propulsora, sem fazer outras alterações;
- d) diminuindo a capacitância, sem fazer outras alterações;
- e) aumentando a capacitância, sem fazer outras alterações.



Exemplo 2

Num circuito RLC série, $R = 200 \, \Omega$, $C = 15 \, \mu\text{F}$, $L = 230 \, \text{mH}$, $f = 60 \, \text{Hz}$ e $\mathcal{E} = 36 \, \text{V}$.

a) Determine a impedância do circuito

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(200)^2 + (86,7 - 177)^2} \cong 219 \, \Omega$$

b) Determine a amplitude e a fase da corrente

$$I = \frac{\mathcal{E}_m}{Z} = 0,164 \, \text{A}; \quad \varphi = \arctan \frac{X_L - X_C}{R} \cong -0,42 \, \text{rad}$$

c) Calcule o fator de potência

$$\cos \varphi = \cos(-0,42) \cong 0,91 \quad \text{ou} \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{200}{219} \cong 0,91$$

d) Determine a potência média dissipada no resistor

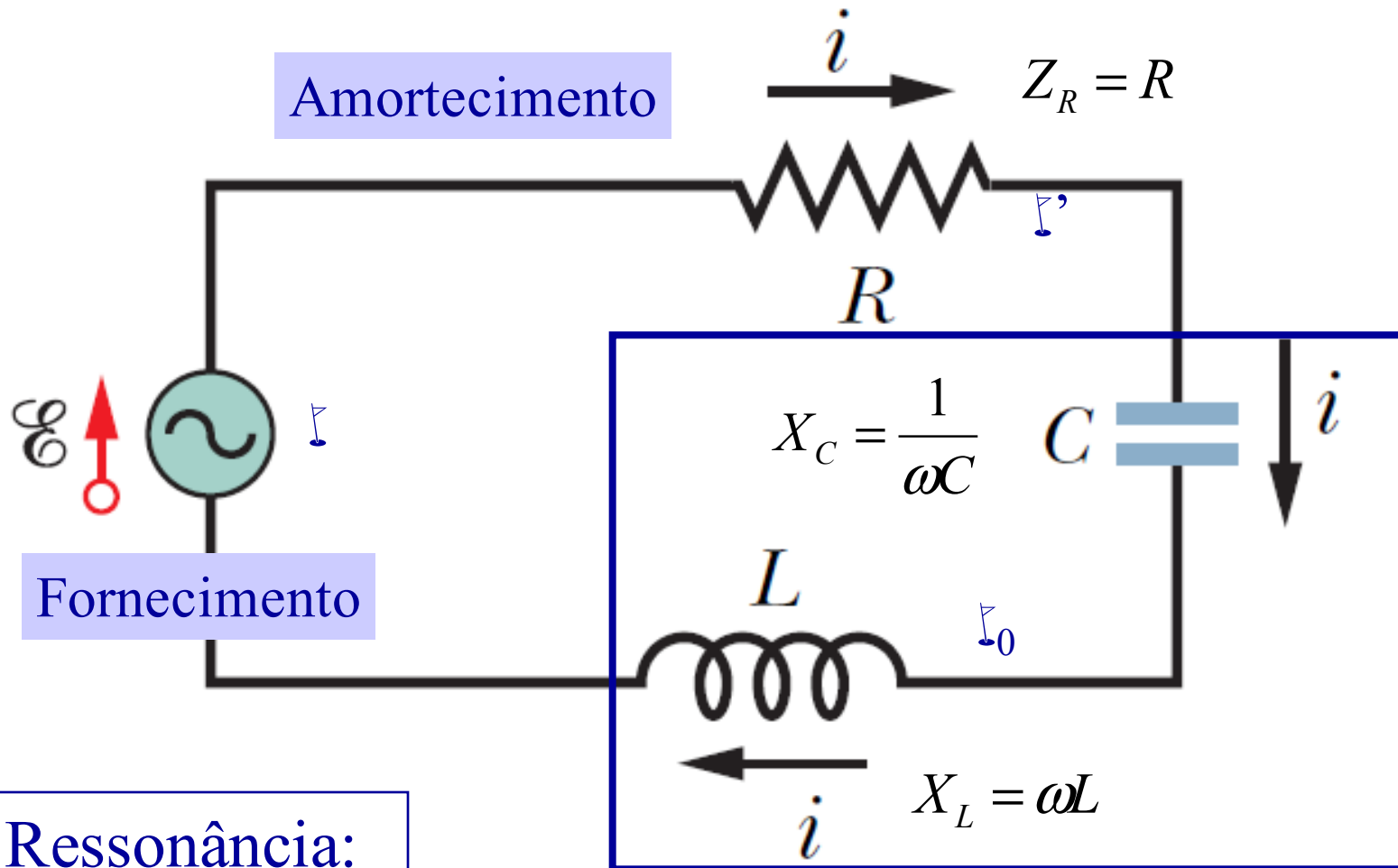
$$P_{med} = I_{rms}^2 R = (0,116)^2 \times 200 \cong 2,69 \, \text{W}$$
$$\text{ou} \quad P_{med} = \mathcal{E}_{rms} I_{rms} \cos \varphi = 25,5 \times 0,116 \times 0,91 \cong 2,69 \, \text{W}$$

e) O circuito é predominantemente capacitivo ou indutivo ?

$$X_L = \omega L = 2\pi f L = 86,7 \, \Omega, \quad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = 177 \, \Omega$$

Como $X_C > X_L$ ($\varphi < 0$) o circuito é predominantemente capacitivo.

Resumo



Oscilações eletromagnéticas
(movimento harmônico simples)

Lista de exercícios do capítulo 31

Os exercícios pares do Livro texto capítulo **Corrente Alternada:**

Consultar:

<https://www.ggte.unicamp.br/ea/index.php>

Aulas gravadas:

<http://lampiao.ic.unicamp.br/weblectures> (Prof. Roversi)

ou

UnivespTV e Youtube (Prof. Luiz Marco Brescansin)