

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Campus Blumenau

Física Geral III

Aula Teórica 23 (Cap. 36 parte 1/2):

- 1) Corrente Alternada x Corrente Contínua
- 2) Um circuito resistivo
- 3) Um circuito capacitivo
- 4) Um circuito indutivo
- 5) O Circuito RLC em série: Amplitude da corrente
- 6) O Circuito RLC em série: Constante de fase

Prof. Marcio R. Loos

Corrente Alternada x Corrente Contínua

- Até agora estudamos a **corrente contínua (CC)**: Não muda de sentido no decorrer do tempo.

(I)

CC

(t)

- Baterias e pilhas fornecem corrente contínua.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 2

Corrente Alternada x Corrente Contínua

- Corrente Alternada (CA)** é uma corrente elétrica cujo sentido varia no tempo de acordo com uma forma de onda (senoidal, quadrada, triangular).

+ (I)

+

0

-

- (I)

(t)





UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 3

Guerra das Correntes

- Disputa entre George Westinghouse e Thomas Edison.
- Ocorreu nas duas últimas décadas do século XIX.
- Relação com: cadeira elétrica, morte de animais, ganância!

Assista: *The Prestige Tesla*

CC X CA



X



Thomas Edison (USA)
J.P. Morgan (USA)
George Westinghouse (USA)
Nikola Tesla (USA após 1892)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Guerra das Correntes

By cruelly killing this elephant Thomas A. Edison wanted to show the danger of alternating current, because he was a representative for direct current.

He also killed various other animals, in order to show the dangers of alternating current and so discrediting his biggest competitor G. Westinghouse (the representative for alternating current). His competitors were disgusted.


Thomas A. Edison wollte die Gefahr des Wechselstroms zeigen, da er ein Vertreter des Gleichstroms war. Er tötete auch viele andere Tiere auf ähnliche Weise, nur um die Gefahr des Wechselstroms zu beweisen und seinen größten Konkurrenten G. Westinghouse (den Vertreter für Wechselstrom anzuprangern) anzuprangern.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Corrente Alternada

- A energia elétrica é fornecida para as casas na forma de **CA**.
- **Principal vantagem de CA:** Quando a **corrente muda de sentido**, o mesmo ocorre com o **campo B** ao redor do condutor.
- Isso permite o uso da Lei de Faraday:

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$
- Podemos aumentar ou diminuir a ddp à vontade usando transformadores (veremos como depois).
- No Brasil, a frequência de oscilação da **CA** é de 60 Hz.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br

Corrente Alternada

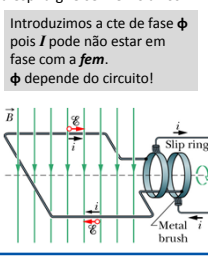
- Quanto **maior é a voltagem** (menor corrente), **menor a perda de energia** no trajeto ($P=RI^2$).



- Para uma determinada quantidade de energia, uma **baixa tensão** requer uma **corrente maior** e uma **alta tensão** uma **corrente menor**. ($P=Vi$)
- CA**: Os elétrons vão para a frente ou para trás, mudando de rota 60 vezes por segundo.
- CC**: o fluxo de elétrons passa pelo fio sempre no mesmo sentido.
- Como não há alternância (variação do fluxo), essa corrente não é aceita pelos transformadores.

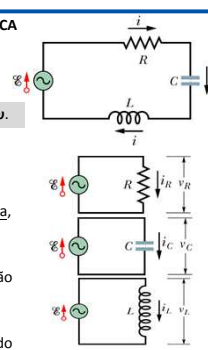
Corrente Alternada

- A fig. mostra um gerador simples de CA.
- Quando a bobina é forçada a girar na presença de **B**, uma **fem senoidal** é induzida na espira:
 $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin \omega t$
- Os anéis de rotação e escovas metálicas permitem que a espira gire sem enrolar os fios...
- Este é o princípio de funcionamento de um **gerador**.
- É necessário energia para girar a bobina: água, vapor (carvão, nuclear), vento...
- A **frequência angular ω** da fem é **igual a velocidade angular** de rotação da espira.
- A fem produzirá uma corrente senoidal (alternada):
 $i = I \sin(\omega t - \phi)$

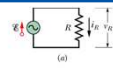


Plano de estudo

- Nosso objetivo é estudar o circuito RLC com uma fonte **CA**
- Encontraremos expressões para:
 - I** (amplitude de corrente)
 - ϕ** (cte de fase)
 Em função de \mathcal{E}_m e ω .
- Primeiro examinaremos três circuitos simples!
- O elemento ligado à fonte é chamado de **carga** (resistiva, capacitiva e indutiva)
- Veremos como as **oscilações de voltagem na carga** estão relacionadas às **oscilações de corrente**.
- Veremos que as relações de fase mudam dependendo do tipo de **carga**.



Um circuito resistivo

- A fig. (a) mostra um circuito com carga resistiva. 
- De acordo com a regra das malhas, temos:
 $\mathcal{E} - v_R = 0$ mas $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \text{sen} \omega t$
- Logo: $v_R = \mathcal{E}_m \text{sen} \omega t$ $\mathcal{E}_m = V_R$ $v_R = V_R \text{sen} \omega t$
- Como $V=RI$, temos:
 $i_R = \frac{v_R}{R} = \frac{V_R}{R} \text{sen} \omega t$ $i_R = I_R \text{sen} \omega t$
- Vimos que a corrente também pode ser escrita como:
 $i_R = I \text{sen}(\omega t - \phi)$ a comparação da Eq. Acima com esta mostra que $\phi = 0$
- A amplitude de voltagem e corrente estão relacionadas por:
 $V_R = R I_R$ **Resistor**
- v_R e i_R estão em fase: seus máximos ocorrem ao mesmo tempo (fig b).

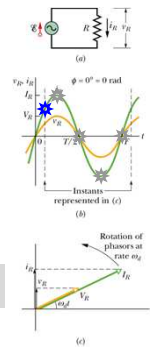
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 10

Um circuito resistivo

- A fig. (b) pode ser analisada através do uso de fasores: fig. (c).
- Fasores são "vetores" gigantes que mostram a fase instantânea da voltagem ou corrente.
- Giram no sentido anti-horário com frequência ω .
- O comprimento do fasor é proporcional à amplitude da grandeza: V_R ou I_R .
- A projeção de um fasor sobre o eixo vertical mostra o valor instantâneo desta grandeza: v_R ou i_R .

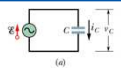
Convença-se de que a fig. (c) descreve as eqs. abaixo:

$$v_R = V_R \text{sen} \omega t$$

$$i_R = I_R \text{sen} \omega t$$


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 11

Um circuito capacitivo

- A fig. (a) mostra um circuito com carga capacitiva. 
- De acordo com a regra das malhas, temos:
 $v_C = V_C \text{sen} \omega t$
- Da definição de capacitância, podemos escrever:
 $q_C = C v_C = C V_C \text{sen} \omega t$
- A corrente será:
 $i_C = \frac{dq_C}{dt}$ $i_C = \omega C V_C \cos \omega t$
- Em analogia com a resistência (cte de proporcionalidade entre I e V), definimos a **reatância capacitiva**:
 $X_C = \frac{1}{\omega C}$ **Reatância capacitiva** $[X_C] = [\Omega]$

Reatância é a resistência oferecida à passagem de CA por um indutor ou capacitor.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 12

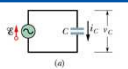
Um circuito capacitivo

$i_c = \omega C V_c \cos \omega t$ $X_c = \frac{1}{\omega C}$

- Após alguns rearranjos, temos:

 $i_c = \frac{V_c}{X_c} \sin(\omega t + 90^\circ)$ $i_c = I_c \sin(\omega t + 90^\circ)$
- Note que neste caso $\phi = -90^\circ$. $i_c = I_c \sin(\omega t - \phi)$
- i_c está avançado em relação a v_c (seu máximo ocorre **1/4** de ciclo antes de v_c Fig. (b e c)).
- Amplitude de voltagem e corrente estão relacionadas por:

 $V_c = I_c X_c$ Capacitor



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br
13

Um circuito indutivo

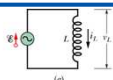
- A fig. (a) mostra um circuito com carga indutiva.
- De acordo com a regra das malhas, temos: $v_L = V_L \sin \omega t$
- A definição de indutância é:

 $v_L = L \frac{di_L}{dt}$
- Combinando as duas Eqs acima temos:

 $\frac{di_L}{dt} = \frac{V_L}{L} \sin \omega t$
- A corrente será:

 $i_L = \frac{V_L}{L} \int \sin \omega t dt$ $i_L = -\left(\frac{V_L}{\omega L}\right) \cos \omega t$
- Em analogia com a resistência (cte de proporcionalidade entre **I e V**), definimos a **reatância indutiva**:

 $X_L = \omega L$ Reatância indutiva



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br
14

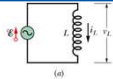
Um circuito indutivo

$i_L = -\left(\frac{V_L}{\omega L}\right) \cos \omega t$ $V_L = I_L X_L$

- Após alguns rearranjos, temos:

 $i_L = \frac{V_L}{X_L} \sin(\omega t - 90^\circ)$ $i_L = I_L \sin(\omega t - 90^\circ)$
- Note que neste caso $\phi = +90^\circ$.
- i_L está atrasado em relação a v_c (seu máximo ocorre **1/4** de ciclo depois de v_c Fig. (b e c)).
- Amplitude de voltagem e corrente estão relacionadas por:

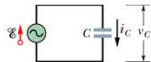
 $V_L = I_L X_L$ Indutor



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br
15

Exercício 1/2

Considere no circuito ao lado $C = 4,7 \mu\text{F}$, $f = 120 \text{ Hz}$ e $\varepsilon_m = V_C = 12,0 \text{ V}$.



- (a) Qual a reatância capacitiva?
- (b) Qual a amplitude da corrente I_C no circuito?

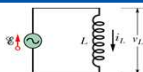
Resolução

(a) $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$

(b) $V_C = I_C X_C$

Exercício 2/2

Considere no circuito ao lado $L = 189 \text{ mH}$, $f = 120 \text{ Hz}$ e $\varepsilon_m = V_L = 12,0 \text{ V}$.



- (a) Qual a reatância indutiva?
- (b) Qual a amplitude da corrente I_L no circuito?

Resolução

(a) $X_L = \omega L$

(b) $V_L = I_L X_L$

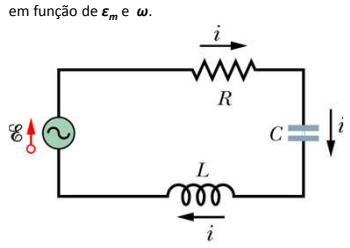
Tabela resumo

Relações de **Fase** e de **Amplitude** para **Correntes** e **Voltagens Alternadas**.

Elemento de Circuito	Símbolo	Resistência ou Reatância	Fase da corrente	Ângulo de fase ϕ	Relação entre Amplitudes
Resistor	R	R	Em fase com v_R	0° (0 rad)	$V_R = I_R R$
Capacitor	C	$X_C = 1/\omega C$	Avançada 90° sobre v_C	-90° ($-\pi/2$)	$V_C = I_C X_C$
Indutor	L	$X_L = \omega L$	Atrasada 90° sobre v_L	$+90^\circ$ ($\pi/2$)	$V_L = I_L X_L$

O Circuito RLC em série:
Amplitude da corrente

- Agora podemos encontrar expressões para:
 - I (amplitude de corrente)
 - ϕ (cte de fase)
 em função de \mathcal{E}_m e ω .



$i = I \text{ sen}(\omega t - \phi)$

$\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \text{ sen} \omega t$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 19

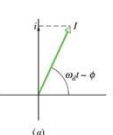
O Circuito RLC em série:
Amplitude da corrente

- O diagrama de fasores (a) mostra a corrente: valor máximo (I), instantâneo (i) e fase ($\omega t - \phi$). $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \text{ sen} \omega t$
- A fig. (b) mostra os fasores que representam as tensões entre os terminais de R, L e C no mesmo instante t. $i = I \text{ sen}(\omega t - \phi)$

Resistor: corrente e tensão estão em fase. O ângulo de rotação do fasor V_R é igual ao de I .

Capacitor: corrente está 90° adiantada em relação à tensão. O ângulo de rotação do fasor V_C é igual ao de I menos 90° .

Indutor: corrente está 90° atrasada em relação à tensão. O ângulo de rotação do fasor V_L é igual ao de I mais 90° .



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 20

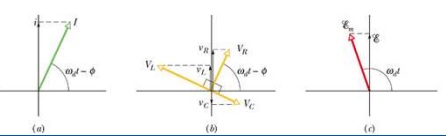
O Circuito RLC em série:
Amplitude da corrente

- A fig. (c) mostra o fasor que representa a fem: valor máximo (\mathcal{E}_m), instantâneo (\mathcal{E}) e fase (ωt). $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \text{ sen} \omega t$
- De acordo com a regra das malhas, temos para um circuito RLC: $i = I \text{ sen}(\omega t - \phi)$

$\mathcal{E} = v_R + v_C + v_L$ A projeção do fasor em (c) é igual à soma das projeções em (b)

- Fig. (d): \mathcal{E}_m é igual a soma de V_R , V_L , e V_C .
- Aplicando o teorema de pitágoras no triângulo da fig. (d), temos:

$\mathcal{E}_m^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 21

O Circuito RLC em série:
Amplitude da corrente

- Como $V_R = RI$ $V_C = I X_C$ $V_L = I X_L$ $\mathcal{E}_m^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$
- Temos: $\mathcal{E}_m^2 = (RI)^2 + (IX_L - IX_C)^2 \Rightarrow I = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$ $I = \frac{\mathcal{E}_m}{Z}$
- A impedância é definida como: $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ Definição de Impedância
- Mas $X_C = \frac{1}{\omega C}$ $X_L = \omega L$, logo: $I = \frac{\mathcal{E}_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}$

Impedância é a carga resistiva total de um circuito CA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.ufsc.br 22

O Circuito RLC em série:
Constante de fase

- A Constante de fase pode ser obtida com base na fig. (d):

$$\tan \phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{IX_L - IX_C}{RI}$$

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Constante de fase

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.ufsc.br 23

O Circuito RLC em série:
Constante de fase

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Constante de fase

Caso 1:
 $X_L > X_C$: Circuito é mais indutivo que capacitivo.
 ϕ é positivo.
O fador I está atrasado em relação ao fador \mathcal{E}_m . (fig. 1)
 i e \mathcal{E} em função de t são mostrados na fig. 2.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.ufsc.br 24


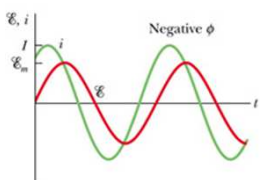
O Circuito RLC em série:
Constante de fase

$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$

Constante de fase

Caso 2:

$X_C > X_L$: Circuito é mais capacitivo que indutivo.
 ϕ é negativo.
 O fasor I está **adiantado** em relação ao fasor ϵ_m (fig. 1)
 i e em função de t são mostrados na fig. 2.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos
Física Geral III
loos.prof.ufsc.br
25

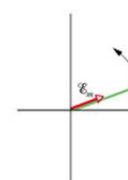
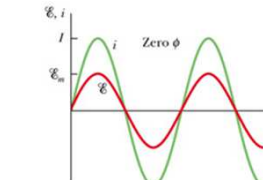
O Circuito RLC em série:
Constante de fase

$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$

Constante de fase

Caso 3:

$X_C = X_L$: Circuito está em **ressonância**.
 $\phi = 0$
 O fasor I está **em fase** com o fasor ϵ_m (fig. 1)
 i e em função de t são mostrados na fig. 2.

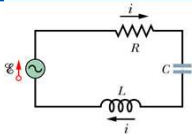



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos
Física Geral III
loos.prof.ufsc.br
26

Exercício

Considere no circuito ao lado $C = 4,7 \mu\text{F}$, $R = 240 \Omega$, $L = 189 \text{ mH}$, $f = 120 \text{ Hz}$ e $\epsilon_m = 12,0 \text{ V}$.

(a) Qual a impedância do circuito?
 (b) Qual a amplitude da corrente I ?
 (c) Determine a cte de fase.



Resolução:

(a) $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ $X_L = \omega L$ $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$

(b) $I = \frac{\epsilon_m}{Z}$

(c) $\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Prof. Loos
Física Geral III
loos.prof.ufsc.br
27

Para ler e refletir...

- Quando um determinado componente cria uma resistência e gasta energia em forma de calor (efeito Joule), isso chamamos de resistência.
- Se o componente não gasta energia em forma de calor, temos a reatância.
- Quando estão presentes a resistência e reatância, chamamos de impedância.

Você já pode resolver os seguintes exercícios:

Capítulo 33: 1, 5, 6, 8, 9, 13, 18, 19, 22, 29, 30, 33, 35, 37, 38 e 42.

Capítulo 35: 1, 4, 5, 6, 9, 11, 14, 18, 21, 24, 27, 28, 33 e 37.

Capítulo 36: 13, 14, 15, 19, 20, 24, 25, 30, 44, 45, 47.

Capítulo 37: 1, 6, 10, 12 e 16.

Livro texto: Halliday, vol. 3, 4ª edição.

Mais informações (cronogramas, lista de exercícios):

web: loos.prof.ufsc.br e-mail: marcio.loos@ufsc.br
