

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

---

---

---

---

---

---

---

---



### 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.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

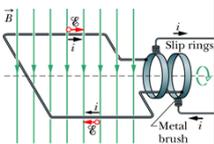
---

---

### 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  $\omega$**  da fem é **igual a velocidade angular** de rotação da espira.
- A fem produzirá uma corrente senoidal (alternada):  
 $i = I \sin(\omega t - \phi)$

Introduzimos a cte de fase  $\phi$  pois  $I$  pode não estar em fase com a fem.  $\phi$  depende do circuito!




---

---

---

---

---

---

---

---

---

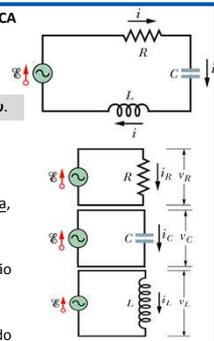
---

---

---

### Plano de estudo

- Nosso objetivo é estudar o circuito RLC com uma fonte CA
- Encontraremos expressões para:
  1.  **$I$**  (amplitude de corrente)
  2.  **$\phi$**  (cte de fase)
 Em função de  $\mathcal{E}_m$  e  $\omega$ .
- 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**.




---

---

---

---

---

---

---

---

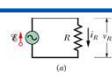
---

---

---

---

### 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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

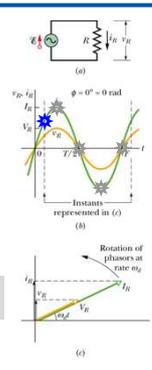
---

### 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  $\omega$ .
- 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

---

---

---

---

---

---

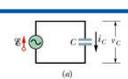
---

---

---

---

### 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

---

---

---

---

---

---

---

---

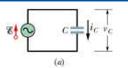
---

---

### 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:

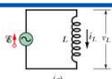
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_L}{L} \sin \omega t$$

A corrente será:

$$i_L = \frac{V_L}{L} \int \sin \omega t dt \quad i_L = -\left(\frac{V_L}{\omega L}\right) \cos \omega t$$

Em analogia com a resistência (cte de proporcionalidade entre **I e V**), definimos a **reatância indutiva**:

$$X_L = \omega L \quad \text{Reatância indutiva}$$



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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

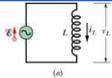
### Um circuito indutivo

Após alguns rearranjos, temos:

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

$$i_L = \frac{V_L}{X_L} \sin(\omega t - 90^\circ) \quad i_L = I_L \sin(\omega t - 90^\circ)$$

- 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  $\epsilon_m = V_C = 12,0 \text{ V}$ .



- (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)  $V_C = I_C X_C$

---

---

---

---

---

---

---

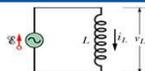
---

---

---

### Exercício 2/2

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



- (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 $\phi$	Relação entre Amplitudes
Resistor	$R$	$R$	Em fase com $v_R$	$0^\circ$ (0 rad)	$V_R = I_R R$
Capacitor	$C$	$X_C = 1/\omega C$	Avançada $90^\circ$ sobre $v_C$	$-90^\circ$ ( $-\pi/2$ )	$V_C = I_C X_C$
Indutor	$L$	$X_L = \omega L$	Atrasada $90^\circ$ sobre $v_L$	$+90^\circ$ ( $\pi/2$ )	$V_L = I_L X_L$

---

---

---

---

---

---

---

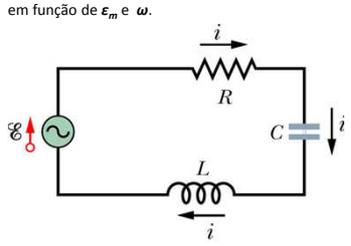
---

---

---

### O Circuito RLC em série: Amplitude da corrente

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



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

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

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

---

---

---

---

---

---

---

---

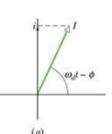
### O Circuito RLC em série: Amplitude da corrente

- 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  $90^\circ$  adiantada em relação à tensão. O ângulo de rotação do fasor  $V_C$  é igual ao de  $I$  menos  $90^\circ$ .

**Indutor:** corrente está  $90^\circ$  atrasada em relação à tensão. O ângulo de rotação do fasor  $V_L$  é igual ao de  $I$  mais  $90^\circ$ .



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

---

---

---

---

---

---

---

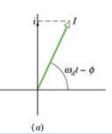
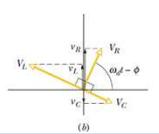
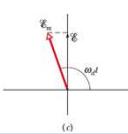
---

### 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 ( $\omega t$ ).  $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \text{sen} \omega t$
- 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

---

---

---

---

---

---

---

---



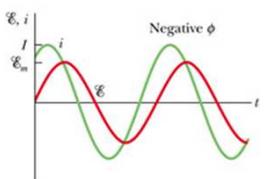
**O Circuito RLC em série:**  
**Constante de fase**

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

**Constante de fase**

**Caso 2:**

$X_C > X_L$ : Circuito é mais capacitivo que indutivo.  
 $\phi$  é negativo.  
 O fasor  $I$  está **adiantado** em relação ao fasor  $\epsilon_m$  (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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

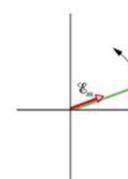
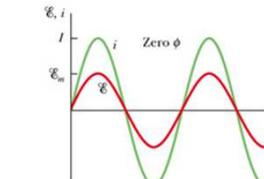
**O Circuito RLC em série:**  
**Constante de fase**

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

**Constante de fase**

**Caso 3:**

$X_C = X_L$ : Circuito está em **ressonância**.  
 $\phi = 0$   
 O fasor  $I$  está **em fase** com o fasor  $\epsilon_m$  (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

---

---

---

---

---

---

---

---

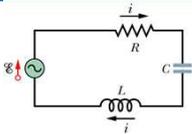
---

---

**Exercício**

Considere no circuito ao lado  $C = 4,7 \mu F$ ,  $R = 240 \Omega$ ,  $L = 189 \text{ mH}$ ,  $f = 120 \text{ Hz}$  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](http://loos.prof.ufsc.br) e-mail: [marcio.loos@ufsc.br](mailto:marcio.loos@ufsc.br)

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---