

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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)

+

(t)

-

- (I)

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

---

---

---

---

---

---

---

---


---

---


### 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!

CC    X    CA



Assista: *The Prestige*  
*Tesla*



Thomas Edison (USA)
J.P. Morgan (USA)
George Westinghouse (USA)
Nikola Tesla (USA após 1893)

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

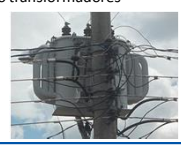
---

### 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.

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

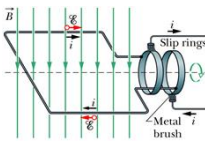
---

### 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**.  
 Introduzimos a cte de fase  $\phi$  pois  $I$  pode não estar em fase com a **fem**.  
 $\phi$  depende do circuito!
- “ 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):  

$$i = I \sin(\omega t - \phi)$$



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

---

---

---

---

---

---

---

---

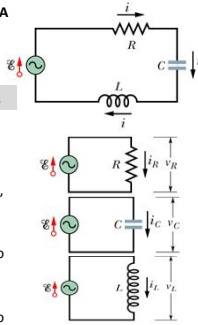
---

---

---

### 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**.



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

---

---

---

---

---

---

---

---


---

---

---

### Um circuito resistivo

A fig. (a) mostra um circuito com carga resistiva.



De acordo com a regra das malhas, temos:

$$\mathcal{E} - v_R = 0 \quad \text{mas} \quad \mathcal{E} = \mathcal{E}_m \text{sen } \omega t$$

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:

$$i_R = \frac{v_R}{R} = \frac{V_R}{R} \text{sen } \omega t \quad i_R = I_R \text{sen } \omega t$$

Vimos que a corrente também pode ser escrita como:

$$i_R = I_m \text{sen}(\omega t - \phi) \quad \text{a comparação da Eq. Acima com esta mostra que} \quad \phi = 0$$

A amplitude de voltagem e corrente estão relacionadas por:

$$V_R = R I_R \quad \text{Resistor}$$

$v_R$  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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

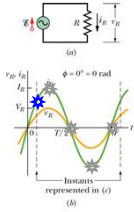
---

---

---

### Um circuito resistivo

A fig. (b) pode ser analisada através do uso de fasores: fig. (c).



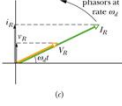
Fasores são "vetores" gigantes que mostram a fase instantânea da voltagem ou corrente.

Giram no sentido anti-horário com frequência  $\omega$ .

O comprimento do fasor é proporcional à amplitude da grandeza:  $V_R$  ou  $I_R$ .

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

A projeção de um fasor sobre o eixo vertical mostra o valor instantâneo desta grandeza:  $v_R$  ou  $i_R$ .



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

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

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

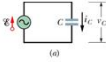
---

---

---

### 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:

$$i_C = \frac{dq_C}{dt} \quad \therefore \quad i_C = \omega C V_C \text{cos } \omega t$$

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

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad \text{Reatância capacitiva} \quad [X_C] = [\Omega]$$

**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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Um circuito capacitivo

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

Após alguns rearranjos, temos:

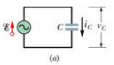
$i_c = \frac{V_c}{X_c} \text{sen}(\omega t + 90^\circ)$        $i_c = I_c \text{sen}(\omega t + 90^\circ)$

Note que neste caso  $\phi = -90^\circ$ .  $i_r = I \text{sen}(\omega t - \phi)$

$i_c$  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:  $v_L = V_L \text{sen} \omega t$

A definição de indutância é:

$v_L = L \frac{di_L}{dt}$

Combinando as duas Eqs acima temos:

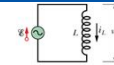
$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_L}{L} \text{sen} \omega t$

A corrente será:

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

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:

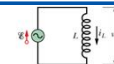
$i_L = \frac{V_L}{X_L} \text{sen}(\omega t - 90^\circ)$        $i_L = I_L \text{sen}(\omega t - 90^\circ)$

Note que neste caso  $\phi = +90^\circ$ .

$i_L$  está atrasado em relação a  $v_L$  (seu máximo ocorre **1/4** de ciclo depois de  $v_L$  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      14

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Exercício 1/2

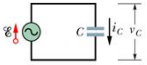
Considere no circuito ao lado  $C = 4,7 \mu\text{F}$ ,  $f = 120 \text{ Hz}$  e  $\epsilon_m = V_C = 12,0 \text{ V}$ .

(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)  $V_C = I_C X_C$



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 16

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Exercício 2/2

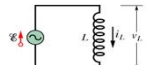
Considere no circuito ao lado  $L = 189 \text{ mH}$ ,  $f = 120 \text{ Hz}$  e  $\epsilon_m = V_L = 12,0 \text{ V}$ .

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

**Resolução**

(a)  $X_L = \omega L$

(b)  $V_L = I_L X_L$



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 17

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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 $v_L$	$+90^\circ$ ( $\pi/2$ )	$V_L = I_L X_L$

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.ufsc.br 18

---

---

---

---

---

---

---

---

---

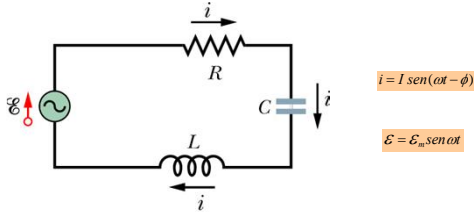
---

**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**

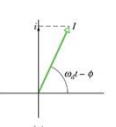
O diagrama de fasores (a) mostra a corrente: valor máximo ( $I$ ), instantâneo ( $i$ ) e fase ( $\omega t - \phi$ ).

A fig. (b) mostra os fasores que representam as tensões entre os terminais de R, L e C no mesmo instante  $t$ .

**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 ( $\omega t$ ).

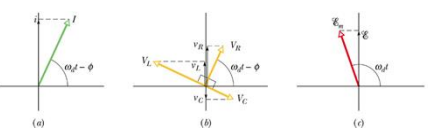
De acordo com a regra das malhas, temos para um circuito RLC:

$\mathcal{E} = V_R + V_C + V_L$       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.prof.ufsc.br 22

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

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

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

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

$\therefore$

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$
 **Constante de fase**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Prof. Loos Física Geral III loos.prof.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*.  
 $\phi$  é positivo.  
O fasor  $I$  está *atrasado* em relação ao fasor  $\mathcal{E}_m$  (fig. 1)  $i$  e  $e$  em função de  $t$  são mostrados na fig. 2.

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---




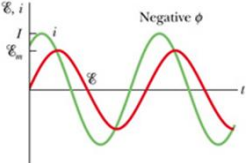
**O Circuito RLC em série:**  
**Constante de fase**

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

Constante de fase

**Caso 2:**

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

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---


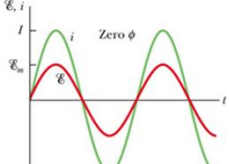
**O Circuito RLC em série:**  
**Constante de fase**

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

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  $e$  em função de  $t$  são mostrados na fig. 2.

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

---

---

---

---

---

---

---

---

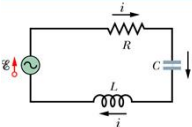
---

---

**Exercício**

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

- Qual a impedância do circuito?
- Qual a amplitude da corrente  $I$ ?
- Determine a cte de fase.



**Resolução:**

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

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

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**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)

---

---

---

---

---

---

---

---