

4 Programação

Os números dos capítulos, das seções e dos exercícios são os da 12^a edição do livro Física III de Sears e Zemansky. Os números entre parênteses se referem aos capítulos, às seções e aos exercícios correspondentes da 10^a edição.

Capítulo 31(32): Corrente Alternada

- Número de aulas: **3 aulas** de 1/8 a 12/8
- Seções do livro texto: *31.1 Fasor e Corrente Alternada; 31.2 Resistência e Reatância; 31.3 O Circuito RLC em Série; 31.4 Potência em Circuitos de Corrente Alternada e 31.6 Transformadores (32.1 a 32.7)*
- Exercícios sugeridos: 31.2(32.2), 31.9(32.5), 31.11(32.7), 31.14(32.12), 31.19(32.17), 31.27(32.21), 31.29(32.23), 31.33(32.25), 31.36(32.28), 31.37(32.29), 31.49(32.39), 31.50(32.40), 31.52(32.42), 31.68(32.56).

Seção 29.7(29.10): Corrente de deslocamento e equações de Maxwell

- Número de aulas: **1 aula** de 13/8 a 14/8
- Seção do livro texto: 29.7(29.10)
- Exercícios sugeridos: 29.36(29.37), 29.38(29.39), 29.72(29.69).

Capítulo 32(33): Ondas Eletromagnéticas

- Número de aulas: **4 aulas** de 15/8 a 29/8
- Material Extra: *Forma Integral e Diferencial das Equações de Maxwell*
- Seções do livro texto: *32.1 Equações de Maxwell e Ondas Eletromagnéticas; 32.2 Ondas Eletromagnéticas Planas e a Velocidade da Luz; 32.3 Ondas Eletromagnéticas Senoidais; 32.4 Energia e Momento Linear em Ondas Eletromagnéticas e 32.5 Ondas Eletromagnéticas Estacionárias (33.1 a 33.7)*
- Exercícios sugeridos: 32.6(33.4), 32.9(33.5), 32.16(33.16), 32.28(33.14), 32.31(33.25), 32.33(33.23), 32.34(33.26), 32.42(33.29), 32.44(33.44), 32.46(33.36).

P1 em 10 de setembro às 13:10

Correntes alternadas ^①

(§ 32.1 a 32.7 no 5.27. III)

Introdução:

Porquê? muitos dos nossos eletrodomésticos funcionam com correntes alternadas (a.c.)

Como? primeiro estudaremos circuitos com R, L e C separadamente, depois juntos em série.

Obs.: algumas coisas aprendidas para corrente contínua na fís. III ainda se aplicam, outras são novas (ex. ressonância).

fase e corrente alternada

Nesta aula e a próxima, farei as derivações usando fasores (o enfoque do livro). Depois, mostrarei como se obtém tudo com números complexos.

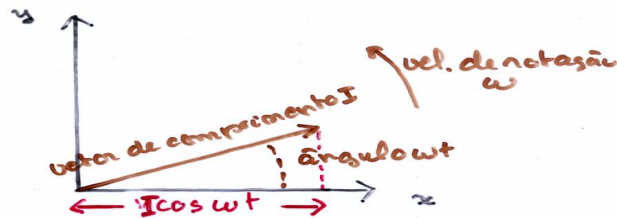
Circuito de corrente alternada = combinação de componentes (R, L e/ou C) e um gerador que proporciona uma corrente alternada.

A corrente alternada é da forma:

$$\underset{\substack{\uparrow \\ \text{depende do} \\ \text{tempo}}}{i} = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{amplitude}}}{I} \cos \underset{\substack{\uparrow \\ \text{freq. angular} \\ \text{(em rad. / s)}}}{\omega t}$$

Obs.: $f = \frac{\omega}{2\pi}$ (s⁻¹) e $T = \frac{1}{f}$ (s)

Podemos a representar com um fasor (= vetor girante) (2)



A projeção deste fasor sobre o eixo x é $I \cos \omega t \equiv i$

Como i depende de t , queremos ter uma ideia de seu valor médio durante um período T .

O valor médio de uma função periódica é

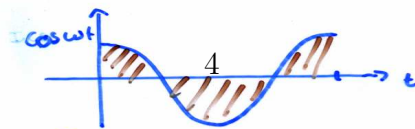
$$\bar{f} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

Como $i = I \cos \omega t$, temos:

numericamente

$$\begin{aligned} \bar{i} &= \frac{I}{T} \int_0^T \cos \omega t dt \\ &= \frac{I}{\omega T} [\sin \omega t]_0^{T = 2\pi/\omega} \\ &= \frac{I}{\omega T} [\sin 2\pi - \sin 0] = 0 \end{aligned}$$

graficamente



$\int \cos \omega t dt = \text{área hachurada}$
(a parte de cima é cancelada pela de baixo) = 0

De modo geral $\overline{\cos \omega t} = \overline{\sin \omega t} = 0, \forall \omega$

Assim $\bar{i} = 0$ não traz em formação.
 \Rightarrow É comum olhar então:

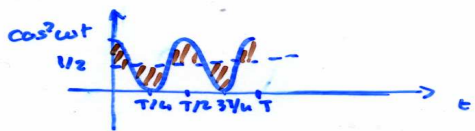
3

$$I_{qm} \equiv \sqrt{\overline{i^2}} : \text{conente quadrática média}$$

numericamente

$$\begin{aligned} I_{qm} &= \sqrt{\frac{I^2}{T} \int_0^T \cos^2 \omega t} \\ &= \sqrt{\frac{I^2}{T} \int_0^T \frac{1}{2} (1 + \cos 2\omega t) dt} \\ &= \sqrt{\frac{I^2}{2T} \left(\int_0^T dt + \int_0^T \cos 2\omega t dt \right)} \\ &= \frac{I}{\sqrt{2}} \end{aligned}$$

graficamente



a curva é simétrica em relação a $1/2 \Leftrightarrow \cos^2 \omega t - \frac{1}{2} = 0 \Leftrightarrow \cos^2 \omega t = \frac{1}{2}$
 daí
 $I_{qm} = \sqrt{I^2 \cos^2 \omega t} = \frac{I}{\sqrt{2}}$

Vemos que $I_{qm} = I/\sqrt{2}$.
 isto é geral.

$$\text{Qualquer } f = F \cos \omega t \text{ tem } F_{qm} \equiv \sqrt{\overline{f^2}} = \frac{F}{\sqrt{2}}$$

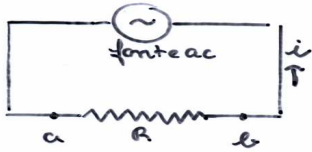
Obs 1: os multímetros normalmente fornecem o valor quadrático médio (cuidado no labo.)

Obs 2: quando dizemos que a voltagem em casa é 120V, queremos dizer $V_{qm} = 120V$.
 Assim o valor máximo (amplitude) é $V = \sqrt{2} V_{qm} = 170V$
 e como função do tempo, a voltagem é $v = V \cos \omega t$
 (com $\omega = 2\pi \times \frac{60}{60} = 377$ rad/s).

Obs 3: as vezes, fala-se do valor da corrente retificada média: $\bar{i}_r \equiv I |\cos \omega t|$ e $I_{rm} = \bar{i}_r = \frac{2I}{\pi}$ (pode ser mostrado numericamente)

Resistência, reatância indutiva, reatância capacitiva

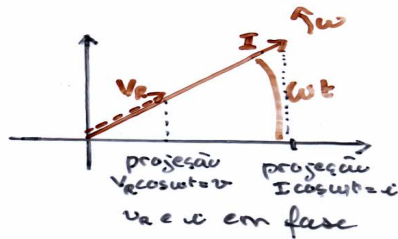
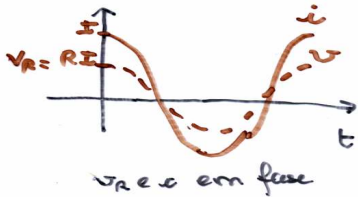
① Resistor em um circuito AC



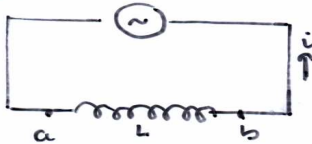
$i = I \cos \omega t$ muda de sentido com o tempo. (Contamos como positivo o sentido anti-horário)

Pela lei de Ohm: $v_a \equiv v_{ab} \equiv v_a - v_b = Ri = RI \cos \omega t \equiv V_R \cos \omega t$

$\Rightarrow v_a$ e i estão em fase e suas amplitudes são relacionadas por $V_R = RI$.



② Indutor em um circuito AC



$i = I \cos \omega t$ varia com o tempo \Rightarrow aparece uma fem induzida em L

Lembrete: $L \equiv \frac{N\Phi_0}{i} \Rightarrow N \frac{d\Phi_0}{dt} = L \frac{di}{dt} = -\mathcal{E}_L$ (lei de Faraday)

Queremos relacionar $v_i \equiv v_{ab} = v_a - v_b$ e \mathcal{E}_L .

Supomos $i > 0$ (anti-horário) e crescente.

$\Rightarrow \mathcal{E}_L$ se opõe a isto e tem sentido oposto de i : $\leftarrow \mathcal{E}_L$

\Rightarrow o potencial em a é mais alto do que em b

$\Rightarrow v_i = v_a - v_b = L \frac{di}{dt}$

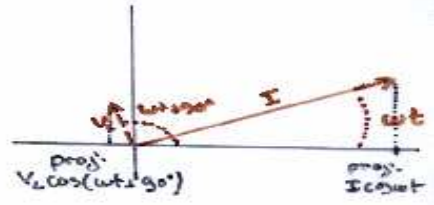
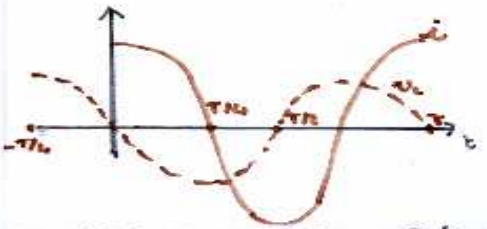
Pode-se verificar que isto vale em todas as situações (i > ou < 0 e ↑ ou ↓)

$$v_L = v_a \cdot v_b = L \frac{di}{dt}$$


assim $v_L = L \frac{d}{dt} (I \cos \omega t) = -I \omega L \sin \omega t = I \omega L \cos(\omega t + 90^\circ)$

→ v_L está adiantada de 90° em relação a i e sua amplitude é $V_L = \omega L I \equiv X_L I$ com $X_L = \omega L$
 X_L se chama reatância indutiva e tem como unidade o Ohm.

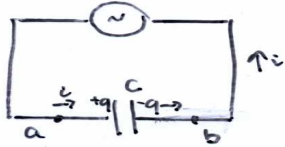
Obs. importante: temos $V_L = X_L I$ (relação entre amplitudes) mas $v_L \neq X_L i$ (pois v_L e i não estão em fase)



v_L atinge seu máximo ω I (um quarto de ciclo) antes de i .
 $\omega \frac{I}{4} = \omega \frac{2\pi}{\omega} \frac{1}{4} = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$

Obs.: $X_L = \omega L$ e $V_L = X_L I \Rightarrow$ se $\omega \rightarrow \infty$, $I = V_L / X_L \rightarrow 0$: uma voltagem de frequência alta aplicada ao indutor produz uma corrente pequena. Isto é: os indutores podem ser usados para bloquear frequências elevadas. Neste caso, eles são filtros "passa-baixo".

③ Capacitor em um circuito AC



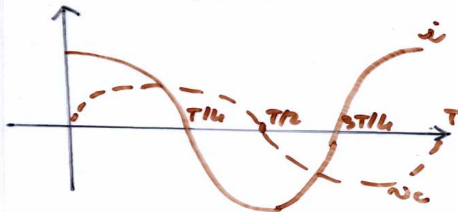
(Não há transporte de carga entre as placas mas como a corrente muda de sentido, elas se carregam e descarregam como se houvesse uma corrente entre elas)

Queremos calcular $v_c \equiv v_a - v_b$.

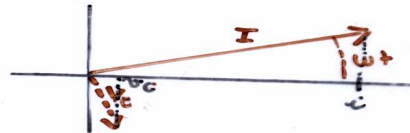
$$\begin{cases} i = \frac{dq}{dt} = I \cos \omega t & \Rightarrow q = \frac{I}{\omega} \sin \omega t \\ v_c = \frac{q}{C} & \Rightarrow v_c = \frac{I}{\omega C} \sin \omega t = \frac{I}{\omega C} \cos(\omega t - 90^\circ) \end{cases}$$

$\Rightarrow v_c$ está atrasada de 90° em relação a i e sua amplitude é $V_c = \frac{I}{\omega C} \equiv X_c I$ com $X_c = \frac{1}{\omega C}$
 X_c se chama reatância capacitiva e tem como unidade o Ohm

Obs. importante: $V_c = X_c I$ mas $v_c \neq X_c i$



v_c atinge seu máximo $\frac{T}{4}$ após i



Obs. $X_c = \frac{1}{\omega C}$ e $V_c = X_c I \Rightarrow \text{se } \omega \rightarrow 0, I \rightarrow 0$: os capacitores podem ser usados para bloquear frequências baixas. Neste caso, eles atuam como filtros "passa-alto".

Resumo

$$i = I \cos \omega t$$

| Elemento | Relação entre amplitudes | Grandeza do circuito | Fase de v |
|-----------|--------------------------|----------------------------|---|
| Resistor | $V_R = RI$ | R | : em fase com i |
| Indutor | $V_L = X_L I$ | $X_L = \omega L$ | : adiantado 90° em relação a i |
| Capacitor | $V_C = X_C I$ | $X_C = \frac{1}{\omega C}$ | : atrasado 90° em relação a i |

Obs. nestes 3 casos v é a ddp respectivamente de R , L ou C mas também na fonte (lei das malhas)

Exemplo:



$$R = 200 \Omega$$

$$C = 5,0 \mu\text{F}$$

$$v_R = (1,20\text{V}) \cos \left[(2500 \frac{\text{rad}}{\text{s}}) t \right]$$

a) corrente no circuito?

$$i = \frac{v_R}{R} = (6,00 \cdot 10^{-3} \text{A}) \cos \left[(2500 \frac{\text{rad}}{\text{s}}) t \right]$$

b) voltagem através do capacitor?

$$v_C = V_C \cos(\omega t - 90^\circ) \text{ com } V_C = X_C I \text{ e } X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$\text{Temos } I = 6,00 \cdot 10^{-3} \text{A (da a)} \text{ e } X_C = \frac{1}{(5,0 \cdot 10^{-6} \text{F})(2500 \frac{\text{rad}}{\text{s}})} = 80 \Omega$$

$$\Rightarrow v_C = (0,48 \text{V}) \cos \left[(2500 \frac{\text{rad}}{\text{s}}) t - \frac{\pi}{2} \text{rad} \right]$$

Exercícios

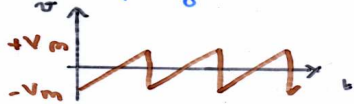
8

- ① Calcular o valor médio e o valor quadrático médio da voltagem seguinte:



S: 20 cap. 3.3

- ② Mesma pergunta do que o ① para:



S: 33.1

- ③ Uma fonte de potência alternada tem uma voltagem de pico $V_m = 100V$. Esta fonte está ligada a um resistor $R = 24 \Omega$. A corrente e a voltagem no resistor são medidas por um amperímetro ideal e um volímetro ideal. Qual é a leitura de cada instrumento? S 33.3

- ④ Num circuito de c.a. puramente indutivo, a fonte de potência alternada tem voltagem de pico $V_m = 160V$. Se a corrente de pico no circuito for $7.5A$ na frequência de $50Hz$, calcular a indutância. S 33.9

- ⑤ Um capacitor de $58pF$ está ligado a uma fonte de potência de $60Hz$, com uma voltagem média quadrática de $20V$. Qual é a carga máxima que aparece em qualquer das placas do capacitor? S 33.19