

Elementos de circuitos eletroeletrônicos e grandezas físicas: uma revisão

Grandezas físicas

- Campo elétrico

Em qualquer sistema eletroeletrônico há a existência do campo elétrico. O funcionamento da maioria dos dispositivos em um circuito está associado à existência de um campo elétrico atuante. Em geral, é mais fundamental do que a diferença de potencial elétrico (“voltagem”), pois pode existir independente dela.

O campo elétrico é um campo vetorial produzido por qualquer sistema que possua carga elétrica. É através dele que sistemas eletricamente carregados interagem com a ação da força elétrica.

Grandezas físicas

- Campo elétrico

O campo elétrico está matematicamente definido por

$$\vec{E} = \lim_{q_t \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q_t}$$

Onde q_t é a carga teste colocada em uma região do espaço no qual há um campo elétrico. No modelo matemático, o limite é considerado a fim de garantir que a carga teste não interfira no campo \vec{E} . Ademais, \vec{F} é a força elétrica a qual a carga está submetida.

Equação generalizada do campo elétrico

Grandezas físicas

- *Campo elétrico: curiosidade*

A expressão matemática generalizada para o cálculo do campo elétrico em uma posição \vec{r} do espaço é

$$\vec{E}(\vec{r}) = \underbrace{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i q_i \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3}}_{\text{Cargas pontuais}} + \underbrace{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} \rho(\vec{r}_i) dV_i}_{\text{Volumétrica}} + \underbrace{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_S \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} \sigma(\vec{r}_i) dS_i}_{\text{Superficial}} + \underbrace{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_L \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} \lambda(\vec{r}_i) dl_i}_{\text{Linear}}$$

Distribuição discreta (red box) points to **Cargas pontuais** (red box).

Distribuições contínuas de carga elétrica (blue box) points to **Volumétrica** (blue box), **Superficial** (blue box), and **Linear** (blue box).

Grandezas físicas

- Diferença de potencial elétrico - ddp

É uma grandeza escalar medida em volts (V) cujo valor está associado ao *módulo do trabalho da força elétrica*, por unidade de carga elétrica, necessário para mover uma carga elétrica entre dois pontos.

A ddp é uma consequência natural da definição do potencial elétrico como *energia potencial elétrica por unidade de carga* – esse tipo de energia não está somente associado ao campo elétrico estabelecido em uma região do espaço.

Na prática, é comumente denominada de “*voltagem*” ou “*tensão elétrica*” – o número de volts que uma bateria fornece para um circuito, por exemplo. Essa “*voltagem*” pode ser *contínua* ou *alternada*.

Grandezas físicas

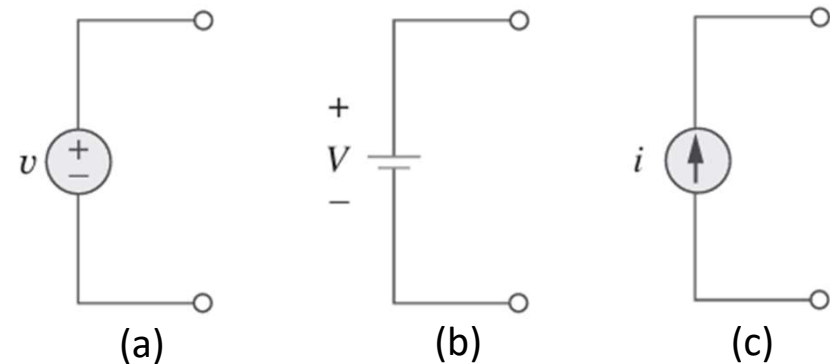
- Diferença de potencial elétrico - ddp

Naturalmente, todo circuito é alimentado por uma ou mais fontes de tensão e/ou corrente elétrica, que são elementos ativos do circuito – fornecem energia ao atuarem.

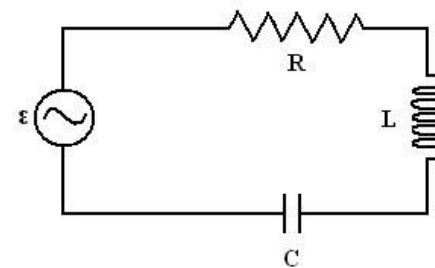
Os dispositivos que “consomem” energia são os elementos passivos.

As fontes são categorizadas em dois tipos: *independentes e dependentes*.

- Fontes independentes (reais ou ideais)
- são completamente independentes de outros elementos do circuito.



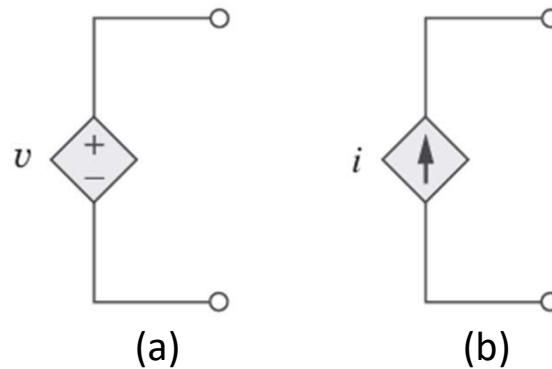
Símbolos para fontes de tensão independentes ideais: (a) tensão constante ou variável no tempo; (b) utilizado para tensão constante e (c) fonte de corrente.



Uma representação de fonte alternada em um circuito RLC.

Grandezas físicas

- Diferença de potencial elétrico - ddp
- Fontes dependentes ou controladas (reais ou ideais) - dependem de outros elementos para atuar, incluindo os valores que elas fornecem.



Símbolos para fontes ideais de (a) tensão dependente; (b) corrente dependente.

Grandezas físicas

- Diferença de potencial elétrico (ddp) x força eletromotriz (fem)

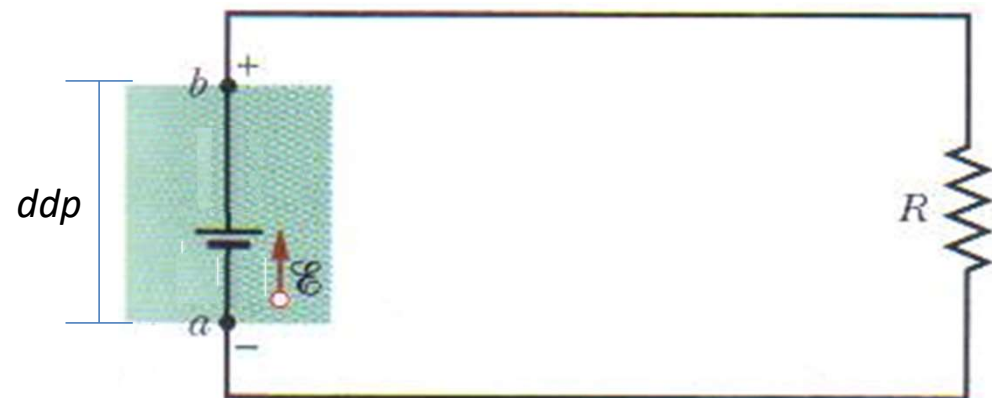
A força eletromotriz (ε) *não é uma força* mas é análoga à ddp , também medida em volts.

“Força eletromotriz é o trabalho por unidade de carga necessário para transferir cargas de um ponto de menor potencial elétrico para outro de maior potencial.”



Circuito com fonte real.

A ddp aplicada sobre o circuito é sempre menor que a fem .



Circuito com fonte ideal.

A ddp aplicada sobre o circuito é igual à fem .

Grandezas físicas

- Corrente elétrica

Corrente elétrica é um *fluxo ordenado de portadores de carga elétrica*. Em situações mais comuns, são os elétrons, sob a ação de um campo elétrico, que constituem a corrente elétrica em um determinado meio.

Em relação ao sentido do movimento, a corrente elétrica pode ser classificada em dois tipos: contínua e alternada.

a) Contínua (CC) – não muda o sentido do movimento.

a.1) estacionária: é contínua e mantém a mesma intensidade.

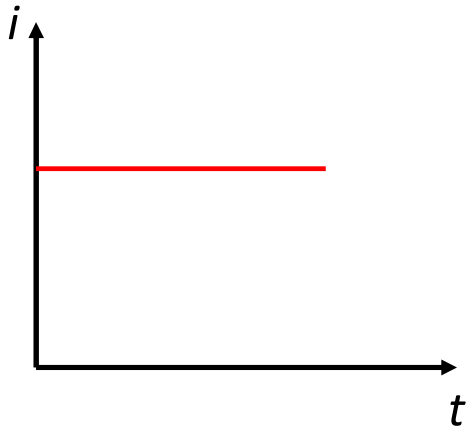
a.2) não-estacionária: é contínua, mas varia a intensidade.

b) Alternada (CA) – muda o sentido a cada instante, obedecendo uma função senoidal.

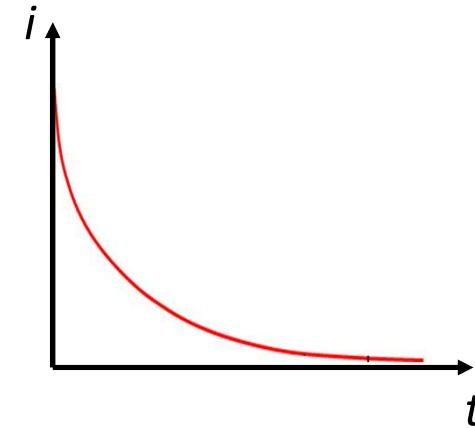
Grandezas físicas

- Corrente elétrica

a.1) Contínua e estacionária



a.2) Contínua e não-estacionária

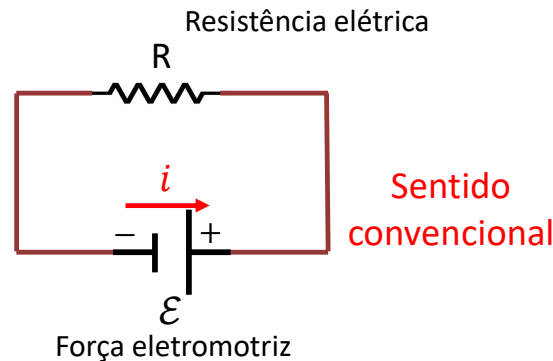


Grandezas físicas

- Corrente elétrica contínua

No estudo da corrente contínua, por algum tempo, acreditava-se que eram as cargas positivas que se moviam no circuito. Contudo, descobriu-se que são os elétrons que se movem e, portanto, o sentido da corrente é o oposto ao que se estabeleceria.

Definiu-se, então, o *sentido convencional* e o *sentido real* para a corrente elétrica.



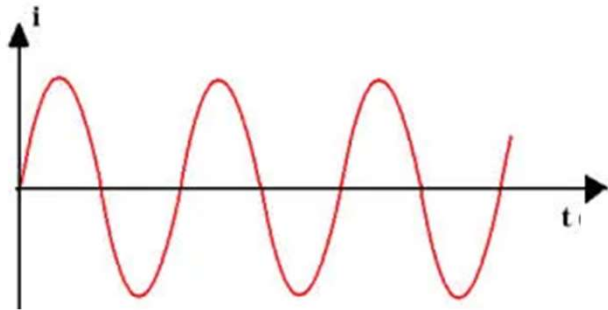
A menos que se informe o contrário, o sentido das correntes elétricas nos esquemas gráficos dos circuitos é o *convencional*.

Grandezas físicas

- Corrente elétrica alternada

A corrente elétrica alternada varia com o tempo obedecendo uma função senoidal. Basicamente, pode ser representada pela expressão

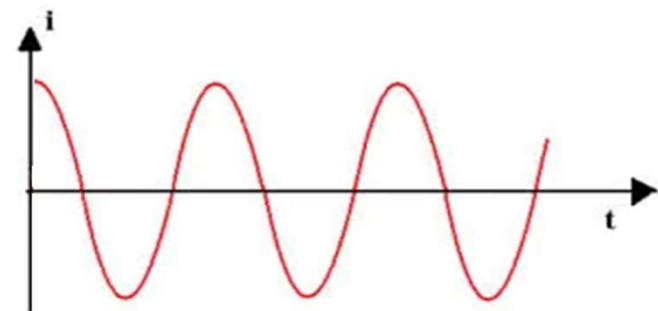
$$i(t) = i_m \sin(\omega t)$$



Caso em que $t = 0 \rightarrow i = 0$, para oscilações eletromagnéticas sem amortecimento ou reforço.

Entretanto, também é possível utilizar funções complexas para a representação matemática.

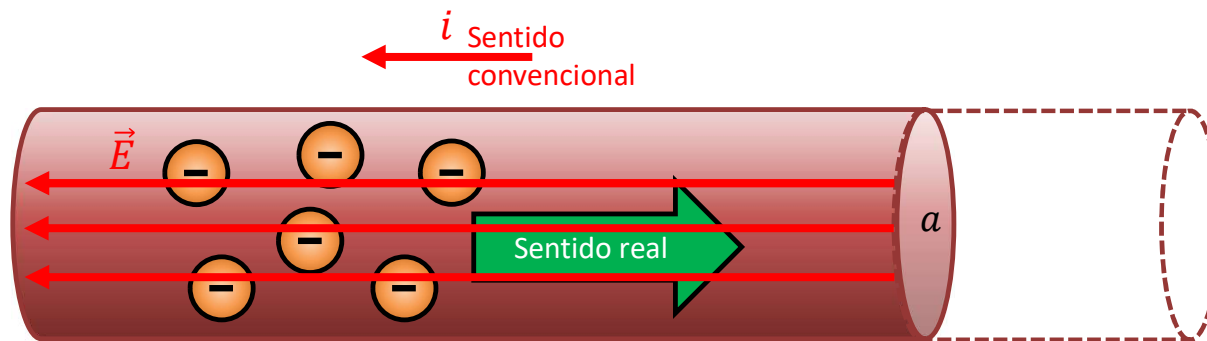
$$i(t) = [Re] i_m e^{i(\omega t)}$$



Caso em que $t = 0 \rightarrow i = i_m$, para oscilações eletromagnéticas sem amortecimento ou reforço.

Grandezas físicas

- Corrente elétrica: origem



Em geral, a corrente elétrica está matematicamente definida como a quantidade de carga “dq” que atravessa a área “a” durante um intervalo de tempo “dt”, ou seja

$$i_{(t)} = \frac{dq_{(t)}}{dt} \quad \Rightarrow \quad \frac{C}{s} \equiv A$$

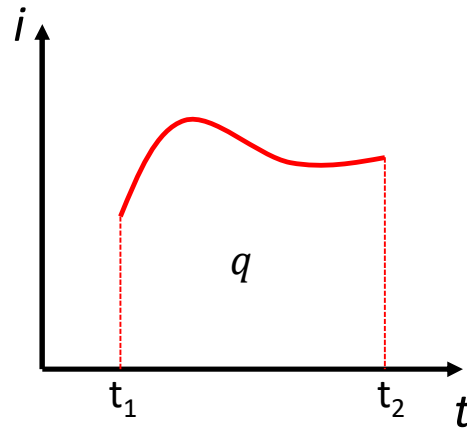
A unidade SI de medida é o ampère (A).

Grandezas físicas

- Corrente elétrica e carga elétrica

Considerando que $i_{(t)} = \frac{dq_{(t)}}{dt}$, pode-se escrever $q_{(t)} = \int i_{(t)} dt$.

Esse resultado mostra que as áreas das curvas em gráficos $i \times t$ fornecem as *quantidades de carga elétrica* ao longo de determinados intervalos de tempo.



$$q = \int_{t_1}^{t_2} i_{(t)} dt$$

Grandezas físicas

- Corrente elétrica e carga elétrica: exemplos

A carga elétrica total, em mC , entrando em um terminal é dada por $q_{(t)} = 5t\text{sen}(4\pi t)$
Calcule o valor corrente no instante $t = 0,5$ s.

Solução

$$i_{(t)} = \frac{dq_{(t)}}{dt} = \frac{d}{dt}[5t\text{sen}(4\pi t)] = 5\text{sen}(4\pi t) + 20\pi t\cos(4\pi t)$$

$$\therefore i_{(0,5)} = 5\text{sen}(4\pi \cdot 0,5) + 20\pi \cdot 0,5\cos(4\pi \cdot 0,5) \cong 31,4 \text{ mA}$$

Grandezas físicas

- Corrente elétrica e carga elétrica: exemplos

Considere que a corrente elétrica que passa por um terminal é dada por $i_{(t)} = 4t^3 - \frac{t}{2}$. Qual é a carga total que passa por esse terminal entre os instantes $t = 2$ s e $t = 3$ s?

Solução

$$\begin{aligned} q &= \int_{t_1}^{t_2} i_{(t)} dt \quad \Rightarrow \quad q = \int_2^3 \left(4t^3 - \frac{t}{2} \right) dt = \left[t^4 - \frac{t^2}{4} \right]_2^3 = \\ &= 3^4 - \frac{3^2}{4} - \left(2^4 - \frac{2^2}{4} \right) = 81 - \frac{9}{4} - 16 + 1 = 63,75 \text{ C} \end{aligned}$$

Grandezas físicas

- Resistência elétrica

A resistência elétrica de um material é uma medida da sua oposição à passagem da corrente elétrica. Está definida pela expressão

$$R = \frac{V}{i} \quad \rightarrow \quad \frac{V}{A} \equiv \Omega \quad \text{A unidade de medida é o ohm } (\Omega).$$

Válida para qualquer tipo de material.

Entretanto, como é uma propriedade elétrica macroscópica, a resistência elétrica depende de como a *ddp* é aplicada sobre uma amostra, pois ela não depende somente do tipo de material, mas também de suas dimensões. Portanto, não pode ser considerada uma propriedade intrínseca dos materiais.