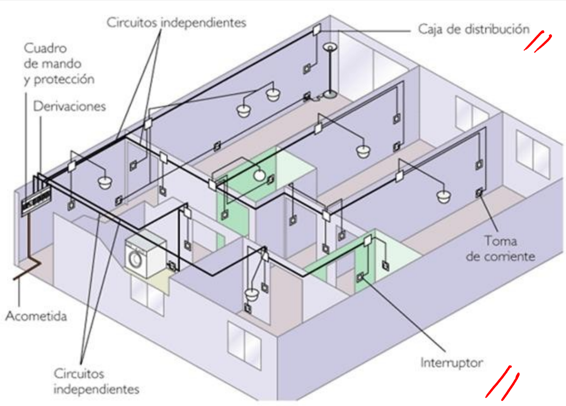
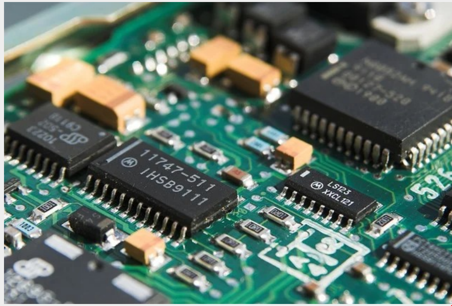
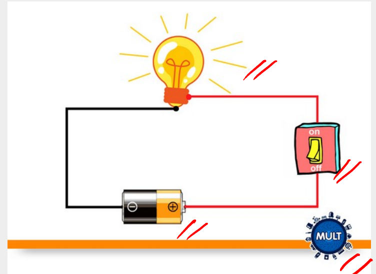
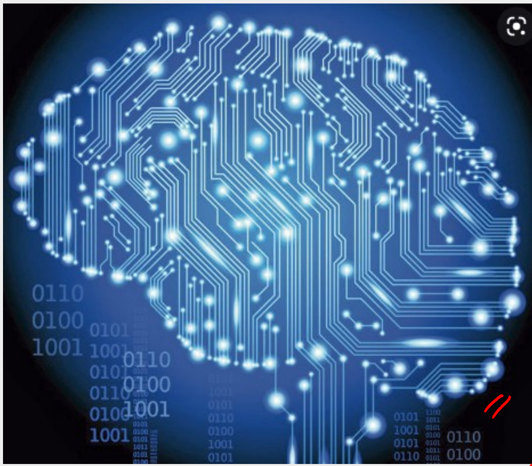
CAPÍTULO 27 Circuitos









Prof.: Ivan Marcelo Laczkowski

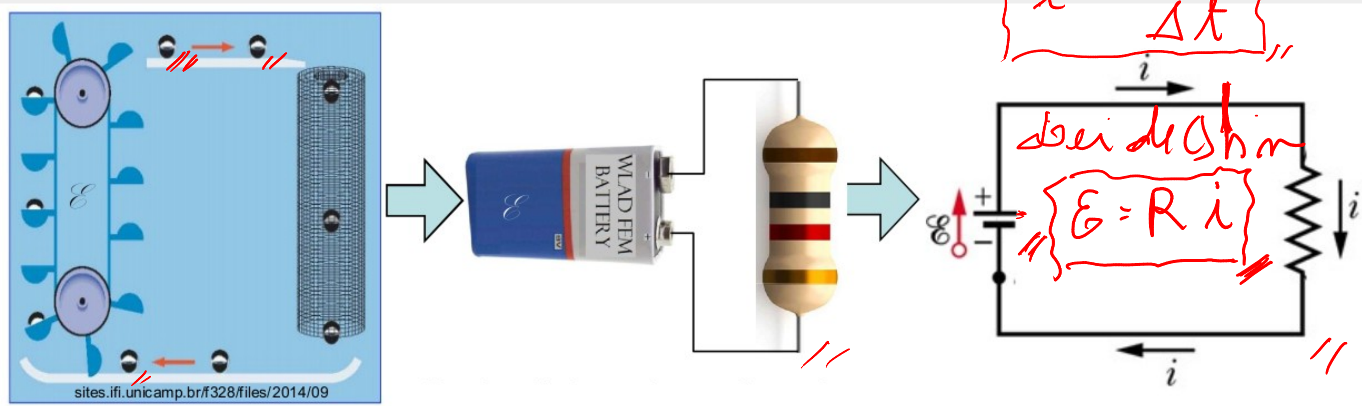
“Bombeamento” de Cargas

Para resolver um circuito de corrente contínua (DC), é necessário saber se as cargas estão ganhando ou perdendo energia potencial elétrica quando passam pelos elementos do circuito, nos quais calcula-se o valor e o sentido da corrente.

Quando as cargas de movem através de um material condutor, há diminuição da sua energia potencial. O agente que faz fluir corrente de um potencial mais baixo para um potencial mais elevado denomina-se fonte de força eletromotriz (*fem*) ξ.

$\mathcal{E}$

$$\boxed{i = \frac{\Delta q}{\Delta t}}$$



Lei de Ohm

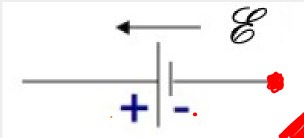
$$\boxed{\mathcal{E} = R\,i}$$

Circuito elétrico onde uma força eletromotriz realiza trabalho sobre os portadores de carga para manter a corrente no sistema.

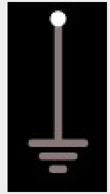
Trabalho, Energia e Força Eletromotriz

No circuito formado pela bateria e uma resistência, podemos representar a força eletromotriz ξ da fonte como uma seta apontando do terminal negativo para o terminal positivo.

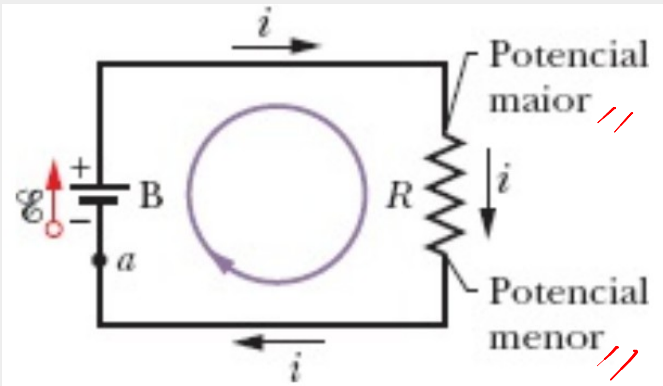
Símbolo de fonte:



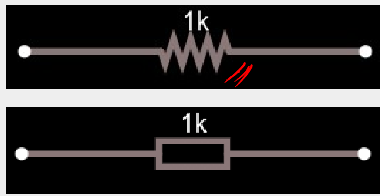
Símbolo de potencial zero:



No interior da fonte, os portadores de carga se movem de uma região de baixo potencial elétrico para uma região de alto potencial elétrico.



Símbolo de resistores:



Trabalho, Energia e Força Eletromotriz

No interior da fonte, em um intervalo de tempo ***dt***, um elemento de carga positiva ***dq*** deve se mover de um ponto de potencial mais baixo (**–**) para outro de potencial mais alto (**+**), necessitando de uma energia para isso. Assim, a fonte deve realizar um trabalho ***dW*** sobre um elemento de carga ***dq***. Desta forma, a *fem* (ξ) pode ser definida em termos do trabalho realizado como:

$$\xi = \frac{dW}{dq}$$

$$\boxed{W = \mathcal{E}\,\Delta q}$$

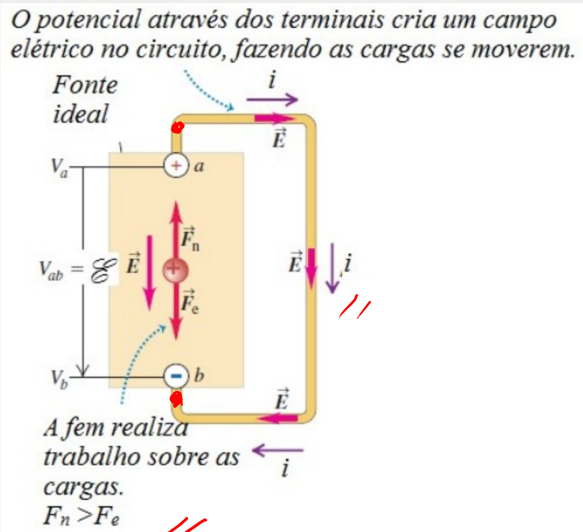


Fig.: Diagrama esquemático de uma fonte de fem ideal em um circuito completo. F_e é a força eletrostática e F_n a força não eletrostática da fem.

Em situações práticas podemos utilizar:

$\mathcal{E} = V$ Lei de Ohm

$$\boxed{\mathcal{E} = V = R\,i}$$

Unidade no SI: $\left(\frac{J}{C} = volt\right)$

Fonte ideal versus fonte real:

Uma fonte de tensão ideal não possui resistência interna que se opões ao movimento das cargas.

$$\boxed{V = V_b - V_a = \xi}$$

$$v = \mathcal{E}$$

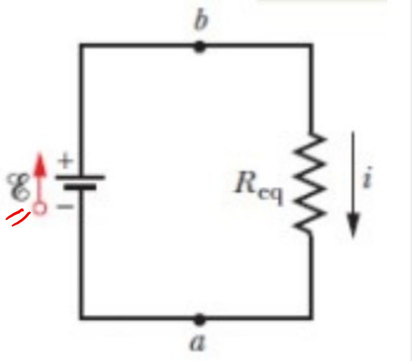


Fig.: Circuito com fem ideal

Uma fonte de tensão real possui resistência interna que se opões ao movimento das cargas.

$$V = V_b - V_a = \xi - r\,i$$

$$v = \mathcal{E} - r\,i$$

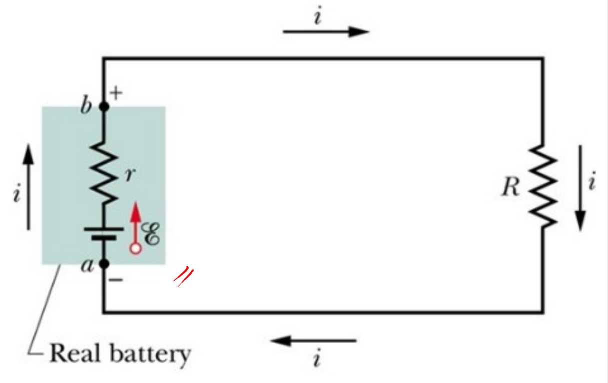
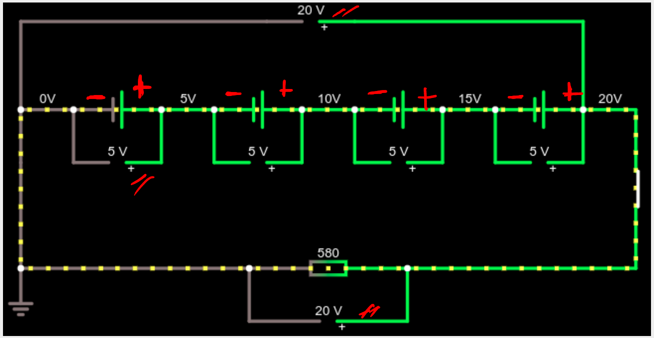


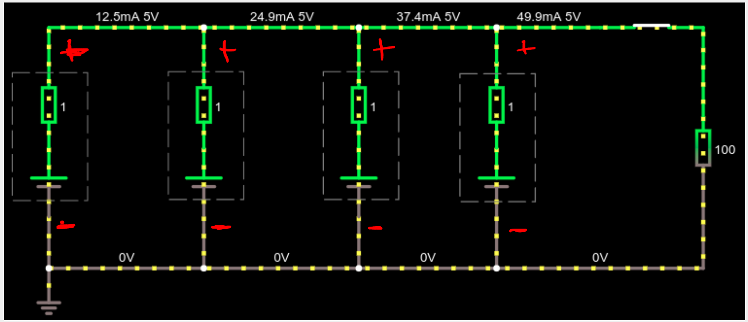
Fig.: Circuito com fem real

Associação de fontes de tensão

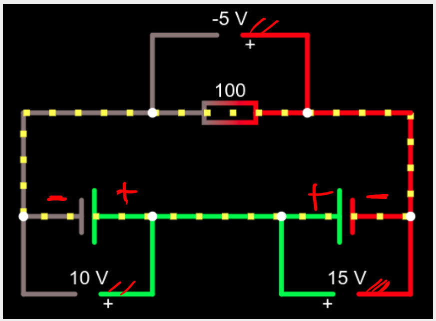
Associação de fontes em série:



Associação de fontes em paralelo:



Outras formas de associação de fontes:



Cálculo da Corrente em um Circuito de uma Malha

Circuito: conjunto de dispositivos eletro/eletrônicos conectados por condutores e pelos quais podem passar correntes elétricas. Pode ser composto por uma ou várias malhas (percurso fechado do circuito).

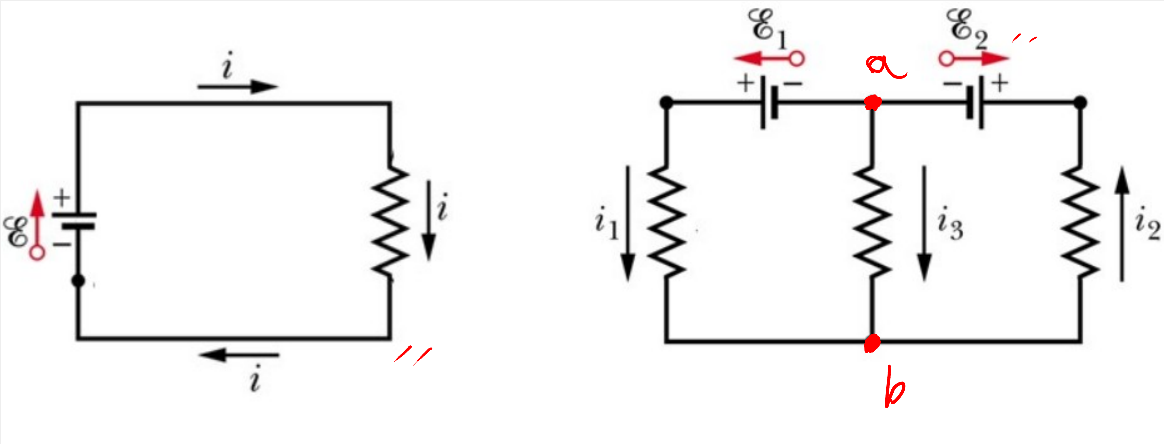


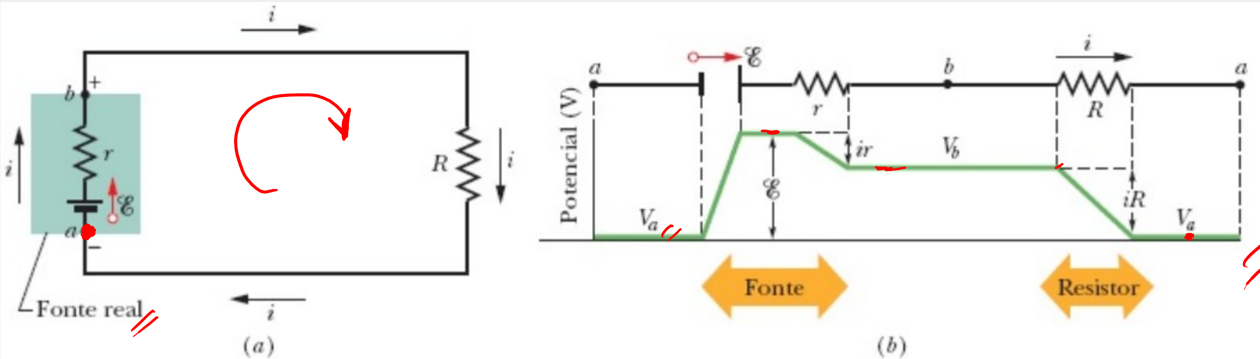
Fig.: Circuito com uma e duas malhas.

Um circuito com várias malhas possui vários nós e ramos.
Nó: encontro de 3 ou mais fios.
Ramo: Parte do circuito compreendida entre dois nós.

Cálculo da Corrente em um Circuito de uma Malha

REGRA DAS MALHAS: A soma algébrica das variações de potencial encontradas ao longo de uma malha completa de um circuito é zero.

Essa regra, também conhecida como lei das malhas de *Kirchhoff* (ou lei das tensões de *Kirchhoff*).



$$V_a + \xi - V_r - V_R = V_a$$

$$V_a = 0$$

$$\xi - V_r - V_R = 0$$

$V_a + \mathcal{E} - V_r - V_R = V_a$

$\mathcal{E} - V_r - V_R = V_a - V_a$

$\boxed{\mathcal{E} - V_r - V_R = 0}$

Cálculo da Corrente em um Circuito de uma Malha

REGRA DAS RESISTÊNCIAS: Quando atravessamos uma resistência no sentido da corrente, a variação do potencial é $-iR$; quando atravessamos uma resistência no sentido oposto, a variação é $+iR$.

$$\boxed{v = R\,i}$$

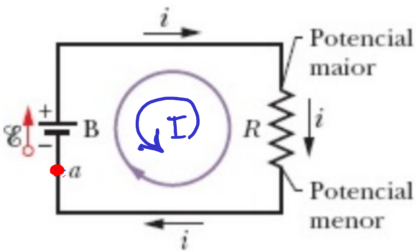
REGRA DAS FONTES: Quando atravessamos uma fonte ideal no sentido do terminal negativo para o terminal positivo, a variação do potencial é $+\mathscr{E}$; quando atravessamos uma fonte no sentido oposto, a variação é $-\mathscr{E}$.

$$V_a + \xi - V_r - V_R = V_a$$

$$V_a = 0$$

$$\xi - V_r - V_R = 0$$

A fonte faz uma corrente atravessar o resistor, do potencial maior para o potencial menor.



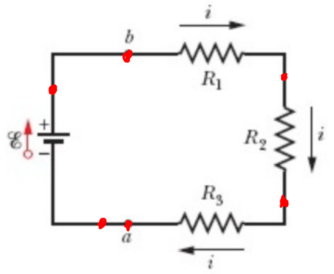
$$+\mathcal{E} - R\,i = 0$$

$$I:\ V_R - \mathcal{E} = 0$$

$$R\,i - \mathcal{E} = 0$$

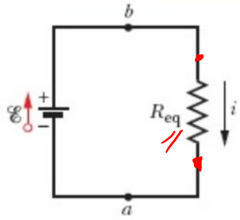
$$R\,i = \mathcal{E}$$

Resistências em Série



(*a*)

Resistores em série e o resistor equivalente são atravessados pela mesma corrente.



(*b*)

Quando uma diferença de potencial *V* é aplicada a resistências ligadas em série, a corrente *i* é a mesma em todas as resistências, e a soma das diferenças de potencial das resistências é igual à diferença de potencial aplicada *V*.

$V = \mathscr{E}$

Resistências ligadas em série podem ser substituídas por uma resistência equivalente R_{eq} percorrida pela mesma corrente *i* e com a mesma diferença de potencial *total V* que as resistências originais.

Corrente equivalente:

$$i = i_1 = i_2 = i_3$$

Resistência equivalente:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n$$

$$\boxed{R_{eq} = \sum_{j=1}^{n} R_j}$$ (n resistências em série)

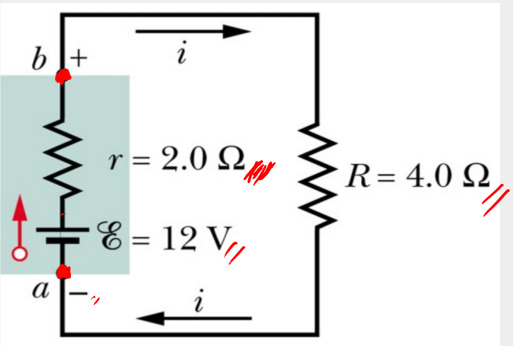
Observe que, no caso de duas ou mais resistências ligadas em série, a resistência equivalente é maior que a maior das resistências.

Diferença de Potencial entre Dois Pontos

Exemplo - 01:

Qual é a diferença de potencial entre os pontos a e b do circuito?

Para determinar a diferença de potencial entre dois pontos de um circuito, começamos em um dos pontos e percorremos o circuito até o outro ponto, somando algebricamente as variações de potencial que encontramos no percurso.



Percorrendo no sentido horário de a para b:

$$V_a + \varepsilon - ir = V_b$$

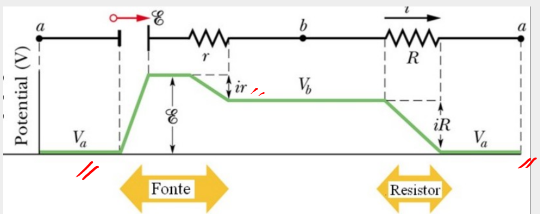
$$V_b - V_a = \varepsilon - ir$$

$$v = R\,i$$

$$v_a + \varepsilon - i r = v_b$$

$$v_b - v_a = \varepsilon - i r$$

$$\Delta v_{ba} = \varepsilon - i r$$



Exemplo - 01:

Determine a resistência equivalente do circuito, a corrente total, a potência dissipada na fonte e a potência fornecida pela fonte.

$$\left.\begin{array}{l} V = R\,i \\ \varepsilon = (r + R)\,i \end{array}\right\} \Rightarrow i = \frac{\varepsilon}{(r+R)} \Rightarrow i = \frac{12}{(2+4)} \Rightarrow$$

$$i = \frac{12}{6} \Rightarrow i = 2\,A$$ //

$$\Delta V_{ab} = \varepsilon - i\,r$$

$$\Delta V_{ab} = 12 - 2 \cdot 2$$

$$\Delta V_{ab} = 12 - 4 \Rightarrow$$

$$\Delta V_{ab} = 8\,V$$ //

Numa condição ideal $P = 12 \cdot 2 = 24\,W$ //

$R_{eq} = 6\,\Omega$

$i = 2\,A$ //

$P = V\,i$; $P = R\,i^2$; $P = \frac{V^2}{R}$ //

$$P_f = r\,i^2 \Rightarrow P_f = 2 \cdot 2^2 \Rightarrow$$

$$P_f = 8\,W$$ //

$$P_R = R\,i^2 \Rightarrow P_R = 4 \cdot 2^2 \Rightarrow$$

$$\boxed{P_R = 16\,W}$$ //

Potência, Potencial e Força Eletromotriz

$$P_r = i^2 r \quad \text{(potência dissipada na fonte).} \qquad (27\text{-}16)$$

$$P_{emf} = i\mathscr{E} \quad \text{(potência fornecida pela fonte).} \qquad (27\text{-}17)$$

Quando uma bateria está sendo *recarregada*, com uma corrente passando no "sentido inverso", a transferência de energia é *dos* portadores de carga *para* a bateria; parte da energia é usada para aumentar a energia química da bateria e parte é dissipada na resistência interna r da bateria. A taxa de variação da energia química é dada pela Eq. 27-17, a taxa de dissipação é dada pela Eq. 27-16 e a taxa com a qual os portadores de carga fornecem energia é dada pela Eq. 27-14.

Potência, Potencial e Força Eletromotriz

Exemplo 27.01 Circuito de uma malha com duas fontes reais //

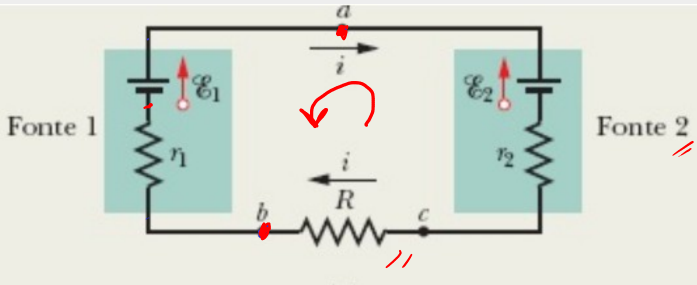
As forças eletromotrizes e resistências do circuito da Fig. 27-8*a* têm os seguintes valores: //

$$\mathscr{E}_1 = 4{,}4\ \text{V},\quad \mathscr{E}_2 = 2{,}1\ \text{V},$$

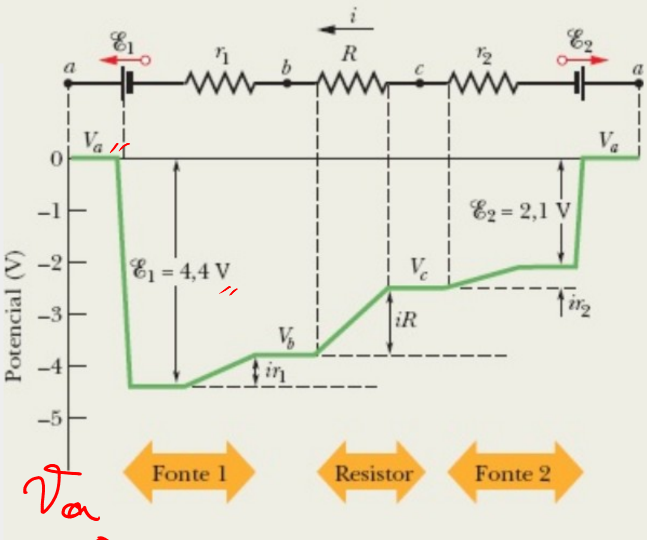
$$r_1 = 2{,}3\ \Omega,\quad r_2 = 1{,}8\ \Omega,\quad R = 5{,}5\ \Omega.$$

(a) Qual é a corrente *i* no circuito? //

$i = ?$



(a)



(b)

$$V_a - \mathscr{E}_1 + r_1 i + R i + r_2 i + \mathscr{E}_2 = V_a$$

$$-\mathscr{E}_1 + r_1 i + R i + r_2 i + \mathscr{E}_2 = 0$$ //

Potência, Potencial e Força Eletromotriz

(a) Qual é a corrente *i* no circuito?

$-\mathcal{E}_1 + r_1 i + Ri + r_2 i + \mathcal{E}_2 = 0$

$-4,4 + 2,3i + 5,5i + 1,8i + 2,1 = 0$

$-4,4 + 2,1 + i(2,3 + 5,5 + 1,8) = 0$

$-2,3 + i(9,6) = 0$

$9,6i = 2,3 \Rightarrow$

$i = \dfrac{2,3}{9,6}$

$\Rightarrow i = 0,2396 \text{ A}$

ou

$\boxed{i = 239,6 \text{ mA}}$

(b) Qual é a diferença de potencial entre os terminais da fonte 1 na Fig. 27-8*a*?

$\Delta V_{ba} = \mathcal{E}_1 - i r_1$

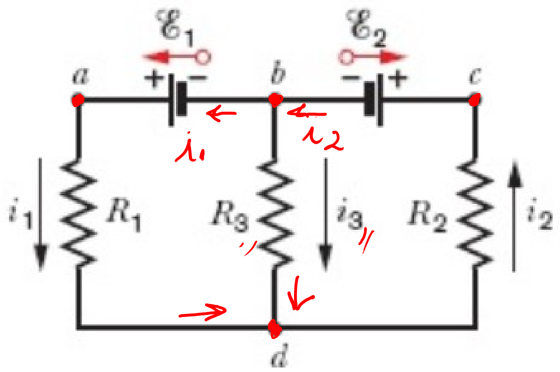
$\Delta V_{ba} = 4,4 - (0,2396) \cdot 2,3$

$\boxed{\Delta V_{ba} = 3,85 \text{ V}}$

Circuitos com Mais de uma Malha

REGRA DOS NÓS: A soma das corrente que entram em um nó é igual à soma das correntes que saem do nó.

A corrente que sai de um nó é igual à corrente que entra (a carga é conservada).



Considere o nó d: $i_1 + i_3 = i_2$

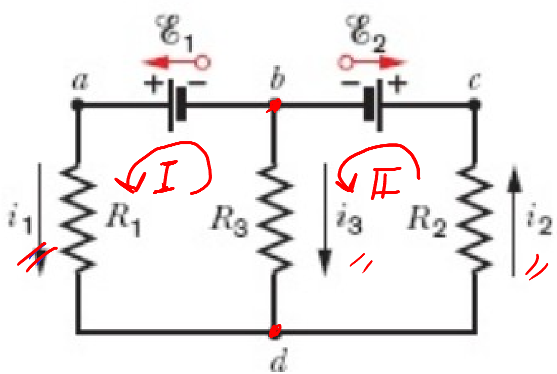
$b: i_2 = i_1 + i_3$

$d: i_3 + i_1 = i_2$

Essa regra também é conhecida como lei dos nós de *Kirchhoff* (ou lei das correntes de *Kirchhoff*).

Circuitos com Mais de uma Malha

A corrente que sai de um nó é igual à corrente que entra (a carga é conservada).



Percorrendo a malha da esquerda no sentido anti-horário a partir do ponto b, obtemos,

$$\mathrm{I}: \mathcal{E}_1 - R_1 i_1 + R_3 i_3 = 0$$

$$b: i_2 = i_1 + i_3$$

Percorrendo a malha da direita no sentido anti-horário a partir do ponto b, obtemos,

$$\mathrm{II}: -R_3 i_3 - R_2 i_2 - \mathcal{E}_2 = 0$$

$$d: i_1 + i_3 = i_2 \Rightarrow i_1 + i_3 - i_2 = 0$$

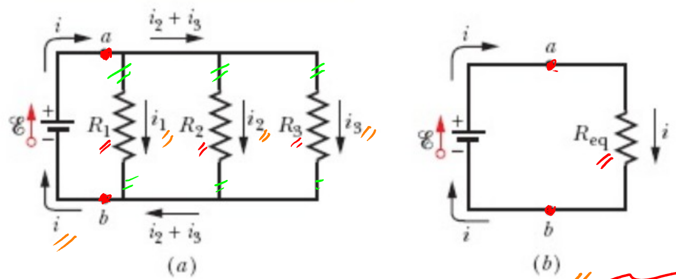
Sistema de equações do circuito:

$$\begin{cases} \mathcal{E}_1 - R_1 i_1 + 0 + R_3 i_3 = 0 \\ -\mathcal{E}_2 + 0 - R_2 i_2 - R_3 i_3 = 0 \\ 0 + i_1 - i_2 + i_3 = 0 \end{cases}$$

Resistências em Paralelo

Resistências ligadas em paralelo podem ser substituídas por uma resistência equivalente R_{eq} com a mesma diferença de potencial V e a mesma corrente *total* i que as resistências originais.

Resistores em paralelo e o resistor equivalente estão submetidos à mesma diferença de potencial.



Resistências em paralelo possuem a mesma diferença de potencial V .

$V = V_1 = V_2 = V_3 = \ldots$

$$\boxed{\cancel{V = V_1 + V_2 + V_3}}$$

Pela regra dos nós:

$$\boxed{i = i_1 + i_2 + i_3 + i_n}$$

Resistência equivalente: $$\boxed{\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{R_j}}$$ (n resistências em série)

$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$

Se duas ou mais resistências estão ligadas em paralelo, a resistência equivalente é menor que a menor das resistências.

Relações de equivalência para resistores e capacitores em série e em paralelo.

Tabela 27-1 Resistores e Capacitores em Série e em Paralelo

Em série	Em paralelo	Em série	Em paralelo
Resistores		Capacitores	
$R_{eq} = \sum_{j=1}^{n} R_j$ Eq. 27-7	$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{R_j}$ Eq. 27-24	$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{C_j}$ Eq. 25-20	$C_{eq} = \sum_{j=1}^{n} C_j$ Eq. 25-19
A corrente é a mesma em todos os resistores	A diferença de potencial é a mesma em todos os resistores	A carga é a mesma em todos os capacitores	A diferença de potencial é a mesma em todos os capacitores

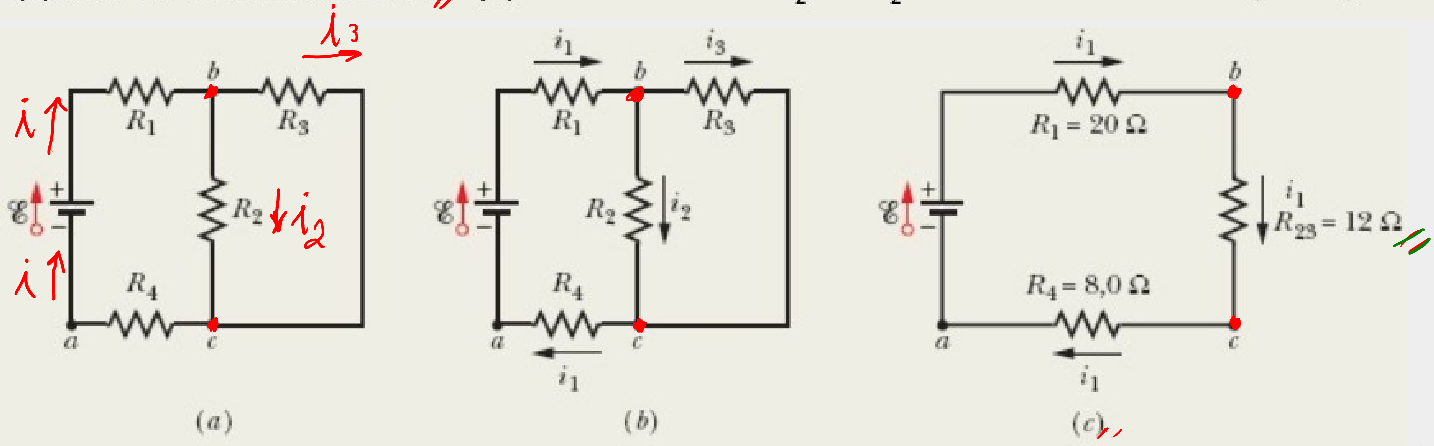
Resistências em Paralelo

Exemplo 27.02 Resistores em paralelo e em série

A Fig. 27-11*a* mostra um circuito com mais de uma malha formado por uma fonte ideal e quatro resistências com os seguintes valores:

$$R_1 = 20\ \Omega,\quad R_2 = 20\ \Omega,\quad \mathscr{E} = 12\ \text{V},$$
$$R_3 = 30\ \Omega,\quad R_4 = 8{,}0\ \Omega.$$

(a) Qual é a corrente na fonte? (b) Qual é a corrente i_2 em R_2? (c) Qual é a corrente i_3 em R_3?



Resistências em Paralelo

a) $R_{23} = ?$

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30}$$

$$\frac{1}{R_{23}} = 0{,}0833$$

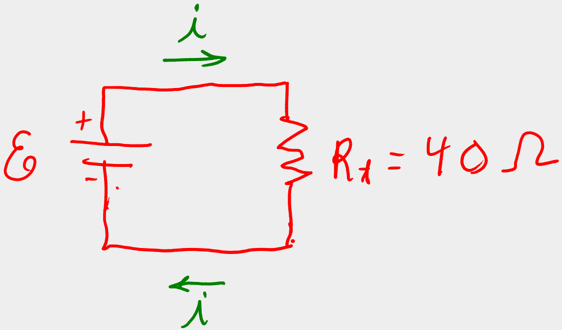
$$R_{23} = 12\,\Omega$$

$$\boxed{R_{23} = 12\,\Omega}$$

$$R_t = R_1 + R_{23} + R_4$$

$$R_t = 20 + 12 + 8$$

$$R_t = 40\,\Omega$$



$$v = R\,i$$

$$\varepsilon = R_t\,i$$

$$i = \frac{\varepsilon}{R_t} \Rightarrow i = \frac{12}{40} \Rightarrow$$

$$\boxed{i = 0{,}3\ A \text{ ou}}$$

$$i = 300\ mA$$

Resistências em Paralelo

b) $v_{bc} = R_{23}\, i$

$v_{bc} = 12 \cdot 0,3$

$v_{bc} = 3,6\ V$

$v_{bc} = R_2\, i_2$

$i_2 = \dfrac{v_{bc}}{R_2} \Rightarrow$

$i_2 = \dfrac{3,6}{20} \Rightarrow$

$\boxed{i_2 = 0,18\ A}$

c) $v_{bc} = R_3\, i_3$

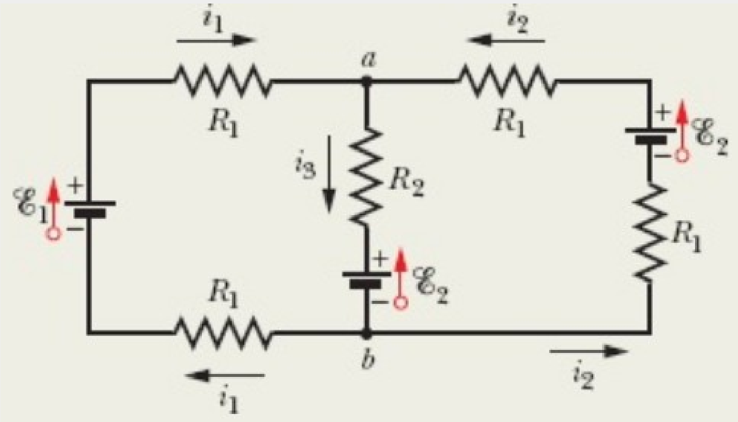
$i_3 = \dfrac{v_{bc}}{R_3}$

$i_3 = \dfrac{3,6}{30} \Rightarrow$

$\boxed{i_3 = 0,12\ A}$

Exemplo 27.04 Circuito com mais de uma malha e o sistema de equações de malha

A Fig. 27-13 mostra um circuito cujos elementos têm os seguintes valores: $\mathscr{E}_1 = 3{,}0$ V, $\mathscr{E}_2 = 6{,}0$ V, $R_1 = 2{,}0\ \Omega$, $R_2 = 4{,}0\ \Omega$. As três fontes são ideais. Determine o valor absoluto e o sentido da corrente nos três ramos.

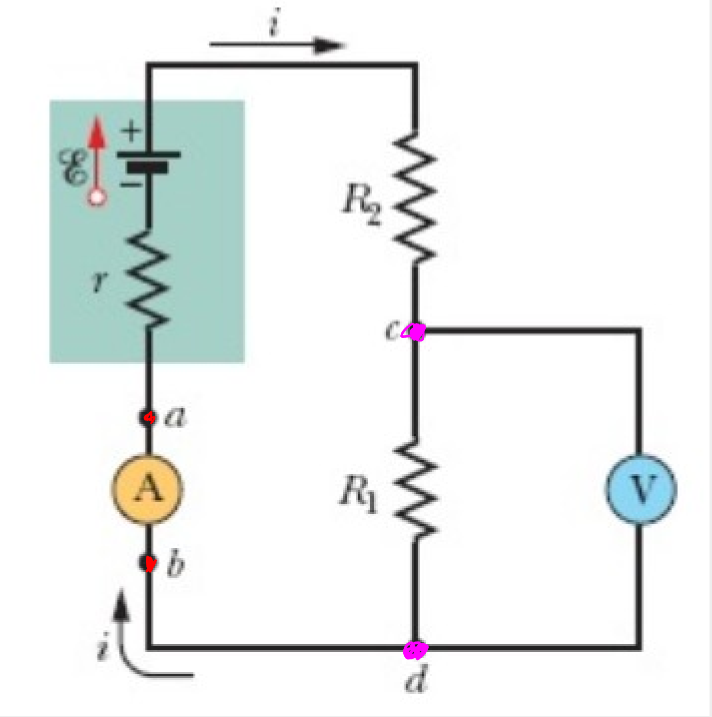


Resistências em Paralelo

Resistências em Paralelo

O Amperímetro e o Voltímetro

Circuito de uma malha, mostrando como ligar um amperímetro (A) e um voltímetro (V).

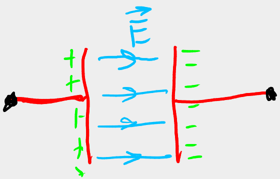


Capacitor com um Dielétrico

Quando preenchemos o espaço entre as placas de um capacitor com um dielétrico, que é um material isolante como plástico ou óleo mineral, o que acontece com a capacitância?

O cientista inglês Michael Faraday, a quem devemos o conceito de capacitância (a unidade de capacitância do SI recebeu o nome de farad em sua homenagem), foi o primeiro a investigar o assunto, em 1837. Usando um equipamento simples como o que aparece na Fig. 25-12, Faraday constatou que a capacitância era multiplicada por um fator numérico κ, que chamou de **constante dielétrica** do material isolante.

$q = C \Delta V$



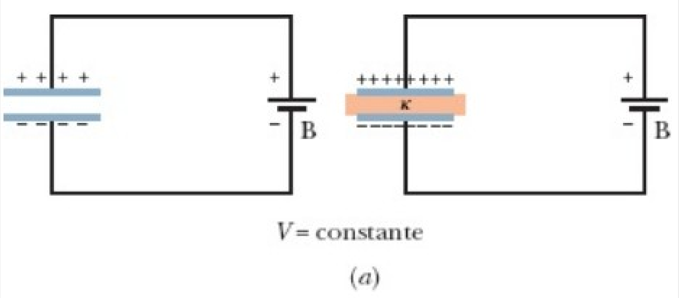
$\epsilon = K \epsilon_0$

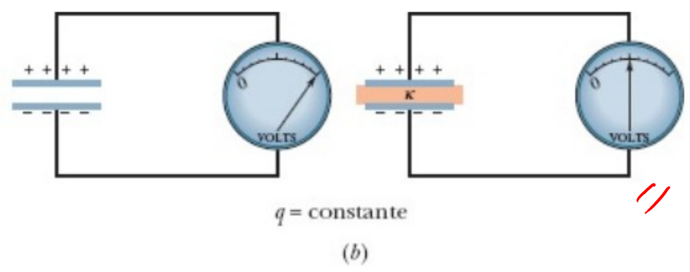
Fonte: The Royal Institute, England/Bridgeman Art Library/NY.

Capacitor com um Dielétrico

Tabela 25-1 Propriedades de Alguns Dielétricos[a]

Material	Constante Dielétrica κ
Ar (1 atm)	1,00054
Poliestireno	2,6
Papel	3,5
Óleo de transformador	4,5
Pirex	4,7
Mica rubi	5,4
Porcelana	6,5

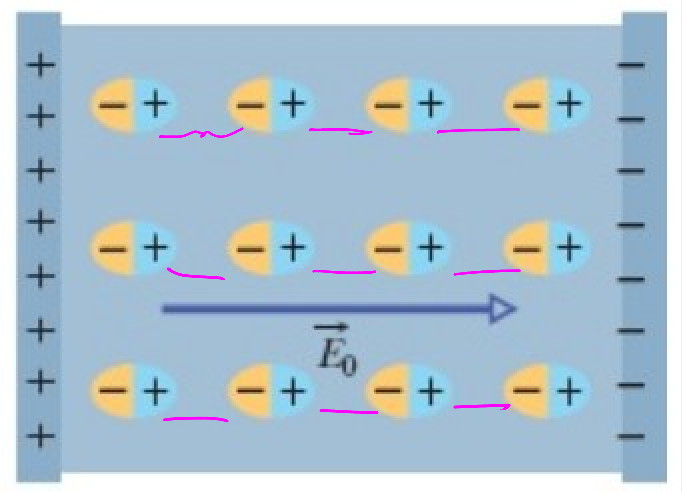


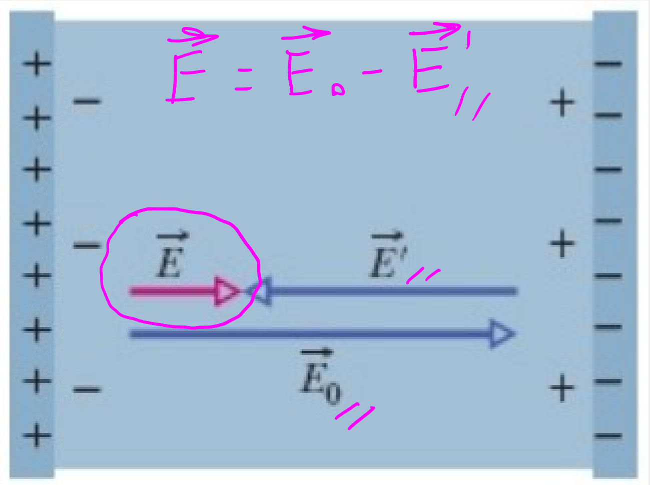


Em uma região totalmente preenchida por um material dielétrico de constante dielétrica κ, a constante elétrica ε_0 deve ser substituída por $\kappa\varepsilon_0$ em todas as equações.

$\varepsilon = \kappa \varepsilon_0$

Dielétricos: Uma Visão Atômica





As placas carregadas de um capacitor produzem um campo elétrico; o campo separa ligeiramente as cargas positivas das cargas negativas do material. A separação produz cargas nas superfícies do material; as cargas criam um campo que se opõe ao campo aplicado. O campo resultante no interior do material (a soma vetorial de $\vec{E}$) tem a mesma direção que e um módulo menor.

Exercício da lista

5. Campos eletrizados ocorrem naturalmente em nosso cotidiano. Um exemplo disso é o fato de algumas vezes levarmos pequenos choques elétricos ao encostarmos em automóveis. Tais choques são devidos ao fato de estarem os automóveis eletricamente carregados. Sobre a natureza dos corpos (eletrizados ou neutros), considere as afirmativas a seguir: *

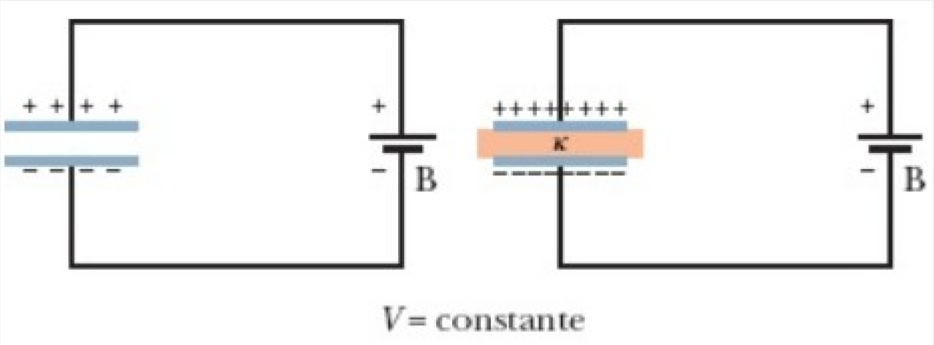
9 / 9

- (●) I. Se um corpo está eletrizado, então o número de cargas elétricas negativas e positivas não é o mesmo.
- ( ) II. Se um corpo tem cargas elétricas, então está eletrizado.
- ( ) III. Um corpo neutro é aquele que não tem cargas elétricas.
- ( ) IV. Ao serem atritados, dois corpos neutros, de materiais diferentes, tornam-se eletrizados com cargas opostas, devi~~do ao princípio de conservação das cargas elétricas.~~
- ( ) V. Na eletrização por indução, é possível obter-se corpos eletrizados com quantidades diferentes de cargas.

virdadeira

Adicionar feedback individual

Capacitor com um Dielétrico



Capacitor vazio (Dielétrico = vácuo)

$$\boxed{C=\epsilon_o \frac{A}{d}}$$

Capacitor com dielétrico

$$\boxed{C=\epsilon \frac{A}{d}}$$

$$\epsilon=\kappa\,\epsilon_o$$

$q = C\,\Delta V$

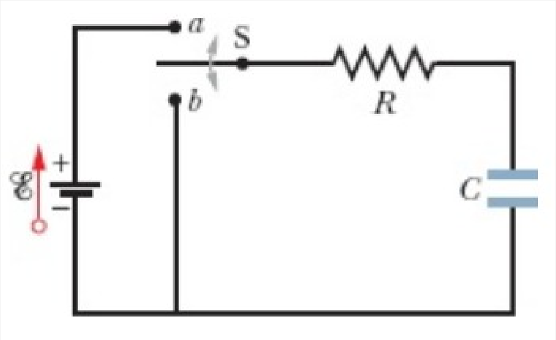
$q = C\,V$

Energia armazenada no capacitor

$$\boxed{U_i=\frac{1}{2}CV^2}$$ ou $$\boxed{U_i=\frac{q^2}{2C}}$$

27-4 CIRCUITOS RC

Nos módulos anteriores, lidamos apenas com circuitos nos quais as correntes não variavam com o tempo. Vamos agora iniciar uma discussão de correntes que variam com o tempo.



$q = 0$ no instante $t = 0$.

Nos módulos anteriores, lidamos apenas com circuitos nos quais as correntes não variavam com o tempo. Vamos agora iniciar uma discussão de correntes que variam com o tempo.

Carga de um Capacitor

$$i=\frac{dq}{dt}$$ (corrente elétrica)

$$q=C\,V$$ (Equação geral do capacitor)

$$V=R\,i$$ (Lei de Ohm)

Aplicando a Lei de *Kirchhoff*, temos a equação de carga do capacitor.

$$R\frac{dq}{dt}+\frac{q}{C}=\xi$$

Condição: $t=0\,;q=0$

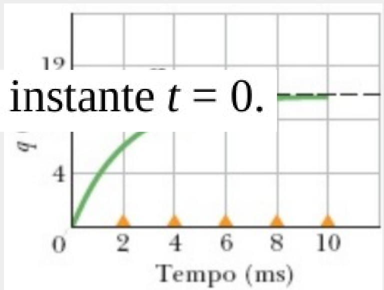
Carga do capacitor

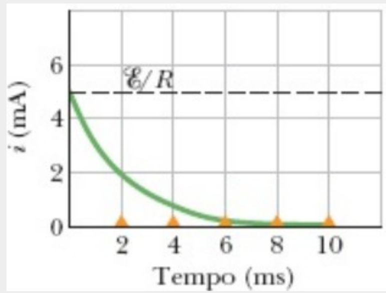
$$q=C\,\xi(1-e^{\frac{-t}{RC}})$$

Corrente no capacitor

$$i=(\frac{\xi}{R})e^{\frac{-t}{RC}}$$

$q = 0$ no instante $t = 0$.





Constante de tempo

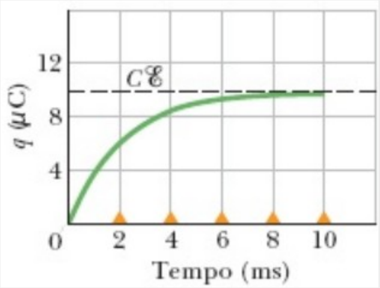
$$\tau=R\,C$$

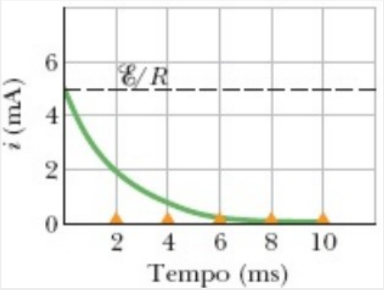
Se t = RC,

$$q=C\,\xi(1-e^{-1})=0{,}63\,C\,\xi$$

Com o passar do tempo, a carga do capacitor aumenta e a corrente diminui.

Carga de um Capacitor





Com o passar do tempo, a carga do capacitor aumenta e a corrente diminui.

Um capacitor que está sendo carregado se comporta inicialmente como um fio comum. Após um longo período de tempo, o capacitor se comporta como um fio partido.

Descarga de um Capacitor

Aplicando a Lei de *Kirchhoff,* temos a equação de descarga do capacitor.

$$R\frac{dq}{dt}+\frac{q}{C}=0$$

Condição: $t=0\,;q=q_o$

Descarga do capacitor

$$q=(C\,V_o)\,\mathrm{e}^{\frac{-t}{RC}}$$

Corrente no capacitor

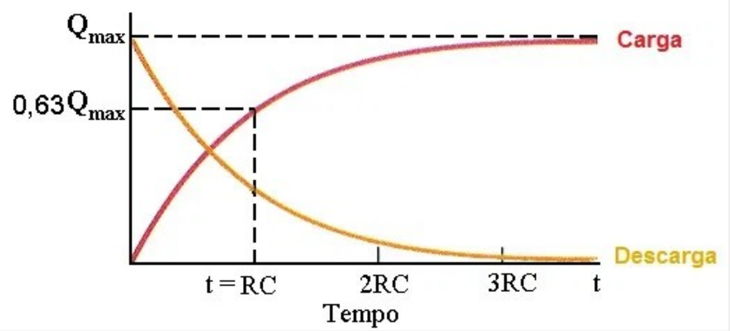
$$i=-(\frac{V_o}{R})\,\mathrm{e}^{\frac{-t}{RC}}$$

Constante de tempo

$$\tau=R\,C$$

Se t = RC,

$$q=(C\,V_o)\,\mathrm{e}^{-1}=0{,}37\,C\,V_o$$

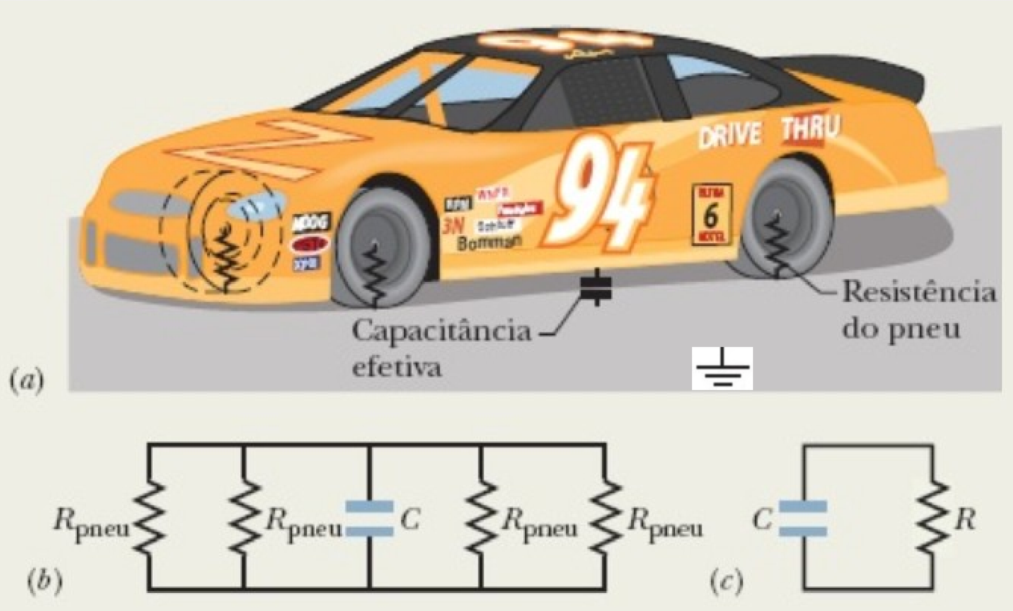


27-4 CIRCUITOS RC

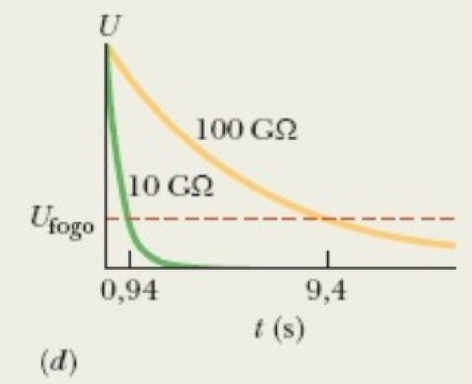
Exemplo 27.05 Descarga de um circuito *RC* para evitar um incêndio em uma parada para reabastecimento

Quando um carro está em movimento, elétrons passam do piso para os pneus e dos pneus para a carroceria. O carro armazena essa carga em excesso como se a carroceria fosse uma das placas de um capacitor, e o piso fosse a outra placa (Fig. 27-17*a*). Quando o carro para, ele descarrega o excesso de carga através dos pneus, da mesma forma como um capacitor se descarrega através de um resistor. Se um objeto condutor se aproxima do carro antes que este esteja totalmente descarregado, a diferença de potencial associada ao excesso de cargas pode produzir uma centelha entre o carro e o objeto. Suponha que o objeto condutor seja o bico de uma mangueira de combustível. Nesse caso, a centelha inflamará o combustível, produzindo um incêndio, se a energia da centelha exceder o valor crítico $U_{fogo} = 50$ mJ.

Quando o carro da Fig. 27-17*a* para no instante $t = 0$, a diferença de potencial entre o carro e o piso é $V_0 = 30$ kV. A capacitância do sistema carro-piso é $C = 500$ pF, e a resistência de *cada* pneu é $R_{pneu} = 100$ GΩ. Quanto tempo é preciso para que a energia associada às cargas do carro caia abaixo do valor crítico U_{fogo}?



Resistência do pneu
Capacitância efetiva
(a)
R_{pneu}
C
(b)
C
R
(c)


U
100 GΩ
10 GΩ
U fogo
0,94
9,4
t (s)
(d)