

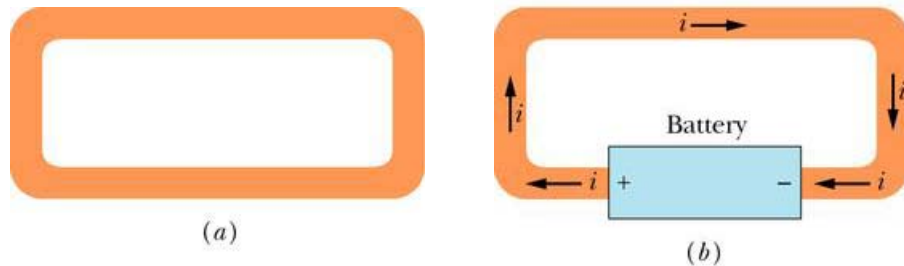
CORRENTE E RESISTÊNCIA

Até o momento estudamos cargas em repouso - a eletrostática.

A partir de agora concentramos nossa atenção nas cargas em movimento, isto é, na corrente elétrica.

Corrente elétrica : movimento ordenado de cargas elétricas.

Considere um circuito condutor isolado.



Todo o circuito se encontra no mesmo potencial. Não existe campo elétrico em seu interior, não há corrente elétrica, apesar de existirem elétrons de condução disponíveis, nenhuma força resultante atua sobre eles. Por outro lado, quando inserimos uma bateria, o circuito não se encontra mais sujeito ao mesmo potencial, e campos elétricos atuam no interior do material, exercendo forças sobre os elétrons de condução, fazendo-os mover, originando uma corrente elétrica.

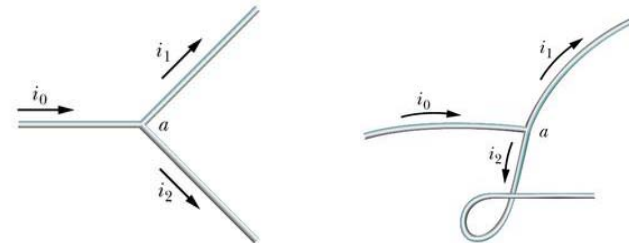
Após algum tempo, o fluxo de elétrons atinge um valor constante e a corrente é dita estar em **regime permanente**, isto é, não varia com o tempo.

Suponha que uma carga dq atravessa a seção reta de um fio condutor no intervalo de tempo dt , então a corrente i que atravessa o plano é definida como $i = \frac{dq}{dt}$

A carga que atravessa a seção reta transversal pode ser determinada por

$$q = \int dq = \int_0^t i dt,$$

SI: 1 Ampère = 1 A = 1 C/s - unidade fundamental.



As intensidades das correntes em um ramo devem se somar.

A corrente é um escalar. As setas usadas nas ilustrações servem apenas para indicar que a carga está se movendo.

Sentido das correntes - Por razões históricas usamos a seguinte convenção: Uma seta de corrente é desenhada no sentido no qual se movem os portadores de carga positiva, mesmo que os verdadeiros portadores de carga sejam negativos. Os portadores de carga positiva se afastam do terminal positivo da bateria em direção ao terminal negativo. Num fio os elétrons movem-se do terminal negativo para o positivo.

DENSIDADE DE CORRENTE

Isto significa que há dois sentidos para o escoamento de cargas, um deles chamado de **convencional**, e o outro de sentido **eletrônico**. É usual considerar apenas o sentido convencional.

Densidade de corrente

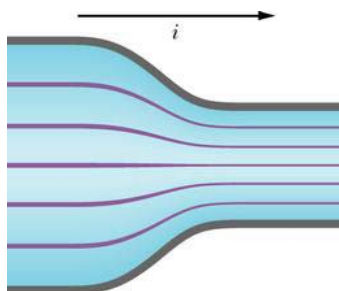
O fluxo de cargas através de uma seção transversal em um ponto particular do condutor é chamado de **densidade de corrente** do condutor, \mathbf{J} , e possui a mesma direção e o mesmo sentido da velocidade das cargas em movimento se elas forem positivas, e sentido contrário se elas forem negativas. A densidade de corrente é igual à corrente por unidade de área.

$$J = \frac{i}{A}$$

Se a corrente for uniforme através da superfície

$$i = \int \vec{J} \cdot d\vec{A}. \quad i = \int J dA = J \int dA = JA,$$

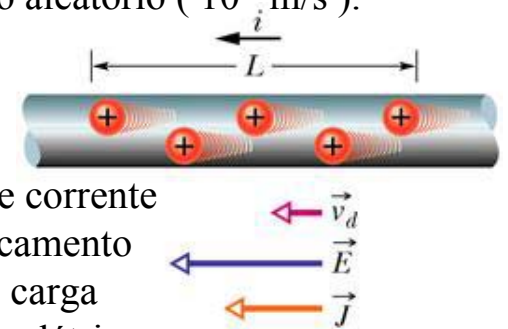
A densidade de corrente pode ser representada por um conjunto de linhas semelhantes às linhas de campo elétrico. Como a carga se conserva na transição do condutor mais largo para o mais estreito, a densidade de corrente varia.



Velocidade de deriva

Quando um condutor não é atravessado por corrente, os elétrons de condução se movem aleatoriamente, sem nenhum movimento resultante em qualquer direção. Quando o condutor é atravessado por uma corrente, os elétrons ainda se movem aleatoriamente, mas agora eles tendem a se deslocar com uma **velocidade de deriva**, no sentido contrário ao do campo aplicado que causa a corrente. A velocidade de deriva (10^{-5} - 10^{-4} m/s) é muito pequena comparada às velocidades do movimento aleatório (10^6 m/s).

A figura ao lado relaciona a velocidade de deriva v_d dos elétrons de condução com a intensidade J da densidade de corrente no fio, a qual mostra o deslocamento equivalente de portadores de carga positiva na direção do campo elétrico.



O número de portadores de carga em um fio do comprimento L é nAL . A carga total dos portadores é

$$q = (nAL)e. \quad t = \frac{L}{v_d}. \quad i = \frac{q}{t} = \frac{nALe}{L/v_d} = nAev_d.$$

$$\vec{J} = (ne) \vec{v}_d. \quad v_d = \frac{i}{nAe} = \frac{J}{ne}$$

n é o número de portadores por unidade de volume

RESISTÊNCIA E LEI DE OHM

A característica do condutor a ser considerada agora é a **resistência elétrica**. Determina-se a resistência entre dois pontos quaisquer de um condutor aplicando-se uma diferença de potencial entre esses pontos e medindo-se a corrente $R = V/i$. ($\Omega = V/A$).

Um condutor cuja função em um circuito é oferecer uma resistência à passagem de corrente é chamado **resistor**.

Definimos a resistividade do material: $\rho = \frac{E}{J}$
 $\frac{(E)}{(J)} = \frac{V/m}{A/m^2} = \frac{V}{A} \cdot m = \Omega \cdot m$. $E = \rho J$.

que se aplica a materiais isotrópicos. Definimos também condutividade de um material $\sigma = \frac{1}{\rho}$ $J = \sigma E$.

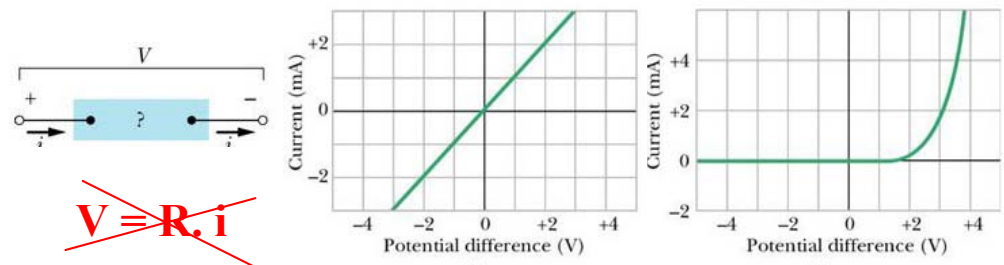
Cálculo da resistência a partir da resistividade

Considere um fio de área da seção transversal A , comprimento L e diferença de potencial V entre suas extremidades. Se as linhas de corrente que representam a densidade de corrente forem uniformes em todo o fio, o campo elétrico e a densidade de corrente para todos os pontos no interior do fio terão valores $E = V/L$ e $J = i/A$.

$$\rho = \frac{E}{J} = \frac{V/L}{i/A} \quad R = \rho \frac{L}{A}$$

Lei de Ohm

Um resistor é um condutor com uma resistência específica, não importando qual a intensidade e sentido da d.d.p. Outros dispositivos podem ter resistências que variam com a diferença de potencial aplicado. Pode-se distinguir esses dispositivos através da curva característica de cada um deles



Fazemos uma distinção entre esses dois dispositivos dizendo que um obedece à lei de Ohm e o outro não. A lei de Ohm afirma que a corrente através de um dispositivo é sempre diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada ao dispositivo. Um dispositivo condutor obedece a lei de Ohm quando a resistência do dispositivo independe da intensidade e da polaridade da d.d.p. A essência da lei de Ohm é que um gráfico de I contra V é linear. A relação mais relevante passa a ser $E = \rho J$.

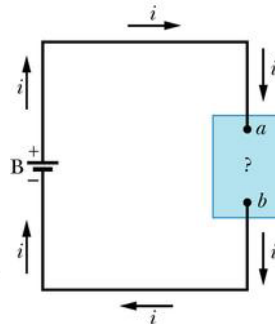
Um material condutor obedece a lei de Ohm quando a ρ do material independe da intensidade, direção e sentido de E .

POTÊNCIA ELÉTRICA EM CIRCUITOS

Potência elétrica em circuitos

O circuito ao lado mostra uma bateria conectada por fios, que supomos ter resistência desprezível, a um dispositivo condutor não-especificado.

A quantidade de carga dq que se move entre os terminais no intervalo de tempo dt é $i \cdot dt$



A quantidade de carga dq se desloca por meio de um decréscimo de potencial V , $dU = V dq = i \cdot dt \cdot V$.

O princípio de conservação de energia nos diz que a redução da energia potencial elétrica de a para b é acompanhada pela transferência desta energia para alguma outra modalidade de energia. A potência P associada a essa transferência é

$$dU/dt = P = iV.$$

$$1 \text{ V} \cdot \text{A} = \left(1 \frac{\text{J}}{\text{C}}\right) \left(1 \frac{\text{C}}{\text{s}}\right) = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ W}.$$

Para o resistor, $R = V / i$, temos

$$P = i^2 R \quad P = \frac{V^2}{R}$$

Circuitos Elétricos

Para que portadores de carga escoem através de um resistor é necessário estabelecer uma diferença de potencial entre as extremidades do dispositivo. Uma maneira de fazer isso é ligar cada extremidade do resistor a uma placa de um capacitor carregado. O problema aqui reside no fato que, o escoamento de cargas atua descarregando o capacitor, levando rapidamente as placas a um mesmo potencial.

Para produzir um escoamento permanente de cargas é necessário uma bomba de carga, ou seja, um dispositivo que mantém uma diferença de potencial entre os seus terminais. Um dispositivo como este consegue isto realizando trabalho sobre os portadores de carga. Tal dispositivo é chamado de **dispositivo de fem**.

As fontes de tensão de corrente contínua (CC) podem ser divididas em três categorias:

- baterias (utilizam reações químicas);
- geradores (transformam energia mecânica em elétrica);
- fontes de alimentação (obtêm corrente contínua retificando corrente alternada, convertem a tensão variável em uma tensão com valor fixo.

CIRCUITOS ELÉTRICOS

Algumas definições:

Potencial: é a tensão em um ponto de um circuito em relação a outro ponto do mesmo circuito escolhido como referência.

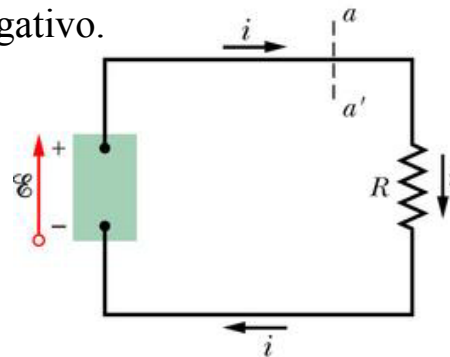
Diferença de potencial: é a diferença algébrica de potencial (ou tensão) entre dois pontos de um circuito.

Força-eletromotriz (fem) é o nome dado à tensão (ou ao potencial) que uma fonte é capaz de estabelecer entre os seus terminais. É uma expressão antiga.

O terminal com potencial mais alto é o potencial positivo, enquanto o outro é o potencial negativo.

No intervalo de tempo dt , uma carga dq atravessa uma seção transversal do circuito (aa'). Esta mesma quantidade de carga deve entrar no dispositivo de fem na extremidade de potencial mais baixo e sair pela de potencial mais alto. O dispositivo realiza um trabalho dW sobre dq para fazê-la mover-se desta maneira. Definimos

$$\mathcal{E} = \frac{dW}{dq} \quad (\text{Volt})$$



Dispositivo de fem ideal - não oferece resistência à passagem de corrente.

Dispositivo de fem real - apresenta resistência interna.

Análise de circuitos - A variação do potencial ao atravessar uma resistência R no sentido da corrente é $-iR$, e no sentido contrário, é iR . A variação do potencial em um dispositivo de fem ideal é $+\mathcal{E}$ e $-\mathcal{E}$ no sentido contrário. Chamamos de malha o menor percurso fechado do circuito da rede.

Regra das malhas. A soma algébrica das tensões num circuito fechado é nulo

Chamamos de nó um ponto no qual a corrente se divide.

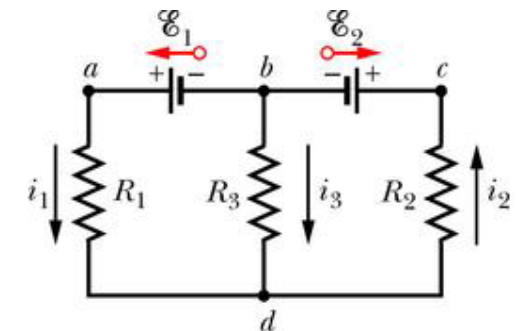
Regra dos nós. A soma das correntes que entram em um nó tem que ser igual à soma das correntes que saem do nó.

Resistência em série

$$R_{eq} = \sum_{j=1}^n R_j$$

Resistência em paralelo

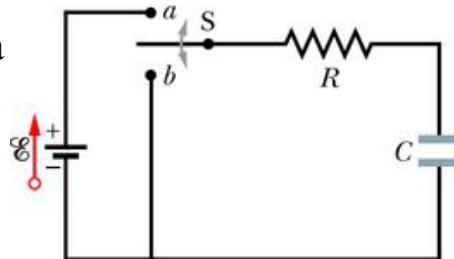
$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j}$$



CIRCUITO RC

Iniciamos aqui uma discussão sobre correntes variáveis no tempo.

Considere o capacitor C da figura ao lado, inicialmente descarregado. Para carregá-lo deve-se colocar a chave S sobre a.



Assim que o circuito é fechado cargas começam a fluir entre uma placa do capacitor e um terminal da bateria sobre cada um dos lados do capacitor. Esta corrente aumenta a carga q sobre as placas e a diferença de potencial $V_C = q/C$ entre as duas placas do capacitor. Quando essa diferença de potencial torna-se igual a d.d.p nos terminais da bateria, a corrente é nula.

Vamos examinar agora o processo de carregamento, isto é, $q(t)$, $i(t)$ e $V(t)$. Inicialmente aplicamos a regra das malhas ao circuito, percorrendo-o no sentido horário a partir do terminal negativo da bateria.

$$\mathcal{E} - iR - \underbrace{\frac{q}{C}} = 0.$$

Este termo representa a d.d.p. entre as placas de um capacitor, e é negativo porque a placa de cima, ligada ao terminal positivo está em um potencial mais alto do que a placa de baixo, por isso há uma queda no potencial quando é percorrido no sentido horário.

Esta equação contém duas incógnitas, i e q . Porém, $i = dq / dt$. Substituindo este resultado na equação anterior

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

Propomos a solução geral

$$q = q_p + K e^{-at},$$

q_p é a solução da equação homogênea, quando $dq / dt = 0$, K é uma constante a ser determinada a partir das condições iniciais e $a = 1 / RC$.

Quando a tensão entre os terminais do capacitor se iguala à tensão da bateria, os elétrons deixam de circular. Neste momento, a carga das placas é $q = C \mathcal{E}$.

A constante K pode ser encontrada considerando-se que $q = 0$ em $t = 0$.

$$q = C \mathcal{E} + K e^{-at}. \quad 0 = C \mathcal{E} + K, \quad K = -C \mathcal{E}$$

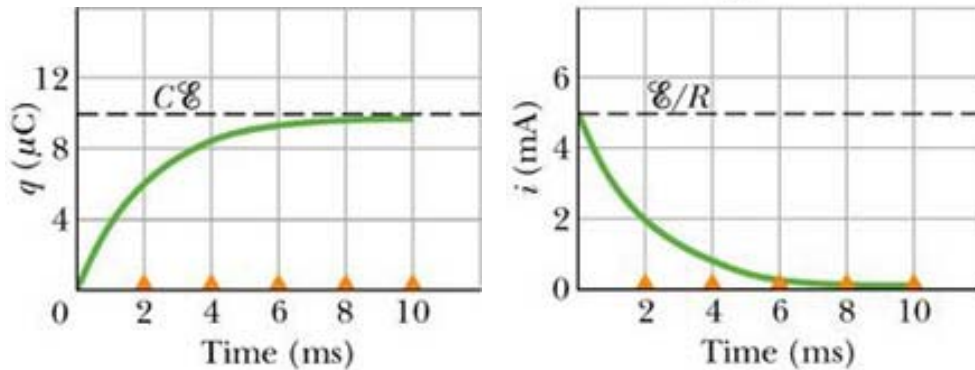
$$q = C \mathcal{E} - C \mathcal{E} e^{-t/RC},$$

Esta equação diferencial descreve a variação temporal da carga q sobre o capacitor. A corrente também é obtida

$$i = \frac{dq}{dt} = \left(\frac{\mathcal{E}}{R} \right) e^{-t/RC}$$

CIRCUITO RC

O gráfico $q(t)$ e $i(t)$ é mostrado abaixo



Um capacitor quando começa a ser carregado atua como um fio de ligação comum em relação à corrente de carga. Passado algum tempo, ele atua como um fio partido.

Pode-se obter a d.d.p. entre as placas do capacitor durante o processo de carga,

$$V_c = \frac{q}{C} = E \left(1 - e^{-t/RC}\right)$$

que nos diz que $V_c = 0$ em $t = 0$ e $V_c = E$ quando t tende a infinito.

O produto RC que aparece em $q(t)$ possui dimensão de tempo, então chamamos RC de **constante de tempo capacitiva** do circuito, e é representada por $\tau = RC$

No instante $t = \tau = RC$, a carga do capacitor inicialmente descarregado aumentou de zero para

$$q = C E \left(1 - e^{-1}\right) = 0.63 C E.$$

63 % do seu valor final $C E$

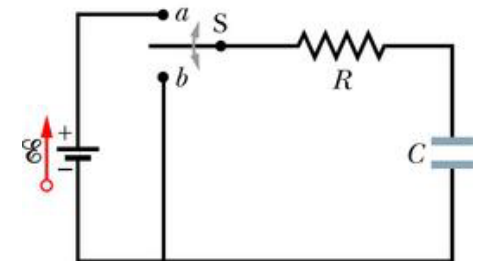
Descarregando o capacitor

Suponha agora que o capacitor esteja totalmente carregado com uma d.d.p. igual à da bateria e a chave S seja virada de a para b de modo que o capacitor possa descarregar

A equação diferencial que descreve $q(t)$ é

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

$$q = q_0 e^{-t/RC}$$



q_0 é a carga inicial do capacitor ($= C V_0$). Esta equação nos diz que a carga diminui exponencialmente com o tempo.

A corrente também pode ser obtida

$$i = \frac{dq}{dt} = - \left(\frac{q_0}{RC}\right) e^{-t/RC}$$

O sinal negativo simplesmente indica que a carga está diminuindo.