Conceitos básicos de electromagnetismo

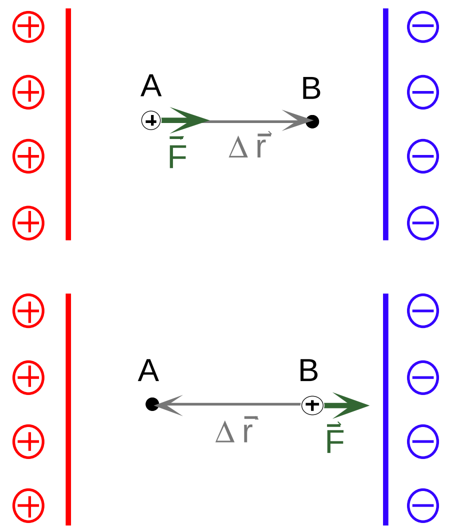
Um campo em Física é definido como uma entidade intermediária na interacção entre partículas que está distribuida por todo ou parte do espaço cujas propriedades podem ser dependentes do espaço e do tempo. Uma forma de quantificar a interacção entre duas partículas é avaliar uma força de interacção.

É por exemplo o caso do campo gravítico. Para avaliar o campo gravítico num ponto do espaço, colocamos uma unidade de referência (uma massa de 1Kg) e medimos qual é a força que nela actua. Esta força é o campo gravítico nesse ponto.

De forma análoga o campo eléctrico num ponto é obtido a partir de uma unidade de referência (carga eléctrica positiva de 1 C) - é a força que actua sobre essa *carga de prova*.

A interacção eléctrica entre duas partículas exerce-se quando ambas têm uma carga eléctrica.

Podemos avaliar esta interacção também em termos energéticos. Surge então o conceito de potencial eléctrico. Vejamos a seguinte representada na figura:



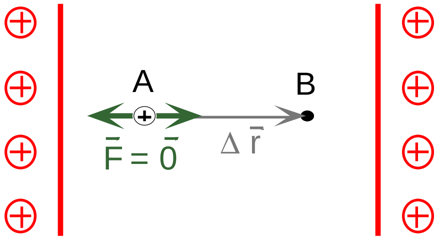
Temos duas placas paralelas com carga eléctrica diferente. Inicialmente temos uma carga eléctrica positiva unitária no ponto A. Ao deslocar a carga para um ponto B ela é actuada por uma força cuja direcção e sentido coincide com a direcção e sentido do deslocamento. Logo o trabalho realizado nesta aproximação é positivo. Este *trabalho é a diferença de potencial entre os pontos A e B*:

$$W_{AB} = (V_A - V_B) > 0 \Rightarrow V_A > V_B.$$

Se deslocar a carga de B para A ela é actuada por uma força com igual direcção à do deslocamento mas em sentido contrário. Logo o trabalho realizado nesta aproximação é negativo. A diferença de potencial entre os pontos B e A é:

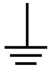
$$W_{BA} = (V_B - V_A) < 0 \Rightarrow V_A > V_B.$$

Se tivermos a mesma carga eléctrica nas duas placas, a resultante das forças aplicadas sobre a carga de prova é nula. Então a diferença de potencial entre A e B é nula. Por isso *é necessário haver um excesso de carga numa placa em relação à outra para que exista uma diferença de potencial diferente de zero.*



E se em vez da diferença de potencial entre dois pontos quisermos saber o potencial num ponto? Vamos supor que queríamos saber qual é o potencial no ponto A. Se escolhêssemos um ponto B cujo potencial fosse nulo então nesse caso teríamos: $V_A - V_B = V_A$.

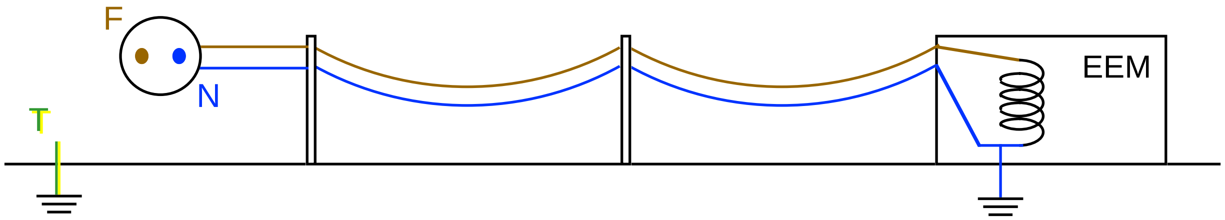
Nem sempre é fácil descobrir um ponto em que o potencial seja nulo. Teoricamente admitimos que esse ponto existe no infinito (onde a interacção entre as cargas é nula). No entanto, na prática é mais fácil procurar um ponto B com um potencial eléctrico constante. O potencial A fica definido a menos de uma constante.

O potencial constante escolhido por exemplo pela EEM é o potencial da terra. É designado por terra e representa-se pelo símbolo: 

Em electrónica o potencial de referência não é necessariamente a terra. Designa-se por isso de forma diferente - é a massa e representa-se por: 

Vejamos um exemplo: a EEM usa o potencial de terra como potencial de referência. Esse potencial é designado por neutro e por convenção deve ser aplicado através de um fio azul. O potencial oscilante com uma amplitude de 220 V e uma frequência de 50 Hz é designado de fase e por convenção é apresentado por um fio castanho.

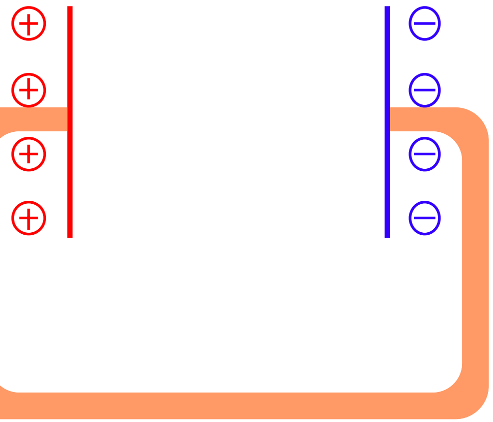
No entanto, é possível que o potencial de terra em nossa casa não coincida com o da EEM. Assim, a massa dos nossos circuitos caseiros (N) não coincide com a nossa terra.



Como estamos em geral em contacto físico com a terra local é possível apanharmos um choque eléctrico se tocarmos na saída neutro de uma tomada. Para nos protegermos de possíveis choques os nossos aparelhos domésticos têm o seu revestimento ligado à nossa terra.

O que nos faz sentir um choque?

Voltemos à situação inicial das placas com cargas eléctricas diferentes. Se as ligarmos através de um fio metálico, devido ao excesso de carga de um lado em relação ao outro haverá transferência de carga eléctrica. Colocamos agora a nossa carga de prova unitária e positiva no fio metálico e vemos que o seu movimento será do lado com carga positiva para o lado com carga negativa (ou do lado de carga mais positiva para o lado de carga menos positiva).



Em qualquer ponto do fio metálico podemos definir como *corrente eléctrica* a quantidade de carga eléctrica transportada através da secção de fio transversal a esse ponto por unidade de tempo.

Quanto maior for o excesso de carga de um lado em relação ao outro (maior diferença de potencial) maior será a corrente eléctrica.

Ohm descobriu como quantificar a relação entre entre estas grandezas para qualquer condutor eléctrico. Em particular, para um condutor filiforme descobriu que a razão entre a diferença de potencial aos seus extremos (ΔV) e a corrente eléctrica que o atravessava (I) era constante. Definiu esta constante como *resistência eléctrica* (R) e a sua unidade do Sistema Internacional é o ohm (Ω): $\Delta V = R\,I$

Esta é a *lei de Ohm* para condutores eléctricos filiformes. Os componentes cuja função única é aumentar a resistência eléctrica de um fio condutor chamam-se resistências. Para que servem?

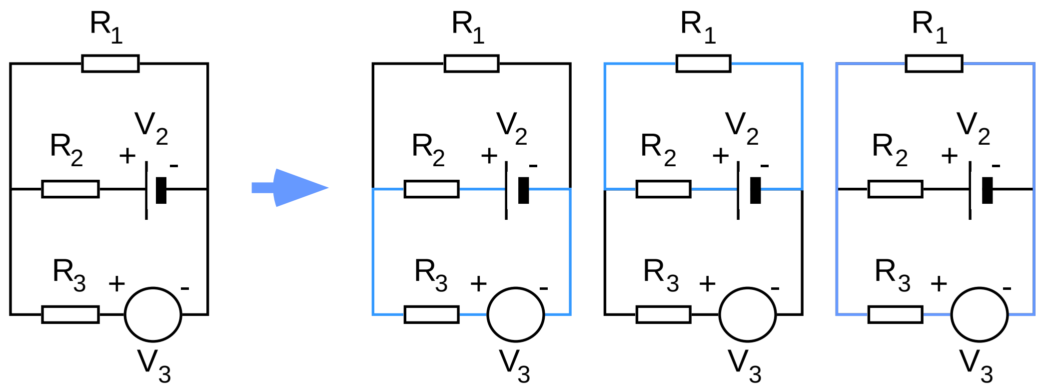
Se temos uma corrente eléctrica conhecida podem servir para criar uma determinada diferença de potencial. Quando temos uma diferença de potencial conhecida podem servir para criar uma determinada corrente eléctrica, etc.

Lei das malhas de Kirchoff

Numa malha fechada a soma das diferenças de potencial é nula.

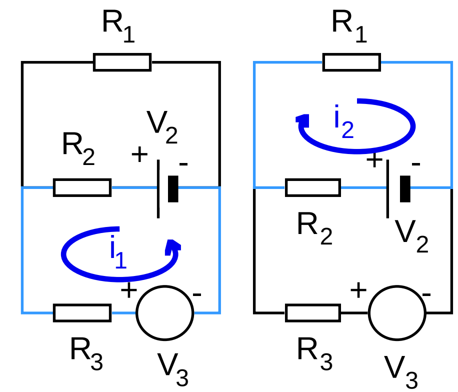
É necessário adoptar uma série de convenções que serão aplicadas na sequência seguinte:

1- Identificação das malhas - Cada circuito fechado identificado é uma malha. Por exemplo:



Podemos identificar no circuito da figura três malhas. Cada uma delas está assinalada a azul.

2 - O sentido de circulação da corrente - Vamos convencionar arbitrariamente o sentido de circulação da corrente sucessivamente para cada malha até todos os ramos do circuito terem uma corrente escolhida. No caso descrito anteriormente podemos fazer as seguintes convenções:



A partir do momento em que não existe qualquer ramo do circuito sem uma corrente convencionada, não é necessário convencionar um sentido de circulação de corrente para a terceira malha.

3 - Fontes de tensão - Se a corrente convencionada passa pela fonte de tensão de + para o -, então a diferença de potencial é positiva. No caso contrário é negativa.

Vamos agora aplicar estas regras ao circuito proposto.

$$\begin{cases} -V_2 + R_2(i_1 + i_2) + R_1 i_2 = 0 \\ V_3 - V_2 + R_2(i_1 + i_2) + R_3 i_1 = 0 \end{cases}$$

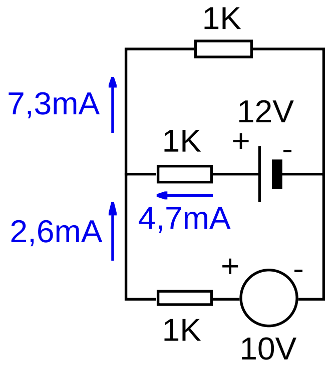
Utilizámos a lei dos nós de Kirchoff para determinar qual era a corrente que passava no ramo comum às duas malhas (i_1 + i_2). Se tivermos por exemplo:

$$\begin{cases} V_2 = 12 \text{ V} \\ V_3 = 10 \text{ V} \\ R_1 = R_2 = R_3 = 1\,\text{K}\Omega \end{cases}$$

Resolvendo o sistema de equações obtemos:

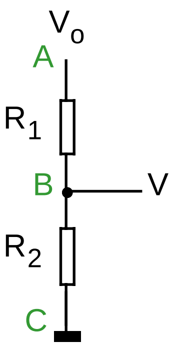
$$\begin{cases} i_1 = -3{,}7 \text{ mA} \\ i_2 = 7{,}3 \text{ mA} \end{cases}$$

Ou seja, a corrente real i_1 tem sentido contrário ao que convencionámos e a corrente real i_2 tem o mesmo sentido da convencionada. Podemos concluir que a disposição das correntes será de acordo com:



Divisor de tensão

Consideremos a associação de resistências em série representada na figura. O ponto A está a um potencial V_o e o ponto C a um potencial nulo. Logo a diferença de potencial aos extremos da associação é V_o. e temos uma corrente eléctrica "i" a fluir de A, por B, até C. Pela lei de Ohm para cada uma das resistências a corrente eléctrica que a atravessa é a razão entre a diferença de potencial aos seus extremos e a resistência eléctrica:



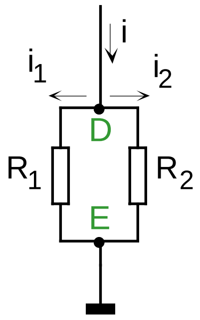
$$i = \frac{V_o - V}{R_1} = \frac{V - 0}{R_2}$$

Se resolvermos este sistema de equações concluimos que:

$$V = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_o$$

V será por isso uma tensão entre V_o e 0 V. Este circuito serve para obter uma tensão intermédia a partir de uma combinação correcta de resistências e de uma tensão conhecida. Designa-se de *divisor de tensão*.

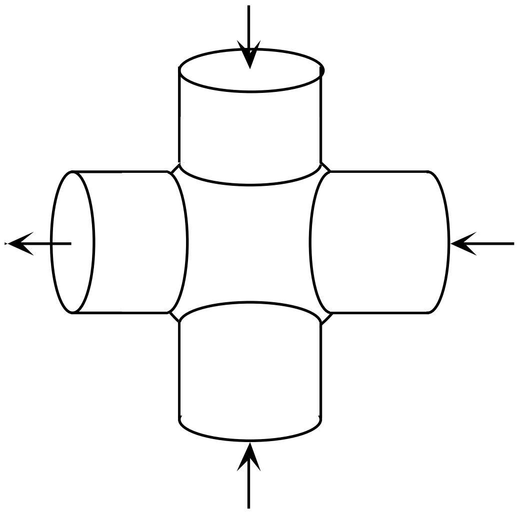
Divisor de corrente



Consideremos um novo circuito de duas resistências em paralelo. É imposta à entrada do circuito uma corrente (i), que ao atingir o *nó* (encontro de 3 ou mais fios condutores) D encontra dois caminhos alternativos. Ela irá subdividir-se em duas correntes i_1 e i_2.

A diferença de potencial aos extremos das duas resistências (V_{DE}) é igual porque têm ambas as extremidades coincidentes. Pela lei de Ohm temos:

$$V_{DE} = R_1 \cdot i_1 = R_2 \cdot i_2$$



Para sabermos a relação entre as correntes temos que assumir como verdadeiro o princípio de conservação de carga eléctrica. A quantidade de carga que entra num nó tem que ser igual à quantidade de carga que sai. Caso contrário teria que haver uma fonte de cargas eléctricas no nó ou um sumidouro de cargas eléctricas no mesmo.

Uma consequência directa deste princípio é a *lei dos nós de Kirchoff*. Ela diz que a soma algébrica das correntes que convergem para um nó (tomam valor positivo) com as correntes que divergem do nó (tomam valor negativo) é nula.

Assim, no caso deste circuito temos no nó D que: $i - i_1 - i_2 = 0$

Conjugando esta equação com a anterior obtemos:

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot i$$

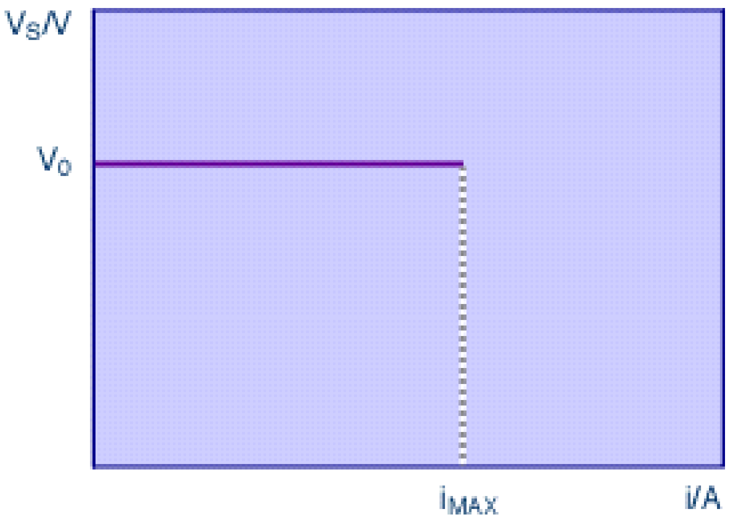
A corrente que atravessa i_1 está portanto entre i e 0 A. O seu valor é determinado pelos valores das resistências para uma dada corrente de entrada i. De notar também que i_1 é proporcional a R_2, ou seja, quanto maior for a resistência do caminho alternativo a R_1 maior será a corrente i_1. Este circuito chama-se um *divisor de corrente*.

Fontes de alimentação

Vamos estudar dois tipos de fonte de alimentação: as fontes de tensão e de corrente.

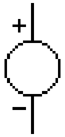
Uma fonte de tensão ideal é um circuito de dois terminais que mantém uma certa ddp aos seus terminais qualquer que seja a corrente que ele fornece. O valor da ddp pode ser controlado pelo utilizador e chama-se *tensão nominal* (V_0). A corrente eléctrica fornecida pela fonte de tensão depende da resistência eléctrica do circuito que for ligado aos seus terminais.

Representemos graficamente a relação entre a ddp (V_S) aos terminais da fonte de tensão e a corrente fornecida (i):

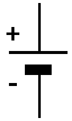


A ddp de saída mantém-se constante para qualquer valor de intensidade de corrente, até atingir o valor máximo de corrente que a fonte consegue fornecer. A partir desta intensidade (i_{MAX}) a tensão de saída reduz-se a zero Volt.

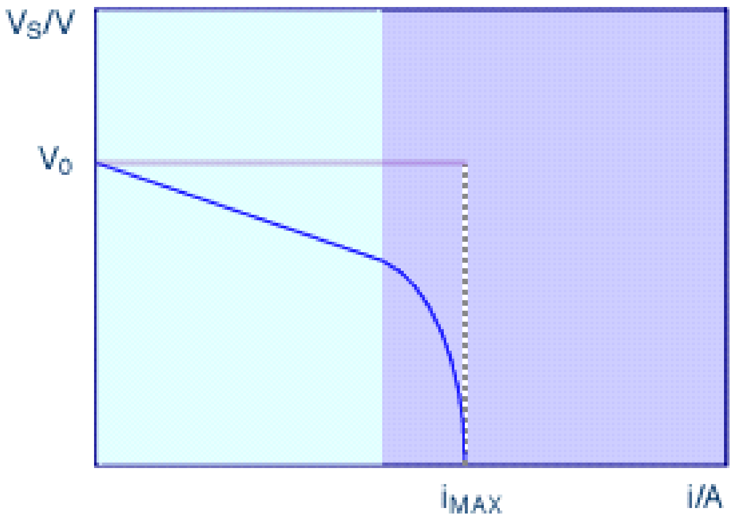
O símbolo que representa por convenção uma fonte de tensão é:



Podemos distinguir um tipo de fonte de tensão das outras. Se a fonte de tensão for uma bateria então podemos usar o símbolo:



Na prática, uma fonte de tensão tem um comportamento distinto do ideal. Quando a fonte de tensão fornece corrente a ddp aos seus terminais diminui. A tensão de saída torna-se inferior à tensão nominal. Vejamos a curva característica de uma fonte de tensão real:



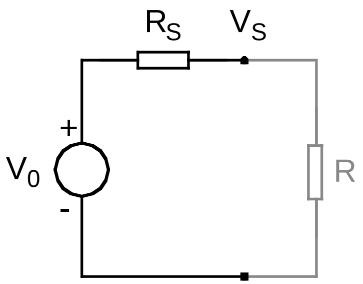
Quanto maior é a intensidade da corrente "pedida" à fonte, maior é o decréscimo sofrido pela tensão de saída. Mais, até um certo valor de intensidade da corrente a dependência entre as duas grandezas é linear.

Vamos estudar a fonte de tensão apenas na sua região de comportamento linear (região a azul claro). A equação que descreve a variação do potencial de saída com a corrente é:

$$V_s = V_0 - Ki$$

em que -K é o declive da recta.

Para compreendermos melhor o comportamento da fonte de tensão analisemos o seguinte circuito:



À ddp aos extremos a resistência R chama-se V_S. Se convencionamos que o lado "-" da fonte de tensão está a um potencial nulo, então a ddp aos extremos de R_S é V_0 - V_S. Aplicando a lei de Ohm, a corrente (i) que percorre o circuito é:

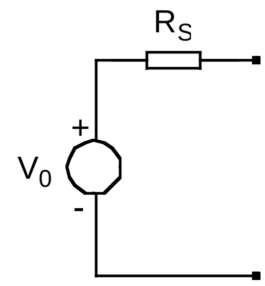
$$i = \frac{V_0 - V_S}{R_S}$$

ou seja,

$$V_S = V_0 - R_S i$$

Esta equação refere-se à parte a preto do circuito e é válida qualquer que seja o valor da resistência R. A equação obtida é semelhante à equação que obtivemos para o potencial de saída de uma fonte de tensão real. Para que as duas equações sejam idênticas, temos que substituir K por R_S.

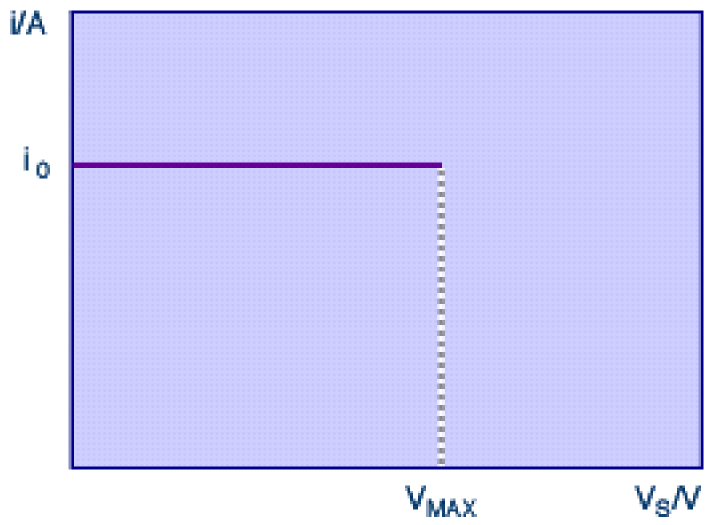
Podemos concluir que o circuito:



é equivalente a uma fonte de tensão real (na região linear). R_S é a *resistência de saída* ou *resistência interna* da fonte de tensão. Então uma *fonte de tensão ideal* tem uma *resistência de saída nula* e $V_S = V_0$.

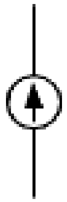
Uma fonte de corrente ideal é um circuito de dois terminais que, ao ser ligado a uma certa resistência de carga, impõe uma dada intensidade de corrente à resistência de carga, qualquer que seja a ddp aos seus terminais. O valor da intensidade da corrente pode ser controlado pelo utilizador e chama-se *intensidade de corrente nominal* (i_0). A corrente eléctrica fornecida pela fonte de corrente depende da resistência eléctrica do circuito que for ligado aos seus terminais.

Representemos graficamente a relação entre a corrente fornecida (i) e a ddp (V_S) aos terminais da fonte de corrente:

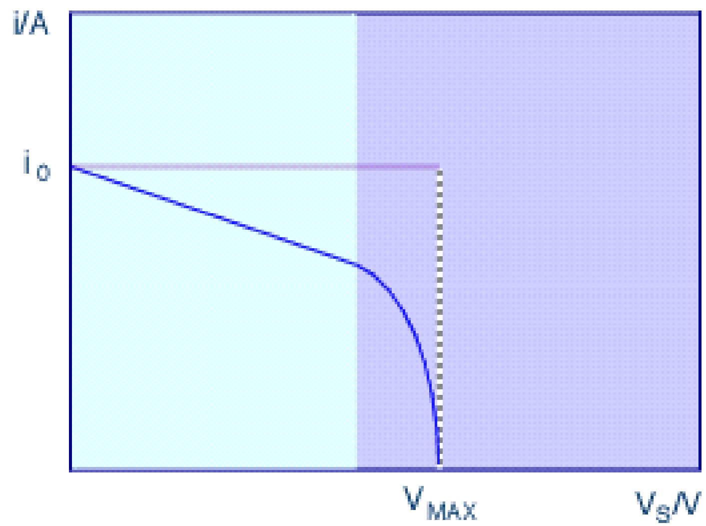


A intensidade da corrente mantém-se constante para qualquer valor de ddp, até atingir o valor máximo de ddp que a fonte consegue estar sujeita. A partir desta ddp (V_{MAX}) a intensidade da corrente fornecida reduz-se a zero Ampere.

O símbolo que representa por convenção uma fonte de corrente é:



Na prática, uma fonte de corrente tem um comportamento distinto do ideal. Quando a fonte de corrente é sujeita a uma ddp, a corrente que ela fornece diminui. A intensidade da corrente de saída torna-se inferior à intensidade da corrente nominal. Vejamos a curva característica de uma fonte de corrente real:



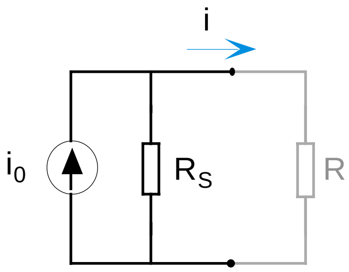
Quanto maior é a ddp imposta à fonte, maior é o decréscimo sofrido pela corrente fornecida. Mais, até um certo valor de intensidade da corrente a dependência entre as duas grandezas é linear.

Vamos estudar a fonte de corrente apenas na sua região de comportamento linear (região a azul claro). A equação que descreve a variação da corrente com o potencial de saída é:

$$i = i_0 - K' V_S$$

em que -K' é o declive da recta.

Para compreendermos melhor o comportamento da fonte de tensão analisemos o seguinte circuito:



A corrente eléctrica produzida pela fonte de corrente encontra um divisor de corrente formado por duas resistências: R_S e R. A resistência R_S tem por isso aos seus extremos uma ddp (que vamos chamar V_S). É também atravessada por uma corrente cuja intensidade é:

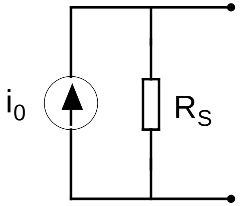
$$i_0 - i = \frac{V_s}{R_s}$$

ou seja:

$$i = i_0 - \frac{V_s}{R_s}$$

Esta equação refere-se à parte a preto do circuito e é válida para qualquer valor de resistência R. Se fizermos K' = $1/R_S$ esta equação é idêntica à que obtivemos para uma fonte de corrente real.

Podemos concluir que o circuito:



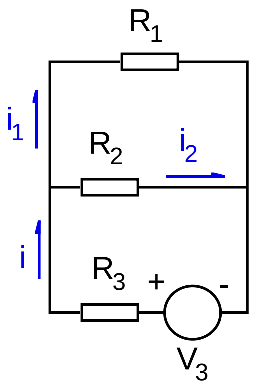
é equivalente a uma fonte de corrente real (na região linear). R_S é a *resistência de saída* ou *resistência interna* da fonte de corrente.

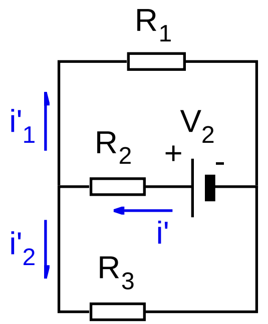
Então uma *fonte de corrente ideal* tem uma *resistência de saída infinita*: $i = i_0$.

Princípio da sobreposição

Num circuito linear, a resposta a várias fontes é igual à soma algébrica das respostas do circuito a cada uma das fontes substituindo as restantes pela sua resistência interna.

Este princípio, em conjunção com a lei de Ohm, pode ser usado como alternativa às leis de Kirchoff. A ideia é a seguinte: quando tenho várias fontes presentes num circuito, algumas contribuem para que a corrente passe num sentido num determinado ramo. Outras contribuem para que a corrente passe no sentido contrário. Seria muito confuso tentar resolver um problema destes com a lei de Ohm. Então o que fazemos é analisar o que acontece no circuito se apenas uma daquelas fontes estiver presente. Por exemplo. O circuito que estudámos há pouco, pode ser decomposto em dois circuitos. Em cada um desses circuitos apenas consta uma das fontes de tensão:





Para o primeiro circuito sabemos que:

$$\begin{cases} V_3 = \left(R_3 + \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) i \\ i_1 = \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} i \\ i_2 = \dfrac{R_1}{R_1 + R_2} i \end{cases}$$

Efectuando os cálculos obtemos:

$$\begin{cases} 10 = \left(10^3 + \dfrac{10^6}{2\times 10^3}\right) i \\ i_1 = \dfrac{1}{2} i \\ i_2 = \dfrac{1}{2} i \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} i = 6,7 \text{ mA} \\ i_1 = 3,3 \text{ mA} \\ i_2 = 3,3 \text{ mA} \end{cases}$$

e para o segundo circuito temos:

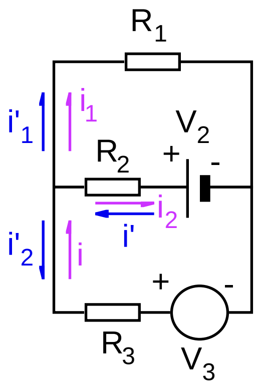
$$\begin{cases} V_2 = \left(R_2 + \dfrac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}\right) i' \\ i'_1 = \dfrac{R_3}{R_1 + R_3} i' \\ i'_2 = \dfrac{R_1}{R_1 + R_3} i' \end{cases}$$

O resultado é:

$$\begin{cases} 12 = \left(10^3 + \dfrac{10^6}{2 \times 10^3}\right) i' \\ i'_1 = \dfrac{1}{2} i' \\ i'_2 = \dfrac{1}{2} i' \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} i' = 8 \text{ mA} \\ i'_1 = 4 \text{ mA} \\ i'_2 = 4 \text{ mA} \end{cases}$$

Agora para saber qual a corrente total que percorre cada um dos ramos do circuito faz-se a soma algébrica das correntes parciais:

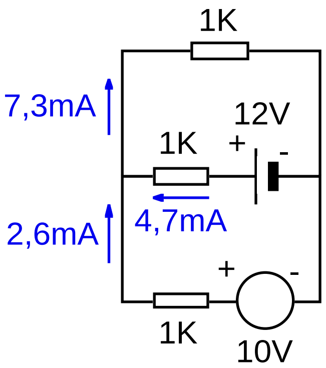


As correntes em cada um dos ramos são:

$$\begin{cases} i_1 + i'_1 = 7{,}3 \text{ mA} \\ i' - i_2 = 4{,}7 \text{ mA} \\ i - i'_2 = 2{,}6 \text{ mA} \end{cases}$$

A soma diz-se algébrica porque tem em conta o sentido da corrente. Assim, correntes de sentido contrário subtraem-se e correntes de igual sentido adicionam-se. Além disso, o sinal do resultado indica o sentido da corrente total. Por exemplo: $i' - i_2$ é positivo, logo o sentido final da corrente será o mesmo de i'.

O resultado final é:



É bem visível neste exemplo que os dois métodos são equivalentes - Leis de Kirchoff e Princípio da Sobreposição.