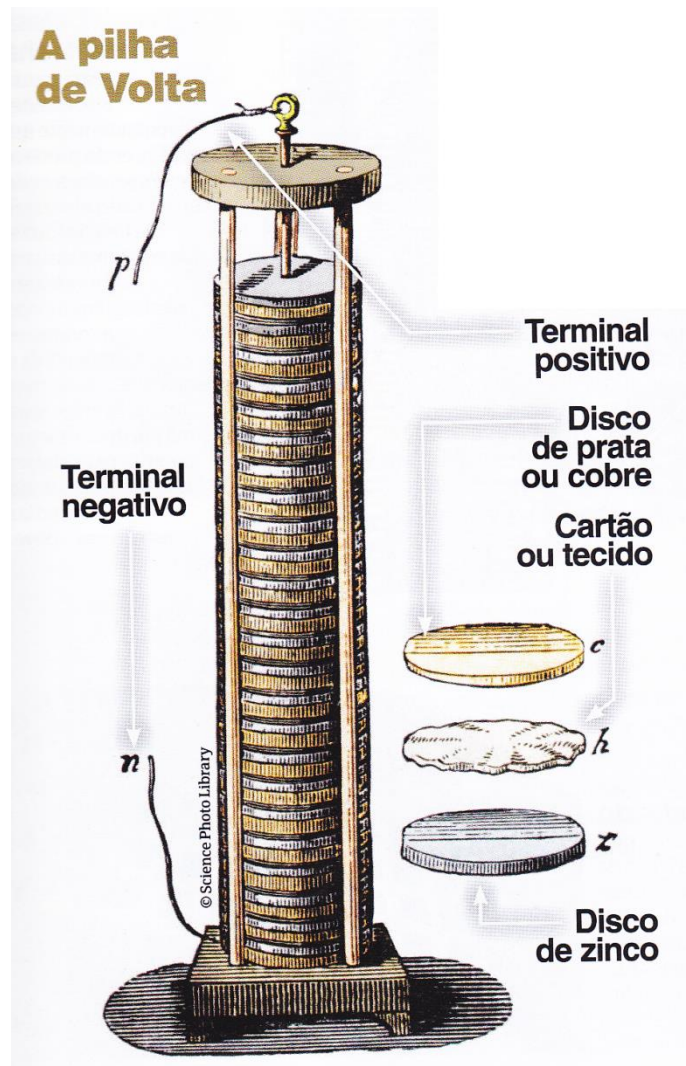


Geradores Elétricos e Potência

ELETRICIDADE ANIMAL E A PILHA DE VOLTA

O anatomista italiano Luigi Galvani publica um estudo em 1791 sobre a eletricidade animal, apesar de se tratar mais sobre estímulos da eletricidade nos músculos de animais.

Alessandro Volta, físico italiano, não acreditava muito na eletricidade animal, alegando ser algo relacionado aos materiais que estimulavam contrações nos músculos. Fundamentou sua tese na investigação de metais e líquidos, na tentativa de gerar uma eletricidade durável, um fluxo entre materiais sem qualquer vestígio biológico no circuito. O experimento com metais só veio a dar certo na utilização de uma solução líquida entre os metais (eletrólito):



Repetindo o processo com sucesso, Volta começou a repetir o uso de dois metais que envolviam disco de cartões ou tecidos que estavam umedecidos com as soluções. Os metais eram chamados de catodo e anodo, a seguinte tabela exemplifica grandes diferenças entre anodo e catodo:

Terminal	Catodo	Anodo
Pilha atuando como Receptor	Catodo é positivo e a corrente sai dele	Anodo é positivo e a corrente entra por ele
Pilha atuando como Gerador	Catodo é negativo e a corrente sai dele	Anodo é negativo e corrente entra nele
Elétrons	Receptor	Doador
Papel da Célula Eletrolítica	Reação de Redução (Ganho de Elétrons dos mais eletronegativos)	Reação de Oxidação (Perda de Elétrons para os mais eletronegativos)
Concentração de Íons	Cátions	Ânions

A oxidação e redução acontecem nos eletrodos durante o processo de carregamento elétrico (receptor) ou descarga elétrica (gerador). Na descarga, catodo tem o maior potencial que o anodo; no carregamento, o anodo tem maior potencial que o catodo (igual no diodo). Anodo, catodo e eletrólito podem ser feitos de vários materiais:

Anodo	Zinco, Latão
Catodo	Lítio, Cobre, Prata
Eletrólito	Água pura, salmoura, água com sal, solução alcalina, cartões com esses líquidos

Essa invenção é chamada de Pilha de Volta, o primeiro gerador químico que produz uma grande quantidade de eletricidade em um tempo razoavelmente longo.

Na Grécia Antiga relatavam-se eventos que ocorriam no contato de alguns peixes: dor na contração muscular, mal estar, perda de sentidos. Esses espasmos foram relacionados ao choque provocados pela garrafa de Leyden. Faraday se encarregou de comprovar tal eletricidade com um galvanômetro. Muitos peixes apresentam eletrócitos, que são semelhantes a pilha de volta, vários geradores em série (aumento de tensão) e em paralelo também

(aumento de corrente), canais são abertos dentro do peixe quando ele realiza o processo de descarga elétrica.

A eletricidade até então curiosidade científica, no entanto, após a invenção da pilha, essa área do conhecimento adquiriu um caráter mais tecnológico e contribuinte para a humanidade.

GERADORES QUÍMICOS E FORÇA ELETROMOTRIZ

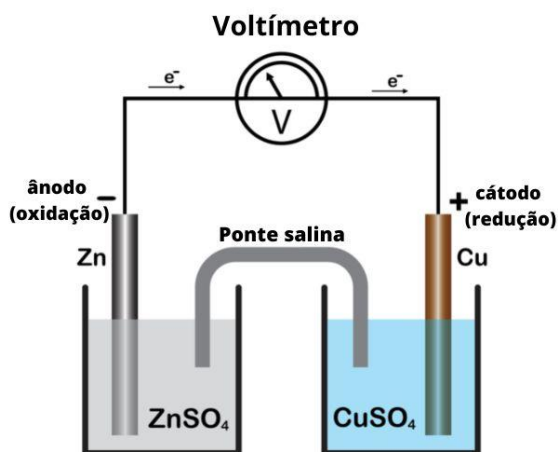
Geradores químicos são compostos de três elementos já citados anteriormente: eletrodos (dois metais diferentes) e o eletrólito (solução líquida).

Fontica: <https://vaiquimica.com.br/pilha-de-daniell/>

Ajuda Pacas:

<https://chemistry.stackexchange.com/questions/71731/why-is-mass-gained-at-the-cathode>

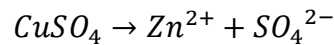
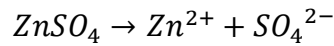
Como exemplo de gerador químico, tem-se a pilha de Daniell, um aprimoramento da Pilha de Volta, mais segura que tem como eletrodos placas metálicas parcialmente imersas nos eletrólitos, ligadas entre si com um fio condutor:



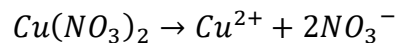
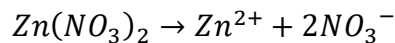
No esquema da pilha de Daniell, a pilha funciona como gerador:

- Ânodo é a placa de Zinco, de polaridade negativa, o Zinco perde elétrons por Oxidação, portanto, a corrente entra no terminal do ânodo.
- Cátodo é a placa de Cobre, de polaridade positiva, o Cobre recebe os elétrons por Redução, portanto, a corrente sai no terminal do cátodo.

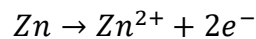
- No caso dos eletrólitos, correspondem à Sulfato de Zinco e Sulfato de Cobre, que apresentam em forma dissociada (dissociação iônica) em solução aquosa.
- Portanto, no começo do processo, têm-se íons na solução aquosa:



- Se fosse com nitrato de zinco/cobre, é bem semelhante:



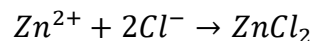
- Conforme a tabela de eletronegatividade (afinidade com que um átomo tem de receber elétrons) é notável que nesse aspecto: $Cu > Zn$. Assim, o cobre se comporta como agente redutor (sofre redução, recebe elétrons), e o zinco como agente oxidante (sofre oxidação, perde elétrons).
- Durante o processo de oxidação, zínco da placa se tornam cátions:



- Esses cátions agora participam da composição da solução ao invés de integrar parte da placa, decorrente da reação que ocorre com o “sulfato de zinco” (cátion de zinco no líquido) com ponte salina, que também é dissociada ionicamente.
- A ponte salina se dissocia:

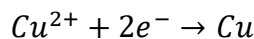


- Com o cloro se recombinando com Zn^{2+} da solução.

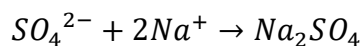


- Assim, reduzindo a quantidade de Zn .
- Depois de abordada a trajetória de Zn^{2+} , agora a outra parte da oxidação é mais relevante, os $2e^-$ de cada átomo de zinco passam por um condutor até a placa metálica, por meio da condução do próprio cobre, que realizará a reação química não

com a placa, mas sim o a própria solução de sulfato de cobre ($CuSO_4$).



- Cátions do próprio eletrólito que sofrem redução, recebendo elétrons, enquanto a outra parte de sulfato se recombina com o cátion de sódio, da ponte salina.



- A lentidão desse processo permite circulação de corrente elétrica por um tempo razoável.
- Também é possível fazer esse processo sem ponte salina, na mesma solução, que seria no ácido sulfúrico (H_2SO_4).
- Nesse caso, as duas placas se dissolveriam em forma de íons, porém como a solubilidade de zinco é maior que cobre, a relação de oxidante e redutor se manteria. Mais zínco se dissolvendo significa que o terminal de Zinco tem potencial mais negativo que o de Cobre, assim, garantindo um fluxo de eletricidade pelo cobre.
- Fonte bacano: https://en.wikipedia.org/wiki/Solubility_chart

A propriedade dos geradores químicos é a de produzir corrente elétrica, quantidades contínuas e uniformes de cargas, assim, formulou-se um conceito tal como grandeza física: força eletromotriz.

A nomenclatura força não é exatamente adequada, consequência da falta de distinção entre energia e força, tal como falta de conhecimento da eletricidade e geradores elétricos.

Considerando um campo elétrico que um gerador produz, um elétron é acelerado, e apresenta a velocidade de drift. Eles partem do terminal de maior potencial do gerador, passam por condutores colidindo com a estrutura dos condutores (dissipação de energia em Efeito Joule) e chegam ao terminal de menor potencial. A força eletromotriz é a responsável por fazer com que o elétron consiga passar do terminal negativo para o positivo dentro do gerador, um exemplo seriam as baterias feitas de ácido, que os elétrons circulam em seu interior pelo mecanismo de difusão do ácido. Por outra óptica, a força

eletromotriz aumenta o potencial dos elétrons, que decai e dissipa-a conforme eles fluem pelo circuito, assim, quanto maior o trabalho dessa força, mais cargas são movidas para o circuito. Assim, a força eletromotriz é a constante de proporcionalidade da razão entre o trabalho de elevar o potencial dos elétrons e a quantidade de cargas movidas para o circuito:

$$[V]_{\varepsilon} = \frac{\tau [J]}{q [C]}$$

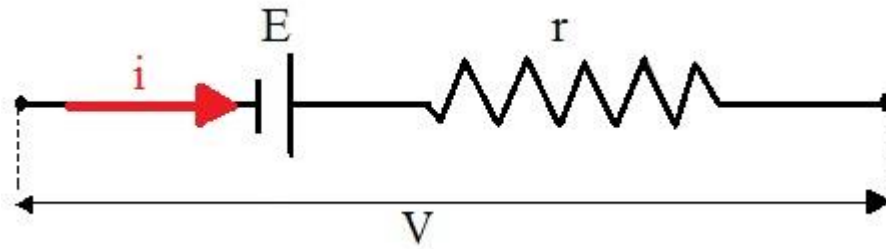
A sua unidade explicita a inadequação do termo força, apesar de ser utilizada como convenção estabelecida pela tradição. Não mensurada em Newtons, não é uma força, mas sim a razão entre trabalho e carga. Esta grandeza está associada à força pelo estabelecimento da tensão entre os terminais do gerador, que gera um campo elétrico estacionário, capaz de acelerar as partículas (conseqüência de força elétrica).

Por outro lado, diferença de potencial elétrico se associa ao mínimo trabalho realizado, sendo meramente uma relação de realizar um trabalho em uma carga que percorre de um ponto A para um ponto B. Diferenças substanciais:

- Força eletromotriz corresponde à energia dada à determinada quantidade de cargas. Enquanto tensão é a quantidade de energia dada a um Coulomb para percorrer do ponto A para um ponto B.
- Força eletromotriz é um conceito independente ao circuito elétrico, enquanto tensão está totalmente vinculada aos componentes de um circuito elétrico.
- Força eletromotriz fornece energia para o circuito. A tensão corresponde a quantidade de energia (trabalho) gasta entre dois pontos do circuito.
- Força eletromotriz se relaciona unicamente à geradores, enquanto a tensão qualquer componentes pode ter entre seus terminais, inclusive elementos passivos.

EQUAÇÃO DO GERADOR

O gerador elétrico corresponde à seguinte simbologia:



Por meio de sua notação, é possível notar alguns elementos:

- I corrente elétrica que circula pelo gerador
- R resistência elétrica interna ao gerador
- ε força eletromotriz responsável por elevar o potencial do circuito
- V diferença de potencial entre os terminais do gerador

A simbologia ressalta elementos justificativos, a fonte de tensão presente no gerador como traços paralelos de tamanho diferente corresponde aos terminais positivo e negativo, sendo o traço menor o negativo e o maior o positivo. Isso significa que, segundo a convenção de corrente elétrica, as cargas que chegam ao terminal negativo já estão no fim de sua trajetória, tal como sua energia cinética está decaindo, apesar disso, tudo muda após passar pela fonte de tensão que eleva seu potencial (fornecem energia potencial às cargas pelo seu trabalho) e as cargas saem pelo terminal positivo com energia suficiente para percorrer o circuito novamente até chegar ao terminal negativo novamente. O sentido dos traços verticais indica onde a corrente entra nas fontes de tensão (terminal negativo).

Para a plena condução de eletricidade em um circuito, além de atravessar a fonte, eles devem superar a própria resistência do gerador, como ocorre em qualquer condutor.

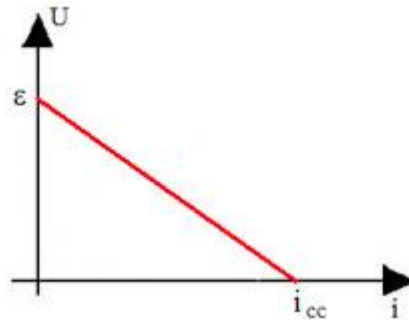
Com todas as afirmativas acima, é possível concluir uma relação entre V e ε por meio do que ocorre no resistor interno ao gerador, pela Lei de Ohm.

$$R = \frac{V_R}{I}$$

Assim, a tensão entre os terminais do gerador corresponde à elevação de potencial ε e a tensão existente entre os terminais do resistor V_R . Adotando a convenção positiva para elevação de potencia e negativa para as quedas de potencial, tem-se:

$$\boxed{V = \varepsilon - V_R} \vee \boxed{V = \varepsilon - R \cdot I}$$

Considerando $\varepsilon = k$ e $R = k$ (constantes), a equação de $V = f(I)$ corresponde a uma equação linear (reta decrescente), que salienta elementos importantes do comportamento do gerador:



A tensão máxima entre os terminais do gerador corresponde ao gerador em aberto (não conduz eletricidade), pois:

$$\boxed{V_R = R \cdot I} \wedge \boxed{I = 0A} \rightarrow \boxed{V_R = 0V} \therefore \boxed{V = \varepsilon}$$

Assim, a tensão do gerador é correspondente ao valor da força eletromotriz.

A corrente máxima que circula pelo gerador corresponde ao gerador funcionamento como um curto, sua tensão é nula e comporta-se igual ao fio condutor. Geralmente isto ocorre quando se liga um gerador só a fios condutores, na prática, o gerador é danificado e suas estruturas queimam.

$$\boxed{V = \varepsilon - R \cdot I} \wedge \boxed{V = 0V} \rightarrow \boxed{0 = \varepsilon - R \cdot I} \therefore \boxed{I = \frac{\varepsilon}{R}}$$

POTENCIA E RENDIMENTO DO GERADOR

Todo sistema físico tem perdas, assim como os elétricos, consequência da Segunda Lei da Termodinâmica. Para calcular seus valores, adota-se o conceito de potência elétrica:

$$\boxed{P = V \cdot I}$$

Notando que a igualdade da expressão do gerador corresponde a tensão elétrica, é possível multiplicar a expressão por I .

Já que (*tensão*) $V = \varepsilon - R \cdot I$ (*tensão*):

$$P = V \cdot I = (\varepsilon - R \cdot I) \cdot I$$

$$P = \varepsilon \cdot I - R \cdot I^2$$

A expressão é separável em 3, sendo diferentes tipos de potência, conceitualmente, conforme cada um foi designada. A potência $V.I$ é chamada útil, pois essa potência que será entregue as componentes do circuito ao qual o gerador está conectado:

$$P_U = V.I$$

A potência $R.I$ corresponde a potência do resistor interno ao gerador, é dissipada em calor como qualquer resistor realiza por efeito joule, por conta desse comportamento dissipativo, é chamada potência dissipada.

$$P_D = R.I^2$$

A última potência corresponde a potência total do circuito, a potência relacionada ao trabalho que a força eletromotriz fornece ao gerador, internamente e externamente (para fluir pelo circuito e pelo resistor interno).

$$P_T = \varepsilon.I$$

Completando a expressão do gerador como potências (produto com a corrente), tem-se:

$$P_U = P_T - P_D$$

O rendimento corresponde a tudo de útil que o gerador pode fornecer, sendo a razão entre a potência útil e a total, geradores eficientes tem sua potência útil bem próxima à total.

$$\eta = \frac{P_U}{P_T} = \frac{V.I}{\varepsilon.I} = \frac{V}{\varepsilon}$$

Outra interpretação do circuito seria, o quanto da tensão do gerador corresponde a força eletromotriz, no que diz respeito à, quanto de trabalho é designado apenas para cargas passarem pela resistência interna do gerador, idealmente, ele nem deveria ter resistência interna.

CIRCUITOS ELÉTRICOS

Já foi abordado como a energia elétrica se manifesta por meio da corrente elétrica e como mantê-la duradoura; assim, vincula essa ideia ao conceito de utilidade do trabalho que essas cargas elétricas realizam em ciclos, semelhante ao das máquinas térmicas. No contexto da eletricidade, é chamado de circuito elétrico.

A análise primordial desses circuitos é em corrente contínua:

- Polaridade fixa da fonte;

- Valores fixos de tensão e corrente de alimentação.

Esses circuitos contam com geradores elétricos, receptores elétricos, resistores, medidores elétricos, chaves e fusíveis (abordados minuciosamente nesse tópico).

Receptores:

- Denominação genérica para componentes que não convertem a energia puramente em térmica: motores elétricos, eletrodomésticos, aparelhos de áudio/vídeo, computadores, etc...
- Semelhante ao caso dos geradores, a conversão de energia elétrica E_E em outra modalidade de energia E_X também se traduz numa relação matemática, que seria o trabalho executado por essa nova modalidade de energia em relação a quantidade de elétrons/cargas que fornecem essa energia, se chamando força contraeletromotriz:

$$[V]\varepsilon' = \frac{\tau [J]}{q [C]}$$

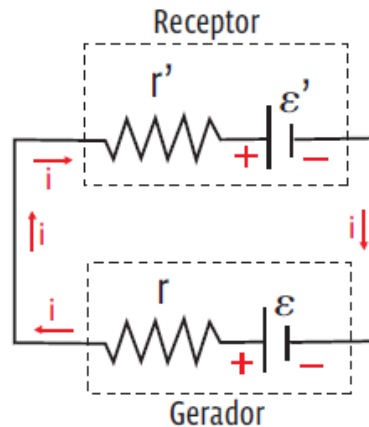
- A nomenclatura “força” é incoerente por se tratar de trabalho por unidade de carga. Apesar disso o prefixo “contra” é semanticamente apurado visto que no gerador, há trabalho aplicado nos elétrons, enquanto no receptor, quem realiza o trabalho são os elétrons:
- Esquema do Gerador Elétrico:

$$\boxed{\text{Energia } (\varepsilon)} \rightarrow \boxed{\text{Aplicada em } (\tau)} \rightarrow \boxed{\text{Elétrons } (q)}$$

- Esquema Receptor Elétrico:

$$\boxed{\text{Elétrons } (q)} \rightarrow \boxed{\text{Converte } E_E \text{ em } (\tau)} \rightarrow \boxed{\text{Nova energia } E_X (\varepsilon')}$$

- Assim como o gerador, o receptor também apresenta resistência interna R' , a corrente diferentemente entra no terminal positivo, também indicando sua classificação como elemento passivo (polariza conforme a fonte):



- Como tanto sua resistência elétrica é passiva (entra corrente pelo terminal positivo) tal como sua fonte se comportando como elemento passivo, a tensão entre os terminais de um receptor corresponde à soma da contraeletromotriz e a tensão da resistência interna:

$$V = -\varepsilon' - R \cdot I$$

$$V = -(\varepsilon' + R \cdot I)$$

- Existe uma convenção relacionada às cargas, que quando elas recebem energia (o trabalho é exercido sobre elas), a relação de tensão é positiva, enquanto nos casos de perda de energia (elas exercem trabalho), a relação de tensão é negativa. É o que justificaria a tensão do gerador ser menor que sua eletromotriz, assim como o porquê da tensão ser negativa nos elementos passivos, finalizando com a reafirmação de conservação de energia.

$$P_{\text{FORNECIDA}} + P_{\text{DISSIPADA/CONVERTIDA}} = 0$$

$$V_{\text{FORNECIDA}} \cdot I - V_{\text{DISSIPADA/CONVERTIDA}} \cdot I = 0$$

- A relação das potências nos receptores corresponde ao módulo das seguintes expressões:

$$V \cdot I = -\varepsilon' \cdot I - R \cdot I^2$$

- Potência útil (conversão na energia desejada):

$$P_U = \varepsilon' \cdot I$$

- Potência dissipada (dissipação de energia em ondas sonoras/térmicas):

$$P_D = R \cdot I^2$$

- Potência total (somatório das energia convertidas da elétrica):

$$P_T = V \cdot I$$

- Relação entre potências:

$$P_T = P_U + P_D$$

- Por fim, a relação de rendimento

$$\eta = \frac{P_U}{P_T} = \frac{\varepsilon' \cdot I}{V \cdot I} = \frac{\varepsilon'}{V}$$

Medidores elétricos

- Restringe-se a explicação para os instrumentos mais usuais para as grandezas mais relevantes de um circuito elétrico: tensão e corrente.
- O amperímetro, como o nome sugere, é um instrumento de medida de corrente elétrica. Ele deve ser conectado em série ao ramo cuja corrente elétrica deseja ser mensurada, justamente para corrente atravessar o aparelho. Ele apresenta uma resistência interna baixa para não interferir na medição da corrente, pois:

$$\lim_{R \rightarrow 0} I(R) = \lim_{R \rightarrow 0} \frac{V}{R_{eq} + R} = \frac{V}{R_{eq}}$$

- A resistência interna alta interferiria no valor da corrente quanto tem um amperímetro conectado ou não, assim, sua resistência é projetada para ser mínima, de modo a ser desprezível nos cálculos.
- O volímetro, sugestivamente, é um instrumento de medida de tensão, devem ser conectados seus terminais em pontos diferentes, de preferência pontos de potenciais elétricos distintos, para obter um valor diferente de 0V. Regularmente, utiliza-se o

voltímetro em paralelo aos componentes que deseja medir a tensão deles, em casos de necessidade de testar continuidade ou tensão nodal, conecta-se um terminal ao nó de interesse e o outro liga-se ao terra (GND), ou nó de referência 0V.

Independentemente, o voltímetro em ambos os casos fica em paralelo à tensão de medição, e para que não interfira nos valores do circuito, deve possibilitar o mínimo de passagem de corrente em si, portanto, sua resistência interna deve ser o quão maior possível.

$$\lim_{R \rightarrow \infty} I(R) = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{V}{R} = 0A$$

- Idealmente, amperímetros deveriam ter resistência nula e os voltímetros resistência infinita.
- Um caso particular dos amperímetros é o galvanômetro, usualmente utilizado para detectar corrente de pequena magnitude (ordem de micro-ampères), eles detectam o sentido da corrente também. Sua aplicação é usual para detectar correntes indesejadas em certos ramos.

Elementos do Controle

- A chave é um componente que permite ou não a condução de corrente elétrica conforme um acionamento mecânico. Há diversos tipos:
 - Chave simples: liga ou desliga circuito
 - Chave inversora: inverte o sentido de circulação de corrente.
 - Chaves paralelas: alternam passagem de corrente entre dois ramos.
- Fusíveis e Disjuntores são dispositivos de segurança, são classificados conforme sua corrente nominal, valor máximo e limite de corrente elétrica, cessam ligação com o circuito que extrapolar o valor máximo de corrente (deixam em aberto).

- O fusível em particular, funciona a base de efeito Joule, é um material condutor dimensionado para fundir no caso de atingir o valor limite de corrente
- A interrupção da circulação de corrente por efeito magnético é usual para disjuntores, tal como relés e chaves magnéticas. No caso do disjuntor, quando flui uma corrente mais intensa que a nominal, uma bobina interna ao disjuntor é responsável por criar um efeito de campo magnético sobre um pistão metálico, este sendo responsável em desarmar mecanicamente o disjuntor.

Existem uma gama de componentes que podem ser estudados, como capacitores, indutores, diodos, transistores e circuitos integrados; porém a abordagem de cada um deles deve ser minuciosa pela grande quantidade de informações e complexidade matemática de suas grandezas.

MATEMÁTICA DE CIRCUITOS DC

O estudo dos circuitos elétricos se baseia na variação de potencial que as cargas têm ao passar em diversos elementos, nesses casos: geradores, receptores e resistores.

Convencionalmente, geradores impõem a polaridade no circuito enquanto os elementos passivos (receptores e resistores) obedecem a essa polaridade.

Outra convenção é de que a polaridade oposta ao do gerador corresponde a tensões de valores negativos.

A seguinte notação genérica para circuito de geradores, receptores e resistores:

$$V_B - V_A = \sum \varepsilon - \sum \varepsilon' - I \cdot \sum (R + R_G + R_R)$$

$\sum \varepsilon$: contribuição da força eletromotriz de todos os geradores, todo o trabalho que eles imprimem nas cargas. Positivo pela convenção já explicada: cargas ganham energia.

$\sum \varepsilon'$: contribuição da força contraeletromotriz de todos os receptores, todo o trabalho que eles recebem das cargas. Negativo pela convenção já explicada: cargas perdem energia.

$\sum(R + R_G + R_R) \cdot I$: contribuição da tensão aplicada em cada resistor, interno ou externo, a energia das cargas é perdida e convertida na agitação térmica dos átomos da composição dos resistores, assim sendo negativo pela convenção: cargas perdem energia.

Exemplificação: Gerador em série a um resistor e um receptor, o trecho em que se encontram é entre os pontos A e B, sendo A à esquerda de B. Considerando que o terminal negativo do gerador está conectado ao ponto A, estando em série como resistor e o receptor, o resistor recebe polaridade positiva no terminal da esquerda, o mesmo para o receptor, assim, o terminal B tem o potencial menor que o A.

$$V_B - V_A = \varepsilon - \varepsilon' - (R + R_G + R_R) \cdot I$$

Ligando os pontos A e B, têm-se um circuito elétrico, no qual, a corrente circula da esquerda para a direita, apesar disso, isso não implica que $V_A > V_B$ pois dadas a condições ideais de circuito, a resistência de um fio condutor é bem desprezível (relevante em circuitos com fios condutores de escalas quilométricas), portanto, $V_A = V_B$. Assim:

$$V_A - V_B = 0$$

$$\boxed{0 = \varepsilon - \varepsilon' - (R + R_G + R_R) \cdot I} \therefore I = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{R + R_G + R_R}$$

Sendo válido o genérico, caso os receptores e geradores permaneçam nas mesmas polaridades:

$$I = \frac{\sum \varepsilon - \sum \varepsilon'}{\sum (R + R_G + R_R)}$$

Em casos em que o circuito não apresenta apenas um malha com os componentes em série, é possível aplicar relações em série e paralelo. Em caso de impossibilidade de simplificação, aplicam-se leis de Kirchhoff:

- Ramo corresponde a qualquer diferença de posição que há diferença de potencial também, a corrente em um ramo tem valor fixo, geralmente um ramo está entre dois nós.
- Nó é um ponto que une 3 ou mais ramos, a tensão nodal é fixa no nó.
- Malha é um caminho fechado que pode ser composto unicamente por ramos ou composto por nós e ramos.

A lei de Kirchhoff corresponde à duas leis:

- Lei dos nós: Toda a corrente que entra em um nó corresponde algebricamente às correntes que saem do nó.

$$\boxed{\sum I_{entra} = \sum I_{sai}} \vee \boxed{\sum I_{entra} + \sum I_{sai} = 0}$$

- Lei das Malhas: A tensão resultante em qualquer malha fechada corresponde a zero, portanto, toda a tensão fornecida ao circuito, deve ser distribuída pelos componentes da malha.

$$\boxed{\sum V_{fornecido} = \sum V_{consumido}} \vee \boxed{\sum V_{fornecido} + \sum V_{consumido} = 0}$$

- (Utilizar ilustrações das páginas 117 e 118 para ilustrar melhor os exemplos.

ASSOCIAÇÃO DE GERADORES

Semelhante ao processo aplicado para determinação de um resistor equivalente, as mesmas configurações paralelo ou série podem ser aplicadas aos geradores elétricos.

- Em série, a corrente que passa entre os geradores é a mesma, enquanto os valores de força eletromotriz e resistência correspondem a somatórios:

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_N$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N = \sum_{i=1}^N R_i$$

$$\varepsilon_{eq} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_N = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i$$

- Em paralelo, a tensão entre os terminais associados dos geradores é fixa, enquanto a corrente é amplificada decorrente da resistência reduzida na associação em paralelo:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_N = \sum_{i=1}^N I_i$$
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_N} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i}$$
$$V_{eq} = V_1 = V_2 = V_3 = \cdots = V_N$$

- Em termos tecnológicos, pode ser bem inviável sua utilização: essa associação gera circulação de corrente mesmo desligada de uma carga, consequência dos geradores funcionarem como elementos passivos. A própria associação gera consumo de energia elétrica.