

ELETRICIDADE BÁSICA

INTRODUÇÃO

Qualquer pessoa envolvida com manutenção de aeronaves está ciente do crescente uso da eletricidade nos sistemas modernos, e reconhece a importância do mecânico compreender os princípios da eletricidade.

A eletricidade, hoje, é extensamente usada nos sistemas de aeronaves, salientando a importância de um fundamento sólido de eletricidade para técnicos de célula e motopropulsão.

No estudo da física, a teoria do elétron foi introduzida para explicar a natureza essencial da estrutura da matéria.

Um exame mais detalhado desta teoria é necessário para explicar o comportamento do elétrons, bem como sua aplicação no estudo da eletricidade básica.

MATÉRIA

A matéria pode ser definida como algo que possui massa (peso) e ocupa espaço. Logo, matéria é alguma coisa que existe. Ela pode existir em forma de sólidos, líquidos ou gases.

A menor partícula de matéria, em qualquer estado ou forma que existe, possui sua identidade, é chamada de molécula.

Substâncias compostas por apenas um único tipo de átomo são chamadas de elementos, entretanto a maioria das substâncias existentes na natureza são compostas, isto é, são combinações de dois ou mais tipos de átomos. Água, por exemplo, é um composto de dois átomos de hidrogênio e um átomo de oxigênio.

Uma molécula de água é ilustrada na figura 8-1. Ela não teria mais características de água, se fosse composta por um átomo de hidrogênio e dois átomos de oxigênio.

O átomo

O átomo é considerado a parte constitutiva básica de toda matéria. É a menor partícula possível em que um elemento pode ser dividido conservando, ainda, suas propriedades químicas. Em sua forma mais simples, consiste em

um ou mais elétrons, orbitando velozmente em torno de um centro ou núcleos, também na maioria dos átomos.

O átomo não é visível, mesmo que colocássemos 200.000 deles lado a lado numa linha de uma polegada, ainda assim não poderíamos vê-los. Apesar disso, grandes conhecimentos sobre seu comportamento são obtidos através de testes e experiências.

O átomo mais simples é o de hidrogênio, que é formado por um elétron girando em torno de um próton, conforme mostrado na figura 8-2. Um átomo mais completo é o do oxigênio (veja figura 8-3), que consiste de oito elétrons girando em duas órbitas diferentes, em torno de um núcleo formado por oito prótons e oito neutrons.

Um elétron representa a carga elétrica negativa básica e, além disso, não pode ser dividido. Alguns elétrons são mais fortemente ligados ao núcleo do seu átomo do que outros, e giram em órbitas imaginárias mais fechadas e próximas do núcleo, enquanto outros orbitam seus núcleos mais livremente e distantes.

Estes últimos são chamados elétrons "livres", porque podem ficar livres com facilidade da atração positiva dos prótons (núcleo) para formar o fluxo de elétrons num circuito elétrico.

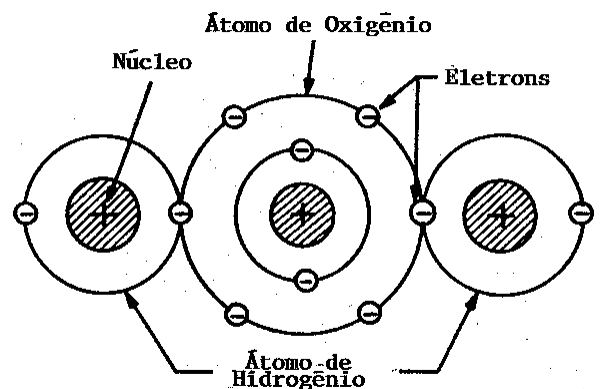


Figura 8-1 Uma molécula de água.

Os neutrons, no núcleo, não possuem carga elétrica. Eles não são positivos nem negativos, mas são iguais aos prótons em tamanho e peso. Como um próton pesa aproximadamente 1.845 vezes mais do que um elétron, o peso total de um átomo é determinado através da

quantidade de prótons e neutrons existentes no seu núcleo.

O peso do elétron não é considerado. Na verdade a natureza da eletricidade não pode ser definida claramente, porque não se tem certeza se o elétron é uma carga negativa desprovida de massa (peso) ou uma partícula de matéria com carga negativa.

A eletricidade é melhor compreendida pelo seu comportamento, que se baseia no papel da carga transportada pelo átomo. Quando a carga positiva total dos prótons, no núcleo, se equilibra com a carga total negativa dos elétrons em órbita, em torno do núcleo, diz-se que o átomo possui carga neutra.

Se um átomo tem escassez de elétrons, ou carga negativa, ele está carregado positivamente, e é chamado de íon positivo. Se ele possui um excesso de elétrons, diz-se que está carregado negativamente, e é chamado de íon negativo.

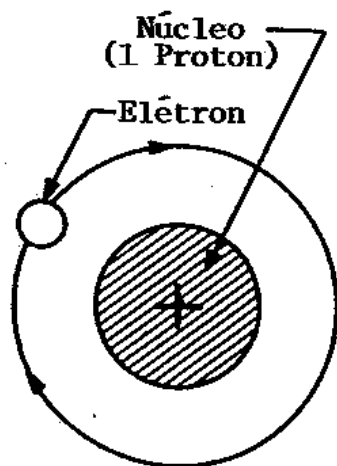


Figura 8-2 Átomo de hidrogênio.

Transferência de elétrons

Em condição de carga neutra, um átomo tem um elétron para cada próton existente no núcleo. Deste modo, o número de elétrons atrelados ao átomo configurarão os vários elementos, variando de 1, no caso do hidrogênio, até 92 para o urânio.

Os elétrons girando em torno do núcleo percorrem órbitas, chamadas camadas. Cada camada pode conter um certo número máximo de elétrons e, se tal quantidade for excedida, os elétrons excedentes serão obrigados a se transferirem para a camada mais alta (em relação ao núcleo), ou mais externa.

A camada mais próxima do núcleo pode conter no máximo dois elétrons. A segunda camada não mais do que oito elétrons; a terceira, dezoito elétrons; a quarta, trinta e dois; etc. Entretanto, é preciso observar que em alguns átomos, grandes e complexos, os elétrons podem estar dispostos nas camadas mais externas antes que algumas camadas internas estejam completas.

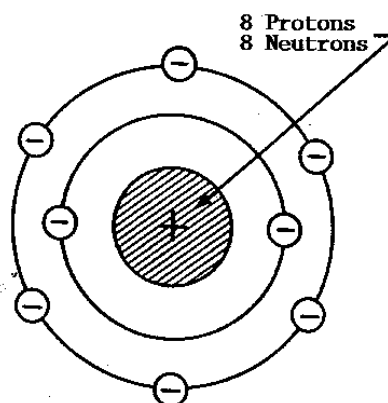


Figura 8-3 Átomo de Oxigênio.

ELETRICIDADE ESTÁTICA

A eletricidade é normalmente definida como sendo estática ou dinâmica. Como todos os elétrons são parecidos, tais palavras não descrevem de fato os diferentes tipos de eletricidade, distinguem, mais precisamente, elétrons em repouso ou em movimento.

A palavra estática significa "estacionária" ou "em repouso", e se refere à deficiência ou excesso de elétrons. Inicialmente pensava-se que eletricidade estática era eletricidade em repouso, porque a energia elétrica produzida por fricção não teria movimento.

Uma experiência simples, como passar um pente seco no cabelo, produz estalidos, indicando ocorrência de descarga estática, consistindo, pois na transferência de elétrons para o pente, como resultado da fricção.

A descarga é causada pelo rápido movimento na direção oposta (do pente para o cabelo), para equilibrar as cargas eventualmente. No escuro, há possibilidade de se enxergar pequenas centelhas correspondentes a essas descargas.

A eletricidade estática tem pouca utilidade prática e, freqüentemente, causa problemas. É difícil de controlar, e descarrega rapidamente.

Ao contrário, a corrente elétrica ou dinâmica é gerada e controlada facilmente, e supre energia para o trabalho do dia-a-dia.

Um resumo da teoria do elétrons ajuda a explicar a eletricidade estática. Todos os elétrons são semelhantes e repelem-se entre si, o mesmo ocorre com os prótons. Elétrons e prótons são diferentes e se atraem. Daí, a lei fundamental da eletricidade; Cargas iguais se repelem e diferentes se atraem.

Produção de eletricidade estática

Eletricidade estática pode ser produzida por contato, fricção ou indução. Como exemplo de fricção, uma vareta de vidro esfregada com pelica torna-se carregada negativamente, mas se esfregada com seda torna-se carregada positivamente. Alguns materiais que produzem eletricidade estática facilmente são flanela, seda, rayon (seda artificial), âmbar, borracha rígida e vidro.

Quando dois materiais são friccionados entre si, algumas órbitas de elétrons dos átomos de cada um podem se cruzar, ocasionando transferência de elétrons.

A transferência de elétrons se dá nas camadas ou órbitas externas do átomo, e são chamadas de elétrons livres.

Quando uma vareta de vidro é esfregada com seda, surgem elétrons ficando positivamente carregada. A seda se torna negativamente carregada, acumulando excesso de elétrons. A fonte destas cargas elétricas é a fricção.

Uma vareta de vidro carregada pode ser utilizada para carregar outras substâncias, por exemplo, se duas esferas maciças são penduradas, conforme mostrado na figura 8-4, e cada esfera é tocada com a vareta carregada, esta transfere alguma carga para as esferas.

As esferas então, passam a ter cargas similares e, conseqüentemente, repelem-se conforme mostrado na parte "B" da figura 8-4. Se uma vareta de plástico é esfregada com pelica, ela se torna negativamente carregada, e a pelica positivamente.

Tocando cada esfera com estas diferentes fontes de cargas, as esferas adquirem cargas contrárias e se atraem, como mostrado na parte "C" da figura 8-4.

Não obstante, muitos objetos se tornam carregados com eletricidade estática por meio de fricção. Uma substância carregada somente

pode afetar objetos próximos por contato. Isto está ilustrado na figura 8-5.

Se uma vareta carregada positivamente toca uma barra de metal descarregada, fluirão elétrons da barra descarregada pelo ponto de contato. Alguns elétrons passarão para a vareta, deixando a barra metálica com deficiência de elétrons (positivamente carregada), e tornando a vareta menos positiva do que estava ou, talvez, igualmente neutralizando sua carga completamente.

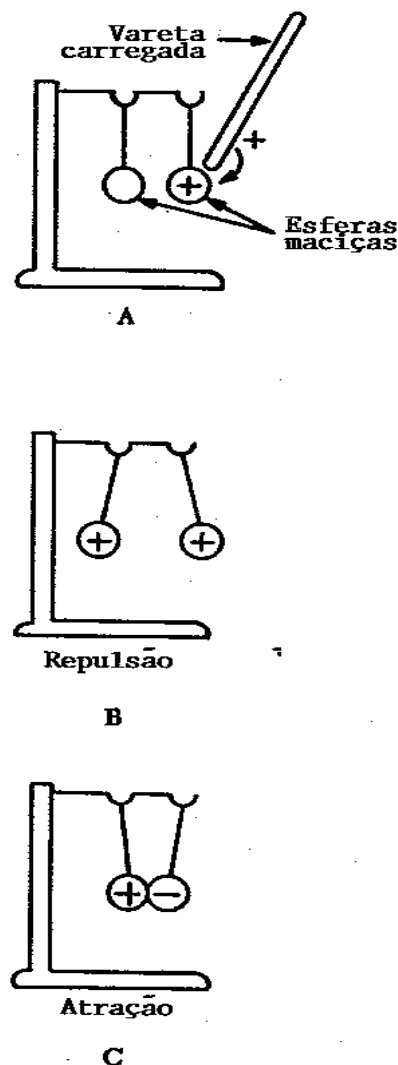


Figura 8-4 Reação de cargas iguais e desiguais.

Um método para carregar por indução uma barra metálica é demonstrado na figura 8-6. Uma vareta carregada positivamente é aproximada, mas não toca fisicamente uma barra de metal descarregada.

Os elétrons na barra metálica são atraídos para a extremidade mais próxima da vareta positiva, deixando a extremidade oposta da barra deficiente de elétrons.

Caso esta extremidade positiva seja tocada por um objeto neutro, elétrons fluirão para a barra metálica, neutralizando sua carga. A barra metálica é deixada com excesso de elétrons em toda a sua extensão.

Campo eletrostático

Existe um campo de força em torno de um corpo carregado. Esse campo é um campo eletrostático (às vezes chamado um campo dielétrico) e é representado por linhas estendendo-se em todas as direções a partir do corpo carregado, até onde houver uma carga oposta e com a mesma intensidade.

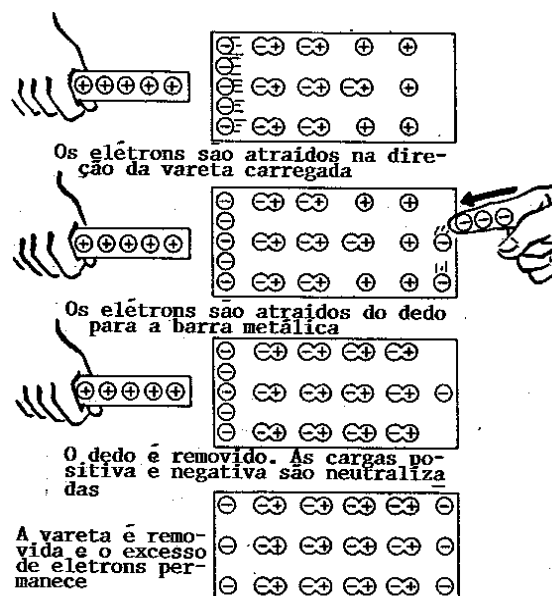


Figura 8-6 Carga de uma barra por indução.

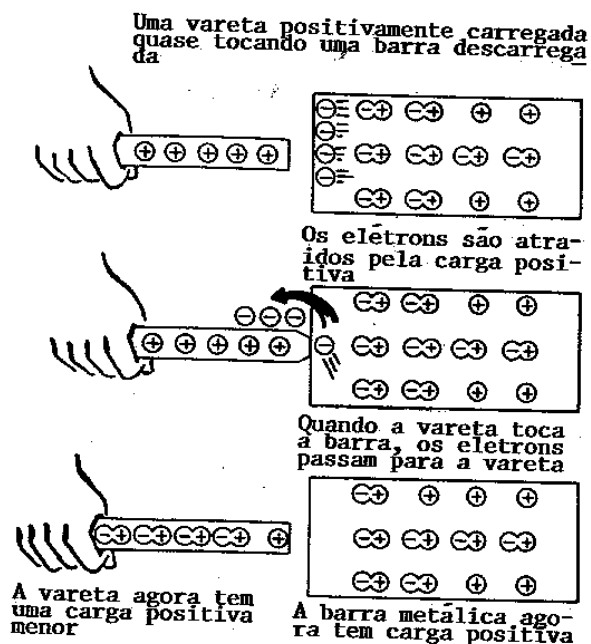


Figura 8-5 Carga por contato.

Para explicar a ação de um campo eletrostático, são empregadas linhas para representar a direção e a intensidade do campo de força elétrico.

Conforme ilustrado na figura 8-7, a intensidade do campo é indicada pela quantidade de linhas por área, e a direção é mostrada pelas setas sobre as linhas, apontando na direção em que uma pequena carga de teste poderia ou tenderia a mover-se, se afetada pelo campo de força.

Tanto uma carga de teste positiva ou negativa podem ser usadas, mas tem sido arbitrariamente consentido que uma pequena carga positiva será sempre usada na determinação da direção do campo.

Deste modo, a direção do campo em torno de uma carga positiva é sempre no sentido de afastamento a partir da carga, conforme mostrado na figura 8-7, porque uma carga positiva de teste seria repelida. Por outro lado, a direção das linhas no caso de uma carga negativa é em direção a esta carga, já que uma carga de teste positiva é atraída por ela.

A figura 8-8 ilustra campos em torno de corpos possuindo cargas iguais (+). São mostradas cargas positivas, mas fossem positivas ou negativas, as linhas de força se repeliriam entre os campos, se as duas cargas fossem iguais.

As linhas terminam sobre um objeto material, e sempre se estendem da carga positiva para a carga negativa. Estas linhas são imaginárias, usadas para mostrar a direção do campo de força.

É importante saber como uma carga é distribuída sobre um objeto. A figura 8-9 mostra um pequeno disco de metal sobre o qual uma carga negativa concentrada foi colocada.

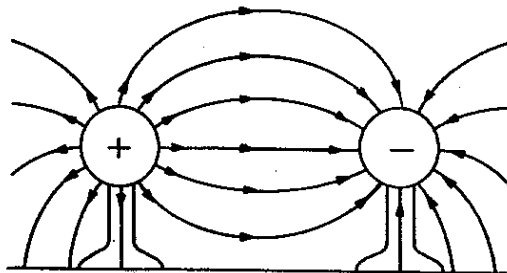


Figura 8-7 Direção de um campo elétrico em torno de cargas positivas e negativas.

Usando um detetor eletrostático, é possível mostrar que a carga é distribuída uniformemente sobre toda a superfície do disco.

Desde que o disco de metal proporcione resistência uniforme em todos os pontos de sua superfície, a repulsão mútua dos elétrons resultará numa distribuição equilibrada sobre toda a superfície.

Um outro exemplo, mostrado na figura 8-10, refere-se à carga em uma esfera oca. Apesar da esfera ser feita de material condutor, a carga é distribuída uniformemente por toda a superfície externa.

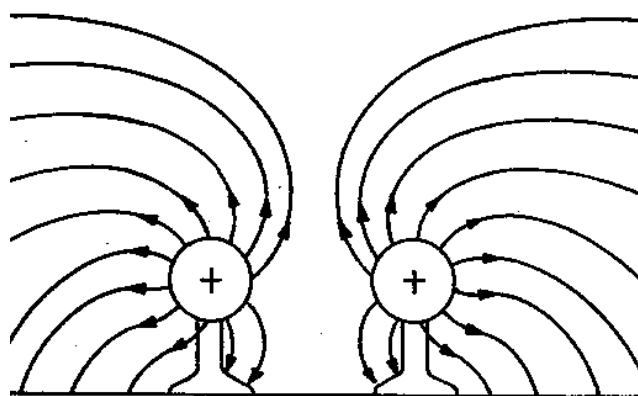


Figura 8-8 Campo em torno de dois corpos carregados positivamente.

A superfície interna é completamente neutra. Esse fenômeno é usado para proteger os operadores dos grandes geradores estáticos VAN DE GRAAFF.

A área de proteção para os operadores é dentro da grande esfera, onde são gerados milhões de volts.

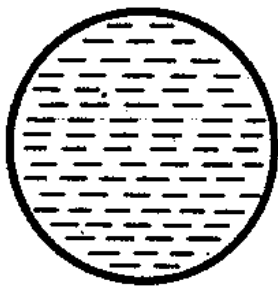


Figura 8-9 Distribuição uniforme da carga em um disco metálico.

A distribuição de carga num objeto de forma irregular é diferente da que ocorre no caso de um objeto de forma regular. A figura 8-11 mostra que a carga em objetos, deste modo,

não é distribuída uniformemente. A maior concentração de carga dá-se nas extremidades, ou áreas de curvatura mais acentuada.



Figura 8-10 Carga em uma esfera oca.

Os efeitos da eletricidade estática devem ser considerados na operação e manutenção de aeronaves.

A interferência estática nos sistemas de comunicação, e a carga estática criada pelo movimento da aeronave através da massa de ar, são exemplos dos problemas ocasionados pela eletricidade estática.

Peças da aeronave precisam ser "unidas" ou ligadas entre si para prover um caminho de baixa resistência (ou fácil) para a descarga estática, e o equipamento rádio precisa ser blindado.

Cargas estáticas precisam ser consideradas no reabastecimento da aeronave para prevenir possível ignição do combustível e, é necessário aterrar a estrutura da aeronave, tanto através de pneus condutores de estática, como através de fiação de aterramento.

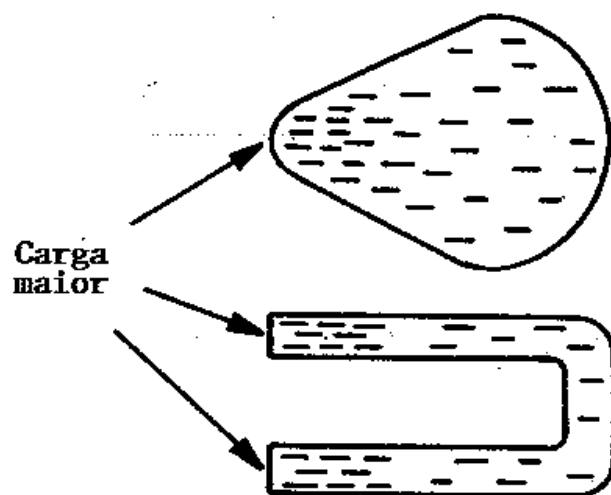


Figura 8-11 Carga em objetos de diferentes formatos.

FORÇA ELETROMOTRIZ

O fluxo de elétrons de um ponto negativo para um positivo é chamado de corrente elétrica; essa corrente flui por causa de uma diferença na pressão elétrica entre dois pontos.

Se um excesso de elétrons com carga negativa ocorre no final de um condutor, e uma deficiência de elétrons com carga positiva em outro, ocorre um campo eletrostático entre as duas cargas.

Os elétrons são repelidos do ponto carregado negativamente, e são atraídos pelo ponto carregado positivamente.

O fluxo de elétrons de uma corrente elétrica pode ser comparado ao fluxo d'água entre dois tanques interligados, quando existir diferença de pressão entre eles.

A figura 8-12 mostra que o nível d'água no tanque "A" é mais alto do que no tanque "B". Se a válvula que interliga os tanques for aberta, a água fluirá do tanque "A" para o tanque "B", até que o nível da água se torne igual em ambos os tanques.

É importante observar que não foi a pressão no tanque "A" que causou o fluxo d'água, mas foi a diferença de pressão entre os tanques que o fez.

Quando a água nos dois tanques está no mesmo nível, o fluxo cessa, porque não existe diferença de pressão entre eles.

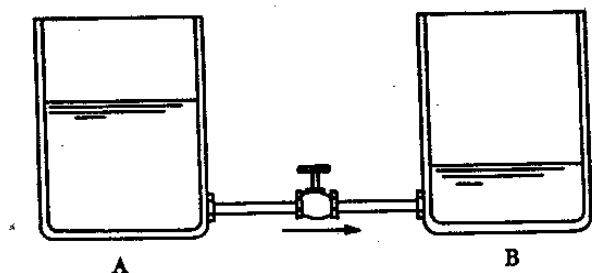


Figura 8-12 Diferença de pressão.

Essa comparação ilustra o princípio que causa o movimento dos elétrons, quando um caminho é disponível, de um ponto onde há excesso a outro onde há escassez de elétrons.

A força que provoca este movimento é a diferença potencial em entrega elétrica entre os dois pontos. Essa força é chamada de pressão elétrica ou diferença potencial ou força eletromotriz.

A força eletromotriz, abreviada f.e.m., provoca corrente (elétrons) em um caminho ou

circuito elétrico. A unidade de medida prática da f.e.m. ou diferença de potencial é o VOLT. O símbolo para f.e.m. é a letra maiúscula "E".

Se a pressão d'água no tanque "A" da figura 8-12 é 10 p.s.i. e no tanque "B" é de 2 p.s.i., existe uma diferença de 8 p.s.i.. Similarmente, pode-se dizer que uma força eletromotriz de 8 volts existe entre dois pontos elétricos. Como a diferença potencial é medida em volts, a palavra "voltagem" pode também ser usada para nomear quantidade de diferença potencial.

Assim, é correto dizer que a voltagem da bateria de certa aeronave é 24 volts, ou seja, uma outra maneira de indicar que a diferença potencial de 24 volts existe entre dois pontos conectados por um condutor.

Fluxo de corrente

A corrente elétrica é formada por elétrons em movimento. Essa corrente é normalmente referida como "corrente" ou "fluxo de corrente", não importando a quantidade de elétrons em deslocamento.

Quando o fluxo ocorre numa direção apenas, é chamado de corrente contínua. Posteriormente, no estudo dos fundamentos de eletricidade, a corrente que se inverte periodicamente será discutida. Agora, será abordada apenas a corrente contínua.

Como uma corrente elétrica consiste de variada quantidade de elétrons, é importante saber o número de elétrons fluindo num circuito em determinado tempo. A carga acumulada de 6,28 bilhões de bilhões de elétrons é chamada de um Coulomb.

Quando esta quantidade de elétrons flui através de um determinado ponto em um circuito, é dito que um ampère de corrente passa por ele.

O fluxo de corrente é medido em ampères ou partes de ampères, por um instrumento chamado amperímetro.

O símbolo empregado para representar corrente em fórmulas ou esquemas é a letra maiúscula "I", que representa a intensidade do fluxo de corrente.



Figura 8-13 Movimento dos elétrons.

O impulso dos elétrons livres não deve ser confundido com o conceito de fluxo de corrente que diz respeito à velocidade da luz.

Quando uma voltagem é aplicada em um circuito, os elétrons livres percorrem pequena distância até colidirem com átomos. Essas colisões, normalmente, deslocam outros elétrons livres de seus átomos, e esses elétrons se movimentam na direção do terminal positivo do condutor, colidindo com outros átomos, assim deslocando-se com relativa e reduzida razão de velocidade.

Para se compreender o efeito de velocidade quase instantânea da corrente elétrica, basta uma visualização do longo tubo repleto de bolas de aço, conforme mostrado na figura 8-13.

Pode-se ver que cada bola introduzida na extremidade de entrada do tubo, que representa um condutor, causará imediatamente a expulsão da bola que estiver posicionada na extremidade oposta.

Desta forma, se o tubo for suficientemente comprido, esse efeito ainda poderá ser observado como instantâneo.

RESISTÊNCIA

A propriedade de um condutor de eletricidade que limita ou restringe o fluxo de corrente elétrica é chamada de resistência. É necessária pressão elétrica para superar essa resistência, que nada mais é do que a força de atração mantendo os elétrons em suas órbitas. Os materiais usados na fabricação de condutores, usualmente na forma de fios extrudados, são materiais que oferecem diminuta resistência ao fluxo de corrente.

Embora fios de qualquer medida ou valor de resistência possam ser usados, a palavra "condutor", normalmente, se refere a materiais que oferecem baixa resistência ao fluxo de corrente, e a palavra isolador nomeia materiais que oferecem alta resistência para a corrente elétrica.

Não existe distinção completamente definida entre condutores, sob condições adequadas, todos os tipos de material conduzem alguma corrente.

Materiais oferecendo alguma resistência para o fluxo de corrente, intercalados com os melhores condutores e os piores (isoladores), são, às vezes, referidos como "semicondutores" e encontram sua melhor aplicação no campo dos

transistores. Os melhores condutores são materiais, principalmente metais, que possuem um grande número de elétrons livres; contrariamente, isolantes são materiais possuindo poucos elétrons livres.

Os melhores condutores são prata, cobre, ouro e alumínio, mas materiais não-metálicos, como o carbono e a água podem ser usados como condutores.

Materiais como borracha, vidro, cerâmica, sendo maus condutores, são normalmente usados como isoladores. O fluxo de corrente em alguns desses materiais é tão pequeno, que nem é considerado.

A unidade empregada para medir resistência é chamada Ohm. O símbolo desta unidade é a letra grega ÔMEGA (Ω).

Nas fórmulas matemáticas a letra "R", refere-se a resistência. A resistência de um condutor, e a voltagem aplicada a ele determinam a quantidade de ampères (corrente) fluindo através desse condutor. Assim, 1 Ohm de resistência limitará o fluxo de corrente em 1 ampère, num condutor ao qual seja aplicada a voltagem de 1 volt.

Fatores que afetam a resistência

Dentre os quatro fatores mais importantes que afetam a resistência de um condutor, um dos mais considerados é o tipo de material do condutor.

Foi destacado que certos metais são comumente usados como condutores por causa da abundância de elétrons livres em suas órbitas externas.

O cobre é considerado o melhor material condutor disponível, tendo em vista que um fio de cobre com determinado diâmetro oferece menor resistência ao fluxo de corrente do que um fio de alumínio com o mesmo diâmetro. Entretanto o alumínio é mais leve do que cobre e, por esta razão o alumínio é freqüentemente utilizado, quando o fator peso é importante.

Um segundo fator de resistência é o comprimento do condutor. Quanto mais comprido, maior a sua resistência.

A figura 8-14 apresenta dois condutores de diferentes comprimentos. Se 1 volt de pressão elétrica for aplicado através das duas extremidades do condutor que tem 1 pé (304,799 mm) de comprimento e a resistência ao movi-

mento de elétrons livres é supostamente 1 ohm, o fluxo de corrente fica limitado em 1 ampère.

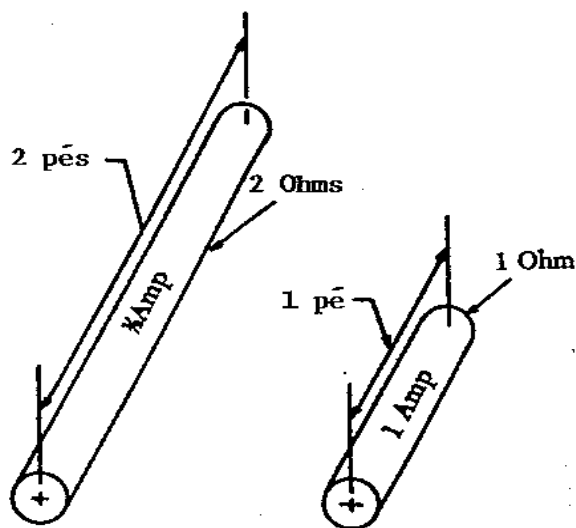


Figura 8-14 Variação da resistência com o comprimento do condutor.

Se o mesmo condutor tiver seu comprimento duplicado e a mesma voltagem aplicada (1 volt), agora a resistência encontrada é dobrada, conseqüentemente o fluxo de corrente fica reduzido à metade.

O terceiro fator que afeta a resistência de um condutor é a área da seção transversal, ou a superfície de sua extremidade. Essa área pode ser triangular e até mesmo quadrada, mas normalmente é circular.

Se a área de seção transversal de um condutor é dobrada, sua resistência ao fluxo de corrente é reduzida a metade. Isto é verdadeiro porque implica no aumento da área em que um elétron pode se deslocar sem colisão ou sem ser capturado por outro átomo. Deste modo, a resistência varia inversamente em relação a área da seção transversal de um condutor.

Para comparar a resistência de um condutor com um outro, tendo uma área de seção transversal maior, precisa ser estabelecido um padrão unidade e dimensões do condutor. A melhor unidade de medição do diâmetro do fio é o MIL (0,001 de uma polegada). A melhor unidade de medição do comprimento do fio é o "Pé". Usando esses padrões a unidade das dimensões será MIL-PÉS.

Então, um fio terá uma dimensão padrão se tiver 1 mil de diâmetro e 1 pé de comprimento. A especificação, em ohms, da unidade de condução de um certo material é chamada de

resistência específica ou resistividade específica da substância.

Um mil quadrado é uma unidade adequada para condutores quadrados ou retangulares. Um mil quadrado é uma área de um quadrado com cada lado medindo 1 MIL.

Para calcular a área de uma seção transversal de um condutor, em MILS quadrados, o comprimento em MILS de um dos lados é elevado ao quadrado.

No caso de um condutor retangular, o comprimento de um dos lados é multiplicado pelo comprimento de outro lado. Por exemplo, uma barra retangular comum (grande, condutor especial) tem a espessura de 3/8 da polegada e 4 polegadas de extensão. A finura de 3/8 polegada pode ser expressa como 0,375 polegadas. Como 1000 MILS equivale a 1 polegada, o comprimento em polegadas pode ser convertido para 4000 MILS. A área da seção transversal do retângulo condutor é $0,375 \times 4.000$ ou 1.500 MILS quadrados.

O condutor circular é mais comum do que os de forma quadrada e retangular. Devido aos diâmetros dos condutores circulares serem medidos somente em frações da polegada é conveniente expressar esses diâmetros em MILS para evitar o uso de decimais.

O MIL circular é a unidade padrão da área da seção transversal do fio, usada na América e nas tabelas de fios Inglesas. Então, o diâmetro de um fio que tem 0,025 polegadas pode ser convenientemente escrito como 25 MILS. A figura 8-15 ilustra um circuito que tem um diâmetro de 1 MIL. A área em MIL circular é obtida, elevando-se ao quadrado a medida do diâmetro em MILS. Então, um fio com diâmetro de 25 MILS tem uma área de 25 ao quadrado ou 25×25 ou 625 MILS circular.

Comparando condutores quadrados e circulares, deve ser observado que o MIL circular é uma unidade de área menor do que um MIL quadrado. Para determinar a área em MIL circular quando a área em MIL quadrada é conhecida a área em MIL quadrada é dividida por 0,7854. Inversamente, para encontrar a área em MIL quadrado, quando o MIL circular é conhecido, a área em MIL circular é multiplicada por 0,7854.

Os fios são fabricados em dimensões numeradas de acordo com uma tabela conhecida como "*American Wire Gage*" (AWG). Os diâmetros de fio se tornam cada vez menores quan-

quando os números da espessura aumentam. Nessa tabela está disponível, como referência para os técnicos de aviação, não somente as dimensões do fio, como também a resistência e a área da seção transversal.

O último fator importante que influencia a resistência de um condutor é a temperatura. Embora algumas substâncias como o carbono apresentem diminuição em resistência, acompanhando elevação de temperatura ambiente, o maior porte dos materiais usados como condutores tem sua resistência aumentada conforme aumenta a temperatura. A resistência de poucas ligas, como *constantan* e *manganin*, muda muito pouco com as mudanças de temperatura ambiente.

A quantidade de aumento na resistência de uma amostra de condutor de 1 ohm por grau de elevação de temperatura acima de 0° centígrado, o padrão estabelecido, é chamado de coeficiente térmico de resistência. Este valor modifica-se para cada metal. Por exemplo, para o cobre o valor é aproximadamente 0,00427 ohm. Deste modo, um fio de cobre possuindo uma resistência de 50 ohm a uma temperatura de 0°C, terá um aumento em resistência de $50 \times 0,00427$, ou 0,214 ohm, por cada grau de elevação na temperatura acima de 0°C.

O coeficiente térmico de resistência precisa ser considerado quando existe apreciável mudança de temperatura de um condutor durante a operação. Existem tabelas listando coeficientes térmicos de resistência para os diferentes materiais.

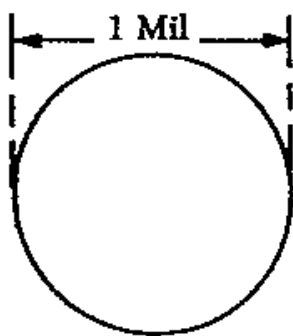


Figura 8-15 Mil circular.

COMPONENTES E SÍMBOLOS DE CIRCUITO BÁSICO

Um circuito elétrico consiste de: (1) uma fonte de pressão elétrica ou F.E.M.; (2) resistên-

cia na forma de um dispositivo de consumo elétrico; e (3) condutores, normalmente fio de cobre ou alumínio que representam o caminho para o fluxo dos elétrons do lado negativo da fonte de força, através da resistência retornando para o lado positivo.

A figura 8-16 é uma representação ilustrada de um circuito prático.

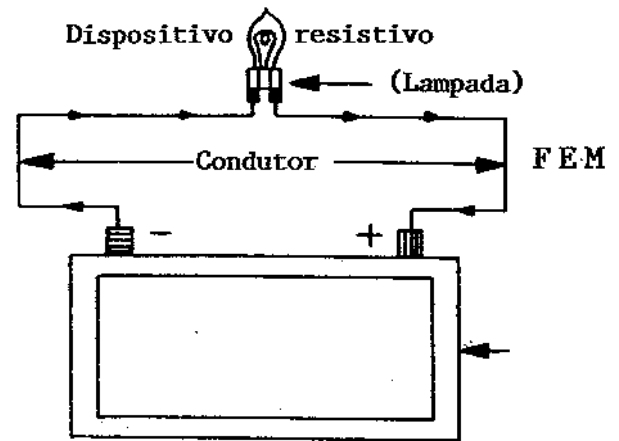


Figura 8-16 Um circuito prático.

Esse circuito contém uma fonte de F.E.M. (bateria de acumuladores), um condutor para permitir o fluxo de elétrons do terminal negativo para o positivo da bateria e um dispositivo de dissipação de força (lâmpada) para limitar o fluxo de corrente.

Sem qualquer resistência no circuito, a diferença de potencial entre os dois terminais seria neutralizada muito rapidamente ou o fluxo de elétrons tornar-se-ia tão violento que o condutor ficaria superaquecido e se queimaria.

Ao mesmo tempo em que a lâmpada funciona como resistência de limitação da corrente, ela também cumpre a desejada função de iluminar.

A figura 8-17 é uma representação esquemática da figura 8-16, e apresenta símbolos, substituindo as figuras representativas dos componentes do circuito.

Todos os componentes utilizados em circuitos elétricos são representados em desenhos, plantas elétricas e ilustrações esquemáticas por símbolos.

Os componentes comumente usados nos circuitos básicos, juntamente com seus símbolos esquemáticos, são aqui discutidos para prover o necessário suporte para interpretação dos diagramas de circuito.

Fonte de força

A fonte de força ou força aplicada, para um circuito pode ser qualquer uma das fontes comuns de f.e.m., como uma fonte mecânica (gerador), uma fonte química (bateria), uma fonte fotoelétrica (luz) ou uma fonte térmica (calor). A figura 8-18 ilustra dois símbolos esquemáticos referentes a um gerador.

A maior parte dos componentes elétricos possui apenas um símbolo; entretanto, no caso do gerador e de outros, mais de um símbolo foi criado para representar um mesmo componente elétrico. Esses símbolos são muito parecidos em desenho.

A figura 8-18 ilustra que os dois símbolos para um gerador são tão parecidos que a chance para confusão é mínima.

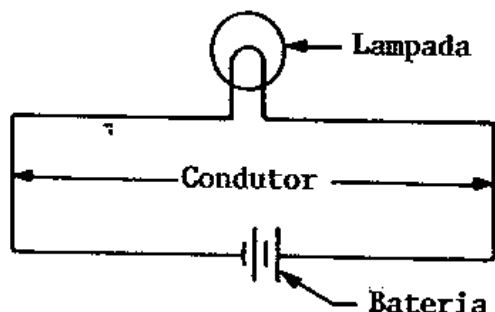


Figura 8-17 Componentes de um circuito representados por símbolos.

Uma outra fonte comum para a voltagem aplicada a um circuito é a bateria, uma fonte de força química. A figura 8-19 mostra símbolos para uma bateria de célula única e uma bateria de três células.

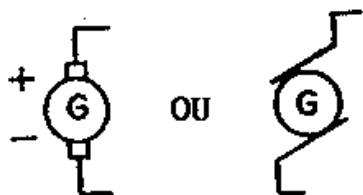


Figura 8-18 Símbolos para um gerador de corrente contínua.

Referente a símbolos de baterias, usados em diagramas esquemáticos, são verdadeiras as seguintes afirmativas (ver figura 8-19).

1. A linha vertical mais curta representa o terminal negativo.
2. A linha vertical mais longa é o terminal positivo.
3. As linhas horizontais representam os condutores conectados aos terminais.
4. Cada célula de uma bateria tem um terminal negativo e um positivo.

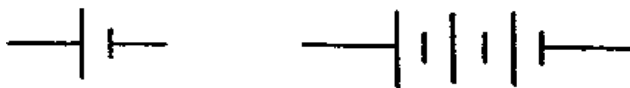


Figura 8-19 Símbolos para baterias de uma e de três células.

Pilhas secas, como as usadas em lanternas, são chamadas de pilhas primárias. As baterias de acumuladores maiores, contendo várias células primárias são chamadas de pilhas secundárias. O símbolo esquemático para pilha primária é mostrado na figura 8-20.

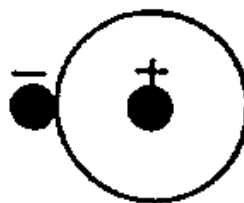


Figura 8-20 Símbolo esquemático de uma pilha seca.

A bola central é o terminal positivo e o círculo que a envolve é o terminal negativo.

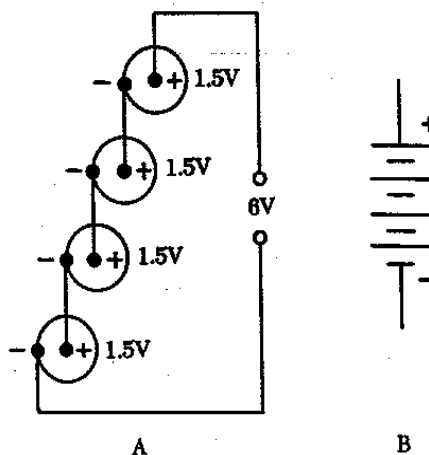


Figura 8-21 Diagrama esquemático e símbolos de pilhas conectadas em série.

Quando há necessidade de mais de 1,5V são conectadas células em série, ou seja, o terminal negativo de cada uma é ligado ao positivo da célula seguinte, conforme mostrado em "A" da figura 8-21. A voltagem fica então igual à soma das voltagens de cada uma das células.

Como a mesma corrente flui através das sucessivas células, a corrente que a bateria pode suprir é igual à capacidade de corrente de uma única célula. Assim, uma bateria composta por células em série proporciona uma voltagem maior, mas não uma maior capacidade de corrente.

Para obter um maior fluxo de corrente que uma célula é capaz de suprir, as células são ligadas em paralelo. A corrente total disponível é igual à soma das correntes individuais de cada célula, entretanto, a voltagem é a mesma de uma única célula.

Para ligar células em paralelo todos os terminais positivos são conectados entre si, e todos os terminais negativos da mesma forma. Na letra "A" da figura 8-22 é mostrado um diagrama esquemático de células ligadas em paralelo.

E na letra "B" da mesma figura é ilustrado o símbolo usado para representar este grupo de células conectadas em paralelo.

Cada célula precisa ter a mesma voltagem; caso contrário, uma célula com maior voltagem forçará corrente através das células de menor voltagem.

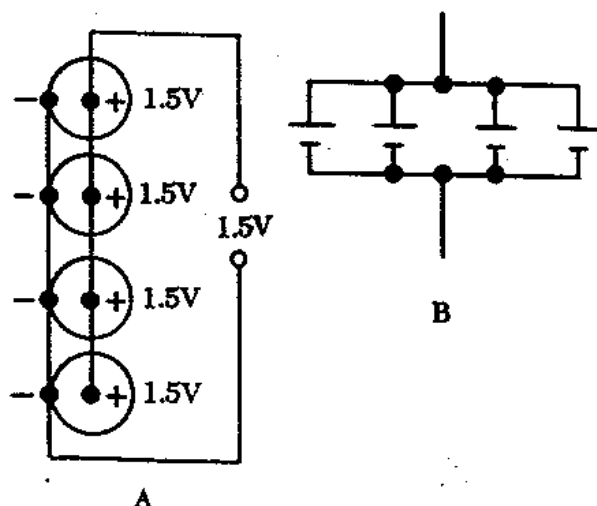


Figura 8-22 Pilhas conectadas em paralelo.

Um outro modo de combinar células é conectá-las em série-paralelo. Desta maneira,

mostrada na figura 8-23, dois grupos de células (série) são conectados em paralelo.

Essa arrumação fornece tanto maior voltagem como maior saída de corrente.

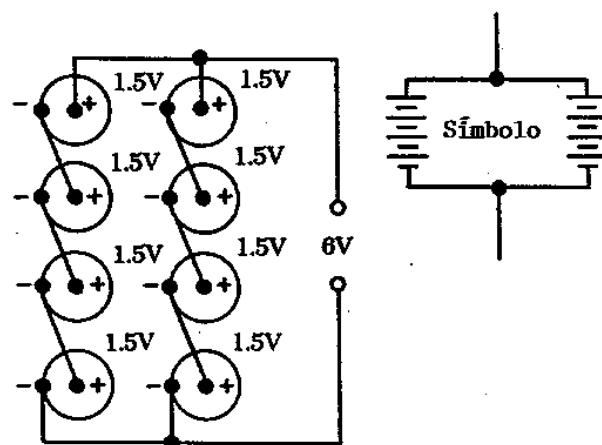


Figura 8-23 Arranjo de pilhas em série e em paralelo.

Condutor

Outra necessidade básica de um circuito é o condutor, ou fio, interligando os diversos componentes elétricos. É sempre representado em diagramas esquemáticos como uma linha. A figura 8-24 ilustra dois símbolos diferentes usados para indicar fios (condutores) que se cruzam mas não estão conectados.

Embora ambos os símbolos possam ser usados, o símbolo mostrado em "B" da figura 8-24 é encontrado mais freqüentemente, por ser menos provável de ser interpretado erroneamente.

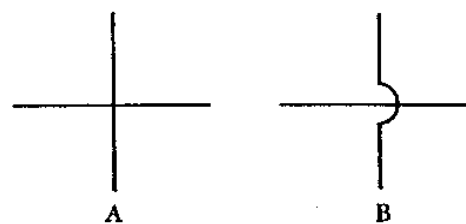


Figura 8-24 Cruzamento de fios não conectados.

A figura 8-25 ilustra os dois diferentes símbolos usados para representar fios conectados entre si.

Ambos os símbolos podem ser usados, entretanto é importante que não haja conflito com o símbolo escolhido para representar fios não conectados. Por exemplo, se o símbolo escolhido para fios não conectados for o mostrado em "A" da figura 8-24, o símbolo para fios in-

terligados tem que ser o mostrado em "A" da figura 8-25.

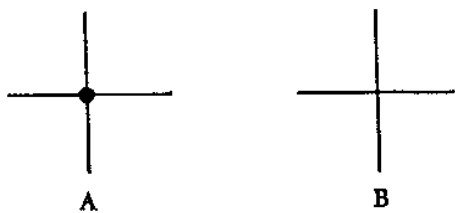


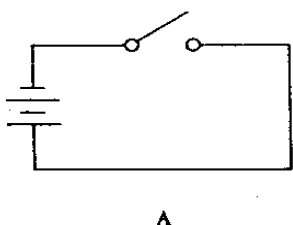
Figura 8-25 Fios conectados.

Um componente encontrado em todos os circuitos práticos é o fusível. Este é uma segurança ou dispositivo de proteção usado para prevenir danos aos condutores e componentes do circuito, sob fluxo excessivo de corrente. O símbolo esquemático para representar o fusível é mostrado na figura 8-26.

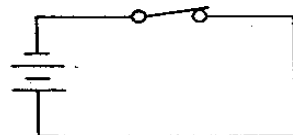


Figura 8-26 Símbolo esquemático de um fusível.

Um outro símbolo encontrado num esquema de circuito básico é o que representa uma chave (interruptor), mostrado na figura 8-27.



A



B

Figura 8-27 Símbolos de interruptores abertos e fechados.

O símbolo para chave aberta é mostrado em "A" da figura 8-27, e em "B" simboliza a chave fechada, fazendo parte de um circuito existem inúmeros tipos diferentes de chaves,

mas estes símbolos podem representar todas, exceto as mais complexas. A figura 8-28 ilustra o símbolo para "terra" (massa) ou o ponto de referência comum em um circuito. Este é o ponto de referência do qual a maior parte das voltagens são medidas. Este ponto é normalmente considerado como o de potencial zero.



Figura 8-28 Símbolo do ponto de referência de massa, terra ou comum.

Às vezes, os medidores, para fluxo de corrente ou voltagem são conectados temporariamente a determinados circuitos e, em outros, aparecem como componentes permanentes. Na figura 8-29, os símbolos para amperímetro e voltímetro são utilizados em um circuito simples. É importante que tais componentes sejam conectados de modo correto.

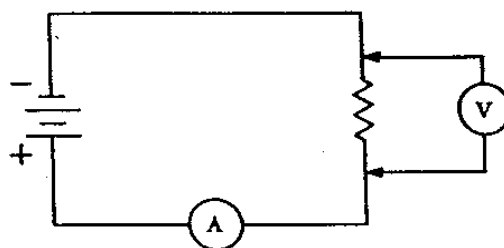


Figura 8-29 Símbolos de amperímetro e de voltímetro.

O amperímetro, que mede fluxo de corrente, é sempre ligado em série com a fonte de força e as resistências do circuito. O voltímetro, que mede voltagem através de um componente do circuito, é sempre ligado em paralelo com tal componente, nunca em série.

Resistores

O último dos requisitos básicos de componentes de um circuito completo pode ser agrupado sob o simples título de resistência, que num circuito prático aparece sob a forma de qualquer dispositivo elétrico, como um motor ou uma lâmpada que utilize energia elétrica e tenha alguma função utilitária. Por outro lado, a resistência de um circuito pode surgir na forma de resistores, cuja finalidade seja limitar o fluxo de corrente.

Existe uma grande variedade de resistores. Alguns têm valor fixo em OHMS e outros são variáveis. São fabricados com fios especiais, grafite (carvão) ou membrana metálica.

Resistores revestidos de fio controlam correntes elevadas, enquanto os resistores de carvão controlam correntes relativamente pequenas. Os resistores revestidos de fio são fabricados com fio de resistência enrolado em base de porcelana, com as extremidades do fio fixas em terminais metálicos, cobrindo a resistência com material protetor que permita dissipação de calor (ver figura 8-30).

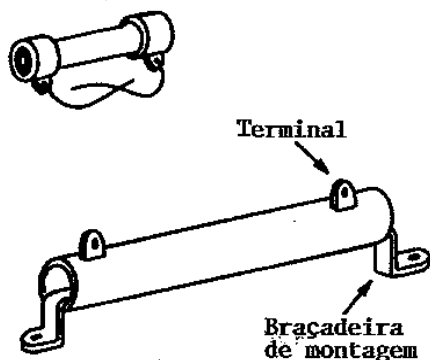


Figura 8-30 Resistores fixos revestidos de fio.

Existem resistores revestidos de fio, com tomadas (terminais) fixas, que podem ser escolhidas conforme se queira variar entre os valores disponíveis em ohms na resistência. Também podem ser providos de cursores que podem ser ajustados para modificar o valor em ohms para uma fração da resistência total (ver figura 8-31).

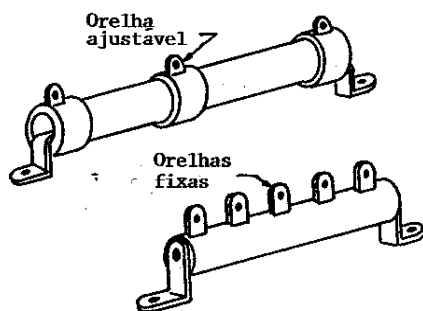


Figura 8-31 Resistores revestidos de fio com orelhas fixas e ajustáveis.

Ainda um outro tipo, é o resistor revestido de fio de precisão (figura 8-32) feito de fio de "manganin"; tipo usado quando é exigido valor de resistência extremamente preciso.

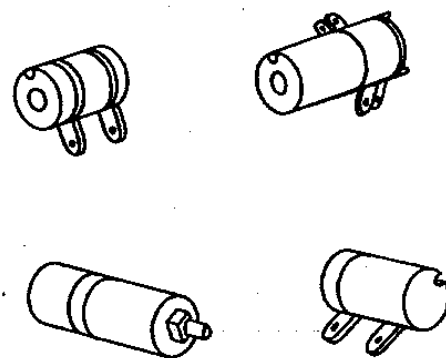


Figura 8-32 Resistores de precisão revestidos de fio.

Resistores de carbono são fabricados de uma haste de grafite comprimido, material aglutinante e com um terminal de fio, chamado "pig-tail" (rabo de porco) fixo em cada extremidade do resistor (ver figura 8-33).

Resistores variáveis são usados para variar a resistência, enquanto o equipamento está em operação. Resistores variáveis revestidos de fio ou de fio enrolado controlam altas correntes, e os variáveis de carbono controlam pequenas correntes.

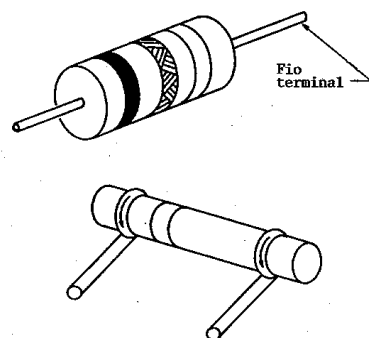


Figura 8-33 Resistores de carbono.

Estes resistores variáveis são fabricados com fio de resistência enrolado em porcelana ou baquelite de forma circular. Um braço de contato pode ser ajustado em qualquer posição sobre a resistência circular, por meio de uma haste rotativa, usada para selecionar a ajustagem da resistência (ver figura 8-34).

Resistores variáveis de carvão (ver figura 8-35), usados para controlar pequenas correntes, são fabricados com composto de carbono depositado sobre um disco de fibra.

Um contato sobre um braço móvel varia a resistência conforme o eixo do braço é girado.

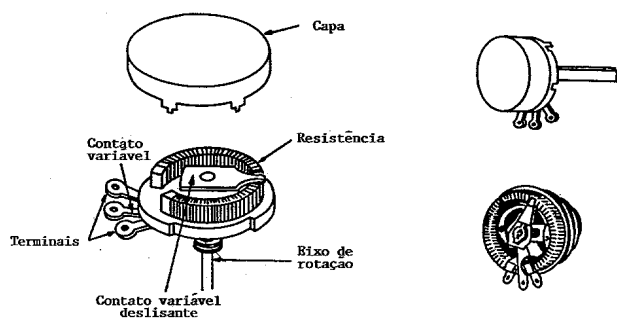


Figura 8-34 Resistor variável de fio enrolado.

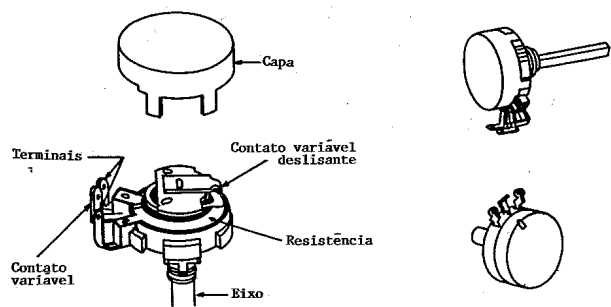


Figura 8-35 Resistor variável de carbono.

Os dois símbolos empregados em esquema ou diagrama de circuito para representar resistores variáveis são mostrados na figura 8-36.

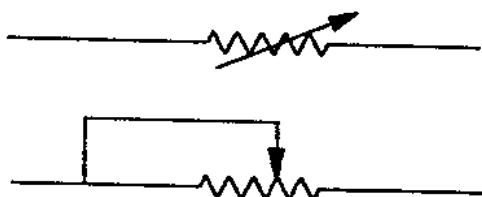


Figura 8-36 Símbolos para resistores variáveis.

O símbolo esquemático correspondente a um resistor fixo é mostrado em "A" da figura 8-37. A variação deste símbolo representa o resistor com tomadas, que tem valor fixo, mas é provido de tomadas, através das quais valores selecionados de resistência podem ser obtidos (ver "B" da figura 8-37).

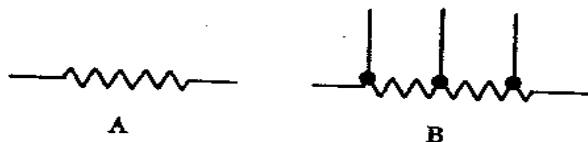


Figura 8-37 Símbolos para resistores fixos.

Código de cores de resistores

O valor resistivo de qualquer resistor pode ser medido por meio de um ohmímetro, mas isto não é absolutamente imprescindível. A maioria

dos resistores de fio enrolado tem o seu valor de resistência impresso no corpo do resistor. Muitos resistores de carvão também têm, mas são freqüentemente montados, de forma que é muito difícil ou impossível ler o valor expresso.

Código de cores de resistores		
Cor	Número	Tolerância
Preto	0	-----
Marron	1	1%
Vermelho	2	2%
Laranja	3	3%
Amarelo	4	4%
Verde	5	5%
Azul	6	6%
Violeta	7	7%
Cinza	8	8%
Branco	9	9%
Ouro	----	5%
Prata	----	10%
Sem cor	----	20%

Figura 8-38 Código de cores resistores.

Ademais, o calor quase sempre desbota o corpo do resistor, tornando as marcações impressas ilegíveis, e muitos resistores de carvão são tão pequenos que não é possível imprimir neles as marcas de cor. Assim, o código de cores é usado para identificar o valor de resistência de resistores de carbono.

Existe apenas um código de cores para resistores de carvão, mas existem dois sistemas ou métodos usados para pintar o código em resistores. Um é o sistema de extremidade para o centro (*end-to-center-band*) e o outro é de extremidade e ponto (*body-end-dot*). Ver as figuras 8-39 a 8-46.

Em cada sistema, três cores são usadas para indicar o valor da resistência em ohms, uma quarta cor é, às vezes, usada para indicar a tolerância do resistor.

Através da leitura das cores na ordem certa, e substituindo-as por algarismos, é possível determinar o valor do resistor.

É muito difícil fabricar um resistor com exato padrão de valor ôhmico. Felizmente a maioria dos circuitos não requer valores extremamente críticos. Para muitas aplicações os valores de resistência em ohms podem variar 20% acima ou abaixo do valor indicado, sem causar problemas aos circuitos.

A porcentagem de variação entre o valor marcado e o valor real de um resistor é conhecida como "tolerância" de um resistor.

Um resistor codificado para tolerância de 5% não pode ser maior ou menor do que 5% que o valor indicado pelo código de cores.

O código de cores (ver figura 8-38) é constituído de um grupo de cores, números e valores de tolerância. Cada cor é representada por um número e, na maioria dos casos, pelo valor de tolerância.

Quando o código de cores é usado pelo sistema "end-to-center-band", o resistor é normalmente marcado com faixas coloridas a partir de uma das extremidades do seu corpo.

A cor do corpo, ou básica do resistor, nada tem a ver com o código de cores e em hipótese alguma indica valor de resistência. Para prevenir confusões, o corpo jamais terá a mesma cor das faixas, indicando valor de resistência.

Quando é utilizado o sistema "end-to-center band", o resistor será marcado através de três ou quatro faixas, a primeira faixa de cor (mais próxima à extremidade do resistor) indicará o primeiro dígito no valor numérico de resistência. Esta faixa jamais será de cor dourada ou prateada.

A segunda faixa de cor (figura 8-39) indicará sempre o segundo dígito do valor ôhmico.

Ela nunca será de cor dourada ou prateada. A terceira faixa de cor indica o número de zeros a serem adicionados ao primeiro e segundo dígitos. Exceto nos seguintes casos:

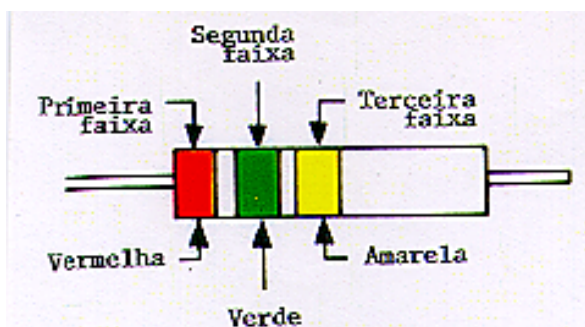


Figura 8-39 Marcação da ponta para o centro.

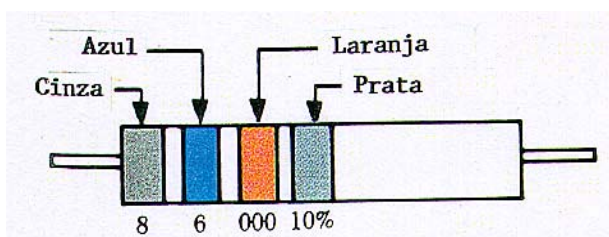


Figura 8-40 Exemplo de código de cores de resistor.

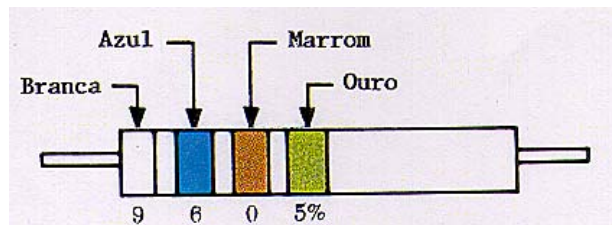


Figura 8-41 Exemplo de código de cores de resistor.

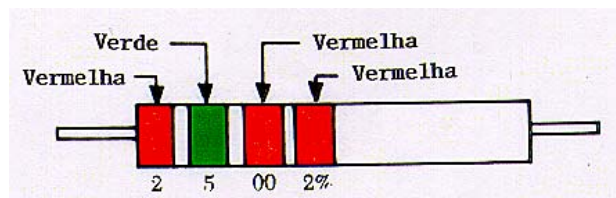


Figura 8-42 Resistor com 2% de tolerância.

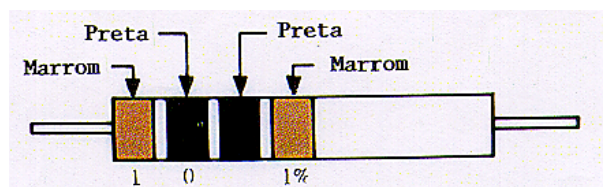


Figura 8-43 Resistor com a terceira faixa preta.

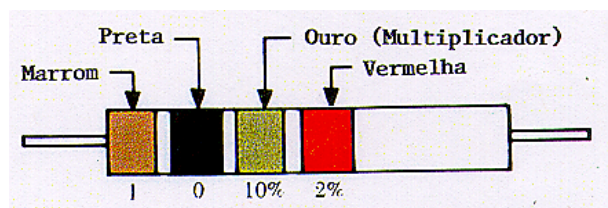


Figura 8-44 Resistor com a terceira faixa dourada.

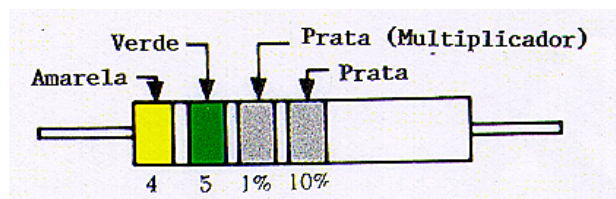


Figura 8-45 Resistor com a terceira faixa prateada.

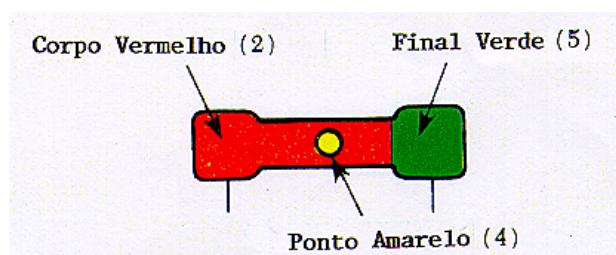


Figura 8-46 Resistor codificado pelo sistema "Ponto e cor na ponta".

1. Se a terceira faixa é dourada, os dois primeiros dígitos têm de ser multiplicados por 10%.
2. Se a terceira faixa é prateada, os dois primeiros dígitos têm de ser multiplicados por 1%.

Se houver uma quarta faixa colorida, ela é usada como multiplicador para percentual de tolerância, conforme indicado na tabela de código de cores da figura 8-38.

Se houver a quarta faixa, a tolerância fica entendida como sendo de 20%.

A figura 8-39 ilustra as regras para leitura do valor de um resistor marcado pelo sistema "end-to-center band". Este resistor é marcado com três faixas coloridas, que têm precisão ser lidas no sentido da extremidade para o centro.

Estes são os valores que serão obtidos:

Cor	Valor Numérico	Significação
	co	
1ª faixa-vermelha	2	1º dígito
2ª faixa-verde	5	2º dígito
3ª faixa-amarela	4	Nº de zeros a adicionar

Não há quarta faixa de cor, logo a tolerância é entendida como sendo de 20%. 20% de $250.000 = 50.000$.

Como a tolerância é mais ou menos, resistência máxima = $250.000 + 50.000 = 300.000$ ohms; resistência mínima = $250.000 - 50.000 = 200.000$ ohms.

A figura 8-40 contém um resistor com outro conjunto de cores, este código de resistor pode ser lido da seguinte forma:

A resistência é de $86.000 \pm 10\%$ ohms. A resistência máxima é 94.600 OHMS, e a resistência mínima é 77.400 ohms.

Como um outro exemplo, a resistência ou resistor na figura 8-41 é $960 \pm 5\%$ ohms. A resistência máxima é 1.008 ohms, e a resistência mínima é 912 ohms.

Às vezes as necessidades do circuito determinam que a tolerância precisa ser menor do que 20%. A figura 8-42 mostra um exemplo de resistor com 2% de tolerância. O valor de resistência dele é $2.500 \pm 2\%$ ohms.

A resistência máxima é 2.550 ohms, e a resistência mínima é 2.450 ohms.

A figura 8-43 contém o exemplo de um resistor com a terceira faixa na cor preta.

O valor numérico correspondente à cor preta é "zero", e a terceira faixa indica a quantidade de zeros a adicionar aos primeiros algarismos.

Neste caso, nenhum zero deve ser adicionado. Então, o valor de resistência é $10 \pm 1\%$ ohms.

A resistência máxima é $10,1$ ohms e a resistência mínima é $9,9$ ohms.

Existem duas exceções para a regra que estabelece a terceira cor, como indicativa da quantidade de zeros, a agregarem-se aos dois primeiros algarismos.

A primeira destas exceções é ilustrada na figura 8-44.

Quando a terceira faixa é dourada, ela indica que os dois primeiros dígitos têm que ser multiplicados por 10%. O valor deste resistor é:

$$10 \times 0,10 \pm 2\% = 1 \pm 0,02 \text{ ohms}$$

Quando a terceira faixa é prateada, como é o caso na figura 8-45, os dois primeiros dígitos precisam ser multiplicados por 1%. O valor do resistor é $0,45 \pm 10\%$ ohms.

Sistema "body-end-dot"

Hoje, este sistema é raramente utilizado. Em poucos exemplos poderá ser explanado. A localização das cores tem o seguinte significado:

Cor do corpo	...	1º dígito do valor ôhmico
Cor da extremidade	...	2º dígito do valor ôhmico
Cor do ponto	...	nº de zeros a adicionar

Se apenas uma extremidade do resistor é colorida, isto indica o segundo dígito do valor do resistor, e a tolerância será de 20%.

Os outros dois valores de tolerância são dourado (5%) e prateado (10%).

A extremidade oposta do resistor será colorida para indicar tolerância diferente de 20%.

A figura 8-46 mostra um resistor codificado pelo sistema "body-end-dot". Os valores são os seguintes:

Corpo	1º dígito	2
Extremidade	2º dígito	5
Ponto	Nº de zeros	0000 (4)

O valor do resistor é $250.000 \pm 20\%$ ohms. A tolerância é entendida como sendo de 20%, porque um segundo ponto não é utilizado.

Se a mesma cor é usada mais de uma vez, o corpo, a extremidade e o ponto podem ser todos da mesma cor, ou apenas dois desses elementos podem ter a mesma cor; mas o código de cores é usado da mesma maneira. Por exemplo, um resistor de 33.000 ohms será inteiramente na cor laranja.

LEI DE OHM

A lei mais importante aplicável ao estudo da eletricidade é a lei de Ohm. Esta lei, que delineia o relacionamento entre voltagem corrente e resistência, em um circuito elétrico, foi estabelecida pelo físico alemão George Simon Ohm (1787-1854).

Ela se aplica a todos os circuitos de corrente contínua, e pode também ser aplicada a circuitos de corrente alternada, de maneira modificada (estudada, adiante, neste texto).

As experiências de Ohm mostraram que o fluxo de corrente num circuito elétrico é diretamente proporcional à intensidade da voltagem aplicada ao circuito. Em outras palavras, esta lei estabelece que o aumento de voltagem corresponde ao aumento de corrente, e à diminuição da voltagem corresponde a diminuição da corrente.

Poderia ser acrescentado que essa relação é verdadeira somente se a resistência no circuito permanece constante, pois, se a resistência muda, a corrente também se modifica.

A lei de Ohm pode ser expressa através da seguinte equação:

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

onde "I" é corrente em ampères, "E" é a diferença de potencial medida em volts, e "R" é a resistência medida em ohms (designada pela letra grega ômega, cujo símbolo é Ω).

Se qualquer dupla desses três valores for conhecida, o terceiro valor pode ser obtido por simples transposição algébrica.

O circuito mostrado na figura 8-47 contém uma fonte de força de 24 volts, e uma resis-

tência de 30 OHMS. Se um amperímetro for inserido no circuito, conforme mostrado na figura 8-47, a intensidade da corrente fluindo no circuito pode ser lida diretamente. Admitindo-se que um amperímetro não esteja disponível, a intensidade da corrente pode ser determinada por meio da lei de Ohm, da seguinte forma:

$$I = \frac{E}{R} \quad I = \frac{24V}{3\Omega} \quad I = 8 \text{ amperes}$$

Alguns aspectos da figura 8-47, que são típicos de todos os circuitos elétricos apresentados de modo esquemático, deverão ser revistos.

A pressão elétrica, ou diferença de potencial aplicada ao circuito é representada no esquema pelo símbolo de bateria. O sinal negativo é colocado próximo de um lado para indicar o terminal negativo da fonte ou bateria. O lado oposto é marcado com o símbolo +.

Setas são, às vezes, usadas para indicar a direção do fluxo de corrente do terminal negativo através dos fios condutores e outros dispositivos do circuito, para o terminal positivo da fonte.

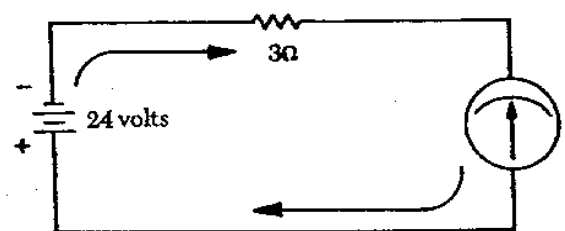


Figura 8-47 Circuito elétrico demonstrando a Lei de Ohm.

A figura 8-48 mostra que os valores da voltagem e da corrente são conhecidos. Para encontrar a quantidade de resistência no circuito, a lei de Ohm pode ser transposta para resolver o valor de "R". Mudando a fórmula básica $I = E/R$ para $R = E/I$, e substituindo os valores conhecidos na equação, $R = 24 \text{ volt} / 8 \text{ ampères} = 3 \text{ Ohms}$, ou 3.

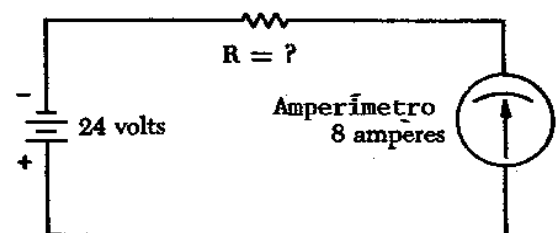


Figura 8-48 Circuito com resistência desconhecida.

A lei de Ohm também pode ser transposta para determinar a voltagem aplicada a um circuito, quando o fluxo de corrente e a resistência são conhecidos, conforme mostrado na figura 8-49.

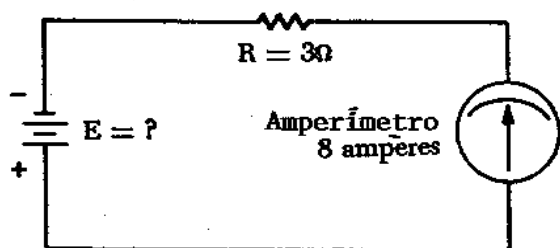


Figura 8-49 Circuito com voltagem desconhecida.

Neste circuito, a quantidade desconhecida da voltagem, é representada pelo símbolo "E". O valor de resistência é 3 ohms e o fluxo de corrente é 8 ampères (a palavra ampères é freqüentemente abreviada como "AMP"). Transpondo a lei de Ohm da sua fórmula básica, a equação para resolver o valor de "E" fica $E = I \times R$.

Substituindo os valores conhecidos na equação, teremos:

$$E = 8 \times 3$$

$$E = 24 \text{ volts ou } 24 \text{ V}$$

A relação entre as várias quantidades do circuito pode ser demonstrada, se a resistência num circuito é considerada constante.

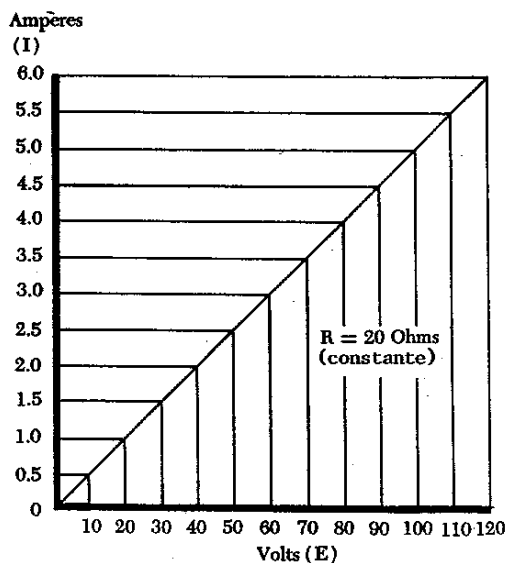


Figura 8-50 Relação entre voltagem e corrente em circuito de resistência constante.

Em tal caso, a corrente aumentará ou diminuirá na direta proporção do aumento ou diminuição da voltagem aplicada ao circuito. Por exemplo, se a voltagem aplicada a um circuito for 120 volts e a resistência for 20 ohms, o fluxo de corrente será 120/20 ou 6 ampères. Se a resistência de 20 ohms permanece constante, um gráfico da relação voltagem-corrente, conforme mostrado na figura 8-50, pode ser traçado.

A relação entre voltagem e corrente, neste exemplo, mostra voltagem plotada horizontalmente ao longo do eixo "X", em valores de 0 a 120 volts; e os valores correspondentes de corrente são plotados verticalmente, de 0 a 6,0 ampères ao longo do eixo "Y".

Corrente = $\frac{\text{Força eletromotriz}}{\text{Resistência}}$	
$I = \frac{E}{R}$	Ampères = $\frac{\text{Volts}}{\text{Ohms}}$
Resistência = $\frac{\text{Força eletromotriz}}{\text{Corrente}}$	
$R = \frac{E}{I}$	Ohms = $\frac{\text{Volts}}{\text{Ampères}}$
Força eletromotriz = Resistência x Corrente	
$E = IR$	Volts = ampères x ohms

Figura 8-51 Lei de Ohm.

A reta traçada através de todos os pontos, onde as linhas de voltagem e corrente se encontram, representa a equação $E = I \times R$, e é chamada de relação linear. A constante 20 representa a resistência que se arbitrou não mudar neste exemplo.

Este gráfico representa uma importante característica da lei básica, ou seja, que a corrente varia diretamente com a voltagem aplicada, se a resistência se mantém constante.

As equações básicas derivadas da lei de Ohm são resumidas, juntamente com as unidades de medida do circuito, na figura 8-51.

As várias equações que podem ser derivadas pela transposição da lei básica podem ser

facilmente obtidas pelo uso dos triângulos na figura 8-52.

Os triângulos contendo “E”, “I” e “R” são divididos em duas partes, com “E” acima da linha e $I \times R$ abaixo dela.

Para determinar uma quantidade desconhecida do circuito, quando as outras duas são conhecidas, cobre-se a quantidade desconhecida com o polegar. A localização das letras que permanecem descobertas no triângulo indicará a operação matemática a ser efetuada. Por exemplo, para encontrar “I”, com referência a (A) da

figura 8-52, basta cobrir “I” com o polegar. As letras descobertas indicam a divisão de “E” por “R”, ou $I = E/R$. Para encontrar “R”, conforme (B) da figura 8-52, é só cobrir “R” com o polegar. O resultado indica que “E” deve ser dividido por “I”, ou $R = E/I$.

Para encontrar “E”, com referência a (C) da figura 8-52, é só cobrir “E” com o polegar.

O resultado indica a multiplicação de “I” por “R”, ou $E = I \times R$.

Este gráfico é útil para iniciantes no uso da lei de Ohm.

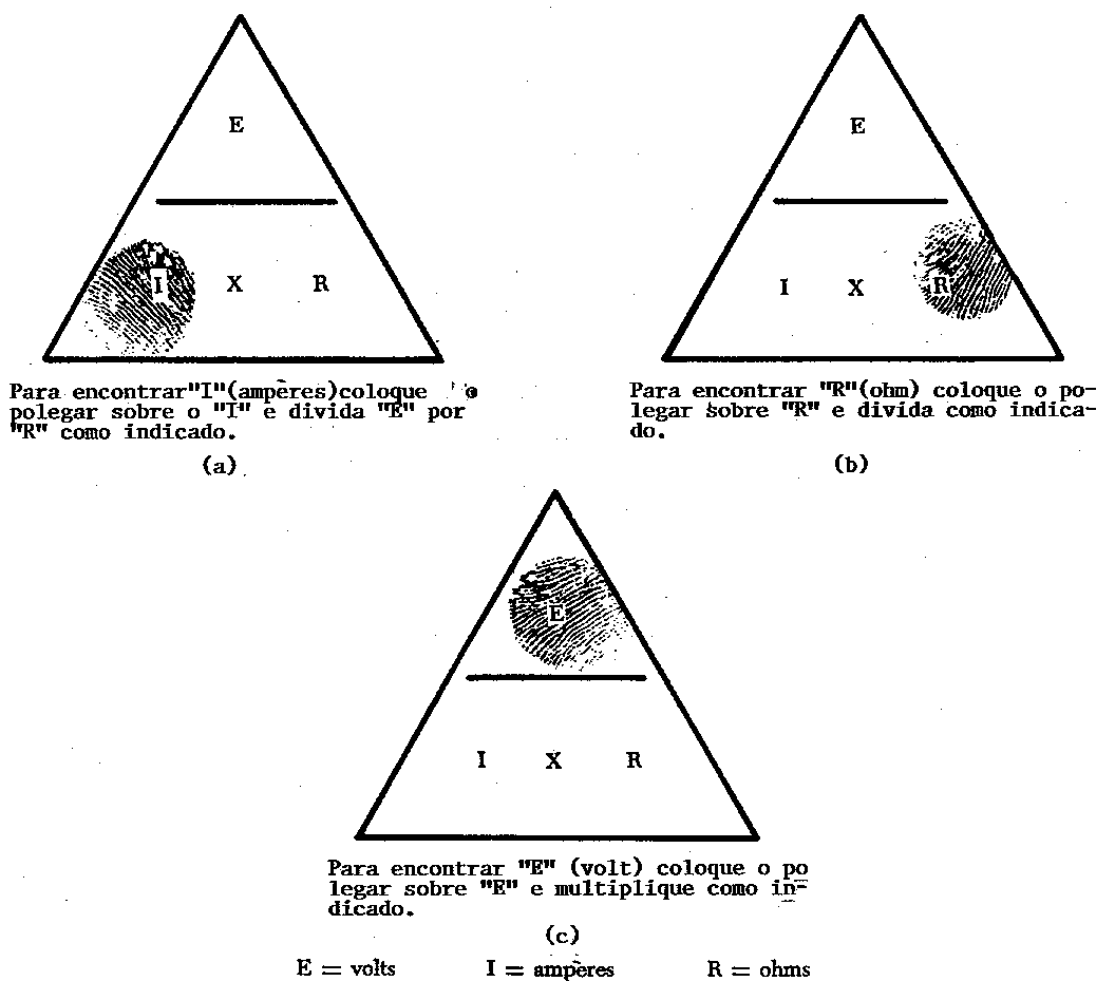


Figura 8-52 Gráfico da Lei de Ohm.

Potência elétrica

Juntamente com o volt, ampère e ohm, existe uma outra unidade freqüentemente usada em cálculos de circuitos elétricos, é a unidade de potência elétrica. A unidade empregada para medir potência em circuitos de corrente contínua é o watt. A potência é definida como a razão com que um trabalho é efetuado, e é igual

ao produto da voltagem e corrente, num circuito de corrente contínua.

Quando a corrente em ampères (I) é multiplicada pela f.e.m em volts (E), o resultado é a potência, medida em watts (P). Isto indica que a potência elétrica atribuída a um circuito varia diretamente com a voltagem aplicada e a corrente fluindo no circuito. Expressa como uma equação, fica assim: $P = IE$

Esta equação pode ser transposta para determinar qualquer dos três elementos do circuito, desde que os outros dois sejam conhecidos. Desta forma, se a potência elétrica é lida diretamente em um wattímetro e a voltagem é medida com um voltímetro, a intensidade da corrente (I) fluindo no circuito pode ser determinada pela transposição da equação básica para

$$I = \frac{P}{E}$$

Similarmente, a voltagem (E) pode ser encontrada pela transposição da fórmula básica para $E = P/I$. Como alguns dos valores usados para determinar a potência distribuída em um circuito são os mesmos usados na lei de Ohm, é possível substituir os valores da lei de Ohm por valores equivalentes na fórmula de potência elétrica. Na lei de Ohm, $I = E/R$. Se o valor E/R é substituído por I, na fórmula de potência, fica

$$P = I \times E; P = E \times \frac{E}{R}; \text{ ou } P = \frac{E^2}{R}$$

Esta equação, $P = E^2/R$, ilustra que a potência elétrica em watts, distribuída por um circuito, varia diretamente com o quadrado da voltagem aplicada, e inversamente com a resistência do circuito.

O watt é nomenclatura proveniente de James Watt, o inventor do motor a vapor.

Watt concebeu uma experiência para medir a força de um cavalo, com o propósito de encontrar um meio de medir a potência de seu motor a vapor. Um cavalo-vapor é necessário para mover 33.000 libras, num espaço de 1 pé, em 1 minuto.

Como potência é a razão de trabalho realizado, é equivalente ao trabalho dividido pelo tempo. Daí a fórmula:

$$P = \frac{33.000 \text{ lb/pes}}{60\text{s (1min)}} \text{ ou } P = 550 \text{ lb/pés/s}$$

A potência elétrica pode ser avaliada de maneira similar. Por exemplo, um motor elétrico especificado como sendo de 1 Hp, corresponde a 746 watts de energia elétrica. Entre-

tanto, o watt é uma unidade de força relativamente pequena.

O kilowatt, que é mais comum, é igual a 1000 watts.

Na medição de quantidade de energia elétrica consumida é usado o kilowatt/hora.

Por exemplo, se uma lâmpada de 100 watts consome energia por 20 horas, ela usou 2.000 watts/hora, ou 2 kilowatts/hora de energia elétrica.

A potência elétrica, que é perdida na forma de calor quando a corrente flui através de algum dispositivo elétrico, é freqüentemente chamada de potência dissipada (perdida).

Tal calor é normalmente dissipado no ar, ao redor, e não tem nenhuma utilidade, exceto quando usado para aquecimento.

Como todos os condutores possuem alguma resistência, os circuitos são projetados para reduzir essas perdas.

Com referência, de novo, à fórmula básica de potência elétrica, $P = I \times E$, é possível substituir os valores da lei de Ohm por "E", na fórmula de potência, para obter a formulação que reflete diretamente as perdas de potência em uma resistência.

$$P = I \times E; E = I \times R$$

Substituindo o valor da lei de Ohm por "E" ($I \times E$), na fórmula de potência,

$$P = I \times I \times R$$

Simplificando, teremos:

$$P = I^2 R$$

Desta equação, pode ser visto que a potência em watts num circuito varia de acordo com o quadrado da corrente (I), e diretamente com a resistência do circuito (Ω).

Finalmente, a potência distribuída por um circuito pode ser expressa como uma junção de corrente e resistência, por transposição da equação de potência $P = I^2 R$, logo,

$$I^2 = \frac{P}{R}$$

e, extraindo a raiz quadrada na equação O símbolo para chave aberta é mostrado em "A" da figura 8-27, e em "B" simboliza a chave fe-

chada, fazendo parte de um circuito existem inúmeros tipos diferentes de chaves, mas estes símbolos podem representar todas, exceto as mais complexas. $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$

Assim, a corrente relativa a 500 watts, com carga (resistência) de 100 ohms é a seguinte:

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \frac{500}{100} = 2.24 \text{ ampères.}$$

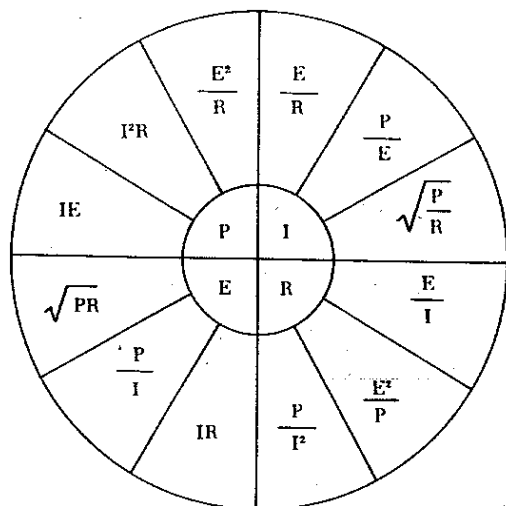


Figura 8-53 Resumo das equações básicas usando volts, ampères, Ohms e watts.

As equações derivadas da Lei de Ohm e a fórmula básica de potência elétrica não revelam tudo a respeito do comportamento de circuitos. Elas apenas indicam a relação numérica entre o volt, ampère, ohm e watt.

A figura 8-53 apresenta um resumo de todas as transposições possíveis dessas fórmulas, em um círculo com 12 segmentos.

CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA EM SÉRIE

O circuito em série é o mais elementar dos circuitos elétricos. Todos os demais tipos de circuitos são elaborações ou combinações de circuito em série. A figura 8-54 é um exemplo de um circuito em série simples, e é um circuito porque proporciona um caminho completo para o fluxo do terminal negativo para o positivo da bateria. É um circuito em série porque existe caminho único para a corrente fluir, conforme

indicam as setas mostrando a direção do movimento de elétrons.

Também é chamado de circuito em série, porque a corrente tem que passar através dos componentes (a bateria e o resistor), um depois do outro, ou "em série".

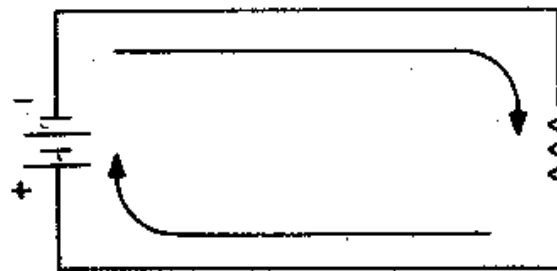


Figura 8-54 Circuito em série.

O circuito mostrado na figura 8-55 contém os componentes básicos requeridos por qualquer circuito: uma fonte de força (bateria), uma carga ou resistência limitadora de corrente (resistor) e um condutor (fio).

A maioria dos circuitos práticos contém no mínimo dois outros itens: um dispositivo de controle (interruptor) e um dispositivo de segurança (fusível).

Com todos os cinco componentes no circuito, este apareceria conforme mostrado na figura 8-55, que é um circuito em série de corrente contínua.

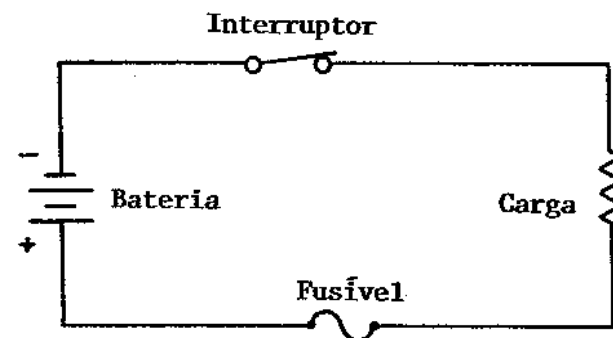


Figura 8-55 Circuito DC em série.

Num circuito de corrente-contínua, a corrente flui em uma direção, do terminal negativo da bateria através do interruptor (que precisa estar fechado), percorrendo a resistência de carga e o fusível, chegando à bateria, novamente, através do terminal positivo.

Para discutir o comportamento da corrente elétrica num circuito em série de corrente contínua, a figura 8-56 foi redesenhada na figu-

ra 8-57, agora incluindo três amperímetros e dois resistores. Como o amperímetro mede a intensidade do fluxo de corrente, três são colocados ao longo do circuito para medição em pontos distintos.

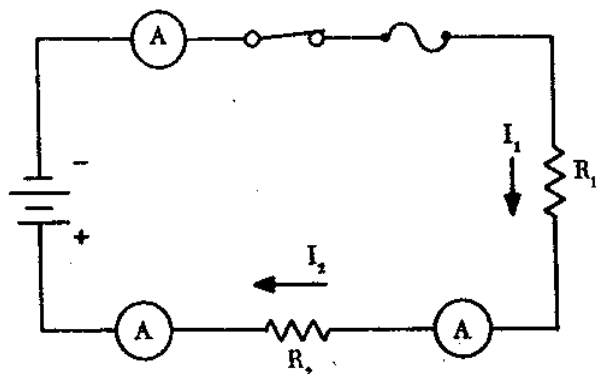


Figura 8-56 Fluxo de corrente em um circuito em série.

Com o interruptor fechado para completar o circuito, todos os três amperímetros indicam a mesma intensidade de corrente. Esta é uma importante característica de todos os circuitos em série: não importa quantos componentes sejam incluídos no circuito em série, a corrente será a mesma em qualquer ponto do circuito. Embora seja verdade que um aumento na quantidade de componentes de um circuito aumentará a resistência para o fluxo de corrente, ainda assim, o valor da corrente fluindo pelo circuito será o mesmo em todos os pontos.

Na figura 8-56, a corrente através do resistor R_1 é chamada de I_1 e a corrente através de resistor R_2 é chamada de I_2 . Se a corrente total no circuito é I_T , a fórmula demonstrando o fluxo de corrente é:

$$I_T = I_1 = I_2$$

Se o número de resistores é aumentado por cinco, a fórmula será:

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5$$

Sem indicar a quantidade de corrente fluindo, será sempre verdadeiro que a corrente, através de qualquer resistor, será a mesma que fluirá através de qualquer dos outros resistores.

A figura 8-57 é um circuito em série contendo duas resistências. Para determinar a quantidade de fluxo de corrente neste circuito é

necessário saber o valor da resistência ou oposição ao fluxo. Assim, a segunda característica dos circuitos em série é: a resistência total num circuito em série é a soma de cada uma das resistências do circuito. Mostrada como fórmula, fica:

$$R_T = R_1 + R_2$$

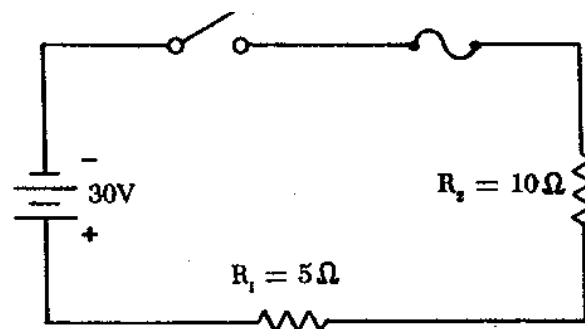


Figura 8-57 Circuito em série com dois resistores.

Na figura 8-57, temos o seguinte:

$$R_T = R_1 (5 \Omega) + R_2 (10 \Omega), \text{ ou } R_T = 5 + 10 = 15 \Omega$$

A resistência total do circuito na figura 8-57 é de 15 ohms. É importante lembrar que se o circuito fosse alterado com a inclusão de 10, 20 ou mesmo 100 resistores, a resistência total ainda seria a soma de todas as resistências separadas.

Também é verdadeiro que há uma certa resistência interna na própria bateria, bem como, no fusível e na chave (interruptor). Estes pequenos valores de resistência não serão considerados na determinação dos valores de fluxo de corrente num circuito.

A fórmula da lei de ohm para encontrar a corrente é $I = E/R$. Sendo a voltagem da bateria de 30 volts e a resistência total do circuito 15 ohms, a equação fica:

$$I = \frac{30V}{15\Omega} = 2 \text{ amperes}$$

O fluxo de corrente é de 2 ampères (às vezes a palavra ampères é abreviada por amp) e o valor da corrente é o mesmo em toda parte do circuito.

Para avaliar que efeito uma mudança na resistência terá sobre o fluxo de corrente quando a voltagem permanece constante, a resistência

total é duplicada para 30 ohms, usando a lei de Ohm.

Pode ser visto que a corrente será reduzida para a metade do seu valor quando a resistência for dobrada. Por outro lado, se a voltagem permanece constante e a resistência for reduzida à metade do seu valor, a corrente dobrará o seu valor original.

$$I = \frac{E}{R} \therefore I = \frac{30V}{7,5W} = 4 \text{ amperes}$$

Desta forma, se a voltagem permanece constante e a resistência aumenta, a corrente diminui. Contrariamente, se a resistência diminui, a corrente aumenta.

Contudo, se a resistência é considerada constante e a voltagem é duplicada, o fluxo de corrente dobrará o seu valor original.

Se a voltagem aplicada ao circuito na figura 8-58 é dobrada para 60 volts, e o valor original de resistência é mantido em 15 ohms.

$$I = \frac{E}{R} \therefore I = \frac{60V}{15W} = 4 \text{ amperes}$$

Se a voltagem é reduzida para a metade do seu valor original, com resistência constante, a corrente diminuirá para a metade do seu valor original.

$$I = \frac{E}{R} \therefore I = \frac{15V}{15W} = 1 \text{ amp}$$

Assim, se a resistência permanece constante e a voltagem aumenta, a corrente também aumenta. Se a voltagem diminui, a corrente diminui também.

É importante fazer a distinção entre os termos "voltagem" e "queda de voltagem", na discussão sobre circuitos em série.

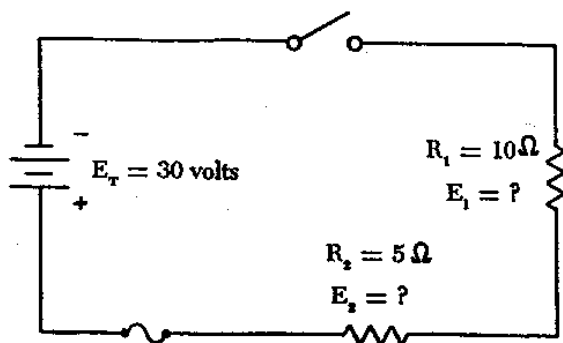


Figura 8-58 Queda de voltagem em um circuito.

Queda de voltagem refere-se à perda de pressão elétrica causada pelo forçamento de elétrons através de resistência. Na figura 8-58 a voltagem aplicada (bateria) é 30 volts e é chamada de E_T .

Havendo duas resistências no circuito, haverá duas diferentes quedas de voltagem, que serão a perda na pressão elétrica empregada para forçar os elétrons através das resistências. A quantidade de pressão elétrica necessária para forçar um dado número de elétrons através de resistência é proporcional à quantidade da resistência.

Assim sendo, a queda da voltagem cruzando R_1 será o dobro da observada em R_2 , já que R_1 tem duas vezes o valor de resistência de R_2 . A queda através de R_1 é chamada de E_1 , e através de R_2 é E_2 . A corrente I é a mesma através de todo o circuito.

Usando:

$E = IR$	$E_2 = IR_2$
$E_1 = IR_1$	$E_2 = 2a \times 5$
$E_1 = 2a \times 10$	$E_2 = 10v$
$E_1 = 20v$	

Se as quedas de voltagem (usadas) através de dois resistores são somadas ($10V + 20V$), um valor igual à voltagem aplicada, 30 volts, é obtido. Isto confirma a fórmula básica para circuito em série: $E_T = E_1 + E_2$

Em qualquer circuito em série de corrente contínua, uma quantidade desconhecida como voltagem, resistência ou corrente pode ser calculada por meio da lei de ohm, se as outras duas quantidades forem conhecidas. A figura 8-59 é um circuito em série contendo três valores de resistência conhecidos, e uma voltagem aplicada de 150 volts. Usando estes valores, as quantidades desconhecidas podem ser determinadas aplicando-se a lei de Ohm, da seguinte forma:

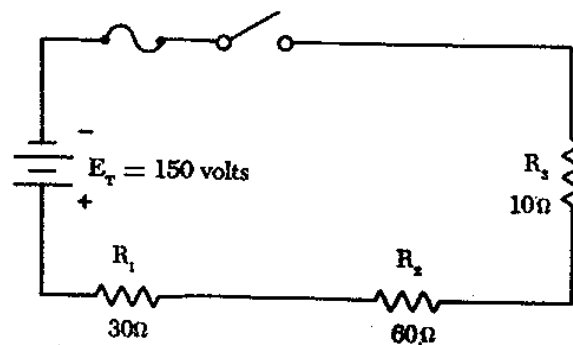


Figura 8-59 Aplicação da Lei de Ohm.

$R_1 =$	30Ω
$R_2 =$	60Ω
$R_3 =$	10Ω
$R_T =$	-----
$I_T =$	-----
$E_{R1} =$	-----
$E_{R2} =$	-----
$E_{R3} =$	-----

Resistência total:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 30 + 60 + 10 = 100 \Omega$$

Corrente total:

$$I_T = \frac{ET}{RT} = \frac{150V}{100\Omega} = 1,5\text{amp}$$

Quedas de voltagem:

$E =$	IR
$E_{R1} =$	$I_T \times R_1$
$=$	$1.5 \text{ amps} \times 30$
$=$	$45V$
$E_{R2} =$	$I_T \times R_2$
$=$	$1.5 \text{ amps} \times 60$
$=$	$90V$
$E_{R3} =$	$I_T \times R_3$
$=$	$1.5 \text{ amps} \times 10$
$=$	$15V$

Estes valores de quedas de voltagem seriam iguais à voltagem aplicada?

$E_T =$	$E_{R1} + E_{R2} + E_{R3}$
$E_T =$	$150V$
$150V =$	$45V + 90V + 15V$

A soma das quedas de voltagem é igual à voltagem aplicada.

Leis de Kirchhoff

Em 1847, um físico alemão, G.R. Kirchhoff, em considerações sobre a lei de Ohm, desenvolveu duas afirmações que são conhecidas como leis de Kirchhoff, para corrente e voltagem.

O conhecimento destas leis habilita o técnico de aeronaves em melhor compreensão do comportamento da eletricidade. Utilizando as leis de Kirchhoff é possível encontrar:

(1) A corrente em cada parte de um circuito com vários segmentos, tanto a resistência quanto a força eletromotriz são conhecidas em cada segmento; ou (2) a força eletromotriz em cada parte quando a resistência e a corrente em cada braço são conhecidas. Estas leis estão estabelecidas assim:

Lei da corrente - a soma algébrica das correntes em qualquer conexão de condutores em um circuito é zero. Isto significa que a quantidade de corrente fluindo de um ponto num circuito, é igual a quantidade fluindo para o mesmo ponto.

Lei da voltagem - a soma algébrica da voltagem aplicada e a queda de voltagem ao longo de qualquer circuito fechado é zero, o que significa que a queda de voltagem ao longo de qualquer circuito fechado é igual à voltagem aplicada.

Ao aplicarmos as leis de Kirchhoff, usamos os seguintes procedimentos para simplificar o trabalho:

1. Quando a direção de corrente não é aparente, supor a direção do fluxo. Se a suposição estiver errada, a resposta estará numericamente correta, mas precedida por um sinal negativo.
2. Colocar marcações de polaridade (sinais de mais e menos) sobre todos os resistores e baterias existentes no circuito que está sendo resolvido. A direção suposta do fluxo de corrente não afetará as polaridades das baterias, mas afetará a polaridade da queda de voltagem nos resistores, logo, a queda de voltagem deve ser marcada de modo que a extremidade do resistor que recebe o fluxo é negativa, e a outra extremidade que o fluxo de corrente deixa é positiva.

Nas colocações sobre as leis de Kirchhoff, o termo soma algébrica foi empregado. Uma soma algébrica difere de uma soma aritmética, já que ambos, a magnitude e o sinal de cada número, precisam ser considerados.

Nos circuitos elétricos a queda de voltagem ocorre quando a corrente flui através de um resistor. A magnitude da voltagem é determina-

da pelo valor do resistor e a quantidade de fluxo de corrente.

A polaridade (sinal) da queda de voltagem é determinada pela direção de fluxo de corrente. Por exemplo, observando as polaridades da força eletromotriz aplicada (f.e.m.) e a queda de voltagem, são observados conforme mostrado na figura 8-60.

A F.E.M. aplicada provoca o fluxo de elétrons através da oposição oferecida pelas resistências.

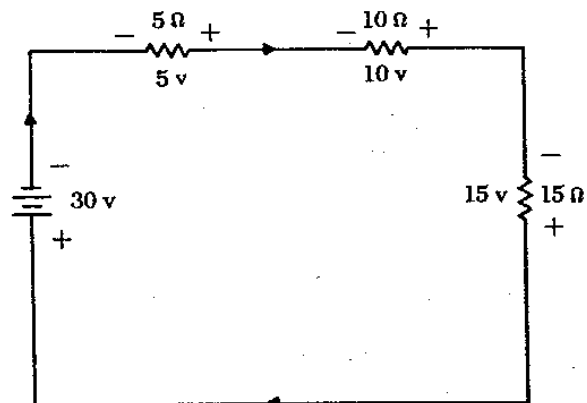


Figura 8-60 Polaridade da queda de voltagem.

A queda de voltagem de um lado a outro em cada resistência é consequentemente oposta em polaridade a da F.E.M. aplicada. Observa-se que o lado de cada resistor, onde a corrente entra é assinalado como negativo.

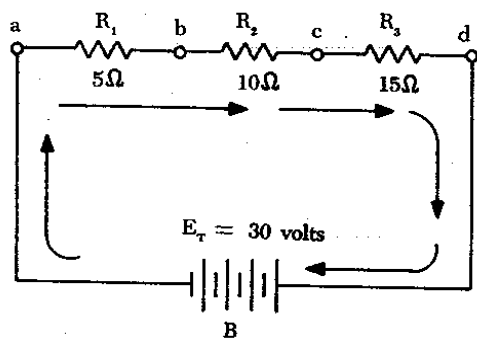
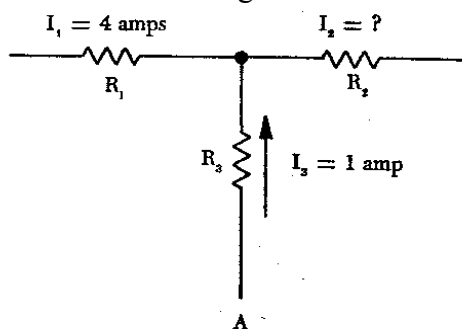


Figura 8-61 Circuito demonstrando a Lei de Kirchhoff: (A) lei da corrente e (B) lei da voltagem.

A figura 8-61 (A) mostra uma parte de um circuito que ilustra a lei da corrente de Kirchhoff.

A corrente, fluindo através do resistor R_1 , tem uma intensidade de quatro ampères; fluindo através de resistor R_3 , tem uma magnitude de um ampère, e está fluindo através da mesma junção que a corrente através de R_1 .

Usando a lei da corrente de Kirchhoff, é possível determinar quanta corrente está fluindo através de R_2 , e se está fluindo para ou da junção comum. Isto é expresso na forma de equação como:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

Substituindo os valores de corrente na equação, fica:

$4 + I_2 + (-1)$	$= 0$
I_2	$= 1 + 4$
I_2	$= 5$
$-4 + (-1) + 5$	$= 0$

A lei da corrente de Kirchhoff encontra uma aplicação mais ampla nos mais complexos circuitos em paralelo ou série-paralelo.

A figura 8-61 (B) é um circuito de corrente contínua em série, que está sendo usado para demonstrar a lei da voltagem de Kirchhoff. A resistência total é a soma de R_1 , R_2 e R_3 , igual a 30 ohms. Sendo a voltagem aplicada 30 volts, a corrente fluindo no circuito é de 1 ampère. Então, as quedas de voltagem através de R_1 , R_2 e R_3 são 5 volts, 10 volts e 15 volts, respectivamente. A soma das quedas de voltagem é igual à voltagem aplicada, 30 volts.

Este circuito também pode ser resolvido, usando-se as polaridades das voltagens e mostrando que a soma algébrica das voltagens é zero. Quando trocando o fluxo de corrente, se o sinal (+) for encontrado primeiro, considerar as voltagens positivas; se for (-) considerar negativas. Partindo da bateria e indo na direção do fluxo de corrente (conforme indicado pelas setas) a seguinte equação pode ser formada:

$$\begin{aligned} \text{Voltagem Total } (E_T) &= +30 - 5 - 10 - 15 \\ E_T &= 0 \end{aligned}$$

O ponto de início e a polaridade, no circuito, são arbitrários, é uma questão de escolher para cada circuito.

CIRCUITO DE CORRENTE CONTÍNUA EM PARALELO

Um circuito em que duas ou mais resistências elétricas, ou cargas, são conectadas através da mesma fonte de voltagem é um circuito em paralelo, desde que exista mais de um caminho para o fluxo de corrente - quanto maior a quantidade de caminhos paralelos, menor oposição para o fluxo de elétrons da fonte se observará.

Num circuito em série, a adição de resistências aumenta a oposição ao fluxo de corrente. Os requisitos mínimos para um circuito em paralelo são os seguintes:

1. uma fonte de força.
2. condutores.
3. uma resistência ou carga para cada caminho da corrente.
4. dois ou mais caminhos para o fluxo de corrente.

A figura 8-62 mostra um circuito em paralelo com três caminhos para o fluxo de corrente. Os pontos A, B, C e D são conectados ao mesmo condutor e ao mesmo potencial elétrico.

De um modo similar, os pontos E, F, G e H estão ligados à mesma fonte. Desde que a voltagem aplicada apareça entre os pontos A e E, a mesma voltagem estaria aplicada entre os pontos B e F, C e G e D e H.

Daí, quando os resistores são conectados em paralelo através da mesma fonte de voltagem, cada resistor tem a mesma voltagem aplicada, entretanto as correntes através dos resistores podem diferir entre si, dependendo dos valores dos resistores. A voltagem num circuito em paralelo pode ser expressa da seguinte forma: $E_T = E_1 = E_2 = E_3$ onde E_T é a voltagem aplicada, E_1 é a voltagem através de R_1 , E_2 é a voltagem através de R_2 e E_3 é a voltagem através de R_3 . (Figura 8-62).

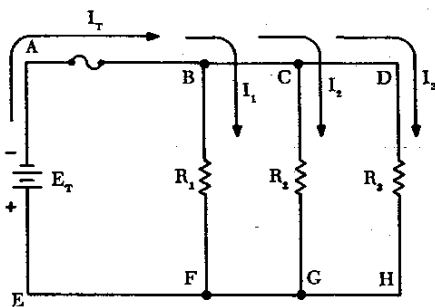


Figura 8-62 Circuito em paralelo.

A corrente num circuito em paralelo divide-se entre as várias derivações, de modo que dependa da resistência encontrada em cada uma delas (ver figura 8-63).

A ramificação contendo um menor valor de resistência terá um maior fluxo de corrente do que uma outra onde se encontre uma resistência maior.

A lei da corrente de Kirchhoff estabelece que a corrente fluindo em direção a um ponto é igual à corrente fluindo deste mesmo ponto em diante. Então, o fluxo de corrente num circuito pode ser expresso matematicamente assim:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

onde I_T é a corrente total e I_1 , I_2 , I_3 são as correntes através de R_1 , R_2 , R_3 , respectivamente.

A lei de Kirchhoff e a de Ohm podem ser aplicadas para achar o fluxo total de corrente no circuito mostrado na figura 8-63.

O fluxo de corrente através do braço contendo a resistência R_1 é:

$$I_1 = \frac{E}{R_1} = \frac{6}{15} = 0,4 \text{ amps}$$

A corrente através de R_2 é

$$I_2 = \frac{E}{R_2} = \frac{6}{25} = 0,24 \text{ amps}$$

A corrente através de R_3 é

$$I_3 = \frac{E}{R_3} = \frac{6}{12} = 0,5 \text{ amps}$$

A corrente total, I_T , é

$$\begin{aligned} I_T &= I_1 + I_2 + I_3 \\ I_T &= 0,4 \text{ amps} + 0,24 \text{ amps} + 0,5 \text{ amps} \\ I_T &= 1,14 \text{ amps} \end{aligned}$$

Num circuito em paralelo, $I_T = I_1 + I_2 + I_3$. Pela lei de Ohm, as seguintes equações podem ser obtidas:

$$I_T = \frac{E_T}{R_T}, I_1 = \frac{E_1}{R_1}, I_2 = \frac{E_2}{R_2} \text{ e } I_3 = \frac{E_3}{R_3}$$

Substituindo estes valores na equação para corrente total:

$$\frac{E_T}{R_T} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3}$$

Num circuito em paralelo $E_T = E_1 = E_2 = E_3$. Consequentemente:

$$\frac{E}{R_T} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3}$$

Dividindo tudo por E, temos:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Essa equação é a fórmula recíproca para encontrar a resistência total ou equivalente de um circuito em paralelo. Resolvendo para R_T , é uma outra maneira de derivar a equação.

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Uma análise da equação para resistência total em um circuito em paralelo mostra que R_T é sempre menor do que a menor resistência num circuito em paralelo. Assim, um resistor de 10 ohms, um de 20 ohms e um de 40 ohms conectados em paralelo têm a resistência total inferior a 10 ohms. Se existirem apenas dois resistores num circuito em paralelo, a fórmula recíproca é:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Simplificando, fica:

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

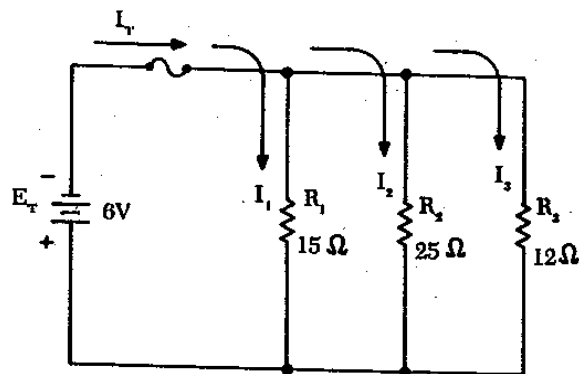


Figura 8-63 Fluxo de corrente no circuito em paralelo.

Essa fórmula simplificada pode ser utilizada quando duas resistências estão em paralelo. Um outro método pode ser empregado para qualquer número de resistores em paralelo, se seus valores forem iguais entre si. O valor de um resistor é dividido pela quantidade de resistores em paralelo para determinar a resistência total. Em expressão matemática, fica:

$$R_T = \frac{R}{N}$$

Onde R_T é a resistência total, R é resistência de um resistor, e N é o número de resistores.

CIRCUITOS EM SÉRIE-PARALELO

A maior parte dos circuitos em equipamentos elétricos são circuitos em série ou em paralelo.

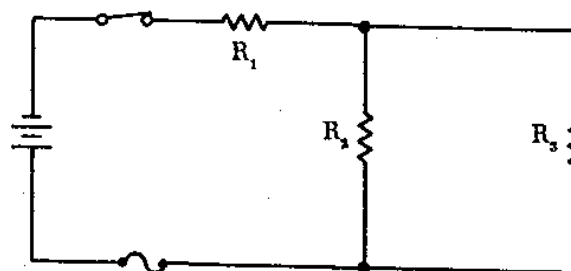


Figura 8-64 Circuito em série-paralelo.

São, normalmente, circuitos combinados, isto é, em série-paralelo, o que consiste em grupos de resistores em paralelo conectados em série com outros resistores. A figura 8-64 mostra um exemplo deste tipo de circuito.

Os requisitos para um circuito em série-paralelo são os seguintes:

1. fonte de força (bateria)
2. condutores (fios)
3. carga (resistências)
4. mais de um caminho para o fluxo de corrente
5. um controle (interruptor)
6. dispositivo de segurança (fusível)

Embora os circuitos em série-paralelo possam parecer extremamente complexos, a mesma regra usada para circuitos em série e paralelo pode ser empregadas para simplificá-los e resolvê-los. O método mais fácil de lidar

com circuito em série-paralelo é separá-lo, redesenhando as partes como circuitos equivalentes. O circuito na figura 8-65 é um exemplo de um circuito simples em série-paralelo que pode ser redesenhado para ilustrar esse procedimento.

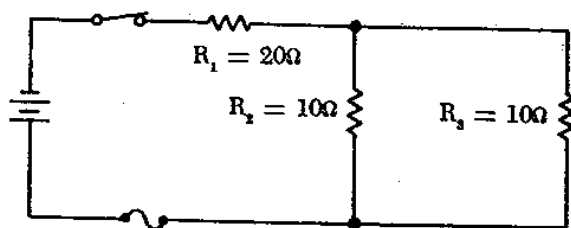


Figura 8-65 Circuito em série-paralelo simples.

Nesse circuito, a mesma voltagem é aplicada em R_2 e R_3 ; logo elas estão em paralelo. A resistência equivalente a esses dois resistores é igual a resistência de um resistor dividida pelo número de resistores em paralelo.

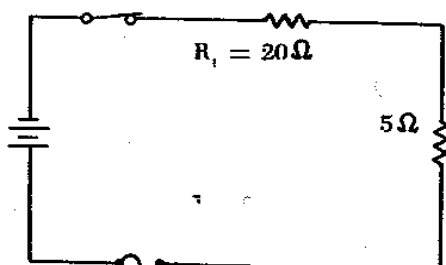


Figura 8-66 Circuito em série-paralelo redesenhado.

Isto só é verdadeiro quando os resistores em paralelo têm o mesmo valor ôhmico. Se esta regra é aplicada, o circuito pode ser redesenhado, como mostrado na figura 8-66.

Dessa maneira, o circuito em série-paralelo original foi convertido em um simples circuito em série contendo duas resistências. Para simplificar mais ainda o circuito, as duas resistências em série podem ser somadas e o circuito poderá ser redesenhado, conforme mostrado na figura 8-67.

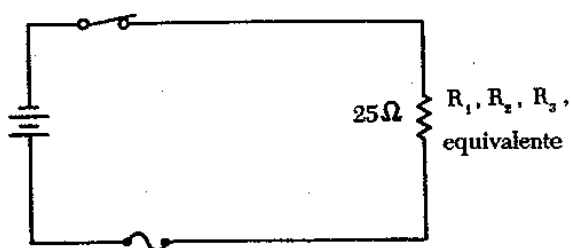


Figura 8-67 Circuito em série-paralelo equivalente.

Apesar do circuito não precisar ser redesenhado (figura 8-67), já que os cálculos poderiam ser feitos mentalmente, esse circuito ilustra claramente que um resistor de 25 ohms é equivalente aos três resistores do circuito original. A figura 8-68 contém um circuito em série-paralelo mais complexo.

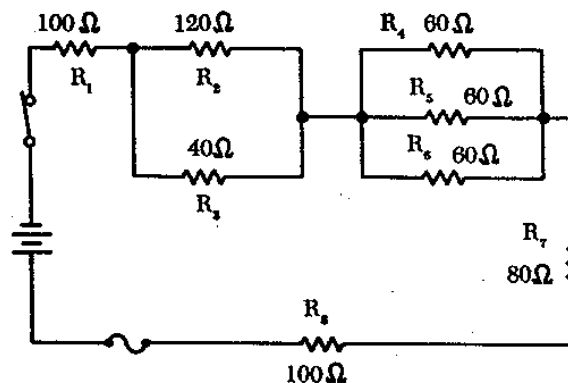


Figura 8-68 Circuito em série-paralelo mais complexo.

O primeiro passo para simplificar esse circuito é reduzir cada grupo de resistores em paralelo em um único resistor equivalente. O primeiro grupo é a combinação em paralelo de R_2 e R_3 .

Como esses resistores têm valores desiguais de resistência, a fórmula para dois resistores em paralelo é usada:

$$R_a = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{120 \times 40}{120 + 40} = \frac{4800}{160} = 30\Omega$$

Assim, a combinação em paralelo de R_2 e R_3 pode ser apresentada por um único resistor de 30Ω, conforme mostrado na figura 8-69

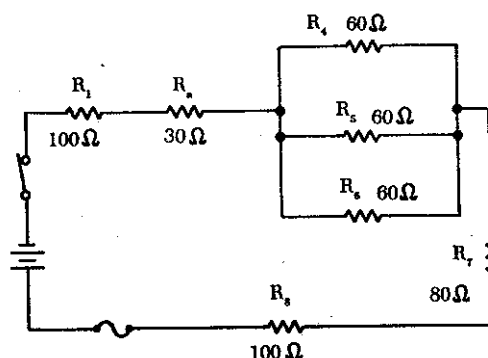


Figura 8-69 Circuito em série-paralelo com um resistor equivalente.

Em seguida, a resistência equivalente à combinação em paralelo de R_4 , R_5 e R_6 pode ser determinada, usando-se a fórmula $R_b = R/N$:

onde, R_b é a resistência equivalente à R_4 , R_5 e R_6 , R é o valor de um dos resistores e N é o número de resistores em paralelo.

$$R_b = \frac{R}{N} = \frac{60}{3} = 20\Omega$$

A combinação em paralelo de R_4 , R_5 e R_6 pode então ser redesenhada como um simples resistor de 20Ω , conforme mostrado na figura 8-70.

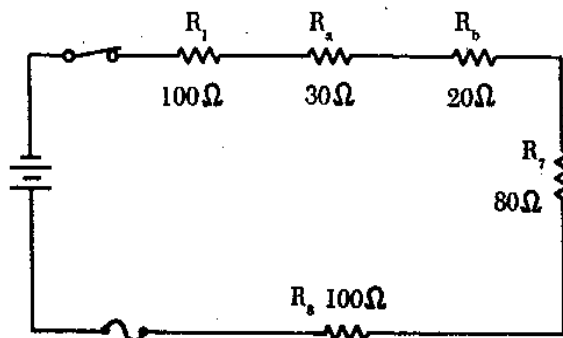


Figura 8-70 Circuito equivalente a série-paralelo.

O circuito original em série-paralelo foi então substituído pelo circuito em série equivalente. Esse circuito poderia ser redesenhado novamente substituindo-se os cinco resistores em série por um resistor de 330 ohms.

Isto pode ser demonstrado, usando-se a fórmula de resistência total para circuitos em série:

$$R_T = R_1 + R_4 + R_b + R_7 + R_8 = 100 + 30 + 20 + 80 + 100 = 330 \text{ ohms.}$$

O primeiro circuito em série-paralelo usado é redesenhado para discutir-se o comportamento do fluxo de corrente (figura 8-71).

Ao contrário do circuito em paralelo, os braços de corrente I_1 e I_2 não podem ser estabelecidos, usando-se a voltagem aplicada. Como R_1 está em série com a combinação de R_2 e R_3 , houve queda parcial da voltagem aplicada através de R_1 .

Para obter as correntes dos braços, a resistência total e a corrente total precisam ser encontradas primeiro. Como R_2 e R_3 são resistências iguais:

$$R_{\text{equiv.}} = \frac{R}{N} = \frac{14}{2} = 7\Omega$$

A resistência total é:

$$\begin{aligned} R_T &= R_1 + R_{\text{equiv}} \\ &= 21\Omega + 7\Omega \\ &= 28\Omega \end{aligned}$$

Usando a lei de Ohm, a corrente total é:

$$I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{28 \text{ V}}{28 \Omega} = 1 \text{ ampère}$$

A corrente total de 1 ampère flui através de R_1 e divide-se no ponto "A", com parte da corrente fluindo através de R_2 e outra parte através de R_3 .

Como R_2 e R_3 têm tamanhos iguais, é obvio que a metade de corrente total, ou 0,5 amps, fluirá através de cada ramificação.

As quedas de voltagem no circuito são determinadas por meio da lei de Ohm:

$$E = IR$$

$$E_{R1} = I_T R_1 = 1 \times 21 = 21 \text{ volts}$$

$$E = IR$$

$$E_{R2} = I_1 R_2 = 0,5 \times 14 = 7 \text{ volts}$$

$$E = IR$$

$$E_{R3} = I_2 R_3 = 0,5 \times 14 = 7 \text{ volts}$$

As quedas de voltagem em resistores em paralelo são sempre iguais.

Convém lembrar que quando a voltagem é mantida constante e a resistência de qualquer resistor em circuito série-paralelo é aumentada, a corrente total diminuirá.

Não se deve confundir isto com a adição de um novo resistor numa combinação em paralelo, o que reduziria a resistência total e aumentaria o fluxo total de corrente.

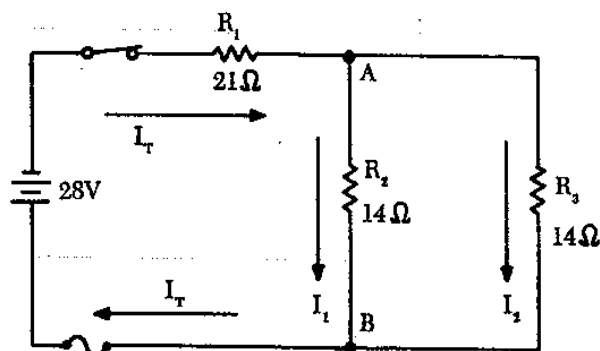


Figura 8-71 Fluxo de corrente em circuito série-paralelo.

DIVISORES DE VOLTAGEM

Os divisores de voltagem são dispositivos que possibilitam obter mais de uma voltagem de uma única fonte de força.

Um divisor de voltagem normalmente consiste de um resistor ou resistores ligados em série, com contatos móveis ou fixos e dois contatos de terminais fixos.

Como a corrente flui através do resistor, voltagens diferentes podem ser obtidas entre os contatos. Um divisor de voltagem típico é mostrado na figura 8-72.

Uma carga é qualquer dispositivo que consome corrente. Uma carga alta significa um grande dreno de corrente. Juntamente com a corrente consumida por várias cargas, existe certa quantidade consumida pelo próprio divisor de voltagem. Isto é conhecido como corrente "drenada".

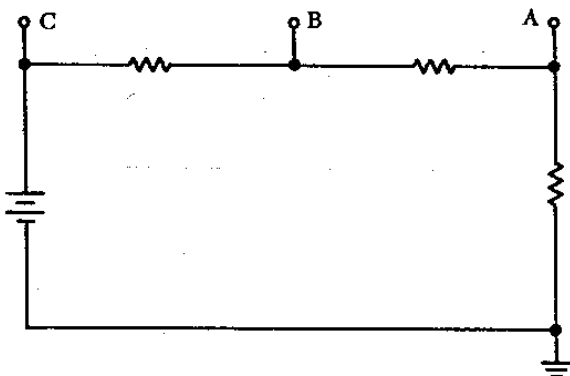


Figura 8-72 Circuito divisor de tensão

Para se entender como um divisor de voltagem trabalha, examina-se cuidadosamente a figura 8-73, e observa-se o seguinte:

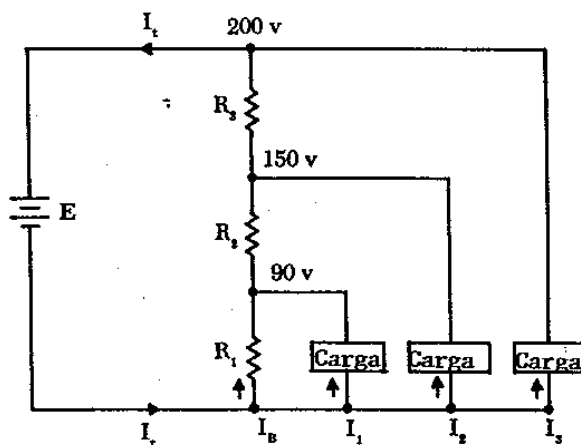


Figura 8-73 Típico divisor de voltagem.

Cada carga consome uma dada quantidade de corrente: I_1 , I_2 , I_3 . Em adição às correntes de carga, alguma corrente drenada (I_B) flui. A corrente I_t é tirada da fonte de força e é igual à soma de todas as correntes.

A voltagem em cada ponto é medida com base em um ponto comum. Vê-se que este ponto comum é o ponto no qual a corrente total (I_t) divide-se em correntes separadas (I_1 , I_2 , e I_3).

Cada parte do divisor de voltagem tem uma diferente corrente fluindo em si. A distribuição da corrente é a seguinte:

Através de R_1 - corrente drenada (I_B)

Através de R_2 - $I_B + I_1$

Através de R_3 - $I_B + I_1 + I_2$

A voltagem através de cada resistor do divisor de voltagem é:

90 volts em R_1

60 volts em R_2

50 volts em R_3

O circuito divisor de voltagem, discutido até agora, tinha um lado da fonte de força (bateria) ligada na massa (terra).

Na figura 8-74 ponto comum de referência (símbolo de "terra") foi mudado para outro ponto do divisor de voltagem.

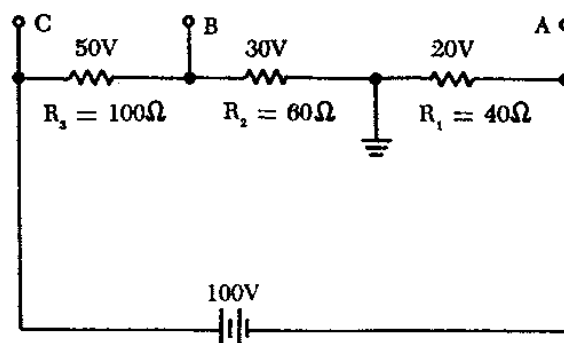


Figura 8-74 Voltagem positiva e negativa em um divisor de voltagem.

A queda de voltagem através de R_1 são 20 volts; todavia, desde que o ponto "A" seja ligado a um ponto no circuito que seja do mesmo potencial que o lado negativo da bateria, a voltagem entre o ponto "A" e o ponto de referência são de 20 volts negativos. Considerando os resistores R_2 e R_3 ligados ao lado positivo da bateria, as voltagens entre o ponto de referência e o ponto "B" ou "C" são positivas.

Um método simples para determinar voltagens negativas e positivas é conseguido por meio das seguintes regras: (1) se a corrente entra numa resistência fluindo a partir do ponto de referência, a queda de voltagem através desta resistência é positiva em relação ao ponto de referência; (2) se a corrente flui de uma resistência na direção do ponto de referência, a queda de voltagem através desta resistência é negativa em relação ao ponto de referência.

É a localização do ponto de referência que determina se uma voltagem é negativa ou positiva.

Traçar o fluxo de corrente é um meio de determinar a polaridade da voltagem. A figura 8-75 mostra o mesmo circuito, com indicação das polaridades das quedas de voltagem e direção do fluxo de corrente.

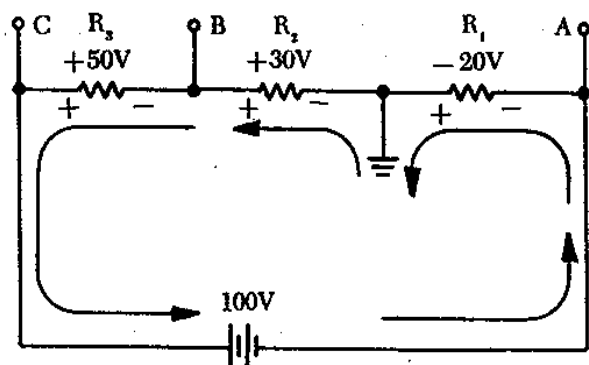


Figura 8-75 Fluxo de corrente através de um divisor de voltagem.

A corrente flui do lado negativo da bateria para R_1 . O ponto "A" tem o mesmo potencial que o terminal negativo da bateria, desde que seja desconsiderada a desprezível resistência do próprio condutor (fiação); contudo os 20 volts da fonte são necessários para forçar a corrente através de R_1 , e esta queda de 20 volts tem a polaridade indicada. Afirmando, de outro modo, existem apenas 80 volts de pressão elétrica presentes no circuito no lado "terra" de R_1 .

Quando a corrente alcança o ponto "B", 30 volts a mais foram empregados para movimentar os elétrons através de R_2 e, de forma similar, os restantes 50 volts são usados por R_3 . Mas as voltagens através de R_2 e R_3 são positivas, desde que estejam acima da do ponto "terra".

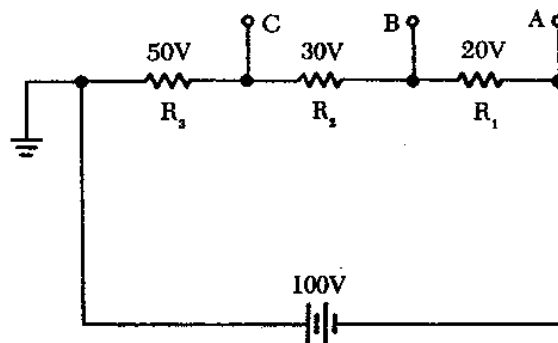


Figura 8-76 Divisor de voltagem com mudança do "terra".

A figura 8-76 mostra o divisor de voltagem usado anteriormente. As quedas de voltagens através dos resistores são as mesmas: contudo o ponto de referência ("terra") foi mudado. A voltagem entre o "terra" e o ponto "A" é agora de 100 volts negativos, ou seja, a voltagem aplicada. A voltagem entre o "Terra" e o ponto "B" é de 80 volts negativos, e a voltagem entre o "Terra" e o ponto "C" é de 50 volts negativos.

REOSTATOS E POTENCIÔMETROS

Os divisores de voltagem, discutidos até então são resistores de valores variados, através dos quais são desenvolvidas diversas quedas de voltagem. Os reostatos e os potenciômetros são resistores variáveis que são, às vezes, usados em conexão com os divisores de voltagem.

Um reostato é um resistor variável usado para variar a quantidade de corrente fluindo num circuito.

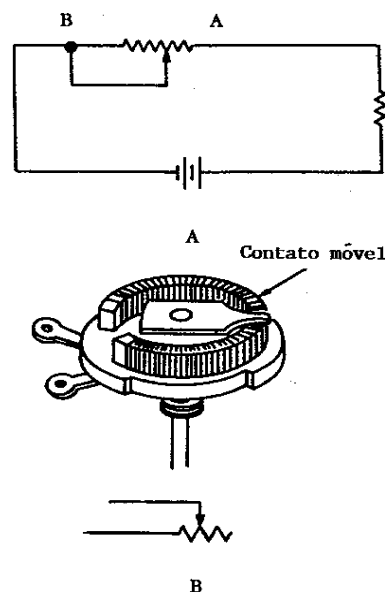


Figura 8-77 Reostato.

O reostato é representado esquematicamente como uma resistência de dois terminais com um braço de contato correção. A figura 8-77 mostra um reostato conectado em série com uma resistência comum, num circuito em série.

Conforme o braço deslizante se mover do ponto “A” para o ponto “B”, a quantidade de resistência do reostato (AB) é aumentada. Como a resistência do reostato e a resistência fixa estão em série, a resistência total no circuito também aumenta e a corrente diminui. Por outro lado, se o braço deslizante é movido na direção de ponto “A”, a resistência total diminui e a corrente, no circuito, aumenta.

O potenciômetro é um resistor variável que possui três terminais. As duas extremidades e o braço correção são ligados num circuito.

Um potenciômetro é usado para variar a quantidade de voltagem num circuito, e é um dos controles mais comuns usados em equipamentos elétricos e eletrônicos. Alguns exemplos são os controles de volume nos receptores de rádio e o controle de brilho em aparelhos de televisão.

Em “A” da figura 8-78, um potenciômetro é usado para obter uma voltagem variável de uma fonte de voltagem para aplicar a uma carga elétrica. A voltagem aplicada à carga é a voltagem entre os pontos “B” e “C”. Quando o braço deslizante é movido para o ponto “A”, a totalidade da voltagem é aplicada ao dispositivo elétrico (carga); quando o braço é movido para o ponto “C”, a voltagem aplicada à carga é zero. O potenciômetro torna possível a aplicação de qualquer voltagem entre zero e a voltagem total à carga.

A corrente fluindo através do circuito da figura 8-78 deixa o terminal negativo da bateria e se divide, uma parte fluindo através de um setor do potenciômetro (ponto C para B) e a outra parte através da carga. Ambas as partes combinam-se no ponto “B” e fluem através do restante do potenciômetro (ponto B para A) retornando ao terminal positivo da bateria.

Em “B” da figura 8-78 são mostrados um potenciômetro e o seu símbolo esquemático.

Na escolha da resistência de um potenciômetro é preciso considerar a quantidade de corrente demandada pela carga, bem como a que flui através do potenciômetro considerando todos os ajustes possíveis do braço deslizante. A energia da corrente através do potenciômetro é dissipada em forma de calor. É importante man-

ter esta corrente dissipada tão pequena quanto possível, empregando resistência do potenciômetro tão grande quanto praticável. Na maioria dos casos, a resistência do potenciômetro pode ser muitas vezes superior à resistência da carga.

Reostatos e potenciômetros são construídos com uma resistência circular, sobre a qual se move um braço correção.

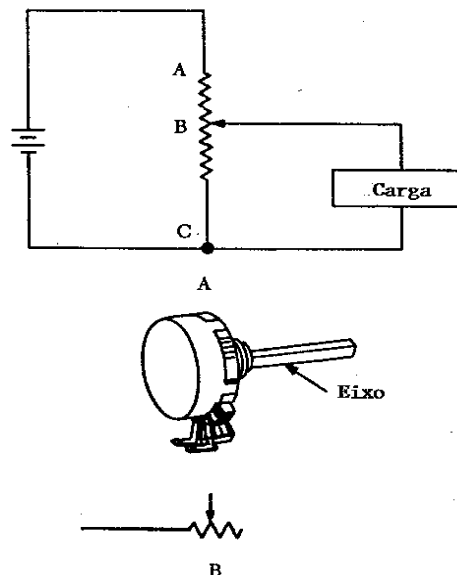


Figura 8-78 Potenciômetro.

A resistência pode ser distribuída de modo variado, e o método empregado determina a classificação linear ou logarítmica.

O tipo linear proporciona uma resistência normalmente distribuída sobre sua extensão, enquanto o logarítmico varia a razão entre o aumento da resistência e o espaço percorrido pelo braço deslizante. Como exemplo, podemos dizer que num reostato linear, meio curso do braço deslizante corresponde à metade da resistência total entre uma extremidade e o cursor, enquanto no caso do logarítmico, meio curso corresponde à um décimo (ou qualquer fração desejada) da resistência total, entre uma extremidade e o cursor.

Prefixos para unidades de medidas elétricas

Em qualquer sistema de medidas, um conjunto de unidades simples não é normalmente suficiente para todos os cálculos envolvidos em manutenção e reparos elétricos. Pequenas distâncias, por exemplo, podem ser medidas em centímetros, mas grandes distâncias são mais

significativamente expressas em metros ou quilômetros.

Visto que os valores elétricos frequentemente variam desde números que representam a milionésima parte de uma unidade básica de medida até valores extremamente grande, é completamente necessário o uso de uma faixa larga de números para representar as unidades tais, como volts, ampères ou ohms.

Uma série de prefixos que aparecem com o nome da unidade foram concebidos para os vários múltiplos e sub-múltiplos das unidade básicas.

Existem 12 desses prefixos que são também conhecidos como fatores de conversão. Seis dos prefixos mais comumente usados com definição reduzida são os seguintes:

Mega	significa um milhão	(1.000.000)
Quilo	significa mil	(1.000)
Centi	significa um centésimo	(1/100)
Mili	significa um milésimo	(1/1000)
Micro	significa um milionésimo	(1/1.000.000)
Micro	significa um milionésimo de milionésimo	(1/1.000.000.000.000)

Um dos fatores de conversão mais usados, o Quilo (Kilo), pode ser utilizado para explicar o uso dos prefixos com as unidades básicas de medida.

Quilo significa 1.000 e, quando usado com volts é expresso como Quilovolt (Kilovolt), significando 1.000 volts. O símbolo para Quilo (Kilo) é a letra "K". Então, 1.000 volts são 1 Quilo volt ou 1 KV.

Por outro lado, 1 volt seria igual a um miléssimo de KV, ou 1/1000 KV. Isto pode ser escrito como 0,001 KV.

Estes prefixos podem ser usados com todas as unidades elétricas. Eles proporcionam um método conveniente para que se escrevam valores grandes e pequenos.

A maior parte das fórmulas elétricas requer o uso de valores expressos nas unidades básicas; conseqüentemente todos os valores normalmente devem ser convertidos antes de efetuar o cálculo.

A figura 8-79 contém uma tabela de conversão que relaciona os valores elétricos mais comumente utilizados.

1 ampère = 1,000,000 microampères.
1 ampère = 1,000 milliamperes.
1 farad = 1,000,000,000,000 micromicrofarads.
1 farad = 1,000,000 microfarads.
1 farad = 1,000 millifarads.
1 henry = 1,000,000 microhenrys.
1 henry = 1,000 millihenrys.
1 kilovolt = 1,000 volts.
1 kilowatt = 1,000 watts.
1 megohm = 1,000,000 ohms.
1 microampere = .000001 ampère.
1 microfarad = .000001 farad.
1 microhm = .000001 ohm.
1 microvolt = .000001 volt.
1 microwatt = .000001 watt.
1 micromicrofarad = .000000000001 farad.
1 milliamperè = .001 ampère.
1 millihenry = .001 henry.
1 millimho = .001 mho.
1 milliohm = .001 ohm.
1 millivolt = .001 volt.
1 milliwatt = .001 watt.
1 volt = 1,000,000 microvolts.
1 volt = 1,000 millivolts.
1 watt = 1,000 milliwatts.
1 watt = .001 kilowatt.

Figura 8-79 Tabela de conversão.

A figura 8-80 contém uma lista completa dos múltiplos usados para expressar as quantidades elétricas, juntamente com os prefixos e símbolos usados para representar cada número.

NÚMERO	PREFIXO	SÍMBOLO
1,000,000,000,000	tera	t
1,000,000,000	giga	g
1,000,000	mega	m
1,000	kilo	k
100	hecto	h
10	deka	dk
0.1	deci	d
0.01	centi	c
0.001	milli	m
0.000,001	micro	u
0.000,000,001	nano	n
0.000,000,000,001	pico	p

Figura 8-80 Prefixos e símbolos para os múltiplos de quantidade básicas.

MAGNETISMO

O magnetismo é tão intimamente relacionado com a eletricidade no mundo industrial moderno, que pode ser afirmado seguramente

que sem o magnetismo o mundo da eletricidade não seria possível. O magnetismo é conhecido há vários séculos, mas depois do século dezoito uma torrente de conhecimento foi ligada a da eletricidade pelos pesquisadores científicos.

O mais primitivo magnetismo conhecido se resumia a um mineral natural, magnético, encontrado na Ásia Menor. Hoje, tal substância é conhecida como magnetita ou óxido magnético de ferro.

Quando um pedaço desse minério está suspenso horizontalmente por um fio (ou linha), ou flutua sobre um pedaço de madeira em água parada, alinha-se sozinho na direção norte-sul. É o único ímã natural que existe, sendo todos os outros produzidos artificialmente.

Desde os tempos mais remotos, conhecia-se o comportamento elementar dos ímãs, como por exemplo, a propriedade da magnetita de induzir magnetismo numa haste de ferro, esfregando uma na outra; ainda que, se as extremidades orientadas para o Norte, de um e outro ímã, forem aproximadas, os ímãs repelir-se-ão; por outro lado descobriram que se a extremidade "norte" de um fosse aproximada da extremidade "sul" de outro, eles atrair-se-iam.

O magnetismo é definido como a propriedade de um objeto para atrair certas substâncias metálicas.

Em geral, tais substâncias são materiais ferrosos, isto é, materiais compostos de ferro ou ligas de ferro, tais como ferro-doce, aço e alnico (alumínio-níquel-cobalto).

Esses materiais, às vezes chamados de materiais magnéticos, hoje, incluem, no mínimo, três materiais não-ferrosos: níquel, cobalto e gadolínio, que são magnéticos em grau limitado.

Todas as outras substâncias são consideradas não-magnéticas e uma pequena porção destas substâncias podem ser classificadas como diamagnéticas; desde que elas sejam repelidas por ambos os pólos de um ímã.

O magnetismo é uma força invisível, de natureza não completamente determinada. Ele pode ser melhor descrito pelos efeitos que produz.

O exame de uma barra magnética simples, similar a ilustrada na figura 8-81 desvenda algumas características básicas de todos os ímãs. Se o ímã for suspenso para pender livremente, ele alinhar-se-á com os pólos magnéticos da terra. Uma extremidade é chamada "N", sig-

nificando a ponta orientada para o pólo Norte magnético, ou o pólo norte do ímã. Similarmen- te, é o que ocorre com a extremidade "S". Os pólos magnéticos não têm a mesma localização dos pólos geográficos.

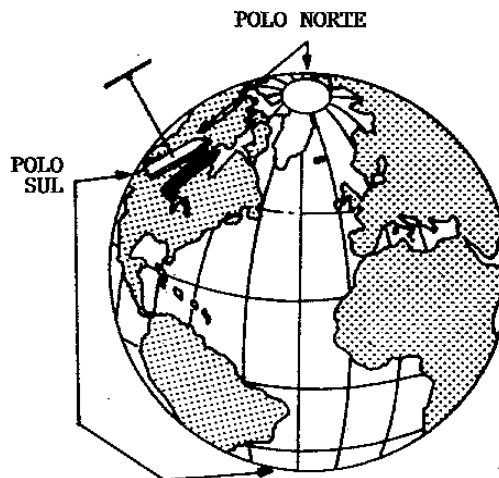


Figura 8-81 Uma das pontas de uma barra magnética aponta para o pólo magnético.

A força, um tanto misteriosa e completamente invisível de um ímã, depende do campo magnético que o envolve, conforme ilustrado na figura 8-82. Esse campo sempre existe entre os pólos de um ímã e o seu feitio será de acordo com a forma do ímã.

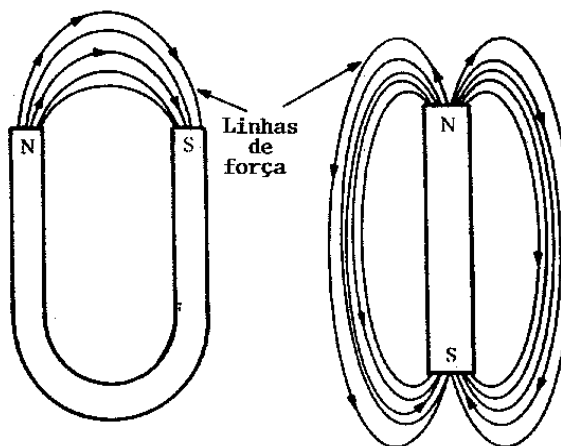
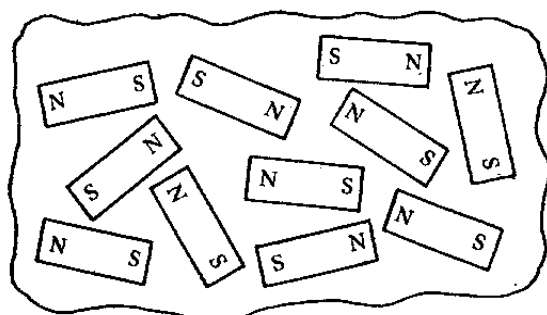
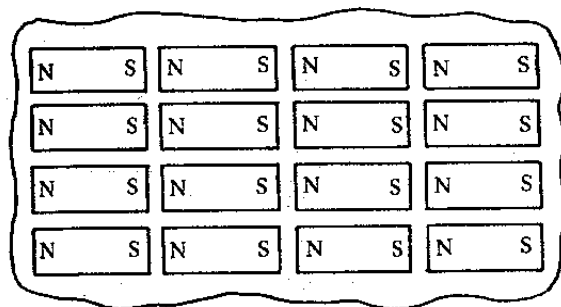


Figura 8-82 Campo magnético em torno de ímãs.

A teoria que explica a ação de um ímã considera que cada molécula constituindo uma barra de ferro é um pequeno ímã com ambos os pólos, norte e sul, conforme ilustrado na figura 8-83.



(A) Desmagnetizado



(B) Magnetizado

Figura 8-83 Arranjo das moléculas em uma peça de material magnético.

Esses ímãs moleculares, cada qual possui um campo magnético, mas no estado desmagnetizado as moléculas estão desarrumadas ao longo da barra de ferro.

Se uma força magnetizadora for aplicada em tal barra, como por exemplo, fricção com a magnetita, os ímãs moleculares alinhar-se-ão conforme o campo magnético induzido. Isto é ilustrado em B da figura 8-83.

Em semelhante configuração, os campos magnéticos dos ímãs combinaram para produzir o campo total da barra magnetizada.

Quando manuseando um ímã, evita-se aplicação direta de calor e pancadas, ou deixá-lo cair.

O aquecimento ou choque repentino causará desalinhamento das moléculas, resultando em enfraquecimento de seu poder magnético. Quando um ímã é estocado, dispositivos conhecidos como armaduras de proteção ("keeper bars") são instalados para proporcionar um caminho fácil para o fluxo de linhas de um pólo a outro. Isto favorece a conservação das moléculas no seu alinhamento norte-sul.

A presença da força do campo magnético em torno de um ímã pode ser melhor demonstrada através da experiência ilustrada na figura 8-84. Uma folha de material transparente,

tal como vidro ou plástico, é colocada sobre um ímã (barra), e a limalha de ferro é salpicada vagarosamente sobre esta cobertura transparente, na qual se vai batendo levemente para que a limalha desenhe o contorno do campo magnético, formando linhas entre os dois pólos do ímã.

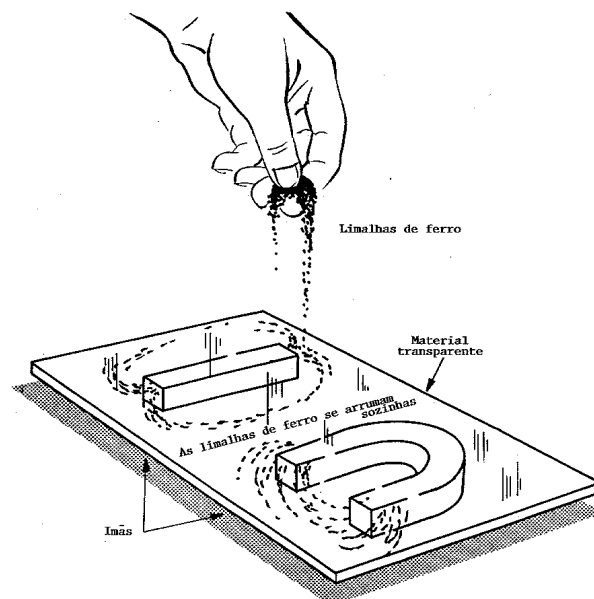


Figura 8-84 Demonstrando um campo magnético por meio de limalhas de ferro.

Conforme mostrado, o campo de um ímã é formado por muitas forças individuais, que aparecem como linhas na demonstração com limalhas de ferro.

Embora não se trate de "linhas" no sentido comum, essa palavra é usada para descrever a particular natureza das forças separadas, constituindo o campo magnético como um todo. Essas linhas de força também são mencionadas como fluxo magnético. Elas são forças individuais e separadas, tendo em vista que uma linha jamais cruza outra. Em verdade, elas de fato se repelem. Elas se mantêm paralelas, umas com as outras, e assemelham-se a estrias de borracha estendidas, que são mantidas no lugar em torno da barra pela força magnetizadora interna do ímã.

A demonstração com limalhas de ferro mostra ainda que o campo magnético de um ímã, é concentrado em suas extremidades. Essas áreas de concentração do fluxo são chamadas de pólos norte e sul do ímã.

Existe um limite para o número de linhas de força que constituem o fluxo de um ímã de determinado tamanho. Quando uma força magnetizadora é aplicada a um pedaço de material

magnético, atinge uma situação em que não é possível indução ou introdução de nenhuma linha de força a mais, diz-se que o material está saturado.

As características do fluxo magnético podem ser demonstradas pelos contornos dos modelos de fluxo de duas barras de imã com os pólos iguais aproximados, conforme mostrado na figura 8-85.

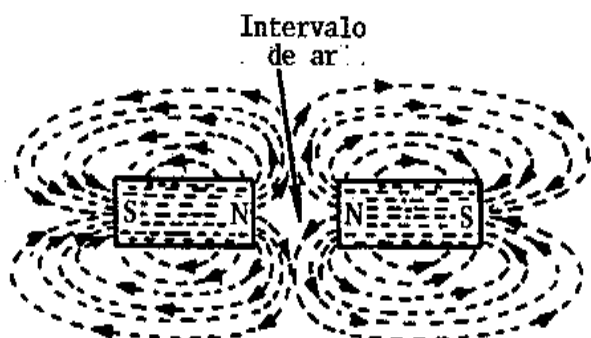


Figura 8-85 Pólos iguais se repelem.

Os pólos iguais se repelem porque as linhas de força não se cruzam. Conforme as setas sobre as linhas indicam, as linhas se evitam percorrendo caminhos paralelos, onde os campos se aproximam, causando a repulsão entre os ímãs.

Invertendo-se a posição de um dos ímãs, a atração entre pólos diferentes pode ser demonstrada, conforme mostrado na figura 8-86.

Como os pólos diferentes são aproximados um do outro, as linhas de força mudam seu percurso; e a maior parte do fluxo deixando o polo norte de um dos ímãs entra no polo sul de outro imã.

A tendência de repulsão entre as linhas de força é indicada pelo arqueamento de fluxo no intervalo entre os dois ímãs.

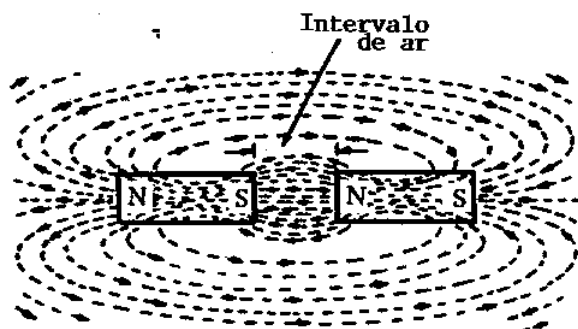


Figura 8-86 Pólos opostos se atraem.

Ainda para demonstrar que as linhas de força não se cruzarão, um imã em barra e outro em ferradura podem ser posicionados para mostrar um campo magnético semelhante ao da figura 8-87. Os campos dos dois ímãs não combinam, mas se reformulam num modelo de fluxo distorcido.

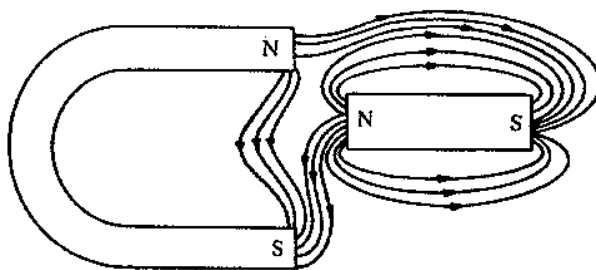


Figura 8-87 Desviando linhas de fluxo.

Duas barras de ímãs podem ser seguradas com as mãos para a demonstração das ações de atração e repulsão entre si. Estas experiências estão ilustradas na figura 8-88.

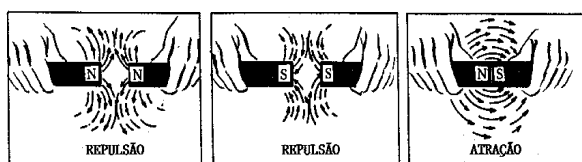


Figura 8-88 Atração e repulsão dos pólos de um imã.

A figura 8-89 ilustra uma outra característica dos ímãs. Se uma barra de imã for cortada ou quebrada em pedaços, cada um deles imediatamente se torna um imã, com um pólo norte e um pólo sul. Este aspecto sustenta a teoria de que cada molécula é um imã, posto que cada divisão sucessiva de um imã produz ainda mais ímãs.



Figura 8-89 Pólos magnéticos de pedaços de ímãs.

Considerando que as linhas de força magnética formam um contínuo enlace, elas constituem um circuito magnético. É impossível dizer onde, no imã, elas se originam ou se iniciam. Arbitariamente, é entendido que todas as linhas de força deixam o pólo norte de qualquer imã e entram pelo pólo sul.

Não existe nenhum isolador conhecido para o fluxo magnético, ou linhas de força, porque elas atravessarão todos os materiais. Entretanto, descobriu-se que elas atravessarão alguns materiais mais facilmente que outros. Então é possível blindar certas áreas, como instrumentos, dos efeitos do fluxo, circundando-as com um material que ofereça um caminho mais fácil para as linhas de força.

A figura 8-90 mostra um instrumento protegido por um revestimento de ferro-doce, que oferece diminuta resistência ao fluxo magnético. As linhas de força seguem o caminho mais fácil, de maior permeabilidade, e são guiadas externamente em relação ao instrumento.

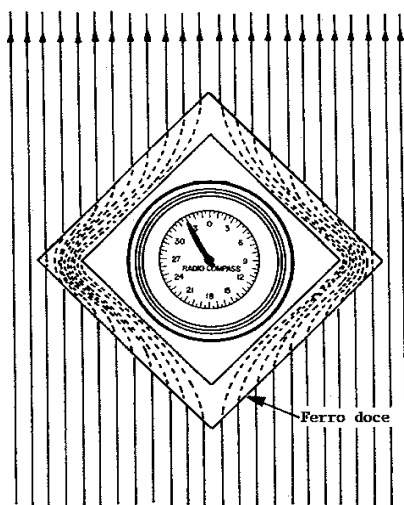


Figura 8-90 Escudo magnético.

Materiais como ferro-doce e outros metais ferrosos são considerados de alta permeabilidade, que é o grau de facilidade com que o fluxo magnético pode penetrar num material. A escala de permeabilidade é baseada no vácuo perfeito, considerando-se a razão de um.

O ar e outros materiais não magnéticos são tão aproximados do vácuo que também são considerados como tendo razão de um. Os metais não ferrosos tendo permeabilidade maior do que um, tais com níquel e cobalto, são chamados de paramagnéticos, enquanto o termo ferromagnético é atribuído ao ferro e suas ligas, que têm a mais alta permeabilidade.

Qualquer substância, a exemplo do bismuto, tendo permeabilidade menor do que um, é considerada diamagnética.

A relutância (medida de oposição para as linhas de força atravessarem um material) pode ser comparada à resistência de um circuito elétrico. A relutância do ferro-doce, por exemplo, é muito menor do que a do ar. A figura 8-91 de-

monstra que um pedaço de ferro-doce, colocado perto do campo de um ímã, pode distorcer as linhas de força, que seguem então o caminho de relutância mais baixa através do pedaço de ferro.

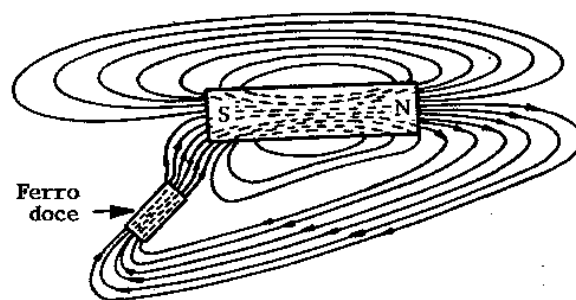


Figura 8-91 Efeito de uma substância magnética.

O circuito magnético pode ser comparado, sob muitos pontos de vista, a um circuito elétrico. A força magnetomotriz (f.m.m.) proporcionando linhas de força num circuito magnético pode ser comparada à força eletromotriz ou pressão elétrica de um circuito elétrico.

A f.m.m. é medida em *gilberts*, simbolizada pela letra maiúscula "F". O símbolo para a intensidade das linhas de força, ou fluxo, é a letra grega PHI (Φ) e a unidade de intensidade de campo é o *gauss*. Uma linha de força individual, chamada um *Maxwell*, numa área de um centímetro quadrado produz uma intensidade de campo de um *gauss*.

Usando-se relutância preferivelmente à permeabilidade, a lei para circuitos magnéticos pode ser estabelecida: uma força magnetomotriz de um *gilbert* proporcionará um *Maxwell*, ou linha de força, atuando num material quando a relutância do material é igual a um.

Tipos de ímãs

Existem ímãs naturais e artificiais. Como os ímãs naturais ou magnetitas não têm uso prático, todos os ímãs considerados neste estudo são artificiais ou produzidos pelo homem.

Os ímãs artificiais podem, então, ser classificados como ímãs permanentes que conservam seu magnetismo muito tempo após ser removida a fonte magnetizadora de ímãs temporários, que rapidamente perdem a maior parte do seu magnetismo quando a força de magnetização é removida.

Aço duro tem sido usado ao longo do tempo para ímãs permanentes, mas ímãs até

mesmo de melhor qualidade podem agora ser obtidos de várias ligas. **Almico**, uma liga de ferro, alumínio, níquel e cobalto é considerada uma das melhores. Outras com excelentes qualidades magnéticas são ligas como **Remalloy** e **Permendur**.

O velho método de produzir um ímã esfregando um pedaço de aço ou ferro com um ímã natural foi substituído por outros processos.

Um pedaço de metal colocado em contato ou suficientemente perto de um ímã tornar-se-á magnetizado por indução, e o processo pode ser acelerado aquecendo-se o metal, e então colocando-o para esfriar dentro de um campo magnético.

Ímãs também podem ser produzidos, colocando-se o metal a ser magnetizado num forte campo magnético, golpeando-o várias vezes com um martelo. Este processo pode ser usado para produzir ímãs permanentes com metais como aço duro.

A capacidade de um ímã absorver seu magnetismo varia enormemente conforme o tipo de metal e é conhecido como retentividade. Ímãs feitos de ferro-doce são facilmente magnetizados, mas rapidamente perdem a maior parte do seu magnetismo quando a força externa magnetizadora é removida. A pequena quantidade de magnetismo restante, chamada de magnetismo residual, é de grande importância em aplicações elétricas conforme a operação de geradores.

Ímãs em ferradura são comumente fabricados em duas formas, conforme mostrado na figura 8-92. O tipo mais comum é feito de uma barra curvada na forma de uma ferradura, enquanto uma variação consiste em duas barras ligadas por uma terceira, ou forquilha.

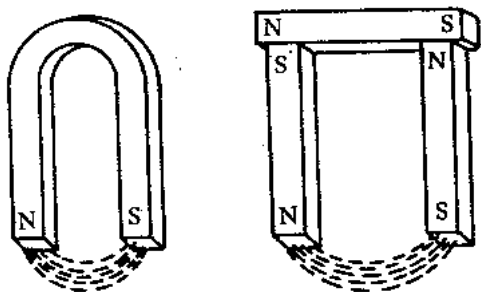


Figura 8-92 Duas formas de ímã ferradura.

Ímãs podem ser feitos com muitas formas diferentes, como bolas, cilindros ou discos. Um tipo especial de ímã é na forma de anel,

frequentemente utilizado em instrumentos. É um elo fechado, e é o único tipo que não possui pólos.

Algumas vezes, aplicações especiais requerem que o campo de força repouse através da espessura, em vez do comprimento de uma peça de metal. Tais ímãs são chamados ímãs chatos, e são usados como elementos de polarização em geradores e motores.

Eletrromagnetismo

Em 1819, o físico dinamarquês, Hans Christian Oersted descobriu que a agulha de uma bússola aproximada de um condutor sob corrente podia ser deflexionada. Quando o fluxo de corrente parava, a agulha retornava a sua posição original.

Esta importante descoberta demonstrou a relação entre a eletricidade e o magnetismo, que diz respeito ao eletroímã e muitas das invenções em que se baseia a indústria moderna.

Oersted descobriu que o campo magnético não tinha ligação com o condutor, no qual os elétrons estavam fluindo, porque o condutor era feito de cobre (material não-magnético). O campo magnético era criado pelos elétrons movendo-se através do fio. Como o campo magnético acompanha uma partícula carregada, quanto maior o fluxo de corrente, maior o campo magnético. A figura 8-93 ilustra o campo magnético em torno de um fio conduzindo corrente.

Uma série de círculos concêntricos em torno do condutor representa o campo e, se todos fossem mostrados, pareceria mais como um contínuo cilindro à semelhança dos círculos em torno do condutor.

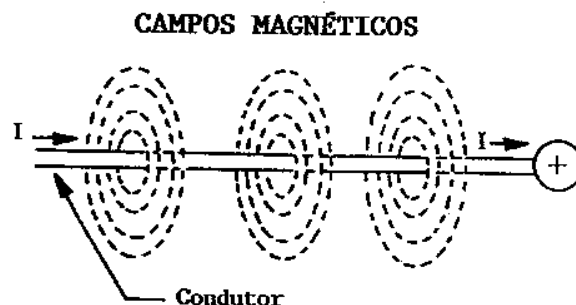


Figura 8-93 Campo magnético formado em torno de um condutor com fluxo de corrente.

A expansão do campo de força é proporcional à intensidade da corrente, conforme mostrado na figura 8-94. Se uma pequena corrente flui através do condutor, as linhas de força estender-se-ão conforme o círculo "A". Se o fluxo de corrente é aumentado, crescerá conforme o círculo "B", e um aumento adicional da corrente implicará em expansão, conforme o círculo "C".

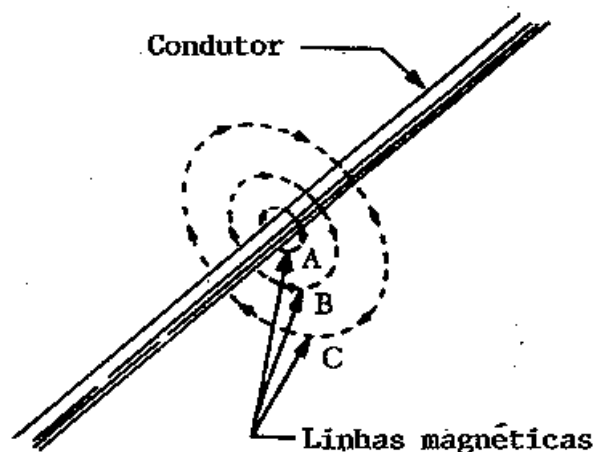


Figura 8-94 Expansão do campo magnético quando a corrente aumenta.

Conforme a linha de força original (círculo) se expande do círculo "A" para o "B", uma nova linha de força aparecerá para o círculo "A". Conforme o fluxo de corrente aumenta, o número de círculos de força aumenta, expandindo os círculos externos mais longe da superfície do condutor conduzindo corrente.

Se o fluxo de corrente é de corrente contínua estável, sem variação, o campo magnético permanece estacionário. Quando a corrente cessa, o campo magnético acaba, e o magnetismo em torno do condutor desaparece.

Uma agulha de bússola é usada para demonstrar a direção do campo magnético ao redor do condutor onde flui corrente. A letra "A" da figura 8-95 mostra uma agulha de bússola em ângulos alinhados com o condutor. Se não houvesse corrente fluindo, o norte indicado pela agulha seria o pólo norte magnético da terra.

Quando a corrente flui, a agulha se alinha um ângulo reto com o raio delineado no condutor. Como a agulha da bússola é um pequeno ímã, com linhas de força estendendo-se de sul para o norte dentro do metal, ela irá se virar na direção dessas linhas de força que envolvem o condutor.

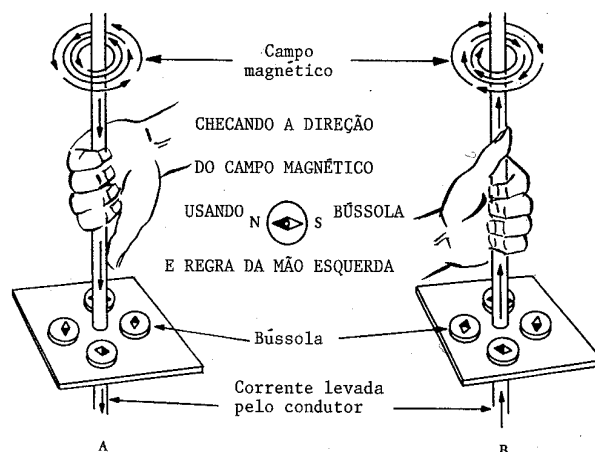


Figura 8-95 Campo magnético em torno de um condutor transportando corrente.

Conforme a agulha de bússola se move em torno do condutor, manter-se-á uma posição em ângulos retos com ele, indicando que o campo é circular em torno do fio por onde a corrente flui.

Como mostrado na figura 8-95, letra "B", quando a direção da corrente é revertida, a agulha da bússola passa a apontar na direção oposta, indicando a reversão do campo magnético.

Um método usado para determinar a direção das linhas de força, quando a direção do fluxo de corrente é conhecido, é mostrado na figura 8-96.

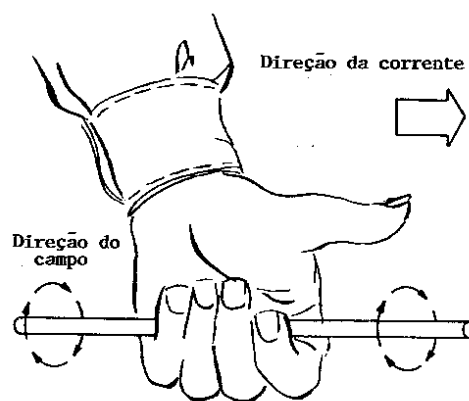


Figura 8-96 Regra da mão esquerda.

Se um condutor é segurado com a mão esquerda, com o polegar apontando na direção do fluxo de corrente, os dedos estarão envolvendo o condutor na mesma direção que as linhas de força do campo magnético. Isto é chamado de regra da mão esquerda.

Embora tenha sido afirmado que as linhas de força têm direção, não deve ser interpre-

tado que as linhas tenham movimento circular em torno do condutor.

Embora as linhas de força tendem a agir numa ou noutra direção, elas não estão circulando ao redor do condutor.

Desde que a corrente flui do negativo para o positivo, muitas ilustrações indicam a direção da corrente com uma pinta que simboliza a extremidade do condutor para onde os elétrons estão fluindo, e um sinal de (+) na extremidade de onde a corrente flui. Isto é ilustrado na figura 8-97.

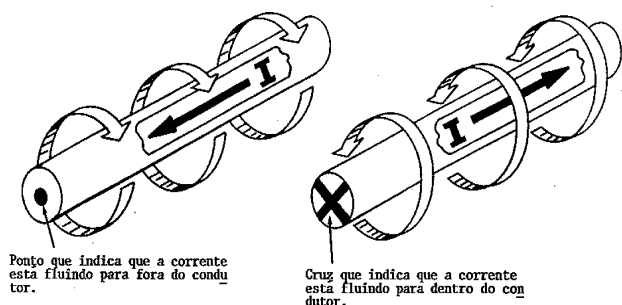


Figura 8-97 Direção da corrente fluindo de um condutor.

Quando um fio é enrolado num "loop", e uma corrente elétrica flui através dele, a regra da mão esquerda permanece válida, conforme mostrado na figura 8-98.

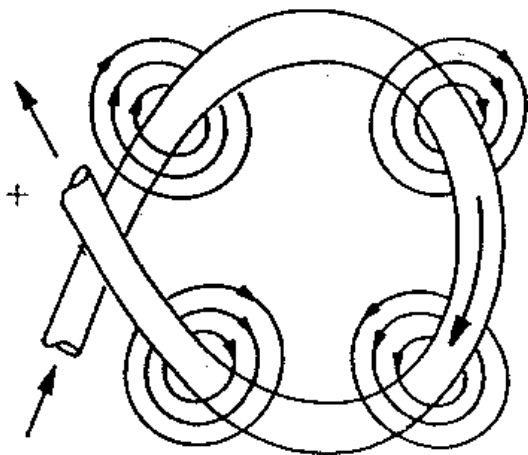


Figura 8-98 Campo magnético em torno de um condutor com uma volta.

Se o fio é enrolado em duas voltas, muitas linhas de força se tornam largas suficiente-mente para incluir as duas voltas.

As linhas de força circularão na mesma direção por fora das duas voltas (veja a figura 8-99).

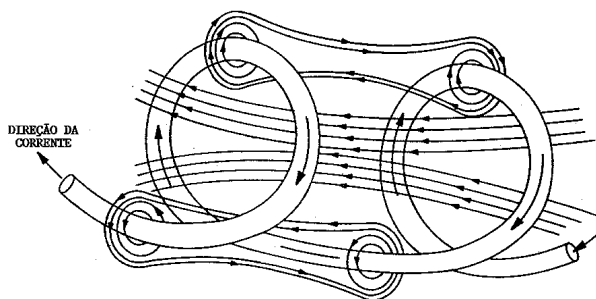


Figura 8-99 Campo magnético em torno de um condutor com duas voltas.

Quando um fio tem muitas voltas é chamado de bobina. As linhas de força formam um modelo através de todos os "loops" (voltas), ocasionando alta concentração de linhas de fluxo no centro da bobina (veja a figura 8-100).

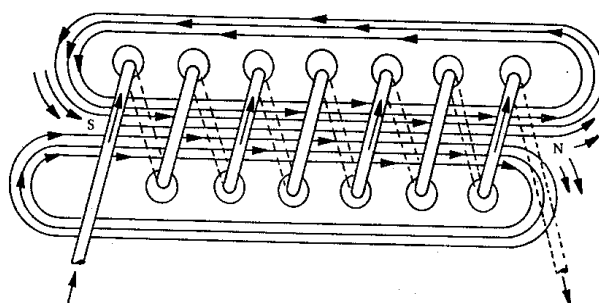


Figura 8-100 Campo magnético de uma bobina.

Em uma bobina feita de voltas de um condutor, muitas linhas de força se dissipam entre as voltas da bobina. Colocando-se uma barra de ferro-doce no interior da bobina, as linhas de força concentrar-se-ão em seu centro, já que o ferro-doce tem maior permeabilidade de que o ar (ver figura 8-101).

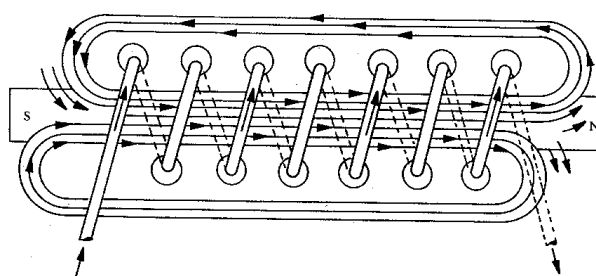


Figura 8-101 Eletroímã.

Esta combinação de um núcleo de ferro numa bobina é chamada de eletroímã, já que os pólos da bobina possuem as características de um ímã de barra. A adição do núcleo de ferro-doce produz dois resultados. Primeiro, aumenta o fluxo magnético. Segundo, as linhas de fluxo são mais altamente concentradas.

Quando uma corrente contínua flui através da bobina, o núcleo se torna magnetizado com a mesma polaridade (localização de pólos norte e sul) que a bobina teria sem o núcleo. Se a corrente for revertida, a polaridade também se reverte.

A polaridade do eletroímã é determinada pela regra da mão esquerda, da mesma maneira que a polaridade da bobina sem o núcleo é determinada.

Se a bobina for mantida na mão esquerda, de forma que os dedos se curvem em torno da bobina na direção do fluxo de elétrons (menos para mais), o polegar apontará na direção do pólo norte. (veja figura 8-102).

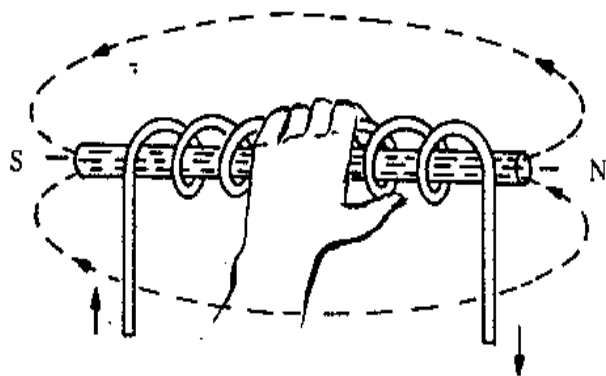


Figura 8-102 Regra da mão esquerda aplicada à bobina.

A intensidade do campo magnético de um eletroímã pode ser aumentada, tanto pelo fluxo de corrente, quanto pelas voltas de fio. Dobrando o fluxo de corrente, dobra-se, aproximadamente, a intensidade do campo magnético.

De modo similar, dobrando-se o número de voltas de fio, dobra-se a força do campo magnético. Finalmente, o tipo de metal do núcleo também influi na intensidade do campo do eletroímã.

Uma barra de ferro-doce é atraída por ambos os pólos de um imã permanente e, da mesma forma, é atraída por uma bobina conduzindo corrente.

Conforme mostrado na figura 8-103, as linhas de força estendem-se através do ferro-doce, magnetizando-o por indução, puxando a barra de ferro na direção da bobina.

Se a barra estiver livre para se mover, ela será atraída para o interior da bobina, para

uma posição próxima do centro, onde o campo é mais forte.

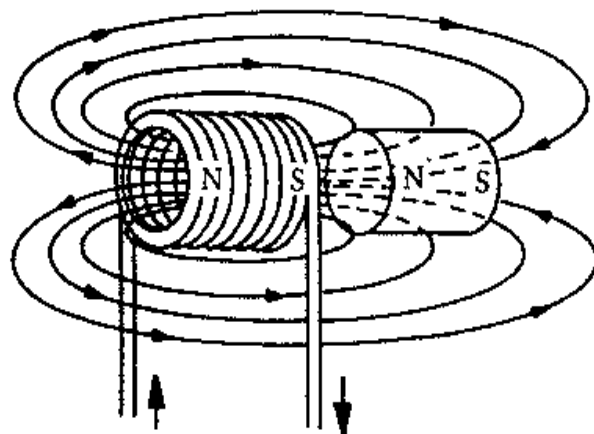


Figura 8-103 Solenóide com núcleo de ferro.

Eletroímãs são usados em instrumentos elétricos, motores, geradores, relés e outros dispositivos.

Alguns dispositivos eletromagnéticos funcionam sob o princípio de que um núcleo de ferro, conservado fora do centro de uma bobina será puxado imediatamente para a posição central, quando a bobina é energizada.

Este princípio é usado no solenóide, também conhecido como chave-solenóide ou relé, no qual o núcleo de ferro é mantido fora do centro por pressão de mola, e é atraído quando a bobina é energizada.

A aplicação de solenóide é mostrada na figura 8-104, onde aparece um relé solenóide. Quando o interruptor da cabine é ligado, o enrolamento puxa o núcleo (chave) para baixo, completando o circuito do motor.

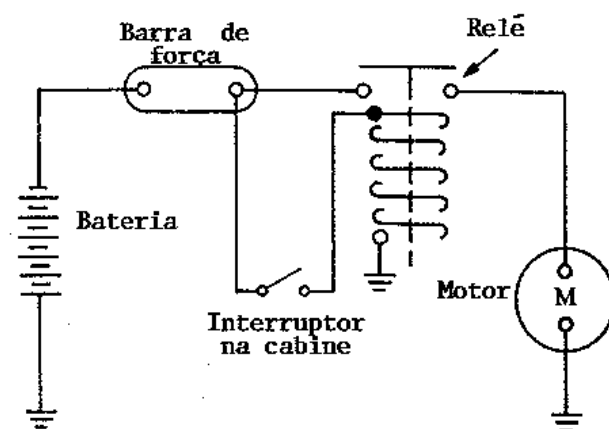


Figura 8-104 Uso de solenóide em um circuito.

Como o relé solenóide aciona um circuito de baixa corrente, elimina fiação de alta amperagem na cabine da aeronave.

O imã tipo "*solenoid-and-plunger*" em vários formatos é amplamente utilizado para abrir circuitos de segurança (*circuit breakers*) automaticamente, quando a carga da corrente se torna excessiva e opera válvulas "*magnetic-breakers*" e muitos outros dispositivos.

O eletroímã tipo armadura também tem ampla utilização. Para este tipo de imã, a bobina é enrolada sobre o núcleo de ferro e isolada deste, que não se move. Quando a corrente flui através da bobina, o núcleo de ferro se torna magnetizado e causa a atração da armadura de ferro articulada, localizada próxima do eletroímã.

Estes imãs são usados em campainhas, relés, "*circuit breakers*", aparelhos telefônicos e muitos outros dispositivos.

BATERIAS DE ACUMULADORES

Existem duas fontes de energia elétrica numa aeronave: (1) o gerador, que converte energia mecânica em energia elétrica, e (2) a bateria, que converte energia química em energia elétrica. Durante a operação normal do motor, a energia elétrica é obtida do gerador acoplado ao eixo do motor. A bateria de acumuladores é usada como fonte auxiliar, quando o gerador está inativo.

Quando os geradores estão operando em velocidade baixa, o suprimento de energia elétrica para a aeronave é mantido pela bateria, perdendo parte da energia nela estocada. Durante o voo, o gerador carrega a bateria por grande período de tempo, e reestabelece a energia química.

Chumbo-ácido e níquel-cádmio são tipos de baterias de acumuladores geralmente em uso.

BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO

Essas baterias são usadas em aeronaves e são similares às de automóveis. As células ou elementos de uma bateria são conectados em série.

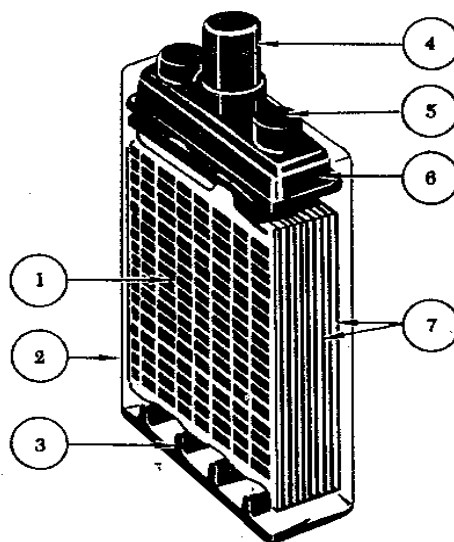
Cada célula possui placas positivas de peróxido de chumbo, placas negativas de chumbo esponjoso e o eletrólito (água e ácido sulfúrico).

Descarregando, a energia química estocada na bateria, transforma-se em energia elétrica; carregando a energia elétrica fornecida à bateria, é transformada em energia química e estocada. É possível recarregar uma bateria muitas vezes, antes dela se estragar definitivamente.

Constituição da célula de chumbo-ácido

Os componentes de uma típica célula de chumbo-ácido são mostrados na figura 8-105. Cada placa consiste de uma armação chamada grade, feita de chumbo e antimônio, no qual o material ativo (chumbo esponjoso ou peróxido de chumbo) é fixado.

As placas negativas e positivas (1) da figura 8-105 são montadas, de forma que cada placa positiva fique entre duas placas negativas. Assim, a última placa em cada célula é negativa. Entre as placas existem separadores porosos (7) que evitam o contato entre as placas negativas e positivas, que significaria curto-circuito na célula. Os separadores têm frisos verticais no lado, faceando a placa positiva. Esta construção permite que o eletrólito circule livremente em torno das placas. Adicionalmente, proporciona um caminho para que os sedimentos se acomodem no fundo da célula.



- | | |
|-------------------------|----------------|
| 1- Placas | 5- Terminal |
| 2- Caixa | 6- Cobertura |
| 3- Apoios | 7- Separadores |
| 4- Plugue de ventilação | |

Figura 8-105 Construção de uma célula chumbo-ácido.

Cada elemento (ou célula) é selado com um revestimento de borracha dura, com termi-

naís colocados na parte superior, e suspiros, também destinados a evitar derramamento do eletrólito (4).

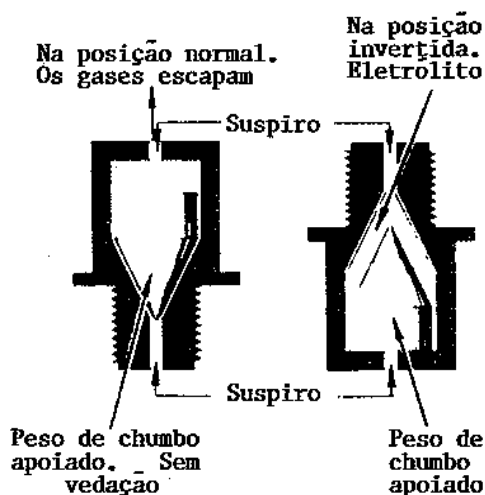


Figura 8-106 Plugue de ventilação a prova de vazamento.

O orifício proporciona acesso para teste da densidade do eletrólito e para que se adicione água, se necessário. O suspiro permite a exaustão dos gases com vazamento mínimo da solução, independentemente da posição que a aeronave possa assumir. Na figura 8-106 é mostrada a construção do suspiro.

Em vôo nivelado, o peso de chumbo permite ventilação dos gases através de um pequeno furo. Em vôo de dorso, este orifício é fechado pelo peso do chumbo.

As células individuais de uma bateria são conectadas em série por meio de hastes, conforme ilustrado na figura 8-107. O conjunto completo é embutido numa caixa resistente ao ácido, que serve como protetor elétrico e proteção mecânica.

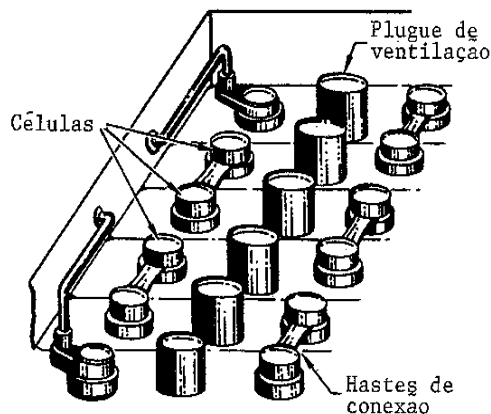


Figura 8-107 Conexão das células de uma bateria.

A caixa da bateria tem a parte superior removível; ela também possui um conector (nipple) ou tubo de ventilação em cada extremidade. Quando a bateria é instalada na aeronave, um tubo de ventilação é encaixado em cada "nipple".

Um tubo é de entrada, e exposto ao fluxo aerodinâmico. O outro é de exaustão, e é conectado ao reservatório de drenagem da bateria, que é uma jarra de vidro contendo uma mistura com alta concentração de bicarbonato de sódio.

Com este artifício, o fluxo de ar é dirigido para o alojamento da bateria, onde os gases são recolhidos no reservatório, e expelidos sem danos à aeronave. Para facilitar a instalação e remoção da bateria em algumas aeronaves é usado um conjunto de remoção rápida para fixar os terminais na bateria. Este conjunto, que é mostrado na figura 8-108, conecta os bornes da bateria, na aeronave, a um receptáculo montado ao lado da bateria.

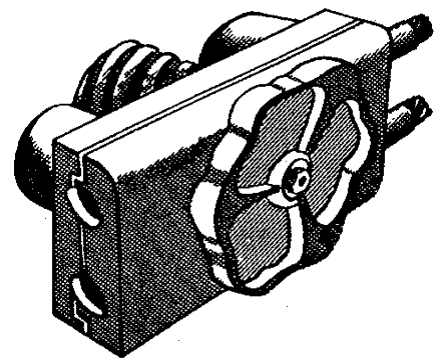


Figura 8-108 Conjunto de desconexão rápida da bateria.

O receptáculo cobre os terminais da bateria e previne curto acidental durante a instalação e remoção. O plugue, que consiste de um encaixe com volante manual roscado, pode ser prontamente conectado ao receptáculo pelo volante. Uma outra vantagem deste conjunto é que o plugue pode ser instalado apenas numa posição, impossibilitando inversão dos bornes da bateria.

Funcionamento das células de chumbo-ácido

A célula de chumbo-ácido contém placas positivas cobertas com peróxido de chumbo (PbO_2), placas negativas feitas de chumbo (Pb) e um eletrólito, composto de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e água (H_2O).

Durante a descarga forma-se sulfato de chumbo (PbSO_4) em ambas as placas, positiva e negativa, diminui a quantidade de ácido do eletrólito, e a quantidade de água aumenta.

Como a descarga continua, a quantidade de sulfato de chumbo diminui sobre as placas, até que a cobertura se torne tão fina que o eletrólito enfraquecido não consiga mais atingir os materiais ativos (chumbo e peróxido de chumbo). Quando isto acontece, a reação química é retardada e a produção da célula é reduzida.

Na prática, a célula fica impedida de descarregar porque as finas coberturas de sulfato de chumbo são difíceis de remover no carregamento. Adicionalmente, a célula aproximando-se do estado de descarga total vai-se tornando imprestável porque a cobertura de sulfato diminui a corrente, a níveis tão baixos que inutilizam a célula.

Quando uma célula está sendo carregada, o sulfato de chumbo é removido de ambas as placas, positiva e negativa, e o ácido sulfúrico é novamente formado. Durante o processo diminui a quantidade de água, e aumenta a densidade do eletrólito.

A voltagem de uma célula sem carga é de 2,2 volts, aproximadamente. Essa voltagem é a mesma para qualquer célula, independente do tamanho, e mantém este valor até que ela esteja praticamente inativa, indiferentemente ao seu estado de descarga. Quando a célula estiver muito próxima de sua descarga total, sua voltagem, então, começa a declinar rapidamente.

A voltagem da célula com carga diminui gradualmente, conforme a célula vai sendo descarregada. Este decréscimo na voltagem é devido ao gradual aumento da resistência interna da célula, causado pela sulfatação das placas.

Ao final de uma descarga normal, a resistência interna de uma célula chumbo-ácido é duas vezes maior do que quando ela está completamente carregada.

A diferença entre a bateria, com ou sem carga, é devido à queda de voltagem no interior da célula.

Assim, a voltagem de descarga que a célula pode suprir em condições de circuito fechado (com carga), é igual a voltagem de circuito aberto (sem carga) menos a queda da RI na célula.

Para proporcionar alta descarga da corrente, e apresentar alta voltagem com carga, a bateria deve ter baixa resistência interna.

Classificação das baterias de chumbo-ácido

A voltagem de uma bateria é determinada pelo número de células conectadas em série. Embora a voltagem de uma célula chumbo-ácido logo que removida de um carregador seja de aproximadamente 2,2 volts, ela é considerada normalmente como 2 volts, porque logo cai para este valor.

Uma bateria de 12 volts consiste em 6 células de chumbo-ácido, ligadas em série, e uma de 24 volts, que logicamente terá o dobro de células.

A capacidade de armazenagem da bateria é referida em ampères-hora (ampères fornecidos pela bateria vezes a quantidade de tempo de fornecimento da corrente).

Esta classificação indica por quanto tempo a bateria pode ser usada a uma dada razão, antes de se tornar descarregada.

Teoricamente, uma bateria de 100 ampères-hora fornecerá 100 ampères durante 1 hora, 50 ampères por 2 horas ou 20 ampères por 5 horas.

Realmente, a saída em ampères-hora de uma bateria depende da razão em que ela estará descarregada.

Descargas violentas de corrente esquentam a bateria e diminuem sua eficiência e saída total em ampères-hora. Para baterias de aeronaves foi especificado o tempo de 5 horas para conservação da carga ou para que seja descarregada, o que é só uma base para sua especificação.

Nas condições reais de serviço, uma bateria pode descarregar-se em poucos minutos, ou pode manter sua carga durante sua vida útil, se devidamente carregada pelo gerador.

A capacidade em ampères-hora da bateria depende da área total da placa. Conectando-se baterias em paralelo, aumenta a sua capacidade de amperagem-hora. Conectando-se baterias em série, tem-se o aumento da voltagem total, mas a capacidade de amperagem permanece a mesma.

Em aeronaves multimotoras, onde mais de uma bateria é usada, as baterias são, usualmente, conectadas em paralelo.

A voltagem é a mesma de uma única bateria, mas a capacidade em ampère-hora é aumentada.

A capacidade total é a soma das especificações em ampère-hora para cada bateria.

Fatores agindo sobre a vida das baterias

Muitos fatores causam a deterioração de uma bateria e encurtam sua vida útil. Isto inclui sobrecarga que provoca excesso de sulfatação, e carga e descarga muito rápidas resultando em superaquecimento das placas e desprendimento do material ativo.

O acúmulo de material liberado, por sua vez, causa curto-circuito entre as placas, resultando em descarga interna. Uma bateria que permaneça com carga baixa, ou descarregada por longo período de tempo, pode ficar permanentemente danificada.

Métodos de teste para baterias de chumbo-ácido

A situação de carga de uma bateria de acumuladores depende das condições dos seus materiais ativos, basicamente das placas. Entretanto, a condição de carga da bateria é indicada pela densidade do eletrólito, que é verificada pelo uso de um densímetro.

O densímetro comumente usado consiste em um pequeno tubo de vidro mais pesado na extremidade inferior, que flutua em posição vertical dentro de uma seringa, como mostrado na figura 8-109. Dentro do tubo existe uma escala na faixa de 1.100 a 1.300.

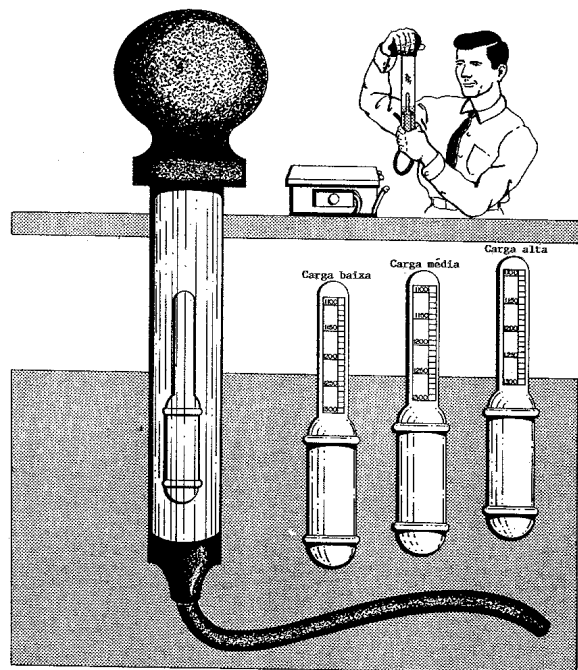


Figura 8-109 Densímetro (Leitura do peso específico).

Quando o densímetro está sendo usado, uma quantidade suficiente de eletrólito é sugada para o interior da seringa, e o tubo flutua indicando na escala a densidade de eletrólito. Quanto mais denso o eletrólito mais alto flutua o tubo, dentro da faixa indicada.

Numa bateria nova, totalmente carregada, o eletrólito é, aproximadamente, 30% de ácido e 70% de água (por volume), e é 1300 vezes mais pesado do que a água pura. Durante o processo de descarga, a solução (eletrólito) torna-se menos densa e seu peso específico entre 1.300 e 1.275 indica boa condição de carga; entre 1.275 e 1.240, condição média; entre 1.240 e 1.200, baixa condição de carga.

As baterias de aeronaves são, geralmente, de baixa capacidade, e sujeitas a grandes cargas. Os valores específicos para as condições de carga são ao contrário, altos.

Testes com densímetro são feitos periodicamente em todas as baterias de acumuladores instaladas em aeronaves. Uma bateria de aeronave com cerca de 50% da carga é considerada com necessidade imediata de recarga, devido a alta demanda de energia.

Quando testando uma bateria com densímetro, a temperatura do eletrólito deve ser considerada porque o peso específico varia com a mudança de temperatura.

Nenhuma correção é necessária quando a temperatura se encontra na faixa de 21°C a 32°C, porque a variação é considerada desprezível. Quando a temperatura estiver acima de 32°C ou abaixo de 21°C é necessário aplicar fator de correção. Alguns densímetros são equipados com escala de correção internamente. Outros densímetros implicam no uso de tabelas de correção fornecidas pelo fabricante.

O peso específico de uma célula só é confiável se, nada além de água destilada, tiver sido adicionado ao eletrólito para reposição de perda normal por evaporação.

As leituras do densímetro devem ser realizadas sempre antes da adição de água destilada, nunca depois. Isto decorre da possibilidade de a água adicionada não se encontrar ainda perfeitamente misturada com o eletrólito, causando assim leitura falsa.

É necessário extremo cuidado quando realizando o teste com densímetro em uma bateria ácida, porque o eletrólito (ácido sulfúrico) pode queimar roupas, e também a pele. No caso do contato da pele com a solução é necessário

lavar o local com bastante água, e aplicar bicarbonato de sódio.

Métodos de carga em baterias chumbo-ácido

Uma bateria de acumuladores pode ser recarregada pela aplicação de corrente contínua através da bateria, na direção oposta a de descarga da corrente. A voltagem usada precisa ser superior a da bateria sem carga, por causa de sua resistência interna. Por exemplo, no caso de uma bateria de 12 elementos (células), completamente carregada, com aproximadamente 26.4 volts (12×2.2 volts), são necessários 28 volts para carregá-la.

Esta voltagem maior é necessária por causa da queda de voltagem interna provocada pela resistência interna da bateria. Daí a voltagem de carga para uma bateria chumbo-ácido ter que ser igual a sua voltagem sem carga mais a queda de RI no interior da bateria (produto da corrente de carga e da resistência interna).

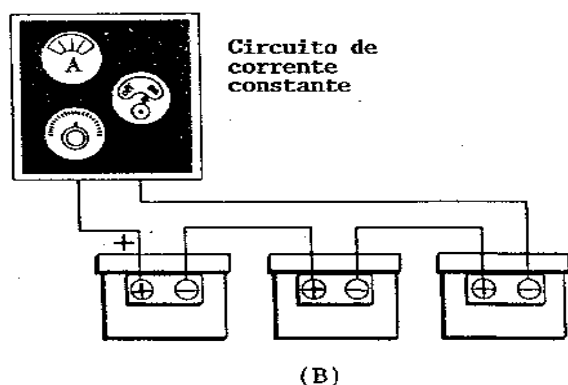
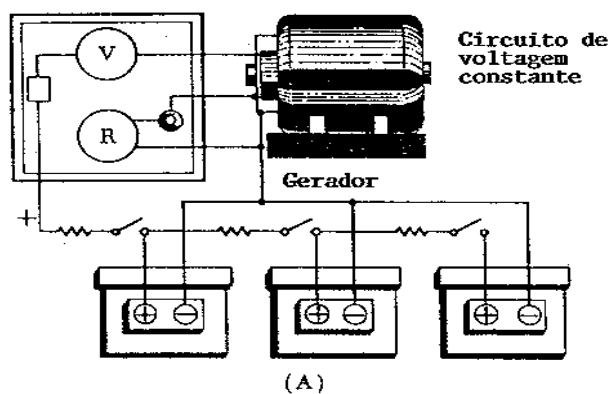


Figura 8-110 Métodos de carregamento de baterias

As baterias são carregadas tanto pelo método de corrente-constante quanto pelo de voltagem-constante (letra A da figura 8-110), um moto-gerador ajustado com voltagem cons-

tante, regulada, força a corrente através da bateria. Nesse método a corrente inicial do processo é alta, mas diminui automaticamente 1 ampère, quando a bateria está completamente carregada. O método de voltagem constante requer menos tempo e supervisão do que o método de corrente constante.

No método de corrente-constante (letra B da figura 8-110), a corrente se mantém quase constante durante o processo completo de recarga.

Esse método exige um tempo maior para carregar completamente a bateria, e necessita de acompanhamento para evitar sobrecarga, à medida que o processo avança para o final.

Na aeronave, a bateria de acumuladores é carregada por corrente contínua do sistema do gerador. Esse método corresponde ao de voltagem-constante, já que a voltagem de gerador é mantida constante pelo regulador de voltagem.

Quando uma bateria está sendo carregada, é produzida uma certa quantidade de hidrogênio e oxigênio. Como se trata de uma combinação de gases explosiva é importante adotar medidas de prevenção contra ignição desta mistura.

As tampas de ventilação devem ser afrouxadas e conservadas no lugar; evitar chamas, centelhas e outros pontos de ignição nas proximidades. Antes de se conectar e desconectar uma bateria, em carga, desliga-se sempre a energia, por meio de uma chave remota.

BATERIAS DE NÍQUEL-CÁDMIO

As baterias de níquel-cádmio existem já há bastante tempo, passando a ser amplamente usadas com o crescimento da aviação comercial e executiva à jato.

As vantagens desse tipo de bateria eram bem conhecidas, porém seu custo inicial era elevado em relação à bateria chumbo-ácido.

O aumento no uso de baterias de níquel-cádmio (frequentemente chamadas de "ni-cad") evoluiu a partir de reconhecimento de seu longo tempo de vida, e também seu baixo custo de manutenção.

Adicionalmente, esse tipo de bateria requer pequeno tempo de recarga, é de excelente confiabilidade e boa capacidade de partida.

Constituição da célula de níquel-cádmio

Conforme as de tipo chumbo-ácido, a célula é o elemento básico da bateria de níquel-cádmio. A célula consiste em placas positivas e negativas, separadores, eletrólito, suspiros e reservatório ("container").

As placas positivas são feitas de uma chapa porosa, sobre a qual é depositado hidróxido de níquel. As placas negativas são feitas de chapas semelhantes, sobre a qual é depositado hidróxido de cádmio.

Em ambos os casos a chapa porosa é obtida pela fusão de pequenos grãos de níquel, formando uma fina malha (tela).

Após se depositar os materiais ativos e positivos sobre as placas, elas são cortadas no tamanho adequado. Uma barra de níquel é então soldada no canto de cada placa, que passa a formar um conjunto com as barras soldadas em terminais apropriados. As placas são separadas uma das outras por uma faixa contínua de plástico poroso.

O eletrólito usado nas baterias de níquel-cádmio é uma solução de 30% de hidróxido de potássio (KOH) em água destilada. O peso específico do eletrólito situa-se entre 1.240 e 1.300 à temperatura ambiente. Nenhuma mudança considerável ocorre no eletrólito durante a descarga. Daí não ser possível determinar as condições de carga da bateria pelo teste de peso específico do eletrólito. O nível de eletrólito deve ser mantido logo acima da parte superior das placas.

Funcionamento da célula de níquel-cádmio

Quando uma corrente de carga é aplicada a uma bateria de níquel-cádmio, as placas negativas perdem oxigênio e começam a formação de cádmio metálico.

O material ativo das placas positivas se torna mais altamente oxidados. Esse processo persiste enquanto a corrente de carga é aplicada, ou até que todo o oxigênio seja removido da placa negativa, e somente o cádmio permaneça.

Próximo do final do ciclo de carga as células emitem gás. Isto também ocorrerá se a célula estiver com sobrecarga. Esse gás surge da decomposição da água do eletrólito, em hidrogênio nas placas negativas e oxigênio nas placas positivas.

A voltagem, e também a temperatura, determinam quando ocorrerá a emissão de gás. Um pouco da água será consumida, por menor que seja a emissão de gás, até que a bateria esteja completamente carregada. A ação química é revertida durante a descarga.

As placas positivas lentamente liberam oxigênio, que é reabsorvido pelas placas negativas. Esse processo resulta na conversão de energia química em energia elétrica.

Durante a descarga as placas absorvem certa quantidade de eletrólito. Durante a recarga o nível do eletrólito aumenta, e quando completamente recarregada, o eletrólito estará no seu mais alto nível. Por conseguinte, só se deve adicionar água quando a bateria estiver totalmente carregada.

Baterias de níquel-cádmio e chumbo-ácido são normalmente intercambiáveis. Quando substituindo uma bateria ácida por níquel-cádmio, o compartimento da bateria deve ser limpo e enxugado, e precisa estar livre de qualquer resíduo de ácido da antiga bateria. O compartimento deve ser lavado e neutralizado com amônia ou solução de ácido bórico, e após completamente seco, ser pintado com um verniz resistente aos álcalis.

Manutenção de baterias de níquel-cádmio

Existem diferenças significantes nos cuidados requeridos pelas baterias de níquel-cádmio em relação à baterias ácidas. Os pontos mais importantes a serem observados são os seguintes:

- (1) É necessário prover área separada para estocagem e manutenção das baterias níquel-cádmio, porque seu eletrólito é quimicamente incompatível com o ácido sulfúrico usado nas baterias ácidas, cujas emanações podem contaminar o eletrólito da bateria de níquel-cádmio. Esta precaução deve incluir os equipamentos, como ferramentas e seringas. Com efeito, toda e qualquer precaução deve ser adotada para afastar qualquer conteúdo ácido do local onde se lida com baterias de níquel-cádmio.
- (2) O eletrólito (hidróxido de potássio) utilizado nas baterias de níquel-cádmio é extremamente corrosivo. Para manipular e trabalhar em baterias é necessário usar óculos de proteção, luvas e avental de borracha. Adequados meios de lavagem são necessários para o

caso de o eletrólito atingir à pele ou roupas. Tal exposição requer imediato enxaguamento com água ou vinagre, suco de limão ou solução de ácido bórico. Quando o hidróxido de potássio e a água estiverem sendo misturados, o hidróxido deve ser adicionado lentamente à água e nunca vice-versa.

- (3) Violento centelhamento pode ocorrer, se for usada escova de cerdas metálicas para limpeza da bateria. Os plugues de ventilação devem ser mantidos fechados durante o processo de limpeza, e jamais devem ser usadas substâncias como ácidos, solventes ou soluções químicas. Eletrólito borrifado pode reagir com dióxido de carbono, formando cristais de carbonato de potássio. Estes, que não são tóxicos nem corrosivos, podem ser removidos com uma escova de fibra e um pano úmido. Quando o carbonato de potássio se forma sobre uma bateria, pode indicar que esteja sobrecarregada porque o regulador está desajustado.
- (4) Nunca adicionar água à bateria antes de três ou quatro horas após estar completamente carregada. Caso necessário, usar apenas água destilada ou desmineralizada.
- (5) Como o eletrólito não reage quimicamente com as placas, o peso específico do eletrólito não muda consideravelmente. Assim, não é possível determinar o estado de carga da bateria com o densímetro; também não pode ser determinado por teste de voltagem, porque a voltagem permanece constante durante 90% do ciclo de descarga.

(6) As baterias de níquel-cádmio devem ser verificadas a intervalos regulares baseados na experiência, já que o consumo de água varia com a temperatura ambiente e condições de operação. A intervalos maiores, a bateria deve ser removida da aeronave para teste de bancada. Se estiver completamente descarregada, algumas células podem atingir potencial zero e carga invertida, afetando a bateria de tal modo que ela não mantenha a total capacidade de carga, ela deve ser descarregada e cada célula colocada em curto-circuito, a fim de obter balanceamento de zero potencial, antes de recarregar a bateria. Esse processo é chamado de "equalização".

(7) A carga pode ser realizada tanto pelo método da corrente-constante quanto voltagem-constante. Para carga potencial constante, manter a voltagem de carga constante até que a corrente de carga diminua para 3 ampères ou menos, assegurando-se de que a temperatura da célula não ultrapasse de 37,7°C. Para carga com corrente constante, começar e continuar até que a voltagem atinja o potencial desejado, então, reduzir o nível de corrente até 4 ampères, continuando a carga até sua voltagem necessária ou até que a bateria atinja a temperatura de 37,7°C, e a voltagem comece a declinar.

A tabela de pesquisa de panes ("trouble-shooting") delineada na figura 8-111 pode ser usada como guia na pesquisa de panes de baterias.

OBSERVAÇÃO	CAUSA PROVÁVEL	AÇÃO CORRETA
Carga contínua elevada - Carregando na voltagem-constante de 28,5 ($\pm 0,1$) volts, a corrente não cai abaixo de 1 ampère após carga de 30 minutos.	Células defeituosas.	Ainda durante a carga, teste as células. As que estiverem abaixo de 0,5 volts estão defeituosas e deverão ser substituídas.
Carga contínua elevada após a substituição das células defeituosas, ou a bateria não apresenta capacidade em ampère-hora.	Desequilíbrio das células.	Descarregue a bateria e curto-circuite (<i>short out</i>) as células individualmente durante oito horas. Carregue a bateria usando o método da corrente-constante. Verifique a capacidade e, se OK, recarregue no método corrente-constante.
Bateria com baixa capacidade.	Células desequilibradas ou defeituosas.	Repita o teste de capacidade e carregue pelo método de corrente-constante, no máximo três vezes. Se a capacidade

		não se apresentar, substitua as células defeituosas.
Voltagem nula.	Falha total da bateria.	Verifique os terminais e todas as conexões elétricas. Verifique se há células secas. Verifique quanto a carga contínua elevada.
Precipitação excessiva de cristais brancos nas células (sempre haverá algum carbonato de potássio devido aos gases normais).	Derrame excessivo.	Bateria submetida a alta corrente de carga, alta temperatura ou nível elevado do líquido. Limpe a bateria, carregue pelo método de corrente-constante e verifique o nível do líquido. Verifique a operação do carregador.
Empeno do invólucro da célula.	Sobrecarga ou alta temperatura.	Substitua a célula.
Material estranho nas células - partículas pretas ou cinzentas.	Água impura, alta temperatura, alta concentração de KOH ou nível de água impróprio.	Ajuste a densidade e o nível do eletrólito. Verifique se há desequilíbrio de célula, ou substitua a célula defeituosa.
Corrosão excessiva das ferragens.	Folheado defeituoso ou danificado.	Substitua as peças.
Marcas de aquecimento ou cor azul nas ferragens.	Conexões frouxas ocasionando superaquecimento dos conectores ou ferragens entre as células.	Limpe as ferragens e aperte devidamente os conectores.
Consumo excessivo de água. Célula seca.	Desequilíbrio da célula.	Siga as mesmas instruções para “desequilíbrios das células” acima.

Figura 8-111 Pesquisa de panes de baterias de níquel-cádmio.

DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E CONTROLE DE CIRCUITOS

A eletricidade, enquanto controlada apropriadamente, é de vital importância para a operação das aeronaves. Quando mal controlada, ela pode se tornar perigosa e destrutiva. Pode destruir componentes e até a própria aeronave. Pode causar danos pessoais, e até mesmo a morte.

É pois, da maior importância, que todas as precauções necessárias sejam adotadas para proteger os circuitos elétricos e as unidades na aeronave, e conservar esta energia sob controle adequado durante todo o tempo.

Dispositivos de proteção

Quando a aeronave é construída, é tomado o maior cuidado para garantir que cada circuito elétrico seja completamente isolado dos outros. Uma vez que a aeronave é colocada em serviço, muitas coisas, se ocorressem, causariam

alterações nos circuitos originais. Algumas dessas mudanças podem significar sérios problemas, caso não sejam detectadas e corrigidas em tempo.

Talvez o problema mais sério num circuito seja "o curto direto". O termo descreve uma situação em que algum ponto no circuito, onde a voltagem total de um sistema esteja presente, venha a contatar diretamente a massa ou o lado de retorno do circuito, significando um caminho sem a devida resistência.

De acordo com a Lei de Ohm, se a resistência num circuito é pequena, a corrente será grande. Quando um curto direto ocorre, há excessiva corrente fluindo através da fiação.

Suponha-se que os cabos de uma bateria para um motor entrem em contato entre si, não somente o motor pararia de girar, porque a corrente estaria seguindo pelo "curto", mas iria se descarregar rapidamente; e haveria perigo de fogo.

Os cabos da bateria, neste exemplo, seriam fios muito grossos, capazes de suportar uma

corrente muito alta. A maioria dos fios utilizados em circuitos elétricos de aeronaves são consideravelmente mais finos, e sua capacidade de conduzir corrente é bastante limitada.

A espessura do fio utilizado em determinado circuito é estabelecida pela quantidade de corrente que se espera fluir sob condições normais de funcionamento.

Qualquer fluxo de corrente excessivo, como no caso de curto direto, causaria uma rápida geração de calor.

Se o excessivo fluxo de corrente causado por um curto for desprezado, o calor continuará aumentando até ocorrer uma ruptura. É possível que apenas o fio derreta sem causar maiores danos, entretanto existe a possibilidade de resultar em danos maiores.

O aquecimento nos fios pode torrar ou queimar sua isolamento e outros fios próximos, ocasionando mais curtos. Na presença de vazamentos de óleo ou combustível, pode ocorrer incêndio.

Para proteger os sistemas elétricos de aeronaves de danos ou falhas, causados por corrente excessiva, vários tipos de dispositivos de proteção são instalados nos sistemas. Fusíveis ("*circuit-breakers*") e protetores térmicos são utilizados para estes propósitos.

Dispositivos de proteção de circuito, conforme implícito no nome, têm um propósito comum - proteger as unidades e facção no circuito. Alguns são destinados, primariamente, para proteger a fiação e abrir o circuito, interrompendo o fluxo de corrente, no caso de sobrecarga. Outros são destinados a proteger a unidade no circuito, interrompendo o fluxo de entrada na unidade, quando esta apresenta-se excessivamente aquecida.

Fusíveis

Um fusível é uma tira de metal que fundirá sob excessivo fluxo de corrente, já que seu limite de condução é cuidadosamente pré-determinado.

O fusível é instalado no circuito de forma que toda a corrente flua através dele. Em sua maioria, eles são feitos de uma liga de estanho e bismuto.

Existem outros, que são chamados de limitadores de corrente; estes são usados primariamente para seccionar um circuito de aeronave.

Um fusível funde-se e interrompe o circuito quando a corrente excede a capacidade proporcionada por ele, mas um limitador de corrente suportará uma considerável sobrecarga, por um certo período de tempo.

Como o fusível é destinado a proteger o circuito, é de suma importância que sua capacidade venha a coincidir com as necessidades do circuito em que seja usado.

Quando um fusível é substituído é preciso consultar instruções aplicáveis do fabricante para certificar-se quanto ao tipo correto de capacidade.

Os fusíveis são instalados em dois tipos de suportes na aeronave: "*Plug-in holders*", usados para fusíveis pequenos e de baixa capacidade; "*Clip*" é o tipo usado para fusíveis de grande capacidade e limitadores de corrente.

Quebra-circuitos (*Circuit breakers*)

Um quebra-circuito ("*circuit breakers*") é destinado a interromper o circuito e o fluxo de corrente quando a amperagem exceder um valor pré-determinado. É comumente usado no lugar de um fusível e pode, às vezes, eliminar a necessidade de um interruptor.

Um quebra-circuito difere de um fusível no fato de interromper rápido o circuito e poder ser religado, enquanto que um fusível funde e precisa ser substituído.

Existem vários tipos de quebra-circuitos, em geral, utilizáveis em sistemas de aeronaves. Um é o tipo magnético. Quando flui excessiva corrente, produz-se força eletromagnética suficiente para movimentar uma pequena armadura que dispara o "*breaker*".

Um outro tipo é a chave de sobrecarga térmica, que consiste de uma lâmina bimetálica, que, quando sofre sobrecarga de corrente se curva sobre a alavanca da chave provocando sua abertura. A maior parte dos quebra-circuitos devem ser religados com a mão. Quando é religado, se as condições de sobrecarga ainda existirem, ele desligar-se-á novamente, prevenindo danos ao circuito.

Protetores térmicos

Um protetor térmico, ou chave, é usado para proteger um motor. É destinado para abrir o circuito automaticamente, sempre que a temperatura do motor tornar-se excessivamente alta.

Há duas posições: aberto e fechado. O uso mais comum para uma chave térmica é impedir um superaquecimento do motor. Se algum defeito de um motor causar superaquecimento, a chave térmica interromperá o circuito intermitentemente.

Uma chave térmica contém um disco bimetálico, ou lâmina, que se curva e corta o circuito quando ele aquece. Isto ocorre porque um dos metais se dilata mais do que o outro, quando submetidos à mesma temperatura. Quando a lâmina ou disco esfria, os metais se contraem, retornando à posição original e fechando o circuito.

Dispositivos de controle

As unidades nos circuitos elétricos de uma aeronave não são todas destinadas a operar contínua ou automaticamente. A maioria delas é concebida para operar durante certas ocasiões, sob certas condições, para executar funções bastante definidas.

Existem muitas maneiras de controlar tais operações ou funcionamento. Tanto uma chave ou um relé, ou ambos, podem ser incluídos no circuito, com este propósito.

CHAVES OU INTERRUPTORES

As chaves controlam o fluxo de corrente na maioria dos circuitos elétricos de aeronaves. Uma chave é usada para ligar, desligar ou mudar o fluxo de corrente num circuito. A chave em cada circuito deve ser capaz de suportar a corrente normal, e tem que ter a isolamento adequada para a voltagem do circuito.

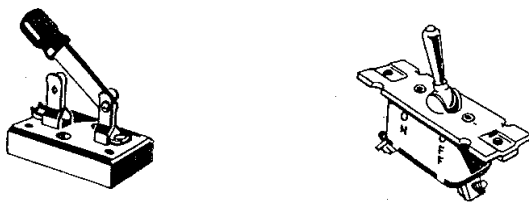


Figura 8-112 Chaves de um pólo, para circuito simples, do tipo faca e do tipo "toggle".

Chaves-facas são raramente usadas em aeronaves. Elas servem, aqui, de referência para melhor compreensão do funcionamento das chaves "toggle", que funcionam à semelhança das chaves-facas, mas suas partes móveis são

embutidas. São mais utilizadas em aeronaves do que qualquer outro tipo de chave.

Chaves "toggle", bem como alguns outros tipos, são designadas pelo número de pólos, cursos e posições que tenham. Um desses pólos está no braço móvel ou *contactor*.

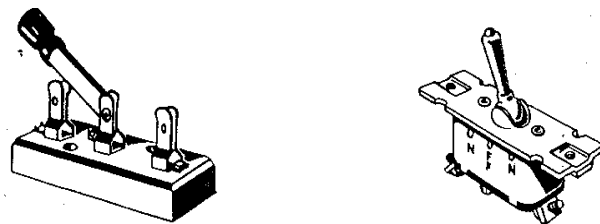


Figura 8-113 Chaves de um pólo, para dois circuitos, do tipo faca e do tipo "toggle".



Figura 8-114 Chaves bipolares para circuito simples, do tipo faca e do tipo "toggle".

O número de pólos é igual ao número de circuitos, ou caminhos para a corrente através dos contatos da chave.

O número de posições é o número de lugares ou contatos de descanso, que fecham ou abrem um ou mais circuitos.

Uma chave bipolar que pode completar dois circuitos, um por vez em cada pólo, é uma chave bipolar de duas posições. Ambas, uma faca e outra "toggle", estão ilustradas com esta característica na figura 8-115.

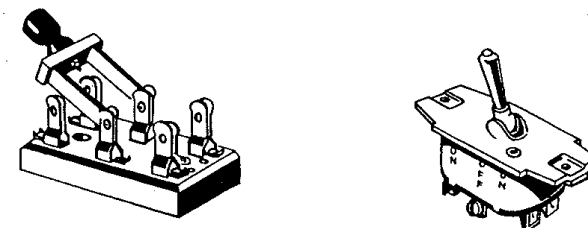


Figura 8-115 Chaves bipolares de duas posições, do tipo faca e do tipo "toggle".

As representações esquemáticas para as chaves mais comumente usadas são mostradas na figura 8-116.

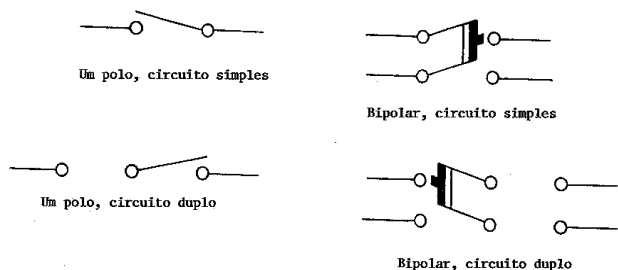


Figura 8-116 Representação esquemática de chaves ou interruptores típicos.

Uma chave "toggle" que se mantém na posição "OFF" (desligada) por ação de mola, e precisa ser segurada na posição "ON" (ligada) é uma chave de contato momentâneo de duas posições.

Uma que venha a ficar em repouso em qualquer das duas posições, abrindo o circuito de um lado e fechando do outro, é uma chave de duas posições.

Uma chave "toggle", que venha a ficar em repouso em qualquer das três posições, é uma chave de três posições.

Há chaves que permanecem abertas, exceto quando pressionadas na posição fechada. Outras que permanecem fechadas, exceto quando pressionadas na posição aberta. Ambos os tipos funcionam por pressão de mola, e retornam à posição normal imediatamente após serem liberadas.

Chaves "push-button"

São chaves que tem um contato estacionário e um contato móvel, que é fixado no botão de apertar.

O "push-button" é em si mesmo um isolador ou é isolado do contato.

Esta chave é à pressão de mola, e destinada a contatos momentâneos.

Microinterruptores ("microswitches")

Um microinterruptor fechará ou abrirá um circuito com um movimento muito pequeno do dispositivo de acionamento (1/16" ou menos). Isto é o que dá o nome a este tipo de chave, já que micro significa pequeno.

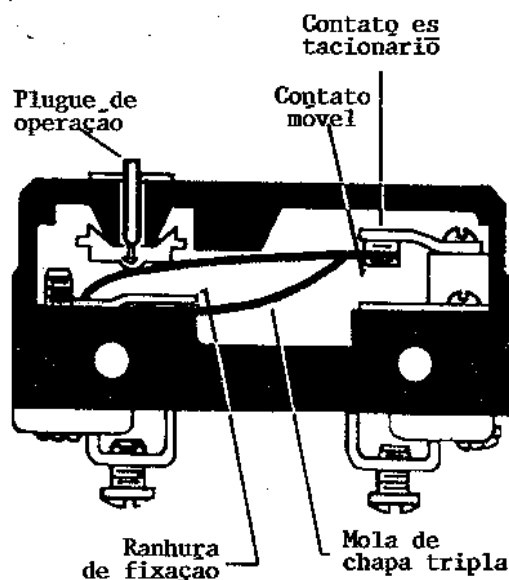


Figura 8-117 Vista em corte de um microinterruptor.

Microinterruptores são normalmente chaves "push-button". Eles são usados principalmente como chaves de controle para prover acionamento automático de trens de pouso, motores-atuadores e similares.

O diagrama na figura 8-117 mostra um microswitch em seção transversal fechado, e ilustra como opera. Quando o pistão de acionamento é pressionado, a mola e o contato móvel são empurrados, abrindo os contatos e o circuito.

Chaves de seleção giratória

Uma chave de seleção giratória substitui várias chaves. Conforme mostrado na figura 8-118, quando o botão de uma chave é girado, ela abre um circuito e fecha outro. Chaves de ignição e de seleção de voltmíetros são exemplos típicos desse tipo de chave.

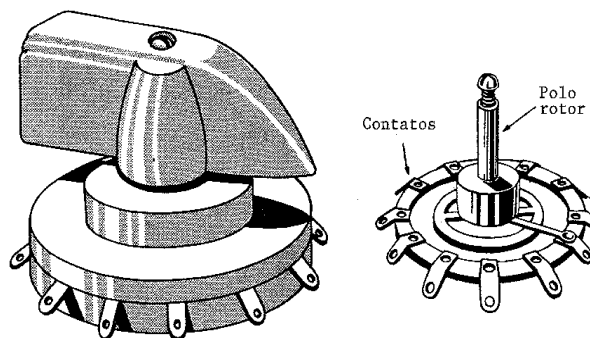


Figura 8-118 Chave de seleção giratória.

Relés

Relés ou chaves-relés são usadas para controle remoto de circuitos de grande amperagem.

Um relé é conectado no circuito entre a unidade controlada e a fonte de força mais próxima (ou barra condutora de força), de forma que os cabos conduzindo grande corrente sejam tão curtos quanto possível.

Uma chave-relé consiste de uma bobina, ou solenóide, um núcleo de ferro, um contato fixo e outro móvel. Um pequeno fio conecta um dos terminais da bobina (que é isolado do alojamento) à fonte de força, através de uma chave de controle, normalmente localizada na cabine.

O outro terminal da bobina é normalmente aterrado no alojamento. Quando a chave de controle é fechada, um campo eletromagnético é formado em torno da bobina.

Num certo tipo de chave-relé, um núcleo de ferro é fixado firmemente no lugar, dentro da bobina.

Quando a chave de controle é fechada, o núcleo é magnetizado e puxa a armadura de ferro-doce para si, fechando os contatos principais. Os contatos são mantidos abertos por ação de mola, como mostrado na figura 8-119.

Quando a chave de controle é desligada, o campo magnético desaparece e a mola abre os contatos.

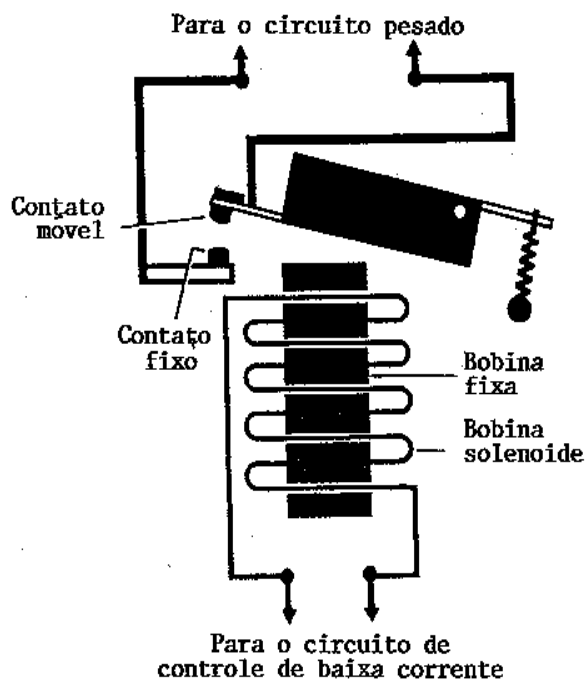


Figura 8-119 Relé de bobina fixa.

Em outro tipo de chave-relé, parte do núcleo é móvel. Uma mola mantém a parte móvel a pequena distância, externamente da parte fixa, conforme ilustrado na figura 8-120.

Quando a bobina é energizada, o campo magnético atrai a parte móvel do núcleo para o seu interior, vencendo a tensão da mola.

Como o núcleo se move para dentro, ele carrega os contatos móveis, que são fixados, mas isolados dele contra os contatos estacionários. Isto completa o circuito principal.

Quando a chave de controle é desligada, o campo magnético cessa, e a mola retorna o núcleo móvel para sua posição original, abrindo os contatos principais.

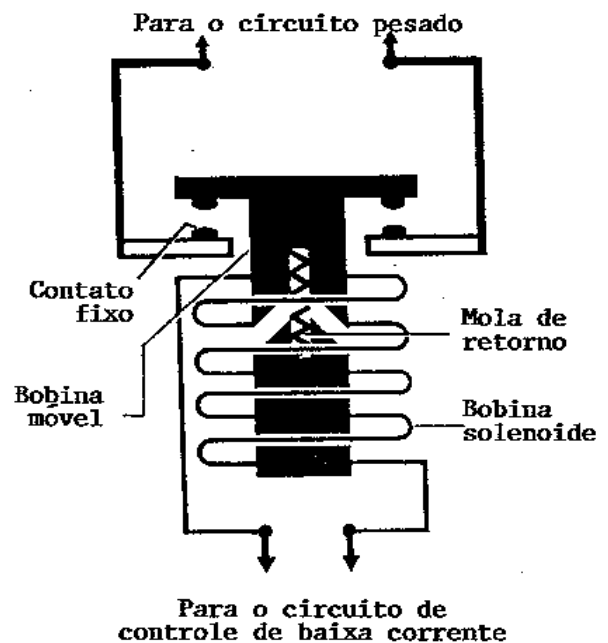


Figura 8-120 Relé de bobina móvel.

Os relés variam nos detalhes de construção de acordo com o uso a que se destinam. Quando selecionamos um relé a ser instalado num circuito, devemos nos certificar de que seja adequado para o fim a que se destina.

Alguns relés são feitos para operar continuamente enquanto outros são destinados a operar só intermitentemente.

A chave-relé de partida é feita para operar intermitentemente, e poderia superaquecer se usada continuamente.

A chave relé da bateria pode ser operada continuamente, porque sua bobina tem uma resistência razoavelmente alta, prevenindo o superaquecimento.

Num circuito conduzindo grande corrente, quanto mais rápido o circuito é aberto, menor será o centelhamento no relé, e os contatos queimarão menos.

Os relés, usados em circuitos com grandes motores, têm fortes molas de retorno para abrir o circuito rapidamente.

A maior parte dos relés usados nos circuitos de corrente alternada de uma aeronave é energizada por corrente contínua. Estes dispositivos serão abordados, como necessário, em outros tópicos a respeito dos dispositivos de corrente alternada.

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE C.C.

Compreender o objetivo funcional e o funcionamento dos instrumentos de medição elétrica é muito importante, eles são utilizados em reparos, manutenção e pesquisa de panes (troubleshooting) de circuitos elétricos.

Embora alguns medidores possam ser usados concomitantemente para medição de circuito de C.C. e C.A., apenas os usados para C.C. serão abordados nesta seção.

Os outros serão discutidos adiante, oportunamente.

Efeitos da corrente

Os efeitos da corrente podem ser classificados como a seguir: químico, psicológico, fotoelétrico, piezoelétrico, térmico e eletromagnético.

Químico

Quando uma corrente elétrica atravessa certas soluções, ocorre uma reação, formando um depósito sobre um eletrodo.

A quantidade desse depósito é proporcional a intensidade da corrente. Industrialmente, este processo é útil em eletrodeposição e eletrólise.

Embora o efeito químico seja proveitoso pela definição do padrão de amperagem (a intensidade da corrente causa a deposição de 0,001118 gramas de prata, em um segundo, de uma solução 15% de nitrato de prata), ela não é considerável no uso de medidores.

Fisiológico

O efeito fisiológico da corrente refere-se à reação do corpo humano a uma corrente elétrica. Um choque elétrico, embora doloroso às vezes, é muito difícil de avaliar quantitativamente e, por conseguinte, sem uso prático para uso de medidores.

Fotoelétrico

Quando elétrons golpeiam certos materiais uma incandescência aparece no ponto de contato.

O tubo de imagem de uma TV e o "scope" de um equipamento de radar ilustram este efeito.

Usar a intensidade da luz, produzida como um meio de medir a intensidade da corrente, não é preciso nem prático.

Piezoelétrico

Certos cristais como quartzo e sal de Rochelle ficam deformados quando é aplicada uma voltagem através de duas de suas faces.

Este efeito não é visível pelo olho humano, é pois, impraticável quanto ao uso de medidores.

Térmico

Quando flui corrente através de um resistor, produz-se calor. A quantidade de calor produzida é igual a I^2R .

Esta relação estabelece que o calor varia de acordo com o quadrado da corrente. São comuns os medidores que empregam o efeito térmico no seu funcionamento.

Eletromagnético

Sempre que os elétrons fluem através de um condutor é criado um campo magnético proporcional à corrente. Este efeito é útil para medir corrente e empregado em muitos medidores práticos.

Os quatro primeiros efeitos abordados, aqui, não têm importância prática para os medidores elétricos. Os dois últimos efeitos, térmico e magnético, são de uso prático em medidores.

Como a maioria dos medidores em uso tem movimentos D'Arsonval, operando devido

ao efeito magnético, somente este tipo será discutido em detalhes.

Medidor d'Arsonval

O mecanismo básico de um medidor de C.C. é conhecido como D'Arsonval porque foi empregado pela primeira vez pelo cientista francês, D'Arsonval, para fazer medição elétrica. Este tipo de mecanismo é um dispositivo medidor de corrente, que é empregado em amperímetros, voltímetros e ohmímetros.

Basicamente, ambos, amperímetro e voltímetro são instrumentos medidores de corrente. A principal diferença é a maneira pela qual cada um é conectado no circuito.

O ohmímetro, que é basicamente um medidor de corrente, difere dos outros dois (voltímetro e amperímetro), porque contém a sua própria fonte de força e outros circuitos auxiliares.

Amperímetro

O amperímetro D'Arsonval é um instrumento destinado à medição da corrente contínua fluindo num circuito, e consiste das seguintes partes: um ímã permanente, um elemento móvel, mancal e um estojo que inclui terminais, um mostrador e parafusos.

Cada parte e suas funções serão abordadas a seguir.

O ímã permanente fornece o campo magnético, que reagirá, provocado pelo elemento móvel.

O elemento móvel é montado de tal forma, que fica livre para girar quando energizado pela corrente que irá medir, através de um ponteiro que se movimenta sobre uma escala calibrada, e é fixado no elemento móvel.

Um mecanismo de bobina móvel é mostrado na figura 8-121.

O elemento de controle é uma mola, ou molas, cuja função principal é manter uma posição inicial do ponteiro, e retorná-lo à posição de descanso.

Em geral, duas molas são usadas; elas são enroladas em direções opostas para compensar a expansão e contração do material, devido à variação de temperatura.

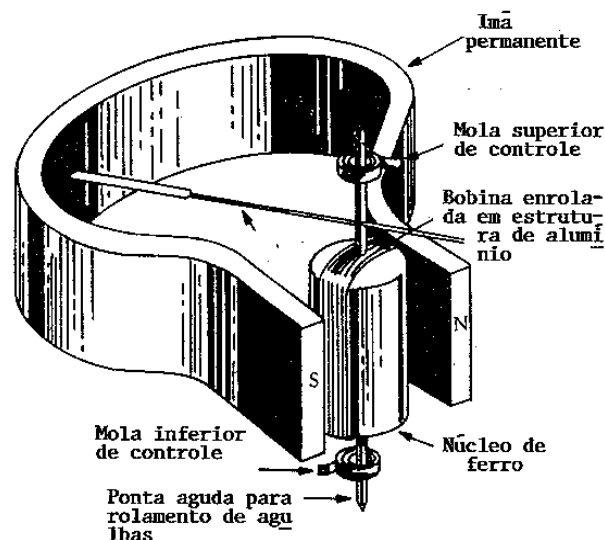


Figura 8-121 Elemento de bobina móvel com ponteiro e molas.

As molas são feitas de material não-magnético e conduzem corrente para a bobina móvel em alguns medidores.

O elemento móvel consiste de um eixo para conduzir a bobina móvel ou outro elemento móvel (figura 8-121).

Os pivôs pontiagudos são montados em contato com rubis polidos, ou mancais de vidro muito claro, para que o elemento móvel possa girar com pouca fricção.

Um outro tipo de montante foi concebido, em que as pontas de pivô são invertidas e os mancais ficam dentro do conjunto da bobina móvel, conforme mostrado na figura 8-122.

Os mancais são pedras preciosas altamente polidas, tais como safiras ou pedras sintéticas, ou ainda, vidro muito rígido.

Tais pedras são normalmente arredondadas e têm uma cavidade cônica, na qual os pivôs giram.

São ajustadas em porcas roscadas que permitem regulação. Isto limita a área de contato das superfícies e proporciona um mancal que, quando operando seco, certamente tem menor fricção constante do que qualquer outro tipo conhecido.

O estojo protege os movimentos do instrumento, bem como contra danos e exposição. Também tem visor para observação do ponteiro sobre a escala.

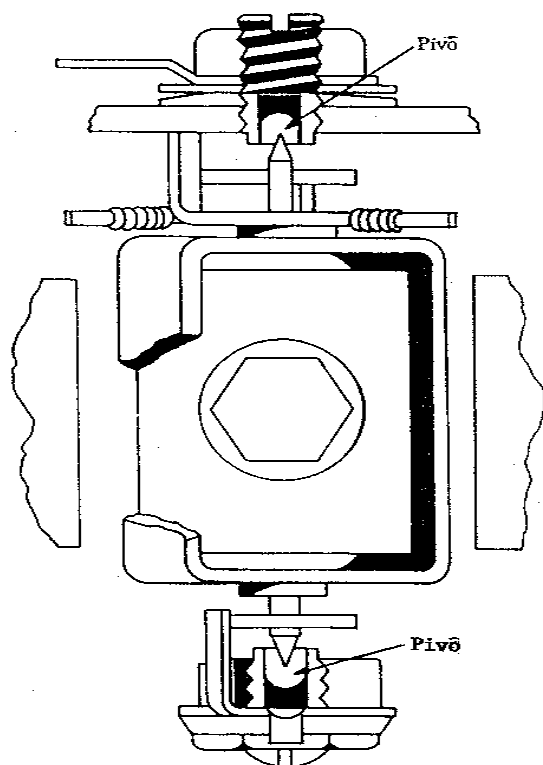


Figura 8-122 Método de montagem dos elementos móveis.

O mostrador tem impressas as informações, como: escala, unidades de medida e modos de uso. Os terminais são feitos de material com pequeníssima resistência elétrica. Sua função é conduzir a corrente necessária através de medidor ou daquilo que será medido.

Funcionamento da indicação do medidor

As unidades maiores são montadas conforme mostrado na figura 8-123. É observado que a parte da bobina do elemento móvel está no campo magnético do ímã permanente.

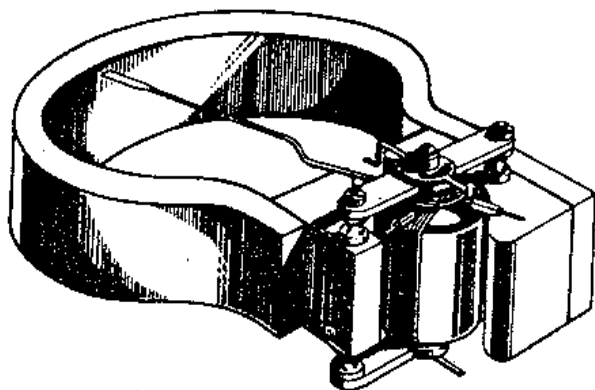


Figura 8-123 Movimento do medidor.

No sentido de entender como o medidor trabalha, admite-se que a bobina do elemento móvel está colocado no campo magnético, como mostrado na figura 8-124.

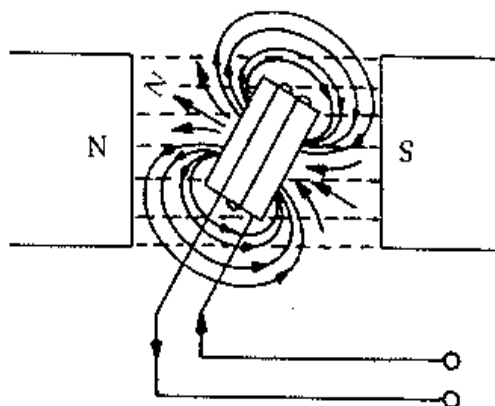


Figura 8-124 Efeito de uma bobina num campo magnético.

A bobina é fixada pelo pivô, e é capaz de girar para os dois lados dentro do campo magnético provocado pelo ímã. Quando a bobina é conectada em um circuito, a corrente flui através dela na direção indicada pelas setas, e provoca um campo magnético por dentro.

Este campo tem a mesma polaridade que os pólos adjacentes do ímã. A interação dos dois campos causa a rotação da bobina para uma posição de alinhamento dos campos.

Esta força de rotação (torque) é proporcional à interação entre os pólos iguais da bobina e do ímã e, por conseguinte, à quantidade do fluxo de corrente na bobina.

Como resultado, um ponteiro fixado na bobina indicará a quantidade de corrente fluindo no circuito, movendo-se através de uma escala graduada.

Dentro do que acaba de ser exposto, observa-se que qualquer torque suficiente para superar a inércia e a fricção das partes móveis, provoca a rotação da bobina até que os campos se alinhem.

Esta deflexão descontrolada causaria leituras de corrente incorretas. Então são utilizadas duas molas para evitar movimentos de retorno da bobina.

O valor da corrente fluindo através da bobina determina a força rotativa dela mesma. Quando a força rotativa fica igual a de oposição das molas, a bobina pára, e o ponteiro indica a leitura da corrente sobre a escala graduada.

Em alguns medidores as molas são feitas de material condutor, e fazem a corrente passar pela bobina.

Para obter uma rotação no sentido dos ponteiros do relógio, o pólo norte do ímã permanente e o correspondente da bobina precisam ser adjacentes. A corrente fluindo através da bobina deve, então, ser sempre na mesma direção.

O mecanismo D'Arsonval pode ser utilizado somente para medições de C.C., e a correta polaridade deve ser observada. Se a corrente fluir na direção errada, através da bobina, o ponteiro deflexionará no sentido anti-horário e danificará o ponteiro.

Como o movimento da bobina é diretamente proporcional ao fluxo de corrente através dela, a escala é normalmente linear.

Amortecimento

No sentido de que as leituras do medidor são mais rápidas e exatas, é desejável que o ponteiro móvel ultrapasse sua correta posição apenas um pouco, e venha a se estabilizar após não mais do que uma ou duas oscilações.

O termo “*damping*” é aplicado a métodos usados para estabilizar o ponteiro de um medidor elétrico, quando ele se movimenta durante a medição. O “*damping*” (amortecimento) pode ser obtido por meios elétricos, mecânicos ou ambos combinados.

Amortecimento elétrico

Um método comum de “*damping*” por meios elétricos é enrolar a bobina sobre uma armação de alumínio. Como a bobina se movimenta no campo de um ímã permanente, surgirão correntes parasitas na armação de alumínio.

O campo magnético produzido por tais correntes se opõem ao movimento da bobina. O ponteiro, então, oscilará pouco, estabilizando-se mais rapidamente na marcação.

Amortecimento mecânico

O amortecimento a ar (“*Air damping*”) é um método comumente empregado por meios mecânicos. Conforme mostrado na figura 8-125, a palheta é fixada no eixo do elemento móvel, ficando no interior de uma câmara de ar.

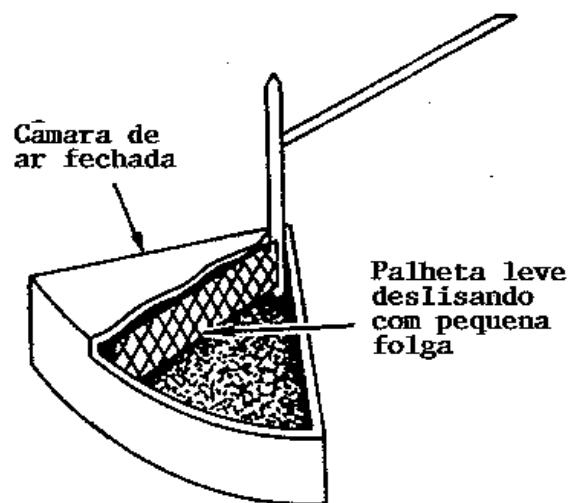


Figura 8-125 Amortecedor a ar.

O movimento do eixo é retardado por causa da resistência que o ar oferece à palheta. O efetivo amortecimento é obtido, se a palheta movimenta-se bem próximo às paredes da câmara.

Sensibilidade do medidor

A sensibilidade de um medidor é expressa como a quantidade de corrente necessária para dar a deflexão total na escala.

Adicionalmente, a sensibilidade pode ser expressa como o número de milivolts fluindo através do medidor sob fluxo de corrente na escala total.

Esta queda de voltagem é obtida pela multiplicação da escala total pela resistência do mecanismo do medidor.

Se tiver uma resistência de 50 ohms e demandar 1 miliampère (ma) para leitura da escala total, pode ser designado como um medidor de 0-1 miliampère e 50 milivolts.

Extensão da faixa de um amperímetro

Um mecanismo de miliamperímetro 0-1 pode ser usado para medir correntes maiores do que 1 ma, desde que se coloque um resistor em paralelo com ele.

O resistor é, então, chamado de “*shunt*” (derivação) porque permite o desvio de uma parte da corrente por fora do instrumento, estendendo a faixa do amperímetro.

Um desenho esquemático de um medidor com um “*shunt*” é mostrado na figura 8-126.

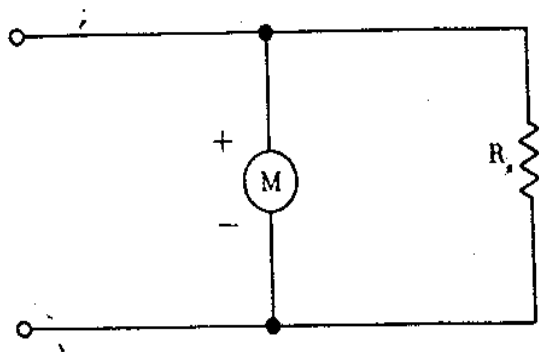


Figura 8-126 Movimento de medidor com derivação.

Determinação do valor de um “Shunt”

O valor de um resistor “shunt” pode ser calculado com a aplicação das regras para circuitos paralelos. Se um miliamperímetro 0-1 e 50 milivolts são para ser usados para medir corrente acima de 10 miliampêres.

Alguns procedimentos podem ser empregados, como desenhar um esquema de um medidor com resistor “shunt” designado como R_s , conforme mostrado na figura 8-127.

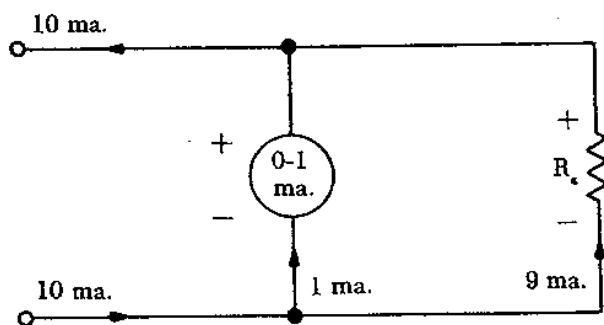


Figura 8-127 Circuito esquemático para resistor de derivação.

Desde que a sensibilidade do medidor seja conhecida, a sua resistência pode ser calculada. O circuito é, então, redesenhado como mostrado na figura 8-128, e as correntes ramificadas podem ser calculadas, já que um máximo de 1(um) ma é o que pode fluir através do medidor.

A queda de voltagem através de R_s é a mesma através do medidor, R_m :

$$\begin{aligned} E &= IR \\ &= 0,001 \times 50 \\ &= 0,050 \text{ volt} \end{aligned}$$

R_s pode ser encontrada pela aplicação da lei de Ohm:

$$R_s = \frac{E_{RS}}{I_{RS}} = \frac{0,050}{0,009} = 5,55$$

O valor do resistor “shunt” (5,55 Ω) é muito pequeno, mas este valor é crítico. Resistores usados como “shunts” devem ter tolerâncias limitadas, normalmente a 1%.

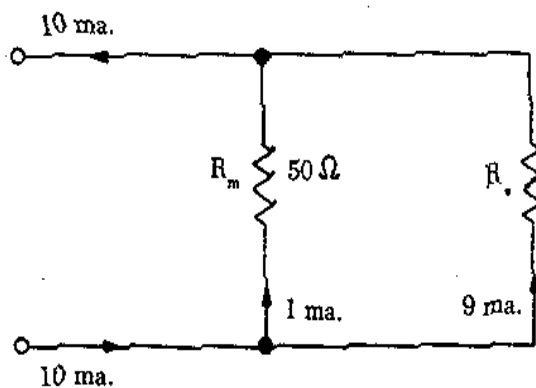


Figura 8-128 Circuito medidor equivalente.

“Shunt” universal para multímetro.

O desenho esquemático na figura 8-129 mostra uma disposição por meio da qual duas ou mais faixas são providas de derivações com resistores shunt em determinados pontos.

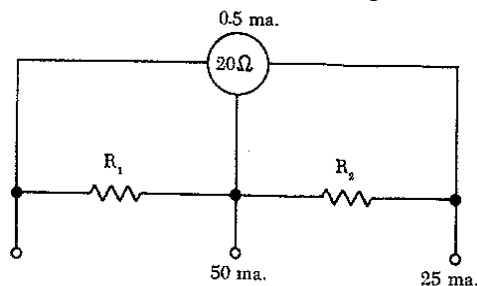


Figura 8-129 Amperímetro universal de derivação.

Neste arranjo, um instrumento de 0-5 ma com uma resistência de 20 ohms recebe “shunt” para prover uma faixa de 0-25m e uma de 0-50 ma.

Amperímetros que possuem “shunts” internos são chamados “multirange” (várias faixas).

Existe uma escala para cada faixa no mostrador (figura 8-130). Em alguns multíme-

tros são evitadas as comutações internas através do uso de “shunts” externos.

A mudança de faixas implica na seleção e instalação do “shunt” adequado no estojo do medidor.

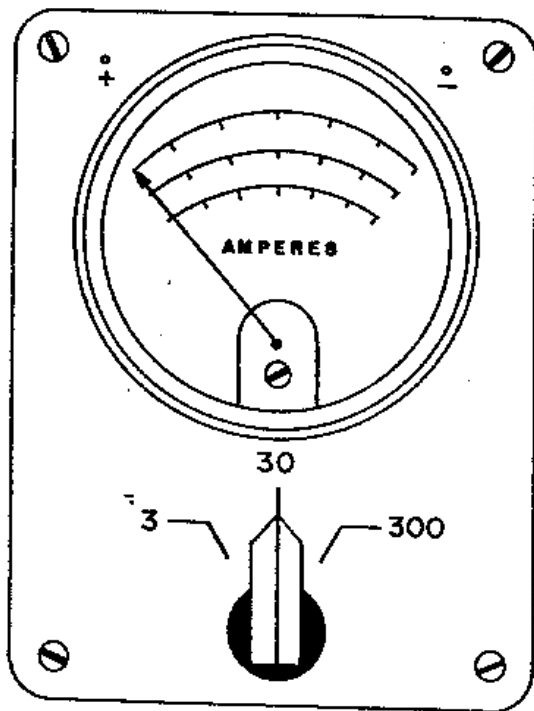


Figura 8-130 Amperímetro de várias faixas.

MULTÍMETROS

Amperímetros são comumente incorporados em instrumentos que têm propósitos múltiplos, tais como multímetros ou volt-ohm-miliamperímetros.

Estes instrumentos variam um pouco de acordo como modelo pertencente a diferentes fabricantes, mas a maioria incorpora as funções de um amperímetro, um voltímetro e um ohmímetro em uma só unidade.

Um multímetro típico é mostrado na figura 8-131. Este multímetro tem duas chaves seletoras: uma de função e a outra de faixa. O multímetro é de fato três medidores num único estojo. A chave de função deve ser posicionada apropriadamente para o tipo de medição a ser realizada.

Na figura 8-131, a chave de função é mostrada na posição amperímetro para medir miliampères de C.C., e a chave de faixa foi ajustada para 1000.

Ajustado, desta maneira, o amperímetro pode medir até 1.000 miliampères ou 1 ampère.

Os multímetros têm várias escalas, e a que estiver sendo usada deve corresponder propriamente ao posicionado na chave de faixas.

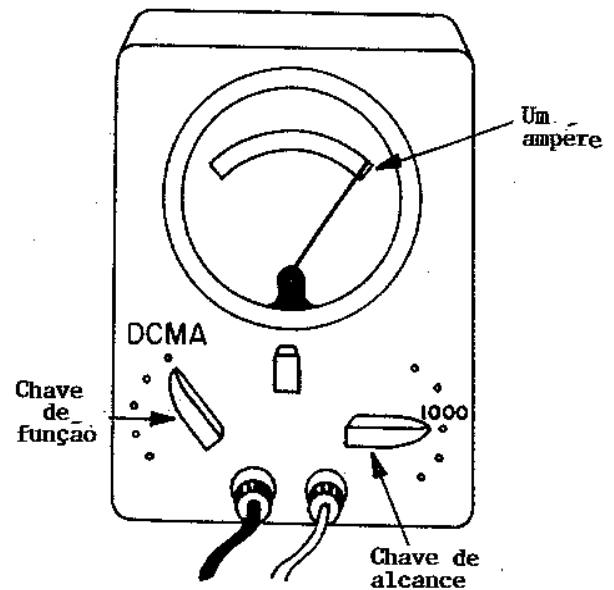


Figura 8-131 Multímetro selecionado para medir um ampère.

Ao ser medida corrente de valor desconhecido, seleciona-se sempre a faixa mais alta possível para evitar danos ao instrumento.

As pontas de teste devem ser conectadas ao medidor da maneira recomendada pelo fabricante. Normalmente, a ponta vermelha é positiva, e a preta é negativa ou comum. Muitos multímetros empregam encaixes com código de cor como auxílio para conectar o medidor no circuito a ser testado. Na figura 8-132, um multímetro devidamente ajustado para medir fluxo de corrente é ligado num circuito.

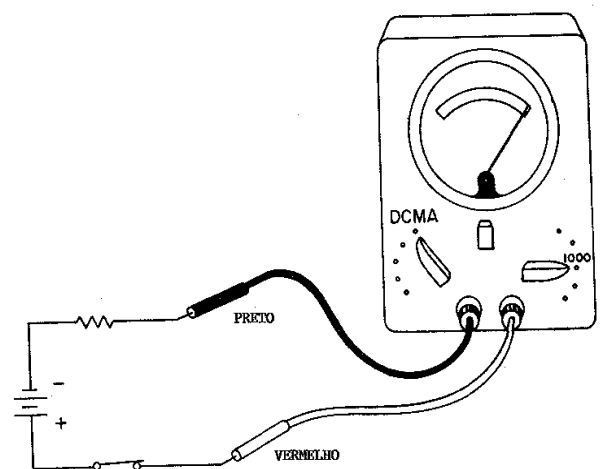


Figura 8-132 Multímetro selecionado para medir fluxo de corrente.

Os cuidados a serem observados quando se usa um multímetro são resumidos a seguir:

1. Sempre conectar o amperímetro em série com o elemento do qual a corrente será medida.
2. Nunca conectar um amperímetro através de uma fonte de tensão, como bateria ou gerador. Lembrar que a resistência de um amperímetro, particularmente nas faixas mais altas, é extremamente baixa, e que qualquer tensão, mesmo um volt ou mais, pode causar alta corrente através do medidor, danificando-o.
3. Utilizar faixa larga o suficiente para manter a deflexão abaixo do máximo da escala. Antes de medir uma corrente, ter idéia sobre sua magnitude. Em seguida, selecionar uma faixa larga o suficiente, ou começar pela faixa mais alta e ver diminuindo até achar a faixa correta. As leituras mais precisas são obtidas, aproximadamente, no meio curso de deflexão. Muitos miliamperímetros têm sido danificados pela tentativa de medir ampères. Portanto, certifique-se no mostrador e chave de seleção quanto à posição em uso, e escolha a escala correta antes de conectar o medidor num circuito.
4. Observar a polaridade correta ao conectar o medidor num circuito. A corrente deve fluir na bobina numa direção definida para mover o indicador obrigatoriamente para a parte superior da escala. A corrente invertida por causa de conexão incorreta no circuito resulta em deflexão invertida, e frequentemente provoca empenamento da agulha do medidor. Evitar ligações incorretas, observando as marcas de polaridade no medidor.

VOLTÍMETROS

O medidor D'Arsonval pode ser usado tanto como amperímetro ou como voltímetro (figura 8-133). Então, um amperímetro pode ser convertido em voltímetro, colocando-se uma resistência em série com a bobina do medidor, e medindo-se a corrente que flui através dele. Em

outras palavras, um voltímetro é um instrumento medidor de corrente, destinado a indicar tensão pela medição do fluxo de corrente através de uma resistência de valor conhecido.

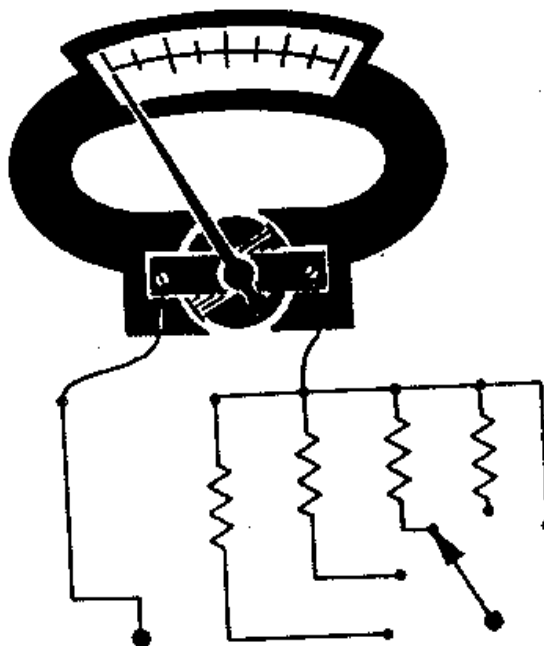


Figura 8-133 Diagrama simplificado de um voltímetro.

Variadas faixas de tensões podem ser obtidas pela adição de resistores em série com a bobina do medidor. Nos instrumentos de faixa baixa esta resistência é montada dentro do estojo juntamente com o mecanismo D'Arsonval, e normalmente, consiste de fio resistivo de baixo coeficiente térmico que é enrolado tanto em carretéis como bases de cartão.

No caso de faixas mais elevadas de tensão, a resistência em série pode ser conectada externamente. Quando isto é feito, a unidade que contém a resistência é comumente chamada de multiplicador.

Extensão de faixa do voltímetro

O valor das resistências, em série, é determinada em função da corrente necessária para deflexão total ("full-scale") de medidor, e pela faixa de tensão a ser medida.

Já que a corrente através do circuito do medidor é diretamente proporcional à tensão aplicada, a escala do medidor pode ser calibrada em volts para uma resistência fixa em série.

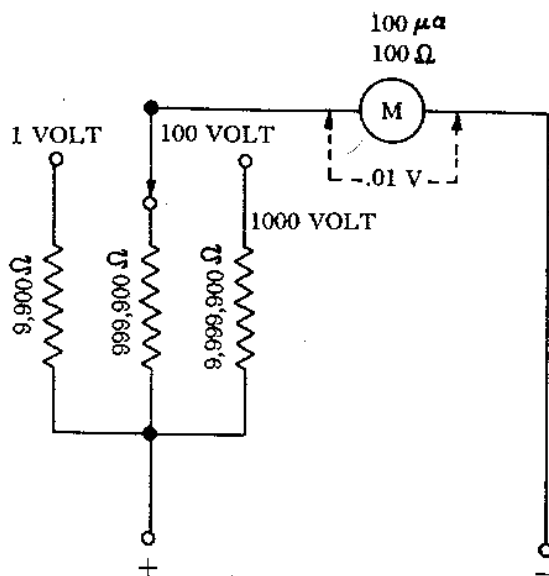


Figura 8-134 Esquema de um voltímetro de várias faixas.

Por exemplo, suponhamos que o medidor básico (microamperímetro) seja transformado num voltímetro com leitura máxima (*full-scale*) de 1 volt.

A resistência da bobina do medidor básico de 100 ohms e 0,0001 ampère (100 microampères) provocará a deflexão total. A resistência total, R , da bobina do medidor e a resistência em série será:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{1}{0,0001} = 10.000 \text{ ohms}$$

e a resistência em série sozinha é de:

$$R_s = 10.000 - 100 = 9.900 \text{ ohms}$$

Os voltímetros de faixa múltipla (*multi-range*) utilizam um mecanismo de medição com as resistências necessárias conectadas em série, como medidor por dispositivo de comutação adequada. Um voltímetro “*multirange*” com três faixas com a faixa de 1 volt é:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ megohms}$$

$$\frac{100}{100} = 1 \text{ megohm}$$

$$\frac{1000}{100} = 10 \text{ megohms}$$

Os voltímetros de faixa múltipla, como os amperímetros de faixa múltipla, são usados freqüentemente.

Eles são fisicamente muito parecidos com os amperímetros; seus multiplicadores são localizados dentro do medidor com chaves adequadas ou posições de ajuste dos terminais na parte externa do medidor, para seleção das faixas (ver figura 8-135).

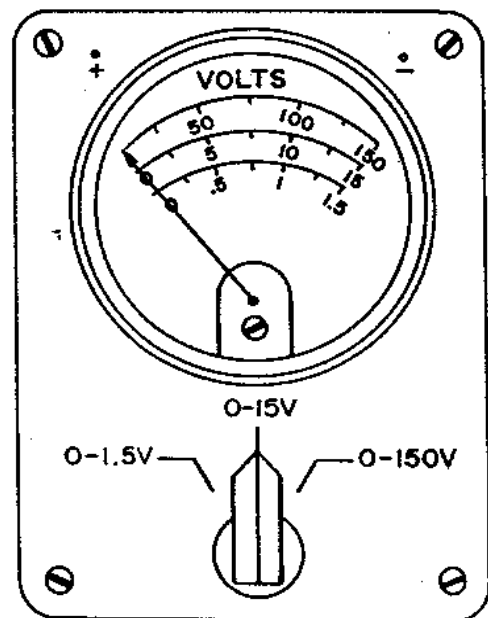


Figura 8-135 Típico voltímetro de várias faixas.

Os instrumentos de medição de voltagem são conectados em paralelo com um circuito. Se o valor aproximado da voltagem a ser medida não é conhecido, é melhor, conforme recomendado para o amperímetro, iniciar com a faixa mais alta do voltímetro, e ir abaixando a faixa progressivamente até atingir a leitura adequada.

Em muitos casos o voltímetro não é um instrumento com a indicação central do zero. Por isso é necessário observar a polaridade ao conectá-lo num circuito, da mesma forma praticada quando usando um amperímetro de C.C.

O terminal positivo de um voltímetro é sempre conectado no terminal positivo da fonte, e o terminal negativo ao terminal negativo da fonte, quando a voltagem desta está sendo medida. Na figura 8-136 um voltímetro é ligado corretamente num circuito para medir a queda de voltagem em um resistor. A chave de função está ajustada na posição “volts de C.C.”, e a chave de faixa está colocada na posição “50 volts”.

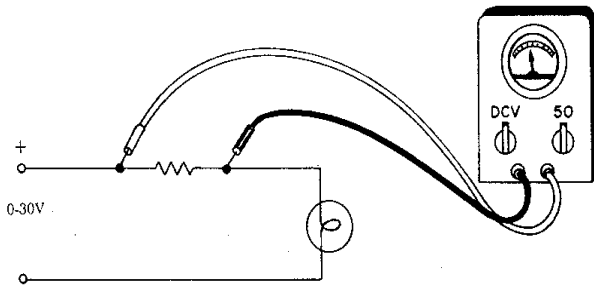


Figura 8-136 Multímetro conectado para medir a queda de voltagem de um circuito.

A função de um voltímetro é indicar a diferença potencial entre dois pontos em um circuito.

Quando um voltímetro é conectado através de um circuito, ele o desvia. Se o voltímetro tiver baixa resistência, puxará uma quantidade apreciável de corrente.

A efetiva resistência do circuito diminuirá, e a leitura da voltagem, conseqüentemente, diminuirá também.

Quando são feitas medições de voltagem em circuitos de alta resistência é necessário usar voltímetro de alta resistência para prevenir a ação de desvio do medidor.

O efeito é menos notável em circuitos de baixa resistência porque o efeito de desvio é menor.

Sensibilidade do voltímetro

A sensibilidade de um voltímetro é dada em ohms por volt (Ω/E), e é determinada pela divisão da resistência (R_m) do medidor mais a resistência em série (R_s) pela voltagem máxima da escala em volts. Assim,

$$\text{sensibilidade} = \frac{R_m + R_s}{E}$$

Isto é o mesmo que dizer que a sensibilidade é igual ao inverso da corrente (em ampères), que é,

$$\text{sensibilidade} = \frac{\text{ohms}}{\text{volts}} = \frac{1}{\text{volts / ohms}} = \frac{1}{\text{ampères}}$$

Daí, a sensibilidade de um instrumento de 100 microampères ser o inverso de 0,0001 ampères ou 10.000 ohms por volt.

A sensibilidade de um voltímetro pode ser aumentada, aumentando-se a intensidade do imã permanente, usando-se materiais mais leves no elemento móvel, e usando-se mancal de pedra de safira para suportar a bobina móvel.

Precisão do voltímetro

A precisão de um medidor é geralmente expressa em porcentagem. Por exemplo, um medidor com uma precisão de 1% indicará um valor dentro de 1% do valor correto.

O que significa que, se o valor correto são 100 unidades, a indicação do medidor pode ser algo dentro da faixa de 99 a 101 unidades.

OHMÍMETROS

Dois instrumentos são comumente usados para testar continuidade ou para medir a resistência de um circuito ou elemento do circuito. Estes instrumentos são o ohmímetro e o megômetro.

O ohmímetro é amplamente usado para medir resistência e testar os circuitos elétricos e os dispositivos.

Sua faixa normalmente estende-se a alguns megohms.

O megômetro é largamente usado para medir resistência de isolamento, tal como a resistência entre enrolamentos e a estrutura do maquinário, e para medir isolamento de cabos, isoladores e embuchamentos. Sua faixa pode se estender a mais de 1.000 megohms.

Quando medindo resistências muito altas desta natureza, não é necessário achar o valor exato da resistência, mas saber se a isolamento se encontra abaixo ou acima de determinado padrão.

Quando há necessidade de precisão, algum tipo de circuito-fonte é usado.

Ohmímetro em série

Um esquema simplificado de um ohmímetro é mostrado na figura 8-137. "E" é a fonte de voltagem; R_1 é o resistor variável usado para ajustar o zero de medidor; R_2 é o resistor fixo usado para limitar a corrente no medidor; "A" e "B" são terminais de teste através dos quais é colocada a resistência a ser medida.

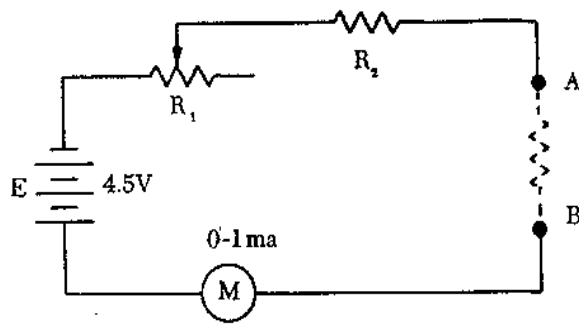


Figura 8-137 Circuito de um Ohmímetro.

Se “A” e “B” forem conectados entre si (curto-circuitados), o medidor, a bateria e os resistores R_1 e R_2 formam um circuito em série simples, com R_1 ajustado de tal modo que a resistência total no circuito seja 4.500 ohms, a corrente através do medidor é de 1 ma, e a agulha deflexiona para o máximo da escala.

Como não existe resistência entre “A” e “B”, esta posição da agulha é determinada como zero (figura 8-138).

Se uma resistência de 4.500 ohms for colocada entre os terminais “A” e “B”, a resistência total soma 9.000 ohms e a corrente fica em 0,5 ma.

Isto provoca deflexão da agulha em meia escala. Esta metade da escala, estabelecida como 4,5 K Ω , na leitura, sendo igual à resistência interna do medidor, neste caso 4.500 ohms.

Se for inserida uma resistência de 9.000 ohms entre os terminais “A” e “B”, a agulha deflexiona 1/3 da escala.

Resistências de 13,5 K e 1.5 K colocadas entre os terminais A e B causam a deflexão de $\frac{1}{4}$ e $\frac{3}{4}$ da escala, respectivamente.

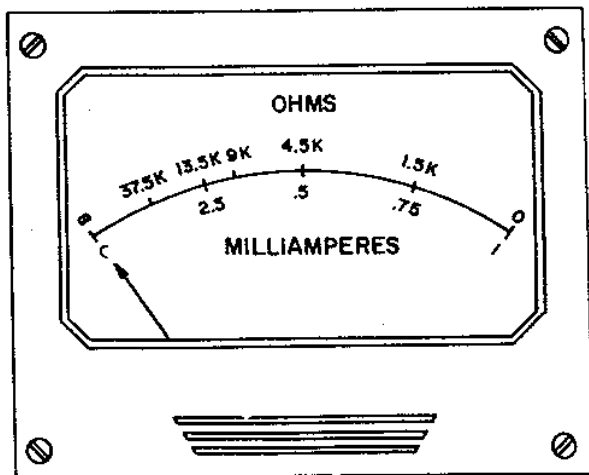


Figura 8-138 Escala típica de um Ohmímetro.

Se os terminais “A” e “B” permanecem desconectados (circuito aberto) não flui nenhuma corrente, e a agulha não se move, ficando em repouso no lado esquerdo da escala, que representa resistência infinita.

Uma escala típica de ohmímetro é mostrada na figura 8-138. Observa-se que a escala não é linear e as marcas vão se agrupando na extremidade que indica resistência mais alta. Por esta razão, é boa pratica usar uma faixa do ohmímetro em que a leitura não esteja muito longe da indicação intermediária da escala.

Uma boa regra é usar uma faixa em que a leitura obtida não exceda dez vezes, ou não seja menor do que um décimo da leitura intermediária da escala. A faixa útil da escala mostrada é, por esta regra, de 450 ohms a 45.000 ohms.

A maioria dos ohmímetros tem mais de uma escala. Escalas adicionais tornam-se possíveis pelo uso de valores variados de resistores de limitação e voltagens de bateria.

Ohmímetro em “shunt”

Ohmímetros tipo “shunt” (derivação) são empregados para medir pequenos valores de resistência. No circuito mostrado na figura 8-139, E (voltagem) é aplicada através de um resistor de limitação, R, e um multímetro em série.

Os valores da resistência e bateria são escolhidos, de tal modo, que o indicador do instrumento deflexiona totalmente na escala, quando os terminais A e B encontram-se abertos.

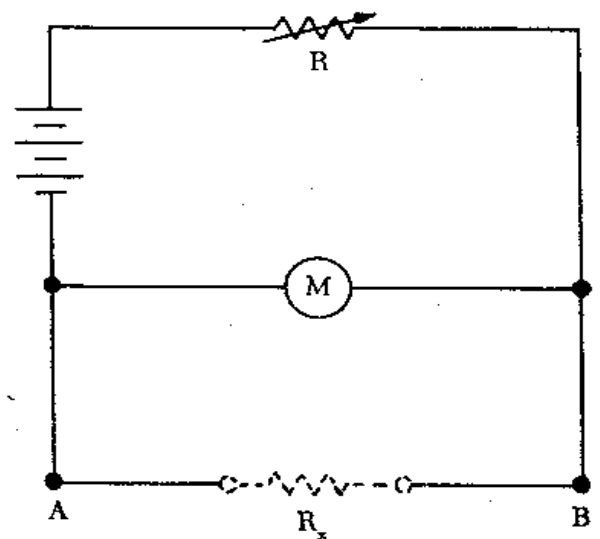


Figura 8-139 Circuito de um Ohmímetro tipo derivação.

As bobinas “A” e “B” são montadas sobre o membro móvel, com uma relação angular fixa entre si, e estão livres para girar como uma unidade num campo magnético. A bobina “B” tensiona o ponteiro no sentido anti-horário e a bobina “A”, no sentido horário. As bobinas são montadas sobre um suporte leve, móvel, que é fixado por pivô em mancal de pedra preciosa e livre para mover-se no eixo “O”.

A bobina “A” é conectada em série com R_3 e a resistência desconhecida, R_x , a ser medida. A combinação em série da bobina A, R_3 e R_x é conectada entre as escovas (+) e (-) do gerador de C.C.

A bobina “B” é conectada em série com R_2 , e esta combinação também é conectada através do gerador. Não há mola de limitação sobre o membro móvel da parte do instrumento do megômetro.

Quando o gerador não está em funcionamento, o ponteiro flutua livremente e pode ficar em repouso em qualquer posição na escala.

Se os terminais estiverem abertos, não flui corrente na bobina “A”, e a corrente na bobina “B” controla sozinha a movimentação do elemento móvel. A bobina “B” toma uma posição oposta à abertura do núcleo (já que o núcleo não pode mover-se e a bobina “B” pode) e o ponteiro indica infinito na escala.

Quando uma resistência é conectada entre os terminais, flui corrente na bobina “A”, tendendo a mover o ponteiro no sentido horário. Ao mesmo tempo, a bobina “B” tende a movimentar o ponteiro no sentido anti-horário. Por conseguinte o elemento móvel, composto por ambas as bobinas e o ponteiro, vem a se estabilizar numa posição em que as duas forças se equilibram. Tal posição depende do valor da resistência externa que controla a magnitude relativa da corrente da bobina “A”.

A posição do elemento móvel é independente da voltagem, porque mudanças na voltagem afetam ambas as bobinas, A e B.

Se for fechado o circuito, em “curto”, os terminais e o ponteiro são zerados, porque a corrente em “A” é relativamente grande. O instrumento não é danificado sob tais circunstâncias porque a corrente é limitada por R_3 .

Existem dois tipos de megômetro normais: o tipo variável e o de pressão-constante. O primeiro tem a velocidade dependente da rapidez com que o eixo manual é girado; e o segun-

do utiliza um governador centrífugo, ou embreagem.

O governador torna-se efetivo quando a velocidade de operação excede àquela em que sua voltagem permanece constante.

ANÁLISE E PESQUISA DE DEFEITO EM CIRCUITO BÁSICO

Análise e pesquisa de defeito “*Troubleshooting*” é um processo de localização de mal funcionamento ou pane num circuito. As seguintes definições servem como um guia na discussão do “*troubleshooting*”:

(1) “Curto-circuito”- um caminho de baixa resistência. Pode ser através de uma fonte de força ou entre os lados de um circuito. Normalmente provoca alto fluxo de corrente que causa queima ou danifica os condutores ou componentes.

(2) Circuito aberto - um circuito não completo ou contínuo.

(3) Continuidade - o estado de ser contínuo ou conectado junto; refere-se a um circuito não-aberto.

(4) Descontinuidade - o oposto de continuidade, indicando que o circuito está interrompido.

A figura 8-141 inclui alguns dos elementos de circuitos abertos. Em “A” da figura 8-141, a extremidade de um condutor separou-se do terminal da bateria. Este tipo de defeito abre o circuito e interrompe o fluxo de corrente. Um outro tipo de defeito que causa interrupção do circuito é um resistor queimado, mostrado na letra “B” da figura 8-141.

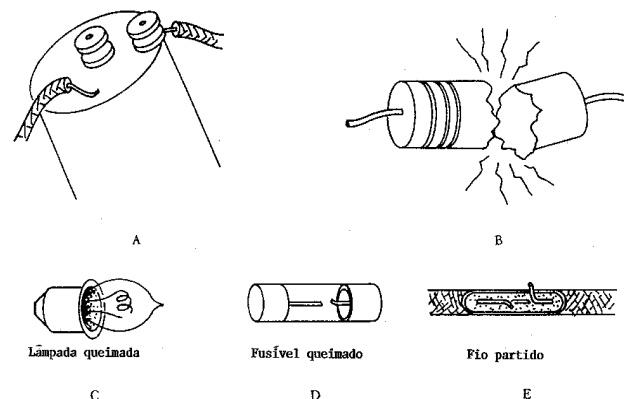


Figura 8-141 Causas comuns de abertura de circuitos.

Quando um resistor é sobrecarregado o valor de sua resistência modifica-se e, se o fluxo de corrente é suficientemente grande, ela pode se queimar e abrir o circuito. Em “C”, “D” e “E” da figura 8-141, mais três causas prováveis de circuitos abertos são mostrados.

As interrupções mostradas podem ser localizadas por inspeção visual, entretanto muitos circuitos abertos não podem ser vistos. Neste caso, deve ser usado um medidor.

O circuito mostrado na figura 8-142 destina-se a ocasionar fluxo de corrente através de uma lâmpada, entretanto, por causa de um resistor aberto, a lâmpada deixará de acender. Para localizar tal interrupção pode-se utilizar um voltímetro ou amperímetro.

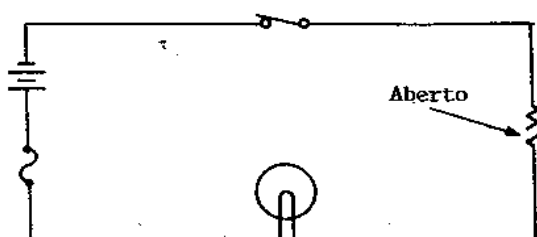


Figura 8-142 Um circuito aberto.

Se um voltímetro for conectado através da lâmpada, conforme mostrado na figura 8-143, a leitura será zero volts. Já que não existe corrente fluindo no circuito por causa do resistor aberto, não há queda de voltagem através da lâmpada. Isto ilustra uma regra de “troubleshooting” que deve ser lembrada: “quando um voltímetro é conectado através de um componente bom (sem defeito), num circuito aberto, o voltímetro indicará zero.”

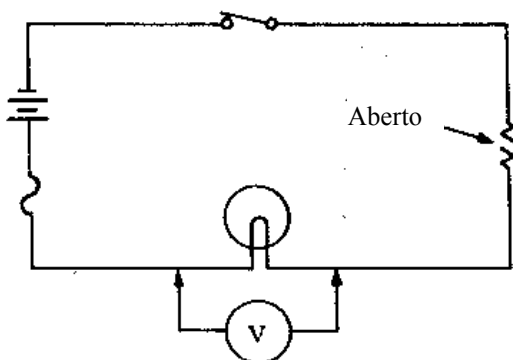


Figura 8-143 Voltímetro através de uma lâmpada em um circuito aberto.

Depois, o voltímetro é conectado através do resistor aberto, conforme mostrado na figura

8-144. O voltímetro fechou o circuito por fora do resistor queimado, permitindo o fluxo de corrente. A corrente fluirá do terminal negativo da bateria através da chave, passando pelo voltímetro e pela lâmpada, retornando ao terminal positivo da bateria. Todavia, a resistência do voltímetro é tão grande que apenas uma pequena corrente flui no circuito. A corrente é muito baixa para acender a lâmpada, mas o voltímetro mostrará a voltagem da bateria.

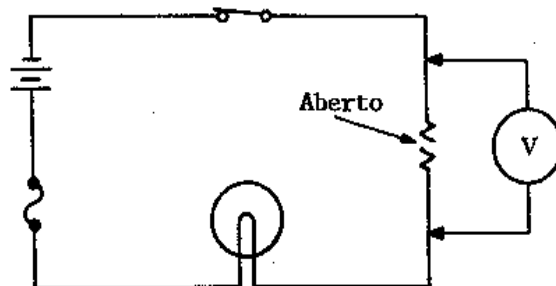


Figura 8-144 Voltímetro através de um resistor em um circuito aberto.

Um outro detalhe importante de “troubleshooting” a ser lembrado é: quando um voltímetro é colocado através de um componente aberto num circuito em série, marcará a voltagem aplicada, ou da bateria.

Este tipo de defeito do circuito aberto pode também ser pesquisado com uso de ohmímetro. Quando um ohmímetro é usado, o componente a ser testado deve ser isolado e a fonte de força ser removida do circuito. Neste caso, conforme mostrado na figura 8-145, estes requisitos podem ser conseguidos, desligando-se a chave do circuito. O ohmímetro é “zerado” e colocado através (em paralelo) da lâmpada. Neste circuito, algum valor de resistência é marcado.

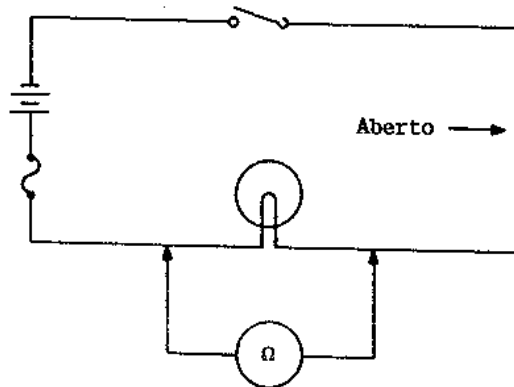


Figura 8-145 Usando um ohmímetro para testar um componente do circuito.

Isto ilustra um outro ponto de pesquisa de pane: quando um ohmímetro é conectado apropriadamente através de um componente do circuito, e uma leitura de resistência é obtida, o componente tem continuidade e não está aberto.

Quando o ohmímetro é conectado através de um resistor aberto, como mostrado na figura 8-146, indica resistência infinita ou uma descontinuidade.

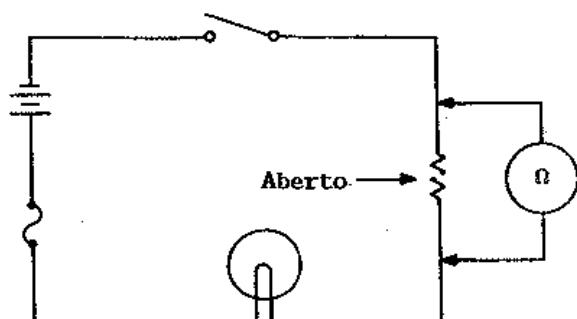


Figura 8-146 Usando um ohmímetro para localizar uma abertura em um componente do circuito.

Uma interrupção num circuito em série interromperá o fluxo de corrente. Um “curto-circuito” causará o efeito oposto. Um “curto” num circuito em série produz um fluxo de corrente maior do que o normal.

Alguns exemplos de “curtos”, como mostrado na figura 8-147, são dois fios desencapados se tocando, dois terminais de um resistor ligados entre si, etc. Daí, um “curto” pode ser descrito como o contato de dois condutores de um circuito através de uma resistência muito baixa.

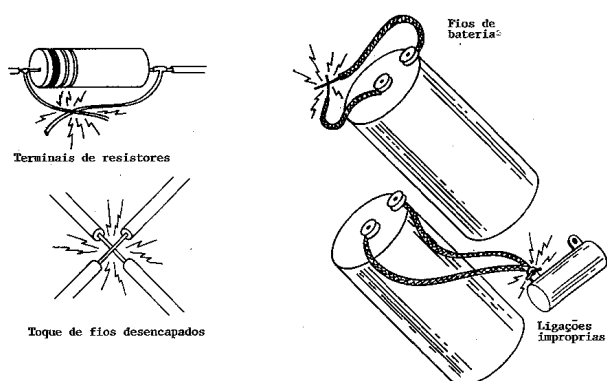


Figura 8-147 Causas mais comuns de curtos-circuitos.

Na figura 8-148, um circuito se destina a acender uma lâmpada. Um resistor é colocado no circuito para limitar o fluxo de corrente. Se o resistor ficar “em curto”, conforme mostrado na

ilustração, o fluxo de corrente aumentará e a lâmpada tornar-se-á mais brilhante. Se a voltagem aplicada se tornar excessiva, a lâmpada pode queimar, mas neste caso, o fusível protetor da lâmpada abre primeiro.

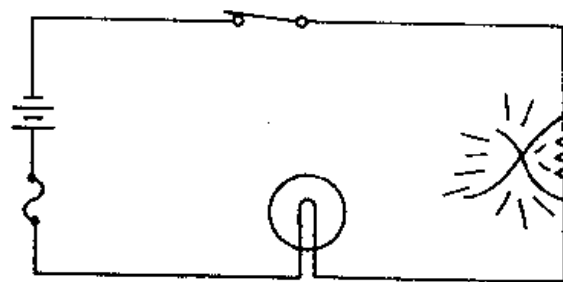


Figura 8-148 Resistor em curto circuito.

Normalmente, um “curto-circuito” ocasionará um circuito aberto, abrindo o fusível ou queimando um componente. Mas, em alguns circuitos, como aquele ilustrado na figura 8-149 pode haver resistores adicionais que não permitem que um resistor “em curto” aumente a corrente suficientemente para abrir o fusível ou queimar componente. Desta forma, com um resistor “em curto”, o circuito ainda funcionará, desde que a potência dissipada pelos demais resistores não exceda a capacidade de fusível.

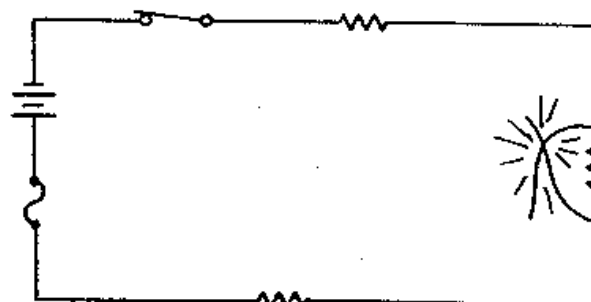


Figura 8-149 Um curto circuito que não interrompe o circuito.

Para localizar o resistor em curto enquanto o circuito está em funcionamento, pode-se usar um voltímetro. Quando ele é conectado através de qualquer resistor sem curto, uma parte da voltagem aplicada será indicada pelo voltímetro. Quando conectado através de um resistor em curto, o voltímetro marcará zero.

O resistor em curto mostrado na figura 8-150 pode ser localizado com um ohmímetro. Primeiro a chave é desligada para isolar os componentes do circuito. Na figura 8-150, este

circuito é mostrado com um ohmímetro através de cada resistor.

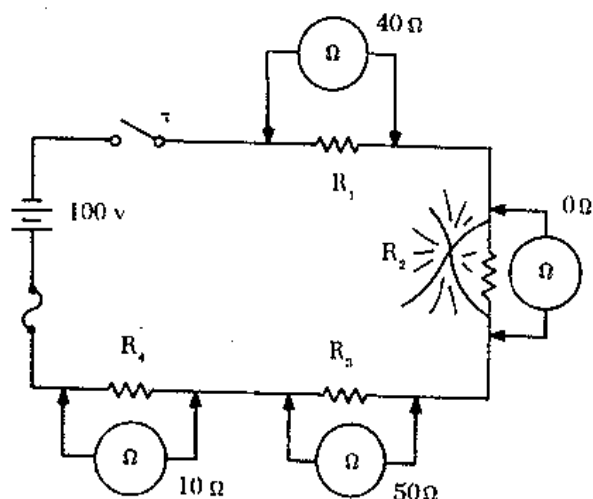


Figura 8-150 Usando um ohmímetro para localizar um resistor em curto.

Os procedimentos usados na pesquisa de pane num circuito em paralelo são, às vezes, diferentes dos usados nos circuitos em série. Diferente de um circuito em série, um circuito em paralelo tem mais de um caminho para a corrente fluir.

Um voltímetro não pode ser usado, já que quando é colocado através de um resistor aberto, ele marcará a queda de voltagem na ramificação paralela.

Mas um amperímetro ou o uso modificado do ohmímetro pode ser empregado para detectar uma derivação aberta num circuito em paralelo.

Se o resistor aberto mostrado na figura 8-151 não fosse aparente, visualmente, o circuito aparentaria estar funcionando apropriadamente, desde que a corrente continuasse a fluir na outra ramificação do circuito.

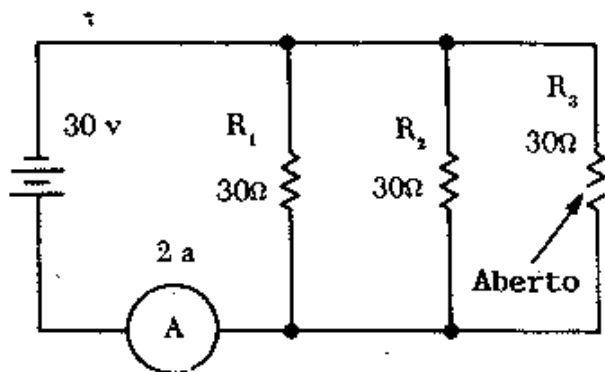


Figura 8-151 Detectando uma ramificação aberta em um circuito paralelo.

Para se determinar que o circuito está com defeito, a resistência total, a corrente total e as correntes dos braços podem ser calculadas como se não houvesse interrupção no circuito:

$$R_t = \frac{R}{N} = \frac{30}{3} = 10\Omega \text{ resistência total}$$

Já que a voltagem aplicada nas derivações é a mesma e o valor da resistência de cada ramificação é conhecida, teremos:

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1} = \frac{30v}{30\Omega} = 1 \text{ ampère}$$

$$I_2 = \frac{E_2}{R_2} = \frac{30v}{30\Omega} = 1 \text{ ampère}$$

$$I_3 = \frac{E_3}{R_3} = \frac{30v}{30\Omega} = 1 \text{ ampère}$$

$$I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{30v}{10\Omega} = 3 \text{ ampères (corrente total)}$$

Um amperímetro colocado num circuito para medir a corrente total poderia mostrar 2 ampères, em vez dos 3 ampères calculados, já que 1 ampère de corrente estaria fluindo através de cada ramificação, é óbvio que um deles esteja interrompido. Se um amperímetro é conectado nas derivações uma após outra, a que estiver aberta será localizada pela indicação zero do ohmímetro.

Uso modificado do ohmímetro pode também localizar este tipo de interrupção, conforme mostrado na figura 8-152, uma leitura errônea de continuidade seria obtida.

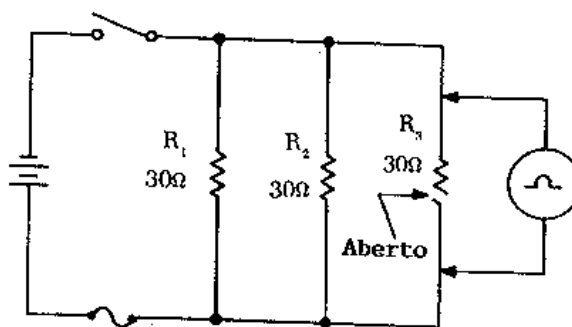


Figura 8-152 Uma falsa indicação no ohmímetro.

Ainda que a chave do circuito esteja aberta, o resistor aberto está, ainda, em paralelo com R_1 e R_2 , e o ohmímetro indicaria que o

resistor aberto tem uma resistência de 15 ohms, a resistência equivalente à combinação em paralelo de R_1 e R_2 . Assim, é necessário abrir o circuito, conforme mostra a figura 8-153, para testar a resistência de R_3 . Desta forma o resistor não é desviado pelo ohmímetro que indicará resistência infinita. De outro modo, se uma interrupção ocorresse neste circuito (figura 8-153), entre a bateria e o ponto “A”, ou entre a bateria e o ponto “B”, a corrente não fluiria no circuito.

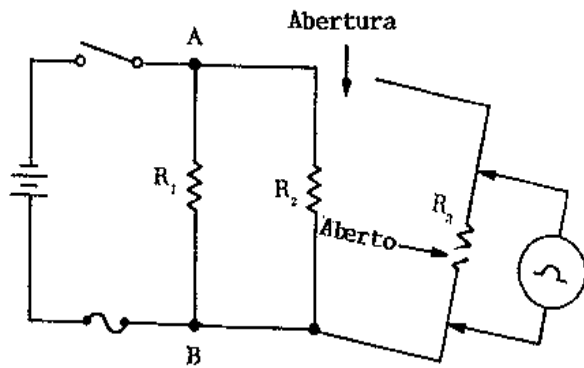


Figura 8-153 Abrindo uma parte do circuito para obter uma leitura acurada no ohmímetro.

Como num circuito em série, um “curto” num circuito em paralelo provocará, normalmente, um circuito aberto pela queima do fusível.

Mas, diferentemente de um circuito em série, um componente “em curto” num circuito em paralelo interromperá o fluxo de corrente causando a queima de fusível (ver figura 8-154).

Se o resistor R_3 entra “em curto”, o caminho de resistência quase zero será oferecido à corrente, e toda a corrente do circuito fluirá através da ramificação contendo o resistor defeituoso.

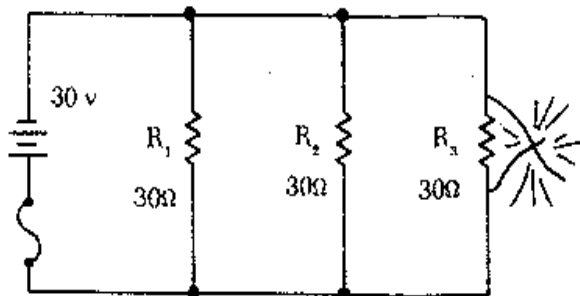


Figura 8-154 Um componente em curto causa a abertura do fusível.

Como isto é praticamente o mesmo que conectar um fio entre os terminais da bateria, a corrente elevar-se-á a um valor excessivo e o fusível queimar.

Como o fusível queima quase ao mesmo tempo em que o resistor entra “em curto”, não há tempo para executar teste de corrente ou voltagem.

Daí, a pesquisa de pane num circuito de C.C., em paralelo, para um componente “em curto”, pode ser realizada com um ohmímetro. Mas, como no caso de teste de um resistor aberto, num circuito em paralelo um resistor “em curto” pode ser detectado com um ohmímetro somente se uma das extremidades do resistor por desconectada.

A pesquisa de pane num circuito resistivo em série-paralelo envolve a localização de defeitos por processo semelhante ao empregado nos circuitos em série ou paralelo.

No circuito mostrado na figura 8-155, uma interrupção ocorreu na parte em série.

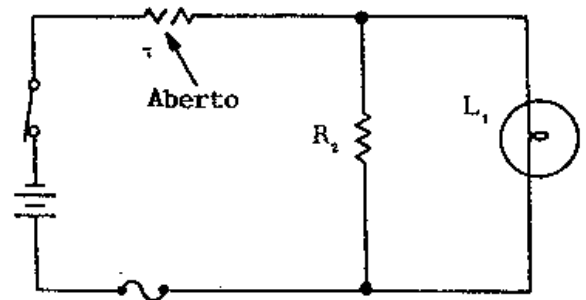


Figura 8-155 Uma abertura na parte em série de um circuito em série-paralelo.

Quando acontece uma interrupção em qualquer lugar da parte em série de um circuito em série-paralelo, o fluxo de corrente pára em todo o circuito. Neste caso, o circuito não funcionará e a lâmpada, L_1 , não acenderá.

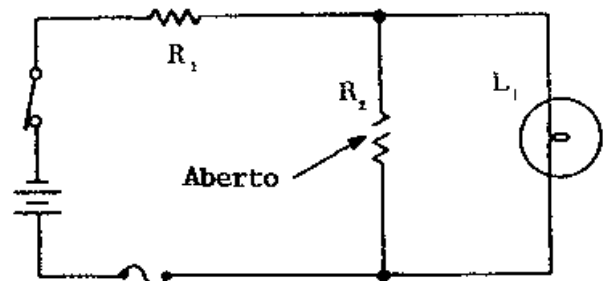


Figura 8-156 Uma abertura na parte em paralelo de um circuito em série-paralelo.

Se uma interrupção ocorre na parte em paralelo de um circuito em série-paralelo, conforme mostrado na figura 8-156, parte do circuito continuará a funcionar.

Neste caso, a lâmpada continuará acesa, mas seu brilho diminuirá, já que a resistência total do circuito aumentou e a corrente diminuiu.

Se uma interrupção acontece na derivação contendo a lâmpada, conforme mostrado na figura 8-157, o circuito continuará a funcionar com a resistência aumentada e a corrente diminuída, mas a lâmpada não acenderá.

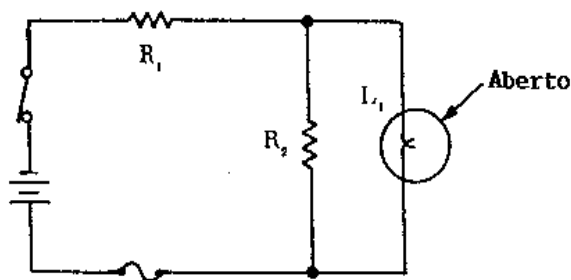


Figura 8-157 Uma lâmpada queimada em um circuito em série-paralelo.

Para explicar como o voltímetro e o ohmímetro podem ser usados para pesquisar circuitos em série-paralelo, o circuito mostrado na figura 8-158 foi assinalado em vários pontos.

Conectando-se um voltímetro entre os pontos A e D, a bateria e a chave podem ser testados quanto a interrupção. Conectando-se o voltímetro entre os pontos A e B pode-se testar a queda de voltagem através de R_1 .

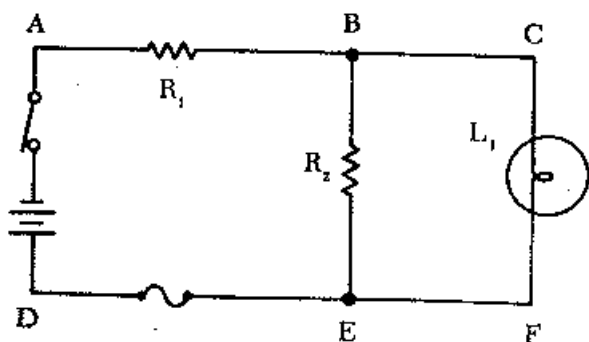


Figura 8-158 Usando um voltímetro para pesquisar panes em um circuito em série-paralelo.

Esta queda de voltagem é uma parte da voltagem aplicada. Também, se R_1 for interrompido, a leitura entre B e D será zero.

O condutor entre o terminal positivo da bateria e o ponto "E", bem como o fusível, podem ser testados quanto à continuidade, com a

colocação do voltímetro entre os pontos A e E. Se o condutor ou o fusível estiver aberto, o voltímetro indicará zero.

Se a lâmpada estiver acendendo, é óbvio que não há interrupção na ramificação em que ela se encontra, e o voltímetro poderia ser usado para detectar uma interrupção na ramificação contendo R_2 , desde que a lâmpada L_1 seja removida do circuito.

Pesquisar defeito na parte em série de um circuito em série-paralelo não apresenta dificuldade, mas na parte em paralelo podem ser obtidas leituras (marcações) enganosas.

Um ohmímetro pode ser usado para pesquisar este mesmo circuito. Com a chave aberta, a parte em série do circuito pode ser testada colocando-se as pontas de teste do ohmímetro entre os pontos A e B. Se R_1 ou o condutor estiver aberto, o ohmímetro marcará infinito; se não estiver aberto, o valor do resistor será indicado pelo instrumento.

Entre os pontos D e E, o fusível e o condutor podem ser testados quanto à continuidade, mas a parte em paralelo de circuito requer cuidados a fim de evitar medições equivocadas. Para testar entre os pontos B e E, a ramificação deve ser desconectada num desses pontos, e enquanto um deles estiver aberto, a derivação contendo a lâmpada pode ser testada com um ohmímetro.

Um "curto" na parte em série de um circuito em série-paralelo provoca diminuição na resistência total, que causará aumento da corrente total.

No circuito mostrado na figura 8-159, a resistência total é 100 ohms e a corrente total é 2 ampères. Se R_1 entra em "curto", a resistência total muda, para 50 ohms e a corrente total dobra para 4 ampères.

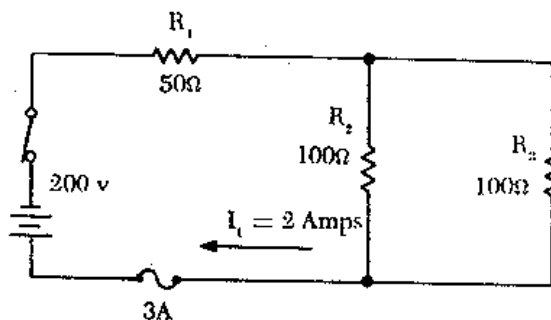


Figura 8-159 Encontrando um curto-circuito em um circuito em série-paralelo.

No circuito mostrado, isto provocaria a queima de fusível, mas se o fusível fosse de 5

ampères o circuito permaneceria funcionando. O resultado poderia ser o mesmo se R_1 ou R_3 tivesse entrado em “curto”.

A resistência total, em todo caso, cairia para 50 ohms. Disto, pode ser afirmado que, quando ocorre um “curto” num circuito em série-paralelo, a resistência total diminuirá e a corrente total aumentará. Um “curto”, normalmente causará uma interrupção no circuito, seja queimando o fusível ou danificando um componente do circuito. E, no caso de uma interrupção, um “curto” num circuito em série-paralelo pode ser detectado tanto com um ohmímetro quanto com um voltímetro.

CORRENTE ALTERNADA E VOLTAGEM

A corrente alternada tem substituído largamente a corrente contínua nos sistemas de energia comercial, por uma série de motivos. Pode ser transmitida a longas distâncias mais rápida e economicamente do que a corrente contínua, já que as voltagens de C.A. podem ser aumentadas ou diminuídas por meio de transformadores.

Porquanto, mais e mais unidades estão sendo operadas eletricamente em aeronaves; a demanda de energia é tal, que consideráveis vantagens podem ser obtidas pelo uso de C.A. Peso e espaço podem ser economizados, já que os equipamentos de C.A., especialmente os motores, são menores e mais simples do que os dispositivos de C.C.

Na maior parte dos motores de C.A. não são necessárias escovas, e o problema de comutação em altitude elevada é eliminado. “Circuit-breakers” opera satisfatoriamente sob carga num sistema de C.A. em altitudes elevadas, enquanto que o centelhamento é mais intenso nos sistemas C.C., obrigando a trocas frequentes de “circuit-breakers”.

Finalizando, a maior parte das aeronaves, usando sistema de corrente contínua de 24 volts, têm equipamentos específicos que requerem certa quantidade de corrente alternada com 400 ciclos.

C.A e C.C. comparadas

Muitos dos princípios, características e efeitos da corrente alternada são similares aos da corrente contínua. Também existem diferenças que ainda serão explanadas.

A corrente contínua flui constantemente, numa única direção com uma polaridade constante. Modifica a intensidade somente quando o circuito é aberto ou fechado, conforme mostrado na forma de onda de C.C., na figura 8-160.

A corrente alternada muda de direção a intervalos regulares, aumenta em valor a razão definida, de zero à máxima intensidade positiva e diminui até zero.

Formas de ondas C.A. e C.C. são comparadas na figura 8-160.

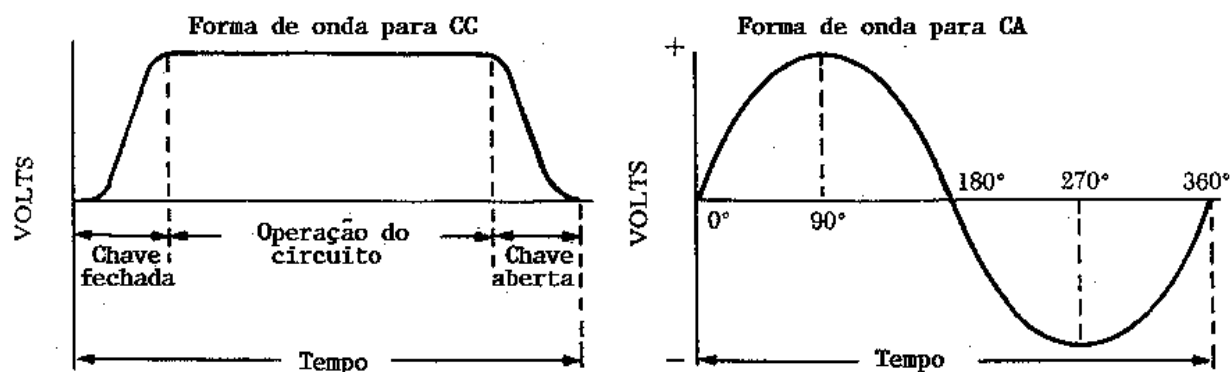


Figura 8-160 Curvas de voltagem de C.C. e de C.A.

Posto que a corrente alternada muda constantemente a intensidade e direção, dois efeitos que não ocorrem nos circuitos de C.C., ocorrem nos de C.A. São eles a reatância indutiva e a reatância capacitiva. Ambos serão discutidos adiante, neste capítulo.

Princípios do gerador

Após a descoberta de que uma corrente elétrica fluindo cria um campo magnético em torno do condutor, havia considerável especulação científica sobre a possibilidade de um cam-

po magnético poder criar um fluxo de corrente num condutor.

Em 1831, o cientista inglês Michael Faraday demonstrou que isto poderia ser realizado. Esta descoberta é a base do funcionamento do gerador, que assinalou o início da “Era da Eletricidade”. Para mostrar como uma corrente elétrica pode ser criada por um campo magnético, uma demonstração semelhante à ilustrada na figura 8-161 pode ser usada. Várias voltas de um condutor são enroladas em torno de um mio-

lo cilíndrico, e as extremidades do condutor são conectadas juntas, para formar um circuito completo que inclui um galvanômetro.

Se um ímã simples em barra for inserido no cilindro, pode-se observar que o galvanômetro deflexiona da sua posição zero numa direção (A da figura 8-161).

Quando o ímã está imóvel dentro de cilindro, o galvanômetro mostra uma leitura zero, indicando que não há corrente fluindo (B da figura 8-161).

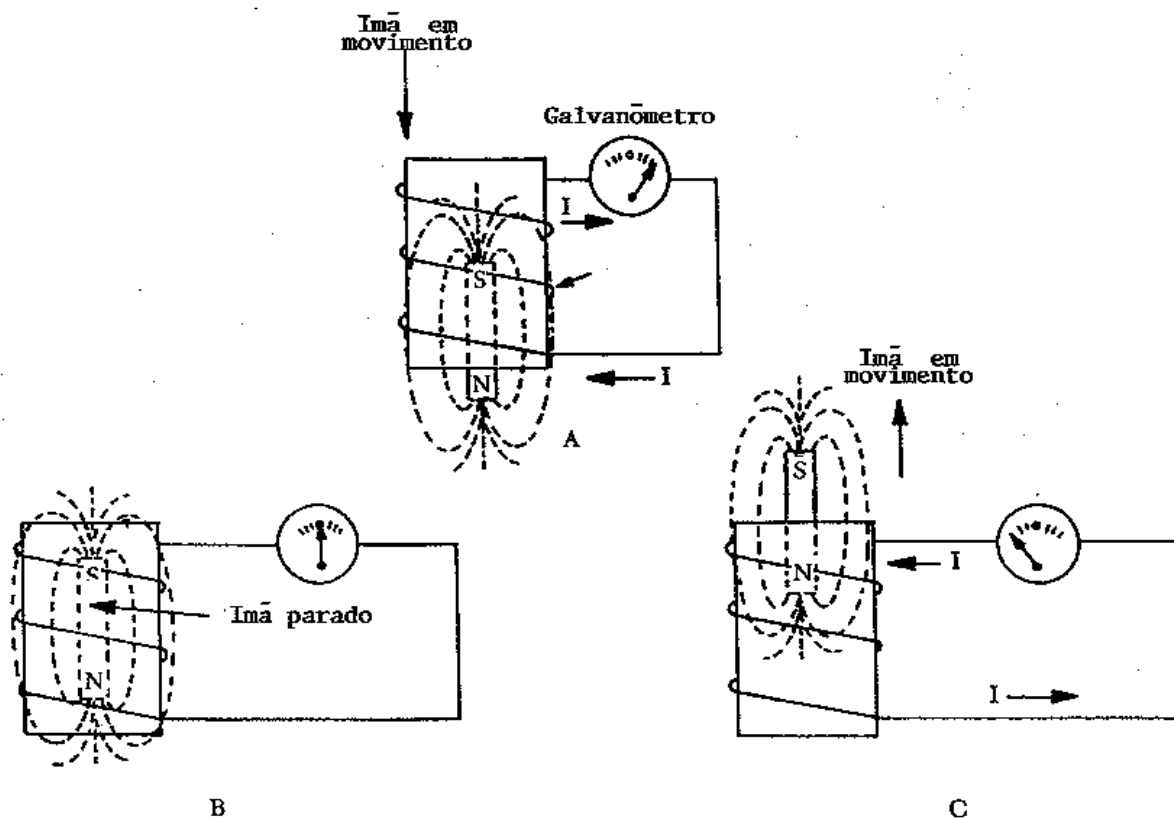


Figura 8-161 Induzindo um fluxo de corrente.

Em “C” da figura 8-161, o galvanômetro indica um fluxo de corrente na direção oposta, quando o ímã é puxado do cilindro.

Os mesmos resultados podem ser obtidos conservando-se o ímã imóvel e movendo-se o cilindro sobre o ímã, indicando que uma corrente flui quando há o movimento relativo entre a bobina de fio e o campo magnético.

Estes resultados obedecem a uma lei estabelecida pelo cientista alemão Heinrich Lenz.

A Lei de Lenz estabelece que a corrente induzida causada pelo movimento relativo de um condutor e um campo magnético sempre flui de acordo com a direção em que seu campo magnético se opõe ao movimento.

Quando um condutor é movido através de um campo magnético, conforme mostrado na figura 8-162, uma força eletromotriz (f.e.m.) é induzida no condutor.

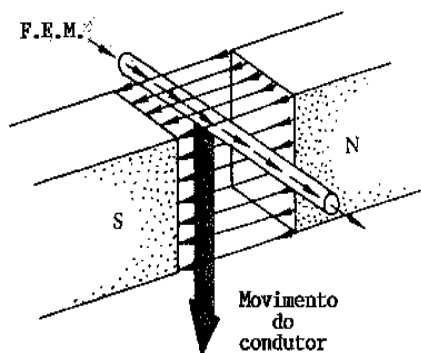


Figura 8-162 Induzindo uma F.E.M. em um condutor.

A direção (polaridade) da f.e.m. induzida é determinada pelas linhas de força magnética e a direção na qual o condutor é movimentado dentro do campo magnético.

A regra-da-mão-esquerda para geradores (não confundir com a regra-da-mão-esquerda aplicável a bobinas) pode ser usada para indicar a direção da f.e.m. induzida, conforme mostrado na figura 8-163.

O primeiro dedo (indicador) da mão esquerda é apontado na direção das linhas de força magnética (norte ou sul), o polegar é apontado na direção de movimento do condutor através do campo e o segundo dedo aponta na direção da f.e.m. induzida.

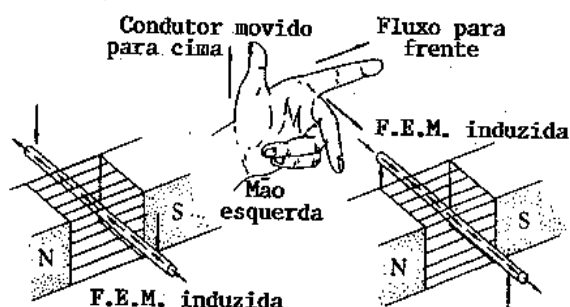


Figura 8-163 Aplicação da regra da mão esquerda para geradores.

Quando dois destes três fatores são conhecidos, o terceiro pode ser determinado usando-se esta regra.

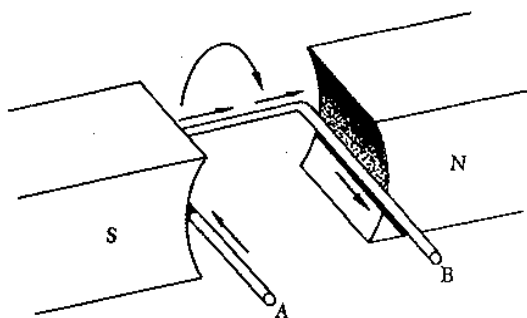


Figura 8-164 Voltagem induzida em um condutor em curva.

Quando um condutor dobrado é girado num campo magnético (ver figura 8-164), uma voltagem é induzida em cada lado da curva.

Os dois lados cortam o campo magnético em direções opostas, e embora o fluxo de corrente seja contínuo, move-se em direções con-

trárias com relação aos dois lados da curvatura do condutor.

Se os lados "A" e "B" são girados meia volta, e os lados do condutor tenham trocado de posição, a f.e.m. induzida em cada fio inverte sua direção, desde que o fio cortando as linhas de força na direção ascendente seja agora movimentado na descendente.

O valor de uma f.e.m. induzida depende de três fatores:

- (1) A quantidade de fios, movendo-se através do campo magnético;
- (2) A intensidade do campo magnético;
- (3) A velocidade de rotação.

Geradores de corrente alternada

Os geradores usados para produzir corrente alternada são chamados de geradores de C.A. ou alternadores. O gerador simples, mostrado na figura 8-165, constitui um meio de geração de uma voltagem alternada. Consiste numa volta de fio (*loop*) com marcações "A" e "B", rotativa, colocada entre dois polos magnéticos, "N" e "S".

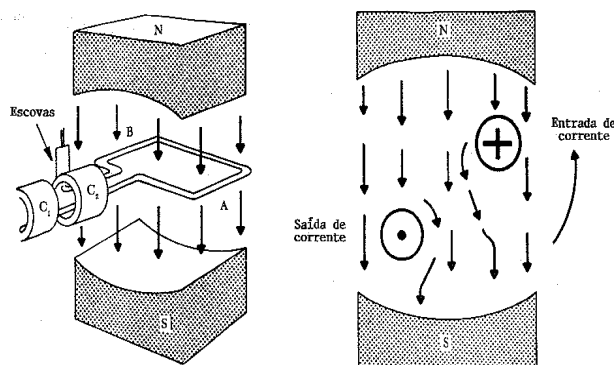


Figura 8-165 Gerador simples.

As extremidades do "loop" são conectadas a dois anéis metálicos deslizantes (anéis coletores), C_1 e C_2 . A corrente é retirada dos anéis coletores por escovas de carvão. Se o "loop" for considerado como fios "A" e "B" separados, e a regra-da-mão-esquerda para geradores (não confundir com a regra-da-mão-esquerda para bobinas) é aplicada, então pode ser observado que, quando o fio "A" move-se para cima através do campo, é induzida uma voltagem que causa o fluxo para dentro do "loop".

Quando o fio "B" move-se para baixo, dentro do campo, é induzida uma voltagem que causa o fluxo para fora do "loop".

Quando o enrolamento de fio se move no interior do campo, as voltagens induzidas nos dois lados do fio são cumulativas. Portanto, para propósitos expositivos, a ação de ambos os con-

dutores, "A" e "B", enquanto girando no campo magnético, é semelhante à ação do "loop".

A figura 8-166 ilustra a geração de corrente alternada com um "loop" simples, de condutor girando num campo magnético.

Como é girado na direção anti-horária, valores variantes de voltagens são induzidos nele.

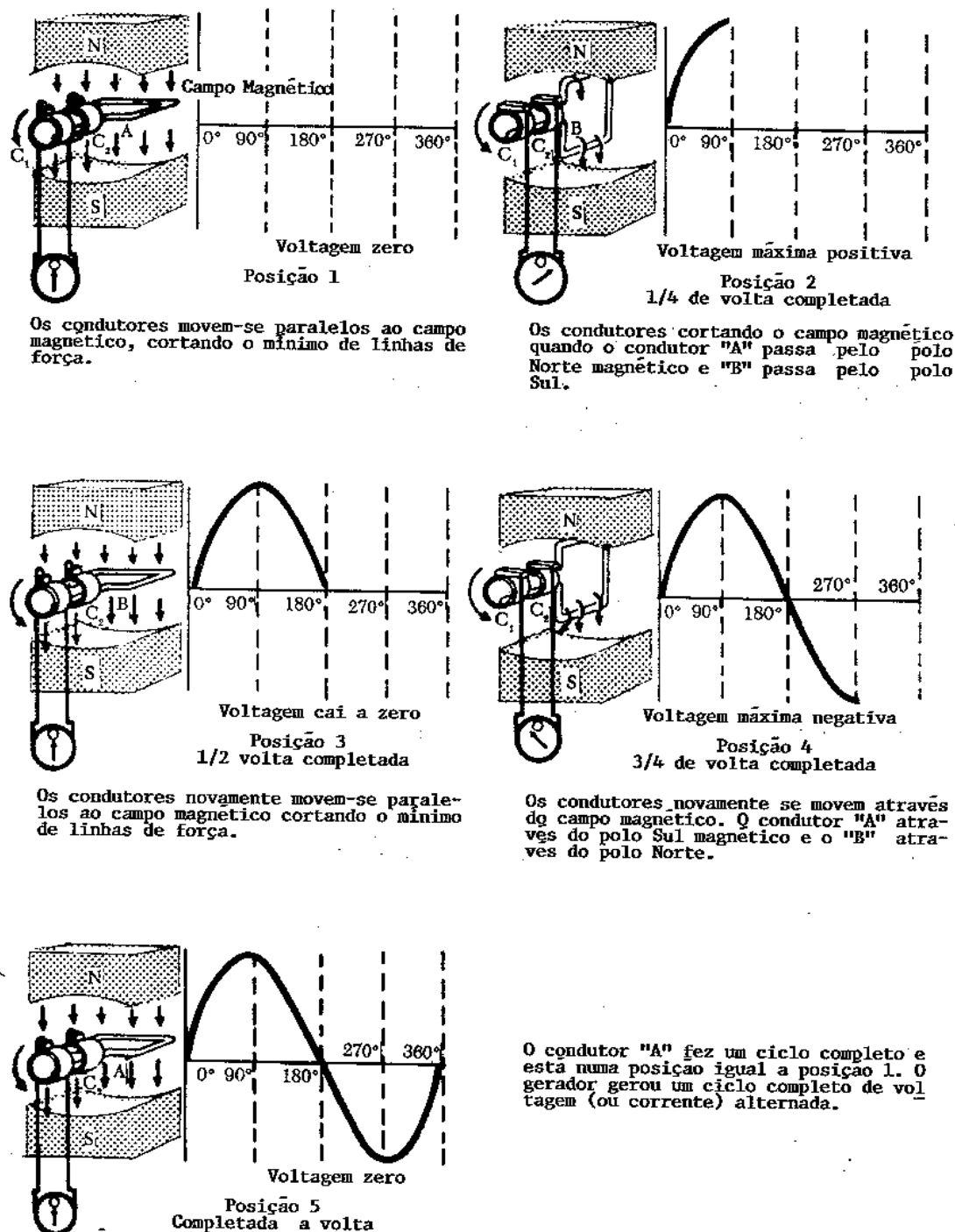


Figura 8-166 Geração de uma onda senoidal.

Na posição 1, o condutor "A" move-se paralelo às linhas de força, - já que não corta linhas de força, a voltagem induzida é zero.

O condutor avançando da posição 1 para a posição 2, aumenta a voltagem induzida gradualmente.

Na posição 2, o condutor move-se perpendicularmente ao fluxo e corta o número máximo de linhas de força, proporcionando a indução da voltagem máxima.

O condutor, movendo-se além da posição 2, corta uma quantidade decrescente de linhas de força a cada instante, e a voltagem induzida diminui.

Na posição 3, o condutor completou meia revolução e novamente move-se paralelo às linhas de força, e não há indução de voltagem no condutor.

Como o condutor "A" passa pela posição 3, a direção da voltagem se inverte, já que o condutor "A" move-se, agora, para baixo, cortando o fluxo na posição oposta.

O condutor "A" movendo-se através do pólo sul, diminui gradualmente a voltagem induzida, na direção negativa, até que na posição 4 o condutor mova-se perpendicularmente ao fluxo novamente, e seja gerada a voltagem negativa máxima.

Da posição 4 para a 5, a voltagem induzida decresce gradualmente até que atinja o valor zero, e o condutor e a onda estejam prontos para começar um outro ciclo.

A curva mostrada na posição 5 é chamada de onda senoidal. Representa a polaridade e intensidade dos valores instantâneos das voltagens geradas.

A linha base horizontal é dividida em graus, ou tempo, e a distância vertical acima ou abaixo da linha base representa o valor da voltagem em cada ponto particular, na rotação do enrolamento (*loop*).

Ciclo e frequência

Sempre que uma voltagem ou corrente passam por uma série de mudanças, retorna ao ponto de partida e, então, reinicia a mesma série de mudanças, a série é chamada ciclo.

O ciclo é representado pelo símbolo (~). No ciclo de voltagem mostrado na figura 8-167, a voltagem aumenta de zero ao valor positivo máximo e cai para zero; então, aumenta para o valor máximo negativo e novamente cai a zero. Neste ponto, está em condições de iniciar nova série.

Existem duas alterações num ciclo completo, a positiva e a negativa. Cada qual é meio ciclo.

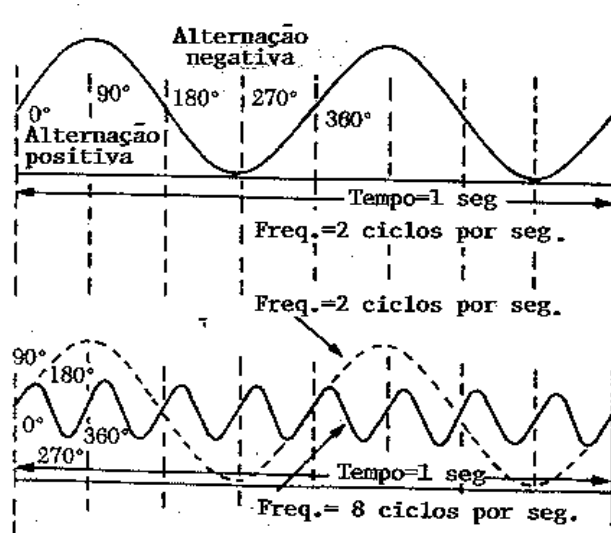


Figura 8-167 Frequência em ciclos por segundo.

O número de vezes, em que cada ciclo ocorre num período de tempo, é chamado de frequência. A frequência de uma corrente elétrica ou voltagem indica o número de vezes em que um ciclo se repete em 1 segundo.

Num gerador, a voltagem e a corrente passam por um ciclo completo de valores, cada vez que um enrolamento ou condutor passa sob o pólo norte e o pólo sul do imã.

O número de ciclos para cada revolução de enrolamento ou condutor é igual ao de pares de pólos.

A frequência, então, é igual ao número de ciclos em uma revolução, multiplicado pelo número de revoluções por segundo. Expresso em equação fica:

$$F = \frac{N^{\circ} \text{ de polos}}{2} \times \frac{\text{r.p.m.}}{60}$$

onde $P/2$ é o número de pares de pólos e $\text{r.p.m.}/60$ o número de revoluções por segundo. Se num gerador de 2 pólos, o condutor é girado a 3.600 r.p.m., as revoluções por segundo são:

$$\text{r.p.s} = \frac{3600}{60} = 60 \text{ revoluções por segundo}$$

Como existem 2 pólos, $P/2$ é igual a 1 e a frequência é de 60 c.p.s..

Num gerador de 4 pólos, com uma velocidade do induzido de 1.800 r.p.m., substitui-se na equação:

$$F = \frac{P}{2} \times \frac{\text{r.p.m.}}{60}$$

$$F = \frac{4}{2} \times \frac{1800}{60} = 2 \times 30$$

$$F = 60 \text{ c.p.s.}$$

A par da frequência e ciclagem, a voltagem e a corrente alternada também têm uma característica chamada “fase”.

Num circuito alimentado por um alternador, deve haver uma certa relação de fase entre a voltagem e a corrente para que o circuito funcione eficientemente. Tal relação não somente deve haver num sistema alimentado por dois ou mais alternadores, mas também entre as voltagens e correntes individuais. Dois circuitos separados podem ser comparados pelas características de fase de cada um.

Quando duas ou mais ondas senóides passam por 0° e 180° simultaneamente, e alcançam seus picos, existe uma condição “em fase”, conforme mostrado na figura 8-168.

Os valores de pico (magnitudes) não têm que ser os mesmos para que a condição em fase exista.

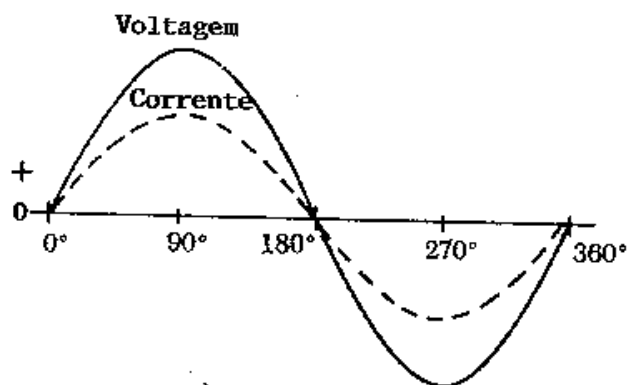


Figura 8-168 Condição “em fase” da corrente e da voltagem.

Quando as ondas senóides passam por 0° e 180° em tempos diferentes, uma condição “fora-de-fase” existe, conforme mostrado na figura 8-169.

Na medida em que as duas ondas senóides estão fora de fase, elas são indicadas pelo número de graus elétricos entre os picos correspondentes das ondas senóides.

Na figura 8-169, a corrente e a voltagem estão 30° fora de fase.

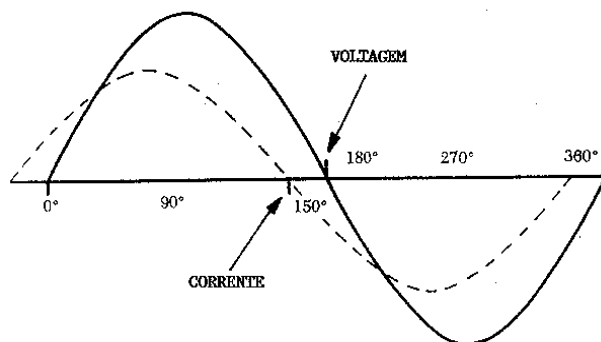


Figura 8-169 Condição de “fora de fase” da corrente e da voltagem.

Valores de corrente alternada

Existem três valores de corrente alternada que precisam ser considerados. São eles: instantâneo, máximo e efetivo.

Um valor instantâneo de voltagem ou corrente é a voltagem induzida ou corrente fluindo em qualquer momento. A onda senóide é uma série destes valores. O valor instantâneo da voltagem varia de zero em 0°, para máximo a 90°, volta a zero a 180°, vai para o máximo na direção oposta em 270° e a zero novamente em 360°. Qualquer ponto de uma onda senóide é considerado um valor instantâneo de voltagem.

O valor máximo é o instantâneo mais alto. O mais elevado valor positivo isolado ocorre quando a voltagem da onda senóide está a 90 graus, e o valor negativo isolado mais alto ocorre quando está a 270 graus. Estes são chamados valores máximos. O valor máximo é 1,41 vezes o valor efetivo (ver figura 8-170).

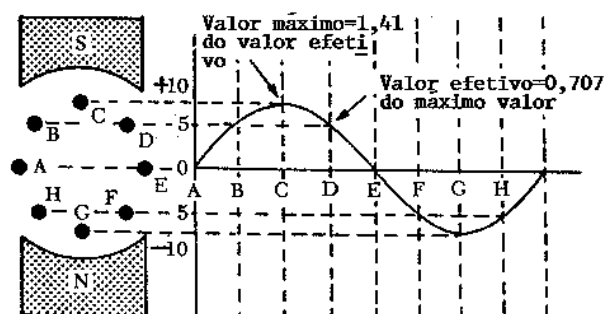


Figura 8-170 Valores efetivos e máximos de voltagem.

O valor efetivo da corrente alternada é o mesmo valor da corrente contínua, que possa produzir um igual efeito térmico. O valor efetivo é menor do que o valor máximo, sendo igual a 0,707 vezes o valor máximo. Então, os 110

volts oferecidos para consumo doméstico (rede) é apenas 0,707 do valor máximo dessa fonte. A voltagem máxima é aproximadamente 155 volts ($110 \times 1,41 = 155$ volts - máximo).

No estudo da corrente alternada, quaisquer valores dados para corrente ou voltagem são entendidos como sendo valores efetivos, a não ser que seja especificado em contrário e, na prática, somente os valores efetivos de voltagem e corrente são usados. Desta forma, voltímetros de corrente alternada e também os amperímetros medem o valor efetivo.

INDUTÂNCIA

Quando uma corrente alternada flui numa bobina de fio, a elevação e queda do fluxo de corrente, primeiro numa direção e depois na outra, provocam uma expansão e colapso do campo magnético em torno da bobina, na qual é induzida uma voltagem em direção oposta à voltagem aplicada, e que se opõe a qualquer mudança na corrente alternada (ver figura 8-171).

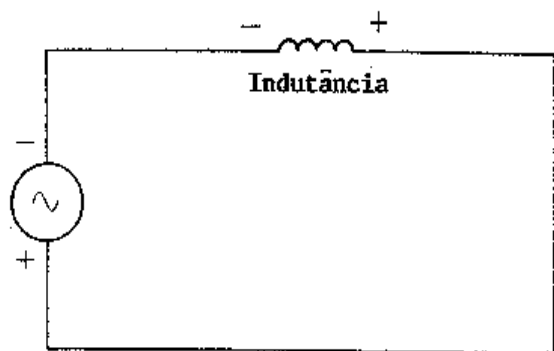


Figura 8-171 Circuito de CA contendo indutância.

A voltagem induzida é chamada de força contra-eletromotriz (f.c.e.m.), já que se opõe à voltagem aplicada.

Esta propriedade de uma bobina que se opõe ao fluxo de corrente através de si mesma é chamada de indutância.

A indutância de uma bobina é medida em henrys. Em qualquer bobina, a indutância depende de vários fatores, principalmente o número de espiras, a área de seção transversal da bobina e seu núcleo. Um núcleo de material magnético aumenta grandemente a indutância da bobina.

É indispensável lembrar, entretanto, que um fio reto também tem indutância, ainda que pequena, se comparada a de um fio enrolado (bobina).

Motores de C.A., relés e transformadores contribuem com indutância num circuito. Praticamente todos os circuitos de C.A. possuem elementos indutivos.

O símbolo para indutância, em fórmulas, é a letra "L". A indutância é medida em Henrys (abreviado h).

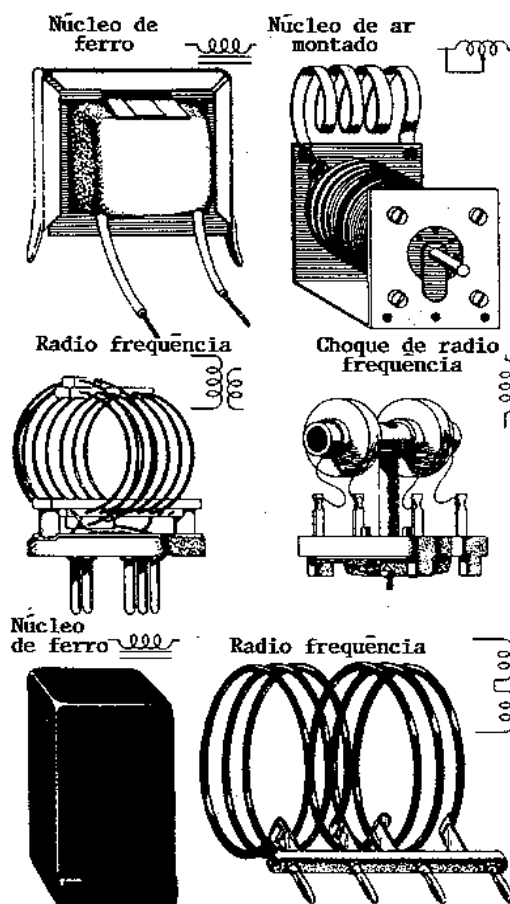


Figura 8-172 Vários tipos de indutores.

Um indutor (bobina) tem uma indutância de 1 Henry se uma f.e.m. de 1 volt é induzida, quando a corrente através do indutor está mudando à razão de 1 ampère por minuto. Entretanto, o Henry é uma unidade grande de indutância e é usada com indutores relativamente grandes, possuindo núcleos de ferro.

A unidade usada para pequenos indutores de núcleo de ar é o milihenry (mh). Para indutores de núcleo de ar ainda menores, a unidade de indutância é o microhenry (Mh).

A figura 8-172 mostra alguns dos vários tipos de indutores, juntamente com seus símbolos.

Os indutores podem ser conectados num circuito da mesma maneira que os resistores. Quando conectados em série, a indutância total é a soma das indutâncias, ou

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3, \text{ etc.}$$

Quando dois ou mais indutores são conectados em paralelo, a indutância total é, como as resistências em paralelo, menor do que a do menor indutor, ou

$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}}$$

A indutância total dos indutores conectados em série paralelo pode ser calculada, resolvendo-se as indutâncias em paralelo e em seguida somando os valores em série. Em todos os casos, estas fórmulas são válidas para os indutores cujos campos magnéticos não tenham interação.

Reatância indutiva

A oposição ao fluxo de corrente, que as indutâncias proporcionam num circuito, é chamada reatância indutiva. O símbolo para reatância é X_L e é medida em ohms, assim como a resistência.

Em qualquer circuito em que haja apenas resistência, a equação para voltagem e corrente é a lei de ohm: $I = E/R$. Similarmente, quando há indutância num circuito, o envolvimento entre voltagem e corrente pode ser expresso assim:

$$\text{corrente} = \frac{\text{voltagem}}{\text{reatancia}}, \text{ ou } I = \frac{E}{X_L}$$

Onde, X_L = reatância indutiva do circuito em ohms.

Se todos os demais valores do circuito permanecem constantes, quanto maior a indutância numa bobina, maior o efeito de auto-indução, ou oposição. Conforme a frequência aumenta, a indutância reativa aumenta, já que à maior razão de mudança de corrente corresponde o aumento da oposição à mudança por parte da bobina. Portanto, a reação indutiva é proporcional à indutância e frequência, ou,

$$X_L = 2 \pi f L$$

Onde,

$$\begin{aligned} X_L &= \text{reatância indutiva em ohms} \\ f &= \text{frequência em ciclos por segundo} \\ \pi &= 3,1416 \end{aligned}$$

Na figura 8-173, um circuito em série de C.A. é considerado como tendo indutância de 0,146 henry e uma voltagem de 110 volts com uma frequência de 60 ciclos por segundo.

Qual é a reatância indutiva? E o fluxo de corrente? (o símbolo (~) representa um gerador de C.A.)

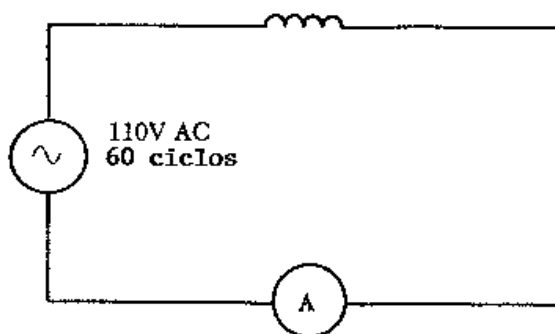


Figura 8-173 Circuito de C.A. contendo indutância.

Solução:

Para encontrar a reatância indutiva:

$$\begin{aligned} X_L &= 2 \pi \times f \times L \\ X_L &= 6,28 \times 60 \times 0,146 \end{aligned}$$

Para encontrar a corrente:

$$I = \frac{E}{X_L} = \frac{110}{55} = 2 \text{ ampères}$$

Em circuitos em série de C.A. (figura 8-174) as reatâncias indutivas são somadas da mesma forma que resistências em série num circuito de C.C..

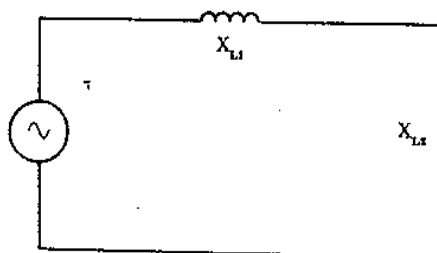


Figura 8-174 Indutância em série.

Daí, a reatância total no circuito ilustrado na figura 8-174 ser igual à soma das reatâncias individuais.

A reatância total de indutores conectados em paralelo (figura 8-175) é encontrada do mesmo modo que a resistência total num circuito em paralelo. Daí a reatância total de indutâncias conectadas em paralelo, conforme mostrado, ser expressa assim:

$$(X_L)_T = \frac{1}{\frac{1}{(X_L)_1} + \frac{1}{(X_L)_2} + \frac{1}{(X_L)_3}}$$

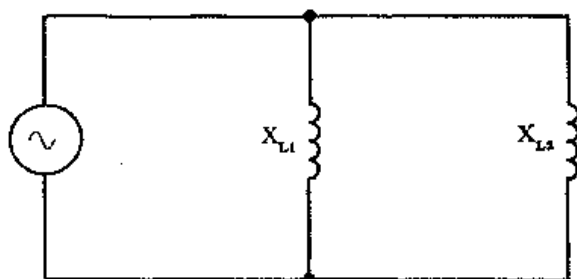


Figura 8-175 Indutância em paralelo.

CAPACITÂNCIA

Uma outra importante propriedade em circuitos de C.A., a par da resistência e indutância é a capacitância. Enquanto a indutância é representada num circuito por uma bobina, a capacitância é representada por um capacitor. Quaisquer dois condutores, separados por um não-condutor (chamado dielétrico), constituem um capacitor. Num circuito elétrico, um capacitor serve como reservatório de eletricidade.

Quando um capacitor é conectado através de uma fonte de corrente contínua, com uma bateria de acumuladores (circuito mostrado na figura 8-176) e a chave é então fechada, a placa marcada com “B” torna-se positivamente carregada e a placa “A” negativamente carregada.

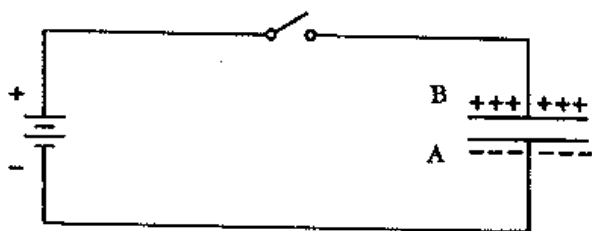


Figura 8-176 Capacitor em um circuito de CC.

A corrente flui no circuito externo durante o tempo que os elétrons estão se movendo de “B” para “A”. O fluxo de corrente no circuito é máximo no momento em que a chave é fechada, mas diminui continuamente, até alcançar zero.

A corrente torna-se zero assim que a diferença de voltagem de “A” e “B” torna-se igual a voltagem da bateria. Se a chave for aberta, as placas permanecem carregadas. Entretanto, o capacitor descarrega-se rapidamente, se colocado em “curto”.

A quantidade de eletricidade que um capacitor pode acumular depende de vários fatores, incluindo o tipo de material do dielétrico. É diretamente proporcional à área da placa, e inversamente proporcional à distância entre as placas.

Na figura 8-177, duas chapas planas de metal são colocadas próximo uma da outra (mas não se tocando). Normalmente elas são eletricamente neutras, isto é, não há evidência de carga elétrica em ambas as placas.

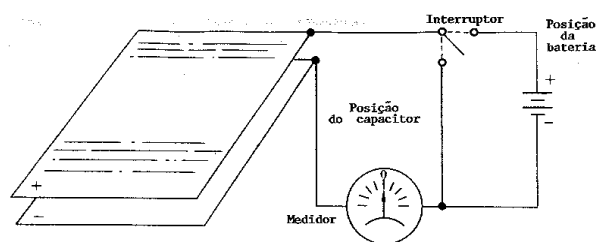


Figura 8-177 Circuito de um capacitor (condensador) básico.

No momento em que a chave é fechada na posição “bateria”, o medidor mostrará uma certa corrente fluindo numa direção, mas quase que, instantaneamente, retornará a zero.

Se a bateria for retirada do circuito e a chave for fechada na posição capacitor, o medidor mostrará uma corrente momentânea, mas em sentido contrário à anterior. Esta experiência demonstra que as duas placas acumulam energia, quando conectadas a uma fonte de voltagem, e liberam energia quando colocadas em “curto”. As duas chapas formam um capacitor simples, ou condensador e possuem a capacidade de acumular energia. A energia é realmente estocada no campo elétrico, ou dielétrico, entre as placas.

Também deve estar claro que durante o tempo em que o capacitor está sendo carregado ou descarregado, há corrente no circuito, embo-

ra o circuito esteja interrompido pelo intervalo entre as placas do capacitor. Entretanto, existe corrente somente enquanto ocorre carga e descarga, e este período de tempo é muito curto.

Não pode ocorrer nenhum movimento ininterrupto de corrente contínua através de um capacitor. Um capacitor bom bloqueará a corrente contínua (não a C.C. pulsativa) e permitirá a passagem dos efeitos da corrente alternada.

A carga de eletricidade que pode ser colocada num capacitor é proporcional à voltagem aplicada e à capacitância do capacitor (condensador). A capacitância depende da área total das placas, da espessura do dielétrico e da composição do dielétrico.

Se uma folha fina de baquelite (preenchida com mica) for substituída por ar entre as placas de um capacitor, por exemplo, a capacitância será aumentada cerca de cinco vezes.

Qualquer carga produzida por voltagem aplicada e mantida no limite por um isolador (dielétrico) cria um campo dielétrico.

Uma vez que o campo seja criado, tende a opor-se a qualquer mudança de voltagem que poderia afetar sua situação original. Todos os circuitos possuem alguma capacitância, mas a menos que possuam algum capacitor, ela é desconsiderada.

Dois condutores, chamados eletrodos ou placas, separados por um não-condutor (dielétrico) formam um capacitor simples. As placas podem ser feitas de cobre, de estanho ou de alumínio. Frequentemente elas são feitas de folha (metais comprimidos em finas folhas capazes de serem enroladas).

O dielétrico pode ser ar, vidro, mica, ou eletrólito, feito de uma película de óxido, mas o tipo usado determinará o total da voltagem que pode ser aplicada e a quantidade de energia que pode ser acumulada.

Os materiais dielétricos têm estruturas atômicas diferentes e apresentam quantidades diferentes de átomos para o campo eletrostático.

Todos os materiais dielétricos são comparados ao vácuo e recebem uma classificação numérica de valor de acordo com a razão de capacidade entre eles.

O número atribuído a um material é baseado na mesma área e espessura em relação ao vácuo

Os números usados para expressar essa razão são chamados constantes dielétricas, e são representados pela letra "K". A tabela na figura

8-178 apresenta o valor de "K" para alguns materiais usados.

Material	K (Constante dielétrica)
Ar	1.0
Resina	2.5
Papel de amianto	2.7
Borracha dura	2.8
Papel seco	3.5
Isolantita	3.5
Vidro comum	4.2
Quartzo	4.5
Mica	4.5 a 7.5
Porcelana	5.5
Vidro cristal	7.0
Vidro ótico	7.9

Figura 8-178 Constantes Dielétricas.

Se uma fonte de corrente contínua é substituída por bateria, o capacitor atua um pouco diferente do que ocorre com corrente contínua.

Quando é usada a corrente alternada num circuito (figura 8-179), a carga das placas modifica-se constantemente. Isto significa que a eletricidade deve fluir primeiro de "Y", no sentido horário, para "X", depois, de "X", no sentido anti-horário, para "Y", depois, de "Y", no sentido horário, para "X", e assim por diante.

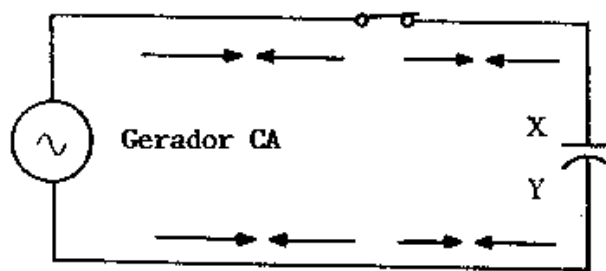


Figura 8-179 Capacitor num Circuito CA.

Embora nenhuma corrente flua através do isolador entre as placas do capacitor, ela flui constantemente no restante do circuito, entre "X" e "Y".

Num circuito em que existe somente capacitância, a corrente precede a voltagem, ao passo que num circuito onde exista somente indutância, a corrente retarda-se frente a voltagem.

A unidade de medida de capacitância é o farad, para o qual o símbolo é a letra "F". O fa-

rad é muito grande para uso prático e a unidade geralmente usada é o microfarad (μf), um milionésimo do farad, e o micro-microfarad ($\mu\mu\text{f}$), um milionésimo do microfarad.

Tipos de capacitores

Os capacitores podem ser divididos em dois grupos: fixos e variáveis. Os capacitores fixos que têm, aproximadamente, capacitância constante, podem ser divididos de acordo com o tipo de dielétrico usado nas seguintes classes: papel, óleo, mica e capacitores eletrolíticos. Os capacitores de cerâmica são também usados em alguns circuitos.

Quando conectando capacitores eletrolíticos num circuito, a correta polaridade tem que ser observada. Capacitores de papel podem ter um terminal marcado “ground” (terra), significando que este terminal está ligado à folha externa. Normalmente, a polaridade não tem que ser observada em capacitores de papel, óleo, mica ou cerâmica.

Capacitores de papel

As placas dos capacitores de papel são tiras de folha de metal, separadas por papel encerado (figura 8-180). A capacitância dos capacitores de papel está na faixa de 200 $\mu\mu\text{f}$ a alguns μf . As tiras de folha e as de papel são enroladas juntas, para formar um cartucho cilíndrico, que é então selado com cera para afastar a umidade e prevenir corrosão e vazamento.

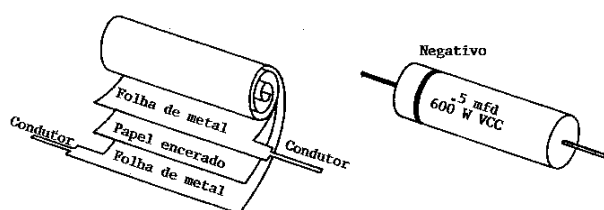


Figura 8-180 Capacitor de papel.

Duas pontas de metal são soldadas às placas. Cada uma estendendo-se para cada lado do cilindro. O conjunto é incluído tanto numa cobertura de papelão quanto numa capa de plástico moldado duro (uma ou outra).

Os capacitores tipo banheira “bathtub” são capacitores de papel em cartuchos hermeticamente fechados em capas metálicas. A capa freqüentemente serve como um terminal comum

para vários capacitores incluídos, mas quando não é um terminal, a capa serve como uma blindagem contra interferência elétrica (figura 8-181).

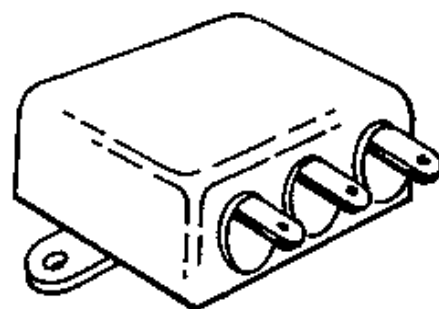


Figura 8-181 Capacitor de papel tipo banheira.

Capacitores a óleo

Em transmissores de radar e rádio, altas voltagens, suficientes para causar centelhamento ou ruptura em dielétricos de papel, são muitas vezes empregadas.

Conseqüentemente, nestas aplicações, capacitores que usam óleo ou papel impregnado com óleo, como material dielétrico são preferidos.

Os capacitores deste tipo são consideravelmente mais caros do que os capacitores comuns de papel e o seu uso é, em geral, restrito a equipamentos de transmissão de rádio e radar.

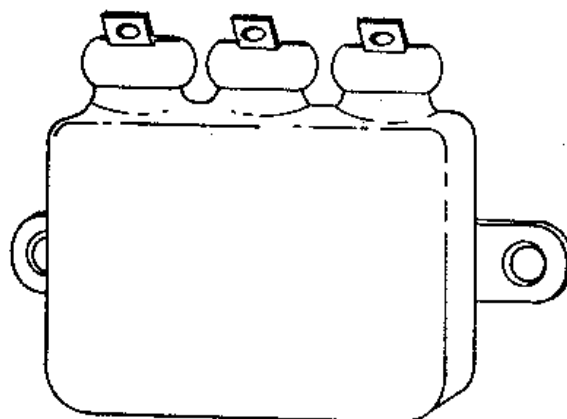


Figura 8-182 Capacitor de óleo

Capacitores de mica

O capacitor fixo de mica é feito de placas de folha de metal, que são separadas por folhas de mica formando o dielétrico. O conjunto inteiro é coberto com plástico moldado, que evita a umidade.

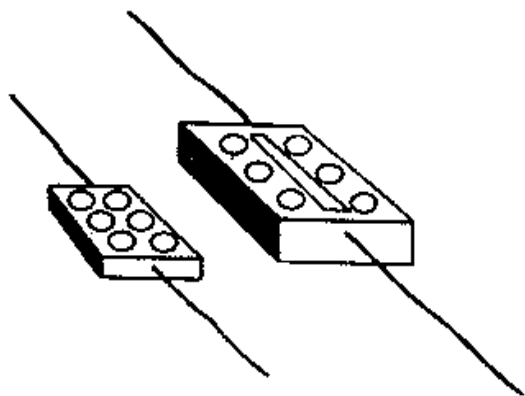


Figura 8-183 Capacitores de mica.

A mica é um excelente dielétrico que suporta maiores voltagens do que o papel, sem permitir centelhamento entre as placas. Os valores normais dos capacitores de mica variam de aproximadamente 50 μf a cerca de 0.02 μf . Capacitores de mica são mostrados na figura 8-183

Capacitores eletrolíticos

Para capacitâncias maiores do que alguns microfarads, as áreas das placas dos capacitores de mica ou papel precisam se tornar muito grandes.

Então, neste caso, normalmente são empregados capacitores eletrolíticos, que permitem grandes capacitâncias em pequenos tamanhos físicos. Sua faixa de valores abrange de 1 a cerca de 1.500 microfarads. Diferentemente dos outros tipos, os capacitores eletrolíticos são geralmente polarizados e podem ser submetidos apenas à voltagem contínua ou voltagem contínua pulsativa, embora um tipo especial de capacitor eletrolítico seja feito para uso em motores.

O capacitor eletrolítico é amplamente utilizado em circuitos eletrônicos e consiste em duas placas de metal, separadas por um eletrólito. O eletrólito em contato com o terminal negativo, tanto na forma líquida ou pastosa, inclui o terminal negativo.

O dielétrico é uma película de óxido extremamente fina depositada sobre o eletrodo positivo do capacitor. O eletrodo positivo é uma folha de alumínio dobrada para obtenção de máxima área.

O capacitor é submetido a processo de modelagem durante a fabricação, quando uma corrente é passada através dele. O fluxo de cor-

rente resulta no depósito de fina cobertura de óxido sobre a placa de alumínio.

O espaço justo dos eletrodos positivo e negativo aumenta relativamente o alto valor de capacitância, mas permite maior possibilidade de interrupção de voltagem e vazamento de elétrons de um eletrodo para o outro.

Dois tipos de capacitores eletrolíticos são usados: (1) eletrolítico úmido; e (2) eletrolítico seco. No primeiro, o eletrólito é um líquido e o invólucro deve ser à prova de vazamento. Este tipo deve sempre ser montado na posição vertical.

O eletrólito do eletrolítico seco é uma pasta num separador feito de um material absorvente como gaze ou papel. O separador não somente conserva o eletrólito no lugar mas também previne possibilidade de “curto-circuito” entre as placas. Capacitores eletrolíticos secos são feitos tanto na forma cilíndrica quanto retangular, e podem ser cobertos com papelão ou metal. Já que o eletrólito não pode derramar, os capacitores secos podem ser montados em qualquer posição conveniente. Capacitores eletrolíticos são mostrados na figura 8-184.

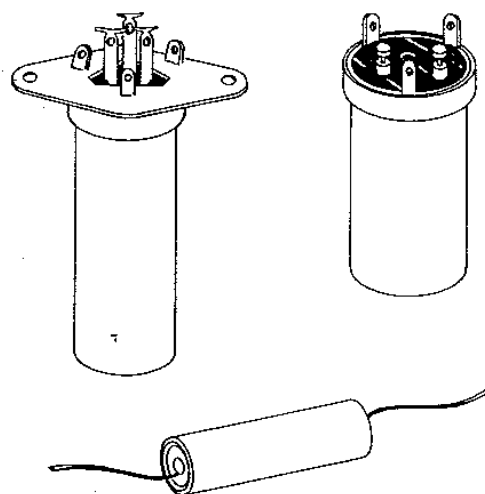


Figura 8-184 Capacitores eletrolíticos.

Capacitores em paralelo e em série

Os capacitores podem ser combinados em paralelo ou em série, para dar valores equivalentes, que podem ser tanto a soma dos valores individuais (em paralelo) ou um valor menor do que a menor capacitância (em série). A figura 8-185 mostra as ligações em série e em paralelo.

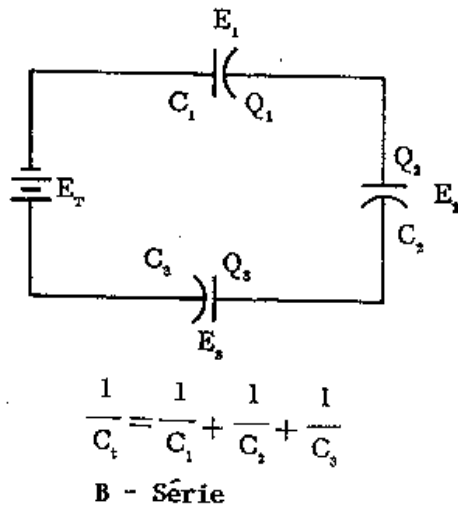
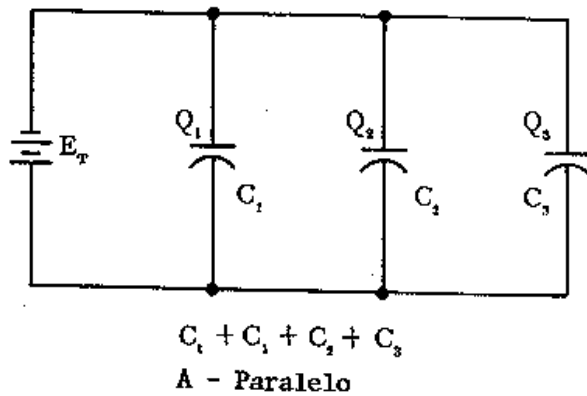


Figura 8-185 Capacitores em paralelo e em série.

As duas unidades usadas em medição da capacitância são o farad e o coulomb. Conforme definido anteriormente, o farad é quantidade de capacitância presente num capacitor, quando um coulomb de energia elétrica é acumulada nas placas, e um volt é aplicado através do capacitor. Um coulomb é a carga elétrica de 6,28 bilhões de bilhões de elétrons. Disto, conclui-se que:

$$C \text{ (em farads)} = \frac{Q \text{ (em coulombs)}}{E \text{ (em volts)}}$$

Em "A" da figura 8-185, a voltagem, "E", é a mesma para todos os capacitores. A carga total, Q_t , é a soma das cargas individuais, Q_1 , Q_2 e Q_3 .

Usando a equação básica para o capacitor,

$$C = \frac{Q}{E}$$

A carga total é $Q_t = C_t \times E$, onde C_t é a capacitância total. Já que a carga total dos capacitores em paralelo é a soma das cargas individuais dos capacitores,

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Usando ambas as equações para a carga total, desenvolve-se a equação

$$C_t E = C_1 E + C_2 E + C_3 E$$

Dividindo-se ambos os termos da equação por E, dá-se

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3$$

Esta fórmula é usada para determinar a capacitância total, para qualquer número de capacitores em paralelo.

Na arrumação em série, (B da figura 8-185), a corrente é a mesma em todas as partes do circuito. Cada capacitor desenvolve uma voltagem durante a carga, e a soma das voltagens de todos os capacitores tem que ser igual à voltagem aplicada, E.

Por meio da equação para capacitor, a voltagem aplicada, E, é igual à carga total dividida pela capacitância total, ou

$$E = \frac{Q_t}{C_t}$$

A carga total, Q_t , é igual à carga em qualquer dos capacitores, porque a mesma corrente flui em todos pelo mesmo intervalo de tempo e porque a carga é igual à corrente vezes o tempo em segundos ($Q_t = I \times t$).

$$\text{Por isso, } Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

e, uma vez que em um circuito com capacitores em série

$C_k = C_1 + C_2 + C_3$,
onde E_1 , E_2 , E_3 são as voltagens dos três capacitores.

Então,

$$\frac{Q_t}{C_t} = \frac{Q_t}{C_1} + \frac{Q_t}{C_2} + \frac{Q_t}{C_3}$$

Dividindo a equação por Q_t , temos

$$\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

A recíproca da capacitância total de qualquer número de capacitores em série é igual à soma dos recíprocos valores individuais. Os capacitores em paralelo combinam-se por uma regra semelhante à usada na combinação de resistores em série.

Os capacitores em série combinam-se por uma regra semelhante da combinação de resistores em paralelo. No arranjo de dois capacitores em série, C_1 , C_2 , a capacidade total é dada pela equação:

$$C_t = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

Classificação de voltagem dos capacitores

Na seleção ou substituição de um capacitor para uso em um circuito em particular, o seguinte deve ser considerado: (1) o valor da capacitância desejada; e (2) a voltagem à qual o capacitor será submetido.

Se a voltagem aplicada às placas for alta demais, o dielétrico romper-se-á, e ocorrerá o centelhamento entre as placas. O capacitor é então “colocado em curto”, e o possível fluxo de corrente poderá causar danos a outras partes do equipamento. Os capacitores possuem uma classificação de voltagem que não deve ser excedida.

A voltagem de trabalho do capacitor é a voltagem máxima que pode ser aplicada sem risco de centelhamento. A voltagem de trabalho depende (1) do tipo de material empregado como dielétrico; e (2) da espessura de dielétrico.

A voltagem é um fator a ser considerado na determinação de capacitância, porque a capacitância diminui à medida que a espessura do dielétrico aumenta.

Um capacitor de alta voltagem, que possui um dielétrico espesso precisa ter uma área de placa maior, de forma a manter a mesma capacitância que um capacitor de baixa voltagem similar, tendo um dielétrico fino. A capacidade de alguns materiais dielétricos comumente usados está listada na figura 8-186.

A classificação da voltagem também depende da frequência, porque as perdas e o efeito térmico resultante aumentam conforme o aumento da frequência.

Dielétrico	K	Resistência de isolamento do dielétrico (volts por 0,001 de polegada)
Ar	1.0	80
Papel		
(1) Parafinado	2.2	1200
(2) Encerado	3.1	1800
Vidro	4.2	200
Óleo de Mamona	4.7	380
Baquelite	6.0	500
Mica	6.0	2000
Fibra	6.5	50

Figura 8-186 Resistência de isolamento de alguns materiais dielétricos.

Um capacitor que pode ser seguramente carregado em 500 volts C.C., não pode ser submetido com segurança a C.A. ou C.C. pulsativa, com valores efetivos de 500 volts.

Uma voltagem alternada de 500 volts (r.m.s.) tem um pico de voltagem de 707 volts, e um capacitor no qual seja aplicado deve ter uma voltagem de trabalho de, no mínimo, 750 volts. O capacitor deve, então, ser selecionado de tal forma que sua voltagem de trabalho seja, pelo menos, 50% maior do que a mais alta voltagem a ser aplicada nele.

Reatância capacitiva

A capacitância, como a indutância, oferece oposição ao fluxo de corrente. Esta oposição é chamada reatância e é medida em ohms. O símbolo para reatância capacitiva é X_c . A equação,

$$\text{corrente} = \frac{\text{voltagem}}{\text{reatancia capacitiva}}, \text{ ou}$$

$$I = \frac{E}{X_c}$$

é similar à lei de Ohm e a equação para corrente num circuito indutivo. Maior a frequência, menor a reatância. Daí, a reatância capacitiva,

$$X = \frac{1}{2 \pi \times f \times c}$$

onde: f = frequência em ciclos por segundo

c = capacidade em farads

$2 \pi = 6,28$

Problema:

Um circuito em série é concebido, em que a voltagem utilizada seja 110 volts a 60 c.p.s. e a capacitância de um condensador seja 80 μf . Achar a reatância capacitiva e o fluxo de corrente.

Solução:

Para encontrar a reatância capacitiva, a equação $X_c = 1/2 \pi f c$ é usada. Primeiro, a capacitância, 80 μf , é convertida para farads, dividindo-se 80 por 1.000.000, já que 1 milhão de microfarads é igual a 1 farad. Este quociente é igual a 0,000080 farad. Substituindo na equação,

$$X_c = \frac{1}{6,28 \times 60 \times 0,000080}$$

$$X_c = 33,2 \text{ ohms de reatância}$$

Encontra-se o fluxo de corrente:

$$I = \frac{E}{X_c} = \frac{110}{33,2} = 3,31 \text{ ampères}$$

Reatâncias capacitivas em série e em paralelo

Quando capacitores são conectados em série, a reatância é igual à soma das reatâncias individuais. Então,

$$(X_c)^t = (X_c)_1 + (X_c)_2$$

A reatância total dos capacitores conectados em paralelo é encontrada da mesma forma que a resistência total é calculada num circuito em paralelo:

$$(X_c)_t = \frac{1}{\frac{1}{(X_c)_1} + \frac{1}{(X_c)_2} + \frac{1}{(X_c)_3}}$$

Fase de corrente e voltagem em circuito reativo

Quando corrente e voltagem cruzam o zero e alcançam o valor máximo ao mesmo tempo, diz-se que estão “em fase” (“A” da figura 8-187). Se a corrente e a voltagem passam pelo zero e atingem o valor máximo em tempos diferentes, são ditas “fora de fase”.

Num circuito contendo apenas indutância, a corrente alcança um valor máximo depois da voltagem, atrasando-se em 90 graus ou um quarto de ciclo em relação à voltagem (“B” da figura 8-187). Num circuito contendo apenas capacitância, a corrente alcança seu valor máximo, e adianta-se em relação à voltagem por 90 graus ou um quarto de ciclo (“C” da figura 8-187). Para a corrente se atrasar ou adiantar em relação à voltagem num circuito, depende da intensidade da resistência, indutância e capacitância no circuito.

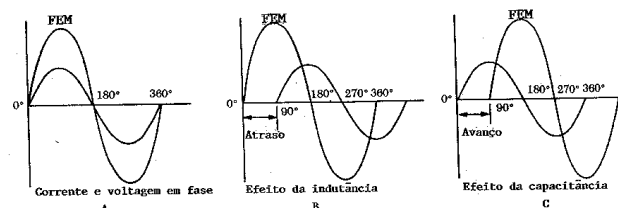


Figura 8-187 Fase de corrente e voltagem.

LEI DE OHM PARA CIRCUITOS DE C.A.

As regras e equações para circuitos de C.C. aplicam-se a circuitos de C.A. somente quando os circuitos contêm resistências, como no caso de lâmpadas ou elementos térmicos. Para que se use valores efetivos de voltagem e corrente em circuitos de C.A., o efeito de indutância e capacitância com resistência precisa ser considerado.

O efeito combinado de resistência, reatância indutiva e reatância capacitiva forma uma oposição total ao fluxo de corrente num circuito de C.A. Tal oposição é chamada de impedância, e é representada pela letra “Z”. A unidade de medida para a impedância é o ohm.

Circuitos de C.A. em série

Se um circuito de C.A. consiste de resistência apenas, o valor da impedância é o mesmo que o da resistência e a lei de Ohm para um circuito de C.A., $I = E/Z$ é exatamente a mesma como para um circuito de C.C.

Na figura 8-188, está ilustrado um circuito em série, contendo uma lâmpada com resistência de 11 ohms conectada através de uma fonte. Para encontrar quanta corrente fluirá, se forem aplicados 110 volts C.C., e quanta corrente fluirá se forem aplicados 110 volts C.A., os seguintes exemplos são resolvidos:

$$I = \frac{E}{R} = \frac{110v}{11\Omega} = 10 \text{ ampères c.c.}$$

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{110v}{11\Omega} = 10 \text{ ampères c.a.}$$

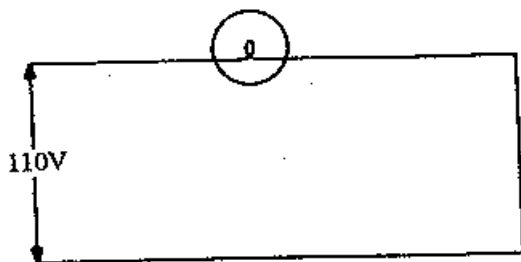


Figura 8-188 Circuito em série.

Quando um circuito de C.A. contém resistência e também indutância ou capacitância, a impedância, “Z”, não é a mesma que a resistência, “R”. A impedância é a oposição total do circuito para o fluxo de corrente.

Num circuito de C.A., esta oposição consiste de resistência e reatância indutiva ou capacitiva, ou elementos de ambas.

A resistência e a reatância não podem ser somadas diretamente, mas podem ser consideradas duas forças agindo em ângulos retos entre si.

Assim sendo, a relação entre resistência, reatância e impedância pode ser ilustrada por um triângulo retângulo (mostrado na figura 8-189).

A fórmula para achar a impedância, ou total oposição ao fluxo de corrente num circuito de C.A. pode ser obtida pelo uso de lei dos triângulos-retângulos, chamada de teorema de Pitágoras, aplicável a qualquer triângulo retângulo.

Ela estabelece que o quadrado da hipotenusa é igual a soma dos quadrados dos catetos.

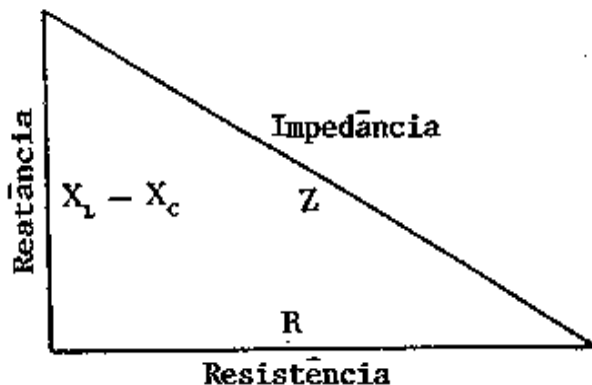


Figura 8-189 Triângulo de impedância.

Assim, o valor de qualquer lado de um triângulo retângulo pode ser encontrado se os dois outros lados forem conhecidos. Se um circuito de C.A. contiver resistência e indutância, como mostrado na figura 8-190, a relação entre os lados pode ser determinada assim:

$$Z^2 = R^2 + X_L^2$$

A raiz quadrada de ambos os lados da equação

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Esta fórmula pode ser usada para determinar a impedância, quando os valores da reatância indutiva e da resistência são conhecidos.

Ela pode ser modificada para resolver impedância em circuitos contendo reatância capacitiva e resistência, substituindo-se X_L^2 por X_C^2 , na fórmula.

Em circuitos contendo resistência com reatâncias capacitivas e indutivas juntas, as reatâncias podem ser combinadas, mas por causa dos seus efeitos opostos no circuito, elas são combinadas por subtração:

$$X = X_L - X_C \text{ ou } X = X_C - X_L$$

(o menor é sempre subtraído do maior)

Na figura 8-190, um circuito em série, com resistência e indutância conectadas em série é ligado a uma fonte de 110 volts com 60 ciclos por segundo. O elemento resistivo é uma lâmpada, com resistência de 6 ohms, e o elemento indutivo é uma bobina com indutância de 0,021 Henry. Qual é o valor da impedância e a corrente através da lâmpada e da bobina?

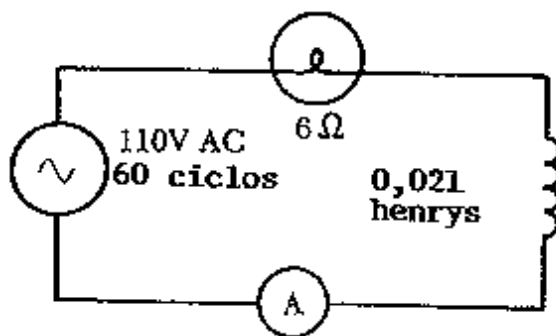


Figura 8-190 Circuito contendo resistência e indutância.

Solução:

Primeiro, a reatância indutiva da bobina é calculada:

$$\begin{aligned}X_L &= 2\pi \times f \times L \\X_L &= 6,28 \times 60 \times 0,021 \\X_L &= 8 \text{ ohms de reatância indutiva}\end{aligned}$$

Depois, é calculada a impedância total:

$$\begin{aligned}Z &= \sqrt{R^2 + X_L^2} \\Z &= \sqrt{6^2 + 8^2} \\Z &= \sqrt{36 + 64} \\Z &= \sqrt{100} \\Z &= 10 \text{ ohms de impedância.}\end{aligned}$$

Em seguida, o fluxo de corrente

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{110}{10} = 11 \text{ ampères de corrente.}$$

A queda de voltagem através da resistência (E_R) é

$$\begin{aligned}E_R &= I \times R \\E_R &= 11 \times 6 = 66 \text{ volts}\end{aligned}$$

A queda da voltagem através da indutância (E_{XL}) é

$$\begin{aligned}E_{XL} &= I \times X_L \\E_{XL} &= 11 \times 8 = 88 \text{ volts}\end{aligned}$$

A soma das duas voltagens é maior do que a voltagem da fonte. Isto decorre do fato de as duas voltagens estarem fora de fase e, assim sendo, representam de per si a voltagem máxima. Se a voltagem, no circuito, for medida com um voltímetro, ela será de aproximadamente 110 volts a voltagem da fonte.

Isto pode ser provado pela equação

$$\begin{aligned}E &= \sqrt{(E_R)^2 + (E_{XL})^2} \\E &= \sqrt{66^2 + 88^2} \\E &= \sqrt{4356 + 7744} \\E &= \sqrt{12.100} \\E &= 110 \text{ volts}\end{aligned}$$

Na figura 8-191 é ilustrado um circuito em série, no qual um capacitor de 200 Mf está conectado em série com uma lâmpada de 10 ohms.

Qual é o valor da impedância, do fluxo de corrente e da queda de voltagem através da lâmpada?

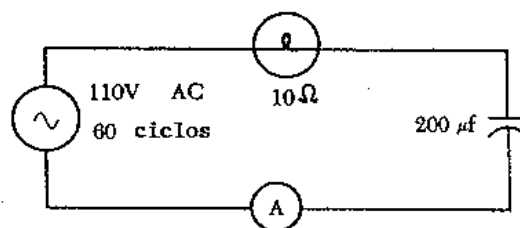


Figura 8-191 Circuito contendo resistência e capacitância.

Solução:

Primeiro, a capacitância é convertida de Mf para farads. Já que 1 milhão de microfarads é igual a 1 farad, então

$$200 \text{ Mf} = \frac{200}{1.000.000} = 0,000200 \text{ farads}$$

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C}$$

$$X_c = \frac{1}{6,28 \times 60 \times 0,000200 \text{ farads}}$$

$$X_c = \frac{1}{0,07536} =$$

$$= 13 \Omega \text{ de reatância capacitiva}$$

Para encontrar a impedância,

$$\begin{aligned}Z &= \sqrt{R^2 + X_c^2} \\Z &= \sqrt{10^2 + 13^2} \\Z &= \sqrt{100 + 169} \\Z &= \sqrt{269}\end{aligned}$$

$$Z = 16,4 \text{ ohms de reatância capacitiva}$$

Para encontrar a corrente,

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{110}{16,4} = 6,7 \text{ ampères}$$

A queda de voltagem na lâmpada é

$$E_R = 6,7 \times 10$$

$$E_R^R = 67 \text{ volts}$$

A queda de voltagem no capacitor (E_{XC}) será

$$E_{XC} = I \times X_C$$

$$E_{XC} = 6,7 \times 13$$

$$E_{XC} = 86,1 \text{ volts}$$

A soma destas duas voltagens não é igual à voltagem aplicada, já que a corrente é avançada em relação à voltagem. Para encontrar a voltagem aplicada, usa-se a fórmula:

$$E_T = \sqrt{(E_R)^2 + (E_{XC})^2}$$

$$E_T = \sqrt{67^2 + 86,1^2}$$

$$E_T = \sqrt{4489 + 7413}$$

$$E_T = \sqrt{11902}$$

$$E_T = 110 \text{ volts}$$

Quando o circuito contém resistência, indutância e capacitância, a seguinte equação é usada para achar a impedância:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Exemplo:

Qual é a impedância de um circuito em série (figura 8-192), consistindo de um capacitor com reatância de 7 ohms, um indutor com uma reatância de 10 ohms e um resistor com resistência?

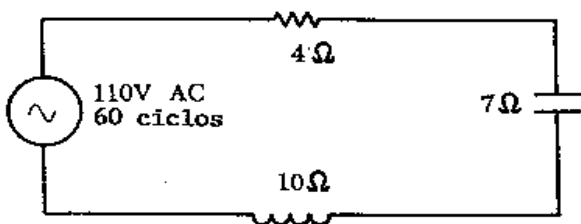


Figura 8-192 Circuito contendo resistência, indutância e capacitância.

Solução:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{4^2 + (10 - 7)^2}$$

$$Z = \sqrt{4^2 + 3^2}$$

$$Z = \sqrt{25}$$

$$Z = 5 \text{ ohms}$$

Considerando que a reatância do capacitor é 10 ohms e a reatância de indutor é 7 ohms, então X_C é maior do que X_L .

Então,

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{4^2 + (7 - 10)^2}$$

$$Z = \sqrt{4^2 + (-3)^2}$$

$$Z = \sqrt{16 + 9}$$

$$Z = \sqrt{25}$$

$$Z = 5 \text{ ohms}$$

Circuitos de C.A. em paralelo

Os métodos usados para resolver problemas de circuitos de C.A. em paralelo são basicamente os mesmos usados para os circuitos em série de C.A..

Voltagens ou correntes fora-de-fase podem ser somadas usando-se a lei dos triângulos retângulos, mas solucionando-se problemas de circuitos. As correntes através das ramificações são somadas desde que as quedas de voltagens através das várias derivações sejam as mesmas e iguais à voltagem aplicada.

Na figura 8-193 é mostrado esquematicamente, um circuito de C.A. em paralelo, contendo uma indutância e uma resistência. A corrente fluindo através da indutância, I_L , é de 0,0584 ampère, e a corrente fluindo através da resistência é de 0,11 ampère.

Qual é a resistência total no circuito?

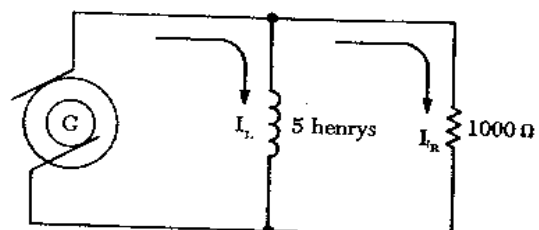


Figura 8-193 Circuito em paralelo CA contendo indutância e resistência.

Solução:

$$\begin{aligned}
I_T &= \sqrt{I_L^2 + I_R^2} \\
&= \sqrt{(0,0584)^2 + (0,11)^2} \\
&= \sqrt{0,0155} = 0,1245 \text{ ampère}
\end{aligned}$$

Já que a reatância indutiva ocasiona adiantamento da voltagem em relação à corrente, a corrente total, que contém um componente da corrente indutiva, retarda-se em relação a voltagem aplicada.

Plotando-se a corrente e a voltagem, o ângulo entre os dois, chamado ângulo de fase, ilustra o quanto a corrente se atrasa em relação à voltagem.

Na figura 8-194, um gerador de 110 volts conectado a uma carga, consistindo de uma capacitância de $2\mu\text{f}$ e uma capacitância de 10 ohms, em paralelo. Qual é o valor da impedância e do fluxo total de corrente?

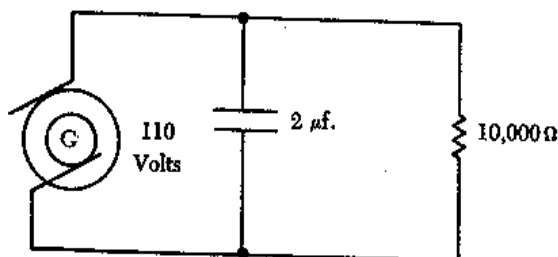


Figura 8-194 Circuito de CA em paralelo contendo capacitância e resistência.

Solução:

Primeiro, ache a reatância capacitiva do circuito:

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C}$$

Transformando $2\mu\text{f}$ em farads e inserindo os valores na fórmula dada:

$$\begin{aligned}
X_c &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 60 \times 0,000002} = \\
&= \frac{1}{0,00075360} \text{ ou } \frac{10.000}{7.536} =
\end{aligned}$$

$$= 1327 \Omega \text{ de reatância capacitiva}$$

Para encontrar a impedância, a fórmula de impedância usada em circuito de C.A. em série precisa ser modificada para se ajustar ao circuito em paralelo:

$$\begin{aligned}
Z &= \frac{R X_c}{\sqrt{R^2 + X_c^2}} = \frac{10.000 \times 1327}{\sqrt{(10.000)^2 + (1327)^2}} = \\
&= 0,1315 \Omega \text{ (aproximadamente)}
\end{aligned}$$

Para encontrar a corrente através da capacitância:

$$I_c = \frac{E}{X_c} = \frac{110}{1327} = 0,0829 \text{ ampères}$$

Para encontrar a corrente fluindo pela resistência:

$$I_R = \frac{E}{R} = \frac{110}{10000} = 0,011 \text{ ampères}$$

Para encontrar a corrente total no circuito:

$$\begin{aligned}
I_T &= \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \\
I_T &= \sqrt{(0,011)^2 + (0,0829)^2} = \\
&= 0,0836 \text{ ampères (aproximadamente)}
\end{aligned}$$

Ressonância

Tem sido mostrado que tanto a reatância indutiva ($X_L = 2 \pi f L$) e a reatância capacitiva

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C}$$

têm funções de uma frequência de corrente alternada. Diminuindo a frequência, diminui o valor ôhmico da reatância indutiva, mas uma diminuição na frequência, aumenta a reatância capacitiva.

Numa particular frequência, conhecida como frequência de ressonância, os efeitos reativos de um capacitor e de um indutor serão iguais.

Como estes efeitos são opostos entre si, eles se anularão, permanecendo apenas o valor ôhmico da resistência em oposição ao fluxo de corrente, no circuito.

Se o valor da resistência for pequeno ou consistir somente de resistência nos condutores, o valor do fluxo de corrente pode tornar-se muito elevado. Num circuito, onde o indutor e capacitor estejam em série e a frequência seja a de ressonância, o circuito é referido como “em ressonância”, neste caso, um circuito ressonante em série. O símbolo para a frequência ressonante é F_n . Se, na frequência de ressonância, a reatância indutiva for igual à reatância capacitiva, então teremos:

$$X_L = X_C \text{ ou } 2 \pi f L = \frac{1}{2 \pi f C}$$

Dividindo-se ambos os termos por $2 \pi f L$,

$$F_n^2 = \frac{1}{(2 \pi)^2 LC}$$

Extraindo-se a raiz quadrada de ambos os termos:

$$F_n = \frac{1}{2 \pi \sqrt{LC}}$$

Onde F_n é a frequência ressonante em ciclos por segundo, “C” é a capacitância em farads e “L” é a indutância em henrys. Com essa fórmula, a frequência em que um capacitor e um indutor serão ressonantes pode ser determinada.

Para encontrar a reatância indutiva do circuito, usa-se:

$$X_L = 2 (\pi) f L$$

A fórmula de impedância usada num circuito de C.A. em série, precisa ser modificada para aplicar-se a um circuito em paralelo.

$$Z = \frac{R X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

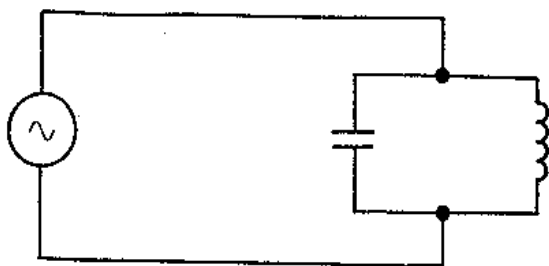


Figura 8-195 Circuito ressonante em paralelo.

Para resolver cadeias paralelas de indutância e reatores capacitivos, usa-se:

$$X = \frac{X_L X_C}{\sqrt{X_L + X_C}}$$

Para resolver cadeias paralelas com resistência capacitiva e indutância, usa-se:

$$Z = \frac{R X_L X_C}{\sqrt{X_L^2 X_C^2 + (R X_L - R X_C)^2}}$$

Como na frequência de ressonância X_L cancela X_C , a corrente pode tornar-se muito alta, dependendo do valor de resistência. Em casos assim, a queda de tensão através do indutor ou capacitor será, muitas vezes, mais alta do que a tensão aplicada.

Num circuito ressonante em paralelo (figura 8-195), as reatâncias são iguais, e correntes idênticas fluirão através da bobina e do capacitor.

Como a reatância indutiva faz a corrente através da bobina retardar-se em 90 graus em relação à tensão, e a reatância capacitiva faz a corrente através do capacitor adiantar-se em 90 graus em relação à tensão, as duas correntes ficam defasadas em 180 graus.

O efeito de anulação dessas correntes significaria que nenhuma corrente fluiria do gerador, e a combinação em paralelo do indutor e do capacitor aparentaria uma impedância infinita.

Na prática, nenhum circuito semelhante é possível, já que algum valor de resistência está sempre presente e o circuito em paralelo, às vezes, chamado circuito tanque, atua como uma impedância muito alta; ele também é chamado de circuito anti-ressonante, já que seu efeito no circuito é oposto ao do circuito série-ressonante, no qual a impedância é muito baixa.

Potência em circuitos de C.A.

Num circuito de C.C. a potência é obtida pela equação $P = EI$ (watts = volts x ampères). Daí, se 1 ampère de corrente flui num circuito com uma tensão de 200 volts, a potência é de 200 watts.

O produto de volts pelos ampères é a potência verdadeira em um circuito.

Num circuito de A.C., um voltímetro indica a voltagem efetiva e um amperímetro indica a corrente efetiva.

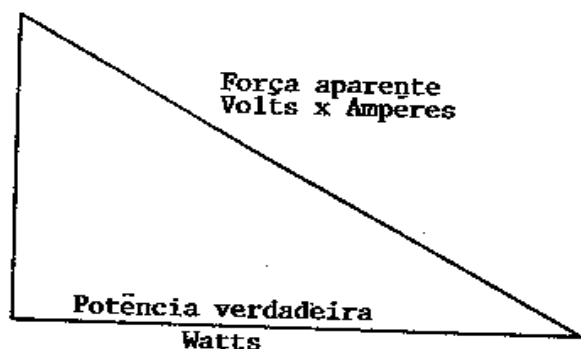


Figura 8-196 Fator de potência em um circuito de CA.

O produto dessas duas leituras é chamado de potência aparente. Somente o circuito de C.A. é formado de resistência, e a potência aparente é igual à potência real (verdadeira) como mostrado na figura 8-196..

Quando há capacitância ou indutância no circuito, a corrente e a voltagem não estão exatamente em fase, e a potência verdadeira é menor do que a potência aparente.

A potência verdadeira é obtida por meio de um wattímetro.

A proporção entre a potência verdadeira e a aparente é chamada de fator de potência e é expressa em unidades percentuais. Na forma de equação, a relação é:

FP= Fator de Potência

$$FP = \frac{100 \times \text{Watts (potencia verdadeira)}}{\text{volts} \times \text{amperes (potencia aparente)}}$$

Problema:

Um motor de C.A. de 220 volts toma 50 ampères de uma linha, mas um wattímetro na linha mostra que somente 9.350 watts são tomados pelo motor.

Qual é a potência aparente e o fator de potência?

Solução:

$$\begin{aligned} \text{Potência aparente} &= \text{volts} \times \text{ampères} \\ &= 220 \times 50 = 11000 \text{ watts ou volt - ampères} \end{aligned}$$

$$FP = \frac{\text{Watts (potencia verdadeira)} \times 100}{VA \text{ (potencia aparente)}}$$

$$= \frac{9350 \times 100}{11000} = 85 \text{ ou } 85\%$$

TRANSFORMADORES

Um transformador modifica o nível de voltagem, aumentando-o ou diminuindo-o como necessário. Ele consiste em duas bobinas eletricamente independentes, que são dispostas de tal forma que o campo magnético em torno de uma das bobinas atravessa também a outra bobina.

Quando uma voltagem alternada é aplicada a (através de) uma bobina, o campo magnético variável formado em torno dela cria uma voltagem alternada na outra bobina por indução mútua.

Um transformador também pode ser usado com C.C. pulsativa, mas voltagem C.C. pura não pode ser usada, já que apenas uma voltagem variável cria o campo magnético variável, que é a base do processo de indução mútua.

Um transformador consiste de três partes básicas, conforme mostrado na figura 8-197. São elas: um núcleo de ferro, que proporciona um circuito de baixa relutância para as linhas de força magnética; um enrolamento primário, que recebe a energia elétrica da fonte de voltagem aplicada; um enrolamento secundário, que recebe energia elétrica, por indução, do enrolamento primário.

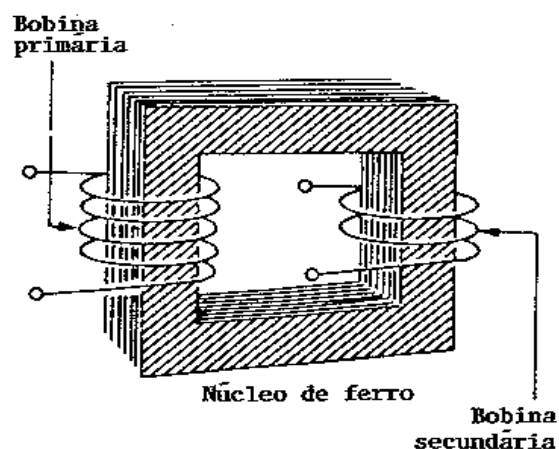


Figura 8-197 Transformador com núcleo de ferro.

O primário e o secundário deste transformador de núcleo fechado são enrolados sobre um núcleo fechado, para obter o máximo efeito indutivo entre as duas bobinas.

Existem duas classes de transformadores: (1) transformadores de voltagem, usados para aumentar ou diminuir voltagens; e (2) transformadores de corrente, usados em circuitos de instrumentos.

Nos transformadores de voltagem, as bobinas primárias são ligadas em paralelo com a fonte de voltagem, conforme mostrado na figura 8-198, letra "A".

Os enrolamentos primários dos transformadores de corrente são ligados em série no circuito primário ("B" da figura 8-198). Dos dois tipos, o transformador de voltagem é o mais comum.

Existem muitos tipos de transformadores de voltagem. A maioria deles é de transformadores de aumento ou diminuição.

O fator que determina um ou outro tipo é a proporção de espiras, que é a relação entre o número de espiras do enrolamento primário e do secundário.

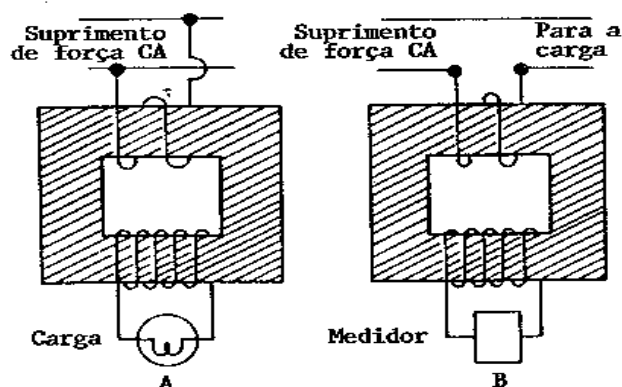


Figura 8-198 Transformador de voltagem e de corrente.

Por exemplo, a proporção de espiras do transformador de redução mostrado em "A" da figura 8-199 é 5 por 1, tendo em vista que o primário possui cinco vezes mais espiras do que o secundário.

O transformador de elevação mostrado em "B" da figura 8-199 tem uma razão de espiras de 1 por 4.

Considerando-se 100% de eficiência, a proporção entre a voltagem de entrada e a de saída de um transformador é a mesma que a do número de espiras no primário e secundário.

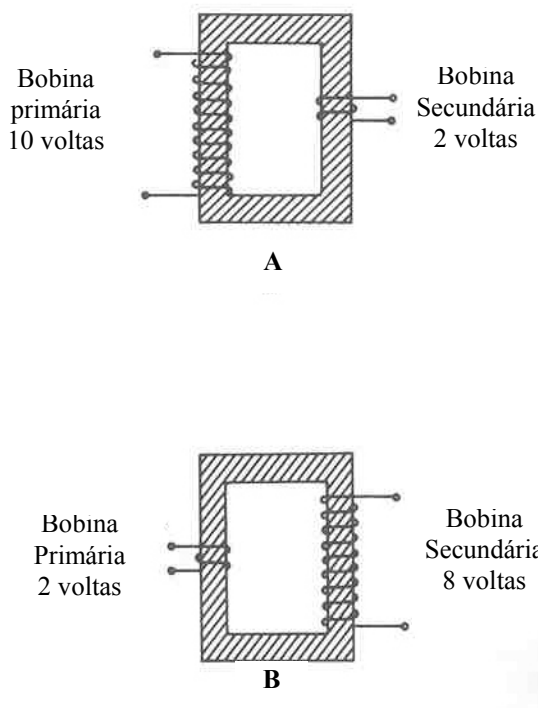


Figura 8-199 Transformadores de redução e de elevação.

Assim, quando 10 volts são aplicados ao primário do transformador mostrado em "A" da figura 8-199, dois volts são induzidos no secundário.

Se 10 volts forem aplicados ao primário do transformador mostrado na letra "B" da figura 8-199, a voltagem nos terminais do secundário será 40 volts.

É impossível construir um transformador com 100% de eficiência, porque não são todas as linhas de força do primário que conseguem cortar a bobina do secundário. Uma certa quantidade de fluxo magnético vaza do circuito magnético.

O grau de eficiência como o fluxo do primário, que é aproveitado no secundário, é chamado de "coeficiente de acoplamento".

Por exemplo, se for concebido que o primário de um transformador desenvolve 10.000 linhas de força, mas apenas 9.000 passam através do secundário, o coeficiente de acoplamento seria 9 ou, dito de outra maneira, o transformador teria 90% de eficiência.

Quando uma voltagem de C.A. é ligada através dos terminais do primário de um transformador, fluirá uma corrente alternada, ocorrendo auto-indução de uma voltagem na bobina do primário, a qual será oposta e aproximadamente igual à voltagem aplicada.

A diferença entre estas duas voltagens permite apenas a corrente suficiente no primário, para magnetizar o seu núcleo. Isto é chamado de corrente de excitação ou magnetização. O campo magnético provocado por esta corrente de excitação corta a bobina do secundário e induz uma voltagem por indução mútua.

Se uma carga for conectada através da bobina secundária, a corrente de carga fluindo através da bobina secundária produzirá um campo magnético, que tenderá a neutralizar o campo magnético produzido pela corrente do primário. Isto reduzirá a voltagem auto-induzida (oposição) na bobina do primário e permitirá fluir mais corrente no primário.

A corrente do primário aumenta conforme a corrente de carga do secundário aumenta e diminui conforme a corrente de carga do secundário diminui.

Quando a carga do secundário é removida, a corrente do primário é então reduzida a uma pequena corrente de excitação, suficiente somente para magnetizar o núcleo de ferro do transformador.

Quando um transformador eleva a voltagem, ele reduz a corrente na mesma proporção. Isto fica evidente em se considerando a fórmula de potência elétrica ($I \times E$) e que a potência desenvolvida no secundário é a mesma do primário, menos a energia perdida no processo de transformação. Assim, se 10 volts e 4 ampères (40 watts de potência) são usados no primário para produzir um campo magnético, haverá 40 watts de potência desenvolvidos no secundário (desconsiderando qualquer perda).

O transformador tendo uma proporção de elevação de 4 por 1, a voltagem através do secundário será de 40 volts e a corrente será de 1 ampère. A voltagem é 4 vezes maior e a corrente é um quarto dos valores do circuito primário, mas a potência (valor de $I \times E$) é a mesma. Quando a proporção de espiras e a voltagem de entrada são conhecidas, a voltagem de saída pode ser determinada da seguinte forma:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Onde E é a voltagem do primário, E_2 é a voltagem de saída do secundário e N_1 e N_2 são o número de espiras do primário e do secundário, respectivamente.

Transpondo a equação, para achar a voltagem de saída, temos:

$$E_2 = \frac{E_1 N_2}{N_1}$$

Os transformadores de voltagem mais comumente usados são os seguintes:

- (1) Transformadores de potência, que são usados para elevar ou reduzir voltagens e correntes em muitos tipos de fontes de força. Eles variam desde os pequenos transformadores de potência mostrados na figura 8-200, usados num rádio-receptor, até os grandes transformadores utilizados para reduzir alta-tensão para o nível de 110/120 volts usados domesticamente. Na figura 8-201, o símbolo esquemático para um transformador de núcleo de ferro é mostrado. Neste caso, o secundário é constituído por três enrolamentos distintos. Cada secundário possui um ponto intermediário de ligação, chamado "*center tap*", que proporciona a seleção de metade da voltagem do enrolamento inteiro.

Os terminais dos vários enrolamentos são identificados por código de cores, pelos fabricantes, conforme indicado na figura 8-201. Este é um código de cores padronizado, mas outros códigos ou números podem ser utilizados.

- (2) Transformadores de áudio parecem transformadores de potência. Eles têm apenas um secundário e destinam-se a funcionar na faixa de audiofrequências (20 a 20.000 c.p.s.)

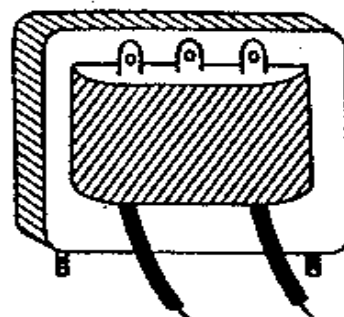


Figura 8-200 Transformador de potência.

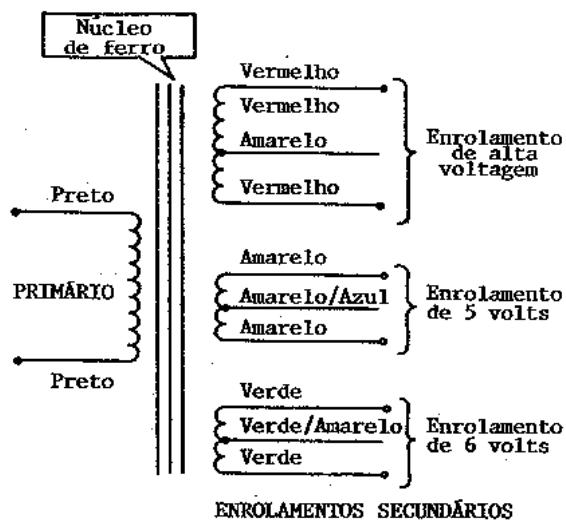


Figura 8-201 Símbolo esquemático para um transformador com núcleo de ferro.

- (3) Transformadores de RF destinam-se a operar em equipamentos que funcionam na faixa de frequência de rádio. O símbolo para os transformadores de RF é o mesmo usado para bobinas de RF. Têm núcleo de ar, conforme mostrado na figura 8-202.

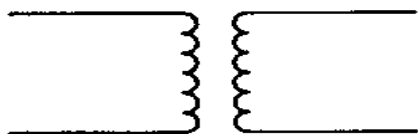


Figura 8-202 Transformadores com núcleo de ar.

- (3) Autotransformadores são geralmente usados em circuitos de força; entretanto, eles podem ser destinados a outros usos. Dois símbolos diferentes de autotransformadores usados em circuitos de força ou áudio são mostrados na figura 8-203. Quando usados em circuito de navegação ou de comunicação RF (B da figura 8-203), são os mesmos, não havendo nenhum símbolo para núcleo de ferro.

Os autotransformadores usam parte do enrolamento como primário; e dependendo de elevação ou redução, ele usa todo ou parte do mesmo enrolamento como secundário. Por exemplo, o autotransformador mostrado em "A" da figura 8-203 poderia usar as várias combina-

ções apresentadas para os terminais primário e secundário.

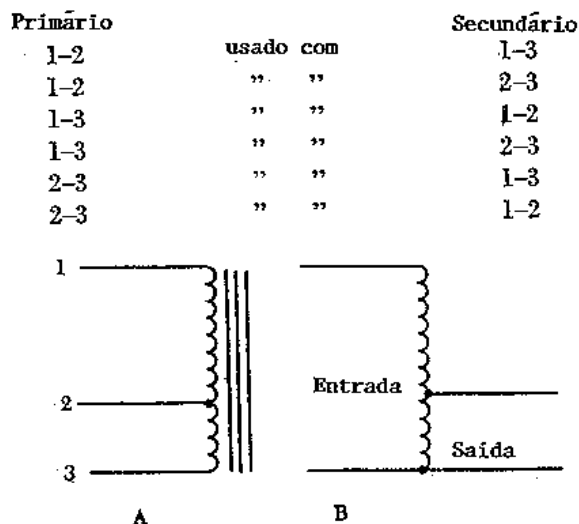


Figura 8-203 Autotransformadores.

Transformadores de corrente

São usados em sistemas de fonte de força de C.A., para captar a corrente da linha do gerador e prover uma corrente, proporcional à corrente de linha, para circuito de proteção e dispositivos de controle.

O transformador de corrente é um transformador do tipo anel, usando um terminal de força condutor de corrente como primário (tanto o terminal de força ou o terminal de aterramento de gerador). A corrente no primário induz uma corrente no secundário, por indução magnética.

Os lados de todos os transformadores de corrente são marcados "H1" e "H2", na base. Os transformadores devem ser instalados com o lado "H1" na direção do gerador, no circuito, mantendo a polaridade apropriada.

O secundário do transformador não pode jamais ficar aberto quando o sistema estiver funcionando, caso contrário, isto provocaria altas voltagens perigosas e poderia superaquecer o transformador.

Portanto, as conexões de saída do transformador precisam estar sempre conectadas com um "jumper" quando o transformador não estiver sendo usado, mas permanece no sistema.

Perdas dos transformadores

Juntamente com a perda de energia provocada por acoplamento imperfeito, os trans-

formadores estão sujeitos à perdas do “ferro” e do “cobre”. A perda do “cobre” é causada pela resistência do condutor, envolvendo as espiras da bobina. Existem dois tipos de perdas do “ferro”, chamados perda por histerese e perda por “*Eddy current*”.

A primeira, é a energia elétrica requerida para magnetizar o núcleo do transformador, mudando de direção juntamente com a voltagem alternada aplicada.

A segunda, é provocada por correntes elétricas (*Eddy current*) induzidas no núcleo do transformador pelas variações dos campos magnéticos. Para reduzir as perdas por “*Eddy current*” os núcleos são feitos de camadas laminadas com isolamento, que reduzem a circulação de correntes induzidas.

Potência em transformadores

Como um transformador não adiciona nenhuma eletricidade ao circuito, mas meramente modifica ou transforma a eletricidade que já existe nele, de uma voltagem noutra, a quantidade total de energia no circuito permanece a mesma.

Se fosse possível construir um transformador perfeito, não haveria perda de força nele; a energia seria transferida sem eliminação, de uma voltagem noutra.

Já que a potência é o produto da voltagem pela amperagem, um aumento da voltagem pelo transformador resultará numa diminuição da corrente e vice-versa. Não pode haver maior potência no lado do secundário de um transformador do que existir no lado do primário. O produto de ampères vezes volts permanece o mesmo.

A transmissão de força por longas distâncias é realizada por meio de transformadores. Na fonte de força a voltagem é elevada para reduzir a perda na linha durante a transmissão. No ponto de utilização, a voltagem é reduzida, já que não é praticável o uso de alta voltagem para operar motores, luzes ou outros aparelhos elétricos.

Ligação de transformadores em circuitos de C.A.

Antes de estudar as várias maneiras de ligar transformadores em circuitos de C.A., as

diferenças entre circuitos monofásicos e trifásicos precisam ser claramente entendidas.

Num circuito monofásico, a voltagem é gerada por uma bobina alternadora. Esta voltagem monofásica pode ser obtida de um alternador monofásico ou de uma fase de um alternador trifásico, conforme será abordado adiante, no estudo de geradores de C.A.

Num circuito trifásico, três voltagens são geradas por um alternador com três bobinas distintas, ocorrendo que as três voltagens geradas são iguais mas atingem seus valores máximos em tempos diferentes. Em cada fase do gerador trifásico com 400 ciclos, um ciclo é gerado a cada 1/400 segundos.

Em sua rotação, o pólo magnético cruza uma bobina e gera uma voltagem máxima, um terço de ciclo (1/1200 segundos), depois ele cruza uma outra bobina e gera nela uma alta voltagem. Isto ocasiona voltagens máximas geradas nas três bobinas, sempre separadas um terço de ciclo (1/1200 segundos).

Os geradores trifásicos primitivos eram ligados às suas cargas com seis fios e todos eles conduziam corrente.

Posteriormente, experiências provaram que o gerador forneceria mais força com as bobinas conectadas, de tal modo que somente três fios eram necessários para as três fases, conforme mostrado na figura 8-204.

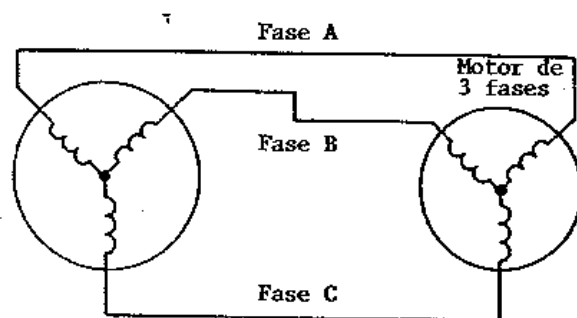


Figura 8-204 Gerador de três fases usando três condutores.

O uso de três fios é padrão para transmissão de força trifásica, atualmente. O retorno de corrente de qualquer uma bobina do alternador flui, voltando através dos outros dois fios no circuito trifásico.

Os motores trifásicos e outras cargas trifásicas são ligados com suas bobinas ou elementos de carga colocados de tal forma que

requerem três linhas para disponibilização de força.

Os transformadores que são usados para elevação de voltagem ou redução, num circuito trifásico, são ligados eletricamente de modo que a força é fornecida para o primário e tomada do secundário pelo sistema trifásico padrão.

Entretanto, transformadores monofásicos e lâmpadas e motores monofásicos podem ser ligados através de uma das fases do circuito trifásico, conforme mostrado na figura 8-205.

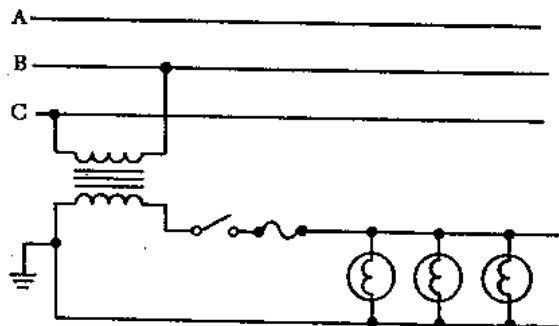


Figura 8-205 Transformador de redução usando o sistema bifásico.

Quando cargas monofásicas são ligadas em circuitos trifásicos, as cargas são distribuídas igualmente pelas três fases para balancear as três bobinas do gerador.

Um outro uso do transformador é o monofásico com várias tomadas no secundário. Com este tipo de transformador, a voltagem pode ser diminuída para prover várias voltagens de trabalho, conforme mostrado na figura 8-206.

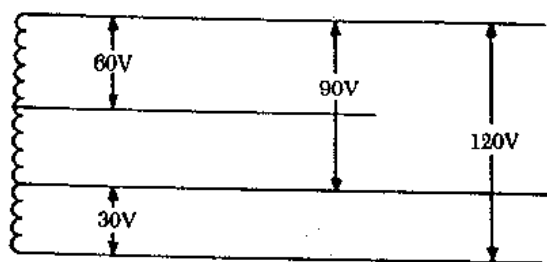


Figura 8-206 Tomadas do secundário de um transformador.

Um transformador, com tomada central alimentando um motor de 220 volts, acompanhado de quatro lâmpadas de 110 volts, é mostrado na figura 8-207.

O motor é ligado através do transformador integral, e as lâmpadas são ligadas da tomada central para uma das extremidades do trans-

formador com esta ligação somente a metade da saída do secundário é usada.

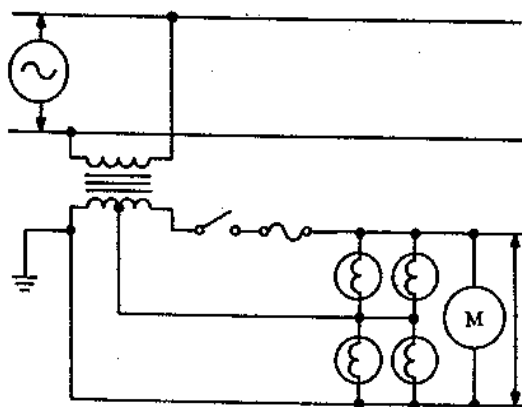


Figura 8-207 Transformador de redução usando o sistema trifásico.

Este tipo de ligação do transformador é amplamente usado em aeronaves por causa das combinações de voltagens, que podem ser obtidas de um transformador.

Várias voltagens podem ser tomadas do enrolamento secundário do transformador, colocando-se tomadas (durante a fabricação) em vários pontos ao longo dos enrolamentos secundários.

Os valores variados de voltagem podem ser obtidos utilizando-se qualquer dupla de tomadas, ou uma tomada e qualquer das extremidades do enrolamento secundário.

Transformadores para circuitos trifásicos podem ser ligados em qualquer uma das várias combinações das ligações "ípsilon (γ) e delta (Δ)". A ligação usada depende dos requisitos para o transformador.

Quando a ligação ípsilon é usada em transformadores trifásicos, um quarto fio ou neutro pode ser usado. O fio neutro liga equipamentos monofásicos ao transformador. As voltagens (115v) entre qualquer uma das linhas trifásicas e o fio neutro podem ser usadas por dispositivos como lâmpadas ou motores monofásicos.

Todos os quatro fios, em combinação podem fornecer energia de 208 volts, trifásica, para funcionamento de equipamentos trifásicos, tais como motores trifásicos ou retificadores. Quando apenas equipamento trifásico é usado, o fio terra pode ser omitido. Isto permite um sistema trifásico de três fios, conforme ilustrado na figura 8-208.

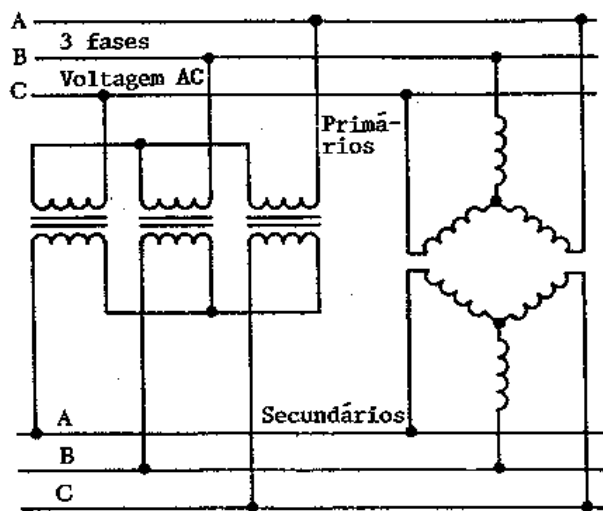


Figura 8-208 Primário e secundário com ligação ípsilon (Y).

A figura 8-209 mostra o primário e o secundário com ligação delta. Com este tipo de ligação, o transformador tem a mesma saída de voltagem da voltagem de linha.

Entre quaisquer das duas fases, a voltagem é 240 volts. Neste tipo de ligação, os fios A, B e C podem fornecer 240 volts de força trifásica para operação de equipamentos trifásicos.

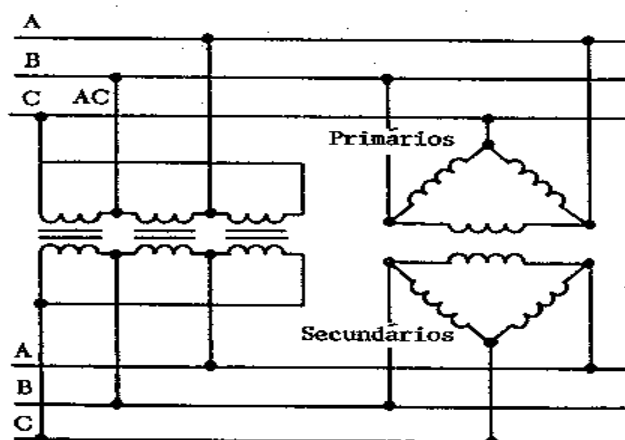


Figura 8-209 Primário e secundário com ligação delta.

O tipo de ligação usado para bobinas primárias, pode ou não, ser o mesmo usado para bobinas secundárias. Por exemplo, o primário pode ser uma ligação delta e o secundário uma ligação ípsilon.

Isso é chamado de ligação delta-ípsilon de transformador. Outras combinações são delta-delta, ípsilon-delta e ípsilon-ípsilon.

Análise e pesquisa de panes em transformadores

Existem ocasiões em que um transformador precisa ser testado quanto a interrupções e “curtos” e, é muitas vezes, necessário determinar se um transformador é de elevação ou redução.

Um enrolamento aberto pode ser localizado por meio de um ohmímetro, conforme mostrado na figura 8-210. Ligado conforme demonstrado, o ohmímetro marcaria resistência infinita. Se não houvesse interrupção na bobina, ele indicaria o valor de resistência do fio da bobina. Também o primário, quanto o secundário, podem ser testados da mesma maneira.

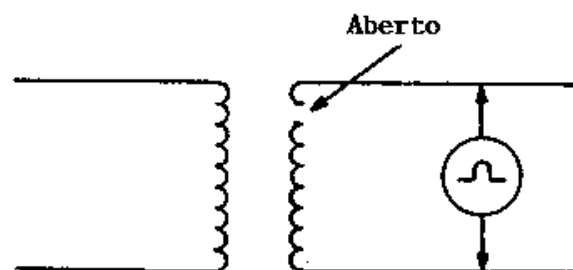


Figura 8-210 Testando quanto ao rompimento do enrolamento de um transformador.

O ohmímetro pode também ser usado para testar enrolamentos “em curto”, conforme demonstrado na figura 8-211, entretanto, este método não é preciso. Se, por exemplo, o transformador tendo 500 espiras, e uma resistência de 2 ohms estivesse com 5 espiras “em curto”, a resistência seria reduzida, aproximadamente 1,98 ohms, que não seria o suficiente para ser lido no ohmímetro.

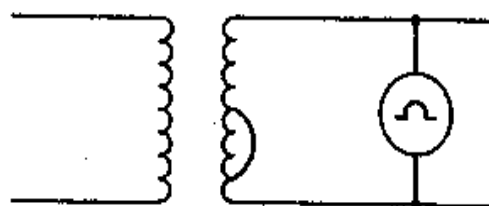


Figura 8-211 Testando quanto a “curto” no enrolamento de transformadores.

Neste caso, a voltagem de entrada pode ser aplicada ao primário para permitir medição da voltagem de saída no secundário. Se a voltagem no secundário for baixa pode ser concluído que o transformador tenha alguns enrolamentos “em curto”, e ele deva ser substituído. Se a vol-

tagem voltar ao normal, o transformador pode ser considerado defeituoso.

Um ohmímetro pode ser usado para determinar se um transformador é de elevação ou redução. Num transformador de redução, a resistência do secundário será menor do que a do primário, e a recíproca será verdadeira, no caso de um transformador de elevação.

Ainda um outro método envolve aplicar uma voltagem ao primário e medir a saída do secundário. As voltagens usadas não poderiam exceder a voltagem de entrada especificada.

Quando um enrolamento estiver completamente “em curto”, normalmente torna-se superaquecido por causa do elevado fluxo de corrente. Em muitos casos, o valor excessivo derreteria a cera no transformador, e isto poderia ser percebido pelo cheiro resultante.

Uma leitura de voltímetro através do secundário marcaria zero. Se o circuito incluir um fusível, a corrente elevada pode provocar a queima deste antes de danificar seriamente o transformador.

Na figura 8-212 é mostrado um ponto do enrolamento do transformador ligado a terra. Se o circuito externo do circuito do transformador está aterrado, uma parte do enrolamento está efetivamente “em curto”.

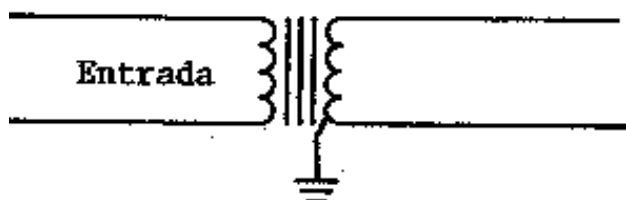


Figura 8-212 Parte de um enrolamento de transformador “aterrado”.

Um megômetro ligado entre um lado do enrolamento e o invólucro (corpo) do transformador confirmaria tal condição com uma leitura baixa ou zero. Neste caso o transformador precisa ser substituído.

Todos os transformadores discutidos nesta seção são indicados com um enrolamento primário. Eles funcionam com uma fonte de C.A. simples.

Transformadores que funcionam com três voltagens de um alternador ou gerador de C.A. são denominados transformadores trifásicos ou polifásicos. Eles serão discutidos no estudo de geradores e motores.

AMPLIFICADORES MAGNÉTICOS

O amplificador magnético é um dispositivo de controle, sendo empregado em escala crescente em muitos sistemas eletrônicos e elétricos de aeronaves, por sua robustez, estabilidade e segurança em comparação com as válvulas à vácuo.

Os princípios de funcionamento do amplificador magnético podem ser melhor compreendidos, revisando-se o funcionamento de um transformador simples.

Se uma voltagem C.A. for aplicada ao primário de um transformador de núcleo de ferro, o núcleo irá se magnetizar e desmagnetizar com a mesma frequência da voltagem aplicada.

Isto, por sua vez, induzirá uma voltagem no secundário do transformador. A voltagem de saída, através dos terminais do secundário, dependerá da relação entre o número de espiras no primário e secundário do transformador.

O núcleo de ferro do transformador tem um ponto de saturação, além do qual a aplicação de uma força magnética maior não produzirá nenhuma alteração na intensidade de magnetização. Conseqüentemente, não haverá mudança na saída do transformador, ainda que a entrada seja muito aumentada.

O circuito de amplificador magnético na figura 8-213 será usado para explicar como um amplificador magnético funciona. Suponha que exista 1 ampère de corrente na bobina “A”, que possui 10 espiras.

Se a bobina B tiver também 10 espiras, uma saída de 1 ampère será obtida, se a bobina “B” estiver apropriadamente carregada. Aplicando-se corrente contínua na bobina “C”, o núcleo da bobina do amplificador magnético pode ser adicionalmente magnetizado.

Suponha que a bobina “C” tenha o número apropriado de espiras e com a aplicação de 30 miliampères, que o núcleo seja magnetizado ao ponto em que 1 ampère na bobina “A” resulte em somente 0,24 ampères de saída da bobina “B”.

Variando-se a entrada de C.C. na bobina “C” continuamente de 0 a 30 miliampères, e conservando uma entrada de 1 ampère na bobina “A”, é possível controlar a saída da bobina “B” em qualquer ponto entre 0,24 e 1 ampère, neste exemplo.

O termo “amplificador” é usado para este dispositivo, porque usando-se uns poucos

miliampères obtem-se o controle de uma saída de 1 ou mais ampères.

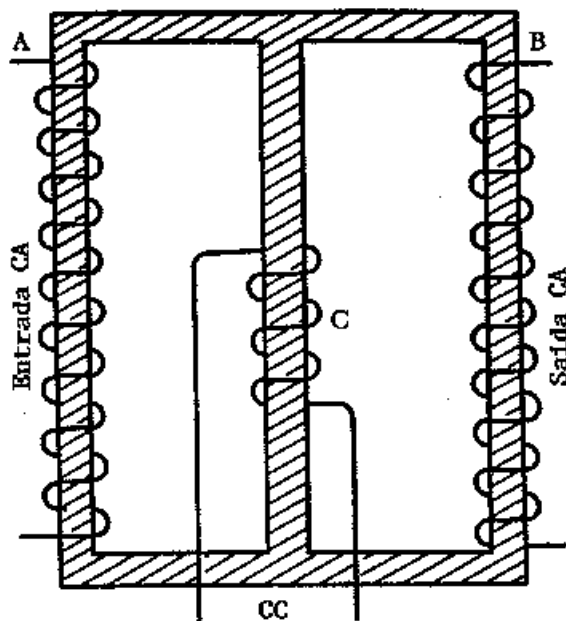


Figura 8-213 Circuito amplificado magnético.

O mesmo procedimento pode ser usado com o circuito mostrado na figura 8-214.

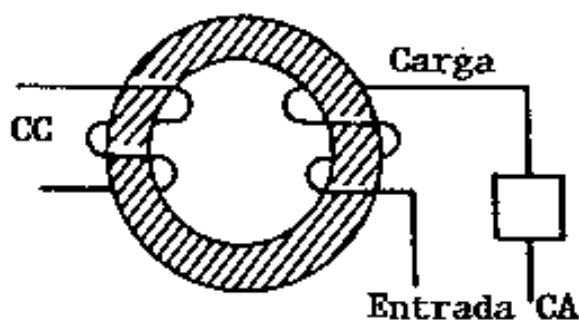


Figura 8-214 Circuito reator saturável.

Controlando-se o grau de magnetização do anel de ferro, é possível controlar a quantidade de corrente fluindo para a carga, já que o nível de magnetização controla a impedância do enrolamento de entrada de C.A.. Este tipo de amplificador magnético é chamado de circuito motor saturável simples.

Adicionando-se um retificador em tal circuito, metade do ciclo de entrada de C.A. seria removido, permitindo uma corrente contínua fluir para a carga.

A quantidade de corrente contínua fluindo na carga do circuito é controlada por um enrolamento de controle de C.C. (às vezes referido

como bias). Este tipo de amplificador magnético é referido como sendo do auto-saturação.

A fim de usar a energia total de entrada, um circuito, como o que é mostrado na figura 8-215, pode ser utilizado. Este circuito usa uma ponte retificadora da onda completa. A carga receberá uma corrente contínua controlada, usando-se a totalidade da entrada de C.A. Este tipo de circuito é conhecido como um amplificador magnético de auto-saturação, onda completa.

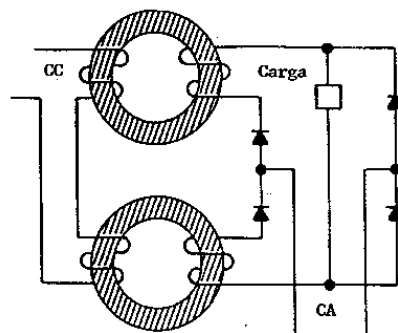


Figura 8-215 Amplificador magnético de auto-saturação e de onda completa.

Na figura 8-216 é presumido que o enrolamento de controle de C.C. é alimentado por uma fonte variável.

A fim de controlar tal fonte e usar suas variações para controlar a saída de C.A., é necessário acrescentar um outro enrolamento de c.c. que tenha um valor constante. Este enrolamento, conhecido como um enrolamento de referência, magnetiza o núcleo em uma direção.

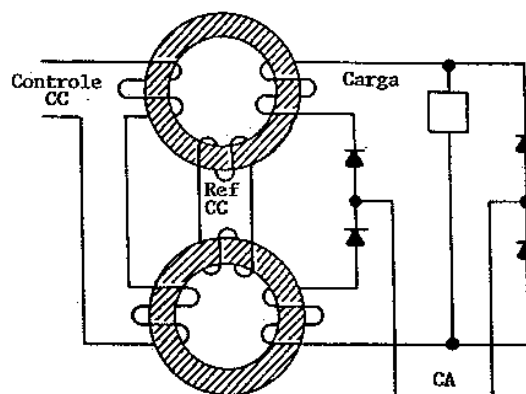


Figura 8-216 Circuito básico pré-amplificador.

VÁLVULAS ELETRÔNICAS

O uso de válvulas nos sistemas eletrônicos e elétricos de aeronaves declinou rapidamente por causa das inúmeras vantagens do uso de transistores. Entretanto, alguns sistemas em

aplicações especiais podem ainda utilizar válvulas em aparelhos equipando aeronaves muito antigas.

Por esta razão, e ainda, porque este assunto tem valor ilustrativo para dar idéia do que ocorreu antes do transmissor, o estudo das válvulas será mantido, aqui, como parte do programa de manutenção de aeronaves.

Originalmente, as válvulas foram desenvolvidas para equipamentos de rádio. Elas eram usadas em rádio-transmissores, como amplificadores, para controlar voltagem e corrente; como osciladores para gerar sinais de áudio e rádio-freqüência e, como retificadores, para converter corrente alternada em corrente contínua.

Válvulas de rádio foram usadas com propósitos semelhantes em muitos dispositivos elétricos de aeronaves, tais como: piloto automático e regulador de “turbo-supercharger”.

Quando um pedaço de metal é aquecido, a velocidade dos elétrons no metal é aumentada. Se o metal for aquecido a temperatura suficientemente elevada, os elétrons são acelerados a um ponto em que alguns deles realmente abandonam a superfície do metal, conforme mostrado na figura 8-217.

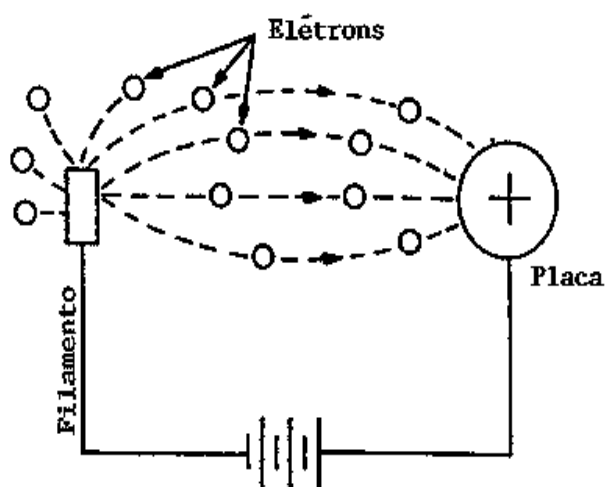


Figura 8-217 Princípio de operação de uma válvula a vácuo.

Numa válvula, os elétrons são fornecidos por um pedaço de metal chamado catodo, que é aquecido por uma corrente elétrica.

Observados determinados limites, quanto mais quente o catodo maior o número de elétrons que serão cedidos ou emitidos. Para aumentar o número de elétrons emitidos, o catodo

é revestido com componentes químicos especiais. Se os elétrons emitidos não são sugados por um campo externo, eles formam uma “nuvem” negativamente carregada ao redor do catodo, chamada carga espacial.

O acúmulo de elétrons perto do emissor repele outros que venham do próprio emissor. O emissor, se isolado, torna-se positivo por causa da perda de elétrons. Isto estabelece um campo eletrostático entre a “nuvem” de elétrons e o catodo agora positivo.

Um equilíbrio é atingido quando apenas elétrons suficientes fluem do catodo para a área em redor dele, para suprir a perda causada pela difusão da carga espacial.

Tipos de válvulas

Existem muitos tipos diferentes de válvulas, das quais a maioria classifica-se em quatro tipos: (1) diodo, (2) triodo, (3) tetrodo e (4) pentodo.

Destas o diodo é usado quase que exclusivamente para transformar corrente alternada em corrente contínua.

Em algumas válvulas, o catodo é aquecido por C.C. e é tanto emissor de elétrons quanto membro condutor de corrente, enquanto em outras o catodo é aquecido por corrente alternada.

Válvulas que se destinam ao funcionamento com C.A. usam um elemento de aquecimento especial que aquece indiretamente o emissor de elétrons (catodo).

Quando um potencial C.C. é aplicado entre o catodo e um outro elemento da válvula chamado de placa, com o lado positivo de voltagem ligado à placa, os elétrons emitidos pelo catodo são atraídos pela placa.

Estes dois elementos constituem a forma mais simples de válvula, que é o diodo. No diodo os elétrons são atraídos pela placa, quando ela é mais positiva do que o catodo, e são repelidos, quando a placa é menos positiva.

A corrente flui através da válvula quando ela é instalada num circuito, somente quando é positiva em relação ao catodo.

A corrente não flui quando a placa é negativa (menos positiva), em relação ao catodo, conforme ilustrado na figura 8-218. Esta característica confere ao diodo seu tipo de uso, seja de retificação ou de transformação de corrente alternada em contínua.

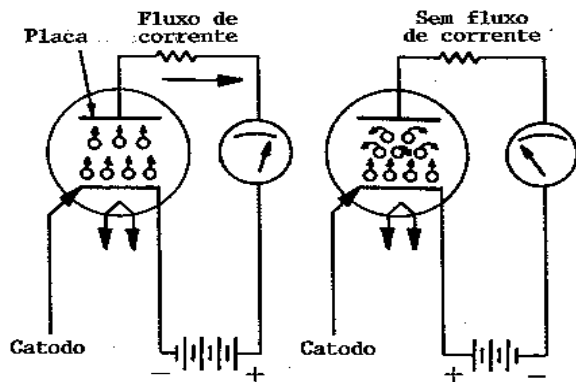


Figura 8-218 Operação de uma válvula diodo.

Diodos retificadores são usados em sistemas elétricos de aeronaves, especialmente quando alta voltagem C.C. é desejada para lâmpadas.

Podem ser usados tanto como retificadores de meia onda ou de onda completa; podem ser usados unitariamente, em paralelo, ou em circuitos-ponte.

Conforme mostrado na figura 8-219, um retificador de meia onda possui válvula de dois elementos (placa e catodo). Uma retificadora de onda completa possui três elementos (duas placas e um catodo).

Num circuito de meia-onda, a corrente flui somente durante a metade positiva do ciclo da voltagem aplicada (placa positiva e catodo negativo, para haver fluxo de elétrons).

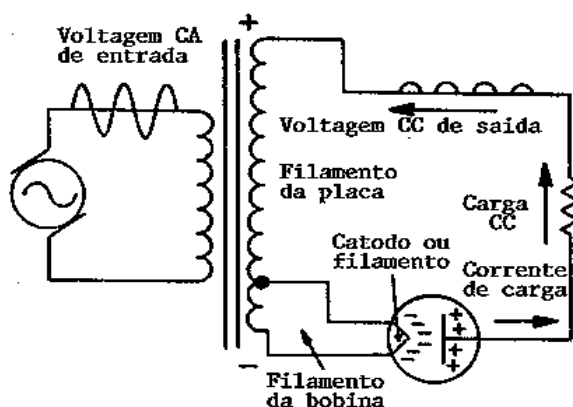


Figura 8-219 Circuito retificador de válvula de meia onda.

Fluem do catodo para a placa e daí através da carga, de volta para o catodo. No ciclo negativo da voltagem aplicada, não há fluxo de corrente através da válvula. Isto resulta em saída

de voltagem retificada (C.C.), mas consiste em pulsos de corrente de meio ciclo.

Numa válvula ligada como retificadora de onda completa, a corrente flui para a carga em ambos os meios ciclos da corrente alternada. A corrente flui da placa superior, através da carga de C.C. numa alternância, e na seguinte a corrente flui para a placa inferior e através da carga na mesma direção.

Válvulas retificadoras foram largamente substituídas em sistemas de aeronaves por discos secos ou diodos semicondutores. No estudo de dispositivos ou aparelhos "solid state", o processo de retificação é tratado detalhadamente.

O triodo é uma válvula de três elementos. Adicionalmente à placa e ao catodo existe um terceiro elemento, chamado grade, localizado entre o catodo e a placa, conforme mostrado na figura 8-220.

A grade é uma malha de fio fino ou tela. Ela serve para controlar o fluxo de elétrons entre o catodo e a placa. Sempre que a grade se torna mais positiva do que o catodo, ocorre um aumento no número de elétrons atraídos pela placa, resultando no aumento do fluxo de corrente de placa. Se a grade se torna negativa em relação ao catodo o movimento de elétrons para a placa é retardado, e o fluxo de corrente de placa diminui.

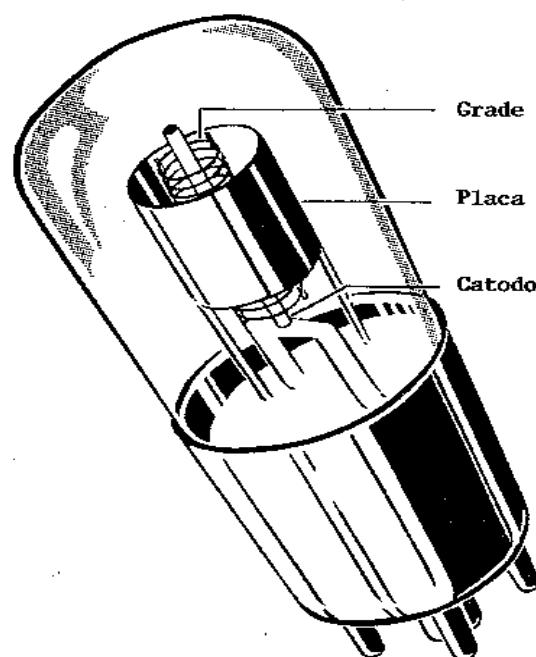


Figura 8-220 Válvula triodo.

Normalmente, a grade é negativa com referência ao catodo. Uma maneira de tornar a grade negativa é usar uma pequena bateria ligada em série com o circuito de grade. Esta voltagem negativa aplicada à grade é chamada de *bias*. O uso mais importante de um triodo é como válvula amplificadora.

Quando uma resistência ou impedância é ligada em série no circuito de placa, a queda de voltagem através dela, que depende da corrente fluindo por ela, pode ser modificada pela variação da corrente de grade.

Uma diminuta mudança na voltagem de grade provocará uma grande mudança na queda de voltagem, através da impedância de placa. Então, a voltagem aplicada à grade é amplificada no circuito de placa da válvula.

Uma válvula tetrodo é uma válvula de quatro elementos, sendo o elemento adicional em relação ao triodo, mais uma grade (*screen grid*) (figura 8-221).

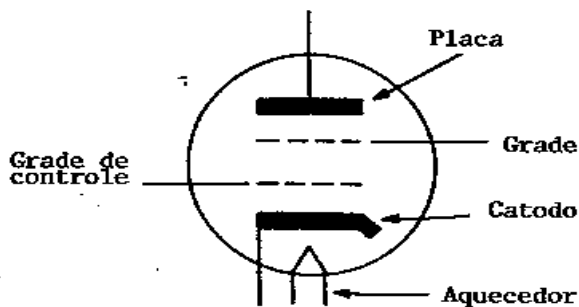


Figura 8-221 Esquema de um triodo.

Esta grade está localizada entre a grade de controle e a placa, e é operada com uma voltagem positiva um pouco mais baixa do que a voltagem de placa.

Ela reduz os efeitos às vezes indesejáveis no funcionamento da válvula, causados pelo retorno de alimentação de energia da saída da válvula para o circuito de entrada (grade).

Sob certas condições de funcionamento esta ação de retorno é muito pronunciada num triodo, e faz com que a válvula haja como um oscilador e não como amplificador. As principais vantagens de tetrodos sobre triodos são: maior amplificação para menores voltagens de entrada; e menos retorno da placa para o circuito de grade.

Uma característica indesejável da válvula tetrodo é a emissão secundária, que é o termo aplicado à condição em que os elétrons são lançados da placa no espaço entre os elementos da

válvula, por seu movimento rápido de colisão com a placa.

Em válvulas triodo, sendo a grade negativa em relação ao catodo, ela repele os elétrons secundários e o funcionamento da válvula não é afetado.

No tetrodo, o efeito da emissão secundária é especialmente perceptível, já que a "*screen grid*", que é positiva em relação ao catodo, atrai os elétrons secundários e provoca uma corrente reversa entre a "*screen grid*" e a placa.

Os efeitos da emissão secundária são evitados quando se acrescenta uma terceira grade, chamada grade supressora, entre a "*screen grid*" e a placa. Esta grade repele os elétrons secundários que se direcionam para a placa.

Uma válvula com três grades é chamada de pentodo, o qual possui um elevado fator de amplificação e é usado para amplificar sinais fracos. O esquema de um pentodo é mostrado na figura 8-222.

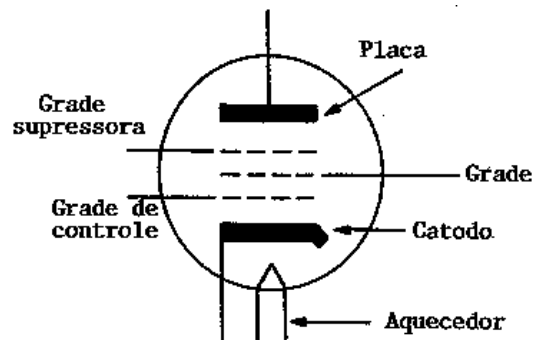


Figura 8-222 Esquema de um pentodo.

Quando um elétron encontra uma molécula de gás, a energia transferida pelo impacto causa à molécula (ou átomo) perda ou ganho de um ou mais elétrons. Consequentemente, a ionização ocorre.

Qualquer gás ou vapor não tendo ions é praticamente um isolante perfeito. Se dois eletrodos forem colocados num meio semelhante, nenhuma corrente fluirá entre eles. Entretanto, os gases sempre têm alguma ionização residual por causa dos raios cósmicos, materiais radioativos nas paredes dos recipientes, ou ação da luz.

Se um potencial for aplicado entre dois elementos entre os quais exista um gás, os ions migram entre eles e proporcionam o efeito de fluxo de corrente. Isto é chamado de corrente escura porque nenhuma luz visível é associada a corrente.

Se a voltagem entre os eletrodos for aumentada, a corrente começa a subir. A determinado ponto, conhecido como limiar, a corrente repentinamente começa a subir sem que a voltagem aplicada seja aumentada. Se houver resistência suficiente no circuito externo, para prevenir que a corrente aumente rapidamente, a voltagem cai imediatamente para um nível menor e ocorre a interrupção. Esta mudança abrupta acontece como um resultado da ionização do gás por choque de elétrons.

Os elétrons liberados pelo gás ionizado formam o fluxo e liberam outros elétrons. O processo é, então, cumulativo. A voltagem de interrupção é determinada basicamente pelo tipo de gás, o material usado como eletrodos e seu tamanho e espaçamento. Uma vez ocorrendo a ionização, a corrente pode aumentar para 50 miliampères ou mais, com pequena mudança na voltagem aplicada.

Se a voltagem for aumentada, a corrente aumentará e o catodo será aquecido pelo bombardeamento de íons que o golpeiam. Quando a válvula torna-se bastante quente, resulta em emissão termoiônica.

Esta emissão reduz a perda de voltagem na válvula, o que, causando mais corrente fluindo, aumenta a taxa de emissão e a ionização. Esta ação cumulativa provoca uma repentina diminuição na queda de voltagem através da válvula e um aumento muito grande no fluxo de corrente; a não ser que a válvula se destine a funcionar desta maneira, ela pode sofrer dano pelo aumento excessivo do fluxo de corrente.

O que é fundamental para a formação de um centelhamento; as válvulas que funcionam com estas correntes elevadas são chamadas de “arc tube”.

Para corrente acima de 50 miliampères, a unidade é normalmente pequena e é denominada válvula incandescente por causa da luz colorida que ela emite. Um exemplo de uma válvula assim é a familiar luz neon.

O princípio do controle de grade pode ser aplicado a quase todas as válvulas a gás, mas é usado especialmente com catodo frio, catodo quente e do tipo “arc tube” de triodos e tetrodos. As do tipo catodo quente, de três elementos, recebem em geral o nome *THYRATRON*.

Um outro tipo especial de válvula a vácuo é a fotoelétrica, que é basicamente a mesma coisa que o diodo simples comentado anteriormente. Ela tem um bulbo vazio de vidro, um

catodo que emite elétrons, quando a luz atravessa a válvula, e uma placa que atrai elétrons, quando uma voltagem é aplicada.

A sensibilidade da válvula depende da frequência ou cor da luz usada para excitá-la e é especificada nesses termos.

Por exemplo, algumas válvulas são sensíveis à luz vermelha, outras a luz azul. Na maioria das válvulas fotoelétricas, o catodo parece um meio cilindro e é revestido com múltiplas camadas de metal raro, césio, cobertas por óxido de césio, que por sua vez, repousa sobre uma camada de prata. A placa tem o formato de um pequeno bastão, e localiza-se no centro do catodo. Outros tipos de válvulas a vácuo incluem aquelas com as características de diversas válvulas incorporadas numa só, conforme mostrado na figura 8-223.

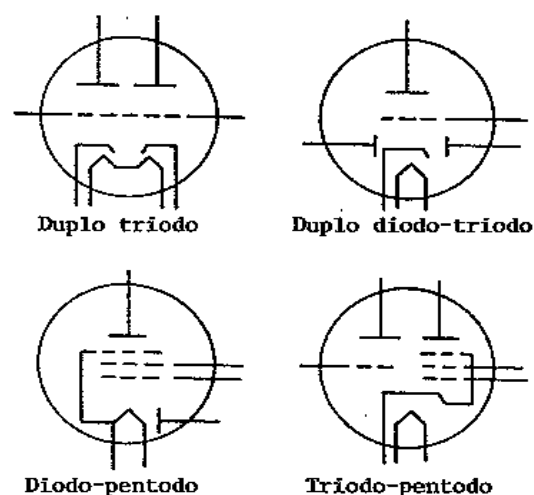


Figura 8-223 Combinações de válvulas.

TRANSISTORES

O transistor é um componente eletrônico que tem a mesma performance de uma válvula a vácuo. Ele é muito pequeno, leve no peso e não requer aquecimento; é também mecanicamente marcado e não acelera a extração de sinal.

Os transistores vêm sendo no geral usados por mais de uma década, mas comparado a alguns dos componentes, eles são relativamente novos.

Um transistor é um semicondutor que pode ser de dois tipos de materiais, cada qual com propriedades elétricas. Os semicondutores são materiais cujas características de resistência encontram-se classificadas entre os bons condutores e isolantes. As interfaces entre as partes do transistor são chamadas de junção. Diodos de

selênio e germânio (retificadores) são exemplos de componentes semelhantes e são chamados diodos de junção.

A maioria dos transistores é feita de germânio, aos quais certas impurezas são acrescentadas para passarem certas características. As impurezas geralmente usadas são arsênio ou “indium”.

O tipo de transistor que pode ser usado em algumas aplicações no lugar da válvula triodo é o transistor de função, o qual atualmente possui duas funções.

Ele possui um emissor, base e coletor que correspondem ao catodo, grade e placa respectivamente, na válvula triodo. Os transistores de função são de dois tipos, o NPN e o PNP. (Olhar figura 8-224).

Teoria de operação de transistor

Antes que a operação de transistor e que o sentido de P e N, possa ser explanado é necessário considerar a teoria de ação do transistor.

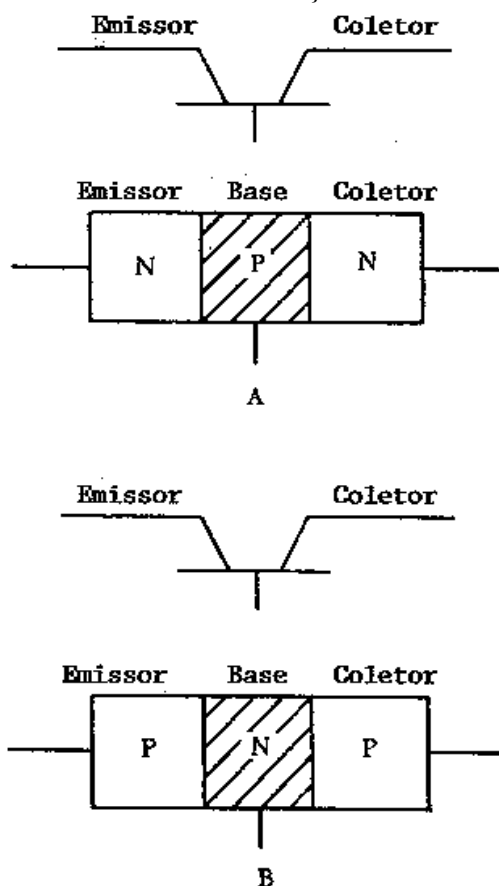


Figura 8-224 Transistores NPN e PNP.

A lacuna é considerada uma carga positiva. Se um elétron de um átomo vizinho move-se, a lacuna não se move realmente; ela é ocupada por outro elétron, e uma outra lacuna é formada. Em “A” da figura 8-225, os elétrons

são representados por pontos pretos, e as lacunas por círculos pontilhados.

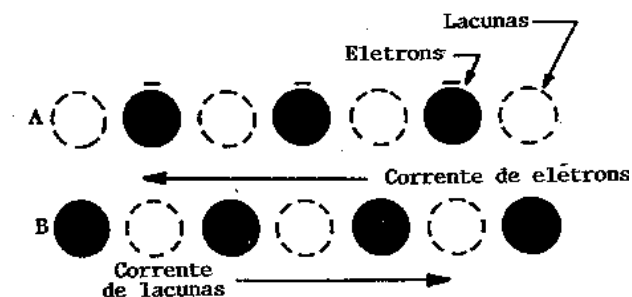


Figura 8-225 Elétrons e lacunas em transistores.

Em “B” da figura 8-225, os elétrons moveram-se de sua posição ocupada em “A”, para o espaço à esquerda em “A” da Figura 8-225. Efetivamente, as lacunas foram movidas um espaço para a direita.

O movimento dos elétrons é uma corrente. Ao mesmo modo, o movimento das lacunas também é corrente. A corrente de elétrons move-se em uma direção; a corrente de lacunas percorre a direção oposta. O movimento da carga é uma corrente. Nos transistores, tanto os elétrons como as lacunas representam a corrente.

Em transistores, os materiais referidos usados são: o material N e o material P. O material N é rico em elétrons e, portanto, funciona como corrente de elétrons. O material P é escasso com relação a elétrons, portanto, funciona como lacunas.

Um transistor NPN não é intercambiável com um transistor PNP e vice-versa. Entretanto, se a fonte de força for revertida, eles podem ser intercambiáveis. Visto que a temperatura é crítica, em um circuito transistorizado deve existir refrigeração para os transistores. Outra precaução que precisa ser tomada para todo circuito transistorizado é: nunca se deve energizar deliberadamente um circuito aberto.

Diodos

A figura 8-226 ilustra um diodo de germânio que consiste de dois diferentes tipos de materiais semicondutores.

Com a bateria conectada, como mostrado, lacunas positivas e elétrons são repelidos pela bateria para a junção, causando uma interação entre as lacunas e elétrons. Isto resulta em um fluxo de elétrons através da junção para as lacunas e para o terminal positivo da bateria.

As lacunas se movem em direção ao terminal negativo da bateria. Isso é chamado de direção avançada, e é uma alta corrente.

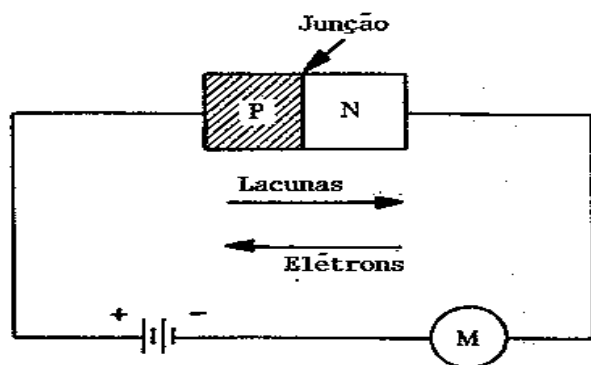


Figura 8-226 Fluxo de elétrons e de lacunas em um diodo com direção avançada.

Conectando a bateria, como mostrado na figura 8-227, causará às lacunas e aos elétrons a atração no caminho da junção, e pequena interação entre elétrons e lacunas ocorre (na junção). Isto resultará em um muito pequeno fluxo de corrente, chamado corrente reversa.

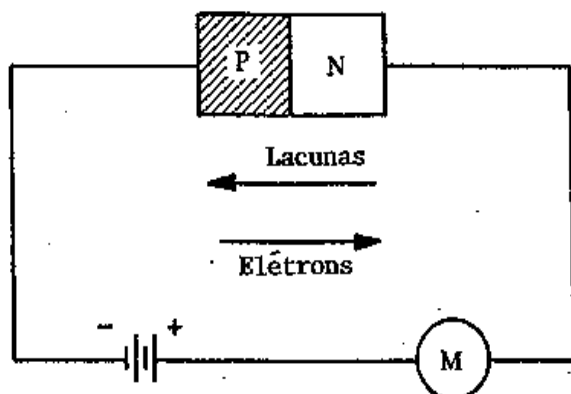


Figura 8-227 Fluxo de elétrons e de lacunas em um diodo com corrente reversa.

O potencial nos eletrodos do diodo transistor, vindo da bateria é chamado "*Bias*". Este movimento pode ser *bias* direto ou reverso, isto é, em direção de uma corrente alta ou na de uma corrente baixa. O elemento N-germânio é fabricado com uma impureza, semelhante ao arsênico contribuindo para ceder o excesso de elétrons.

O arsênico libera os elétrons imediatamente, e pode ser usado como um carregador. O elemento P-germânio tem uma impureza acrescentada como o "*indium*". Isso leva os elétrons germânios e deixa as lacunas, ou cargas positivas.

Diodo "Zener"

Diodo "Zener" (algumas vezes chamado de diodo separador) é usado primariamente para regulagem de voltagem. Eles são designados assim, por abrirem (permitir passar corrente) quando o potencial do circuito é igual ou acima da voltagem desejada.

Abaixo da voltagem desejada, o "Zener" paralisa o circuito do mesmo modo, como qualquer outro diodo polarizado reversamente. Por causa do diodo "Zener", é admitido livre fluxo em uma direção. Quando este é usado em um circuito de corrente alternada devem ser usados dois diodos em posições opostas. Presta-se atenção nas correntes alternadas.

O "Zener" pode ser usado em muitos lugares onde uma válvula não pode ser usada, por ser este de pequeno tamanho e pode ser usado em circuito de baixa voltagem.

A válvula é usada nos circuitos acima de 75 volts, porém o diodo "Zener" pode ser usado em regulagens de voltagens tão baixas quanto 3,5 volts.

Transistor PNP

A figura 8-228 mostra um circuito de transistor, energizado por baterias. O circuito emissor é polarizado pela bateria e, diretamente, com alto fluxo de corrente.

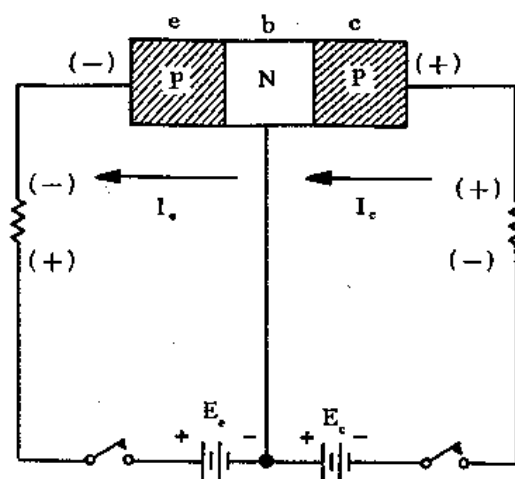


Figura 8-228 Transistor com fluxo de elétrons.

O circuito coletor é polarizado pela bateria e baixo fluxo de corrente.

Se o circuito emissor for fechado (do coletor aberto), uma alta corrente do emissor irá fluir, uma vez que este é polarizado diretamente.

Se o coletor for fechado (do emissor aberto), uma baixa corrente irá fluir, uma vez que este é polarizado na direção reversa.

Ao mesmo tempo, uma corrente de lacunas está fluindo na direção oposta no mesmo circuito, como mostra a figura 8-229. A corrente de lacunas flui do terminal positivo da bateria, ao passo que a corrente de elétrons flui do terminal negativo.

A operação com ambas as chaves fechadas é a mesma como no transistor PNP, exceto que, o emissor agora libera elétrons ao invés de lacunas na base, e o coletor, sendo positivo, irá coletar os elétrons.

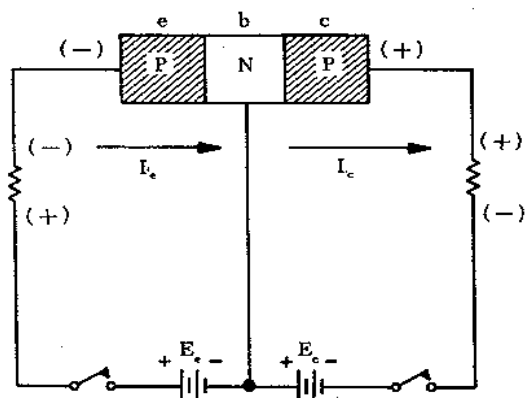


Figura 8-229 Fluxo de corrente de lacunas.

Haverá outra vez um grande aumento na corrente do coletor com a chave do emissor fechada.

Com a chave do emissor aberta, a corrente de coletor será pequena, desde que esteja polarizada inversamente. No primeiro instante deve parecer que o transmissor não pode amplificar, desde que haja menos corrente no coletor do que no emissor. Lembramos, no entanto, que o emissor, é polarizado positivamente, e uma pequena voltagem causa uma grande corrente, equivalendo a um circuito de baixa resistência.

O coletor é polarizado inversamente e uma grande voltagem causa uma pequena corrente, equivalendo a um circuito de alta resistência. Quando ambas as chaves são fechadas, um fenômeno conhecido como ação de transistor ocorre.

O emissor, polarizado diretamente, tem suas lacunas ejetadas através da junção "N" na região de base (o terminal positivo da bateria repele as lacunas através da junção). O coletor, sendo polarizado negativamente, agora atrairá essas lacunas através da junção base para o coletor.

Esta atração de lacunas pelo coletor causaria uma grande corrente reversa se a chave do emissor estivesse aberta. Um grande aumento da corrente reversa do coletor é causada pela então chamada ação do transistor, pelas lacunas do emissor que passam para o coletor. Ao invés das lacunas fluírem através da base e retornarem para o emissor, elas fluirão através do coletor, E_c e E_e para o emissor; a corrente da base é muito pequena.

A soma da corrente do coletor e da base é igual a corrente do emissor. Num transistor típico a corrente do coletor pode ser 80% ou 99% da corrente do emissor, com o restante fluindo através da base.

Transistor NPN

Na figura 8-230, um transistor NPN está conectado no circuito. Nota-se que as polaridades da bateria estão invertidas em relação ao circuito do transistor PNP. Mas com os tipos de materiais do transistor invertidos, o emissor é ainda polarizado diretamente, e o coletor é ainda polarizado reversamente.

Neste circuito, um pequeno sinal aplicado na entrada causa uma pequena mudança nas correntes do emissor e coletor; porém, o coletor sendo uma alta resistência requer somente uma pequena mudança de corrente para voltagem. Por esta razão, um sinal amplificado aparece no terminal de saída.

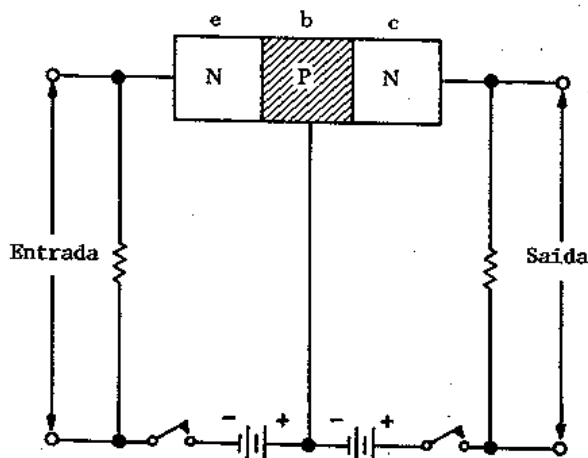


Figura 8-230 Circuito de transistor NPN.

O circuito da ilustração é chamado de amplificador de base comum, porque a base é

comum aos circuitos de entrada e de saída (emissor e coletor).

A figura 8-231 mostra um tipo diferente de circuito de conexão. Este é chamado de amplificador de emissor comum, e é similar ao amplificador triodo convencional. O emissor é como um catodo, a base é como uma grade, e o coletor como uma placa.

O coletor é polarizado por uma corrente reversa.

Se o sinal de entrada estiver no ciclo positivo, como mostra a figura 8-231, isto auxiliará a polaridade, e aumentará a corrente de base e emissor. Isso aumenta a corrente de coletor, tornando o terminal de saída mais negativo.

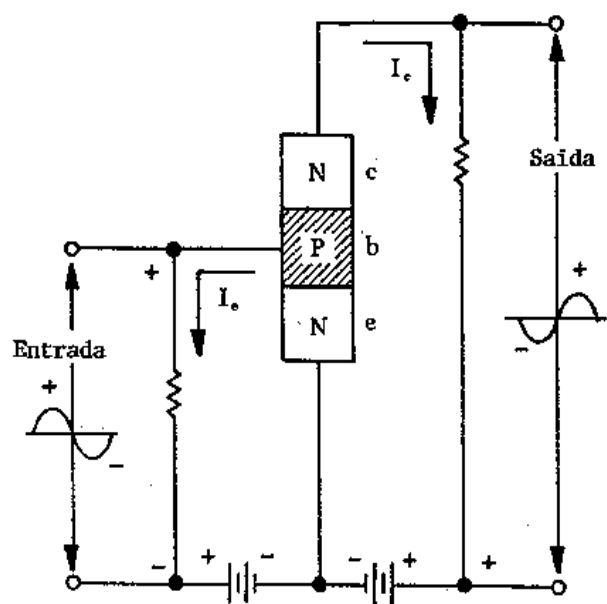


Figura 8-231 Amplificador de emissor comum.

No próximo meio ciclo, o sinal será oposto a polarização e diminuirá a corrente do emissor e do coletor. No entanto, a saída ainda será positiva.

Este estará 180° fora de fase com a entrada, como numa válvula triodo amplificadora.

A corrente de base é uma pequena parte da corrente total do emissor, baseado nisto, somente uma pequena mudança na sua corrente de base causa uma grande mudança na corrente do coletor. No entanto, ele novamente amplifica o sinal.

Este circuito tem maior ganho (relação saída/entrada) entre circuitos amplificadores transistorizados.

Um transistor PNP poderia também ser usado se as polaridades da bateria fossem invertidas.

Uso dos transistores

Os transistores podem ser usados em todas as aplicações onde as válvulas são usadas, dentro de certas limitações impostas pelas suas características físicas.

A principal desvantagem do transistor é sua baixa potência de saída e sua faixa de frequência limitada. No entanto, como eles têm aproximadamente um milésimo do tamanho físico da válvula, eles podem ser usados em equipamentos compactos.

Seu peso é aproximadamente um centésimo da válvula, tornando o equipamento muito leve. Sua vida é aproximadamente três vezes maior do que a de uma válvula, e sua potência requerida é somente cerca de um décimo que de uma válvula.

O transistor pode ser permanentemente danificado pelo calor ou pela polaridade inversa da fonte de alimentação. Por esta razão, cuidados devem ser tomados quando instalados num circuito que tenha estas condições.

Transistores podem ser instalados em soquete de válvula miniatura, ou podem ser soldados diretamente nos circuitos.

Quando se traça o primeiro circuito transistorizado, o problema pode ser a compreensão no esquema, se um transistor é um NPN ou PNP - referência figura. 8-232, que mostra o símbolo esquemático dos dois tipos de transistores. Nota-se uma seta na linha de emissor.

Quando a seta é posicionada fora da base, ele é um NPN, se a seta esta posicionada na direção da base, ele é um transistor PNP.

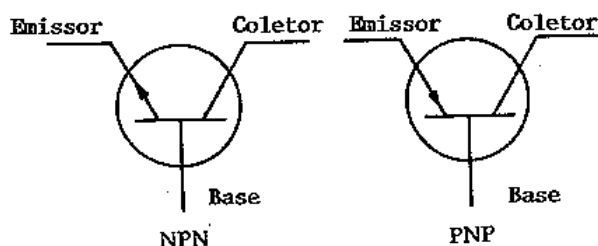


Figura 8-232 Esquema de um transistor.

Uma regra simples para determinar se o transistor é PNP ou NPN é a seguinte: ele é um PNP, se a letra do centro N indicar uma base negativa, ou em outras palavras, que a base conduzirá mais livremente mudanças negativas. Se um transistor é um NPN, o P indica base positiva e o transistor conduzirá mais livremente uma

uma mudança positiva. Como existem diferentes tipos de transistores baseados no método de sua fabricação, existem diversos meios de identificar se o transistor no circuito é NPN ou PNP.

Um método usado para identificar o tipo de transistor, chamado de transistor de junção, está ilustrado na figura 8-233.

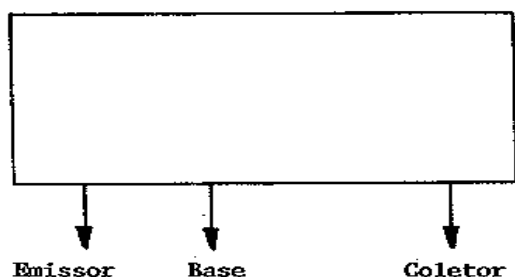


Figura 8-233 Conexão de um transistor de junção.

Neste caso, o método usado para determinar qual dos três terminais conectados ao transistor é a base, qual é o coletor e qual é o emissor, está baseado no espaço físico dos terminais. Existem dois terminais próximos e um terminal mais afastado.

O terminal do centro é sempre a base, e o mais próximo da base é o terminal do emissor; o terminal mais afastado é o coletor.

O diagrama mostrado nesta ilustração é certo para todos os transistores de junção. Para informações detalhadas sobre os transistores, devem ser consultadas as publicações dos fabricantes.

RETIFICADORES

Muitos serviços nas aeronaves requerem altas amperagens e baixa voltagem C.C. para operação.

Esta força pode ser fornecida pelo gerador C.C. do motor, equipamentos moto-geradores, retificadores à vácuo ou retificadores disco-seco ou estado sólido.

Nas aeronaves com sistemas C.A., um gerador C.C. especial não é obrigatório se não houver necessidade da seção de acessórios do motor ter uma peça adicional de conjunto.

Equipamentos de moto-geradores consistindo de motores C.A. refrigerados, que movimentam geradores C.C., eliminam este problema porque eles operam diretamente fora do sistema C.A.

Válvulas a vácuo ou vários tipos de retificadores em estado sólido provêem um simples e eficiente método de obter alta voltagem C.A. a baixa amperagem.

Retificadores a disco de estado sólido são excelentes fontes de alta amperagem e baixa voltagem.

Um retificador é um dispositivo que transforma corrente alternada em corrente contínua, pela limitação de regulação da direção do fluxo de corrente. Os principais tipos de retificadores são os de discos, estado sólido e a válvula a vácuo.

Os retificadores em estado sólido ou semicondutores são rapidamente substituídos por outros tipos, e os retificadores a válvula à vácuo e moto-geradores são limitados aos modelos antigos de aeronaves, a maior parte dos estudos de retificadores são desenvolvidos para os serviços de estado-sólido usados para retificação.

Moto-gerador

Um moto-gerador é um motor C.A. e um gerador de C.C. combinado em uma unidade. Esta combinação é freqüentemente chamada de conversor. Os conversores operam diretamente com voltagem monofásica ou trifásica. Os conversores usados em grandes aeronaves são normalmente operados na trifase, 208 volt do sistema C.A., fornecendo uma corrente contínua de 200 ampères a 30 volts, com uma drenagem de corrente de 28 ampères do sistema C.A.. Unidades similares a aquelas usadas em aeronaves com sistemas C.C. são providas de regulador de voltagem e equipamentos de moto-gerador.

Um motor gerador oferece um número de vantagens como uma fonte de força C.C., na aeronave. Com um moto-gerador, uma interrupção momentânea da força C.A. não corta a força C.C. completamente, devido a inércia da armadura durante a interrupção da força C.A.. Altas trocas de temperaturas afetam o moto-gerador levemente.

Falhas devido ao sobreaquecimento são insignificantes comparadas com aquela do retificador de válvula a vácuo, quando é operado acima da temperatura de segurança. Em adição, um moto-gerador pode ser operado em temperaturas abaixo daquelas requeridas pelos retificadores a disco ou estado sólido.

O grande problema para o moto-gerador é igual ao de todos os equipamentos sujeitos a rotação regular, - uma manutenção considerável, e geram ruídos desagradáveis, especialmente se estiverem na cabine da aeronave.

Por esta razão e por causa do peso, espaço e custo, o moto-gerador é rapidamente trocado por diversas fontes de força em estado sólido.

Retificadores a disco

Os retificadores a disco operam pelo princípio do fluxo da corrente elétrica através da junção de dois materiais condutores não semelhantes, mais rapidamente em uma direção do que na direção oposta.

Isso é verdadeiro porque a resistência ao fluxo de corrente em uma direção é baixa, enquanto na outra direção é alta.

Dependendo do material usado, alguns ampères podem fluir na direção da baixa resistência, porém uns poucos miliampères na direção da alta resistência.

Três tipos de retificadores a disco podem ser encontrados nas aeronaves. O retificador de óxido de cobre, retificador a selenium e o de sulfito de cobre magnésio.

O retificador de óxido de cobre (figura 8-234) consiste de um disco de cobre sobre o qual uma demão de óxido de cobre foi aplicada por aquecimento.

Isto também pode ser feito jateando-se um preparado químico de óxido de cobre sobre a superfície de cobre. Placas de metal, normalmente placas de chumbo, são prensadas contra as duas faces opostas do disco para dar um bom contato.

O fluxo de corrente vai do cobre para o óxido de cobre.

O retificador a selenium consiste de um disco de ferro similar a uma arruela, com um dos lados coberto com selenium. Esta operação é similar a do retificador de óxido de cobre. O fluxo de corrente se dá do selenium para o ferro.

O retificador de sulfito de cobre magnésio é feito de um disco de magnésio em forma de arruela coberto, com uma camada de sulfito (ou sulfato) de cobre. Os discos são colocados de modo semelhante aos dos outros tipos. A corrente flui do magnésio para o sulfito de cobre.

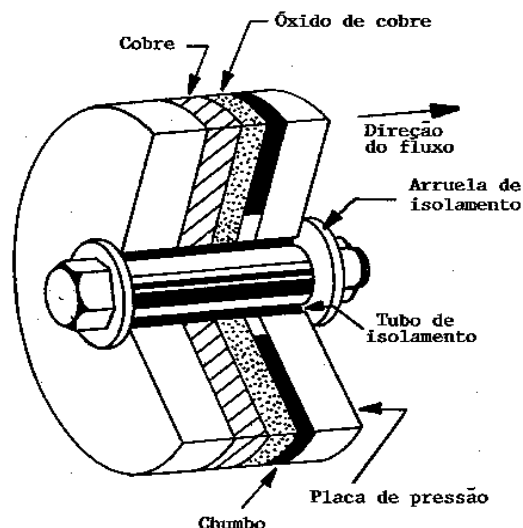


Figura 8-234 Retificador de disco seco de óxido de cobre.

Retificadores de estado-sólido

No estudo dos transistores foi apontado que o diodo de estado-sólido é fabricado de material semicondutor. Ele consiste de material tipo-N e tipo-P unidos a um cristal único. O ponto, ou junção, onde os dois materiais estão em contato é chamado uma junção P-N. Este tipo de semicondutor independentemente de classificação ou tamanho é chamado um diodo junção.

O primeiro tipo de semicondutor usado era chamado de diodo ponto-contato. Ele utilizava um tipo único de material semicondutor, contra o qual um fio de bronze fosfórico ou tungstênio chamado "BIGODE DE GATO" era prensado ou fundido. O diodo ponto-contato tem sido largamente substituído por diodo junção por causa de sua capacidade de corrente de carga limitada. Uns dos mais comuns materiais semicondutores são: o germânio e o silicone. Um típico diodo de junção é mostrado na figura 8-235.

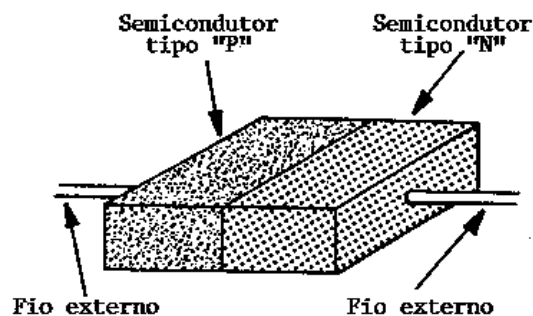


Figura 8-235 Diodo de junção.

Na figura 8-236, o terminal positivo da bateria é conectado para o material semicondutor tipo-P, e o terminal negativo é conectado no tipo-N, este arranjo constitui a polarização direta. As lacunas no material tipo-P são repelidas pelo terminal positivo e se movimentam em direção a junção.

Os elétrons no material tipo-N são repelidos pelo terminal, e igualmente se movimentam em direção a junção. Isto diminui o espaço de carga existente na junção, e o fluxo corrente de elétrons é mantido através do circuito externo.

A corrente no material tipo-P está na forma de lacunas, e no material tipo-N ela é na forma de elétrons.

Se a polarização direta é aumentada, o fluxo de corrente aumentará. Se a polarização direta é aumentada excessivamente, ela causará excessiva corrente. A corrente excessiva aumentará a agitação térmica e a estrutura do cristal quebrará. Um importante fato, vale a pena lembrar, é que todos os mecanismos de estado sólido são sensíveis a temperatura, e serão destruídos se a temperatura for muito intensa.

Se as conexões da bateria mostradas na figura 8-236 são invertidas, o diodo junção é polarizado inversamente. Agora as lacunas são atraídas no sentido do terminal negativo, afastando-se da junção. Os elétrons são atraídos no sentido do terminal positivo, também se afastando da junção.

Isto alarga a região de barreira (ou região de deflexão), aumenta o espaço de carga, e reduz a corrente para uma condição mínima.

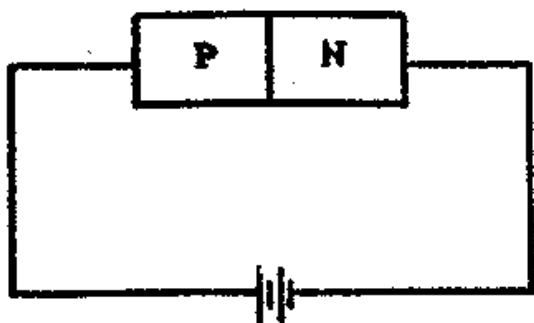


Figura 8-236 Diodo de junção.

Isto possibilita aplicar também uma alta polaridade reversa. Quando isto acontece a estrutura do cristal se quebra.

O símbolo do diodo semicondutor é mostrado na figura 8-237. Nota-se que este é o

mesmo símbolo usado para outros tipos de diodo, como óxido de cobre e retificadores de disco seco de selênio. A polaridade direta, ou alta corrente, é sempre contrária a indicação da seta no símbolo.

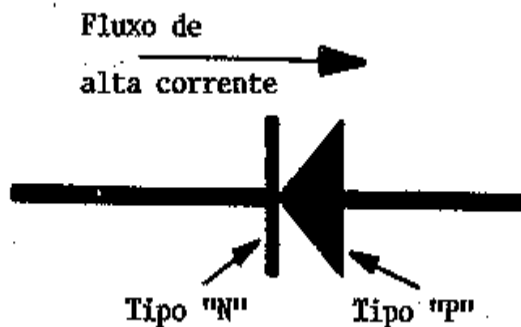


Figura 8-237 Símbolo de diodo semicondutor.

Figura 8-238 mostra uma típica característica de curva para um diodo junção. Como a polaridade direta é aumentada a uma quantidade pequena, o fluxo de corrente aumenta consideravelmente. Por esta razão é dito que dispositivos de estado-sólido são dispositivos operados por corrente, desde que seja fácil medir a grande relatividade de mudança no fluxo de corrente quando comparado a uma pequena mudança na voltagem.

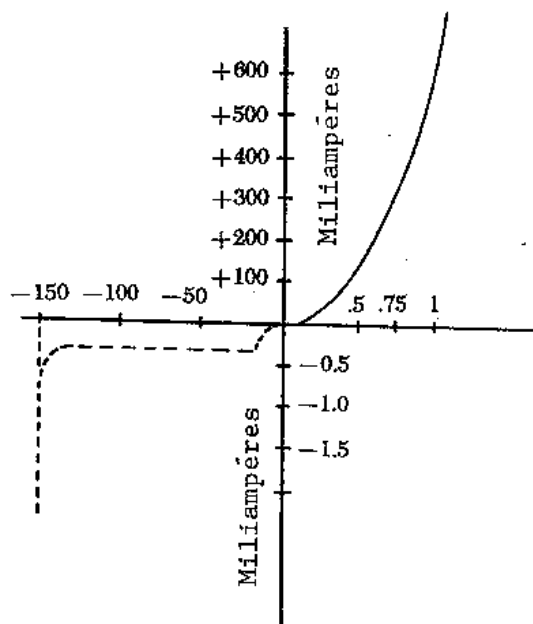


Figura 8-238 Curva característica de um diodo típico de junção.

Com polarização direta aplicada, o diodo mostra uma característica de baixa resistência. De outra forma, com a polarização invertida

aplicada, uma alta resistência passa a existir. A característica mais importante de um diodo é que ele permite fluxo de corrente em uma só direção. Isto permite aos dispositivos de estado sólido serem usados em circuitos retificadores.

Retificação

Retificação é o processo de mudança de corrente alternada para corrente contínua. Quando um semicondutor retificador, semelhante a um diodo junção, é conectado em uma fonte de voltagem de corrente alternada, ele é alternadamente polarizado direto e inverso, em alternância com a voltagem de corrente alternada, como mostrado na figura 8-239.

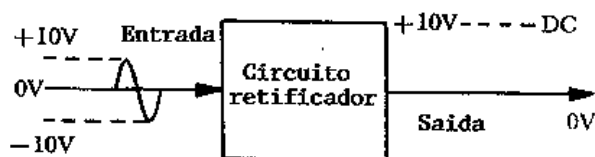


Figura 8-239 Processo de retificação.

Na figura 8-240 um diodo é colocado em série com uma fonte de força de corrente alternada e um resistor carga. Isto é chamado de circuito retificador de meia-onda.

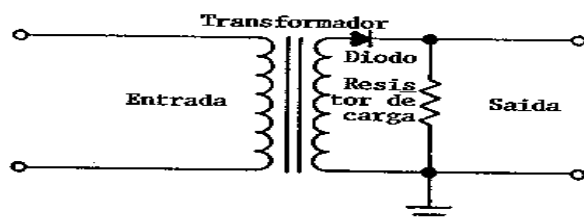


Figura 8-240 Circuito retificador de meia onda.

O transformador provê a corrente alternada de entrada para o circuito; o diodo provê a retificação da corrente alternada; e o resistor-carga serve com os dois propósitos:

- (1) Ele limita a quantidade do fluxo de corrente no circuito para um nível de segurança, e
- (2) Ele desenvolve um sinal de saída para o fluxo de corrente através do mesmo.

Suponhamos que na figura 8-241, o topo secundário do transformador é positivo e o fundo negativo. Desta forma, o diodo é polarizado direto; a resistência do diodo é muito baixa e

flui corrente através do circuito na direção da seta.

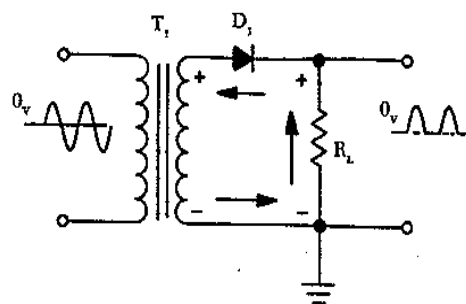


Figura 8-241 Saída de um retificador de meia onda.

A saída através do resistor carga (queda de voltagem) segue a forma de onda da metade positiva da corrente alternada de entrada.

Quando a corrente alternada de entrada segue na direção negativa, o topo do secundário do transformador torna-se negativo e o diodo fica com a polaridade invertida.

Com a polaridade invertida aplicada ao diodo a resistência ao diodo, torna-se muito grande, e o fluxo de corrente através do diodo e do resistor-carga torna-se zero (lembraremos que uma pequeníssima corrente fluirá através do diodo). À saída, a tomada através do resistor, será zero. Se a posição do diodo for invertida, a potencia de saída será de pulsos negativos.

Em um retificador de meia-onda, meio ciclo de potência é produzido através do resistor de carga para cada ciclo completo de potência de entrada. Para aumentar a potência de saída, um retificador de onda completa pode ser utilizado.

A figura 8-242 mostra um retificador de onda completa, o qual é, com efeito, a combinação de dois retificadores de meia-onda combinados em um circuito.

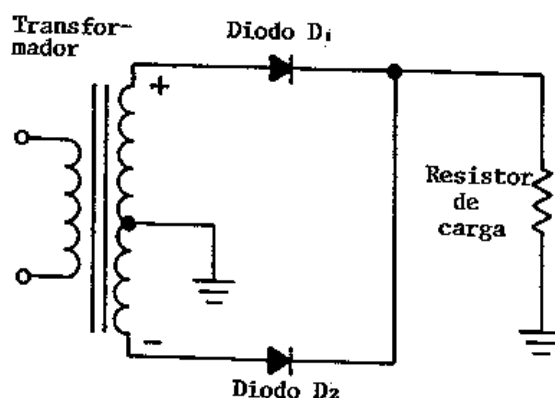


Figura 8-242 Retificador de onda completa.

Nesse circuito, um resistor de carga é utilizado para limitar o fluxo de corrente e desenvolver uma voltagem de saída; dois diodos para proporcionar retificação, e um transformador para fornecer corrente alternada para o circuito.

O transformador, utilizado em circuitos retificadores de onda completa, deve ter derivação central para completar o caminho para o fluxo de corrente através do resistor de carga.

Assumindo as polaridade mostradas no transformador, o diodo D_1 estará polarizado negativamente para adiante, e a corrente irá fluir do “terra” através do resistor de carga, através do diodo D_2 para o topo do transformador.

Quando a corrente alternada muda de direção, o transformador secundário assume uma polaridade oposta.

O diodo D_2 agora terá tendência para frente e a corrente fluirá na direção oposta, a partir do “terra” para o resistor carga, através do D_2 para a metade inferior do transformador.

Quando um diodo está com tendência para frente, o outro está com tendência para traz.

Não importa qual o diodo que esteja com tendência para frente, a corrente fluirá através do resistor de carga na mesma direção; dessa maneira, a saída será uma série de pulsos de mesma polaridade. Revertendo ambos os diodos, a polaridade também será revertida.

A voltagem que é sentida através do retificador quando a tendência reversa está sendo aplicada é sempre referida como “o pico inverso de voltagem”.

Por definição, este é o valor do pico da voltagem instantânea através do retificador durante o meio-ciclo, no qual a corrente não flui ou que está com tendência reversa aplicada.

Se uma voltagem inversa é aplicada, e se ela for muito grande, o retificador será destruído.

O termo “voltagem de quebra” é sempre utilizado ao invés do termo “taxa de voltagem inversa de pico”, mas ambos os termos têm os mesmos significados.

A voltagem de quebra é a voltagem máxima que o retificador pode agüentar enquanto ele não estiver conduzindo (com tendência-reversa); a voltagem de pico inverso é a voltagem que realmente está sendo aplicada ao retificador. Como a voltagem de pico inverso é mais baixa que a voltagem de quebra, não haverá o problema de destruição do retificador.

Ponte de diodos de um circuito retificador

Uma modificação vantajosa do retificador de diodo de onda-completa é o retificador tipo ponte.

O retificador tipo ponte difere do retificador de onda-completa, porque não requer um transformador com derivação central (*center tap*), mas sim dois diodos adicionais.

Para ilustrar como o retificador tipo ponte opera, considera-se uma onda senoidal de entrada que na sua alternância positiva está demonstrada na figura 8-243.

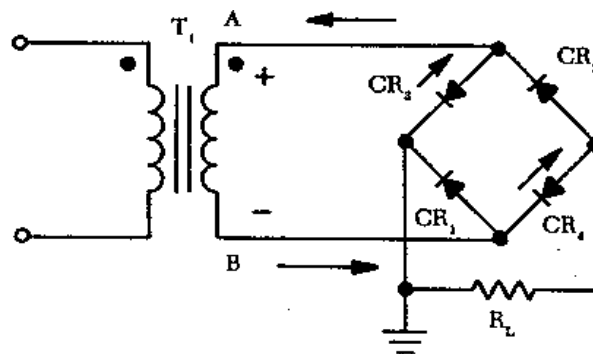


Figura 8-243 Retificador de ponte de diodos.

Com o secundário de T_1 funcionando como a fonte de força do tipo retificador tipo ponte, o ponto “A” é o ponto mais positivo da ponte, enquanto o ponto “B” é o mais negativo. O fluxo de corrente será formado de “B” para “A” através dos diodos que estão com tendência para frente.

Como uma ajuda em descobrir o caminho do fluxo de elétrons, considera-se o circuito tipo ponte redesenhado na figura 8-244.

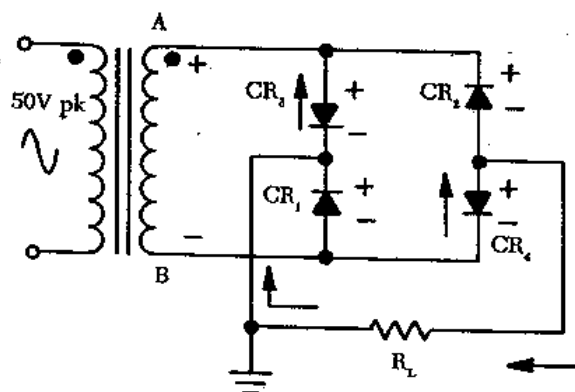


Figura 8-244 Circuito retificador tipo ponte redesenhado.

Os diodos com tendência para frente, CR_2 e CR_4 , são facilmente reconhecidos. A voltagem vai caindo através de cada curva de voltagem conforme indicado. Ainda, na entrada de meio ciclo-positivo CR_3 e CR_4 , ambos estão com tendência para frente, e CR_1 e CR_2 estão com tendência-reversa.

Uma vez que a quebra de voltagem no diodo não foi excedido, a corrente irá fluir a partir do ponto "B" para cima através do CR_4 , fechando o circuito através de R_L . Após a corrente cruzar R_L , ela fluirá para o ponto "A" através do CR_3 .

Nota-se que o fluxo de corrente através de R_L é da direita para a esquerda, ou em relação a polaridade, uma saída de meio-ciclo negativo para uma entrada de meio-ciclo positivo.

Lembre-se que, quando traçando o fluxo de corrente para o meio-ciclo negativo, o fluxo de elétrons através do diodo está contra a flecha simbólica, a partir do negativo para um menos negativo ou ponto positivo. Ainda não se deve confundir quando ao traço do fluxo eletrônico para cima e para fora do ponto comum entre CR_3 e CR_1 . Embora possa parecer, CR_1 e também CR_4 , estão voltados para frente, este não é o caso. O coletor CR_1 é mais negativo que o seu emissor, logo, ele está com tendência para trás.

Desde que, o meio-ciclo negativo, CR_1 e CR_2 , está com tendência para frente, o sinal de saída no meio-ciclo negativo é negativo.

Uma vez que ambos os meios-ciclos, no sinal de entrada, resultem impulsos de saída negativo, o retificador de ponte alcançou o mesmo objetivo que um diodo retificador de onda-completa.

FILTRAGEM

Esta parte do processo de retificação que envolve a conversão de voltagem A.C. em impulso C.C. foi tratada e discutida para válvula, disco-seco e diodos semicondutores.

Para o processo de retificação, de maneira que os pulsos de voltagem são mudados para uma aproximação aceitável de suavidade da DC, envolve um processo chamado filtragem.

Qualquer reatância contrária a mudança na voltagem (ou corrente) armazenando energia e soltando essa energia de volta para o circuito pode ser usado como filtro.

No estudo dos capacitores, foi demonstrado que a capacitância opõem-se a mudança

da voltagem através de seu terminal, armazenando energia no seu campo eletro-estático.

Sempre que a voltagem tende a aumentar, o capacitor converte esta voltagem e a muda para energia armazenada.

Quando a voltagem tende a cair, o capacitor converte essa energia armazenada de volta em voltagem.

O uso de capacitor para filtragem da saída do retificador é ilustrado na figura 8-245.

O retificador é mostrado como um bloco, e o capacitor C_1 é conectado em paralelo com a carga R_1 .

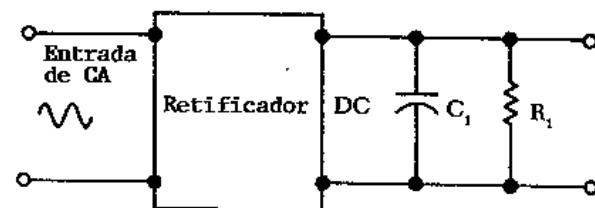


Figura 8-245 Um capacitor usado como filtro.

O capacitor C_1 é escolhido para oferecer impedância muito baixa para a frequência de ondulação da C.A., e uma impedância muito alta para o componente da C.C.

A ondulação de voltagem é desviada para a terra através do caminho de baixa impedância, enquanto a voltagem C.C. é aplicada sem mudança para carga.

O efeito do capacitor na saída do retificador pode ser visto nas formas de onda, mostradas na figura 8-246.

As linhas pontilhadas mostram a saída do retificador, e as linhas sólidas mostram o efeito do capacitor. A saída do retificador de onda completa é mostrada.

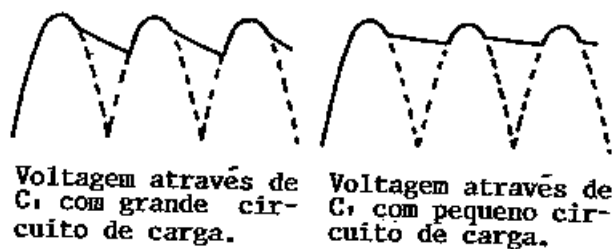


Figura 8-246 Saídas de retificador de meia onda e de onda completa usando um capacitor como filtro.

O capacitor C_1 se carrega quando a voltagem de saída do capacitor tende a aumentar, e

descarrega quando a voltagem através da carga R_1 é mantida quase que constante.

Uma indutância pode ser usada como filtro, uma vez que se opõem à mudança na corrente através dela, armazenando energia no seu campo eletromagnético, quando toda corrente a aumentar.

Quando a corrente através do indutor tende a diminuir, o indutor supre a energia para manter o fluxo da corrente.

O uso de um indutor para filtragem da saída de um retificador é apresentado na figura 8-247.

Nota-se que o indutor L_1 está em série com a carga R_1 .

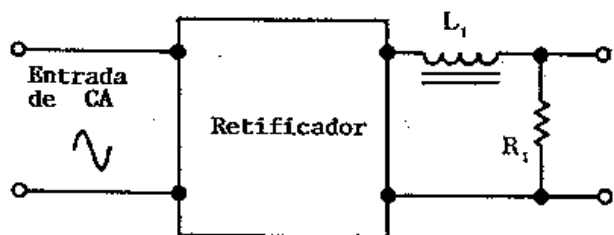


Figura 8-247 Um indutor usado como filtro.

A indutância L_1 é selecionada para oferecer alta impedância para uma ondulação (“*ripple*”) de voltagem C.A. e baixa impedância para a componente de C.C.

Consequentemente, para uma (“*ripple*”) ondulação de C.A., uma alta queda de voltagem ocorre através do indutor e uma pequena queda de voltagem ocorre através da carga C_1 para a componente de C.C., de modo que, uma pequena queda ocorre através do indutor e uma muito alta queda de voltagem ocorre através da carga.

O efeito de um indutor na saída do retificador de uma onda completa na forma da onda de saída é mostrado na figura 8-248.



Figura 8-248 Saída de um indutor como filtro de retificador.

Nota-se que a oscilação foi atenuada (reduzida) na saída de voltagem.

Capacitores e indutores são combinados de vários modos para prover uma filtragem mais satisfatória que possa ser obtida com um simples capacitor ou indutor. Estes são chamados comumente como “filtros LC”.

Muitas combinações são mostradas esquematicamente na figura 8-249. Nota-se que o tipo “L” ou o “L” invertido, e o filtro tipo T, assemelham-se esquematicamente as letras correspondentes do alfabeto.

O tipo π assemelha-se a letra grega pi (π), esquematicamente.

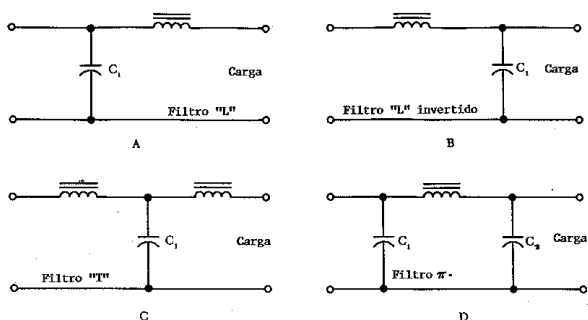


Figura 8-249 Filtros “LC”.

Todas as seções filtro mostradas são similares; as indutâncias estão em série e as capacitâncias estão em paralelo com a carga. A indutância precisa, conseqüentemente, oferecer uma impedância muito alta, e os capacitores uma impedância muito baixa para a frequência de oscilação. Desde que a frequência de oscilação é comparativamente baixa, as indutâncias nas bobinas de núcleo de ferro são de altos valores de indutância (muitos Henry).

Como eles oferecem alta impedância para uma oscilação de frequência, estas bobinas são chamadas **CHOKES**. Os capacitores precisam também ser de valores altos (muitos micro farads), para oferecer pouca oposição para oscilações de frequências. A voltagem através do capacitor é C.C. Os capacitores eletrolíticos são frequentemente usados como filtros a capacitores. A polaridade correta em conexão de capacitores eletrolíticos precisa sempre ser observada.

Adicionalmente, os filtros podem estar combinados para melhorar a ação de filtragem.

Filtros L.C. também são classificados de acordo com a posição do capacitor e indutor. Um filtro de capacitor de entrada é um, em que, o capacitor está conectado diretamente através dos terminais de saída do retificador. Um filtro de **CHOKES** de entrada é um, em que, um **CHOKES** precede o capacitor filtro.

Se for necessário aumentar a voltagem aplicada para mais do que um simples retificador pode tolerar, a solução usual é empilhá-los. Estes retificadores são similares aos resistores acrescentados em série.

Em cada resistor cairá uma porção da voltagem aplicada, menor que a voltagem total. A mesma teoria aplica-se aos retificadores acrescentados em série, ou empilhados. Empilhamentos em série aumentam a razão da voltagem.

Se, por exemplo, um retificador for destruído por uma aplicação de voltagem excessiva de 50 volts, e para ser usado num circuito com uma aplicação de voltagem de 150 volts, o empilhamento de diodos pode ser usado. O resultado é mostrado na figura 8-250.

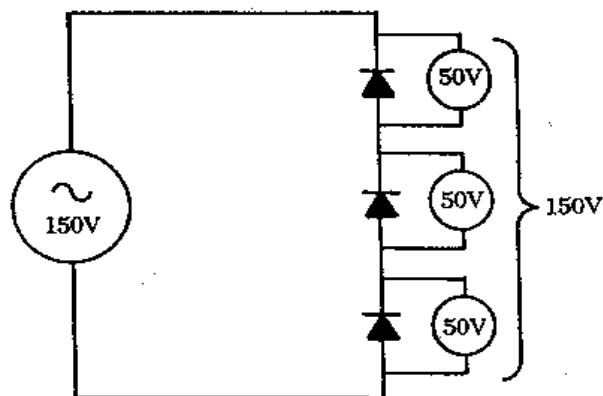


Figura 8-250 Empilhamento de diodos em um circuito.

Identificação de diodos semicondutores

Existem muitos tipos de diodos semicondutores em uso hoje em dia, e muitos métodos são usados para identificar o emissor e o coletor. Os três seguintes métodos mais comuns são usados para identificar o emissor e o coletor:

O primeiro é colocar um pequeno ponto próximo ao terminal emissor ("A" da figura 8-251). O segundo método é estampar o símbolo do retificador na capa do diodo ("B" da figura 8-251).

Um terceiro método usado muito frequentemente é colocar o código de cores ("C" da figura 8-251). Frequentemente, o código de cores usado é o mesmo código de cores para os resistores.

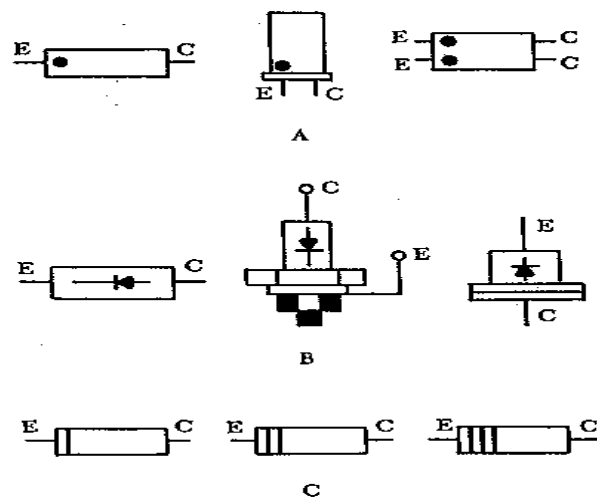


Figura 8-251 Identificação de diodos.

Um diodo muito comum é o 1N 538. O "1N" indica que existe somente uma junção PN, ou que este dispositivo é um diodo.

O número que se segue, normalmente indica a sequência de fabricação. Isto é: o 1N 537 foi desenvolvido antes do 1N 538, que pode ser um modelo melhorado de um 1N 537, ou pode ser um diodo totalmente diferente como um todo.

INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO C.A.

Um medidor C.C., como um ohmímetro, conectado num circuito C.A. indicará zero, porque a bobina móvel do ohmímetro que transporta corrente para ser medida está localizada num campo magnético permanente.

Como o campo magnético permanece constante e na mesma direção todo o tempo, o movimento da bobina segue a polaridade da corrente. A bobina tenta mover-se numa direção durante a mesma do ciclo C.A., e na direção contrária durante a outra metade, quando a corrente inverte.

A inversão da direção da corrente é meio rápida para a bobina seguir uma posição média. Desde que a corrente seja igual e oposta durante cada metade de um ciclo C.A., a direção da corrente medida indica zero, cujo valor é a média; deste modo, um medidor com um magnetismo permanente não pode ser usado para medir voltagem e corrente alternada.

De qualquer modo, o medidor de magnetismo permanente D'Arsonval pode ser usado para medir corrente alternada e voltagem, se a corrente que passa através do medidor é primei-

ramente retificada, isto é, modificada de corrente alternada para corrente contínua.

Retificador C.A. medidor

Os retificadores de óxido de cobre são geralmente usados com o medidor de C.C. D'Arsonval, movimentando para medir correntes e voltagens alternadas; desta forma, existem muitos tipos de retificadores que podem ser usados, alguns dos quais estão incluídos na discussão de sistemas alternadores.

Um retificador de óxido de cobre permite que a corrente flua através do medidor em somente uma direção.

Como mostrado na figura 8-252, o retificador de óxido de cobre consiste de discos de óxido de cobre separados, alternadamente, por discos de cobre, e apertados juntos como uma simples unidade.

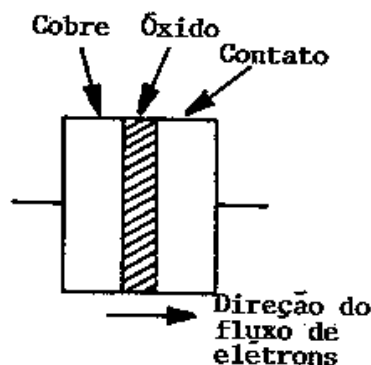


Figura 8-252 Retificador de óxido de cobre.

A corrente flui mais prontamente do cobre para o óxido de cobre que do óxido de cobre para o cobre.

Quando a C.A. é aplicada, consequentemente a corrente flui em uma única direção, produzindo uma pulsação de C.C. de saída, como mostrado pela forma da onda de saída, na figura 8-253. Esta corrente pode, neste caso, ser medida como fluxo através do movimento do medidor.

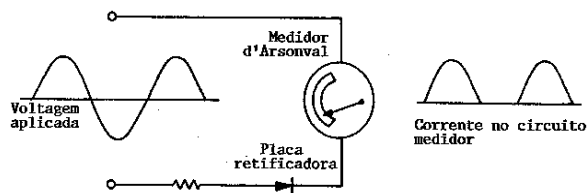


Figura 8-253 Circuito de retificador de meia onda.

Em alguns medidores C.A., válvulas retificadoras ou retificadores de selênio, são usados no lugar do retificador de óxido de cobre. O princípio de operação, desta forma, é sempre o mesmo em todos os medidores que usam retificadores.

Movimento do medidor eletrodinamômetro

O medidor eletrodinamômetro pode ser usado para medir voltagem e corrente contínua ou alternada.

Ele opera com os mesmos princípios do medidor de bobina móvel de magnetismo permanente, exceto quando o magnetismo permanece, e é trocado por um eletromagneto de núcleo a ar.

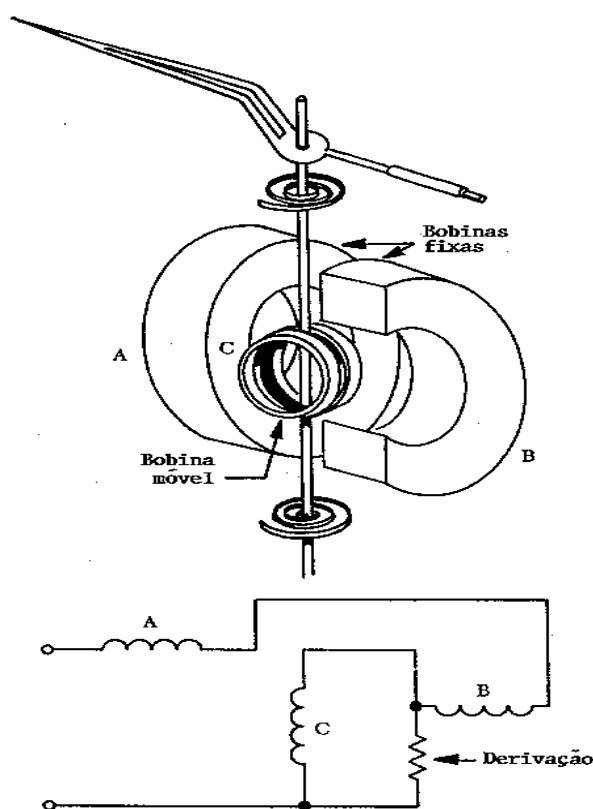


Figura 8-254 Diagrama simplificado do movimento de um eletrodinamômetro.

O campo do medidor eletrodinamômetro é desenvolvido pela mesma corrente que flui através da bobina móvel (veja a figura 8-254).

Num medidor eletrodinamômetro, duas bobinas de campo estacionário são conectadas em série com a bobina móvel. A bobina móvel é unida como eixo central e gira dentro do campo estacionário das bobinas.

Uma mola espiral fornece a força restauradora para o medidor, e também introduz corrente para a bobina móvel.

Quando a corrente flui através do campo das bobinas “A” e “B” e da bobina móvel “C”, a bobina “C” gira em oposição a mola e posiciona-se paralela ao campo da bobina.

Quanto mais corrente flui através das bobinas, mais se movimenta a bobina que supera a oposição da mola e move para o ponto mais distante através da escala.

Se a escala é propriamente calibrada e um adequado “SHUNT” ou multiplicador é usado, o movimento do dinamômetro indicará corrente ou voltagem.

Embora os eletrodinômetros sejam muito precisos, eles não têm a sensibilidade do medidor D’Arsonval e, por esta razão, não são largamente usados fora do laboratório.

Amperímetro eletrodinômetero

No amperímetro eletrodinômetero, a baixa resistência da bobina produz somente uma pequena queda de voltagem no circuito medido. Um “shunt” indutivo é conectado em série com a bobina de campo. Este “shunt”; similar a resistência “shunt” usada em amperímetros de C.C., permite, somente parte da corrente sendo medida, fluir através das bobinas.

Como no amperímetro de corrente contínua, a maior parte da corrente do circuito flui através do “shunt”; mas a escala está calibrada de acordo, e o medidor lê a corrente total.

Um amperímetro C.A. igual ao amperímetro C.C., é conectado em série com o circuito no qual a corrente é medida.

Os valores efetivos são indicados pelo medidor. Um diagrama esquemático de um circuito do amperímetro eletrodinômetero é mostrado na figura 8-255.

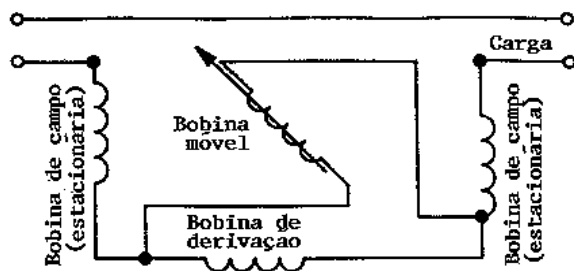


Figura 8-255 Circuito de um amperímetro eletrodinômetero.

Voltímetro eletrodinométrico

No voltímetro eletrodinométrico bobinas de campo são enroladas com várias voltas de fio fino. Aproximadamente 0.01 ampère de corrente flui através de ambas as bobinas e é requerido para operar o medidor.

Resistores de um material não indutivo, conectado em série com as bobinas, são usados em diferentes faixas de voltagem. Os voltímetros são conectados em paralelo através da unidade na qual a voltagem deve ser medida. Os valores das voltagens indicadas são valores efetivos. Um diagrama esquemático de um voltímetro eletrodinométrico é indicado na figura 8-256.

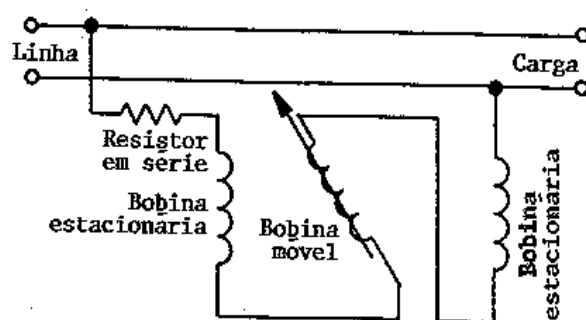


Figura 8-256 Circuito de um voltímetro eletrodinômetero.

Medidor de aleta de ferro móvel

O medidor de aleta de ferro é outro tipo básico de medidor, que pode ser usado tanto para medir C.A. ou C.C., diferente do medidor D’Arsonval, o qual emprega magnetos permanentes, e depende do magnetismo induzido para sua operação.

Utiliza-se o princípio da repulsão entre duas aletas concêntricas de ferro, uma fixa e outra móvel, colocadas dentro de um solenóide conforme mostrado na figura 8-257. O ponteiro está fixado à aleta móvel.

Quando a corrente flui através da bobina, as duas aletas de ferro ficam magnetizadas com os pólos norte na sua extremidade superior e os pólos sul na sua extremidade inferior para uma direção de corrente através da bobina. Uma vez que os pólos iguais se repelem a componente desbalanceada de força, tangente ao elemento móvel, faz com que ela gire contra a força exercida pelas molas.

A aleta móvel é de forma retangular, e a aleta fixa é afilada. Este desenho permite o uso de uma escala relativamente uniforme.

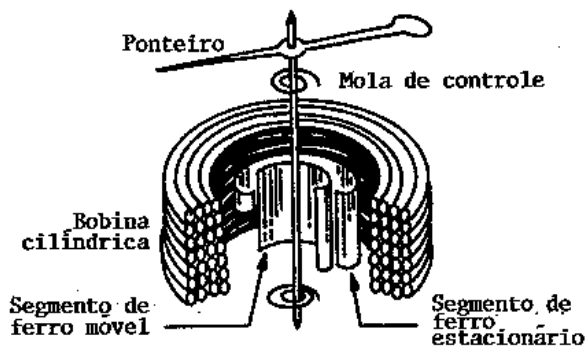


Figura 8-257 Medidor de aletas móveis de ferro.

Quando nenhuma corrente flui através da bobina, a aleta móvel é posicionada de maneira que esteja oposta à porção maior da aleta fixa afilada, e a escala chegará a zero.

A quantidade de magnetização das aletas depende do campo de força, que por sua vez, depende da quantidade de corrente fluindo através da bobina. A força de repulsão é maior quando oposta a extremidade maior da aleta fixa, do que a da extremidade menor que está mais perto.

Ainda, as aletas móveis seguem na direção da extremidade menor através de um ângulo que é proporcional a magnitude da corrente da bobina. O movimento cessa quando a força de repulsão está equilibrada pela força de retração da mola.

Uma vez que a repulsão está sempre na mesma direção (através da extremidade menor da aleta fixa) não importando a direção do fluxo da corrente através da bobina, o instrumento de medição de aletas móveis de ferro opera tanto em correntes contínuas (C.C.) como em correntes alternadas (C.A.).

Um mecanismo de amortecimento, neste tipo de instrumento, pode ser obtido pelo uso de uma aleta de alumínio presa ao eixo, de maneira que, quando o eixo se move, a aleta se move num espaço de ar restrito.

Quando um medidor de aletas de ferro móvel é projetado para ser usado como um amperímetro, a mola é enrolada relativamente com poucas voltas de um fio mais grosso, para que carregue a corrente especificada.

Quando este medidor de aletas de ferro móvel é projetado para atuar como voltímetro, o

solenóide é enrolado com mais voltas de fio fino.

Voltímetros portáteis são fabricados com resistência em série auto contidas que variam até 750V. Maiores faixas são obtidas pelo uso de multiplicadores externos adicionais.

O instrumento de aleta de ferro móvel pode ser usado para medir corrente contínua, mas tem um erro devido ao magnetismo residual nas aletas. O erro pode ser minimizado revestindo-se as conexões do medidor, e fazendo uma média das leituras.

Quando usados em circuitos de correntes alternadas, ou seja, circuitos C.A., o instrumento tem uma precisão de 0,5 por cento.

Por causa de sua simplicidade, ele tem um custo relativamente baixo, e o fato de que nenhuma corrente é conduzida no elemento móvel, faz com que este tipo de movimento seja usado extensivamente para medir corrente e voltagem em circuito C.A. de potência.

Entretanto, por causa da reatância magnética do circuito ser alta, o medidor de aletas de ferro móvel requer muito mais potência para produzir deflexão completa de escala, do que é requerida pelo medidor D'Arsonval da mesma faixa. O medidor de aletas de ferro móvel é raramente usado em circuitos de alta resistência e baixa potência.

Medidor de aletas de ferro com bobina inclinada

O princípio do mecanismo de aletas de ferro móvel é aplicado ao tipo de medidor de mola inclinada, que pode ser usado tanto para medir C.A. ou C.C.

A mola inclinada com medidor de aleta de ferro tem uma bobina montada em ângulo com o eixo. Fixada obliquamente ao eixo, e localizada dentro da bobina, existem duas aletas de ferro doce. Quando nenhuma corrente flui através da bobina, uma mola de controle segura o falso ponteiro para zero, e as aletas de ferro permanecem em planos paralelos ao plano da bobina.

Quando uma corrente flui através da bobina, as aletas tendem a alinhar-se com as linhas magnéticas que passam através do centro da bobina, em ângulos retos com o plano da própria bobina. As aletas giram contra a ação da mola para mover o ponteiro sobre a escala.

As aletas de ferro tendem a se alinhar com as linhas magnéticas, não importando a direção do fluxo da corrente através da bobina. No entanto, o medidor de aleta de ferro de bobina inclinada, pode ser usado para medir, corrente alternada e corrente contínua.

O disco de alumínio e o freio magnético proporcionam amortecimento (“*damping*”) eletromagnético.

Como o medidor de aleta de ferro móvel, o tipo bobina inclinada requer, relativamente, uma grande quantidade de corrente para deflexionar completamente a escala, e é raramente usado em circuitos de alta resistência e baixa potência.

Quando em instrumento de aleta móvel, a bobina inclinada do instrumento é enrolada com poucas voltas de fio grosso, quando usado como medidor de corrente (amperímetro); e com muitas voltas de fio fino, quando usado como medidor de voltagem (voltímetro).

Medidor de par termoeletrico

Se os terminais ligados a dois metais diferentes são soldados juntos, e esta junção é aquecida, surgirá uma voltagem C.C. entre os dois terminais.

Esta voltagem depende do tipo de material que os terminais são fabricados e da diferença de temperatura entre a junção e os referidos terminais.

Em alguns instrumentos, esta junção é aquecida eletricamente por um fluxo de corrente através do elemento aquecedor. Não há problema se a corrente for contínua ou alternada, porque o efeito de aquecimento independe da direção da mesma.

A corrente máxima que pode ser medida depende da razão de corrente do aquecimento, o calor que o par térmico pode operar sem ser danificado, e da faixa de corrente do medidor usado com o par térmico. A voltagem também pode ser modificada se um resistor de carga for colocado em série com os terminais aquecidos.

Para aplicação desses medidores D’Arsonval, ele é usado com um fio resistivo que emana calor, como mostra a figura 8-258.

Um fluxo de corrente através da resistência produz um calor que é transferido para o ponto de contato gerando uma c.m.f., que causa um fluxo de corrente através do medidor.

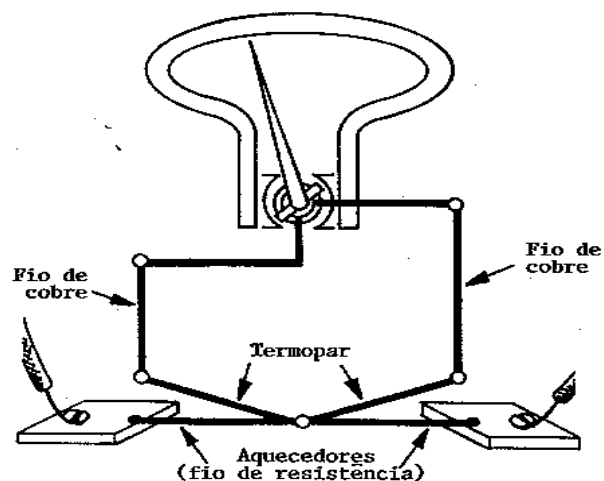


Figura 8-258 Diagrama simplificado de um medidor de termopares (thermo-couple).

A bobina do instrumento roda, e faz com que o ponteiro indicador se mova numa escala inclinada. A quantidade de movimento é proporcional a quantidade de calor, que varia de acordo com a corrente. Os pares-térmicos são usados extensivamente para medições de C.A.

Medidores de variação

Multiplicando-se voltagem por amperagem num circuito de corrente alternada, temos uma potência aparente: a combinação dessa potência verdadeira, que é a realização de trabalho com a potência reativa, que não realiza trabalho, retorna para a linha.

A potência reativa é medida em unidades de VARS (volt-ampères reative, abreviado KVAR).

Quando apropriadamente conectado, medem a potência reativa. Tais instrumentos são chamados de variômetros. A ilustração da figura 8-259 mostra um variômetro conectado num circuito C.A.

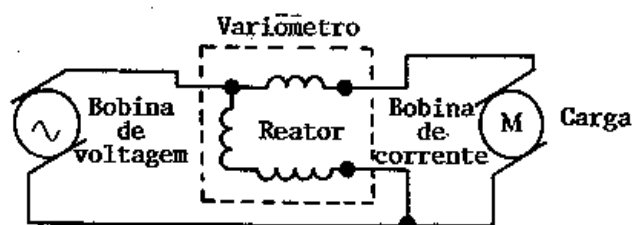


Figura 8-259 Variômetro conectado em um circuito de CA.

Medidores de potência (watímetros)

A potência elétrica é medida por um watímetro. Devido a potência elétrica ser o produto da corrente com a voltagem, um watímetro precisa ter dois elementos, um para a corrente e outro para a voltagem como mostrado na figura 8-260.

Por esta razão os watímetros são normalmente do tipo eletrodinamômetro.

A bobina móvel, com uma resistência em série, forma o elemento de voltagem; e a bobina fixa constitui o elemento de corrente. A intensidade do campo, ao redor da bobina de potencial, depende da quantidade de corrente que flui através dela.

A corrente ao redor depende da voltagem aplicada a carga através da bobina e da alta resistência em série com ela. A intensidade do campo ao redor da bobina de corrente, depende da quantidade de corrente fluindo através da carga.

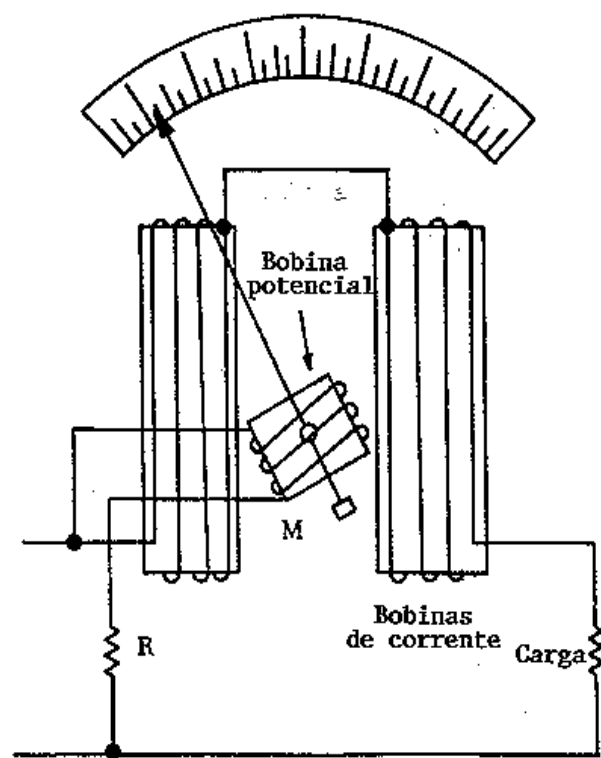


Figura 8-260 Circuito de watímetro eletrodinamômetro simplificado.

Então, a deflexão do medidor é proporcional ao produto da voltagem através da bobina de potencial e da corrente através da bobina de corrente. Este efeito é quase igual (se a escala estiver devidamente calibrada) como se a voltagem e a corrente aplicadas a carga fossem multiplicados juntos.

Se a corrente da linha for revertida, a direção da corrente em ambas as bobinas e a bobina de potencial são revertidas, o resultado é que o ponteiro continuará a marcar a leitura no alto da escala. Então, este tipo de watímetro pode ser usado para medir potência tanto C.A. quanto C.C.

MEDIDORES DE FREQUÊNCIA

Os equipamentos de corrente elétrica alternada são destinados a operar em uma dada faixa de frequência.

Em alguns casos, o equipamento é destinado a operar somente em uma frequência em particular, como é o caso dos relógios elétricos ou chaves temporizadoras. Por exemplo, relógios elétricos são comumente destinados a operar em 60 CPS. Se a frequência cair a 59 CPS, o relógio perderá um minuto a cada hora.

Transformadores e máquinas C.A. são destinados a operar em uma frequência específica. Se o suprimento de frequência falhar em mais do que 10 por cento do valor da frequência, o equipamento pode drenar corrente em excesso e poderá resultar dano devido a superaquecimento. Portanto, faz-se necessário um controle de frequência dos sistemas de potência elétrica.

Os medidores são usados para indicar a frequência, bem como medidas corretivas, que podem ser tomados, se a frequência variar além dos limites previstos.

Os medidores de frequência são projetados de tal forma que não são afetados pela variação da voltagem.

Devido aos sistemas C.A. serem projetados para operar normalmente em uma frequência em particular, a faixa de operação do frequencímetro pode ser reduzida para poucos ciclos de variação, em ambos os lados da frequência de operação dos sistemas.

Existem diversos tipos de medidores de frequência, incluindo os tipos "vibrating-reed", bobina fixa, com bobina móvel, bobina fixa e disco móvel e circuito ressonante.

Desses apresentados, o do tipo "vibrating-reed" é o frequentemente mais usado nos sistemas de aeronaves, e é discutido em alguns detalhes mais adiante.

Medidor de frequência tipo “vibrating-reed”

Este tipo de medidor de frequência é o mais simples indicador de frequência de uma fonte C.A. Um diagrama simplificado de um deles é mostrado na figura 8-261.

O fluxo da corrente, cuja frequência será medida através da bobina, exerce máxima atração na armadura de ferro doce duas vezes em cada ciclo (“A” da figura 8-261).

A armadura é conectada a barra, que é montada num suporte flexível. Palhetas de dimensões adequadas, para ter uma frequência natural de vibração de 110, 112, 114 e assim por diante até 130 CPS, são mostradas na barra (“B” da figura 8-261).

O fluxo da corrente, cuja frequência será medida através da bobina, exerce máxima atração na armadura de ferro doce duas vezes em cada ciclo (“A” da figura 8-261). A armadura é conectada a barra, que é montada num suporte flexível.

Palhetas de dimensões adequadas, para ter uma frequência natural de vibração de 110, 112, 114 e assim por diante até 130 CPS, são mostradas na barra (“B” da figura 8-261).

A palheta que tem a frequência de 110 CPS é marcada “55” ciclos. A que tem a frequência de 130 CPS é marcada “65” CPS. A que tem a frequência de 120 CPS é marcada “60” CPS, e assim por diante.

Em alguns instrumentos as palhetas são iguais no comprimento, porém, possuem quantidades diferentes de peso no topo, tanto que elas terão uma razão natural de vibração diferente.

Quando a bobina é energizada com uma corrente tendo uma frequência entre 55 e 65 CPS, todas as palhetas são vibradas levemente, porém, a palheta que tem a frequência natural para esta faixa, a qual a corrente energizou (cuja frequência é para ser medida) vibrará em grande amplitude.

A frequência é lida no valor da escala oposta a palheta que tem a maior amplitude de vibração.

Uma vista final das palhetas é mostrada no painel indicador (“C” da figura 8-261). Se uma corrente energizadora tem uma frequência de 60 CPS, a palheta marcada “60” CPS vibrará mais do que as outras, como mostrado.

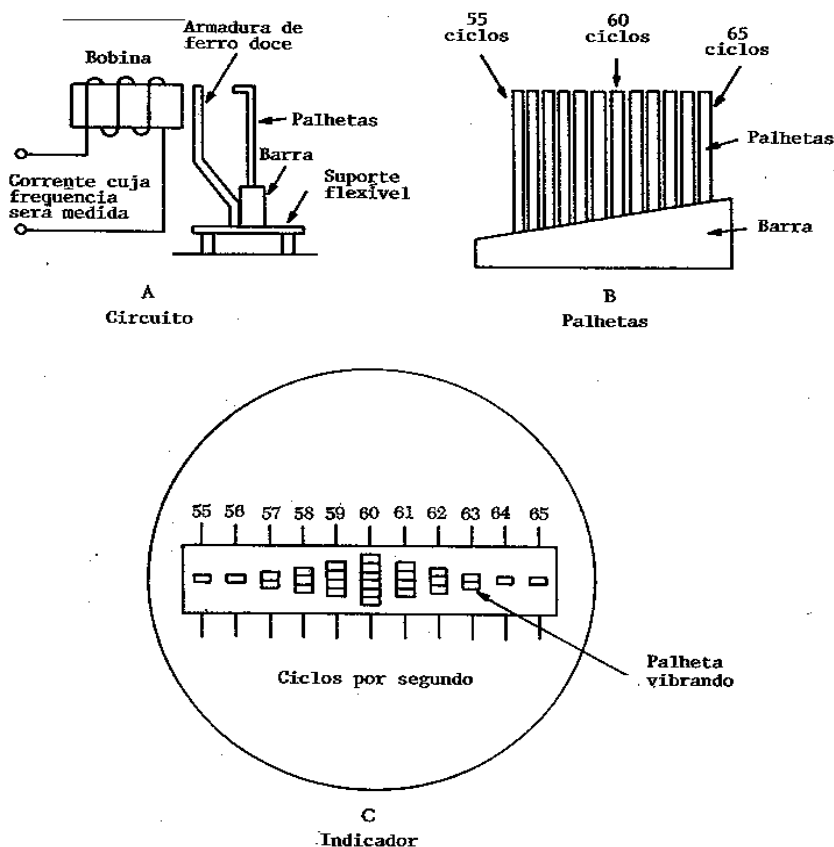


Figura 8-261 Diagrama simplificado de um medidor de frequência tipo “palhetas de vibração”.