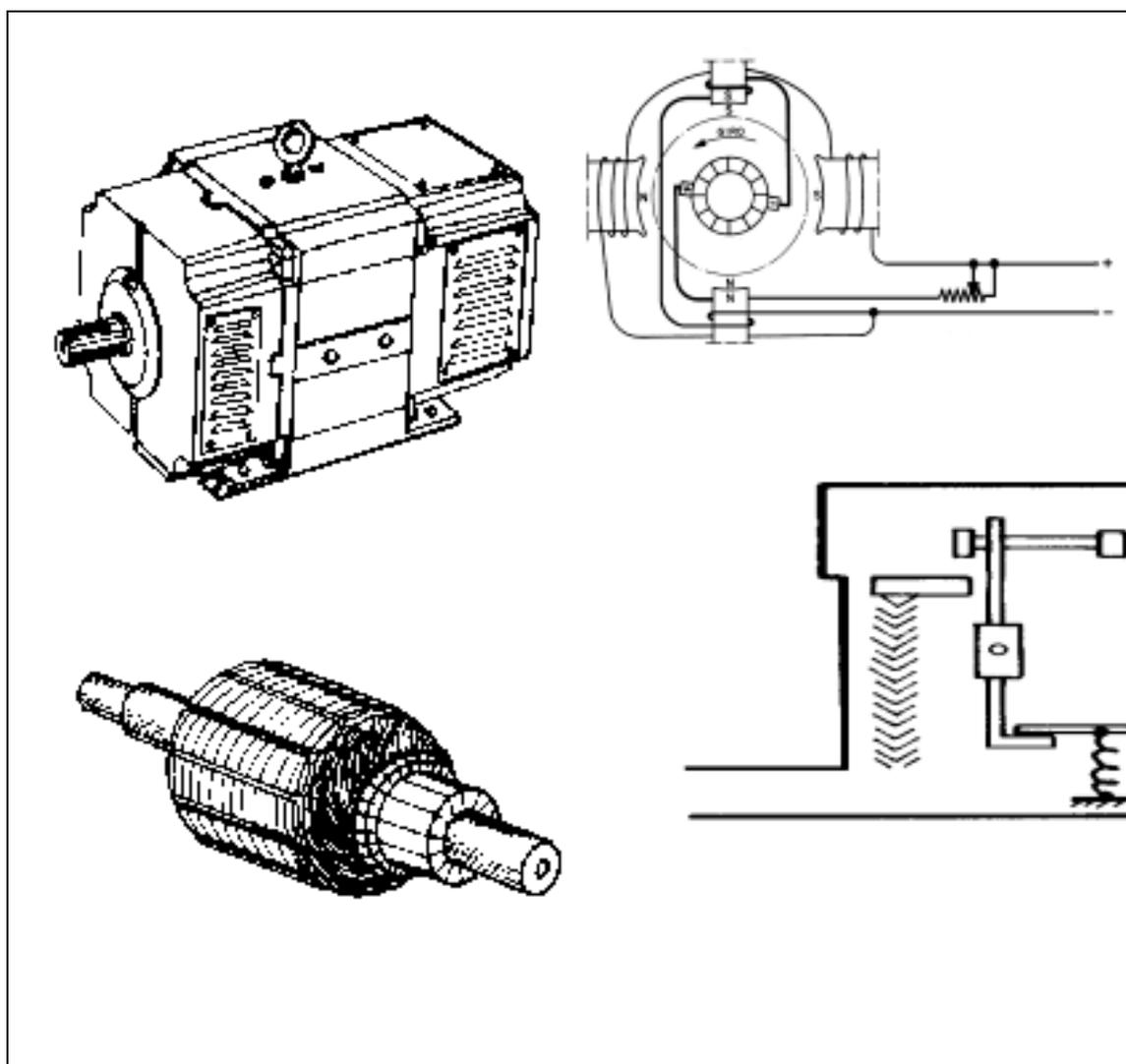


CPM - Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção

Elétrica

Equipamentos e Sistemas Elétricos





Equipamentos e Sistemas Elétricos - Elétrica

© SENAI - ES, 1997

Trabalho realizado em parceria SENAI / CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão)

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
DAE - Divisão de Assistência às Empresas
Departamento Regional do Espírito Santo
Av. Nossa Senhora da Penha, 2053 - Vitória - ES.
CEP 29045-401 - Caixa Postal 683
Tel: (27) 3334-5774
Fax: (27) 3334-5783

CST - Companhia Siderúrgica de Tubarão
AHD - Divisão de Desenvolvimento de Recursos Humanos
AV. Brigadeiro Eduardo Gomes, nº 930, Jardim Limoeiro - Serra - ES.
CEP 29163-970
Telefone: (27) 3348-1333

Sumário

Máquinas Elétricas Rotativas	05
• Noções Gerais Sobre Motores Elétricos	05
• Motores de Corrente Alternada.....	09
• Defeitos nas Ligações dos Motores de C.A.	19
• Defeitos Internos nos Motores Assíncronos.....	20
Alternadores.....	24
• Noções Sobre Alternadores.....	24
• Alternadores com Indutor (rotor) de Pólos Salientes.....	24
• Alternador com Indutor de Pólos não Salientes	25
• Funcionamento do Alternador.....	25
Motor Síncrono Trifásico	28
Gerador de Corrente Contínua.....	30
• Dínamo	30
Motor de Corrente Contínua.....	34
• Princípio de Funcionamento	34
• Tipos de Motores de Corrente Contínua	38
• Instalações de Motores de Corrente Contínua.....	41
• Defeito nas Ligações dos Motores de Corrente Contínua.....	44
• Defeitos Internos nos Motores de Corrente Contínua	45
Transformador	48
• Princípio de Funcionamento	48
• Transformadores com mais de um secundário.....	51
• Relação de Transformação	52
• Tipos de transformador quanto a relação de transformação	54
• Relação de Potência em Transformadores.....	56
• Potência em transformadores com mais de um secundário	58
Transformador Trifásico	60
• Acessórios do Transformador.....	63
• Resfriamento dos transformadores.....	64
• Transformadores a óleo.....	65
Chaves Seccionadoras.....	74
Pára-Raios.....	79
Aterramentos	95
Quadros gerais de forças	117
Acumuladores de energia.....	120
Quadros de comando e controle.....	138
Redes de energia... ..	139

Chaves de reversão.....	141
Chave de transferência.....	142
Equipamento de medição.....	143
Quadros de luz.....	145
Capacitor	146
• Capacidade de um Capacitor	146
• Energia potencial no capacitor	147
• Constante dielétrica	147
• Capacitor plano.....	148
• Capacidade equivalente a uma associação de capacitores	151
• Associação em série de capacitores.....	152
• Associação em paralelo de capacitores.....	153
• Capacitores utilizados para correção de fator de potência.	157
• Fator de potência e seus efeitos	158
Recarregador para acumulador de energia.....	166
Interruptor de Corrente de Fuga.....	172
Reles de empo.....	174

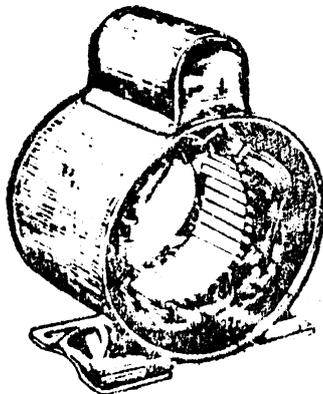
Máquinas Elétricas e Rotativas

Noções Gerais Sobre Motores Elétricos

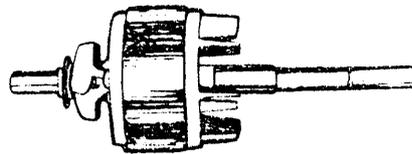
Os motores elétricos são máquinas que transformam energia elétrica em energia mecânica; assim, ao ligarmos um motor à rede, ele irá absorver uma dada quantidade de energia elétrica, e em troca aciona uma carga, por exemplo, um bonde.

Este processo de conversão da forma de energia é análogo ao que se verifica num motor a gasolina. Neste motor, também dito motor a explosão, aproveita-se a energia proveniente da queima de combustível para movimentar o veículo. Num motor elétrico o combustível é a energia elétrica.

Os motores elétricos em geral se compõem de duas partes: o *rotor* que é a parte móvel e o *estator ou carcaça* que é a parte fixa.

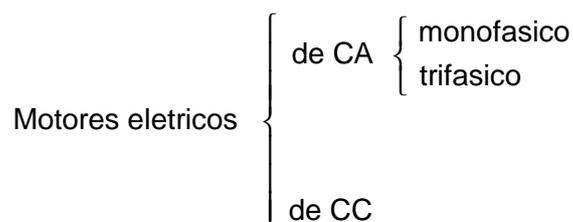


Estator ou Carcaça



Rotor

Podemos classificar os motores, quanto à energia elétrica absorvida, da seguinte maneira:

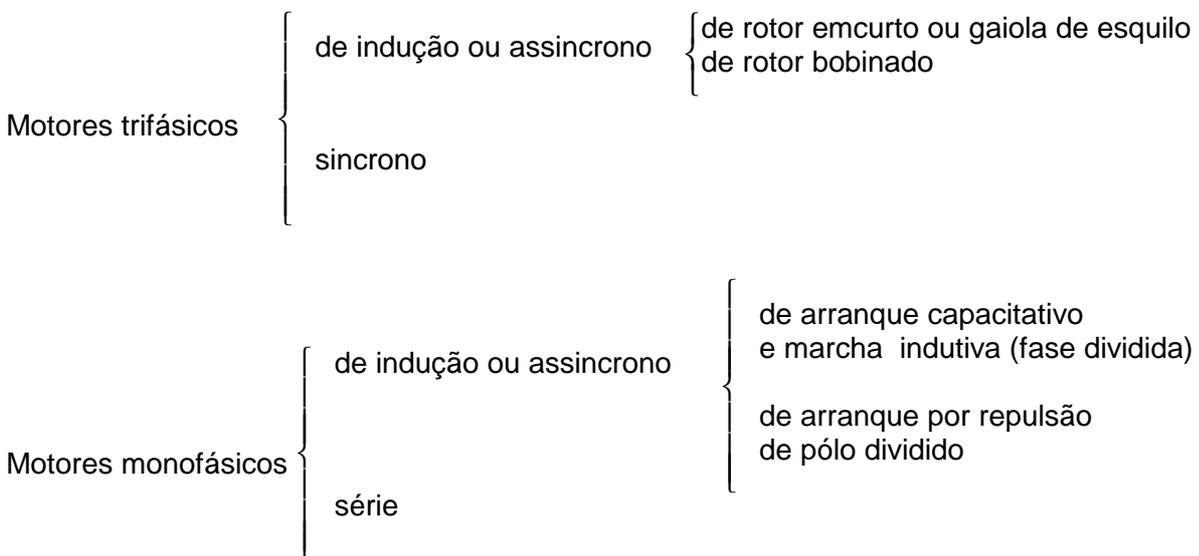


Os motores elétricos de corrente alternada funcionam quando ligados à uma rede de tensão alternada; são monofásicos ou trifásicos se necessitam de tensão monofásica ou de tensão trifásica.

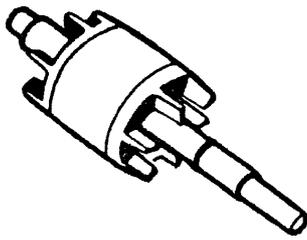
Os motores elétricos de corrente contínua funcionam quando ligados à uma rede de tensão contínua.

Os motores de CA são hoje os mais utilizados; podemos encontrá-los em refrigeradores domésticos, em máquinas ferramentas etc. Os motores de CC são de emprego mais restrito, sendo encontrados na tração elétrica, grandes laminadores etc.

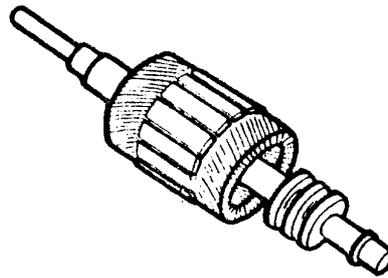
Vamos estudar com maior profundidade os motores de CA. Eles podem se classificar, segundo o sistema elétrico de alimentação e o princípio de funcionamento ou arranque, em:



Existem outros tipos de motores de CA, que se encontram mais raramente. Os motores de indução (tanto trifásicos como monofásicos) possuem no estator um jogo de bobinas que produzem um campo magnético. No interior do motor, apoiando-se sobre mancais, encontra-se a parte móvel, ou rotor. Este rotor dispõe de um enrolamento constituído por simples condutores ou barras postas em curto-circuito entre si (rotor em curto ou em gaiola de esquilo) ou podem também possuir um outro tipo de enrolamento, cujos extremos são levados a anéis coletores eletricamente isolados do eixo e entre si e sobre os quais se apoiam escovas de carvão, fixas ao estator, que nos permitem ligar o motor a um circuito externo.



Rotor Gaiola



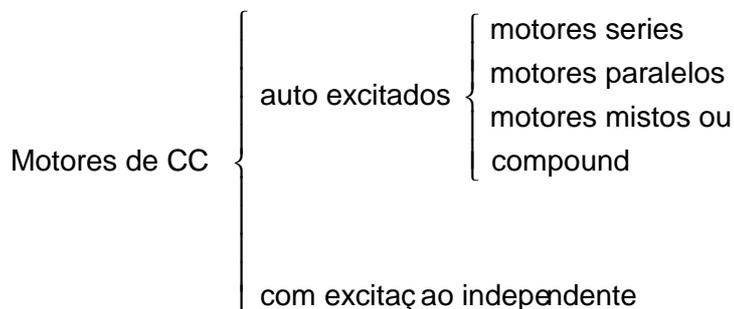
Rotor Bobinado

O motor de indução possui velocidade praticamente constante. Os motores de indução de pequena potência são, na maioria das vezes, monofásicos, com rotor em curto; para a partida necessitam de dispositivos especiais, uma vez que não tem arranque próprio.

Já os motores trifásicos de indução são de maior potência e tem arranque próprio. Como exigem grande corrente da rede, no instante de partida, usam-se dispositivos especiais para diminuí-la.

No motor monofásico série ou universal o enrolamento do rotor é levado às escovas, por intermédio de um comutador (coletor constituído por lâminas isoladas entre si), e ligado ao estator. Este tipo de motor funciona tanto com CC como com CA. Possui velocidade variável. No motor à repulsão o enrolamento do rotor é levado às escovas que estão ligadas em curto circuito. Possui velocidade variável, sendo usualmente empregado como motor repulsão indução. Na partida funciona como motor de repulsão (que tem arranque próprio) e, posteriormente, por um dispositivo centrífugo, as lâminas do coletor são colocadas em curto-circuito, passando a funcionar como motor de indução monofásico.

Os motores de corrente contínua podem ser classificados segundo o modo de excitação em:



Num motor de CC distinguimos o estator com pólos indutores, o rotor com enrolamento induzido e o comutador.

Eles são empregados em razão de terem suas velocidades variáveis, conforme a corrente no campo indutor.

De acordo com as normas brasileiras de eletrotécnica NB-3, todos os motores elétricos devem possuir uma placa metálica firmemente presa ao estator, na qual são marcadas, de maneira legível, pelo menos as seguintes características:

- nome, marca comercial ou símbolo identificador do comerciante;
- tipo, série e número de fabricação;
- espécie de corrente (alternada ou contínua);
- Espécie de motor (indução, paralelo, etc.);
- O número de fases ou frequência em ciclos/seg. (motores de CA);
- potência nominal em KW, HP (1 HP = 0,746 KW), ou em c.v. (1 c.v. = 0,736 KW);
- tensão nominal ou tensões nominais de operação;
- corrente nominal à plena carga;
- velocidade angular nominal à plena carga (rotações p/min.);
- tensão e corrente do circuito secundário (motores de indução com rotor bobinado de anéis).

Todos os motores devem trazer, ainda, na mesma ou noutra placa, o esquema das ligações.

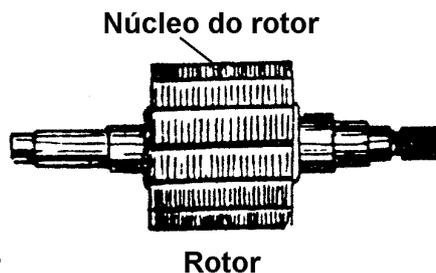
As placas de características podem ainda indicar:

- fator de potência nominal à plena carga;
- espécie de serviço (contínuo, de pequena duração; quando falta esta indicação, o motor é de serviço contínuo);
- o aumento permissível da temperatura dos enrolamentos e partes adjacentes, em graus centígrados;
- O fator de serviço (sobrecarga que o motor pode suportar em serviço contínuo).

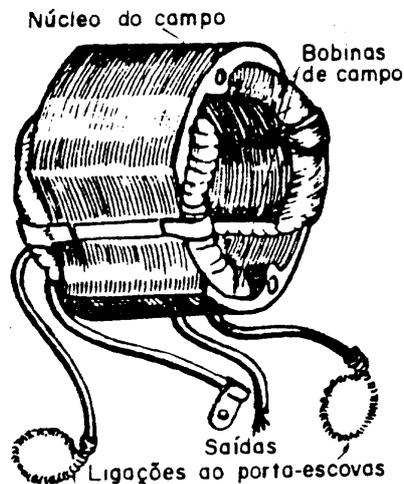
Motores de Corrente Alternada

Motor Universal

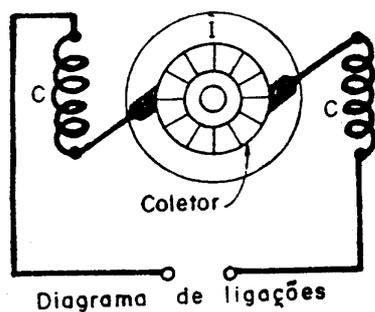
O motor elétrico universal é um motor que permite ligação, tanto na corrente contínua como na corrente alternada, pois o seu rotor bem como seu estator são formados por chapas de ferro-silício, que reduzem ao mínimo os efeitos caloríficos originados pelas correntes induzidas nas massas metálicas, quando sob a ação de um campo magnético variável.



Nas ranhuras do estator são alojadas as bobinas de campo (geralmente duas), necessárias para a formação do campo indutor. Nas ranhuras do rotor são enroladas diretamente as bobinas induzidas, cujas pontas terminais são ligadas devidamente nas lâminas que formam o coletor.



O induzido I e o campo indutor C, são ligados em série, como mostra o diagrama. Para a mudança do sentido de rotação, basta inverter as ligações nos porta-escovas, ou as ligações das bobinas do campo indutor, quando a colagem de ligações ao coletor, são equivalentes aos dois sentidos.

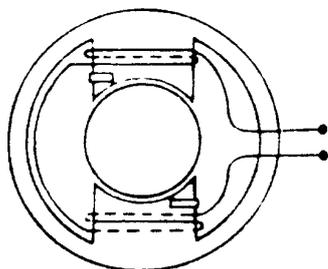


Os motores universais apresentam um alto conjugado de partida, desenvolvem alta velocidade, são construídos para tensões de 110V e 220V CC ou CA e normalmente a sua potência não vai além de 300W, salvo em casos especiais.

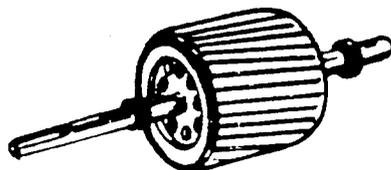
Este tipo de motor é aplicado na maioria dos aparelhos portáteis eletrodomésticos e em algumas máquinas portáteis usadas na indústria.

Motor Monofásico de Anel em Curto

O motor monofásico de anel em curto é um motor de indução de rotor tipo gaiola de esquilo e seu estator é de pólos salientes com cavidades, onde são colocados anéis de cobre ou latão, que abraçam pouco menos da metade de cada pólo.



É criado pelos anéis, um fluxo, devido as correntes induzidas produzida pelo fluxo variável, defasado em atraso do fluxo originado pelas bobinas dos pólos indutores, surgindo com a resultante, um campo giratório. O rotor dentro dele é forçado a girar no mesmo sentido devido ao campo produzido pelas correntes induzidas nas barras alojadas nas ranhuras do rotor.



São construídos para tensões de 110V e 220V, 50 ou 60 Hz, 25W a 120W e normalmente para 2 - 4 e 6 pólos para velocidades de 900 a 2800 R.P.M. em 50 Hz e 1000 a 3400 R.P.M. para 60 Hz. tem velocidade constante não admite regulagem e nem reversibilidade.

A aplicação desses motores se faz em pequenas máquinas tais como: toca-discos, relógios, servo-mecanismos, etc; porque é um motor de baixo conjugado de partida e baixo rendimento.

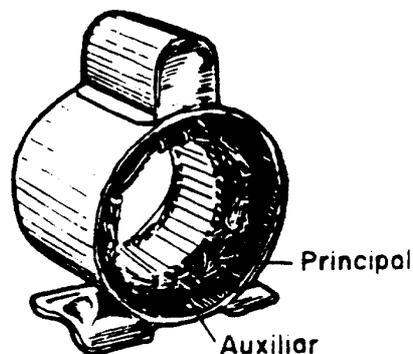
Motor Monofásico de Fase Auxiliar

O motor de fase auxiliar é um motor de indução constituído de um rotor tipo gaiola de esquilo e um estator formado por coroas de chapas isoladas de ferro-silício, com ranhuras na parte interna, fixadas numa carcaça.

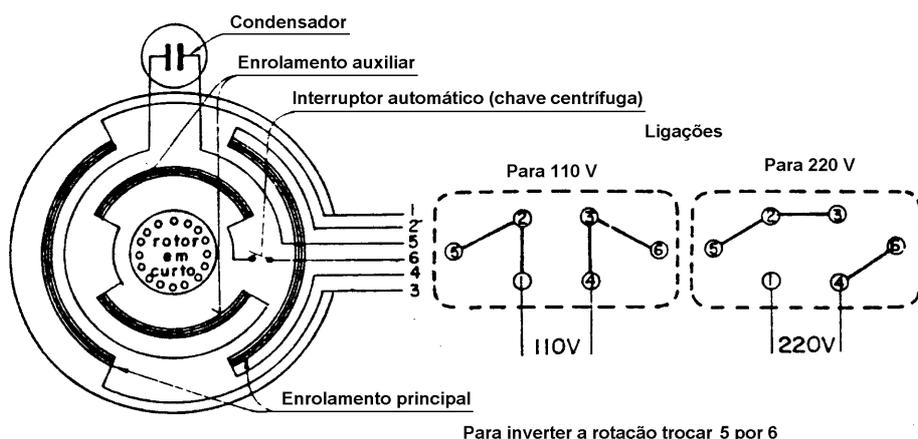
Os enrolamentos, principal e auxiliar são alojados nas ranhuras isoladas, deslocadas de um ângulo de 90° elétricos um do outro.

Os motores monofásicos de indução sem dispositivos de partida, não tem arranque próprio, por não produzir campo rotativo, daí a necessidade, de se utilizar a fase auxiliar com características diferentes do principal, para que os campos magnéticos defasados entre si, produzam uma resultante rotativa, que por indução movimenta o rotor tipo gaiola colocado dentro dele.

O enrolamento principal é calculado de modo preciso, mas o auxiliar é conseguido de maneira empírica, mas sempre em relação ao principal, isto é, o auxiliar vai de 34% a 80% do número de condutores do principal e a seção do condutor varia de 30% a 50% do condutor empregado no principal, calculado para 110V.



Para duas tensões, basta desdobrar o enrolamento do principal calculado inicialmente para 110V em duas vezes o número de condutores, com sua seção reduzida pela metade, dividido em dois circuitos, para que possibilite ligar em paralelo para 110V e em série para 220V.

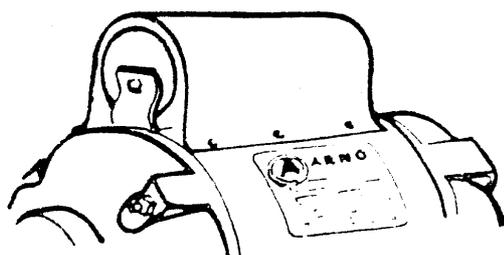


O enrolamento auxiliar não deve ser modificado para 220V, mas seus terminais deverão ser ligados um num dos extremos e o outro no centro da ligação série do principal, para que o condensador que fica ligado em série com o auxiliar, não receba uma tensão além de 110V.

Geralmente é usado o enrolamento auxiliar somente para o arranque, depois, por intermédio de um interruptor comandado por um dispositivo centrífugo o auxiliar é desligado, permanecendo o campo rotativo pela ação do sentido de rotação do rotor e pela componente de campo criada pelas correntes induzidas nas barras do tipo gaiola (rotor em curto).

Atualmente estes motores são fabricados para duas tensões. 110V e 220V, para as frequências de 50 Hz ou 60 Hz, para as potências, de 1/6 a 2 c.v.

Sobre o motor é colocado um condensador eletrolítico com sua proteção conforme a figura abaixo.



Nas tabelas abaixo temos as características principais dos motores monofásicos de fase auxiliar.

A tabela ao lado dá o valor da corrente em ampères dos motores monofásicos em geral, nas diversas potências relacionadas com a tensão de alimentação.

C.V.	110V (A)	220V (A)
1/6	3,2	1,6
1/4	4,6	2,3
1/2	7,4	3,7
3/4	10,2	5,1
1	13,0	6,5
1 1/2	18,4	9,2
2	24,0	12,0

Número de Pólos	Velocidade aproximada em R.P.M.			
	50 Hertz		60 Hertz	
	Em vazio	À plena carga	Em vazio	À plena carga
2	3.000	2.920	3.600	3.500
4	1.500	1.435	1.800	1.730
6	1.000	960	1.200	1.140

Para velocidade em vazio foi tomada a velocidade de sincronismo, embora, na prática, essa velocidade seja ligeiramente menor.

A velocidade marcada na placa dos motores refere-se àquela medida à plena carga.

Os motores monofásicos de indução tem os seguintes inconvenientes:

- Pequena capacidade para suportar sobrecarga;
- Baixo rendimento;
- Baixo fator de potência;
- Manutenção de custo elevado.

Os motores monofásicos de indução de fase auxiliar são utilizados em máquinas de lavar roupas, em eletrobombas, em geladeiras, enceradeiras de potência elevadas, etc.

O condensador aplicado nos motores de fase auxiliar tem dupla finalidade:

- dar maior conjugado no arranque;
- produzir maior defasamento entre os campos magnéticos principais e auxiliar.

A capacidade dos condensadores de partida, determinada experimentalmente pelos fabricantes de motores, varia ao variar a potência do motor, conforme a tabela abaixo com limite máximo até 1 c.v.

Condensadores de Partida	
C.V.	microfarads (μF)
1/6	de 161 até 193
1/4	de 216 até 259
1/3	de 270 até 324
1/2	de 340 até 408
3/4	de 430 até 516
1	de 540 até 648

Motor Trifásico Assíncrono

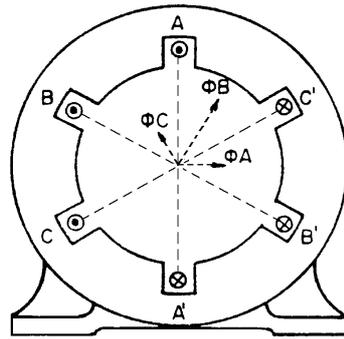
O motor trifásico se compõe de um estator com ranhuras no seu interior, onde são alojadas várias bobinas perfeitamente isoladas da massa estatórica e entre si, devidamente distribuídas e ligadas formando três circuitos distintos e simétricos chamados fases.

Estas fases deverão estar ligadas em triângulo (Δ) ou estrela (Y) a uma rede trifásica para que suas bobinas produzam um campo resultante giratório de valor invariável.

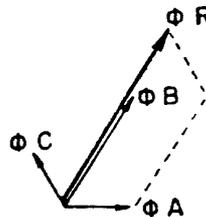
O motor trifásico de aplicação mais comum tem seu rotor do tipo gaiola de esquilo, podendo também ser do tipo bobinado com anéis para controlar o arranque por intermédio de reostato.

O campo giratório ao passar pelas barras ou condutores produz nestes correntes induzidas, fazendo com que o rotor crie um campo magnético que acompanhe seu sentido de giro.

Pode-se enunciar o seguinte princípio de funcionamento: três enrolamentos idênticos A, B e C simetricamente colocados com os respectivos eixos a 120° entre si, percorridos por três correntes alternadas de igual frequência e valor eficaz, mas defasadas uma da outra de 120° elétricos ou de $1/3$ de período, produzem um campo magnético rotativo ϕ_R com amplitude constante, igual a 1,5 vezes o valor máximo de cada um dos três campos componentes ϕ_A , ϕ_B e ϕ_C .

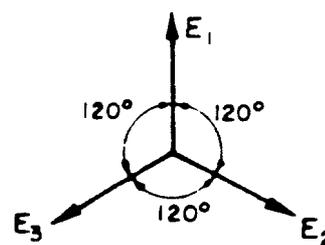
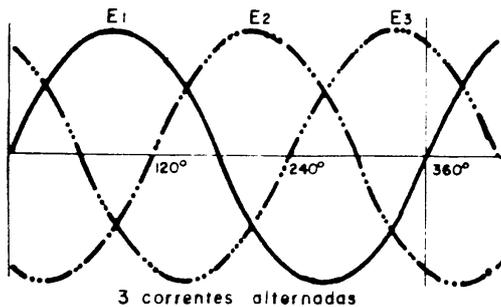


$\phi R = 1,5 \times \phi B$, onde ϕB = máximo no instante considerado.

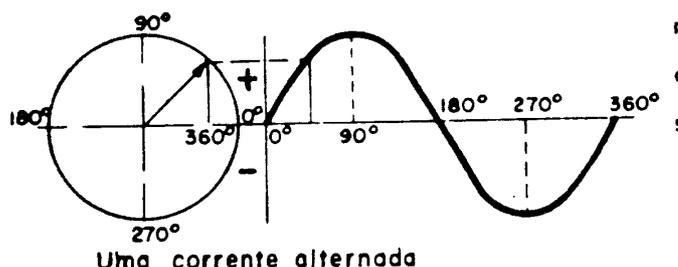


O campo magnético rotativo gira com velocidade uniforme, fazendo uma rotação em cada período da corrente de alimentação.

O sentido de giro está subordinado à seqüência de fases das correntes nos três enrolamentos das fases do motor que para girar ao contrário é preciso inverter-se a corrente de dois enrolamentos. Em geral, os três enrolamentos são ligados em estrela ou triângulo, para receber ligação de uma linha trifásica com três fios. O sentido de giro do campo poderá ser invertido, trocando-se simplesmente dois fios da linha ligados aos terminais do motor.



O gráfico abaixo mostra uma curva senoidal que é a representação da f.e.m. da corrente alternativa, e do campo magnético variável produzido por uma corrente que varia periodicamente seu sentido e sua intensidade.



O motor trifásico de indução tem rotação de campo girante de acordo com a frequência da rede e do número de pares de pólos: $n = \frac{120 \times f}{P}$, onde: f = frequência de rede elétrica e P = número de pólos do motor

Escorregamento

A diferença entre a velocidade do campo girante e a do rotor dá-se o nome de escorregamento. Geralmente o escorregamento é expresso percentualmente em relação à velocidade de sincronismo. Seu valor é baixo quando o motor funciona à vazio.

O escorregamento é calculado pela relação: $s = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100$

onde:

s = escorregamento, em %;

n_s = velocidade síncrona;

n = velocidade do rotor.

O rotor do motor à plena carga dá um escorregamento que varia de 3% para os motores potentes até 6% para os de pequena potência.

Estes motores levam vantagem sobre o motor síncrono, pelo fato de poder partir com carga.

Há dois tipos de motores de indução, conforme a forma do enrolamento do seu induzido:

- Motor de rotor gaiola de esquilo;
- Motor de rotor bobinado.

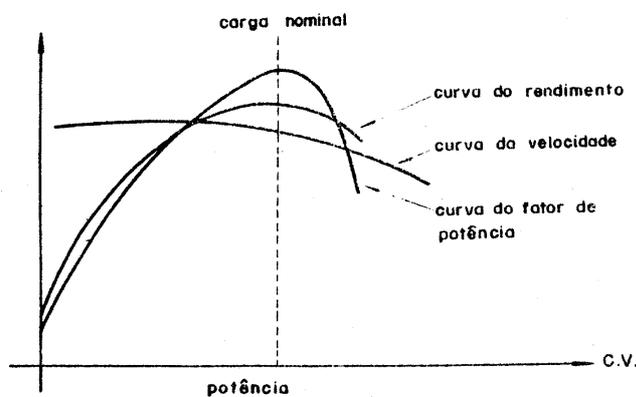
Rotor com Gaiola de Esquilo

O enrolamento do induzido deste tipo de motor é formado por barras de alumínio ou cobre, colocadas dentro das ranhuras do rotor e tendo suas extremidades reunidas através de anéis de curto circuito; as barras, quando de cobre, são soldadas aos anéis. Este motor é também chamado rotor em curto circuito.

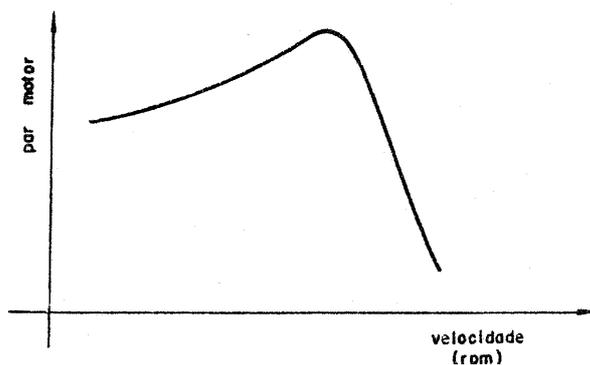
A velocidade do motor é praticamente constante, pois o escorregamento varia pouco com a carga.

O fator de potência aumenta com a utilização do motor até próximo à plena carga nominal, quando alcança o seu máximo; a partir de então elevando-se a carga, diminuirá o valor de $\cos \phi$.

O rendimento cresce, com a carga, até determinado ponto, também vizinho à plena carga nominal quando as perdas fixas e variáveis se equivalem; além deste ponto o rendimento passa a baixar. As características acima podem ser observadas no gráfico seguinte, onde 3 curvas relacionam o rendimento, a velocidade e o fator de potência com a potência solicitada ao motor.



O conjugado que vem relacionado com o escorregamento, no gráfico seguinte é baixo no início do funcionamento, sendo próprio para arranques sem carga. Quando se necessita maior conjugado no início do funcionamento eleva-se a resistência do induzido usando-se rotores com dupla ou tripla gaiola, ou ainda com ranhuras profundas.



O motor de indução com o rotor em curto circuito é próprio para comando de eixo de transmissão, acionando bombas centrífugas, compressores de ar, ventiladores, tornos mecânicos etc.

Rotor Bobinado

O enrolamento do induzido é constituído por condutores de cobre isolados entre si e montados nas ranhuras do rotor. O conjugado no arranque, deste tipo de motor, é bem melhor que o anterior porque podemos inserir resistores em série com as fases do enrolamento do rotor. Há tipos em que os resistores são montados no rotor e eliminados, quando a máquina atinge a sua velocidade normal, através de mecanismos centrífugos. Outro tipo de rotor bobinado é aquele em que seus enrolamentos se ligam à anéis coletores sobre os quais apoiam-se as escovas. Para estes tipos usam-se reostatos, em estrela (Y), ligados em série com os enrolamentos do rotor através de escovas e anéis coletores. A medida que o motor aumenta a sua velocidade, manobra-se o reostato a fim de retirar gradativamente os resistores do circuito até ligar os enrolamentos em estrela. Em alguns tipos de motores, para que as escovas não fiquem desgastando-se durante a marcha normal, elas são suspensas e, através de alavancas, os anéis são curto circuitados.

Com a adição de reostatos além de se melhorar o conjugado do motor pode-se variar a velocidade do mesmo, porém com o inconveniente de aumentar a perda por efeito Joule nos resistores, diminuindo o seu rendimento.

O motor com rotor bobinado é usado quando se necessita arrancar com carga e ainda quando se precisa variar a velocidade, como no caso das gruas, elevadores, etc.

Os motores de indução, gaiola ou rotor bobinado, apresentam as seguintes vantagens: São simples, robustos, de arranque próprio e bom rendimento.

O tipo gaiola de esquilo deve ser utilizado em todos os locais onde haja perigo de explosão, visto não produzir faíscas, pois não contém contatos deslizantes (coletor, escovas, etc.).

O tipo com rotor bobinado é empregado quando há necessidade de arranque e paradas freqüentes (serviço intermitente) que exige maior conjugado inicial. Além disso, com reostatos se tem velocidade regulável.

Como desvantagens dos motores assíncronos citamos: o fator de potência não igual a unidade, sendo baixo nos motores de pequena potência, salvo no caso de serem bem construídos. O tipo gaiola de esquilo apresenta um baixo conjugado inicial, exceto nos de gaiolas especiais, e sua velocidade não pode ser regulada por meios comuns.

Quando for necessário a velocidade na proporção de 2 para 1 ou vice-versa, usa-se efetuar enrolamentos especiais de estator.

Defeitos nas Ligações dos Motores de C.A.

Trataremos apenas dos defeitos externos mais freqüentes dos motores de CA.

O Motor Não Arranca

Interrupção de uma ou mais fases da rede

Com o auxílio de um multímetro, pode ser verificado se há fios interrompidos, conexão solta, contato frouxo, fusível queimado, ou falta de tensão em uma ou mais fases da rede. Com exceção da última, que depende da rede da distribuição externa, as outras causas podem ser facilmente reparadas.

Reostato de arranque interrompido

Com o auxílio de um multímetro, pode se verificar a continuidade do circuito dos resistores ou o mau funcionamento dos contatos. Este defeito é de fácil reparação.

Motor não permanece com sua velocidade nominal com carga

Tensão baixa

Com a diminuição da tensão, à velocidade decresce, pois a potência é proporcional a ela. Com um voltímetro devemos conferir o valor da tensão e ajustá-la ao devido valor, quando possível.

Ligação trocada

Corrige-se o defeito trocando-se as ligações.

Aquecimento anormal

Interrupção de uma das fases

O motor funciona como se fosse monofásico, sua velocidade baixa e apresenta um ruído característico, consome uma corrente muito maior que a de regime e, no caso de estar com carga, acaba por queimar o enrolamento. Deve-se parar a máquina imediatamente, localizar o defeito com um multímetro e repará-lo, sempre que possível.

Ligação trocada

Corrige-se o defeito, mudando-se as ligações. Caso se mude as ligações e o motor continue apresentando o problema, é por que o defeito é interno.

Defeitos Internos nos Motores de C.A. Assíncronos

O Motor Não Arranca

Interrupção numa das fases do estator trifásico

A interrupção numa das fases dos motores trifásicos transforma o enrolamento em monofásico e o motor não arranca. O consumo de corrente será excessivo e o enrolamento, como é óbvio, se aquecerá demasiadamente, podendo até queimar o motor. Com um multímetro, procura-se a fase interrompida e a seguir, usando-se o mesmo processo, verifica-se qual a ligação ou bobina defeituosa. Encontrando-se o defeito, o reparo é simples.

Interrupção do circuito de trabalho ou auxiliar dos estatores monofásicos

A interrupção na alimentação de uma das bobinas (ou nas próprias bobinas), no condensador ou no interruptor centrífugo faz com que o motor não arranque.

Localize o defeito como anteriormente e repare.

Rotor roçando no estator

O entreferro de motores de pequena e média potência é muito reduzido e qualquer desgaste de mancais ou defeitos nos rolamentos desloca o rotor que entra em contato com o estator; tem-se então o rotor bloqueado em razão da atração magnética, o que faz com que o rotor permaneça parado. Constatado o defeito, proceder o reparo dos mancais ou rolamentos.

Interrupção em uma das fases do rotor bobinado

Havendo interrupção em uma das fases do rotor, o motor não dá partida. Com um multímetro observar os defeitos que podem ser devido à falta de contato das escovas com os anéis, ligações não executadas ou bobinas interrompidas. Constatado o defeito, proceder o reparo.

O Motor Não Mantém Carga

Fase interrompida no enrolamento do rotor bobinado

A interrupção de uma fase no rotor bobinado, durante o funcionamento sob carga provoca perda de velocidade do motor, gradualmente, até parar; essa anomalia é verificada também por um ruído característico. A localização deste defeito se efetua ligando-se três amperímetros em série com as fases respectivas do rotor. No funcionamento à vazio, as correntes assinaladas nos aparelhos são iguais; a medida que se carrega o motor, há diminuição da velocidade e um desequilíbrio nas fases do rotor que se observa nos amperímetros. Num dos aparelhos a corrente cai a zero e nos outros dois, ela se eleva, indicando a fase interrompida naquela em que a corrente se anula. Procurar o defeito e efetuar o reparo.

Defeito de fundição ou de solda no rotor gaiola de esquilho

Pode acontecer que, na fundição, o alumínio não encha completamente as ranhuras, ficando as barras defeituosas, ou ainda, partirem-se devido ao esforço a que o rotor está submetido. Em se tratando de barras de cobre, ligadas ao anel de curto circuito, com solda fraca, podem elas, por aquecimento, dessoldarem-se. Essas irregularidades trazem consigo aumento de resistência do rotor, o motor se aquece e a velocidade será inferior à do regime. Inspeccionando-se o rotor, constata-se o defeito e substitui-se o induzido ou refaz-se a solda conforme o caso.

É sempre preferível usar a solda forte ao invés da solda fraca, pois o ponto de fusão da solda forte é mais elevado que o da fraca.

Aquecimento Anormal

Interrupção numa fase do estator

Durante o funcionamento, ocorrendo a interrupção numa fase do estator, o motor passa a trabalhar como monofásico, absorvendo maiores correntes e aquecendo exageradamente.

Deve-se parar o motor, verificar a fase interrompida, com um multímetro e efetuar o conserto.

O interruptor centrífugo não desliga (motores monofásicos)

O circuito auxiliar dos motores monofásicos não sendo interrompido durante o funcionamento, provoca aquecimento do motor podendo queimar o enrolamento. Verificar o interruptor centrífugo e repará-lo.

Ligações erradas

Engano nas ligações das fases ou nos grupos de bobinas de uma fase, ou ainda desigualdade do número de espiras nas fases dão lugar a desequilíbrios de correntes. Comumente a corrente resulta ser superior a do regime e o aquecimento será anormal. Com três amperímetros inserido em série nas fases do motor verificam-se as diferenças das correntes.

Também pode ocorrer dissimetria devido a curto circuito entre espiras de uma fase.

Localizar o defeito, com instrumento adequado e conferir as ligações. Refazer as conexões conforme esquema ou trocar bobinas com espiras em curto.

Curto circuito no rotor bobinado

Contato entre espiras ou entre bobinas do rotor, provocam maior consumo de corrente do estator, principalmente no arranque, e forte aquecimento. Localizar o defeito com instrumento adequado e efetuar o reparo.

Contato defeituoso entre barras e anéis de curto circuito

A f.e.m. induzida nas barras do rotor é muito pequena e a corrente, dada a baixa resistência da gaiola, é grande. Os contatos, quando imperfeitos, provocam aumento de resistência, havendo, pela Lei de Joule, aquecimento suficiente para dessoldar as barras de anéis (quando se trata de solda fraca). Com este defeito o motor perde velocidade. Com gaiola de alumínio fundido sob pressão ou com barras de cobre unidas aos anéis, com solda forte, estes inconvenientes não se manifestam.

Umidade ou óleo nos enrolamentos

Umidade ou óleo nos enrolamentos baixa a resistência do isolamento, provocando aquecimento anormal na máquina. Quando este fica depositado em lugar pouco arejado e com vapor de água os enrolamentos adquirem umidade. É de boa norma efetuar um teste de isolação antes de colocarmos a máquina em funcionamento. No caso do óleo lubrificante escorregar dos mancais, penetrando nos enrolamentos; é necessário efetuarmos um teste de isolação, pois tanto a umidade como o óleo lubrificante estragam o verniz dos enrolamentos. Para repararmos estes inconvenientes é necessário colocarmos a máquina em estufa, tendo o cuidado de retirar as partes que podem se danificar com a temperatura que vai aproximadamente a 100°C.

Em alguns casos torna-se necessário aplicar nova camada de verniz nos enrolamentos.

Enrolamento do estator ou do rotor ligados à massa

Com um megôhmetro, verificar se há contato entre condutores e massa. localizar as bobinas defeituosas e isolá-las ou substituí-las por outras novas, conforme a necessidade.

Mancais ou rolamentos gastos

Verificar a folga nos mancais e rolamentos e proceder a reparação do mancal ou substituição dos rolamentos.

Defeitos de lubrificação (falta ou excesso)

Verificar os mancais e reparar caso haja excesso ou falta de lubrificação.

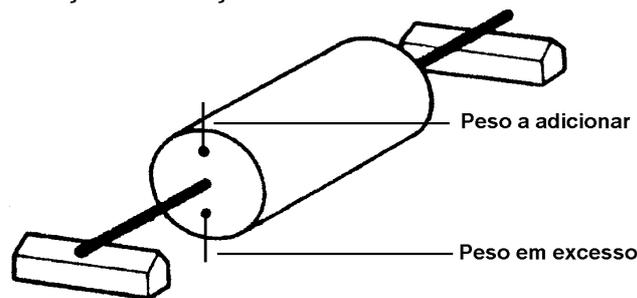
Funcionamento Ruidoso

Rotor desequilibrado

O defeito se manifesta com um ruído periódico, tanto mais acentuado quanto for o desequilíbrio do rotor e excessiva vibração da máquina.

Essa irregularidade pode ser proveniente de um enrolamento mal distribuído. Deve-se restabelecer de imediato, o equilíbrio estático, com máquina apropriada; o desequilíbrio faz com que a parte mais pesada do rotor se desloque para baixo. Adiciona-se ou retira-se um contrapeso, que pode ser de chumbo, na parte diametralmente oposta.

A fixação deste contrapeso deve ser firme para evitar que se solte sob a ação da rotação.



Desgaste dos mancais ou rolamentos

O desgaste dos mancais ou dos rolamentos provoca um ronco no motor que pode ser contínuo ou intermitente. Reparar os mancais ou substituir os rolamentos quando comprovada essa anomalia.

Indução excessiva

Sobre carga, tensão superior à normal, e frequência inferior a de regime fazem com que a indução se eleve, provocando aquecimento do motor e funcionamento ruidoso.

A sobrecarga eleva a corrente acima do normal, aumentando por conseguinte o número de ampère-espiras, o que determina excesso de indução. A tensão superior à normal e a frequência inferior à do regime produzem o mesmo efeito da sobrecarga.

A indução excessiva se elimina fazendo com que o motor trabalhe dentro de suas características que estão indicadas na placa fixada na carcaça.

Alternadores

Noções Sobre Alternadores

Todas as máquinas que geram corrente alternada são chamadas de alternadores.

Durante cinqüenta ou sessenta anos tem-se fabricado diferentes tipos de alternadores, quanto às suas formas e tamanhos que foram se modificando dentro da linha evolutiva do progresso industrial.

Atualmente se fabricam alternadores de dois tipos: o de pólos indutores salientes que é acoplado a um motor de baixa velocidade e o turbo-alternador de pólos indutores não salientes que é acoplado a uma turbina que gira a alta velocidade.

Os dois modelos são bastantes parecidos e possuem um induzido fixo e um indutor móvel.

Dá-se também à parte fixa de uma máquina de Corrente Alternada o nome de estator e à parte móvel o nome de rotor.

Alternadores com Indutor (rotor) de Pólos Salientes

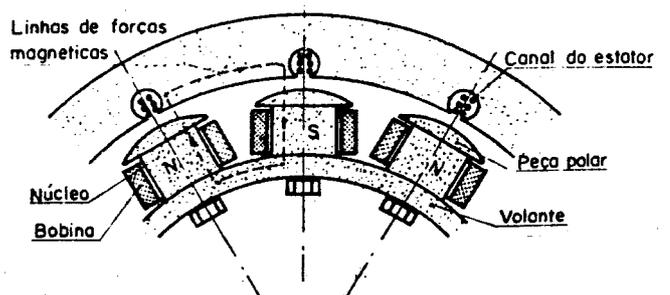
É formado por um núcleo polar fixado na superfície de um volante de aço fundido.

Cada núcleo é envolvido com uma bobina fixada na sua parte superior por uma sapata polar constituindo o que chamamos de peças polares.

As bobinas são ligadas em série e tem seus terminais presos a anéis coletores, isolados e fixos ao eixo do indutor. Esses anéis permitem a sua excitação por uma fonte de corrente contínua.

As bobinas são ligadas alternadamente formando os pólos norte e sul nas peças polares.

Os pólos formados são sempre em números pares.



O estator se compõe de um anel fixo onde são alojadas as bobinas que formam o enrolamento do induzido.

Esse anel é constituído de um empilhamento de chapas de aço silício isoladas entre si e que formam quando prensadas um bloco maciço. As bobinas que constituem o enrolamento, são encaixadas em ranhuras ou canais que podem ser fechados ou abertos situados na periferia interna do anel chamado estator.

Alternador com Indutor de Pólos não Salientes

É uma máquina de alta rotação própria para fornecer potências elevadas. Esse tipo de alternador, geralmente é acoplado a turbinas hidráulicas ou a vapor.

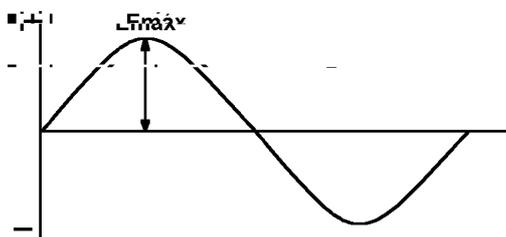
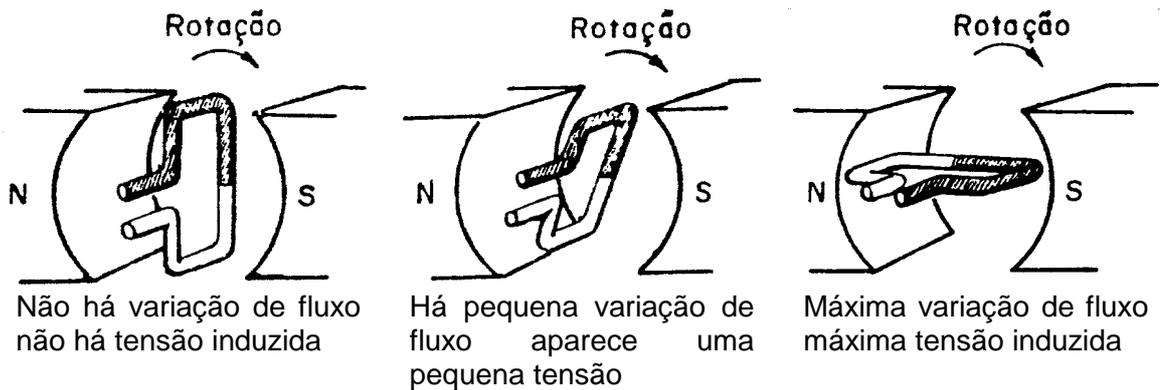
O indutor ou rotor é construído com diâmetro relativamente pequeno e grande comprimento para não sofrer as conseqüências da força centrífuga. O cilindro de aço maciço é formado pelo empilhamento de chapas prensadas e fixadas por processos diversos. Na periferia são abertos os canais onde se alojam as bobinas que, devidamente ligadas constituem o enrolamento.

Esses canais após receberem o enrolamento são fechados por talas de bronze fixadas por processo especial.

O induzido desse tipo de alternador pouco difere do de pólos salientes, existindo apenas pequenos espaços entre empilhamento das chapas para favorecer a ventilação do alternador.

Funcionamento do Alternador

A energia elétrica produzida no alternador se baseia no princípio de que todo condutor quando cortado por um campo magnético e desde que haja movimento relativo entre este campo magnético e o condutor é induzida nele uma força eletro-motriz (Lei de Faraday).



A senoide ao lado representada, é o gráfico de uma f.e.m. alternada gerada numa rotação completa da bobina acima.

Se uma bobina rodar num campo magnético as variações de fluxo do pólo norte e do pólo sul sucedem-se na rotação, gerando na bobina uma f.e.m. alternada senoidal.

O alternador, conforme descrito anteriormente, para cumprir a sua finalidade (produzir energia elétrica) necessita, dentre outras, das partes seguintes: indutor, induzido, excitação e movimento.

O indutor é excitado por uma fonte de corrente contínua que cria um campo magnético polarizado no bobinado do indutor.

Esse indutor recebe em seu eixo um movimento de rotação que o faz agir dentro do induzido.

Com o movimento de rotação o campo magnético do indutor corta os enrolamentos do induzido fazendo gerar uma corrente elétrica alternada com característica trifásica, ou monofásica, conforme a construção do alternador.

A freqüência é determinada em função do número de pares de pólos e da velocidade angular. Sua medida é o ciclo por segundo, verificando-se a seguinte relação:

$$\text{onde: } \begin{cases} f = \frac{p \times n}{120} \\ f = \text{freqüencia em ciclos / segundo ou Hertz (Hz)} \\ p = \text{numero de polos} \\ n = \text{velocidade angular, em r.p.m.} \end{cases}$$

As frequências mais usadas no Brasil são de 50 Hz e 60 Hz.

As indicações gerais de um alternador são:

1. Frequência em ciclos por segundo;
2. Número de fases;
3. Potência aparente nominal, em voltampères ou múltiplos;
4. Tensão nominal, em volts ou múltiplos;
5. Corrente nominal em ampères ou múltiplos;
6. Velocidade angular em r.p.m;
7. Tipo de serviço;
8. Tensão e corrente da excitatriz.

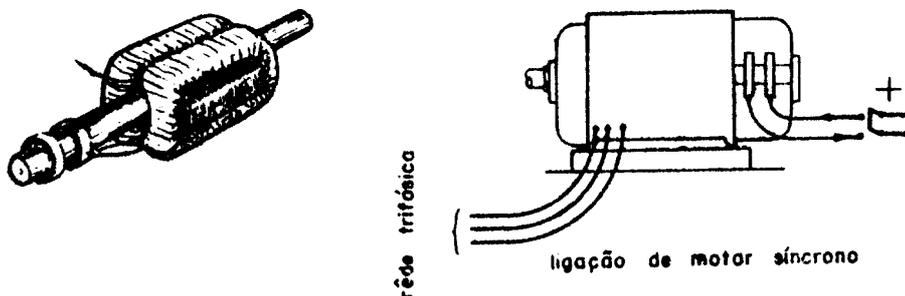
A variação da tensão pode ser efetuada variando o fluxo por intermédio da variação da tensão de excitação ou variando a velocidade da máquina motriz.

Motor Síncrono Trifásico

Motor Síncrono Trifásico

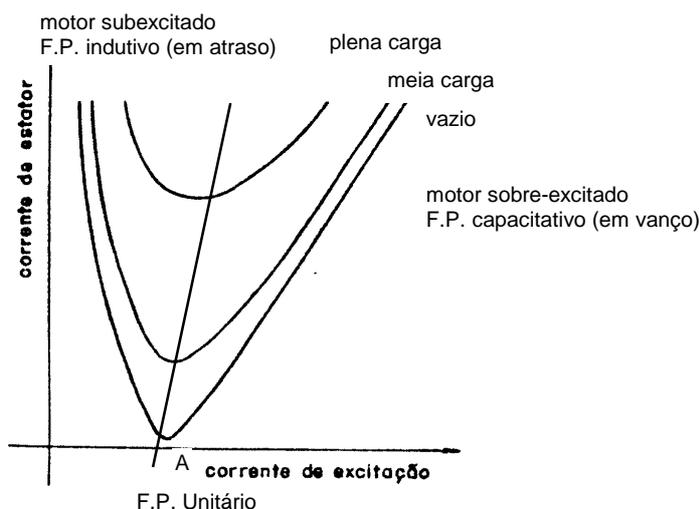
O motor síncrono é constituído por um estator, ligado à rede de CA e um rotor, alimentado por c.c. No estator forma-se um campo girante, o qual arrasta em seu movimento o rotor, em virtude de nele se ter formado um campo magnético pela passagem da c.c. em seus enrolamentos como se vê na figura dada a seguir.

O motor síncrono trifásico tem um estator semelhante ao estator de um motor de indução trifásico; a diferença fundamental é que o rotor é equipado com pólos salientes, que são excitados em geral por c.c.



A velocidade com que gira o rotor é a mesma do campo, e é expressa pela fórmula $n = \frac{120 \times f}{p}$, onde: f = frequência da rede elétrica, P = número de pólos, n = velocidade angular, em RPM.

O motor síncrono tem *velocidade* constante sob qualquer condição de carga. Outra característica importante do motor síncrono é que, para uma determinada potência, a corrente absorvida pelo motor depende da corrente de excitação, sendo esta dependência representada pelo gráfico.



Estas curvas são chamadas *curvas V*. Como sabemos:

$$W = E \times I \times \cos \varphi$$

$$W = C^{te}$$

$$E = C^{te}$$

Apenas os valores de I e de $\cos \varphi$ variam. Quando i_e é baixo I é grande e o $\cos \varphi$ tem valor baixo, sendo a corrente atrasada da tensão. Quando se aumenta i_e , o valor de I diminui e cresce o valor de $\cos \varphi$, até que no ponto A, I passa por um mínimo e o $\cos \varphi$ por um máximo. Isto é, $\cos \varphi = 1$; a corrente está em fase com a tensão.

Aumentando-se ainda mais o valor de i_e , a corrente aumenta e adianta da tensão, diminuindo o $\cos \varphi$; portanto o motor síncrono pode funcionar com qualquer fator de potência, sendo por isso, empregado para correção do $\cos \varphi$.

Entretanto, o motor síncrono não tem arranque próprio, devendo-se empregar dispositivos especiais para iniciar o movimento.

Vários são os métodos empregados para a partida dos motores síncronos, entre os quais podem citar-se os seguintes:

- o emprego de um motor auxiliar;
- fazendo-o funcionar inicialmente como motor de indução.

Além da desvantagem do arranque, o motor síncrono necessita de uma fonte de C.C. para excitar o campo; em virtude disso, os motores síncronos tem seu emprego restrito quase que exclusivamente à melhoria do fator de potência de uma instalação ou sistema de C.A.

Gerador de Corrente Contínua

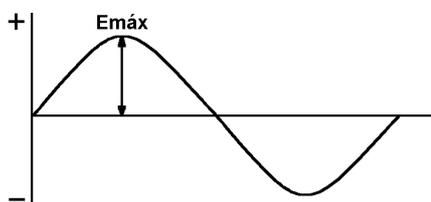
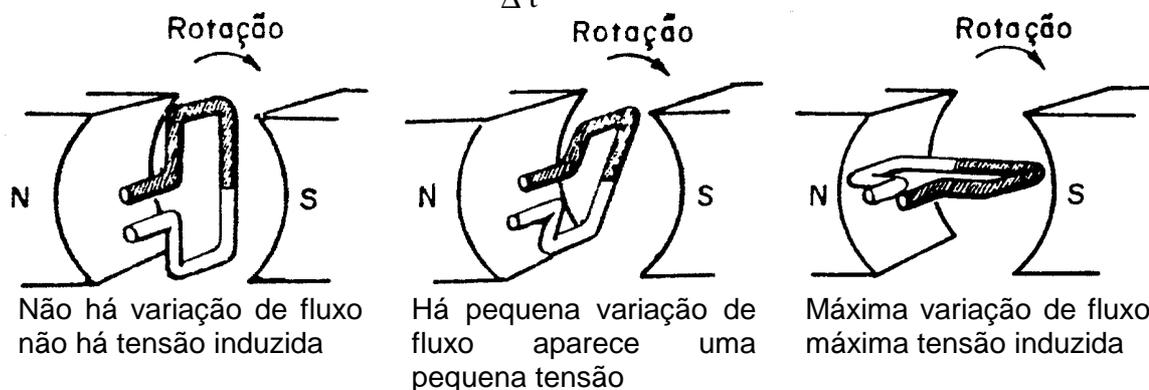
Dínamo

A corrente contínua encontra aplicação em vários setores industriais, como, por exemplo: Instalações de eletroquímica, carga de baterias de acumuladores, tração elétrica, eletroímãs de aplicações industriais, solda elétrica a arco voltáico, etc.

Nas instalações de eletroquímica a corrente contínua é obtida por meio da retificação da corrente alternada por meio de retificadores tungar, de selênio ou de silício, porém em muitas instalações deste genero a corrente contínua é produzida por dínamos, isto é, por máquinas que geram energia elétrica de corrente contínua utilizando energia mecânica produzida por motores térmicos ou por motores assíncronos.

A base de funcionamento dos dínamos é a mesma que a dos alternadores, ou seja: para que uma bobina gere uma f.e.m. é preciso que a mesma sofra uma variação de fluxo (Lei da

Indução eletromagnética) $f.e.m. = \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$.



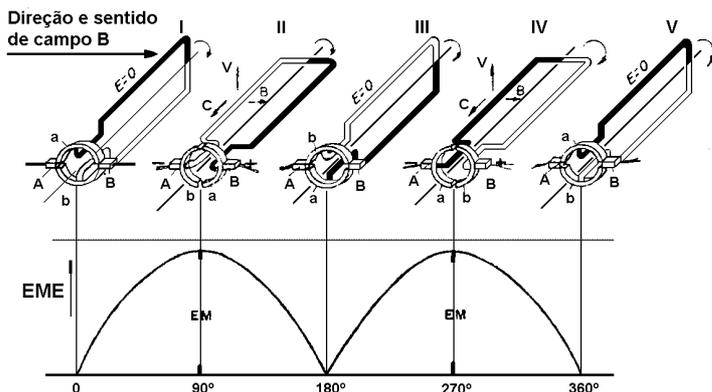
A senoide ao lado representa, o gráfico de uma f.e.m. alternada gerada numa rotação completa da bobina acima.

Se uma bobina rodar num campo magnético as variações de fluxo do pólo norte e do pólo sul sucedem-se na rotação, gerando na bobina uma f.e.m. alternada senoidal.

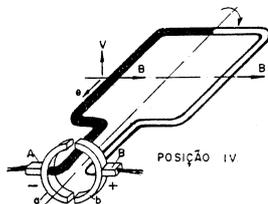
É evidenciada aí a impossibilidade de se gerarem f.e.m. contínua diretamente por intermédio de bobinas que girem num campo magnético.

Para retificar as f.e.m. alternadas no induzido dos dinamos, usa-se o coletor formado por lâminas de cobre isoladas entre si, também chamado comutador.

As figuras seguintes mostram de modo simplificado como as f.e.m. alternativas podem ser retificadas por um coletor de 2 lâminas e uma bobina.

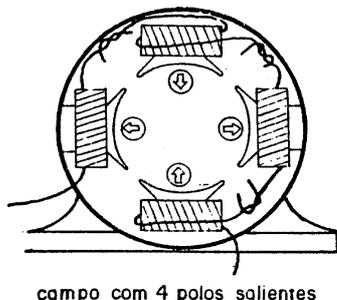


A figura mostra uma bobina que no instante considerado está produzindo a f.e.m. máxima com o condutor escuro na frente do pólo N e o branco na frente do pólo S.

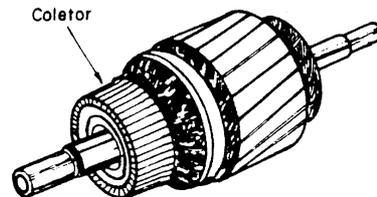


A escova B será sempre positiva e a A sempre negativa enquanto for mantida a rotação indicada pela seta circular e for mantido o sentido de campo, mesmo quando o condutor branco trocar com o preto.

O dínamo se compõe de um indutor formado pela carcaça, sapatas polares e pelas bobinas de campo.



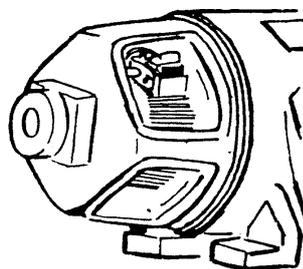
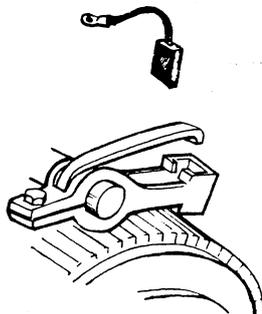
As sapatas e as bobinas de campo podem ser 2, 4, 6 ou mais, de acordo com o número de pólos da máquina. Compõe-se de um induzido formado por um pacote de chapas circulares de ferro-silício isoladas, com ranhuras na sua periferia onde são alojadas as bobinas com as pontas terminais devidamente ligadas as lâminas do coletor.



Rotor, também conhecido como induzido ou armadura

Numa das tampas, tem-se o porta-escovas fixo através de buchas isolantes, onde são colocadas as escovas que ficam apoiadas sobre o coletor, exatamente naquelas lâminas que estão com as bobinas sem produzir a f.e.m.

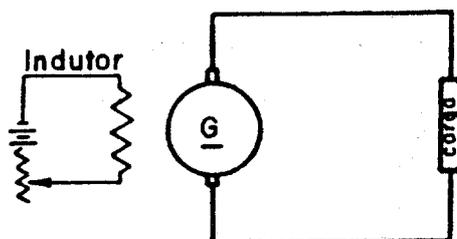
Abaixo uma vista ampliada do porta-escova de carvão especialmente fabricado para esse fim.



Tampa com porta-escovas

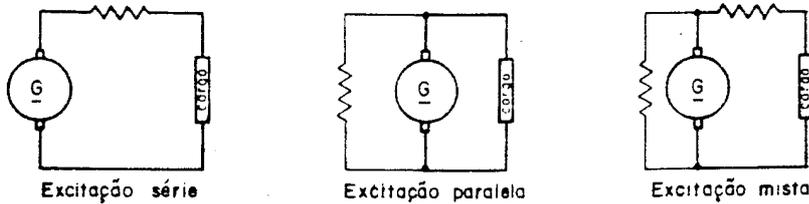
Quanto à ligação do indutor, os geradores classificam-se em:

1. Excitação separada (Independente)
2. Auto- excitação, sendo sub-divididas em:
 - a) série
 - b) paralelo
 - c) mista



Excitação separada (independente)

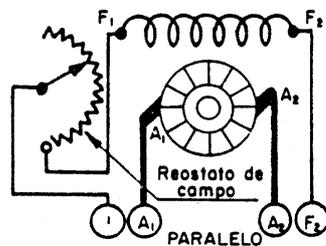
Na excitação separada a corrente que circula pelo sistema indutor é procedente de uma fonte exterior, enquanto que na outra a corrente vem da própria máquina.



A auto-excitação é possível tendo em vista a presença do magnetismo remanescente. A rotação do induzido no interior desse pequeno campo faz nascer uma corrente induzida bastante fraca. Esta, circulando pelo indutor, reforça o campo magnético, o que torna a corrente mais intensa. A corrente vai aumentando pouco a pouco, e em alguns segundos a máquina fornece a tensão nominal.

As indicações gerais de placa do dínamo são:

- Potência nominal em Watts;
- Tensão nominal em Volts;
- Corrente nominal, em Ampères;
- Tipo de serviço;
- Tipo de excitação.



Com um reostato colocado em série com o indutor pode-se variar a tensão do gerador, para valores inferiores ao valor máximo obtido, quando ligado diretamente.

Liga-se: 1 - A1 - L1
 A2 - F2 - L2

O gerador de corrente contínua permite a sua reversibilidade, isto é, pode funcionar como motor desde que na alimentação das bobinas de campo, se tenha o cuidado de não inverter o sentido da corrente para não perder o magnetismo remanescente.

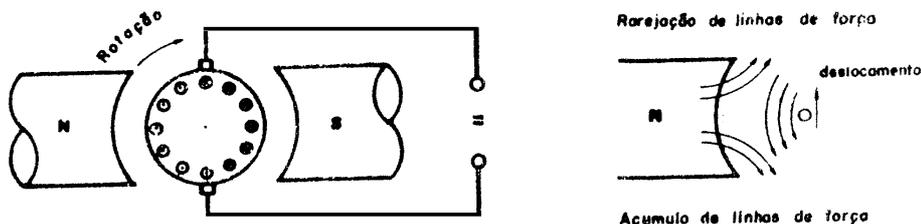
Motor de Corrente Contínua

Princípio de Funcionamento

Num motor de c.c., tanto o indutor como o induzido são alimentados por corrente contínua.

O motor de corrente contínua se compõe dos mesmos elementos ou órgãos constituintes dos geradores de corrente contínua (dínamo); isto é, do ponto de vista de construção nenhuma diferença existe entre o dínamo e o motor. As ligações entre o campo indutor e o induzido também são as mesmas.

O campo magnético, originado nas bobinas do induzido, pela passagem da corrente elétrica, deforma o fluxo indutor dando lugar a forças que obrigam os condutores a se deslocarem no sentido que há menor número de linhas de força.



Coletor

Numa das extremidades do eixo do motor e isolado dele, acha-se o coletor sobre o qual apoiam-se as escovas. O coletor é constituído por lâminas de cobre isoladas entre si. Os extremos das bobinas do induzido são ligados às lâminas do coletor.

Conjugado

Também chamado “par motor”, é o momento da força que se exerce tangencialmente à polia do motor em relação ao seu eixo.

O par motor, pela ação eletromagnética, é diretamente proporcional ao fluxo indutor e à corrente que circula pelo induzido.

Sendo:

$$C = K \times \varphi \times I;$$

C = conjugado em metroquilograma;

K = constante de proporcionalidade que depende dos fatores;

φ = fluxo indutor em maxwell;

I = intensidade da corrente em ampères.

Força contra-eletromotriz

Os condutores do induzido ao entrarem em rotação cortam o fluxo indutor. Pelo princípio de Faraday nasce nos condutores uma f.e.m. induzida cujo sentido, dado pela Lei de Lenz, (aplica-se a regra do saca-rolha), é inverso ao da tensão aplicada no motor. A tensão induzida nos condutores recebe o nome de força contra-eletromotriz. (f.c.e.m.) por se opor a tensão aplicada ao rotor.

O valor da f.c.e.m. é calculada pela expressão:

$$E = \frac{\varphi \times n \times Z}{60 \times 10^8} \times \frac{p}{a}$$

Sendo:

E = força contra-eletromotriz, em volts;

n = velocidade angular em r.p.m.;

Z = número de condutores eficazes;

p = número de pólos;

a = pares de ramais internos que dependem do tipo de enrolamento.

É evidente que no início da marcha, devido à pouca velocidade da máquina a f.c.e.m. é baixa, subindo gradativamente até o normal, quando o motor atinge a velocidade de regime. Deve-se notar que o valor da f.c.e.m. deve ser inferior ao da tensão aplicada ao motor.

Como a tensão aplicada às escovas do induzido e a f.c.e.m. são opostas, resulta que a tensão na armadura ou induzido é dada pela diferença das duas ou seja:

$$u = U - E$$

Sendo:

u = queda de tensão na armadura, em volts;

U = tensão aplicada às escovas do induzido, em volts;

E = força contra-eletromotriz, em volts.

A corrente do induzido

Expressa pela Lei de Ohm, será:

$$I = \frac{u}{r} = \frac{U - E}{r}$$

Onde:

r = é a resistência do induzido.

Esta fórmula nos mostra que no início de marcha, quando a força contra-eletromotriz, é baixa a corrente atingiria um grande valor uma vez que a resistência interna do induzido é pequena.

Por isso para limitarmos a corrente de partida são utilizados reostatos de arranque, colocados em série com o induzido.

Velocidade do motor

Da expressão de força-eletromotriz podemos fazer considerações sobre a velocidade do motor.

$$E = \frac{\varphi \times n \times Z \times p}{60 \times 10^8 \times a}$$

$$\text{donde: } n = \frac{a \times E \times 10^8 \times 60}{p \times \varphi \times Z}$$

Porém, na corrente do induzido vimos que $I = \frac{U - E}{r}$

donde: $E = U - (I \times r)$

Substituindo E na equação, resulta:

$$n = \frac{(U - (I \times r)) \times a}{\varphi \times Z \times p} \times 10^8 \times 60$$

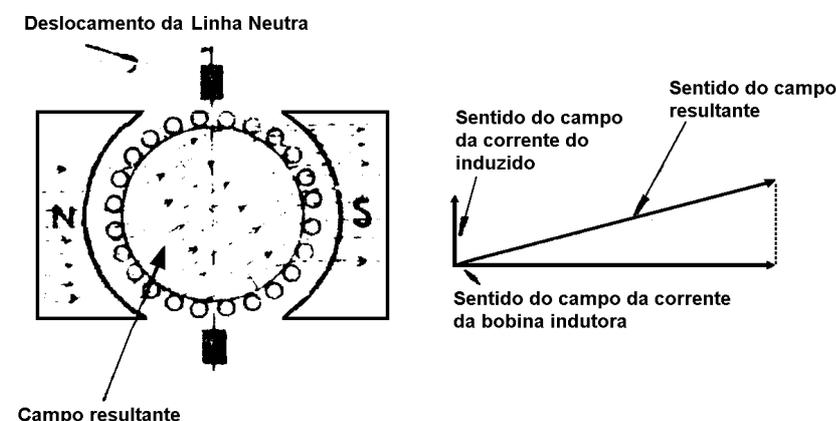
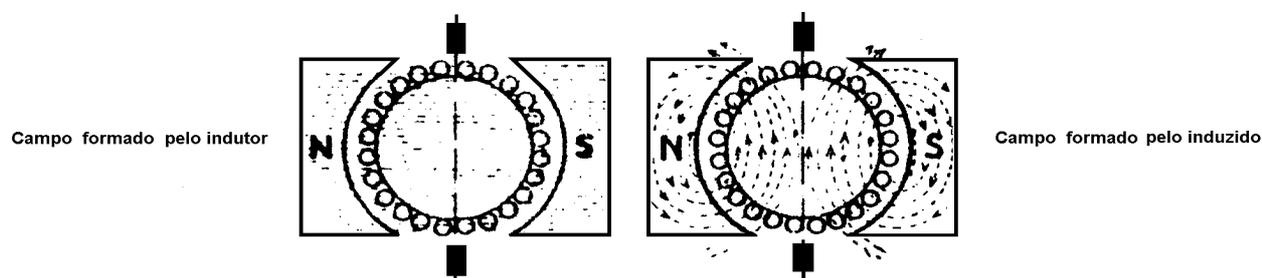
Numa primeira aproximação supõem-se invariável a tensão aplicada U , e despreza-se a queda da tensão na armadura $I \times r = u$; Z , p e a são constantes. A velocidade dependerá então só do fluxo, sendo inversamente proporcional ao seu valor. Normalmente os motores estão providos de um reostato de campo, em série com o indutor, a fim de regular o fluxo magnético, ajustando-se assim o valor da velocidade ao ponto desejado. Há motores em que a velocidade é regulada variando-se as espiras do campo.

Reação do induzido

Além do campo magnético indutor há o campo criado pela corrente do induzido. Estes fluxos estão defasados de 90° . O fluxo total é dado pela soma geométrica destes dois campos, com nova direção. Há portanto uma distorção de fluxo.

A linha neutra onde devem se apoiar as escovas, determinado pela perpendicular ao fluxo resultante, está situada, com relação a velocidade, atrás da linha neutra teórica, normal ao fluxo do indutor.

A velocidade neutra é determinada onde a f.c.e.m. é nula, isto é, os pontos onde os condutores não cortam linhas de força por se deslocarem paralelamente a elas.



Tipos de Motores de Corrente Contínua

O campo e o induzido dos motores de c.c. podem ser conectados de três maneiras distintas, dando origem a três tipos de excitação:

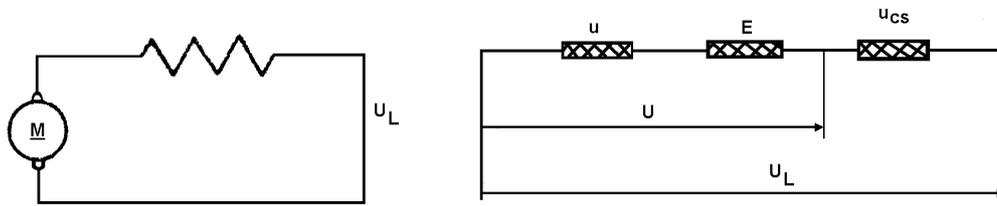
1. Motor com excitação série;
2. Motor com excitação paralela;
3. Motor com excitação mista.

A tensão U aplicada às escovas, se divide em duas partes; uma parte dela é anulada pela f.c.e.m E , enquanto a outra $u = U - E$ nos dá a queda de tensão nos condutores do induzido. Apesar da tensão aplicada no induzido ser U , a tensão que impulsiona a corrente nos condutores será u .

Por esse motivo nos esquemas aplicativos aqui considerados, mostramos um resistor fictício que provoca uma queda E (que representa a f.c.e.m) ligado em série com o resistor que representa o enrolamento do induzido e produz a queda u , ambos os resistores representarão o induzido ao qual se aplica a tensão U nas suas escovas.

Motor com excitação série

Neste tipo de motor o induzido e o campo são ligados em série, portanto toda a corrente do induzido circula também pelo campo. Esquemáticamente a máquina série é assim representada:



Sendo:

- u = queda de tensão no induzido;
- E = f.c.e.m (aplicada a resistência fictícia);
- U = tensão aplicada às escovas;
- u_{cs} = queda de tensão no campo série;
- u_L = tensão da linha aplicada no motor.

O par motor é dada pela expressão $C = K \times \phi \times I$. Como neste tipo de motor o fluxo depende diretamente da corrente do induzido, pode-se afirmar que o conjugado varia diretamente com o quadrado da corrente $C = KI^2$. O motor série possui portanto um grande conjugado inicial.

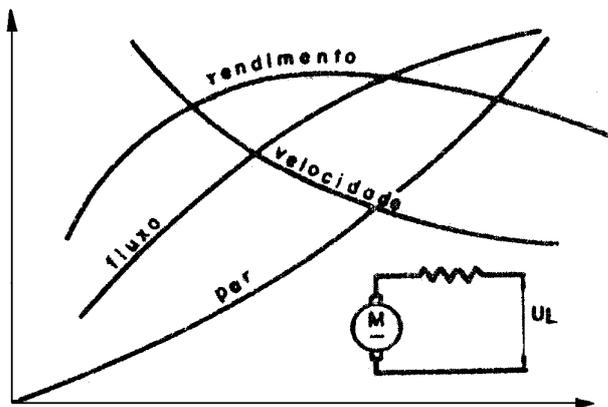
A velocidade do motor é dada pela expressão:

$$n = K \frac{U - (I \times r)}{\phi}$$

Desprezando a queda $I \times r$ e se a tensão for invariável, resulta que o numerador permanece constante. O denominador, formado pelo fluxo, varia com a carga. Com o crescer da carga aumenta o fluxo e a velocidade baixa, por outro lado, se a carga baixa decresce o fluxo e sobe a velocidade. Para este tipo de motor deve-se ter o cuidado de não deixar a carga baixar demasiadamente, pois sendo o fluxo muito pequeno, há o perigo da máquina disparar com desastrosas conseqüências para os mancais e o induzido.

Quando a carga for constante e necessita-se regular a velocidade o campo série que possui diversas derivações e que permite variar o número de espiras controlando-se assim, o fluxo. Há ainda outros processos para controlar a velocidade de um motor série.

O rendimento do motor série, como também do paralelo e misto, cresce rapidamente no início, alcança seu máximo aproximadamente com $\frac{2}{3}$ da carga nominal para depois baixar. O rendimento alcança sua máximo valor quando as perdas joule se equívalem às perdas por atrito e no ferro. Os motores com excitação série são usados onde se exige grande conjugado inicial: tração elétrica, guias, pontes rolantes, guinchos, etc.



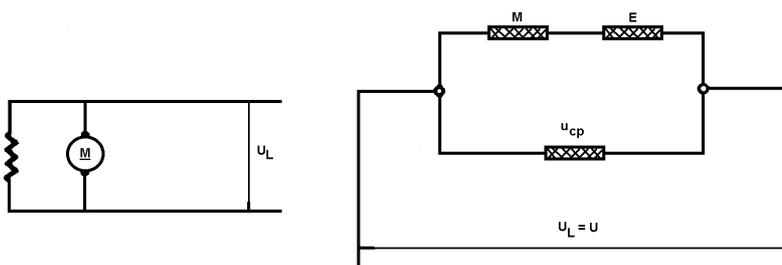
Os motores série de pequena potência que possuem o campo laminado servem para funcionar com C.A. e são chamados de *motores universais*. Dispensam reostatos de arranque.

Motor de excitação paralelo

Neste tipo de motor o campo e o induzido são ligados em derivação, a corrente da linha bifurca-se passando parte pelo campo e o restante pelo induzido.

A corrente do campo independente da corrente do induzido. Esta por sua vez, é uma função da carga.

Esquemáticamente o motor com excitação paralelo é representado como mostra-se abaixo:

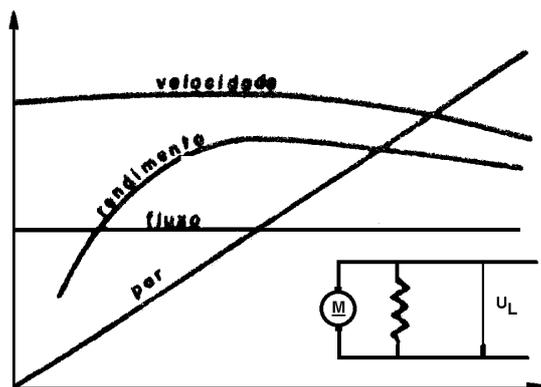


A fórmula do par motor, como já vimos, é: $C = K \times \phi \times I$.

O fluxo é invariável pois, como dissemos acima, a corrente do campo independe, praticamente da carga, resulta que o par motor é diretamente proporcional à corrente, $C = K \times I$.

A velocidade $n = K \frac{U - (r \times I)}{\phi}$ é praticamente constante

com a variação da carga. O numerador, pelas mesmas razões, vistas no motor série, permanece invariável. O fluxo também não varia por ser independente da carga.



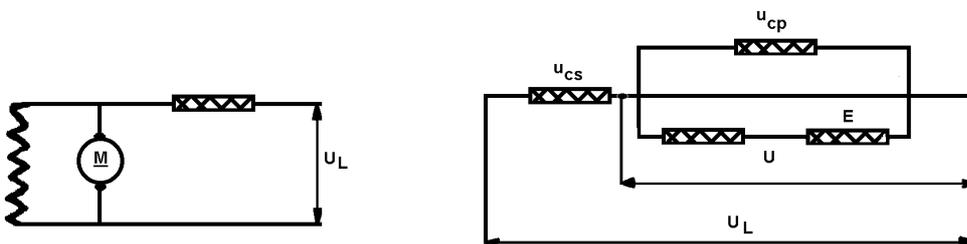
Quando for necessário variar a velocidade do motor derivação, adiciona-se um reostato em série com o campo; manobrando-se o reostato consegue-se ajustar a corrente do campo que proporciona um fluxo adequado à velocidade desejada.

Os motores com excitação paralelo são usados onde se requer pequeno par motor inicial e uma velocidade praticamente constante, como nos ventiladores, bombas centrífugas, máquinas ferramentas, etc.

Motor com excitação mista

Este tipo de motor possui dois campos: um em série e o outro em paralelo com o induzido.

Esquemáticamente a máquina com excitação mista pode ser representada por:

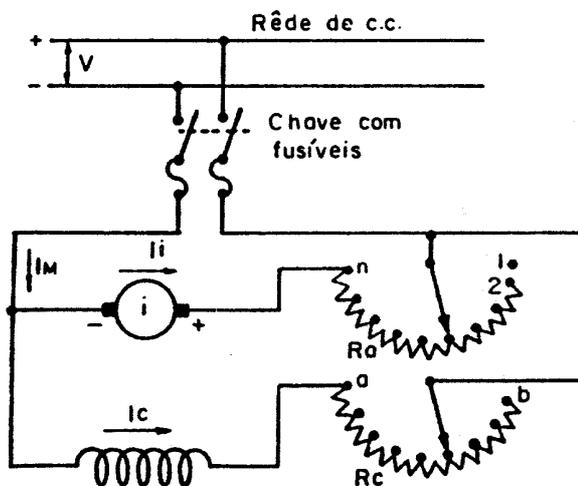


O par motor e a velocidade são valores intermediários aos motores séries e paralelo. Quando se necessita controlar a velocidade age-se sobre o campo paralelo através do reostato.

Os motores mistos são usados em máquinas que necessita um moderado par motor inicial. Por exemplo: guindastes.

Instalações de Motores de Corrente Contínua

Motor com excitação em derivação



O diagrama mostra a maneira mais simples de ligar um motor derivação com reostato de arranque (R_a) e com o reostato de regulação de campo (R_c) que serve também para ajustar a rotação nominal do motor, ou variá-la dentro de certos limites próximos à nominal.

Ao se ligar a chave de faca, o cursor do reostato de arranque (R_a) deverá estar apoiado sobre o contato nº 1 ficando o induzido (i) desligado. O reostato e campo (R_c) deverá ficar com o cursor entre “a” e “b” ou um pouco mais próximo de “a”, para que o campo (c) tenha um fluxo mais forte ao se dar o arranque do motor. Isto se dará na passagem do cursor do reostato “ R_a ” para o contato nº 2. Espera-se o induzido acelerar e gradativamente vai-se retirando a resistência “ R_a ” até chegar no último contato “n”.

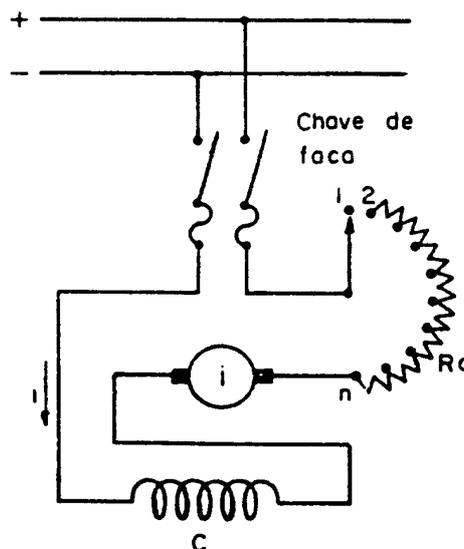
Para aumentar a velocidade do motor move-se o cursor de “ R_c ” lentamente para o lado de “b” diminuindo “ I_c ” e o fluxo do campo C , com isto o induzido terá que aumentar a sua velocidade para alcançar um valor de f.c.e.m. próxima da tensão aplicada.

Para diminuir a velocidade do motor move-se o cursor para o lado de “a” aumentando I_c e o fluxo do campo (c), com isto o induzido terá que diminuir a sua velocidade, para que o valor de sua f.c.e.m. fique abaixo e próximo ao valor da tensão aplicada.

Motor com excitação em série

No motor de excitação em série, a corrente absorvida pelo induzido produz também o fluxo magnético indutor.

Este tipo de motor é ligado conforme o diagrama abaixo.



No arranque o valor da corrente (I) é elevado e por conseqüência o fluxo magnético também será elevado, assim o conjugado desta máquina resulta proporcional ao quadrado da corrente, adquirindo valores elevados, concluindo-se daí que o motor série é indicado nos casos em que o mesmo deve arrancar com carga.

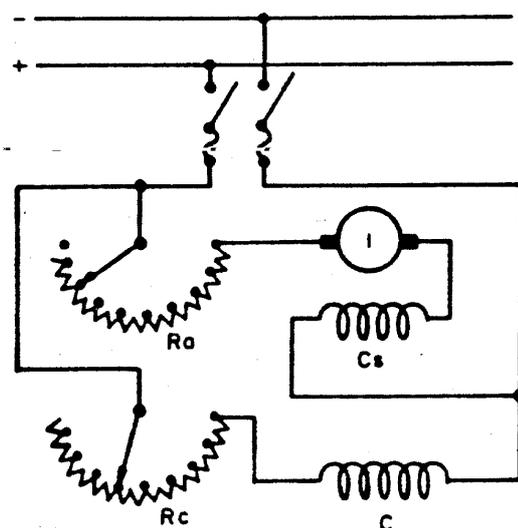
No funcionamento à vazio a torção resistente é muito pequena e em conseqüência, a sua corrente e o fluxo magnético também são pequenos, podendo a rotação alcançar valores elevadíssimos, para produzir a f.c.e.m. capaz de se aproximar do valor da tensão aplicada.

O motor série funcionando à vazio, a única oposição ao seu movimento é constituída pela torção resistente devido às perdas e aos atritos, que nos motores pequenos pode limitar a sua velocidade, impedindo que esta alcance valores destrutivos, não acontecendo o mesmo com as máquinas grandes.

Motor com excitação mista

Este tipo de motor de corrente contínua, permite aproveitar as vantagens dos motores de excitação em derivação e em série. Estas vantagens consistem na velocidade constante do motor derivação, reunida com um grande conjugado no arranque do motor série.

O diagrama abaixo, mostra como são ligados os componentes necessários para o arranque e para o ajuste de velocidade deste tipo de motor.



Com a presença do campo derivação não há possibilidade de disparo, mesmo quando a carga é pequena ou ausente.

Defeito nas Ligações dos Motores de Corrente Contínua

Introdução

Como nas máquinas de CA, trataremos, nesta informação, apenas dos defeitos externos mais freqüentes nos motores de CC.

O motor não arranca

Interrupção nas linhas ou falta de tensão

Com o auxílio de um multiteste pode ser verificado o ponto falho da instalação, como fusível interrompido, maus contatos, fio interrompido, defeito nos reostatos etc.

As anomalias são de fácil reparação, salvo a falta de tensão que depende da rede de distribuição externa.

Erro de ligação do reostato

Com um esquema, verificar as ligações e corrigir as conexões.

Aquecimento anormal

Verificar a corrente do campo. Se for excessiva, reduzir a excitação.

Fiscamento das escovas

Excesso de carga

A sobrecarga provoca um grande fiscamento das escovas. Com um amperímetro se verifica o excesso de corrente. Retirar a carga excedente.

Excitação baixa

A diminuição da excitação, além do valor normal, provoca fiscamento. Manobrar o reostato para o valor da excitação de regime.

Aumento de velocidade

O excesso de velocidade pode ser causado, nos motores série, pela falta de carga e, no motor paralelo, pela interrupção do circuito de excitação. Localizar o defeito e reparar.

Defeitos Internos nos Motores de Corrente Contínua

Faiscamento nas Escovas

Escovas fora da linha neutra

Verificar as escovas e ajustá-las no plano de comutação.

Isolamento defeituoso entre escovas

Desmontar o porta-escovas, verificar a isolação e polir cuidadosamente ao trocar os isolantes que separam as escovas da máquina.

Pressão irregular das escovas

Verificar o porta-escovas e regular a pressão das escovas.

As escovas são responsáveis na maioria das vezes pelo faiscamento que se origina entre elas e o coletor.

Caracteriza-se uma boa escova a sua resistência ao desgaste, ao aquecimento e à fricção e sua condutibilidade elétrica. As máquinas que trabalham com baixas correntes e tensão não muito elevada suportam escovas semiduras de carvão que contém pouco grafite, são de baixo preço. Para máquinas de grande potência e alta velocidade, a construção será com elevada percentagem de grafite. Seu preço é caro.

Em máquinas de grandes correntes e baixa tensão usam-se escovas compostas de uma mistura de carvão e cobre comprimidos. Há ainda outros tipos de escovas.

Mau contato entre escovas e coletor

Verificar a superfície de contato das escovas. Colocar sobre o coletor uma lixa fina e sobre ela apertar as escovas sob pressão. Girar o eixo com a mão, procurando, ajustar as escovas para que toda sua superfície apoie-se sobre o coletor.

Coletor sujo ou com superfície irregular

O faiscamento neste caso é intermitente. Quando sujo, desengraxa-se com benzina ou dá-se um polimento com lixa fina. No caso de ser a superfície rugosa, desmonta-se a máquina e leva-se a um torno para dar-lhe um breve desbaste. Deve-se ter cuidado para que as lâminas do coletor não se tornem muito finas. O melhor é retificar com rebolo de carborundum de grãos finos.

Enrolamento do induzido com solda defeituosa ou com solda solta do coletor

O faiscamento devido a solda defeituosa provoca um escurecimento nas lâminas correspondentes. Quando as pontas forem dessoldadas aparece em outras duas lâminas consecutivas, o faiscamento.

Desmonta-se o induzido e faz-se a prova de continuidade. Esta se faz enviando-se corrente contínua de baixa tensão nas lâminas onde deveriam estar as escovas. A seguir mede-se com mili-voltímetro a tensão entre duas lâminas adjacentes e assim por diante. as leituras devem ser iguais, salvo nas pontas defeituosas em que a tensão venha a ser diferente do zero.

Refazer ou efetuar a solda.

Curto circuito no induzido

Este defeito pode ser provocado devido a um aquecimento excessivo ou por um isolamento fraco ou defeituoso. O curto circuito do induzido além do faiscamento provoca um consumo de corrente maior que o normal que pode provocar queima do enrolamento. A localização deste defeito se faz com a prova eletromagnética (com o eletroímã). Substituir as bobinas defeituosas ou se necessário refazer o enrolamento.

Enrolamento do induzido ligado à massa

Com megôhmetro, verificar se há contato entre condutores e massa. Localizar a bobina defeituosa e refazer o isolamento ou substituir por outra nova conforme necessidade.

Curto circuito no indutor ou dissimetria do fluxo

A extra corrente de abertura devido ao fenômeno de auto indução é a maior responsável pelo curto circuito provocado no indutor. O curto circuito nos indutores também pode ser provocado por causas acidentais como umidade, excesso de aquecimento, etc.

A dissimetria do fluxo pode ter como origem curto circuito entre algumas espiras ou desigualdade de espiras nos pólos. Este defeito é mais acentuado nos motores com o enrolamento do induzido em paralelo.

Verificar o defeito com instrumento adequado e efetuar o reparo.

Excesso de velocidade

Bobina de campo interrompida. Localizar o defeito e reparar.

Mica saliente

Provoca falta de corrente contínua entre coletor e escovas provocando além de faiscamento funcionamento ruidoso. Rebaixar a mica.

Aquecimento Anormal

Mancais ou rolamentos gastos.

Verificar a folga nos mancais e rolamentos e efetuar reparo ou troca.

Defeitos da lubrificação

Verificar os mancais e reparar caso haja excesso ou falta de lubrificação.

Defeito de ventilação

Verificar o funcionamento da ventilação e efetuar reparo.

Umidade ou óleo nos enrolamentos

Umidade ou óleo nos enrolamentos baixam a resistência de isolamento, provocando aquecimento anormal na máquina. Quando esta fica depositada em lugar pouco arejado e úmido os enrolamentos adquirem umidade. É bom efetuar um teste de isolação antes de colocarmos a máquina em funcionamento.

No caso do óleo lubrificante escorregar dos mancais, penetrando nos enrolamentos; é necessário efetuarmos um teste de isolação pois tanto a umidade como o óleo lubrificante estragam o verniz dos enrolamentos. Para repararmos estes inconvenientes é necessário colocarmos a máquina em estufa, tendo o cuidado de retirar as partes que podem se danificar com a temperatura que vai aproximadamente a 100°C.

Em, alguns casos torna-se necessário aplicar nova camada de verniz.

Curto circuito no induzido

Contato entre lâminas ou entre elas e a massa provocada pela falta ou má isolação ou ainda por material condutor interposto provocando elevado aquecimento em todo o enrolamento. Também espiras em curto circuito podem ser a causa do aquecimento. Verificar o defeito com instrumento adequado e efetuar reparo.

Curto circuito nos enrolamentos do campo

um curto circuito mesmo pequeno, no enrolamento do campo provoca aumento da corrente de excitação. Com instrumento adequado localizar defeito e reparar.

Motor Não Arranca

Mancais ou enrolamento gastos

A folga existente nas partes que suportam o eixo do motor provoca atração do induzido contra as expansões. Verificar o defeito e reparar.

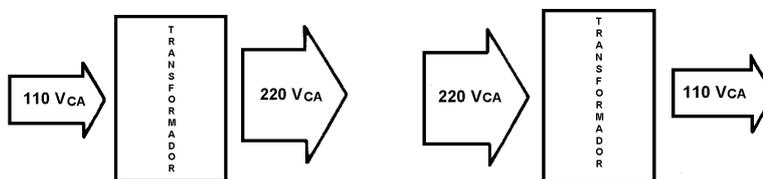
Interrupção ou curto circuito no induzido ou no indutor

Com instrumento adequado localizar defeito e reparar.

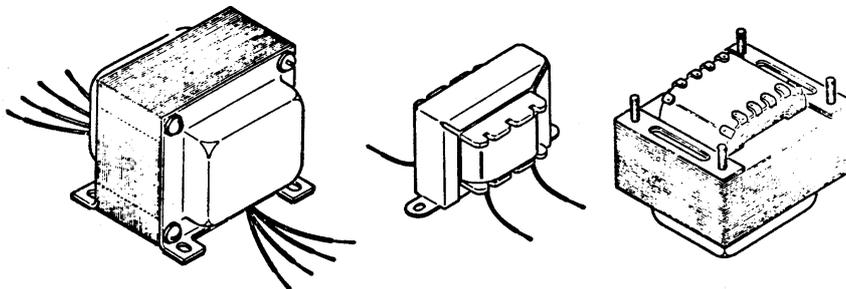
Transformadores em geral

Princípio de Funcionamento

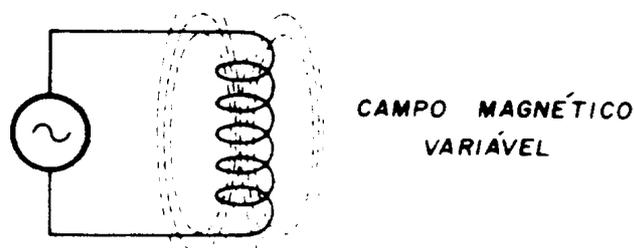
O transformador é um dispositivo que permite elevar ou abaixar os valores de tensão ou corrente em um circuito de CA.



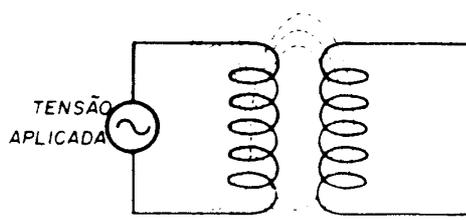
A grande maioria dos equipamentos eletrônicos emprega transformadores, seja como elevador ou abaixador de tensões.



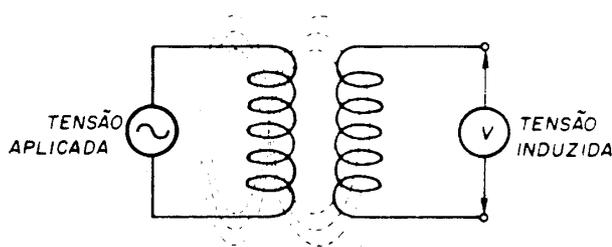
Quando uma bobina é conectada a uma fonte de CA surge um campo magnético variável ao seu redor.



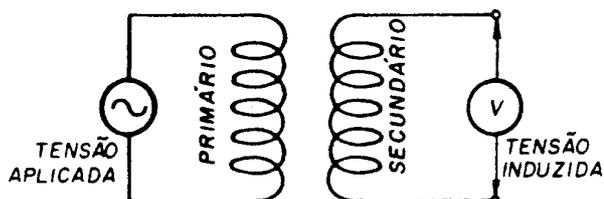
Aproximando-se outra bobina à primeira o campo magnético variável gerado na primeira bobina “corta” as espiras da segunda bobina.



Como consequência da variação de campo magnético sobre suas espiras surge na segunda bobina uma tensão induzida.



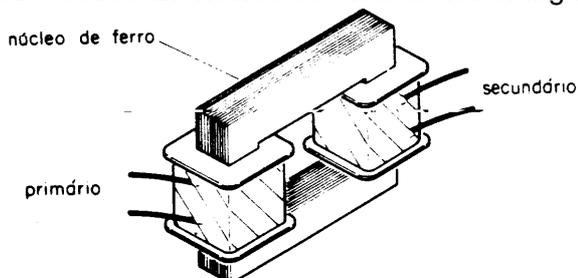
A bobina na qual se aplica a tensão CA é denominada de primário do transformador e a bobina onde surge a tensão induzida é denominada de secundário do transformador.



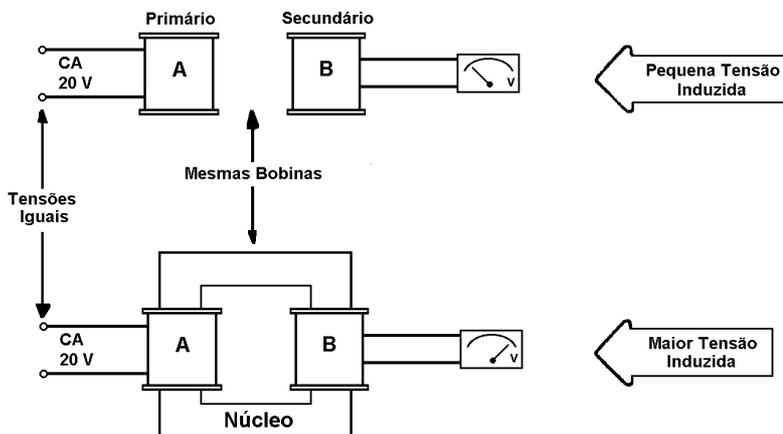
É importante observar que as bobinas primária e secundária são eletricamente isoladas entre si. A transferência de energia de uma para a outra se dá exclusivamente através das linhas de força magnéticas.

A tensão induzida no secundário de um transformador é proporcional ao número de linhas magnéticas que corta a bobina secundária.

Por esta razão, o primário e o secundário de um transformador são montados sobre um núcleo de material ferromagnético.

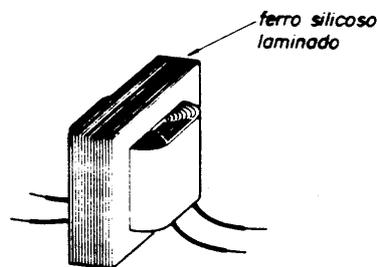


O núcleo diminui a dispersão do campo magnético, fazendo com que o secundário seja cortado pelo maior número de linhas magnéticas possível, obtendo uma melhor transferência de energia entre primário e secundário. As figuras abaixo ilustram o efeito provocado pela colocação do núcleo no transformador.



Com a inclusão do núcleo o aproveitamento do fluxo magnético gerado no primário é maior. Entretanto, surge um inconveniente: o ferro maciço sofre grande aquecimento com a passagem do fluxo magnético.

Para diminuir este aquecimento utiliza-se ferro silicoso laminado para a construção do núcleo.



Com a laminação do ferro se reduzem as “correntes parasitas” responsáveis pelo aquecimento do núcleo.

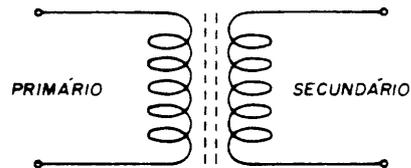
A laminação não elimina o aquecimento, mas reduz sensivelmente em relação ao ferro maciço.

A figura abaixo mostra os símbolos empregados para representar o transformador, segundo a norma ABNT.



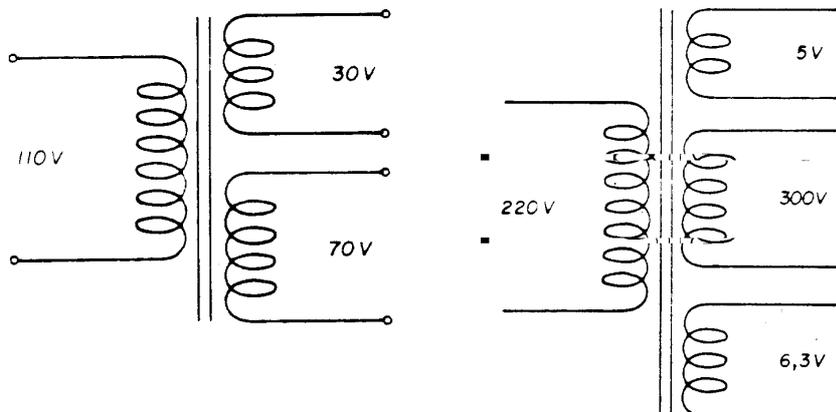
Os traços colocados no símbolo entre as bobinas do primário e secundário, indicam o núcleo de ferro laminado. O núcleo de ferro é empregado em transformadores que funcionam em baixas frequências (50 Hz, 60 Hz, 120 Hz).

Transformadores que funcionam em frequências mais altas (KHz) geralmente são montados em núcleo de FERRITE. A figura abaixo mostra o símbolo de um transformador com núcleo de ferrite.



Transformadores com mais de um secundário

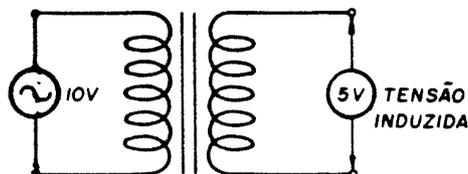
É possível construir transformadores com mais de um secundário, de forma a obter diversas tensões diferentes.



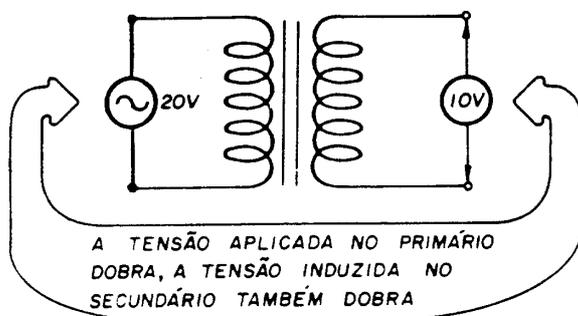
Estes tipos de transformadores são muito utilizados em equipamentos eletrônicos.

Relação de Transformação

A aplicação de uma tensão CA ao primário de um transformador resulta no aparecimento de uma tensão induzida no seu secundário.



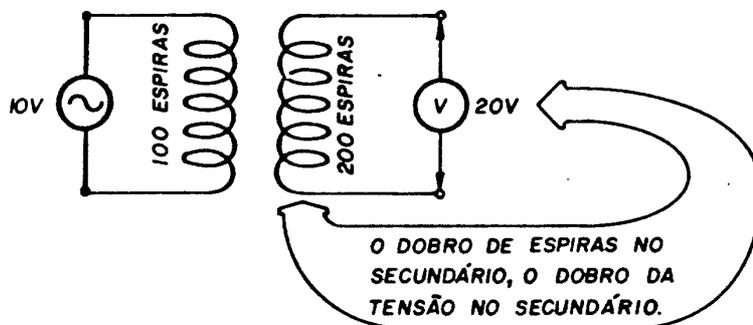
Aumentando-se a tensão aplicada ao primário, a tensão induzida no secundário aumenta na mesma proporção.



Verifica-se através dos exemplos das figuras acima que, no transformador tomado com exemplo; a tensão do secundário é sempre a metade da tensão aplicada no primário.

A relação entre as tensões no primário e secundário depende fundamentalmente da relação entre o número de espiras no primário e secundário.

Num transformador com primário de 100 espiras e secundário de 200 espiras a tensão no secundário será o dobro da tensão no primário.



Denominando-se o número de espiras do primário de N_P e do secundário de N_S pode-se escrever:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{20V}{10V} = 2 \qquad \frac{N_S}{N_P} = 2$$

(lê-se: saem 2 para cada 1 que entra)

Verifica-se que o resultado da relação N_S/N_P é o mesmo da relação V_S/V_P . Logo, pode-se escrever:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

Matematicamente pode-se escrever que, para o transformador usado como exemplo:

$$\frac{V_S}{V_P} = 0,5 \qquad \text{Onde:}$$

V_S = tensão no secundário;
 V_P = tensão no primário.

o resultado desta relação (V_S/V_P) é denominado de relação de transformação.

$$\frac{V_S}{V_P} = \text{Relação de Transformação}$$

A relação de transformação expressa a relação entre a tensão aplicada ao primário e a tensão induzida no secundário.

Um transformador pode ser construído de forma a ter qualquer relação de transformação que se necessite. Por exemplo:

Relação de Transformador	Tensões
3	$V_S = 3 \times V_P$
5,2	$V_S = 5,2 \times V_P$
0,3	$V_S = 0,3 \times V_P$

Tipos de transformador quanto a relação de transformação

Quanto a relação de transformação os transformadores podem ser classificados em três grupos:

- transformador elevador
- transformador abaixador
- transformador isolador

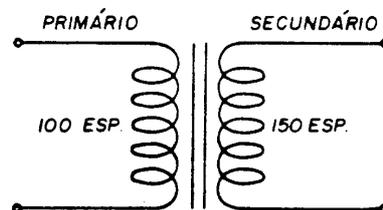
Transformador elevador

Denomina-se transformador elevador todo o transformador com uma relação de transformação maior que 1 ($N_S > N_P$).

Devido ao fato de que o número de espiras do secundário é maior que do primário a tensão do secundário será maior que a do primário.

$$\text{Transformador Elevador} \quad N_S > N_P \Rightarrow V_S > V_P$$

A figura abaixo mostra um exemplo de transformador elevador, com relação de transformação de 1,5.



Se uma tensão de $100V_{CA}$ for aplicada ao primário no secundário será de $150V$ ($100 \times 1,5 = 150$).

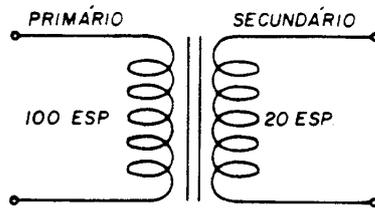
Transformador abaixador

É todo o transformador com relação de transformação menor que 1 ($N_S < N_P$).

Neste tipo de transformadores a tensão no secundário é menor que no primário.

$$\text{Transformador Abaixador} \quad N_S < N_P \Rightarrow V_S < V_P$$

A figura abaixo mostra um exemplo de transformador abaixador, com relação de transformação de 0,2.



Neste transformador aplicando-se 50 V_{CA} no primário a tensão no secundário será 10 V (50 x 0,2 = 10).

Os transformadores abaixadores são os mais utilizados em eletrônica, para abaixar a tensão das redes elétricas domiciliares (110 V, 220 V), para tensões da ordem de 6 V, 12 V e 15 V necessárias para os equipamentos.

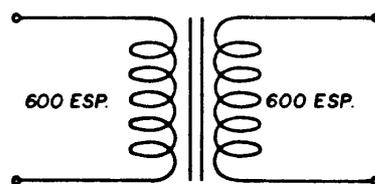
Transformador Isolador

Denomina-se de isolador o transformador que tem uma relação de transformação 1 ($N_S = N_P$).

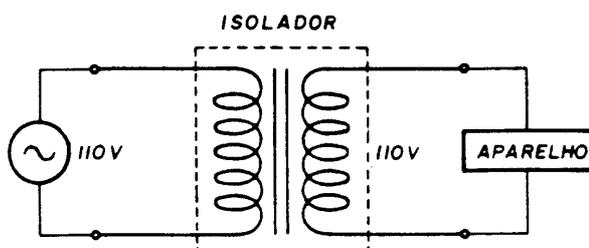
Como o número de espiras do primário e secundário é igual, a tensão no secundário é igual a tensão no primário.

$$\text{Transformador Isolador} \quad N_S = N_P \Rightarrow V_S = V_P$$

A figura abaixo mostra um exemplo de transformador isolador.



Este tipo de transformador é utilizado para isolar eletricamente um aparelho da rede elétrica.

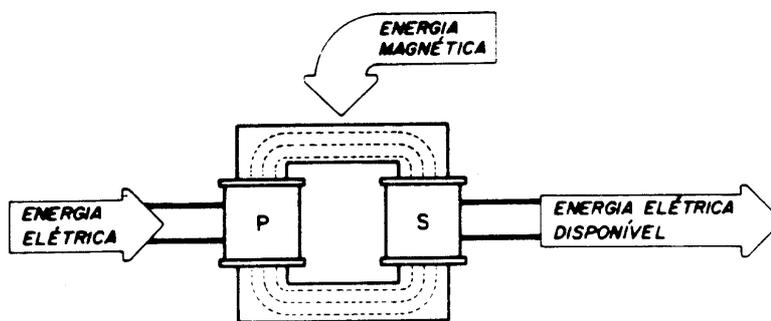


Os transformadores isoladores são muito utilizados em laboratórios de eletrônica para que a tensão presente nas bancadas seja eletricamente isolada da rede.

Relação de Potência em Transformadores

O transformador é um dispositivo que permite modificar os valores de tensão e corrente em um circuito de CA.

Em realidade, o transformador recebe uma quantidade de energia elétrica no primário, transforma em campo magnético e converte novamente em energia elétrica disponível no secundário.



A quantidade de potência absorvida da rede elétrica pelo primário do transformador é denominada de potência do primário, representada pela notação P_P .

Admitindo-se que não existam perdas por aquecimento do núcleo, pode-se concluir que toda a potência absorvida no primário está disponível no secundário.

$$\text{Potência Disponível no Secundário} = \text{Potência Absorvida no Primário}$$

A potência disponível no secundário é denominada de potência do secundário P_S . Se não existem perdas pode-se afirmar:

$$P_S = P_P$$

A potência do primário depende da tensão aplicada e da corrente absorvida da rede:

$$\text{Potência do Primário} \Rightarrow P_P = V_P \times I_P$$

A potência do secundário é produto da tensão e corrente no secundário:

$$\text{Potência do Secundário} \Rightarrow P_S = V_S \times I_S$$

Considerando o transformador como ideal pode-se, então escrever: $P_S = P_P$

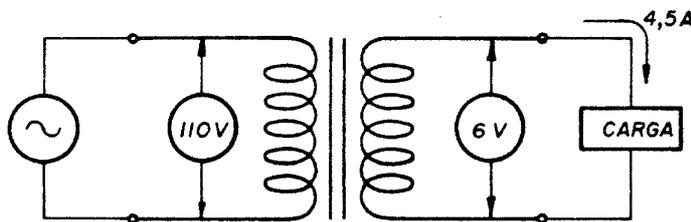
$$V_S \times I_S = V_P \times I_P \quad \leftarrow \quad \text{Relação de potências no transformador}$$

Esta equação permite que se determine um valor do transformador se os outros três forem conhecidos.

A seguir estão colocados dois exemplos de aplicação da equação.

Exemplo 1

Um transformador abaixador de 110 V para 6 V deverá alimentar no seu secundário uma carga que absorve uma corrente de 4,5 A. Qual será a corrente no primário?



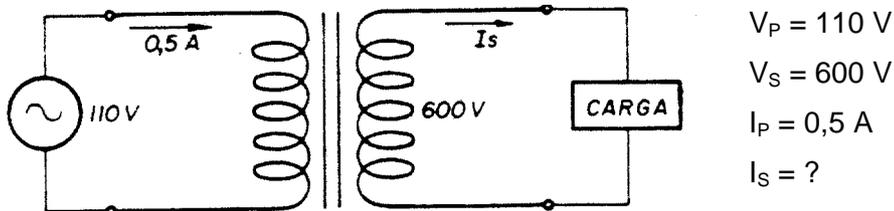
$$\begin{aligned} V_p &= 110V \\ V_s &= 6V \\ I_s &= 4,5A \\ I_p &= ? \end{aligned}$$

$$V_P \times I_P = V_S \times I_S \Rightarrow I_P = \frac{V_S \times I_S}{V_P}$$

$$I_P = \frac{6V \times 4,5A}{110V} \quad I_P = \frac{27W}{110V} \quad I_P = 0,24A$$

Exemplo 2

Um transformador elevador de 110 V para 600V absorve, no primário, uma corrente de 0,5 A. Que corrente está sendo solicitada no secundário?

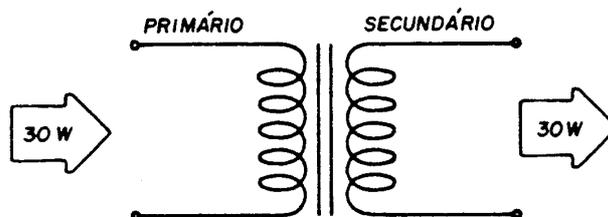


$$V_P \times I_P = V_S \times I_S \Rightarrow I_S = \frac{V_P \times I_P}{V_S}$$

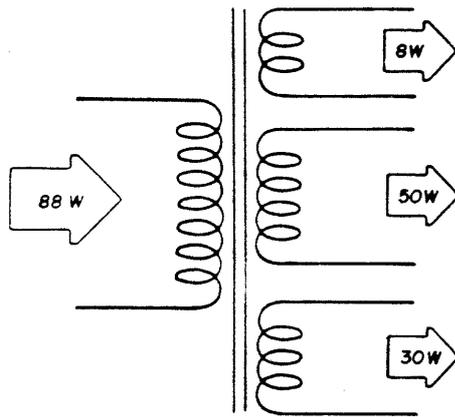
$$I_S = \frac{110 \text{ V} \times 0,5 \text{ A}}{600 \text{ V}} \quad I_S = \frac{55 \text{ W}}{600 \text{ V}} \quad I_S = 91,67 \text{ mA}$$

Potência em transformadores com mais de um secundário

Quando um transformador tem apenas um secundário a potência absorvida pelo primário é a mesma fornecida no secundário (considerando que não existem perdas por aquecimento).



Quando existe mais de um secundário, a potência absorvida da rede pelo primário é a soma das potências fornecidas em todos os secundários.



A potência absorvida da rede pelo primário é a soma das potências de todos os secundários.

Matematicamente pode-se escrever:

$$P_P = P_{S1} + P_{S2} + \dots + P_{Sn}$$

Onde:

P_P = potência absorvida pelo primário;

P_{S1} = potência fornecida pelo secundário 1;

P_{S2} = potência fornecida pelo secundário 2;

P_{Sn} = potência fornecida pelo secundário n.

Esta equação pode ser reescrita usando os valores de tensão e corrente no transformador.

$$V_P = I_P = (V_{S1} \times I_{S1}) + (V_{S2} \times I_{S2}) + \dots + (V_{Sn} \times I_{Sn})$$

Onde:

V_P e I_P = tensão e corrente no primário

V_{S1} e I_{S1} = tensão e corrente no secundário 1

V_{S2} e I_{S2} = tensão e corrente no secundário 2

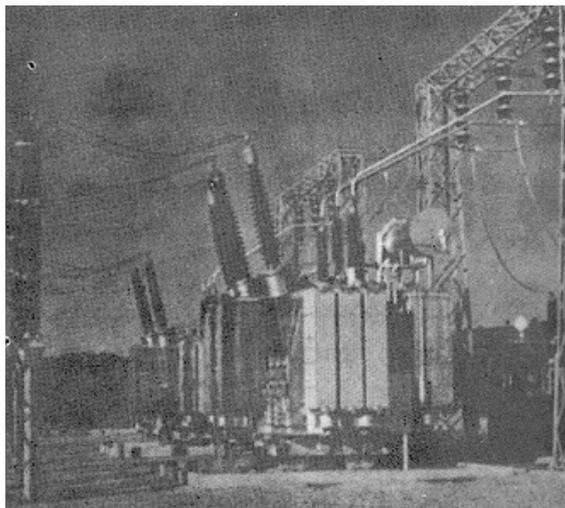
V_{Sn} e I_{Sn} = tensão e corrente no secundário n.

Transformador Trifásico

Os *transformadores trifásicos* tem as mesmas funções que os monofásicos, ou seja, abaixar e elevar a tensão. Mas trabalham com *três fases*, ao invés de apenas uma como os monofásicos.

Enquanto o transformador de seu televisor tem a função de reduzir 220 volts para 110 volts, ou estabilizar a tensão, o transformador que você vê nos postes tem por finalidade a distribuição da energia elétrica para os consumidores. Existem vários tipos de transformadores trifásicos de força.

Existem transformadores de grande potência e alta tensão. Você poderá ver transformadores de força de grande potência e alta tensão nas subestações.



Nas subestações, os transformadores não tem a mesma finalidade que os pequenos transformadores domésticos. Eles são distribuídos e tem maiores capacidades.

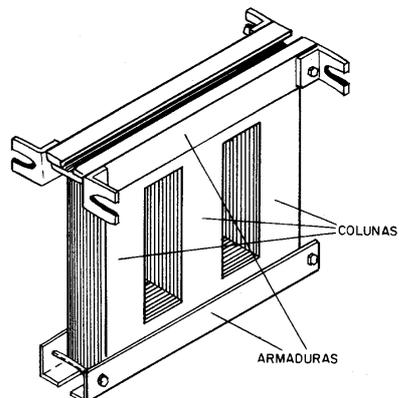
Mas tem, basicamente, o mesmo princípio de funcionamento e executam o mesmo trabalho: *transforma tensões*.

Transformar, por exemplo, 120 KV em 13,8 KV.

Os enrolamentos do transformador trifásico nada mais é que uma associação de três enrolamentos monofásicos.

O núcleo dos transformadores trifásicos é constituído de chapas siliciosas a exemplo dos monofásicos.

Possuem três colunas.



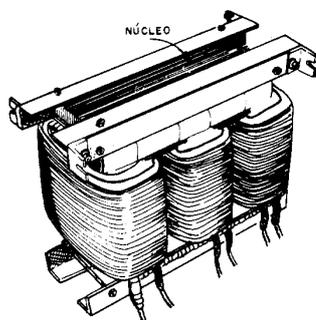
NÚCLEO TRIFÁSICO CONVENCIONAL

Cada coluna servirá de núcleo para uma fase, como se cada coluna fosse um transformador monofásico.

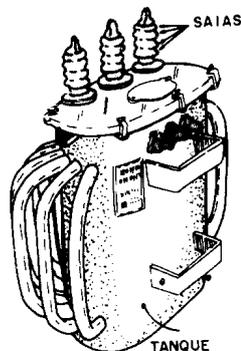
Então em cada coluna você terá duas bobinas, uma primária e outra secundária.

Portanto, o transformador trifásico tem, no mínimo seis bobinas: três primárias e três secundárias.

Veja a figura onde as seis bobinas estão montadas no núcleo.



O conjunto é colocado em um recipiente próprio, denominado tanque.



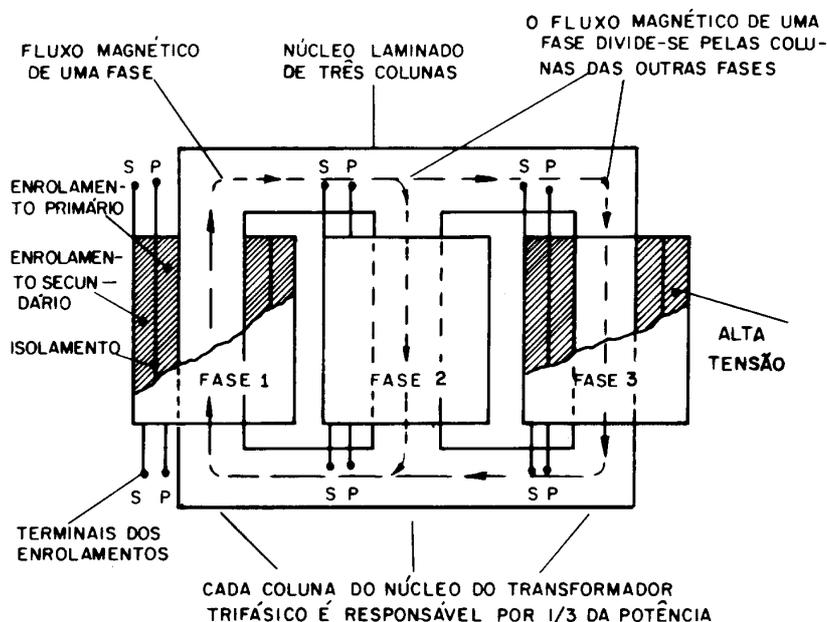
Fora do tanque, existem seis terminais: três para entrada da rede trifásica e três para a saída.

Note que, no lado da tensão mais elevada, os terminais são próprios para alta tensão: tem muitas “saías” e são bem mais longos.

O isolador para as tensões mais baixas é bem menor em comprimento, tem menos “saías” e os seus terminais (parafusos de fixação do condutor) tem maior diâmetro, pois a corrente, nesses terminais, é bem maior que a existente no lado de alta tensão.

As bobinas das três fases (fases 1, 2 e 3) devem ser exatamente iguais.

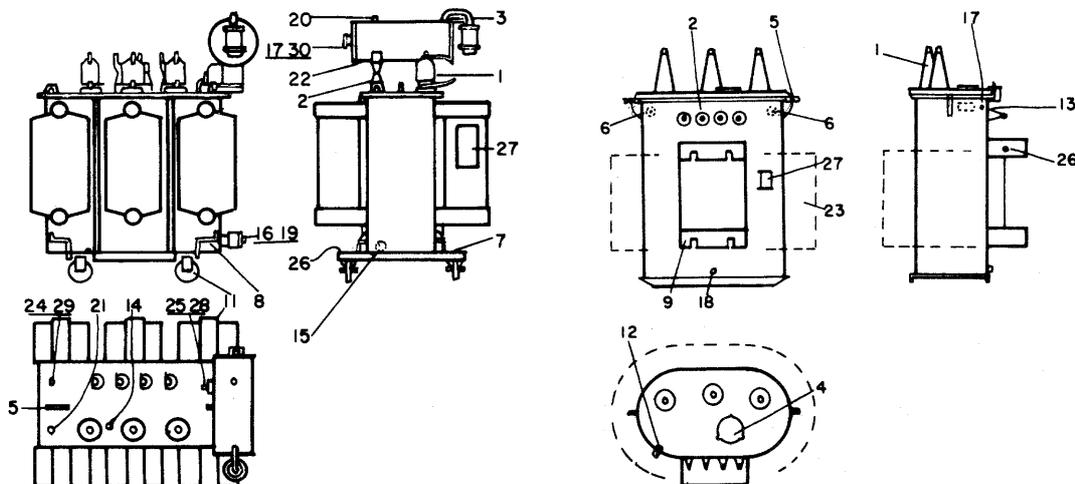
Nos transformadores de alta tensão, o enrolamento de alta tensão fica do lado externo, para facilitar a isolação.



Vejamos algumas particularidades do transformador trifásico.

- O transformador trifásico difere do transformador monofásico na construção do núcleo e na disposição das bobinas das fases.
- Cada fase funciona independentemente das outras duas fases. É exatamente como se fossem três transformadores monofásicos num só. Tanto que, numa instalação, três transformadores monofásicos, exatamente iguais, podem substituir um transformador trifásico.
- Os primários e secundários são isolados entre si, como nos transformadores monofásicos.
- O transformador trifásico pode alimentar cargas monofásicas e trifásicas.

Acessórios do Transformador

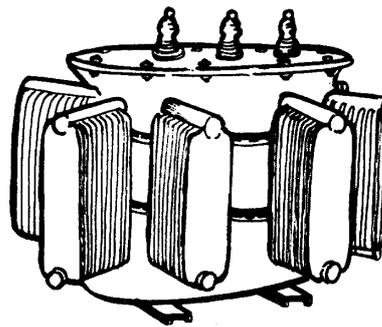
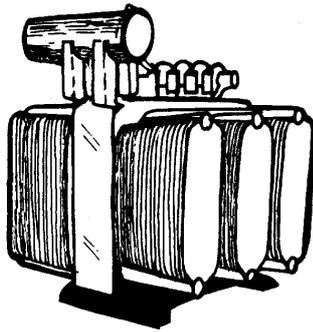


Acessórios Normais

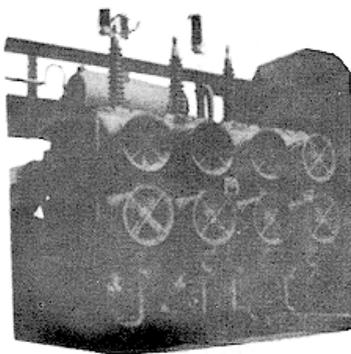
- | | |
|---|---|
| 1- Bucha TS 15 ou 25 KV | 15- Bujão para drenagem de óleo |
| 2- Bucha TI e neutra 1,2 KV | 16- Dispositivo para amostra de óleo |
| 3- Secador de ar | 17- Indicador de nível de óleo |
| 4- Janela de inspeção | 18- Bujão para drenagem e retirada de amostra do óleo |
| 5- Olhal de suspensão | 19- Válvula para drenagem e ligação do filtro-prensa |
| 6- Suspensão da parte extraível (interna) | 20- Tubo de encher |
| 7- Olhal de tração | 21- Tubo para ligação do filtro-prensa |
| 8- Apoio para macaco | 22- Bujão para drenagem do conservador |
| 9- Suporte para ganchos | 23- Radiadores |
| 11- Rodas bidirecionais | 24- Bolsa para termômetro |
| 12- Fixação de tampa | 25- Previsão para relé Buchholz |
| 13- Mudança de derivações (interna) | 26- Terminal de aterramento |
| 14- Acionamento do comutador | 27- Placa de identificação |

Acessórios Opcionais

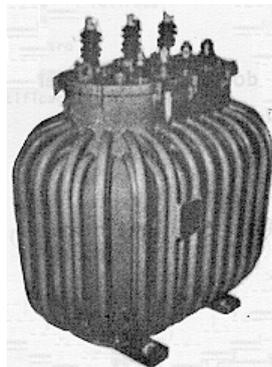
- | | |
|-----------------------------|--|
| 28- Relé Buchholz | 30- Indicador magnético do nível de óleo |
| 29- Termômetro com contatos | |



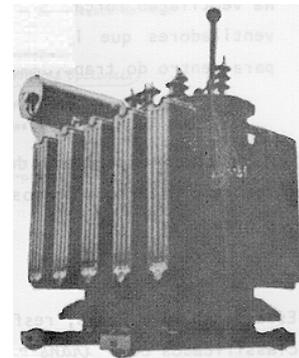
Resfriamento dos Transformadores



Resfriamento por ventiladores



Resfriamento por tubulações



Resfriamento por radiadores ao natural

Como você já sabe, as *perdas do transformador* geram calor, provocando o aquecimento dos enrolamentos.

Com o excesso de calor, o isolamento dos enrolamentos e também o isolamento entre as bobinas, tendem a deteriorar-se, provocando curto-circuito e queima do transformador.

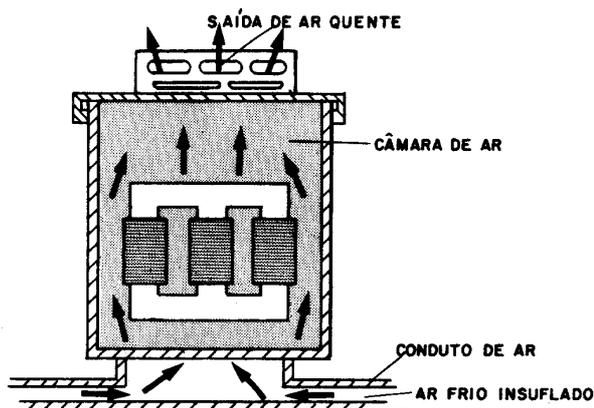
O calor deve ser dissipado, a fim de que a temperatura estabelecida para os enrolamentos seja mantida.

Os pequenos transformadores podem dissipar o calor por radiação direta, isto é, *expostos ao ar, naturalmente*.

Porém, transformadores para grandes capacidades monofásicas ou trifásicas, precisam de maior resfriamento. Não sendo suficiente a ventilação natural, esses transformadores podem ser resfriados por ventilação *forçada*.

Na ventilação forçada, empregam-se ventiladores que impelem ar frio para dentro do transformador.

A contínua circulação de ar frio retira o calor dos pontos onde ele é gerado.



Esses transformadores, resfriados a ar, por ventilação natural ou forçada, são classificados como *transformadores a seco*.

Transformadores a óleo

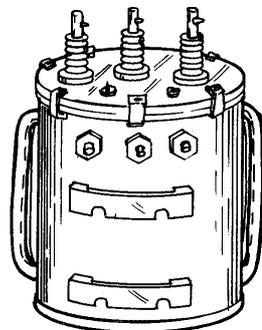
Você viu que os transformadores a seco são resfriados por ventilação natural ou forçada. Agora, vamos examinar outra forma de resfriamento de transformadores: trata-se da *refrigeração a óleo*.

Transformadores a óleo tem suas bobinas e núcleo colocados num tanque, cheio de óleo isolante.

Circulando no tanque, o óleo retira o calor das bobinas e se aquece, precisando ser novamente resfriado. O óleo pode ser *resfriado pelo ar*, em movimento natural ou forçado por ventiladores; pode também ser *refrigerado pela água*, com o uso de serpentinas.

Analise cada caso:

1º - O óleo pode ser resfriado pelo ar ambiente, em movimento natural, de três maneiras: circulando no próprio tanque, circulando por canos externos ao tanque, circulando por aletas.



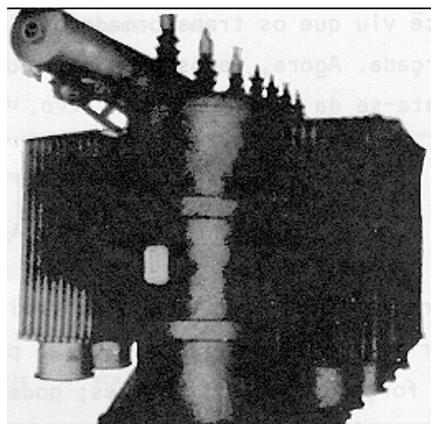
Em todos os casos, o resfriamento do óleo é possível graças ao processo de *convecção*. Veja como ele ocorre, num transformador de aletas:

- o óleo quente sobe e vai para as aletas;
- ao circular pelas aletas, o óleo se resfria e volta ao transformador;
- o óleo frio, mais pesado, força a entrada no transformador e vai resfriar as bobinas;
- e, assim, o processo recomeça.

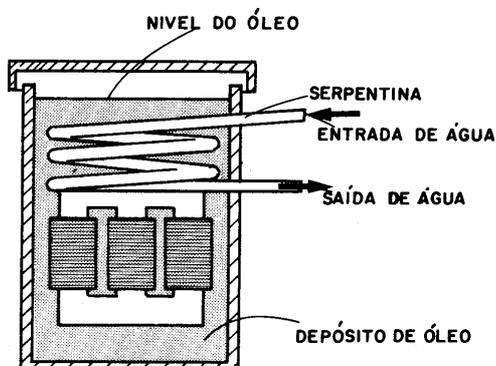
Essa é a refrigeração por óleo, com a ajuda do ar ambiente. O ar é o agente da dissipação do calor.

2º - Os transformadores de aletas podem ter refrigeração forçada, através do ar frio, que é impelido por ventiladores.

O ar frio é movimentado por entre as aletas, retirando o calor, num processo contínuo.



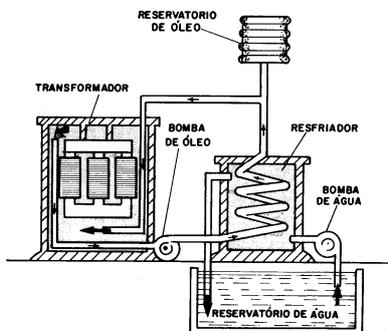
3º - A refrigeração pode ser conseguida com o uso de água, para dissipar o calor. A água retira o calor do óleo e o óleo retira o calor das bobinas e núcleo. Nesse caso, a água é o agente dissipador do calor.



O óleo é refrigerado pela circulação de água fria, através de serpentinas de cobre (tubo) imersas no óleo. As serpentinas são colocadas na parte superior interna do tanque. Nesse caso, o óleo tem refrigeração forçada, através da água.

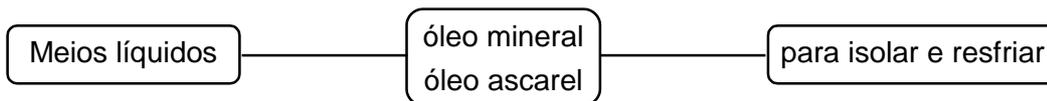
O calor do óleo passa para a água, onde é dissipado. Porém a serpentina de água é interna ao transformador.

4º - O mesmo processo é utilizado de outra forma.



Nesse caso, o óleo circula pela serpentina, passando por um processo de resfriamento toda vez que ele percorre os dutos de retorno ao reservatório. A água, por sua vez, numa atividade contínua, faz o resfriamento da serpentina, por onde circula o óleo. Trata-se de uma refrigeração forçada. A serpentina de óleo é externa ao transformador.

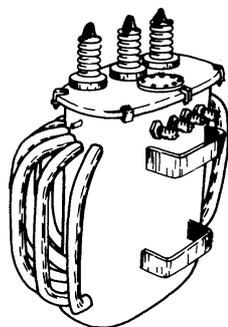
Completando nosso estudo sobre tipos de resfriamento para transformadores, trataremos de mais alguns detalhes; por exemplo:



O *óleo mineral* é o mais usado, por satisfazer aos casos normais de instalação, além de ter preço reduzido. O uso do *óleo ascarel*, produto químico não inflamável, se restringe a casos especiais.

Por ser isolante, o óleo do transformador deve ser verificado a cada três anos, pelo menos. Essa inspeção só pode ser feita por *pessoal especializado*, porque até o simples contato com o óleo pode contaminá-lo.

O tanque do transformador, além de ser um depósito de óleo, tem a característica de dissipador de calor, transferido pelo meio líquido (óleo isolante).



Como você pode observar nas ilustrações, os tanques tem formas próprias para essa finalidade, ou seja, são providos de *aletas ou tubulações*, por onde circula o óleo.

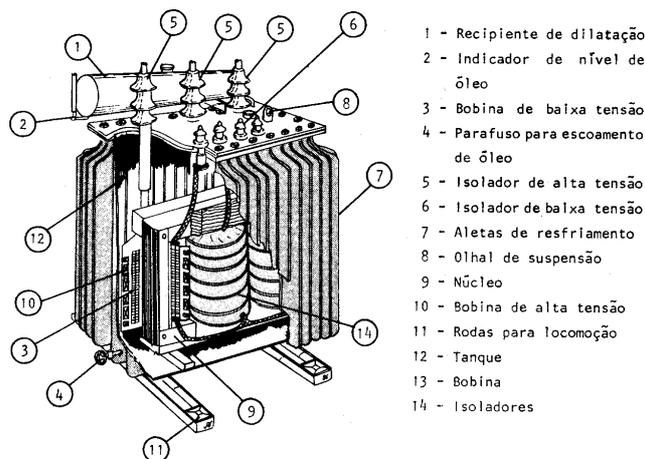
O peso de toda a estrutura dos enrolamentos (bobinas, núcleo e ainda isoladores) é sustentado pelo tanque, principalmente quando se trata de transformadores que se montam em postes e são presos por ganchos.

Construídos com chapa reforçada, o acabamento dos tanques é cuidadoso, por ser responsável, também pelo bom funcionamento.

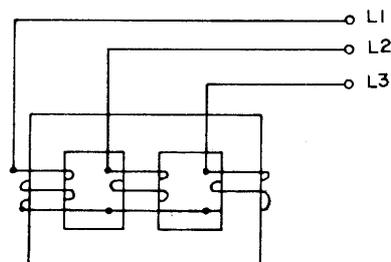
Os tipos variam; podem ser lisos ou corrugados (de chapa ondulada).

Esse tipo de tanque é normalmente utilizado em transformadores de média capacidade, onde o aquecimento das bobinas é menor.

É necessário verificar o nível do óleo periodicamente, para que não haja falta de óleo no transformador. Mas nunca abra um transformador, para não contaminar seu óleo isolante.

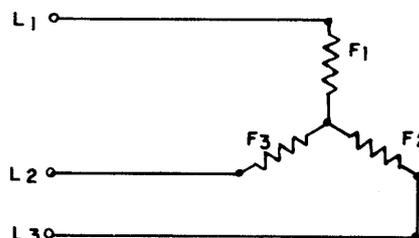
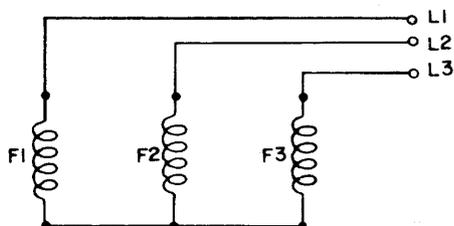


Analise, no esquema abaixo, as ligações das bobinas do primário.



Veja, novamente, a mesma ligação, representada de forma mais simples.

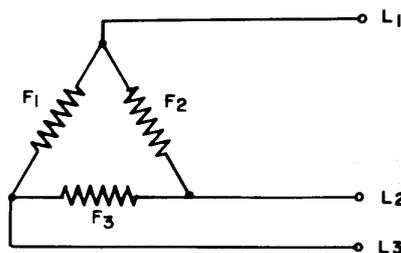
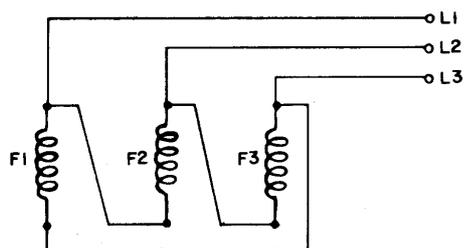
Observe que os três diagramas representam a mesma *ligação em estrela*.



Essa ligação é válida tanto para o primário como para o secundário.

De forma idêntica, você pode fazer a ligação triângulo.

Vejam um exemplo de ligação triângulo no primário de um transformador.



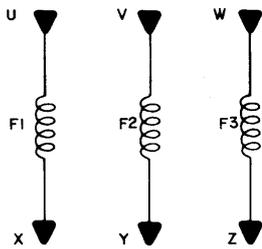
A ligação triângulo também é válida, tanto para o primário como para o secundário.

No transformador, as ligações estrela ou triângulo devem obedecer às *notações* que correspondem às Entradas e Saídas das fases.

Isso é necessário, pois a corrente, em cada fase, tem que ter sentido definido.

Vamos representar as fases, com as entradas e saídas, e as letras correspondentes, conforme as normas.

Observe o diagrama:



As letras U, V e W correspondem às entradas das fases F_1 , F_2 e F_3 , respectivamente.

As letras X, Y e Z correspondem às saídas das fases F_1 , F_2 e F_3 , respectivamente.

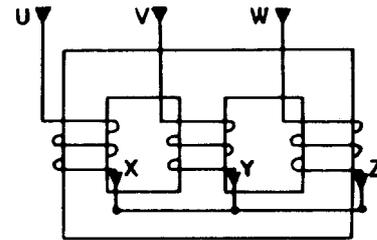
Como ficou visto acima, essas letras são normalizadas.

- U, V e W são sempre *entradas*.
- X, Y e Z são sempre *saídas*.

Para o fechamento em *estrela*, temos que ligar as três saídas das fases.

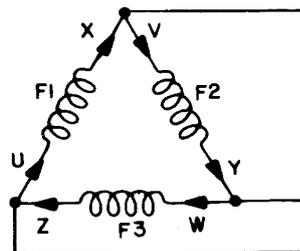
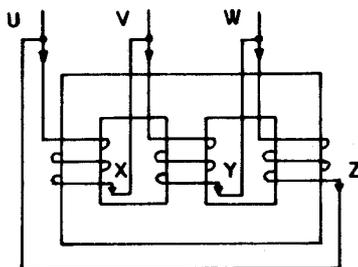
Fechamos X, Y e Z. Esse fechamento origina o ponto neutro.

U, V e W ficam sendo as entradas das fases.



Vamos, agora, ao fechamento em triângulo, conforme as notações de entrada e saída.

Veja o diagrama abaixo:



Esse diagrama representa as conexões internas de um transformador fechado em triângulo.

Tem, ainda, as notações de entrada e saída das fases.

Em U, V e W temos as entradas das fases.

Para o fechamento em triângulo, as ligações são feitas da seguinte forma:

- Entrada de F_1 com saída de $F_3 \Rightarrow U$ com Z ;
- Entrada de F_2 com saída de $F_1 \Rightarrow V$ com X ;
- Entrada de F_3 com saída de $F_2 \Rightarrow X$ com Y .

Essas conexões são válidas para primário e secundário.

Vimos os fechamentos *estrela* e *triângulo*, conforme as notações para entrada e saída.

Vamos, agora, complementá-las:

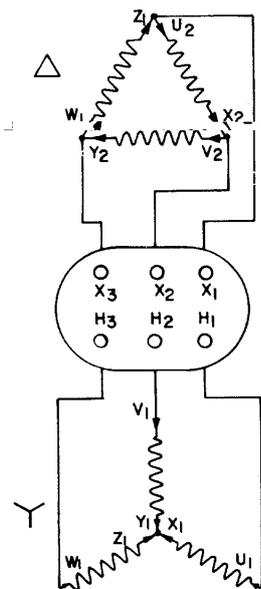
- Para o primário você notará U_1, V_1 e W_1 ;
- Para o secundário você notará U_2, V_2 e W_2 .

Por norma, temos que observar os terminais que correspondem à entrada e saída do transformador.

Não confundir entrada e saída das fases, com a entrada e saída do transformador.

A entrada e saída do transformador se refere aos terminais de entrada e saída do primário e secundário. Esses terminais ficam na tampa, na parte superior externa do transformador.

Veja, na figura abaixo, onde tem origem os terminais do primário e secundário. Note que por hipótese, suas fases são ligadas em triângulo e estrela.



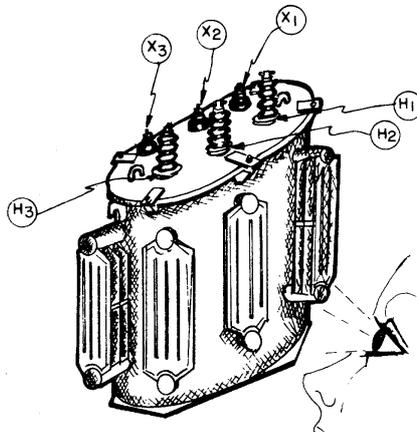
A notação dos terminais é feita conforme as normas da ABNT:

- H_1, H_2 e $H_3 \Rightarrow$ é usada para os terminais de tensão mais alta;
- X_1, X_2 e $X_3 \Rightarrow$ é usada para os terminais de tensão mais baixa.

Essas notações devem obedecer, ainda, a outras regras:

O terminal H_1 deve ficar à direita de quem olha para os terminais, a partir do lado de tensão mais alta.

Em frente a H_1 deve ficar o terminal X_1 , de tensão mais baixa.



Ligação ziguezague

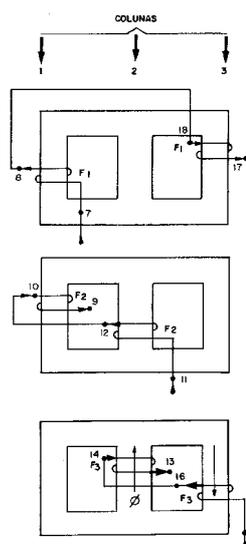
A ligação de um secundário em ziguezague é assim denominada porque, como você pode observar nas ilustrações, o *secundário das fases* é distribuído, metade numa coluna e metade na outra. Veja o exemplo da ligação ziguezague da fase 1.

A metade 7-8 está na coluna 1 e a segunda metade (18-17) está na coluna 2.

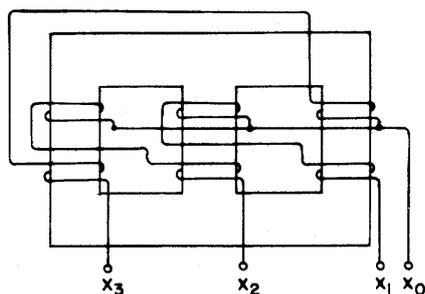
Na ilustração abaixo, você pode perceber como é ligada a fase 2. A primeira metade(11-12), na coluna 2, e a segunda metade (9-10), na coluna 1.

A outra figura representa a fase 3. A primeira metade (15-16) está na coluna 3 e, a segunda (13-14), na coluna 2.

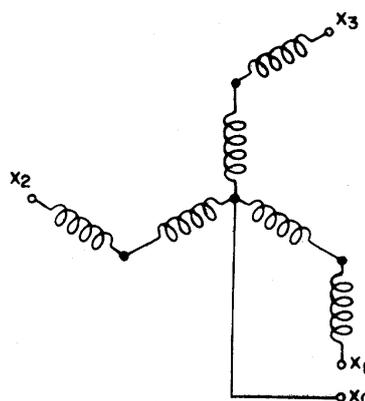
Note que todas as primeiras metades estão *num sentido* e, as segundas metades, em *outro*. Isso é necessário para retorno do fluxo magnético.



Veja como são feitas as ligações de linhas e fases, em ziguezague, no secundário de um transformador. Essa ligação tem saída para o condutor neutro (X_0), para cargas monofásicas de 120 volts.



A figura acima, mostra a representação das bobinas secundárias ligadas em ziguezague, nas colunas.

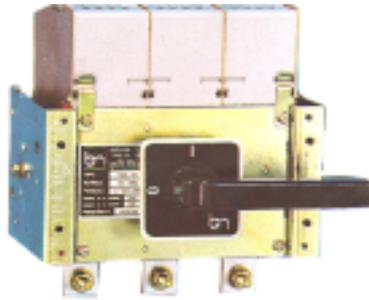


A figura acima, mostra a mesma ligação, em representação esquemática.

A ligação ziguezague é recomendada para pequenos transformadores de distribuição, cuja carga no secundário não seja equilibrada.

Imagine que a carga do secundário, por exemplo, na fase 1, se desequilibra, isto é a fase 1 recebe maior carga que os demais.

Como a fase 1 está distribuída em 2 colunas, ela recebe indução dessas duas colunas. Assim, a maior carga de fase 1 será compensada pela indução de 2 colunas. Isso tenderá a equilibrar a carga no primário do transformador, resultando menor queda de tensão na fase secundária correspondente.



CHAVE SECCIONADORA BAIXA TENSÃO

RG e S

São interruptoras tripolares, sob-carga, sem base de fusíveis de dupla interrupção com o comando montado na própria chave, que vão de 160 a 1000A - $V_n = 1200V - 50/60 \text{ Hz}$.

RGA e SA

Idem idem anterior, com o comando apropriado para ser montado na porta do painel.

Acessórios

Contatos auxiliares 1NA + 1NF ou 2NA + 2NF. Travamento com chave tipo yale nas posições "ligado" e/ou "desligado" ou ainda, travamento com até 3 (três) segredos em combinações: 2 (dois) bloqueios na posição ligado e 1 (um) bloqueio na posição desligado, ou vice-versa. Com aplicação exclusiva nos interruptores do tipo **RGA** e **SA**, há também travamento na manopla móvel aparente, do tipo garfo, com disposição para cadeados (máximo 3) fixado na porta do painel.

CHAVES SECCIONADORAS DE ALTA TENSÃO

RGF e GF

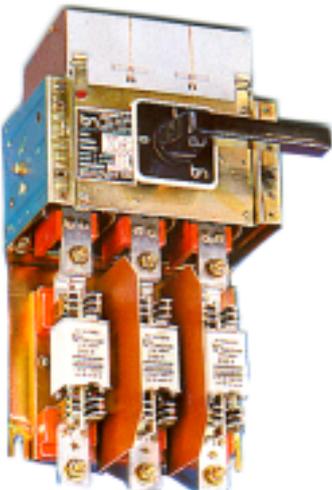
São interruptoras tripolares, sob-carga, com base de fusíveis do tipo **NH** - 0, 1, 2 e 3, de dupla interrupção com o comando montado na própria chave, que vão de 125 a 630A $V_n = 1200V - 50/60 \text{ Hz}$.

RGAF e GAF

Idem idem anterior, com o comando apropriado para ser montado na porta do painel.

Acessórios

Contatos auxiliares 1NA + 1NF ou 2NA + 2NF. Travamento com chave tipo yale nas posições "ligado" e/ou "desligado" ou ainda, travamento com até 3 (três) segredos em combinações: 2 (dois) bloqueios na posição ligado e 1 (um) bloqueio na posição desligado, ou vice-versa. Com aplicação exclusiva nos interruptores do tipo **RGAF** e **GAF**, há também travamento na manopla móvel aparente, do tipo garfo, com disposição para cadeados (máximo 3) fixado na porta do painel.



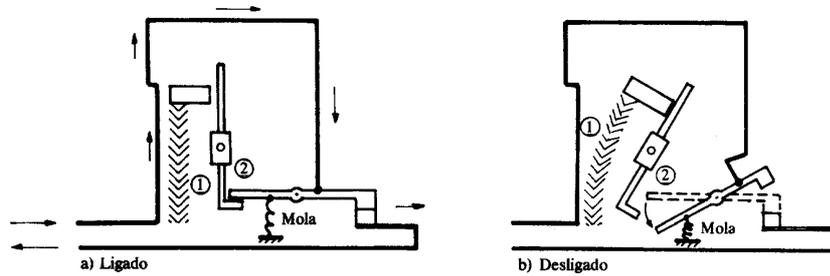
Disjuntores em geral

Disjuntores

Denominam-se disjuntores os dispositivos de manobra e proteção, capazes de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, assim como estabelecer, conduzir por tempo especificado e interromper correntes em condições anormais especificadas do circuito, tais como as de curto-circuito e/ou sobrecarga.

Os disjuntores denominados térmicos possuem um dispositivo de interrupção da corrente constituído por lâminas de metais de coeficientes de dilatação térmica diferentes (latão e aço), soldados. A dilatação desigual das lâminas, por efeito do aquecimento, provocado por uma corrente de sobrecarga moderada de longa duração, faz interromper a passagem da corrente no circuito, porque a dilatação desigual das lâminas determina que as mesmas se curvem e desliguem o dispositivo. Esses dispositivos bimetálicos são *relés térmicos* e, em certos tipos de disjuntores, são ajustáveis em função da temperatura ambiente. Além dos relés bimetálicos, muitos disjuntores são providos de relés magnéticos (bobinas de abertura), que atuam mecanicamente, desligando o disjuntor quando a corrente é intensa e de curta duração (relés de máxima). Desarmam, também, quando ocorre um curto-circuito em uma ou nas três fases.

Os tipos que possuem “bobina de mínima” desarmam quando falta tensão em uma das fases. A figura abaixo mostra como atua o elemento térmico bimetálico.

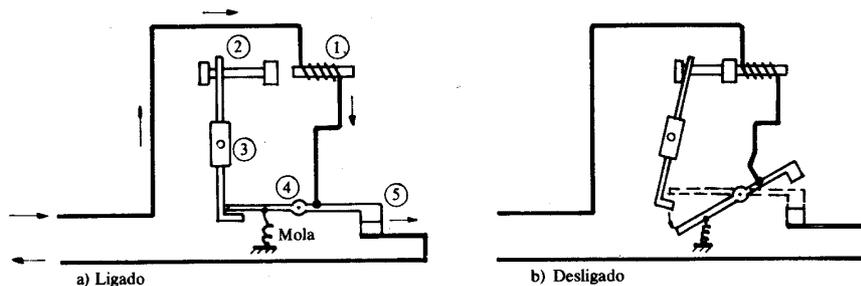


Disjuntor com proteção térmica apenas

Quando ocorre um aumento de intensidade da corrente, o elemento bimetálico (1) se desloca, provocando o desarmamento da peça (2), a qual recebe a ação de uma mola.

Este tipo de disjuntor é ideal para proteção contra sobrecarga.

O disjuntor representado esquematicamente na figura abaixo é do tipo eletromagnético.

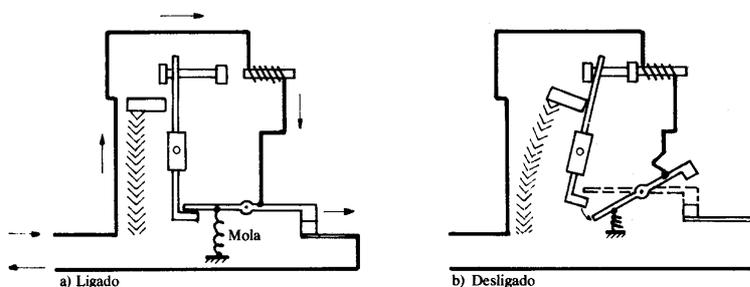


Disjuntor com proteção eletromagnética apenas

Quando uma corrente de determinada intensidade percorre a bobina (1), a haste (2) é atraída; a peça (3) destrava a alavanca (4), que, pela ação de uma mola, desliga o contato (5).

Este tipo de disjuntor é ideal para proteção contra curto-circuito.

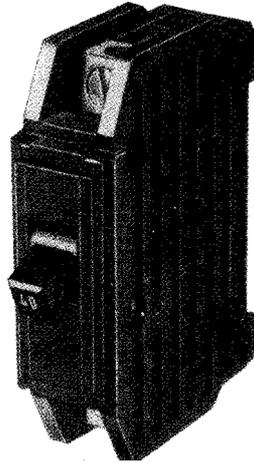
A figura abaixo representa um disjuntor com proteção térmica e eletromagnética.



Disjuntor com proteção térmica e eletromagnética

Este tipo de disjuntor é ideal para proteção contra sobrecarga e curto-circuito.

Existem disjuntores termomagnéticos compensados que contêm um segundo par bimetálico, capaz de neutralizar o efeito de eventual elevação de temperatura ambiente.



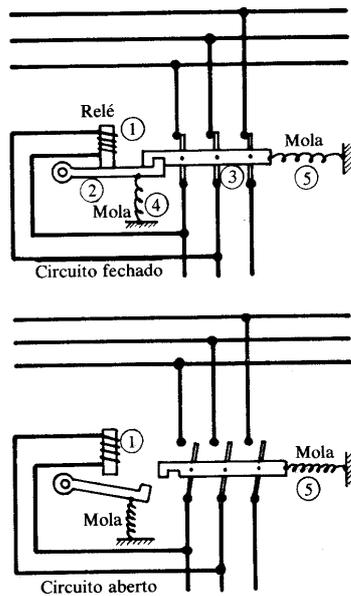
Existem disjuntores que desarmam as três fases quando a sobrecarga ocorre em apenas uma das fases.

O tipo de disjuntor usado na proteção de circuitos de baixa-tensão são os disjuntores em caixa moldada (caixa suporte de material isolante). Para a proteção de circuitos de iluminação e tomadas são usados os disjuntores em caixa moldada monofásicos, como o QUICKLAG, da Eletromar-Westinghouse; Diaquick, da Siemens; TQC, da General Eletric etc.

Relés de Subtensão e Sobrecorrente

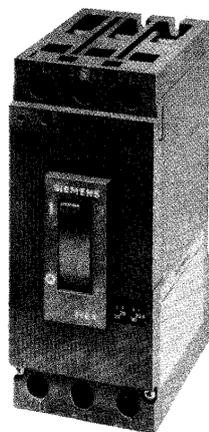
Muitos disjuntores, além dos elementos térmicos e eletromagnéticos, podem ter como acessórios bobina de mínima tensão (também chamada, relé de subtensão), que numa falta ou queda de tensão interrompe a passagem de corrente, não danificando os equipamentos (no caso um motor trifásico ligado à rede de alimentação) quando há uma queda de energia na linha ou até mesmo a falta. O relé (eletroímã) (1) mantém a peça (2) travando a peça (3), fechando o circuito. A mola (4) não tem condições de fazer baixar a peça (2). Faltando tensão, o eletroímã (1) não funciona, e a mola (4) desloca a peça (2). Com isto, a barra (3) é destravada e, acionada pela mola (5), desarmando as três fases da chave, e esta só poderá ser rearmada manualmente.

Assim, há certeza de que o motor não voltará a funcionar quando a tensão se restabelecer.



Relé de mínima tensão

Poderemos ter também um relé de sobrecorrente que atuará sempre que a corrente atingir valores elevados. Ele tem o mesmo funcionamento do relé térmico já mencionado.



Disjuntor tripolar a seco 3VE4, Siemens, com relé térmico bimetálico ajustável, relé magnético não ajustável, relé de subtensão (bobina de mínima) e relé de disparo (para acionamento a distância).

Pára-Raios Prediais

Eletricidade Atmosférica

As nuvens são formadas por uma quantidade muito grande de partículas de água. Em virtude de correntes e turbulências atmosféricas, as partículas se atritam e colidem, comportando-se, então como minúsculas baterias nas quais se acumula uma carga elétrica, positiva ou negativa. As cargas elétricas negativas, normalmente, acumulam-se na parte baixa das nuvens. Isto significa que estas camadas inferiores das nuvens se acham com potencial negativo em relação ao solo, cuja carga é positiva. Como as cargas elétricas de mesmo sinal se repelem, a nuvem, com carga negativa, rechaça os elétrons (sinal negativo) existentes na superfície do solo abaixo dela. Deste modo, a carga positiva induzida na superfície do solo assume o mesmo valor da carga negativa da nuvem. Ao mesmo tempo que a nuvem se desloca, a zona de carga positiva no solo a acompanha.

Vemos assim, que a nuvem e a superfície da terra se comportam como um capacitor, dotado de carga elétrica muito grande. Como a camada de ar que as separa é quase um isolante perfeito, isto é, possui elevada rigidez dielétrica, pode não ocorrer nenhuma descarga entre ambas.

Quando, porém, a carga total, sob tensão elevada, é muito grande, o excesso de carga na nuvem provoca a emissão de um raio preliminar, denominado raio líder ou descarga-piloto, que se dirige para um pólo de carga oposta., isto é, o solo ou uma outra nuvem. Em seu trajeto sinuoso, essa descarga preliminar ioniza o ar, despojando de elétrons os incontáveis átomos de nitrogênio, oxigênio e argônio, encontrados em seu percurso no ar da atmosfera. Os átomos, que perderam um ou mais de seus elétrons, isto é, os íons, funcionam, então, como constituintes de uma espécie de “condutor” , porque o gás ionizado é bom condutor de eletricidade.

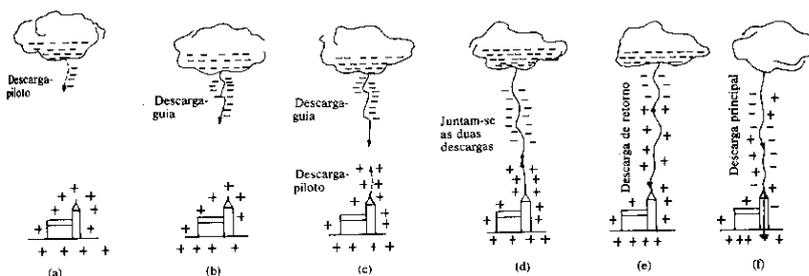
Ao longo deste “condutor”, após a descarga-piloto, vem, em seguida, a chamada descarga-guia, de movimento sincopado, procurando seguir o percurso de maior condutibilidade.

Enquanto isto acontece, de um ponto da terra (eventualmente um pára-raios) desenvolve-se analogamente uma descarga-piloto ascendente, a qual após encontrar a descarga-guia descendente, entra em contato com esta e prossegue em alta velocidade até a nuvem. Por isto denomina-se descarga de retorno.

Portanto, numa primeira etapa, ocorre uma descarga de retorno da terra para a nuvem, onde se iniciou o processo de indução

eletrostática. Em seguida, tem lugar uma descarga denominada principal, no sentido da nuvem para a terra.

Quando as cargas nas nuvens são de tal modo elevadas que não podem ser neutralizadas pela descarga principal, esta é acompanhada por outras, denominadas descargas-reflexas, que também tem suas próprias descargas de retorno e aproximadamente a mesma forma da descarga principal.



O campo elétrico, proveniente das cargas acumuladas nas nuvens e no solo, acelera os elétrons que compõem o fluxo energético. O deslocamento dos elétrons entre os pólos constituídos pela terra e a nuvem se faz com velocidades de várias dezenas de quilômetros por segundo. Os gases que se interpõem no percurso dos elétrons entre duas nuvens ou entre a nuvem e a terra tem seus átomos “bombardeados” com tal violência que certo número de seus elétrons são arrastados nesse caudal eletrônico.

Ora, quando um átomo perde elétrons, rompe-se o equilíbrio básico entre as cargas negativas (elétrons) e a carga positiva do núcleo. Basta que seja suprimido um elétron de um átomo para que parte de sua carga positiva deixe de ser neutralizada. O átomo se converte, então, numa partícula de carga positiva, ou íon positivo.

Na descarga elétrica que é o raio, os íons positivos voltam a colidir com elétrons e se a velocidade de ambos o permitir, o elétron voltará a entrar em órbita em torno do núcleo, o equilíbrio de cargas se restabelecerá e o átomo, ao final, se recomporá.

O efeito luminoso ou fulguração do raio decorre das colisões de elétrons com átomos ou íons e da liberação de energia no mencionado processo de recomposição dos átomos.

Os raios tem o aspecto de linhas sinuosas, às vezes com múltiplas ramificações, porque as massas gasosas atravessadas pela corrente não são homogêneas e a corrente elétrica naturalmente procurará seguir o trajeto ao longo das regiões de maior condutibilidade e que se dispõem de maneira irregular.

O raio, como aliás qualquer corrente elétrica, gera, em volta de si, um campo eletromagnético, como se fosse um invólucro invisível, de diâmetro variável de alguns centímetro. É por estar

assim “canalizado” pelo campo magnético que o raio não se dispersa pelo espaço.

Apesar das numerosas recombinações de íons com elétrons, é muito grande o número de íons positivos remanescentes, dispostos ao longo do trajeto. Forma-se um condutor, estendido entre duas nuvens ou entre uma nuvem e a terra. Ligados, deste modo, por um bom condutor, os dois pólos emitem alternadamente cargas sucessivas de um para outro, até que se restabeleça o equilíbrio entre ambos. Este equilíbrio nem sempre é obtido em uma única descarga porque, em geral, o raio conduz um excesso de carga para o outro pólo. A descarga se processa num vaivém extremamente rápido, o que dá ao observador a impressão de ver o raio “tremar”.

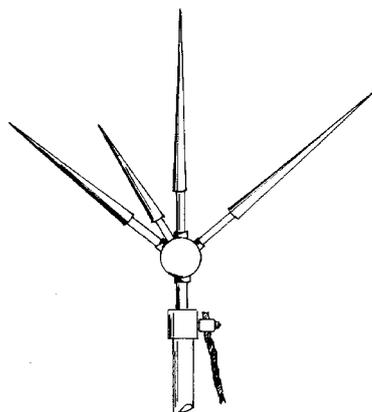
O calor elevadíssimo, desenvolvido na descarga do raio, faz dilatar quase instantaneamente um envoltório de ar ao seu redor, e esta brusca dilatação produz a onda sonora característica que é o trovão, ouvido após o raio.

Os danos mecânicos causados pelo raio são, em geral, provocados pelo calor que gera. O raio tende a se projetar em pontos elevados (copas das árvores, torres, chaminés), onde se acumulam cargas elétricas do solo, capazes de desencadear o processo que foi analisado. Também as colunas de ar ou gás quente, por conterem numerosos íons, oferecem meio condutor capaz de canalizar o raio, ao longo das mesmas. Por isto, não se devem considerar como abrigo árvores, construções elevadas, bem como a vizinhança de pontos aquecidos, como chaminés e até rebanhos de animais parados no pasto.

O pára-raios e sua atuação

O pára-raios é um sistema destinado a “captar” os raios e a conduzi-los à terra, sem oferecer riscos à pessoas e evitando danos materiais.

O captor do pára-raios, conforme define a NB-165/70, é constituído por uma “ponta” ou condutor metálico pontiagudo que, por sua situação elevada, facilita as descargas elétricas atmosféricas.



Captor de pára-raios comum ou Franklin

O captor é ligado a um eletrodo de terra, por meio de um condutor metálico (fio, fita ou cabo).

Os elétrons podem mover-se facilmente pelo pára-raios, escoando para o solo, seguindo ao longo do condutor e deixando, ainda, cargas positivas nas pontas do captor. A concentração desta carga positiva e o poder das pontas do pára-raios faz com que as cargas positivas se desloquem até as nuvens, por estas estarem carregadas negativamente. Estabelece-se um fluxo de carga positiva que pode neutralizar a carga negativa da nuvem, impedindo que se estabeleçam condições para o desencadeamento do raio. Deste modo, o pára-raios desempenha ordinariamente uma função preventiva.

Em geral é enfatizada a função protetora do pára-raios. Quando ocorre uma tempestade, repentina e violenta, não haverá tempo nem condições para que o pára-raios desempenhe sua função preventiva, e poderá ocorrer a descarga elétrica que, com muita probabilidade, seguirá o caminho para a terra passando pelo pára-raios, e este desempenhará, então, sua função protetora.

Classificação dos Pára-Raios

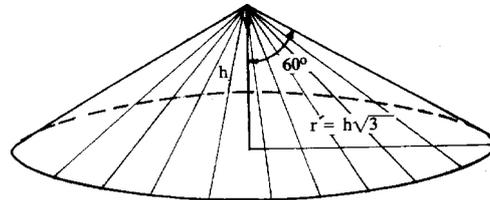
Os pára-raios classificam-se, segundo o tipo de captor que utilizam, em:

Pára-raios comuns

Tipo Franklin, em homenagem ao seu inventor, Benjamin Franklin (1706-1790). O captor consta de uma ou mais hastes metálicas pontiagudas, em geral iridiadas, fixadas a uma base, onde é preso o condutor metálico cuja extremidade é ligada à terra. A instalação de pára-raios com captosres comuns e apresentada na NB-165/70, da ABNT.

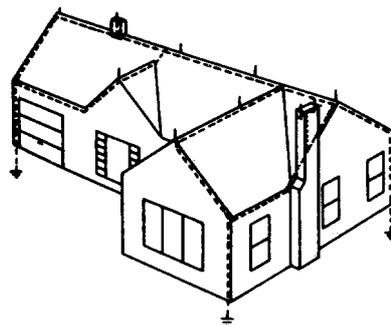
É usado em chaminés, torres e onde as áreas não são maiores do que a base do cone de proteção.

campo de proteção de um captor de haste vertical é o volume de um cone tendo por vértice o ponto mais alto do pára-raios e cuja geratriz forma um ângulo de 60° com o eixo vertical.



Cone de proteção com pára-raios comuns.

Quando não é prático nem econômico, ou mesmo viável, colocar-se uma torre (ou mais de uma) cuja altura assegure ao pára-raios o campo de proteção que dele se deseja, coloca-se um número adequado de pára-raios na cobertura da edificação a proteger, interligando-se os mesmos por cabos, formando, assim, a malha que é ligada à terra. Esta ligação é feita em vários pontos de aterramento. Ao sistema de proteção realizado deste modo denomina-se “Gaiola de Faraday”.

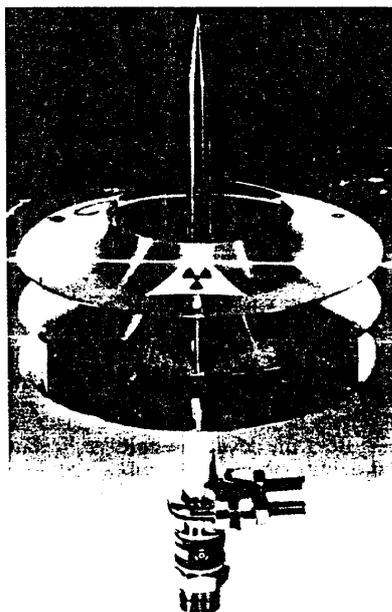


Gaiola de Faraday

Pára-raios radioativos

O captor de forma especial ou mesmo convencional, recebe uma certa quantidade de material radioativo, com a finalidade de aumentar a ionização do ar, melhorando o desempenho do pára-raios.

A ABNT apresentou em abril de 1983 um primeiro Projeto de Especificação referente a pára-raios radioativos, de cujas principais proposições faremos referência, mais adiante. Podem ser instalados à pequena altura, 3 a 5 m, do ponto mais alto da edificação a ser protegida.



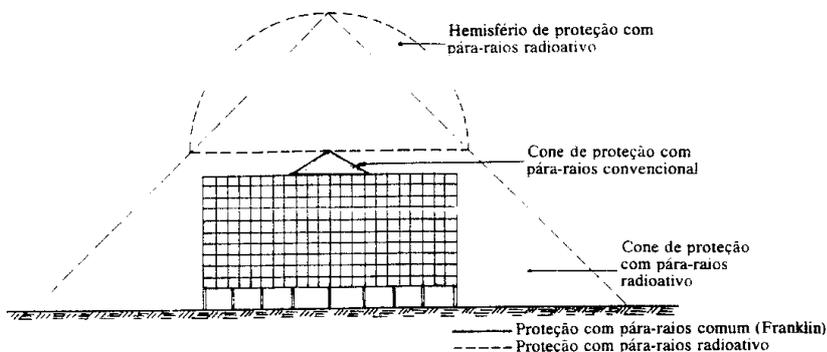
Pára-raios radioativo ionizante Amerion

Pára-raios comum

O pára-raios comum ou convencional consta essencialmente de um captor, também chamado ponta ou buquê, um condutor de descida e eletrodos de terra. Como acessórios podem ser citados ou isoladores, buchas, braçadeiras, haste, junta móvel para medição e proteção do condutor. Façamos breves referências aos principais dentre estes elementos.

Captor

Como mencionamos acima, o captor, em essência, é um dispositivo que consta de uma ou mais pontas aguçadas formando um “buque”, fabricados em cobre ou aço inoxidável, com as pontas iridiadas, o que impede a oxidação das mesmas.



Comparação entre proteção com pára-raios comum e pára-raios radioativo.

A figura (Captor de pára-raios comum ou Franklin) dá uma idéia de um buquê convencional de pára-raios. Na base do captor deve haver um elemento de fixação do cabo ou cordoalha de descida e uma peça rosqueada para prendê-lo à haste.

Haste para Suporte do Captor

Deve ser de cobre e fixada a um isolador, preso à cobertura. Recomenda-se o comprimento de 5m, mas, para casas pequenas, o comprimento pode ser reduzido até 2m. Para a haste de 5m, o tubo de cobre terá 55mm de diâmetro, e para 2m, apenas 30mm.

Admite-se usar tubo de ferro galvanizado como haste do captor. Para hastes com mais de 3 m, devem-se colocar “estais” ou “espias” para assegurar a estabilidade das mesmas.

Braçadeira ou Conector

Destina-se a fixar o cabo de descida à haste. Deve ser de bronze ou cobre.

Isoladores

Podem ser porcelana ou vidro especial para tensão de 10.000 volts. São fixadas a barras ou suportes.

Condutor Metálico ou “Descida”

Para a ligação do buquê do pára-raios à terra, usam-se cordoalhas, fios, cabos ou fitas de cobre, com seção transversal mínima de 30mm² quando as linhas forem aéreas e de 50mm² quando enterradas. As cordoalhas não podem ter mais que 19 fios elementares, e a espessura mínima das fitas deverá ser de 2mm.

Se for usado condutor de alumínio ao invés de cobre, a seção mínima será de 65mm², e o mesmo não poderá ter mais do que 19 fios elementares.

A NB-165 estabelece as seguintes prescrições quanto ao número de descidas.

- Edificações com área coberta superior a 200m², ou perímetro superior a 50m, ou altura superior a 20m, deverão ter, pelo menos, duas descidas;
- Deverá haver:
 - a) Uma descida para os primeiros 200m² de área coberta e mais uma descida para todo o aumento de 300m² ou fração. O número de descidas pode ser obtido pela fórmula:

$$N = \frac{A + 100}{300}$$

sendo:

N = o número de descidas.

A = a área coberta da edificação, em metros quadrados.

- b) Uma descida para os primeiros 20m de altura e mais uma descida para todo o aumento de 20m ou fração. O número de descidas pode ser obtido pela fórmula:

$$N = \frac{h}{20}$$

h = a altura da edificação, em metros.

- c) Uma decida para os primeiros 50m de perímetro e mais uma descida para todo o aumento de 60m ou fração. O número de descidas pode ser obtido pela fórmula:

$$N = \frac{P + 10}{60}$$

P = o perímetro da edificação, em metros. Resultando N um número fracionário, deverá ser arredondado para o número inteiro imediatamente superior.

Dentre os três valores de N calculados, prevalecerá sempre o maior. Se, no cálculo do número de descidas, resultar uma distribuição tal que a distância entre elas, considerado o perímetro da edificação, seja menor do que 15m, será permitida a redução daquelas descidas (até o máximo de duas), de forma a se distanciarem, no máximo, de 15m.

Junta móvel para medição

A fim de se proceder periodicamente à medição da resistência ôhmica do solo onde se acham os eletrodos, coloca-se a 2m de altura ou pouco mais, acima do terreno, uma junta ou desconector que permita desligar o trecho do condutor ao captor e possibilite a ligação de um aparelho *megger* para medição direta da resistência do terreno.

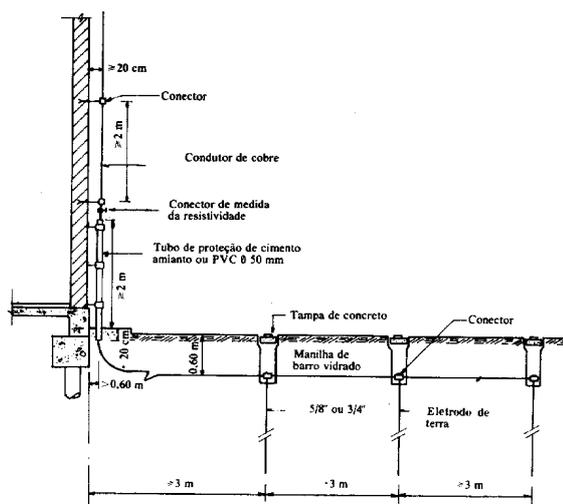
Eletrodo de terra

Na extremidade do condutor são colocados um ou mais eletrodos de cobre, enterrados, de modo a constituírem um aterramento adequado à descarga do raio.

- O tipo de eletrodo, as dimensões e a quantidade dependem das características de condutibilidade do solo;
- A NB-165 fixou em 10 ohms o valor máximo da resistência de terra, em qualquer época do ano. Para edificações situadas em áreas onde existam inflamáveis ou risco de explosão, a resistência não deve ser superior a 1 ohm;
- Os eletrodos de terra devem estar de acordo com a tabela abaixo:

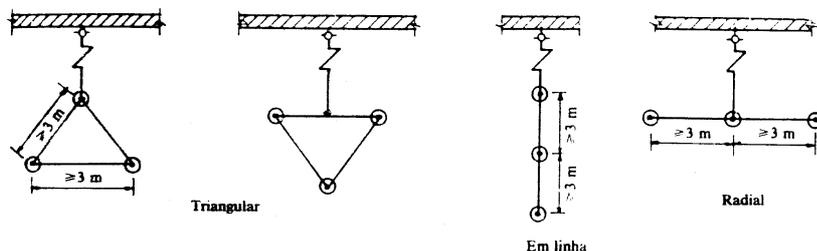
Tipo de Eletrodo	Material	Dimensões mínimas	Posição	Profundidade mínima
Chapas	Cobre	2 mm x 0,25 m ²	Horizontal	0,60 m
Tubos	Cobre Copperweld	25 mm (int.) x 2,40 13 mm (int.) x 2,40	Vertical	Cravado por percussão
Fitas	Cobre	25 mm x 2 mm x 10,00 m	Horizontal	0,60 m
Cabos e cordoalhas	Cobre	53,48 mm ² , até 19 fios	Horizontal	0,60 m

- A distância mínima entre os eletrodos de terra deve ser de 3 m. As fitas, quando dispostas radialmente, devem formar ângulo de, no mínimo, 60°;
- Os eletrodos e os condutores devem ficar afastados das fundações, no mínimo 50 cm;
- Os eletrodos de terra devem ser localizados em solos úmidos, de preferência junto ao lençol freático, evitando-se, entretanto, áreas onde possa haver substâncias corrosivas;
- Em solo seco, arenoso, calcário ou rochoso, onde houver dificuldade de conseguir resistência ôhmica menor do que 10 ohms, é necessária uma compensação por meio de maior distribuição de eletrodos ou fitas, em disposição radial, todos interligados por meio de condutores que circundem a edificação, formando uma rede;
- Não é permitida a colocação de eletrodos de terra sob revestimentos asfálticos, argamassa ou concreto, e em poços de abastecimento d'água e fossas sépticas.



Aterramento do pára-raios

Se a condutibilidade do solo for suficiente, bastará a colocação de apenas um eletrodo de terra. Em geral, colocam-se três eletrodos com as disposições indicadas nas figuras abaixo. Caso não seja encontrada a resistência ôhmica prevista pela Norma NB-165, com três eletrodos, aumenta-se o número destes até que isto seja conseguido.



Disposição de eletrodos de terra

Proteção do condutor de descida

O condutor deve ser protegido por tubulação de fibrocimento ou de PVC reforçado, até a altura de 2 m acima do nível do terreno.

Pára-raios ionizantes

Princípio de Funcionamento

A necessidade de torres elevadas para colocação de pára-raios convencionais Franklin e o inconveniente que isto representa em custo e estética levaram pesquisadores, entre os quais Gustave Capart e seu filho Alphonse Capart, à descoberta de um aparelho captor denominado pára-raios ionizante, ou radioativo, que oferece a vantagem de não exigir torres grandes e de abranger uma área de proteção consideravelmente maior que a dos pára-raios Franklin ou das “gaiolas Faraday”.

Os pára-raios ionizantes tem por base as seguintes realidades:

- a) A descarga elétrica, sob a forma de um raio, segue o percurso no qual a condutibilidade atmosférica entre a base das nuvens e a superfície da terra é menor;
- b) Durante uma tempestade, estabelece-se um amplo campo elétrico entre o centro de tempestades nas nuvens e um ponto na superfície da terra;
- c) Quando íons ou elétrons se encontram no referido campo elétrico, seguem as linhas de força do campo, aumentando a condutibilidade elétrica da atmosfera neste campo. A diminuição da rigidez dielétrica do ar favorece o escoamento de descargas elétricas atmosféricas.

Os pára-raios radioativos representam uma fonte de produção de íons (átomos carregados de eletricidade) que se deslocam para a atmosfera, ionizando o ar nas proximidades. Devido a seu modo de atuar, são denominados pára-raios dinâmicos. Alguns tipos são constituídos por lâminas com a forma de coroas circulares curvadas, providas de substâncias radioativas (alfa, beta ou gama, conforme o tipo de pára-raios) atinge um átomo, deslocando um elétron, deixando um íon positivo; o elétron, depois, une-se a uma molécula neutra, formando um íon negativo.

Os íons negativos são atraídos pela ponta do pára-raios, por indução. A base das nuvens, tendo carga negativa, também, por indução, atrai as cargas positivas da terra, que se deslocam para a ponta colocada no mastro. Mas as lâminas radioativas produzem íons negativos que neutralizam uma parte dessas cargas positivas e passam pelo condutor de cobre à terra.

Os íons positivos produzidos pelas lâminas do pára-raios são capturados no campo formado pelas nuvens, o pára-raios e a terra, e atraídos para cima, em direção às nuvens.

Os íons positivos em presença do intenso campo elétrico que ocorre imediatamente antes ou durante uma descarga de um raio, iniciam reações em cadeia que, por colisão, aumentam a quantidade de íons que ascendem da fonte. O raio segue o percurso onde existe maior condutibilidade. A descarga-piloto do pára-raios prepara o caminho de maior condutibilidade para o raio, que se dirige para o pára-raios, em vez de procurar outro percurso, de menor condutibilidade.

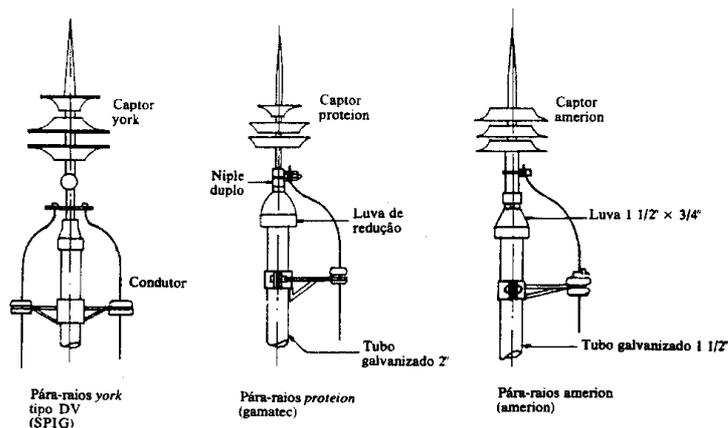
Tipos de Pára-Raios Ionizantes

Os pára-raios ionizantes possuem um material radioativo e classificam-se segundo a natureza deste material. A seguir apresentamos alguns.

Rádio 226. É o caso dos pára-raios Preventor, da British Lightning Preventor Ltda., de Nottingham - Inglaterra, representado no Brasil pela SPGI S.A. Engenharia e Indústria.

O pára-raios Preventor emprega o rádio 226, que é um elemento natural, com máxima regularidade de random (tempo variável entre as desintegrações consecutivas).

O pára-raios consta de uma cabeça e uma haste. A cabeça é feita de chapas de cobre esmaltado a fogo e é provida de aletas destinadas a dirigir as correntes de ar através das fontes de ionização. Para isto, os discos são equipados com lâminas radioativas. As lâminas contém rádio 226, aliado com ouro. A liga de rádio e ouro está soldada por pressão a uma folha de prata. Como os dois metais são moles, todas as superfícies são revestidas com paládio, para dar resistência adequada, durabilidade e proteção contra corrosão.



Captore de pára-raios radioativos

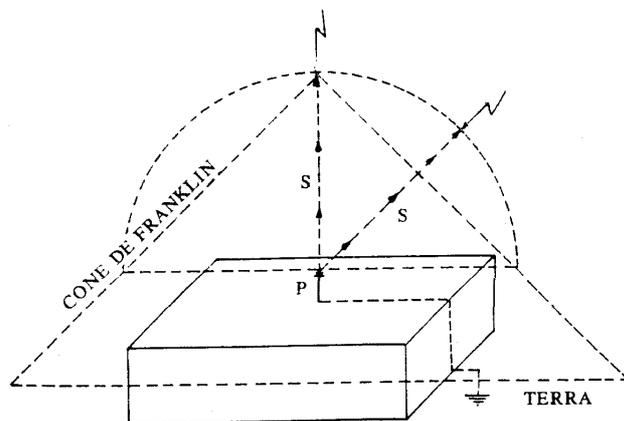
A folha emite radiação alfa, beta e gama, que produzem a zona intensificada de ionização em torno da haste central de cobre, o que faz do pára-raios ionizante. Os para-raios Proventor é um dispositivo de muito maior eficiência que o comum. A cabeça do pára-raios é fixada a uma haste cuja altura deve ser superior a 5 m do ponto mais alto a ser protegido.

Áreas protegidas pelo Preventor

- Modelo P — A — raio de ação de 10 m. Área de proteção: 314 m²;
- Modelo P — B — raio de ação de 20 m. Área de proteção: 1.256 m² ;
- Modelo P — 1 — raio de ação de 35 m. Área de proteção: 3.880 m² ;
- Modelo P — 2 — raio de ação de 50 m. Área de proteção: 7.850 m² ;
- Modelo P — 3 — raio de ação de 80 m. Área de proteção: 20.313 m² ;

- Modelo P — 4 — raio de ação de 100 m. Área de proteção: 31.440 m².

Os pára-raios radioativos Preventor, como, aliás, os demais tipos radioativos, criam uma zona de influência ou atração em forma de hemisfera, cujo raio varia conforme o modelo.



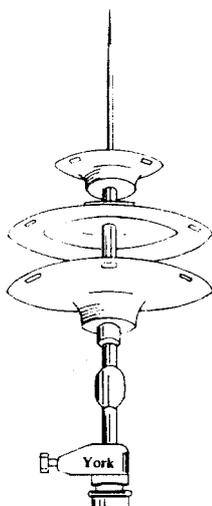
Fluxo ionizante, pára-raios Preventor (SPIG S.A.)

Americío 241. Trata-se do elemento químico nº 95, radioisótopo transurânico de massa atômica 243. Não existe na natureza; foi obtido artificialmente em 1945. É fortemente radioativo, embora emita radiações alfa, de baixa penetração.

Os pára-raios radioativos YORK, com amerício 241, são fabricados pela YORK Nuclear do Brasil e pela Amerion.

A YORK Nuclear do Brasil fabrica três tipos de pára-raios radioativos:

- Tipo DV, com três pratos e uma ponta;
- Tipo PTD, com uma placa quadrangular, quatro placas triangulares e uma ponta;
- Tipo PRY - denominado Potenciador Radioativo YORK.



Pára-raios radioativos YORK - Modelo DV

Possui um potenciador radioativo que é acoplado à base de um pára-raios de Franklin, convertendo-o em um pára-raios radioativo.

A GAMATEC Aplicações de Radioisótopos S.A. fabrica os pára-raios Proteion, que contêm o radioisótopo amerício 241, emissor de partículas alfa, cujo risco de contaminação só existe por contato direto com as plaquetas de material radioativo.

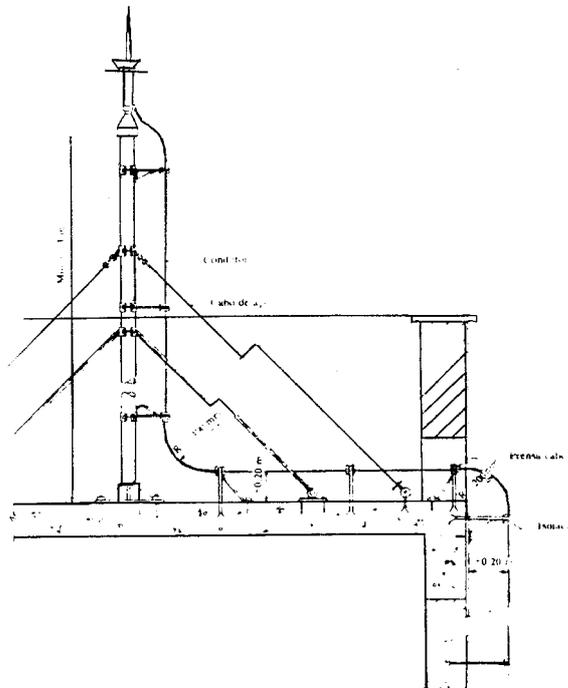
Tabela - Raio de ação do pára-raios radioativo

Modelo DV, PRY e PTD		
Tipo	Raio em ação (m)	Área de proteção (m ²)
R-15	15	700
R-2530	25	1.960
R-40	40	5.000
R-50	50	7.850
R-60	60	11.300
R-70	70	15.380
R-80	80	20.000
R-100	100	31.400

A Amerion - Indústria e Comércio de Pára-raios Ltda. - fabrica os pára-raios radioativos Amerion, que utilizam também o amerício 241, que, como foi dito, é um emissor de partículas alfa, praticamente puro.

A Promoengi Engenharia, Comércio e Importação Ltda., fabrica os pára-raios Ionocaptor e Produion, que empregam também o

amerício 241. Fornece o modelo Ionocaptor PRR-RP, dotado de um sistema de autolimpeza da fonte radioativa contra poeiras. Possui uma escova que gira impulsionada por um anemômetro dotado de mancal de teflon grafitado, autolubrificado.



Instalação de captor radioativo Proteion, da GAMATEC

Resistência de Terra

Conforme vimos, a Norma NB-165 estabelece o valor máximo para a resistência que o solo pode oferecer à passagem da corrente.

Existem diversos processos para a determinação desta resistência. As firmas que vendem pára-raios normalmente dispõem de um aparelho denominado *megger*, com o qual determinam facilmente a resistividade do solo, antes da instalação do aterramento e após a execução do mesmo.

O *megger* é um medidor de resistência em ohms. Compõe-se de um pequeno dínamo acionado manualmente por uma manivela e duas bobinas: uma de potencial e outra de corrente. A força de indução resultante da ação do fluxo magnético destas bobinas aciona um dispositivo que faz mover um ponteiro cuja posição indica a resistência do circuito intercalado entre os bornes do aparelho.

A NBR 5410 - Anexo G, ao tratar da Seleção de Eletrodos e Cálculo Aproximado da Resistência de Aterramento, apresenta uma tabela de resistividade para vários tipos de solo, das quais mencionaremos algumas, e indica as fórmulas aplicáveis a alguns casos típicos para cálculo da resistência de aterramento.

Tabela - Resistividade dos solos

Natureza dos solos	Resistividade (ohms-metro)
Solos alagadiços	de algumas unidades a 30
Solos aráveis, aterros compactos úmidos	50
Argila plástica	50
Areia argilosa	50 a 500
Areia silicosa	200 a 3.000
Saibro, aterros grosseiros	500
Rochas impermeáveis	3.000
Calcário mole	100 a 400
Calcário compacto	1.000 a 5.000

Condutor enterrado horizontalmente

Aplica-se quando o solo não permite a cravação de hastes

$$R = \frac{2\rho}{L}$$

ρ - resistividade do solo (ohms-metros);
L - comprimento do condutor (m);
R - resistência de aterramento do condutor (ohms).

Haste de aterramento

$$R = \frac{\rho}{L}$$

L - comprimento da haste (m).

Chapas metálicas

$$R = 0,8 \frac{\rho}{L}$$

L - perímetro da placa (m).

Aterramento

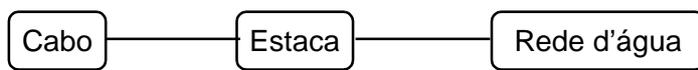
Introdução

É fundamental que você aprenda muito bem todas as noções sobre aterramento, uma vez que *aterramento é segurança*.

Segurança no *trabalho* (para o próprio electricista); segurança do material (dos equipamentos e instalações) e segurança pessoal (daqueles que utilizam as instalações).

As estruturas, equipamentos e outros elementos condutores precisam ter uma ligação elétrica com a terra. Essa ligação depende do eletrodo de aterramento.

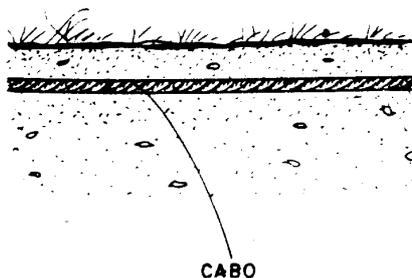
Os eletrodos de aterramento ou dispersores de terra podem ser de diversos tipos:



Vejamos quando se aplica cada um deles:

Cabo

Para solos cuja umidade se situe, praticamente, na superfície, é recomendável o eletrodo tipo cabo. O cabo é disposto sob a terra, no sentido horizontal, como mostra a figura abaixo. A *umidade* propicia um bom contato do solo com o dispersor.



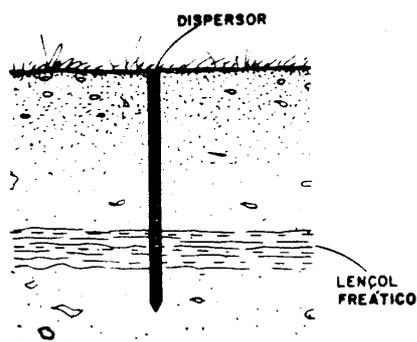
O cabo deve ter a seção mínima de $53,48\text{mm}^2$ (1/0 na tabela A.W.G.).

Seu comprimento mínimo deve ser 10m, e deverá ficar sob a camada úmida de terra, com um mínimo de 0,6 m de profundidade.

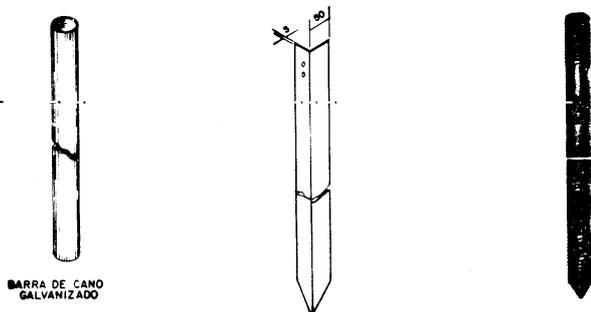
Estaca

Esse tipo de dispersor deve ser fincado verticalmente, de modo que a terra o envolva, fazendo pressão em torno do mesmo. Isso propicia melhor contato, baixando consideravelmente a resistência de terra.

Se o eletrodo atingir a camada úmida do solo, serão melhores os resultados. Essa camada úmida é denominada *lençol freático*.

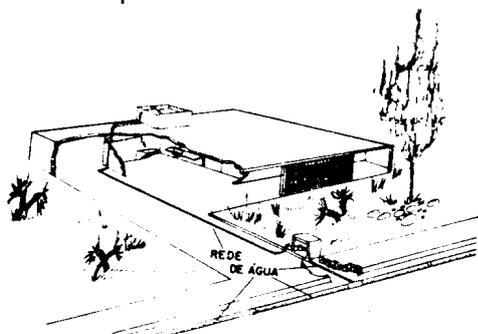


O dispersor tipo estaca pode ser de cano galvanizado, cantoneira galvanizada ou barras especiais:



Rede d'água

A rede d'água urbana, sendo um conjunto de canos enterrados no solo, nada mais é do que um eletrodo de aterramento, sob a terra, quando utilizada para esse fim.



Para ser usada como dispersor de terra, a rede d'água terá de ser *metálica*.

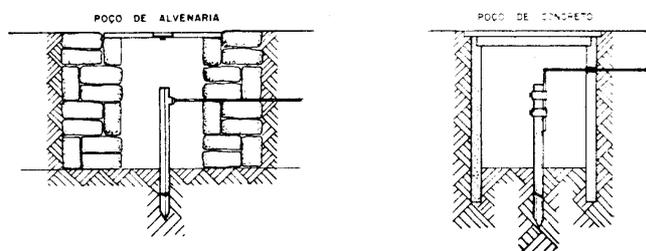
Os encanamentos de PVC não servem como eletrodos porque o *plástico é isolante*.

A rede metálica de água só pode ser usada como eletrodo de aterramento para tensões de até 220 V.

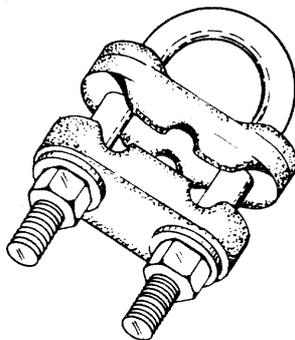
Para utilizá-la, deve-se consultar o órgão competente para verificar se há ou não proibição a respeito.

Nunca utilize a rede de gás como dispersor de terra! Isso, além de perigoso, é expressamente proibido.

A parte superior do eletrodo ou dispersor, onde se localiza o ponto de conexão com o condutor de terra, deve ser protegida por uma caixa de inspeção, como mostra a figura abaixo:



A conexão do cabo de terra com o eletrodo deve ser feita com braçadeira. De preferência, usam-se duas, para garantir melhor a qualidade de trabalho.



Os eletrodos de aterramento devem ser colocados em pontos de livre acesso, que permitam a inspeção periódica.

Em áreas de circulação (corredores, pátios de estacionamento ou descarga, passagem de veículos etc.), não é aconselhável que se cravem eletrodos de aterramento. Nesse locais, eles correm o risco de serem danificados.

Aterros e eletrodos de aterramento também não "se casam". nos aterros, por ter sido sobreposta, a terra fica pouco compacta. Isso dificulta o contato com o eletrodo.

Locais sujeitos à erosão também são contra-indicados. Por isso, não se colocam dispersores em áreas de enxurrada ou locais onde pode haver “desgaste” da terra.

Barrancos são perigosos, como locais de eletrodos. Eles podem desmoronar ou sofrer rápida erosão. Assim, as áreas próximas aos barrancos devem ser evitadas.

Não é em qualquer lugar que se podem cravar eletrodos de aterramento.

A *escolha do local* adequado é fundamental.

Agora, depois de examinar o eletrodo de aterramento, vamos tratar de sua ligação com a massa.

Escolha do Condutor de Proteção

Como você já aprendeu, a ligação da massa de uma instalação à terra tem por objetivo *proteger* as pessoas, equipamentos e instalações.

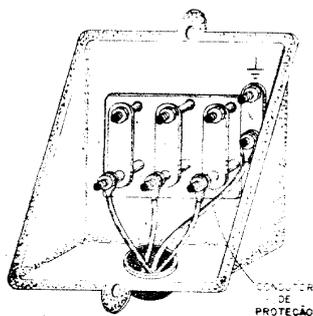
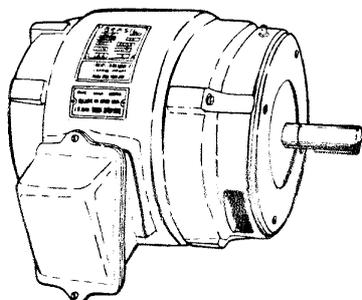
Essa ligação, da massa dos diversos elementos da instalação, ao eletrodo de aterramento é feita através de um condutor que, pelo seu objetivo, denomina-se *condutor de proteção*.

Condutor de Proteção

É o condutor destinado a ligar a massa da instalação ao eletrodo de aterramento.

O condutor de proteção não deverá ficar exposto a danos, em ponto algum. ele deve estar protegido contra pancadas ou movimentos que possam parti-lo, bruscamente, ou por fadiga do material.

Assim como foi feita a ligação do condutor de proteção com o dispersor, da mesma forma deve ser feita a conexão do condutor com a massa dos equipamentos, ou seja, por meio de braçadeiras e conectores adequados, fixados com parafusos. Veja um exemplo:



Mas não é só *bom contato* que precisa ser garantido. É necessário fazer a corrente de fuga circular pelo condutor de proteção, sem problemas.

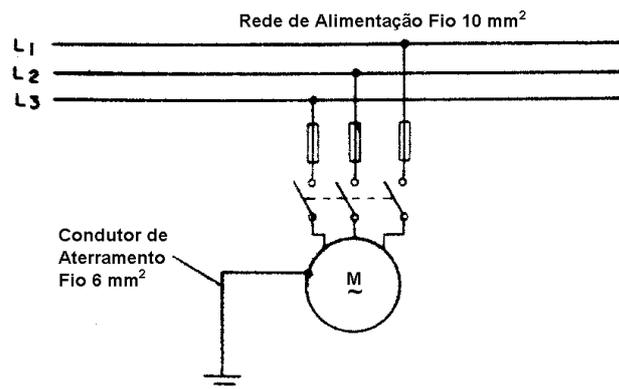
A bitola do condutor de proteção deve ser adequada à corrente de fuga prevista.

A tabela, abaixo, especifica a bitola mínima do condutor de proteção, conforme os condutores da rede de alimentação:

Bitola dos Condutores da Rede de Alimentação	Bitola Mínima do Condutor de Proteção
até 25 mm ²	6 mm ²
até 35 mm ²	10 mm ²
até 70 mm ²	16 mm ²
de 70 a 120 mm ²	25 mm ²
de 120 a 185 mm ²	35 mm ²
de 185 a 400 mm ²	50 mm ²

(Tab. 250 - 94 do NEC)

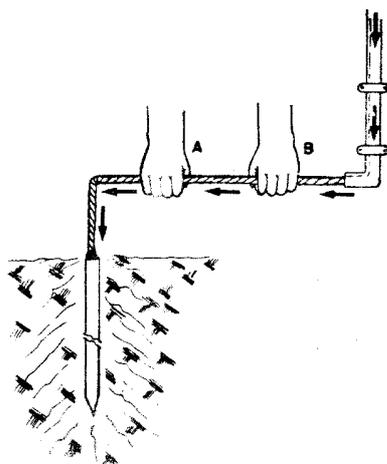
Veja alguns exemplos:



Vamos supor que você segure um condutor de proteção que está “descarregado”.

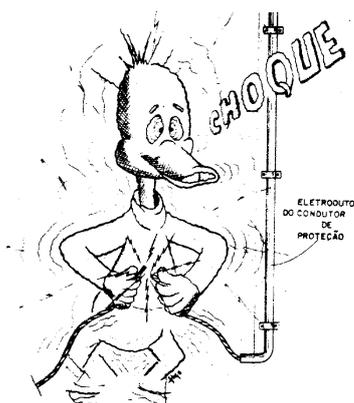
Como ele é, praticamente, equipotencial em relação à terra, você não toma choque.

E se você segurar esse mesmo condutor entre os pontos A e B, como mostra a figura, você *também* não toma choque.



Porque, praticamente, não há resistência entre esses pontos. Eles são equipotenciais e, por isso, não há tensão entre eles.

Mas, se você seccionar um condutor de proteção, pelo qual esteja passando uma corrente, você poderá ser *eletrocutado*, ao tocar nas duas pontas do cabo.



Nunca interrompa um condutor de proteção, sem primeiro constatar se o mesmo está ou não “descarregado”. Tenha certeza de que, naquele momento, não está circulando corrente pelo cabo.

Use um amperímetro-licate para comprovar se há ou não corrente.

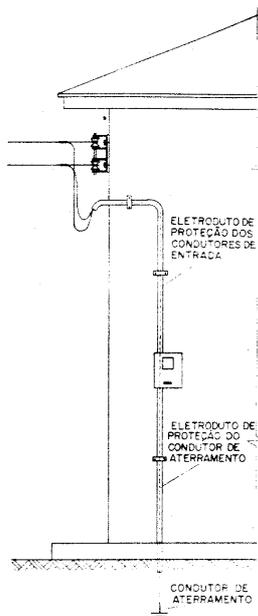


Outros detalhes que você precisa conhecer sobre o condutor de proteção.

- O condutor de proteção deve ser tão protegido quanto qualquer outro condutor;

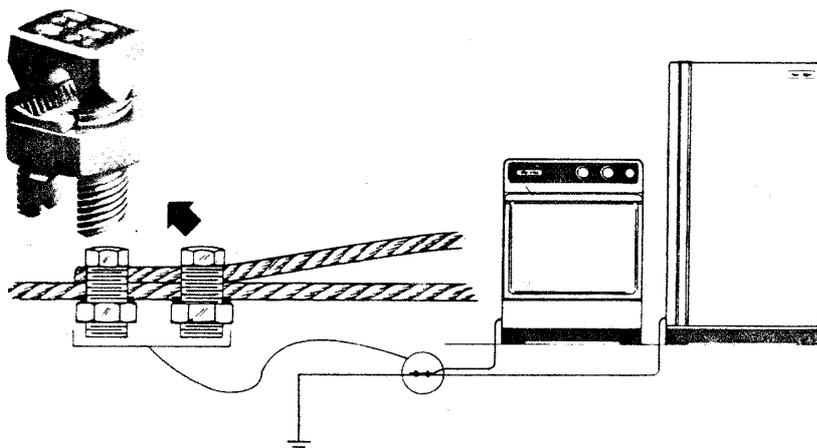
Há concessionárias que fazem respeitar rigorosamente essa recomendação.

Veja, por exemplo, esta instalação abaixo:



O condutor que liga a caixa do medidor à terra está protegido por um eletroduto.

- As emendas ou derivações *não* devem ser feitas com solda fraca. Se tiverem de ser soldadas, deve-se usar solda forte;
- As emendas ou derivações não soldadas devem ser feitas com conectores a pressão;



- A conexão do condutor de proteção ao dispensor e à massa deve ser feita com *braçadeiras e conectores*.

Ao conectar o condutor de proteção ao dispensor de terra, ou a equipamentos que ficam em locais úmidos, é preferível que todos os elementos da conexão (braçadeiras, conectores, parafusos, etc.), sejam do mesmo material.

Em ambientes úmidos, juntando-se materiais diferentes (por exemplo, cobre e zinco), provoca-se uma *reação*. Essa reação gera correntes eletrolíticas, que causam a corrosão dos materiais.

Assim sendo, se o dispensor for de ferro zincado, os outros elementos (tais como parafusos, braçadeiras etc.) também deverão sê-lo.

Não use, por exemplo, uma braçadeira zincada em dispensor de cobre ou cobreado (isto é, revestido por uma camada de cobre). Use cobre com cobre.

Se o dispensor for de cobre, use parafusos e braçadeiras de cobre ou cobreados.

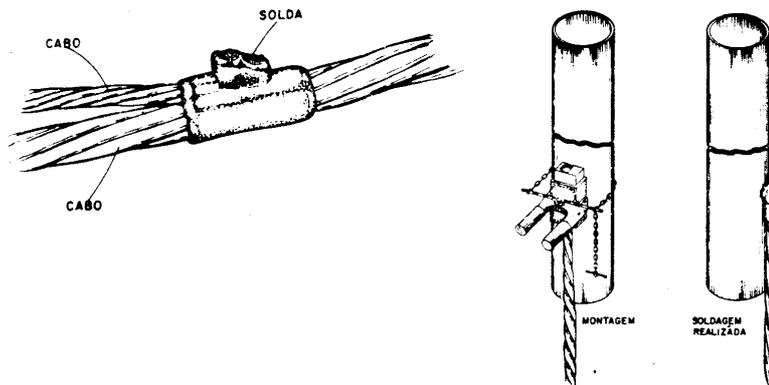
Você já está informado dos principais detalhes sobre o condutor de proteção e sobre as conexões com solda, braçadeiras e conectores.

Além dos processos normais de solda forte (solda oxiacetilênica, solda elétrica), você pode soldar por um novo processo, muito prático e muito usado atualmente.

Você terá oportunidade de ver como se fazem conexões por soldagem, segundo esse novo processo.

Atualmente, no aterramento de estruturas metálicas, é muito conveniente usar esse processo moderno de soldagem, para conexões de cabos de aterramento. Ele emprega equipamento leve, portátil, que permite o trabalho no local do ponto de solda.

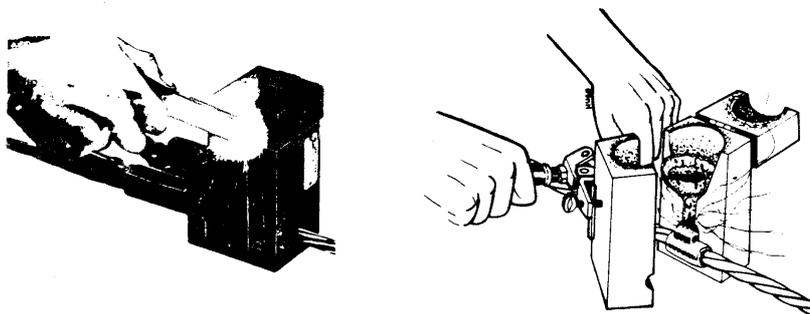
Esse equipamento propicia uma conexão, por soldagem, de cabos com cabos, ou de cabos com estruturas.



Essa soldagem, extremamente simples, não necessita de nenhuma fonte externa de calor.

Como material de solda, são utilizados os óxidos de *alumínio* e de *cobre*, além de *pó de ignição*.

Após a mistura dos óxidos dentro do molde, um acendedor especial inicia um processo de reação entre os óxidos, produzindo calor intenso. O calor provoca a fusão do cobre e a conseqüente soldagem.

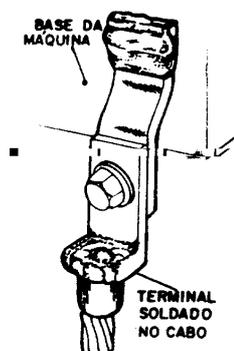


Existem moldes para muitas situações, possibilitando a soldagem de:

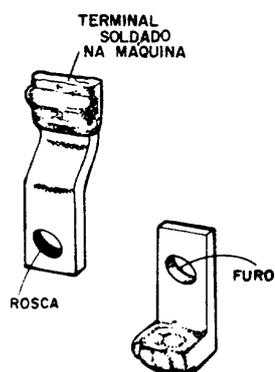
- Cabo com cabo (em emenda ou derivação);
- Cabos com estruturas;
- Cabos com hastes de aterramento.

Conexão com Terminais

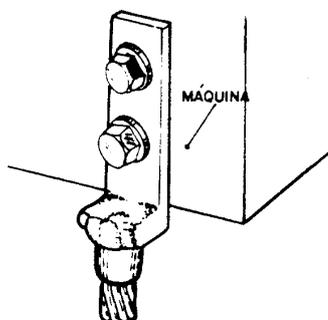
Quando existe a possibilidade de remoção da máquina, usa-se soldar um terminal no final do cabo e outro no local da conexão com a base da máquina.



Nesse caso, a conexão será feita juntando-se os terminais com parafusos. Assim, se a máquina precisar ser removida, será fácil desfazer a conexão.



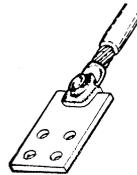
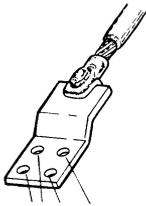
Pode-se também aparafusar o terminal soldado no cabo, *diretamente na base da máquina*, se houver furos roscados para essa finalidade.



Atenção !

Sempre que você for fixar *um terminal, diretamente na base da máquina* ou de qualquer consumidor, verifique antes se o local onde vai aparafusar o terminal permite furações, sem prejuízo para a estrutura da máquina.

De acordo com a bitola do cabo e para melhor capacidade de corrente, usa-se colocar mais parafusos no ponto de fixação dos terminais. Veja estas figuras:

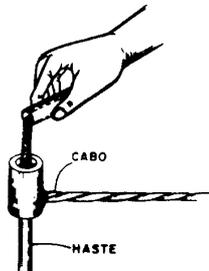


Furos para a fixação do terminal

Solda de Cabo à Haste de Aterramento

Vamos ver as etapas do processo de soldagem de cabos às hastes de aterramento. Essas etapas também são válidas para as demais situações, isto é, para a soldagem de cabos às estruturas e a terminais, desde que se empregue o molde próprio.

Acompanhe a seqüência das ilustrações:

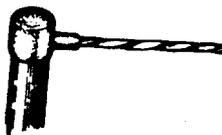


Primeiramente, monta-se o molde.

Em seu interior, ficam os extremos do cabo e da haste de aterramento. Em seguida, faz-se o enchimento do molde, com a mistura dos metais, em forma de óxidos.



Com o "ignitor" (acendedor especial), faz-se a ignição. Assim, inicia-se o processo de fusão dos metais.



Após aproximadamente cinco segundos, ficou concluída a soldagem.

Retira-se o molde, e a conexão estará pronta para ser utilizada.

Determinação do que aterrar

Como você já sabe, todas as partes que constituem a massa devem ser aterradas.

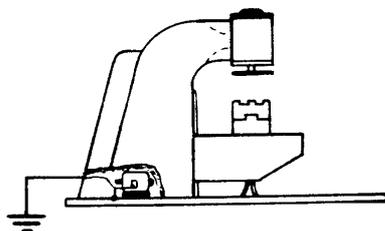
Por isso, é preciso aterrar:

- motores;
- transformadores;
- caixas de passagem;
- quadros de comando;
- eletrodomésticos;
- calhas;
- leitores de cabos;
- máquinas operatrizes;
- estruturas metálicas;
- caixas de quadro de distribuição, etc.

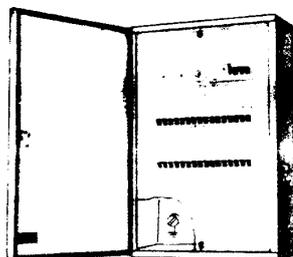
Vamos particularizar apenas alguns casos, pois, na realidade, são inúmeros os equipamentos ou elementos que devem ser aterrados.

As máquinas devem ser aterradas, independentemente da ligação de terra da carcaça do seu motor.

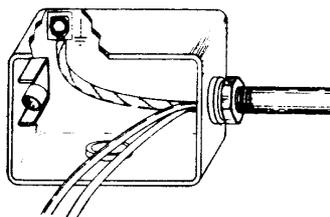
Assim, o cabo de terra que é ligado ao motor deve ter uma derivação, para ser ligada à máquina.



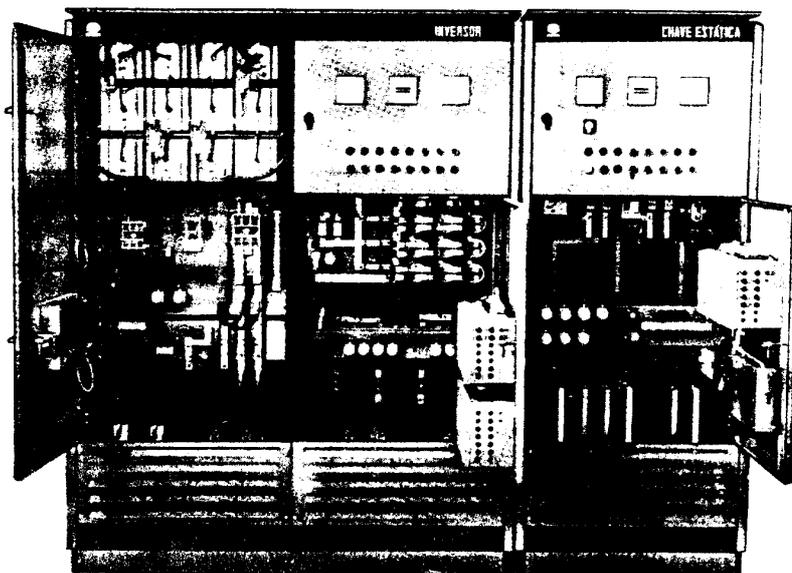
As caixas dos quadros de distribuição também devem ser aterradas, quando forem metálicas. As caixas de boa fabricação tem um parafuso próprio para tal fim.



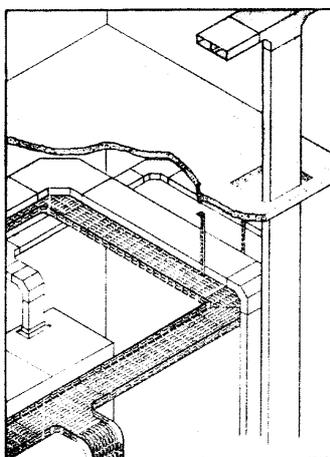
As caixas de passagem também devem ser aterradas. Assim como as caixas do quadro de distribuição, também devem ter um parafuso próprio, para a ligação do condutor de aterramento.



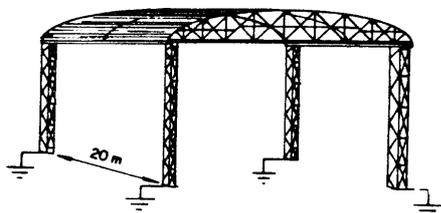
Os quadros de comando tem sempre uma barra de terra; mas também é interessante ligar a porta à terra, através de uma cordoalha ou cabo flexível.



Também se deve garantir que sejam ligados à terra as eletrocalhas, os leitos de cabos e os demais elementos condutores.



As estruturas metálicas tem de ser ligadas à terra. Mas, elas não podem ser utilizadas como dispersores nem como condutores de terra.

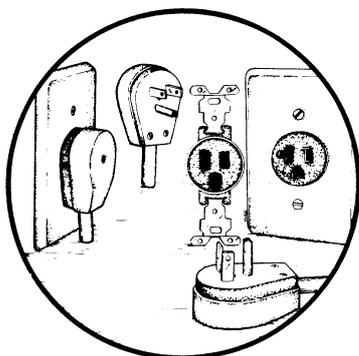


Nas residências, os eletrodomésticos móveis podem ser aterrados, como é obrigatório em outros países.

Nesse caso, é usado um terceiro pino no plugue, com a tomada correspondente.

Essa tomada possibilita a conexão de três condutores: dois para a energia, e um terceiro, para o aterramento.

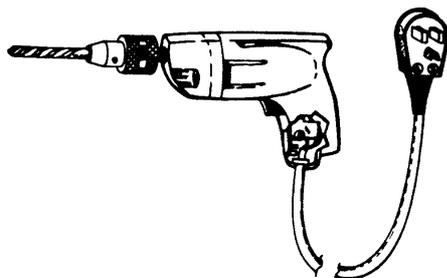
Os pinos do plugue tem formato ou espaçamento diferente. Esse detalhe impede qualquer acidente, por troca de ligação do fio fase com o "terra".



Observe a ilustração, que mostra a ligação do terra à massa de uma máquina de furar.

Repare como os condutores de terra e de energia fazem parte do mesmo cabo.

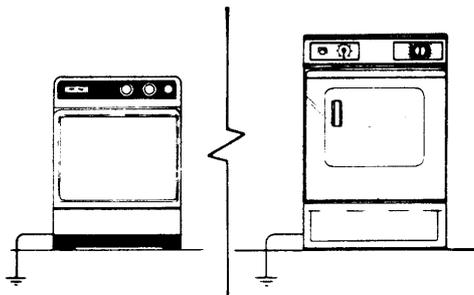
E note o plugue com o terceiro pino.



Como você viu, numa instalação, todos os elementos que formam a massa devem ser aterrados.

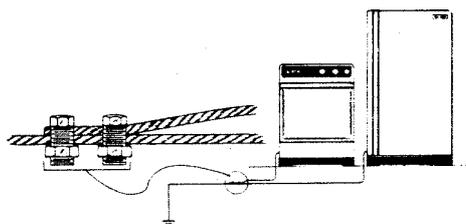
Assim, esses elementos devem ser *ligados ao condutor* de aterramento, isto é, ao cabo que fará sua conexão com o *eletrodo de aterramento*.

Conseqüentemente, todos esses elementos poderão ser ligados a um mesmo eletrodo de aterramento.



Mas poderá acontecer que dois consumidores (no caso, fogão elétrico e máquina de lavar) sejam instalados distantes um do outro.

Nesse caso, *usa-se um eletrodo de aterramento para cada consumidor, se isso convier*.

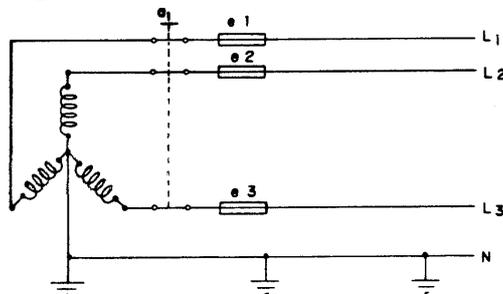


Caso estejam instalados próximos um do outro, poderá ser utilizado o mesmo eletrodo de aterramento; é só usar uma derivação.

A *bitola do condutor de proteção* deve ser adequada à instalação de maior potência.

Utilização do Neutro como Condutor de Proteção

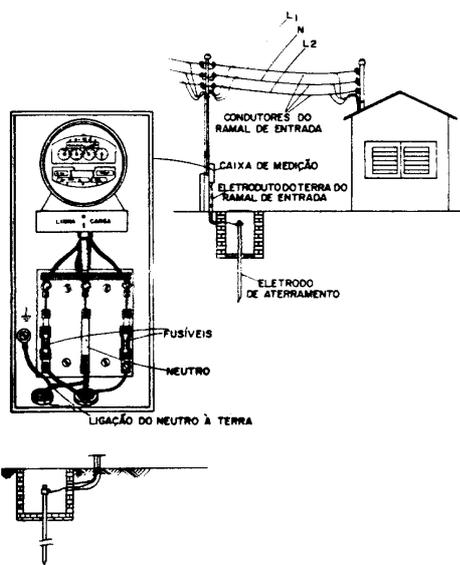
Como você já sabe, dentre os sistemas de distribuição de energia, o mais comum é aquele que utiliza o neutro, como você pode ver no diagrama abaixo:



Nesse sistema, o neutro é aterrado através de vários eletrodos de aterramento, em intervalos regulares.

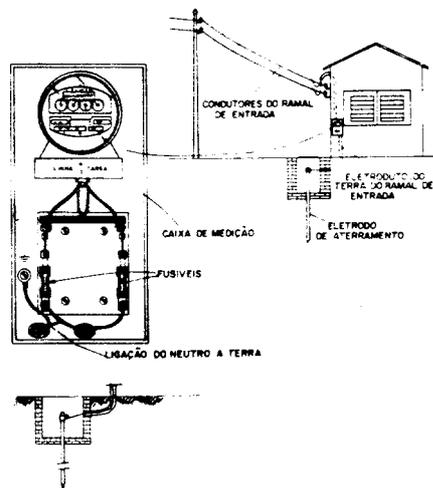
Independentemente desses aterramentos espaçados, o neutro será sempre aterrado na entrada dos prédios.

Observe, na ilustração abaixo, o ramal de entrada do consumidor. A caixa de medição de consumo foi instalada no poste particular do usuário. Dela sai a ligação para o eletrodo de aterramento.



Nesse caso, a ligação tem três linhas, para atender 110/220 volts; o condutor do centro é o neutro.

Veja, agora, outra situação:



A caixa de medição foi instalada no próprio prédio.

Novamente, é dela que sai a ligação do neutro para o eletrodo de aterramento do ramal de entrada.

Nesse exemplo, o tipo de ligação é com duas linhas, para atender 110V. Um dos condutores é o *neutro*.

Então, você conclui que:

O neutro é aterrado nas entradas das instalações:

- Junto ao poste, se ai for instalado o medidor, ou
- Junto à residência, se ai for instalado o medidor (NBR 5410 312.2.2.).

Você poderá encontrar, também, outras situações. entre elas, uma distribuição trifásica a quatro fios, para 110/220 V, na qual existirão 3 condutores-fase e um neutro. Essa situação, porém, é idêntica às citadas, porque o neutro sempre será aterrado.

Para sistemas de distribuição onde o fio neutro é aterrado, este pode ser usado para aterramento de equipamentos e de elementos de instalação, desde que sejam observadas certas condições.

Condições para Uso do Neutro no Aterramento

1. Que essa forma de aterramento, usando-se o *neutro*, seja prevista no projeto da instalação elétrica do prédio, conforme o item 541:2 da NBR 5410;
2. Que a concessionária autorize o uso do *neutro* para aterramento.

Respeitadas as condições, você poderá ligar os equipamentos e usar o neutro para o *aterramento*, visando à *proteção* contra problemas de falta de isolamento.

Nesse caso, o neutro terá duas funções:

- ser o *neutro* do sistema;
- ser o *condutor de proteção*.

Classificação dos Sistemas

A NB-3 classifica os sistemas elétricos de baixa tensão tendo em vista a situação da alimentação e das massas (e eventuais elementos condutores) em relação à terra. É utilizada a seguinte simbologia literal para essa classificação:

a) Primeira letra - situação da alimentação em relação à terra

T - 1 ponto diretamente aterrado;

I - isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de uma impedância.

b) Segunda letra - situação das massas em relação à terra

T - massas diretamente aterradas independentemente de aterramento eventual de um ponto da alimentação;

N - massas ligadas diretamente ao ponto da alimentação aterrado (em CA o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro).

c) Outras letras (eventuais) - disposição do condutor neutro e do condutor de proteção

S - funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;

C - funções de neutro e de proteção combinadas num único condutor [condutor *PEN* (312.2)].

As instalações devem ser executadas num dos sistemas indicados a seguir:

- sistema *TN*, com as variações *TN-S*, *TN-C-S* e *TN-C*;
- sistema *TT*;
- sistema *IT* (312.2.1).

Quando a alimentação provier de uma rede de distribuição de baixa tensão, o condutor neutro deve sempre ser aterrado na origem da instalação do consumidor (312.2.2).

Passemos agora à análise dos diversos sistemas.

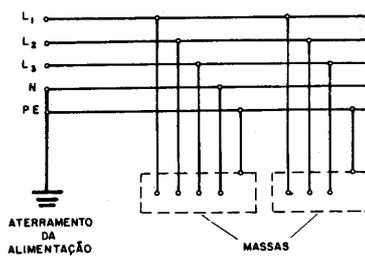
Sistema de Aterramento

Sistema *TN*

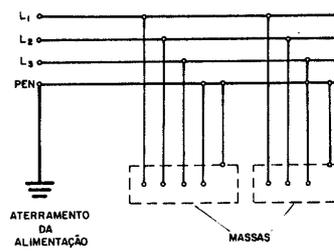
Os sistemas desse tipo tem um ponto diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a esse ponto através de condutores de proteção. De acordo com a disposição do neutro e do

condutor de proteção, podemos definir 3 tipos de sistemas *TN*, que são:

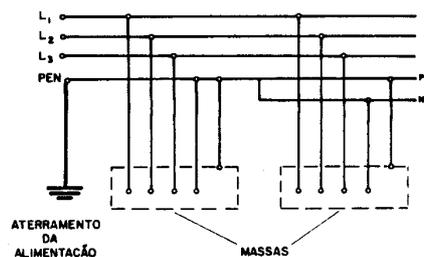
1. sistemas *TN-S* - condutor neutro e condutor de proteção distintos; (fig.1)
2. sistema *TN-C* - funções de neutro e de proteção num mesmo condutor, condutor *PEN*; (fig. 2)
3. sistema *TN-C-S* - combinação dos dois anteriores. (fig.3)



Sistema *TN-S*
fig. 1



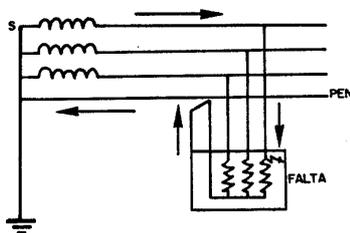
Sistema *TN-C*
fig.2



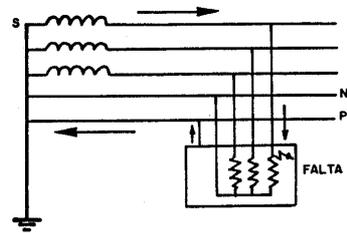
Sistema *TN-C-S*
fig.3

Nos sistemas *TN*:

- a) no caso de uma falta entre fase e massa, o percurso da corrente de falta é constituído exclusivamente de elementos condutores.



Percurso da corrente de falta
num sistema *TN-C*

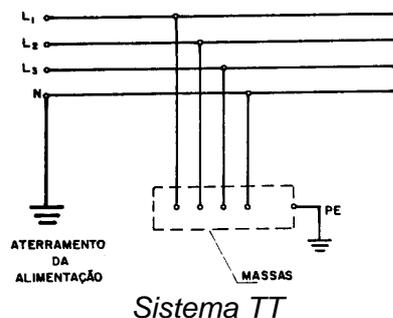


Percurso da corrente de falta
num sistema *TN-S*

- b) as massas estão sempre sujeitas às sobretensões do neutro do sistema de alimentação;
- c) a tensão nas massas, em serviço normal, será sempre igual à tensão do ponto de ligação entre o neutro e o condutor de proteção - no sistema *TN-S* - ou entre o neutro e a massa - sistema *TN-C*;
- d) tanto em condições normais, como com correntes de falta, a tensão nas massas será maior no tipo *TN-C* do que no *TN-S*, devido à queda de tensão no neutro da instalação do consumidor (312.2.3.2).

Sistemas *TT*

Os sistemas desse tipo tem um ponto diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a eletrodos de aterramento eletricamente independentes do eletrodo da alimentação, como mostra a figura abaixo.(312.2.4.1).

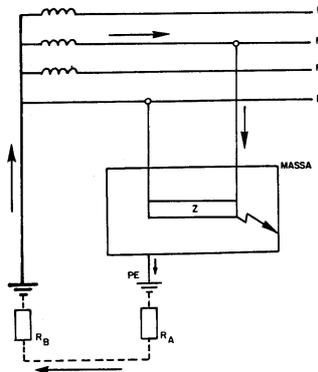


Nos sistemas *TT*:

- a) as massas não estão sujeitas às sobretensões do sistema de alimentação;
- b) as massas não estão sujeitas às sobretensões devidas às quedas de tensão no neutro, tanto para corrente normal, como para corrente de falta;
- c) o percurso das correntes de falta entre fase e massa, mostrado na figura abaixo, corresponde geralmente a terra, o que não exclui a possibilidade de ligações elétricas, voluntárias ou acidentais, entre os eletrodos de aterramento das massas e da alimentação. Mesmo quando os eletrodos de aterramento das massas e da alimentação estiverem confundidos, o sistema permanecerá do tipo *TT*, para efeito de determinação das condições de proteção, isto é, não são levadas em conta as ligações entre os eletrodos (312.2.4.2).

Na figura abaixo, R_A é a resistência do eletrodo de aterramento das massas e R_B , a do eletrodo de aterramento do ponto neutro; $(R_A + R_B)$ é preponderante diante da impedância dos

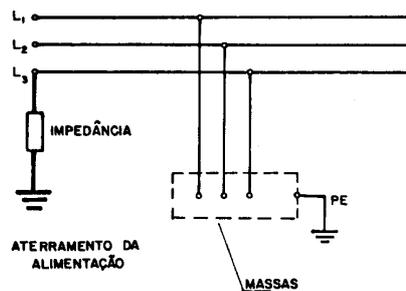
outros elementos do percurso e é praticamente igual à impedância total.



Percurso da corrente de falta num sistema *TT*

Sistemas *IT*

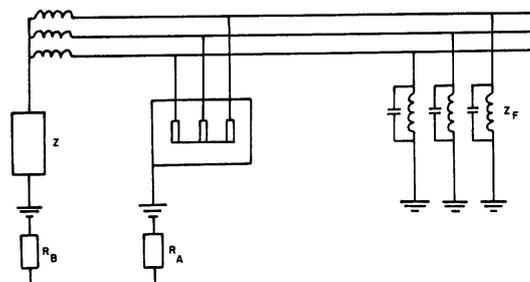
Nesse sistemas, não há ponto da alimentação diretamente aterrado, estando as massas aterradas.



Sistema *IT*

Num sistema *IT*

- a corrente resultante de uma só falta entre fase e massa não tem intensidade suficiente para provocar o surgimento de qualquer tensão de contato perigosa;
- a limitação da intensidade da corrente resultante de uma primeira falta é obtida pela ausência de ligação à terra da alimentação ou pela inserção de uma impedância entre um ponto da alimentação e a terra.



Impedância num sistema *IT*

A figura, mostra as impedâncias a serem consideradas no percurso da corrente de falta para terra num sistema IT. São elas:

R_A - resistência de aterramento do eletrodo das massas;

R_B - resistência de aterramento do eletrodo do neutro;

Z - impedância de valor elevado;

Z_F - impedância das fugas naturais da instalação.

Valor da Tensão em sistemas de Baixa Tensão

A tabela abaixo mostra os limites de tensão (CA e CC) usados pela NB-3 para classificar os sistemas aterrados de baixa tensão.

Faixa	Sistemas Diretamente Aterrados				Sistemas não Diretamente Aterrados	
	CA		CC		CA	CC
	Entre Fase e Terra	Entre Fases	Entre Pólo e Terra	Entre Pólos	Entre Fases	Entre Pólos
I	$V \leq 50$	$V \leq 50$	$V \leq 120$	$V \leq 120$	$V \leq 50$	$V \leq 120$
II	$50 < V \leq 600$	$50 < V \leq 1000$	$120 < V \leq 1500$	$120 < V \leq 1500$	$50 < V \leq 1000$	$120 < V \leq 1500$

(V é a tensão da instalação em volts)

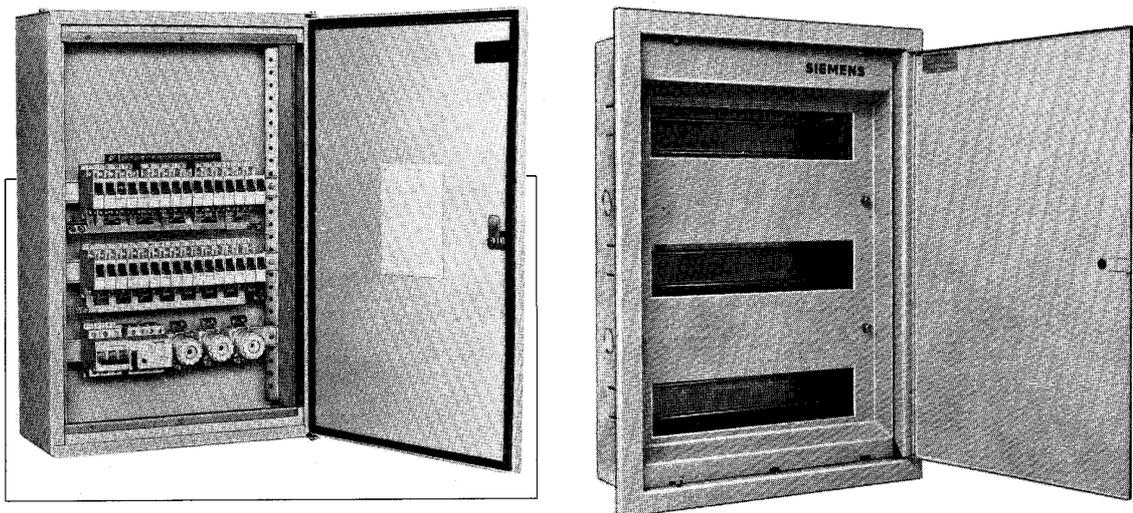
Observação:

1. Nos sistemas não diretamente aterrados, se o neutro for distribuído, os equipamentos alimentados entre fase e neutro, ou entre pólo e compensador, devem ser escolhidos de forma a que sua isolação corresponda à tensão entre fases.
2. Esta classificação das tensões não exclui a possibilidade de serem introduzidos limites intermediários para certas prescrições de instalação. Assim, por exemplo, o limite de 500 volts é introduzido para os locais de serviço elétrico nos quais é admitido que se dispensem medidas de proteção contra os contatos diretos.
3. A faixa I corresponde à extrabaixa tensão, quer seja de segurança ou funcional, enquanto a faixa II corresponde às tensões de instalações residenciais, comerciais e industriais (313.1.2.1).

Quadros gerais de Força

Quadros de Luz

Os quadros deste sistema são próprios para o uso como quadros de luz e energia, em edifícios de finalidade administrativa, escolar, hospitalar, comercial, industrial e residencial, podendo ser equipados com disjuntores W e WM mono, bi e tripolares, bases DIAZED EZ 25 e 63 A, interruptores de corrente de fuga "Fi", seccionadores mono e tripolares 5TE, bases NH, seccionadores NH, chave PACCO até 40A, contactores até 3TA22, dispensando o uso de máquinas para a montagem da maior parte dos equipamentos, por serem de engate rápido, sobre trilhos de 35 mm.



Quadros Gerais de Força

São quadros destinados a distribuição e comando de energia elétrica em baixa tensão em centrais elétricas, instalações industriais e grandes edifícios.

O quadro é dividido em painéis ou compartimentos. Basicamente contém um painel de entrada, onde estão instalados os componentes de comando e proteção do circuito de entrada (por exemplo o disjuntor) além de instrumentos de medidas. Contém ainda painéis ou compartimentos com os

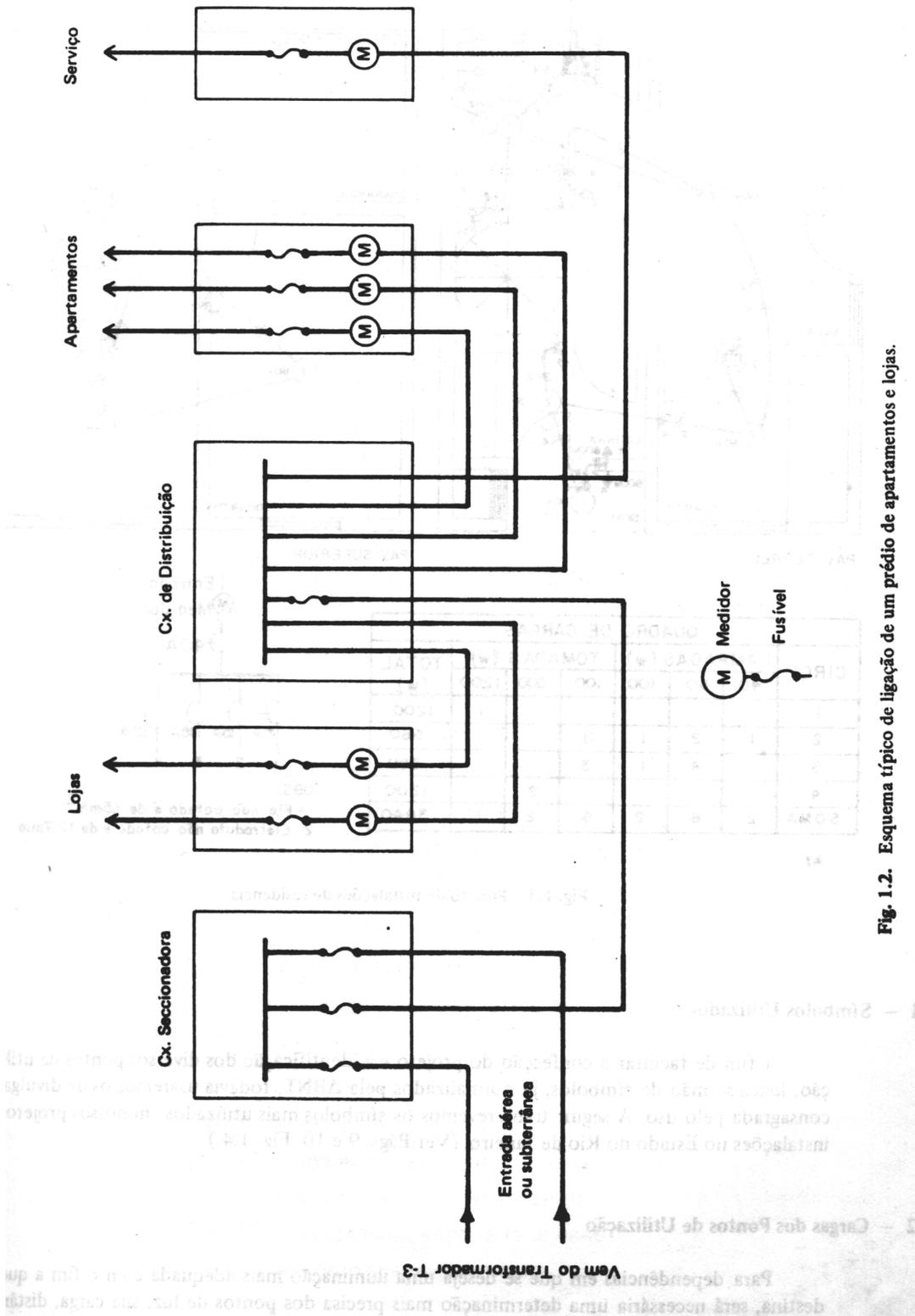
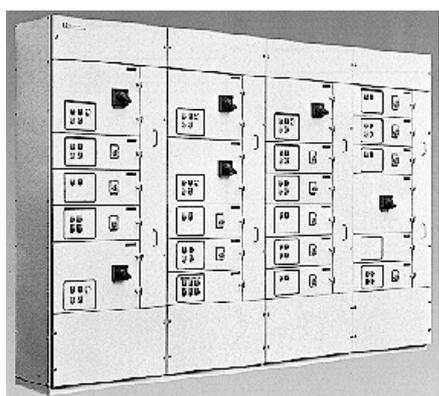
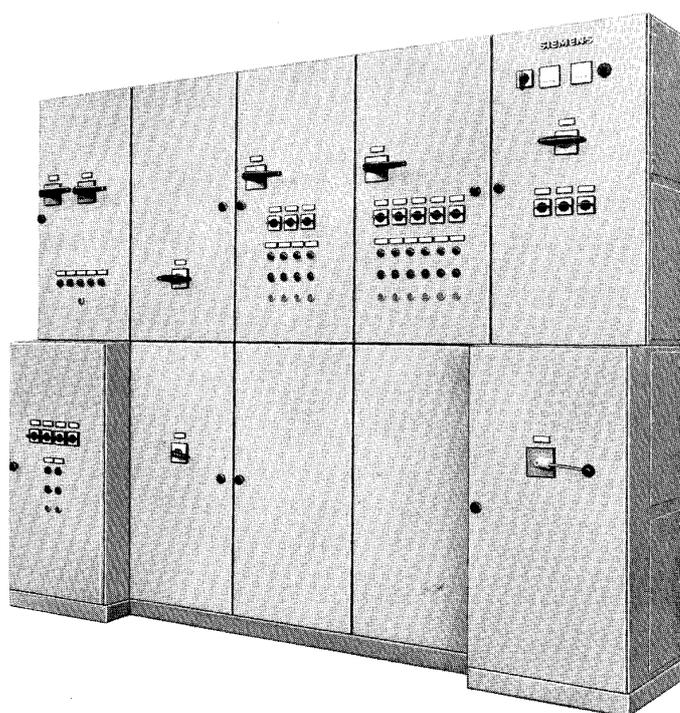


Fig. 1.2. Esquema típico de ligação de um prédio de apartamentos e lojas.

componentes dos circuitos de saídas. Geralmente estes quadros servem de interligação entre o transformador da subestação e os quadros específicos para os diversos tipos de cargas.

A figura abaixo mostra um quadro de distribuição em baixa tensão.



Acumuladores

Uma fonte de eletricidade de uso comum é a ação química que tem lugar nas pilhas e baterias.

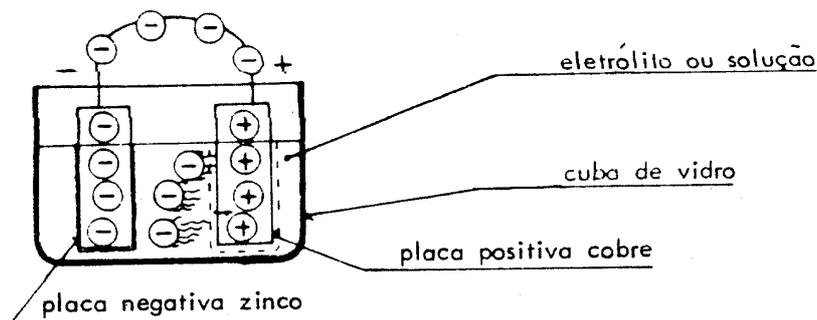
As baterias são usadas com frequência em situações de emergência e como fonte portátil de eletricidade.

Célula primária

A célula primária se compõe de uma cuba, duas placas metálicas diferentes e um líquido chamado eletrólito de solução.

O eletrólito empurra os elétrons de uma placa para outra. Esta ação resulta em um excesso de elétrons ou carga negativa em uma das placas de modo que um fio ligado a esta placa recebe o nome de terminal negativo. A outra placa perde elétrons e assim fica carregada positivamente e se for ligado um fio a ela, receberá o nome de terminal positivo.

A placa negativa será de zinco e a positiva de cobre.



Com os terminais desligados os elétrons são empurrados para a placa negativa até que não haja mais espaço para eles, aí então diremos que a placa está com a sua carga máxima.

Ligando-se um fio entre as placas, conforme pode-se observar na figura anterior, os elétrons deixam o polo negativo e caminhando através do referido fio vão ter ao polo positivo, o

qual está com falta de elétrons. Imediatamente o eletrólito transportará novamente, elétrons para a placa negativa.

Enquanto o eletrólito estiver transportando os elétrons, observaremos que a placa negativa vai se consumindo, isto devido à ação química. Na placa positiva haverá um desprendimento de bolhas de gás.

Chegará um ponto em que a placa negativa se dissolverá completamente no eletrólito pela ação química e então a célula estará morta.

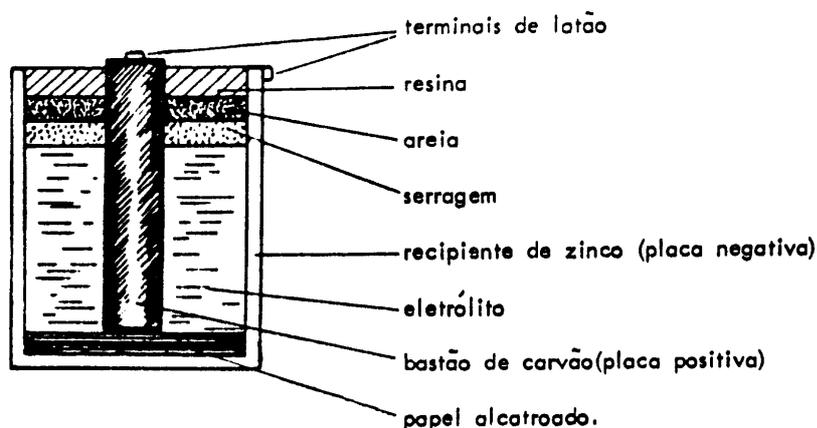
A pilha seca se compõe de um recipiente de zinco, que é, ao mesmo tempo, a placa negativa e de um bastão de carbono servindo como placa positiva suspensa no centro do recipiente e finalmente uma solução pastosa de cloreto de amônio constituindo o eletrólito.

No fundo do recipiente há um disco de papel alcatroado, cuja finalidade é impedir que o bastão de carbono toque no zinco.

Na parte superior o recipiente contém camadas de serragem, areia e resina. Estas camadas mantêm o cilindro de carvão na posição correta e impedem vazamentos do eletrólito.

Quando uma pilha seca fornece eletricidade o recipiente de zinco e o eletrólito são gradualmente consumidos. Após o término do zinco e do eletrólito utilizáveis a pilha não mais fornece carga e tem de ser substituída. A pilha seca também chamada Leclanché tem muito pouco peso e é portátil além de outras propriedades que a tornam praticamente preferida às demais pilhas primárias.

Vista, em corte, de uma pilha seca ou Leclanché.



A f.e.m. (força eletromotriz) de uma pilha seca é de 1,5 a 1,6 volts quando novas caindo lentamente a medida que ela vai sendo usada.

Célula secundária

A célula secundária ou pilha secundária, conhecida também como acumulador se baseia nos mesmos princípios fundamentais da pilha diferindo da outra na maneira de serem restauradas.

As pilhas primárias uma vez descarregadas não podem ser mais usadas porém, as secundárias além de fornecerem uma quantidade de corrente maior, ainda podem ser recarregadas.

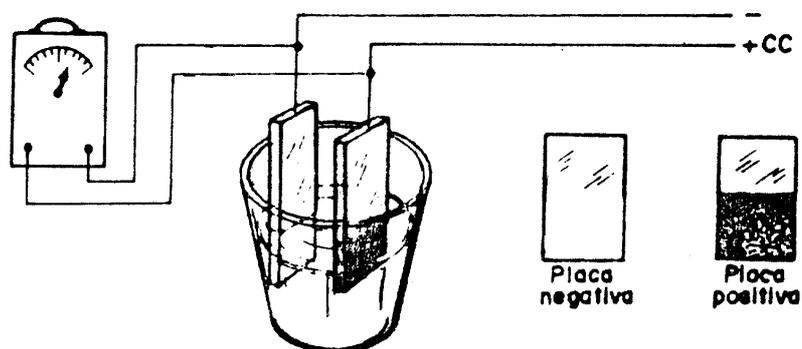
Há somente dois tipos de pilhas usadas comumente como acumuladores:

- chumbo - chumbo ácido
- níquel - ferro alcalino

Célula chumbo - chumbo ácido

O princípio em que se baseia o elemento de chumbo pode ser ilustrado pela seguinte experiência: duas tiras de chumbo são mergulhadas em um vaso contendo ácido sulfúrico diluído tendo um peso específico aproximadamente de 1.250.

Liga-se essas tiras a uma fonte de corrente contínua. Quando a corrente circula por esta pilha formam-se e escapam bolhas de gás em ambas as placas mas em uma das placas a formação de bolhas é muito maior que na outra. Depois de um curto período de tempo vê-se que a coloração de uma das placas mudou para "chocolate escuro", no aspecto, tornando-se chumbo poroso.



Enquanto a pilha estiver carregando a tensão vai até cerca de 2,5 volts, caindo para 2 volts quando se interrompe a corrente.

Na descarga a tensão cai lentamente até 1,75 volts, depois o decréscimo se torna mais rápido até vir a zero.

Quando se faz passar uma corrente na referida célula, o chumbo metálico da placa positiva é convertido em peróxido de chumbo enquanto que a placa negativa não sofre nenhuma alteração química mas modifica-se de chumbo sólido para chumbo esponjoso.

Quando o elemento é descarregado, o peróxido de chumbo da placa positiva transforma-se em sulfato de chumbo e o chumbo esponjoso da placa negativa também converte-se em sulfato de modo que ambas as placas tendem a igualar-se eletroquimicamente.

quando as duas placas são idênticas sob a forma de sulfato de chumbo entre as mesmas não há diferença de potencial.

Se as placas estiverem em condições diferentes, a positiva modificada para peróxido de chumbo e a negativa para chumbo esponjoso, uma f.e.m. existe entre elas.

As reações que tem lugar no acumulador de chumbo são:

Bateria Descarregada

(Placa +)	(Placa -)
$PbSO_4$	$PbSO_4 + 2H_2O$
Sulfato de chumbo	sulfato de chumbo mais água

que se decompõe em:

Bateria Carregada

(Placa +)	(Placa -)
PbO_2	$Pb + 2H_2SO_4$
Peróxido de chumbo	Chumbo + ácido sulfúrico

Observe-se que quando a bateria está sendo carregada a única modificação tem lugar no eletrólito com a formação de ácido sulfúrico.

Esta é a razão do aumento do peso, específico do eletrólito.

No momento que o acumulador está recebendo carga o hidrogênio é libertado na placa negativa e o oxigênio na placa positiva.

Manutenção das baterias

O acumulador de chumbo requer muitos cuidados para a sua conservação; quando bem tratado, tem grande durabilidade.

A solução deve ser preparada com ácido sulfúrico puro e água destilada, sendo uma parte de ácido para 3,5 de água, tendo-se o cuidado de adicionar lentamente o ácido na água, pois há grande desenvolvimento de calor na mistura.

As placas devem estar sempre cobertas pela solução e sempre que necessário completá-la com água destilada, pois devido ao aquecimento há sempre uma perda por evaporação.

A bateria deve sempre receber cargas lentas e freqüentes porque cargas rápidas e elevadas danificam as placas da mesma.

Elemento ferro - níquel - alcalino

“Acumulador Edison”

Este tipo de acumulador foi inventado por Edison em 1901 quando o amplo uso de baterias para o acionamento de carros, tratores, locomotivas, assim como para a iluminação de carros ferroviários de passageiros, reclamava um tipo leve e durável de acumulador.

A bateria de ferro-níquel é a única de uso comercial nos Estados Unidos.

Seu pouco peso e durabilidade se devem ao emprego de aço em sua construção, tanto nas placas como no invólucro.

A placa positiva é construída de um gradeado de aço-níquel, suportando também tubos de aço-níquel, nos quais se encontra o material ativo.

Quando introduzido nos tubos, este material ativo está sob a forma de um hidrato de níquel que se transforma em um óxido de níquel depois do tratamento de formação. Os tubos são perfurados para dar ao eletrólito facilidade de acesso até o material ativo.

A placa negativa, geralmente, é de construção similar à placa positiva com a diferença de que o material ativo usado é constituído por óxido de ferro finamente pulverizado e contido em bolsas perfuradas fabricadas de aço níquel em vez de serem em tubos.

Ligam-se em paralelo um certo número de placas para formar um grupo, dispondo mais uma placa no grupo negativo que no positivo

Intercalam-se então os dois grupos de placas, conjuntamente, separando-se as placas, uma das outras por meio de tiras de ebonite.

O recipiente é de aço laminado a frio, ondulado para dar-lhe maior resistência. É soldado nas juntas e depois niquelado com uma espessa camada de níquel como proteção contra oxidação. A tampa leva dois terminais e tem um orifício que serve ao mesmo tempo para encher o recipiente e dar saída aos gases.

O eletrólito utilizado se compõe de uma solução de 21% de potassa em água destilada à qual se adiciona uma pequena quantidade de óxido de lítio. Deste eletrólito não se desprendem gases corrosivos, de modo que não é necessário tomar nenhuma precaução para montar a unidade.

A finalidade de óxido de lítio é aumentar a duração e a capacidade do acumulador.

O tempo nominal para a carga deste tipo de acumulador é de 7 horas e 5 horas para a descarga com a mesma corrente sendo o seu rendimento de 82% aproximadamente.

A temperatura interna não deve exceder 45°C.

As vantagens do acumulador Edson consistem em ser ele mais leve e mais forte que o de chumbo, podendo permanecer carregado ou descarregado por tempo indefinido sem alterar-se. Não há desprendimento de gases ácidos, podendo ser colocado em salas onde haja máquinas sem perigo de corrosão.

Para se substituir o eletrólito, o acumulador deverá primeiramente ser descarregado por completo até a voltagem cair a zero deixando-o fechado em curto circuito durante duas horas ou mais.

Retira-se o eletrólito e imediatamente coloca-se o novo eletrólito. Deve-se manter o nível da solução completando-o, sempre que necessário, com água destilada para compensar a porção que se evapora com o tempo.

Quando se desejar guardar o acumulador Edson, fora de serviço, deve-se descarregá-lo até chegar a zero, depois fechar em curto circuito seus bornes e em seguida guardá-lo.

O acumulador Edson não se deteriora por congelação.

Um contraste notável pode-se observar entre ele e o acumulador de chumbo, pois este deve ser completamente carregado antes de ser armazenado ao passo que o acumulador Edson, deve ser completamente descarregado.

As principais desvantagens do acumulador Edson são: seu elevado custo, baixo rendimento e grande resistência interna.

Como o acumulador de chumbo é mais barato e ao mesmo tempo o seu rendimento é maior, ele é o mais usado.

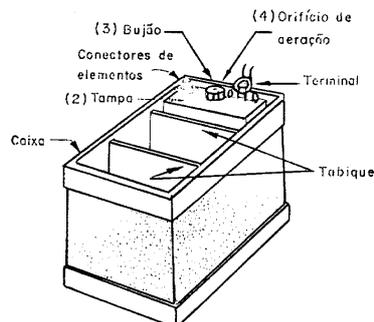
Constituição

A bateria é constituída por:

- caixa
- tampas
- placas
- eletrólito
- conectores de elementos
- bornes

Caixa

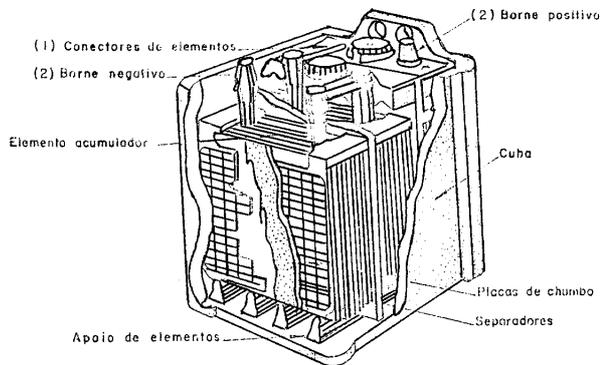
É fabricada geralmente de ebonite ou plástico. Divide-se em compartimentos estanques, onde estão alojadas as placas.



As tampas da caixa são fabricadas de ebonite ou plástico e tem um bujão roscado ou de pressão, que pode ser retirado para se verificar o eletrólito

O pequeno orifício do bujão permite o escapamento dos gases.

O fundo de cada compartimento tem os apoios para os elementos.



Placas

Cada elemento é composto por placas de chumbo isoladas entre si por separadores.

Eletrólito

É a solução composta de água destilada e ácido sulfúrico, que se encontra nos compartimentos da caixa cobrindo as placas.

Precaução

O ácido sulfúrico do eletrólito é altamente corrosivo. Produz queimaduras na pele e destrói a roupa, portanto, deve-se tomar especial cuidado, ou se manipular a bateria.

Conectores de Elementos

São de chumbo e servem para conectar os elementos. Podem ser externos ou internos.

Borne

Cada bateria de acumuladores tem dois bornes de saída; são de chumbo e servem para conectar a bateria à sua instalação.

Borne Positivo - É o de maior diâmetro e está marcado com um sinal mais (+) de cor vermelha.

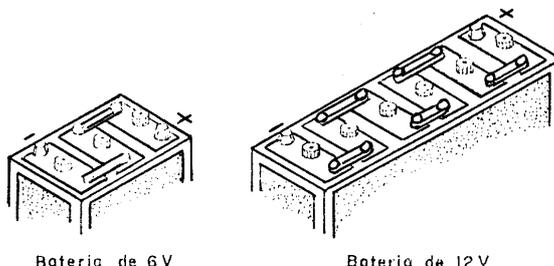
Borne Negativo - É o que está marcado com o sinal (-) de cor verde.

Características

As principais características de uma bateria são:

Tensão

Depende do número de elementos - três para as de 6 volts e seis para as de 12 volts.



Capacidade

Depende do número e superfície de suas placas. É expressa em ampères-horas.

O funcionamento de uma bateria de acumuladores compreende duas fases, que são:

- processo de carga;
- processo de descarga.

Processo de Carga

Ao se fazer circular uma corrente elétrica (C.C.) por uma bateria, é produzida uma transformação química que aumenta a densidade do eletrólito. Desta forma, acumula-se energia.

Processo de Descarga

Ao ser fornecida corrente elétrica pela bateria, ocorre uma transformação química inversa. O ácido se combina novamente com o material das placas, diminuindo a densidade do eletrólito.

Condições de Uso

As baterias não devem ser submetidas a regime de alta descarga por tempo prolongado, nem a curto-circuito, pois isso diminui sua vida útil.

Ao ser instalada no automóvel, a bateria deve ser fixada em sua posição, com a presilha respectiva, e conectada, respeitando-se sua polaridade.

Manutenção

Deve-se revisar periodicamente o nível do eletrólito, mantendo-se o mesmo um centímetro acima do nível das placas.

Os bornes e os terminais devem manter-se limpos, para se evitar resistência à passagem da corrente elétrica.

Devem estar firmemente apertados e recobertos com vaselina, para se impedir a *sulfatação*.

Representação

Para a representação convencional de cada elemento acumulador, utiliza-se o seguinte símbolo:



O traço maior representa o pólo positivo (+), e o menor, o pólo negativo (-).

Comparação entre Baterias Alcalinas e Chumbo-Ácidas

Armazenagem

Alcalinas:

Podem ser armazenadas descarregadas e sem eletrólito por um período de 2 anos.

Podem ser armazenadas carregadas e com eletrólito por um período de 12 meses, com cargas periódicas de manutenção a cada 6 meses.

Baterias alcalinas em operação podem ser desativadas a qualquer momento, armazenadas descarregadas e sem eletrólito por um período de 2 anos.

Ácidas:

Uma vez efetuado o primeiro enchimento com eletrólito, o processo de envelhecimento da célula se inicia e não há possibilidade de interrompê-lo, isto é, uma vez colocado o

eletrólito nunca mais poderá ser retirado. Portanto, numa operação de retirada de serviço a bateria deverá receber cargas periódicas a cada 3 meses (dependendo da temperatura ambiente) para compensar a auto descarga e evitar a sulfatização das placas.

Auto Descarga

Todas as baterias em circuito aberto perdem parte de sua carga devido a auto descarga. As perdas ocorrem por causa de processos internos nos elementos. Por exemplo, a armazenagem durante três meses a 25°C resulta perdas de carga, em valores típicos.

Altas Temperaturas

Alcalinas

Durante a carga a temperatura não deve ultrapassar 45°C. Em operação a faixa recomendável é de 10°C a 35°C, podendo suportar temperaturas extremas de até 55°C por períodos curtos, sem prejuízo para a bateria.

Se operadas constantemente a 35°C haverá uma redução de 20% na capacidade nominal.

Ácidas

Durante a carga a temperatura não deve ultrapassar 45°C. Em operação a faixa recomendável é de 15°C a 35°C, porém com média de 25°C.

Se operadas constante a 35°C haverá uma redução de 50% na capacidade nominal.

Desprendimento de Gases

Alcalinas

Durante a carga há desprendimento de hidrogênio, sendo necessário em alguns casos prover a sala de baterias com equipamento para ventilação.

Ácidas

Durante a carga há desprendimento de hidrogênio e gases ácidos corrosivos.

De um modo geral os eletrólitos das baterias ácidas e alcalinas são classificados como corrosivos. Entretanto o eletrólito alcalino não ataca os materiais de construção normais, concreto e aço, não necessitando de acabamento especial. o eletrólito ácido e a névoa ácida são muito corrosivos para os materiais comuns de construção e os locais de instalação necessitam de tratamentos especiais (pisos e revestimentos anti-corrosivos).

Perda de Capacidade com a Diminuição da Temperatura

Alcalinas

A 0°C a redução da capacidade é de aproximadamente 10%.

Ácidas

A 0°C a redução da capacidade é de aproximadamente 30%.

Vida Útil, Quando Utilizadas em Flutuação

Alcalinas

20 - 25 anos em condições ideais de operação e manutenção.

Ácidas

10 - 12 anos em condições ideais de operação e manutenção.

Instalação

Alcalinas

podem ser instaladas junto com equipamentos eletrônicos.

Ácidas

Não podem ser instaladas junto com equipamentos eletrônicos, pois a névoa ácida irá atacar os componentes.

Final de Vida

Alcalinas

O final de vida nas baterias alcalinas é facilmente detectado. Considera-se final de vida quando a bateria atinge entre 60 e 70% da capacidade nominal.

A perda de capacidade das baterias alcalinas é lenta e de certa forma linear em função do tempo, que permite planejar com segurança a sua substituição.

Ácidas

O final de vida das baterias ácidas é difícil de detectar, tendo em vista as variações de quantidades de parâmetros que devem ser tecnicamente analisados.

Na prática o final de vida é definido quando a bateria atinge 80% da capacidade nominal, mas o que se tem observado é que geralmente o final de vida acontece antes que a capacidade atinja 80%. É o fenômeno "Morte Súbita", o qual leva a bateria ao final de vida devido a problemas relativos a corrosão, degradação do material ativo, sedimentação, sulfatação, etc.

Por esta razão, as baterias ácidas necessitam de inspeções visuais rígidas para acompanhamento da evolução destes defeitos.

A possibilidade de "Morte Súbita" descarta o planejamento para a substituição da bateria, pois o final de vida pode ocorrer a

qualquer momento, mesmo após ter sido aprovada nos testes de capacidade.

Manutenção

A manutenção nas baterias alcalinas é mais simples do que nas baterias ácidas. Apesar do maior nº de elementos, as baterias alcalinas não necessitam carga de equalização, controle rígido da tensão de flutuação, da densidade do eletrólito e da temperatura.

Quadro Comparativo Sobre Alguns Aspectos Típicos de Manutenção

	Níquel-Cádmio	Chumbo-Ácida
Armazenagem	Com eletrólito e carregado = 12 meses.	Com eletrólito e carregado = 3 - 6 meses.
Colocação em serviço	Carga 8 h com corrente constante.	Carga de 10 a 15 h com corrente constante.
Carga de equalização	Não é necessária	<ul style="list-style-type: none"> • Cada 3 meses quando armazenada. • Cada 3 ou 6 meses em operação, dependendo da idade.
Corrente de flutuação	Uma vez por ano.	A cada 3 meses.
Tensão de flutuação	Uma vez por ano.	A cada 3 meses em todos os elementos.
Teste de capacidade	A cada 2 - 5 anos dependendo da vida.	A cada 18 meses.
Adição de água	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação do nível anualmente. • Adição de água a cada 2 anos em média. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificação do nível mensalmente. • Adição de água a cada ano dependendo da idade.
Limpeza	Uma vez por ano: <ul style="list-style-type: none"> • Limpar a parte superior dos elementos. • Verificar o torque nas ligações. • Aplicar graxa protetiva nas ligações e pólos. 	A cada 6 meses: <ul style="list-style-type: none"> • Limpar a parte superior dos elementos. • Verificar o torque nas ligações. • Aplicar graxa protetiva na ligações e pólos.

Quadro Comparativo - Tempo de Manutenção

Base: Sistema 110 Volts (96 elem. níquel-cádmio ou 55 elem. chumbo ácido)

Operação	Níquel-Cádmio	Chumbo-Ácida
Verificação da Tensão de Carga e Corrente de Flutuação	1 operação/ano = ½ h/ano	4 operações/ano = 2 h/ano
Limpeza, Torque e Proteção das Ligações	96 elem./ano = 4 h/ano (2 min./elem.)	2 x 55 elem./ano = 4 h/ano
Verificação do Nível do Eletrólito	96 elem./ano = 0,3 h/ano	12 x 55 elem./ano = 2 h/ano
Adição de Água	96 elem./ano = 1 h/ano (1 min./elem)	55 elem./ano = 3 h/ano
Carga de Equalização	-	2 x 55 elem./ano = 3 h/ano
Teste de Capacidade	8 h/5 anos = 1,5 h/ano	10 h/1,5 anos = 6,5 h/ano
Total	7,3 h / ano	18 h / ano

Análise Comparativa entre Baterias Chumbo-Ácidas e Alcalinas

Característica	Alcalina	Ácida
Custo de Manutenção	Menor	Maior
Resistência Mecânica	Maior	Menor
Facilidade de Verificação do estado de carga	Maior	Menor
Volume (espaço ocupado)	Depende da Aplicação	
Desprendimento de gases	Igual	Igual
Necessidade de troca de eletrólito	Maior (10 - 12 anos)	Menor
Vida útil (prática)	Maior	Menor
Influência da temperatura	Menor	Maior
Ocorrência de defeitos	Menor	Maior
Garantia dos fornecedores	Maior	Menor
Custo dos reparos	Menor	Maior
Custo do retificador	Igual	Igual
Corrosão	Não	Sim
Névoa corrosiva	Não	Sim

Ambiente

Os materiais que compõem as baterias ácidas e alcalinas são recicláveis:

Ácidas

O chumbo é reciclado para chumbo liga.

Alcalinas

O níquel é reciclado em siderúrgicas para fabricação de liga de aço.

O cádmio é reciclado e utilizado em novas baterias.

Confiabilidade

Nos cálculos de comparação de preços foram considerados fatores mensuráveis quando se adquire uma ou outra tecnologia, porém não se pode mensurar o fator confiabilidade, que está diretamente ligado à responsabilidade de cada projeto para garantir a saúde dos meios materiais e humanos envolvidos dentro de um sistema como um todo.

Os acumuladores alcalinos são dispositivos de altíssima confiabilidade e reconhecidamente os mais seguros para toda e qualquer aplicação que exija energia confiável.

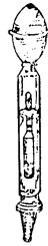
Instrumentos de Controle da Bateria de Acumuladores

São aparelhos que permitem verificar o estado da carga das baterias de acumuladores. Os mais comuns e gerais são: o densímetro e o voltímetro de alta descarga.

Densímetro

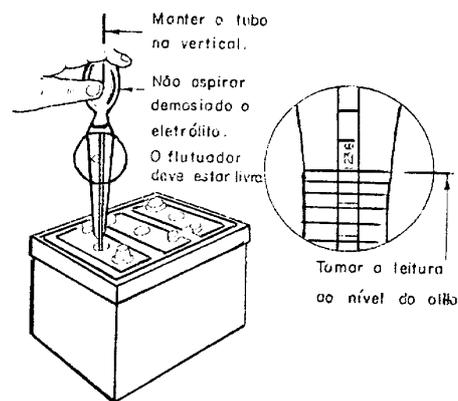
Permite-nos medir diretamente a densidade do eletrólito e determinar, assim, o estado da carga da bateria.

É composto por um elemento flutuador com escala graduada, contido dentro de um tubo de vidro que se pode encher mediante uma “pêra” de borracha.



Funcionamento

Fazendo-se sucção com a “pêra” de borracha e introduzindo-se a sonda no vaso da bateria, consegue-se retirar deste uma quantidade de eletrólito que permite ao flutuador elevar-se. A altura deste, no tubo de vidro, depende da proporção de ácido que contenha o eletrólito e indica a densidade do mesmo, na escala graduada do flutuador.

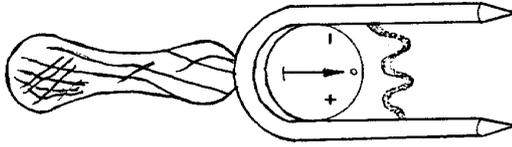


Deste modo, pode-se conhecer aproximadamente o estado da carga da bateria, já que existe uma relação entre a densidade e a carga, segundo a seguinte tabela:

Densidade em graus Baumé	Estado da Carga
1265 a 1300	Carga completa
1235 a 1260	3/4 de carga
1205 a 1230	1/2 de carga
1170 a 1200	1/4 de carga
1140 a 1165	Apenas utilizável
1130 ou menos	Totalmente descarregada

Esses valores variam, ligeiramente, de acordo com a temperatura do eletrólito, motivo pelo qual alguns densímetros incluem escalas para diferentes temperaturas.

Voltímetro de alta descarga



Permite a determinação da capacidade da carga da bateria, medindo a tensão em cada elemento, enquanto este é submetido a uma descarga relativamente alta.

É constituído por um cabo isolado, duas pontas de prova, um resistor, que produz descarga, e um voltímetro, possui escala graduada, com zero ao centro, conectado em paralelo com o resistor.

As pontas de prova devem ferir fortemente os bornes ou pontes de cada elemento da bateria, para assegurar a circulação da corrente no resistor.

A tensão do elemento sob essas condições será medida pelo voltímetro, e o valor dessa tensão permitirá conhecer-se o estado da bateria. Se a leitura for inferior a 1,6 V em algum elemento, isso indica que o mesmo está em mau estado.

Se houver uma diferença maior que 0,2 V entre as leituras dos diversos elementos, a bateria deve ser substituída.

Observação: 1) O voltímetro de alta descarga não deve ser aplicado por mais de 5 segundos em cada elemento, pois descarrega o mesmo.

2) O ponteiro se desvia sempre para a ponta conectada com o borne positivo do elemento.

Quadros de Comando e Controle

Centro de Controle de Motores (C.C.M.)

É um quadro de distribuição de energia, porém adequado ao comando e proteção de motores.

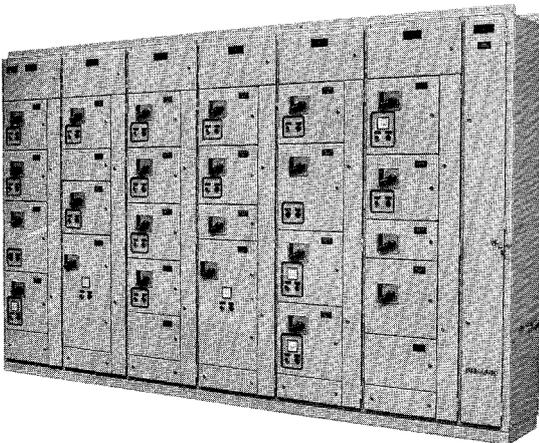
É indicado quando:

- Um grande número de motores deve ser comandado;
- Máxima continuidade de serviço deve ser assegurada;
- Segurança absoluta para os operadores deve ser garantida.

Neste tipo de quadro, os compartimentos contém gavetas onde estão instalados todos os componentes de comando e proteção do motor alimentado por aquele compartimento.

Desta forma, a manutenção é rápida e segura, pois a gaveta pode ser retirada do compartimento sem interrupção de serviço dos outros compartimentos do C.C.M.

A figura abaixo mostra um Centro de Controle de Motores (C.C.M.).



Redes de Energia

As redes de distribuição primária e secundária, normalmente, são trifásicas e as ligações aos consumidores poderão ser monofásicas, bifásicas ou trifásicas, de acordo com a sua carga: até 4 kw – monofásica (2 condutores), entre 4 e 8kw – bifásica (3 condutores) e maior que 8kw – trifásica (3 ou 4 condutores).

A ligação da rede de distribuição secundária poderá ser feita por cabos subterrâneos ou aéreos, com entrada única para força e luz.

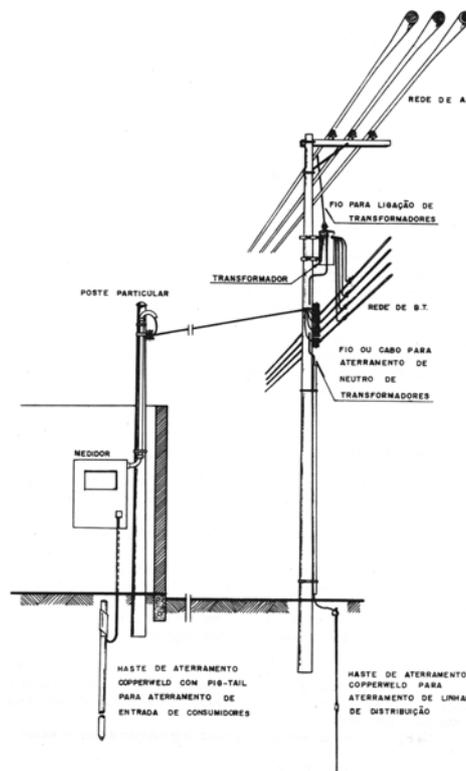
“Luz” → todo circuito destinado unicamente a fins de iluminação ou pequenos motores monofásicos (geladeiras, máquinas de lavar, aparelhos eletrodomésticos, ventiladores, etc.).

“Força” → todo circuito destinado a força motriz, aquecimento, solda ou outros fins industriais. Em edificios residenciais usamos força nas bombas, elevadores, incineradores etc. Estes circuitos, quase sempre, são trifásicos.

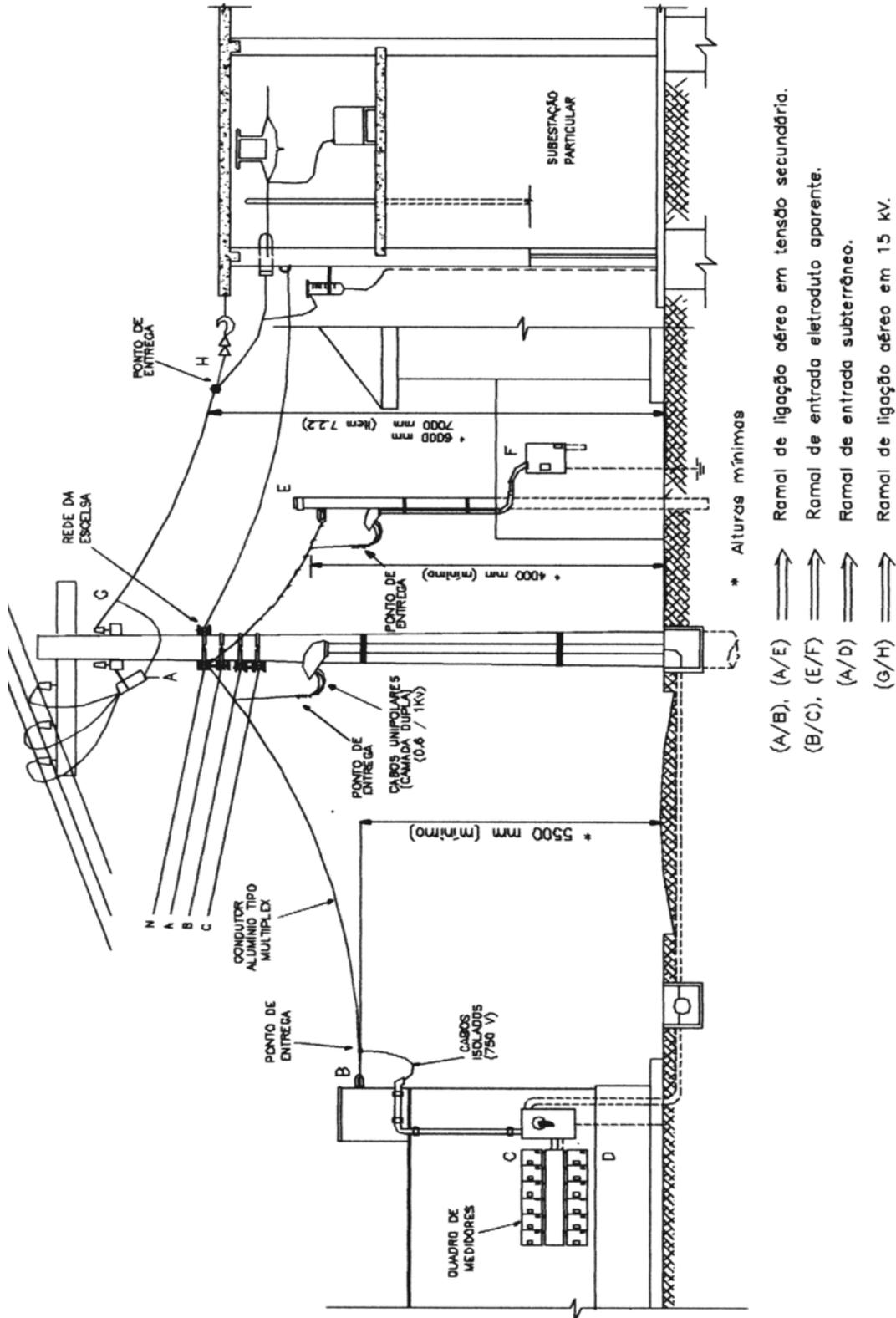
Nas lojas e galpões com mais de 60m² deve ser previsto no mínimo 3Hp (2,23 kw) de força; nos escritórios, 2Hp (1,49 kw).

Quando numa instalação temos cargas mono, bi e trifásicas, procuramos equilibrar pelas três fases toda a carga instalada.

DETALHES DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO ELÉTRICA PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA:
LIGAÇÕES DE TRANSFORMADOR, RAMAL DE ENTRADA DE CONSUMIDOR E ATERRAMENTOS



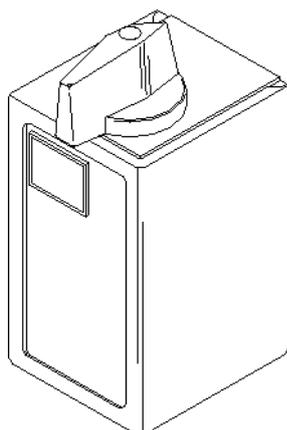
Ramais de Ligação e de Entrada



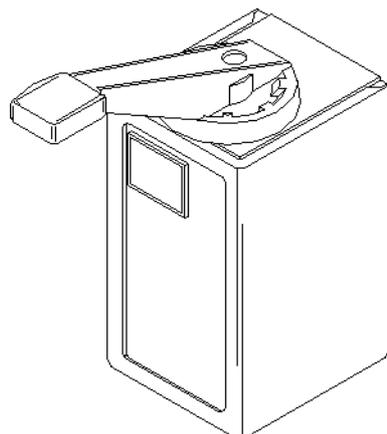
Chave de Reversão

As chaves de reversão são equipamentos mecânicos de operação manual usadas geralmente em circuitos de baixa potência.

São usadas geralmente em máquinas ferramentas como: esmeril, afiadores, tornos mecânicos, furadeiras, fresas, etc.



CS-501
CR-501



CS-501 K
CR-501 K

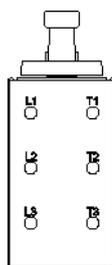
CHAVES PARA MOTORES

CS - Chave liga-desliga
CR - Chave reversora

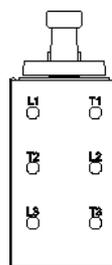
CS-501 A / CR-501 A
Chaves para embutir. São fornecidas sem a caixa de ferro.

ESQUEMAS DE LIGAÇÃO

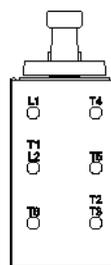
CS - CHAVES LIGA-DESLIGA



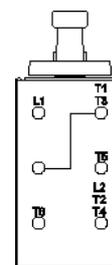
CR - CHAVES REVERSORAS



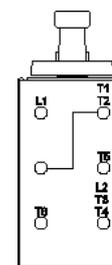
TRIFÁSICO



220 VCA



110 V
(ESQUEMA 1)



110 V
(ESQUEMA 2)

ESQUEMA 1

Motores monofásicos com esquema abaixo

110 V. L1 - T1, T3, T5
L2 - T2, T4, T6

Obs.: Reversão de sentido trocar T5 com T6

ESQUEMA 2

Motores monofásicos com esquema abaixo

110 V. L1 - T1, T2, T5
L2 - T3, T4, T6

Obs.: Reversão de sentido trocar T5 com T6

ESPECIFICAÇÕES

CORRENTE *	CV. TRIFÁSICO		
	220V	380V	440V
15A	1½	2	2

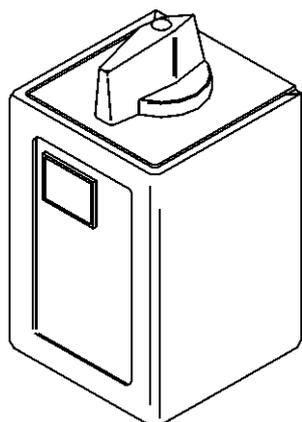
CORRENTE *	CV. MONOFÁSICO	
	110V	220V
15A	1/4	3/4

* Em carga resistiva

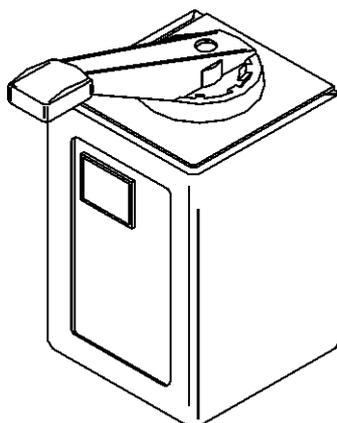
Chave de Transferência

As chaves de transferências são equipamentos mecânicos de operação manual usadas geralmente em circuitos de baixa potência.

São usadas geralmente em máquinas ferramentas como: Sistemas de aspersão, moto bombas, motores conjugados, etc.



CS-502
CR-502



CS-503
CR-503

CHAVES PARA MOTORES

CS - Chave dupla liga-desliga

CR - Chave reversora

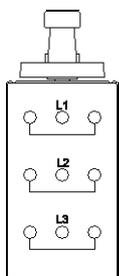
CS-503 AB

Chave de transferência.

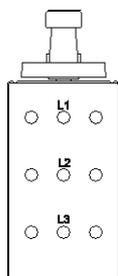
É fornecida sem jumpers.

ESQUEMAS DE LIGAÇÃO

CS - CHAVES LIGA-DESLIGA

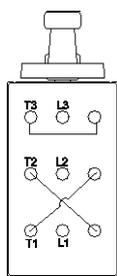


CS-502 / CS-503
CS-502 A / CS-503 A

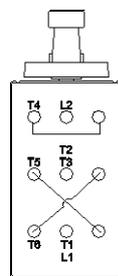


CS-503 AB

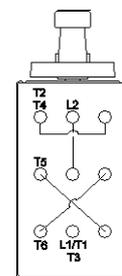
CR - CHAVES REVERSORAS



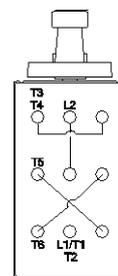
TRIFÁSICO



220 VCA



110 V
(ESQUEMA 1)



110 V
(ESQUEMA 2)

ESQUEMA 1

Motores monofásicos com esquema abaixo

110 V. L1 - T1, T3, T5
L2 - T2, T4, T6

Obs.: Reversão de sentido trocar T5 com T6

ESQUEMA 2

Motores monofásicos com esquema abaixo

110 V. L1 - T1, T2, T5
L2 - T3, T4, T6

Obs.: Reversão de sentido trocar T5 com T6

ESPECIFICAÇÕES

CÓDIGO	AMP.	CV. TRIFÁSICO			CV. MONOF.	
		220V	380V	440V	110V	220V
CS/CR-502	25	3	5	5	1	2
CS/CR-503	25	3	5	5	1	2
CS/CR-502 A	30	5	7½	7½	1½	3
CS/CR-503 A	30	5	7½	7½	1½	3
CS-503 AB	30	5	7½	7½	1½	3

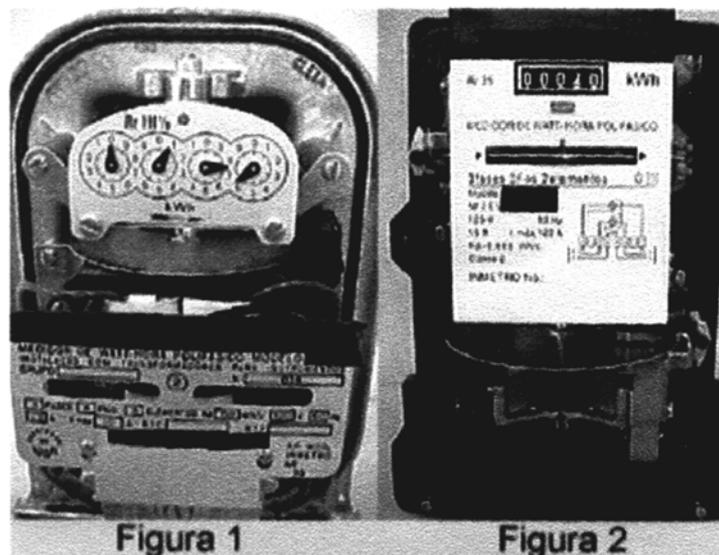
Equipamento de Medição

Medidores Residenciais.

Existem dois tipos de medidores residenciais: os com mostrador do tipo relógio analógico (fig.1), que medem o consumo em kwh por quatro ponteiros e os que têm mostrador ciclométrico (fig.2) que medem o consumo em kwh semelhante ao hodômetro (medidor de quilometragem de um carro).

No caso do medidor com mostrador do tipo relógio analógico, cada um dos quatro ponteiros equivale a uma casa numérica.

A leitura é feita da esquerda para direita considerando-se o primeiro ponteiro a casa dos milhares, o segundo a casa das centenas, o terceiro a casa das dezenas e o quarto a casa das unidades. Cada ponteiro marca um algarismo de 0 a 9.



Medidores de Energia Elétrica

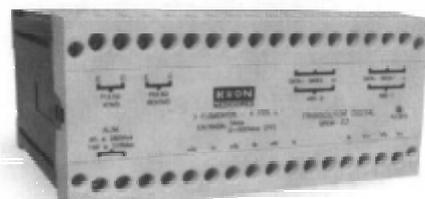
Medidor de Energia TKE-01



Uso em Medição de Energia em sistemas monofásicos ou trifás (equilibrados ou não).

O aparelho está baseado em um circuito integrado dedicado e conjunto com um microprocessador para medição de energia a reativa.

Medidor Multi-Função MKM-02



O transdutor digital multifunção MKM-02 realiza medições parâmetros elétricos, em circuitos monofásicos, trifásicos equili ou desequilibrados, em sistemas delta ou estrela. Realiza també cálculo das harmônicas e THD até 63. ordem nas 3 tensões e 3 correntes.

É um equipamento ideal para uso em concessionárias e cogeraç energia elétrica, fabricantes de painéis, indústrias, controle e automação, indústria ou qualquer outra aplicação onde seja nec a monitoração dos parâmetros elétricos e da qualidade de energ

QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO

Os atuais quadros de distribuição representam uma grande evolução na parte elétrica do setor mobiliário.

Quadros de Luz

Quadro tipo Pella:

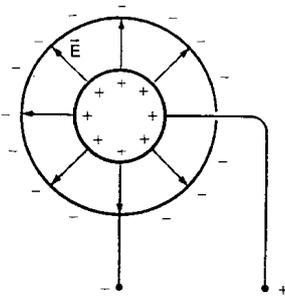
- Fundo de plástico de poliestireno de alto impacto.
- Base de montagem dos componentes em plástico poliestireno de alto impacto e trilhos DIN em ferro galvanizado de 35 x 7,5 mm.



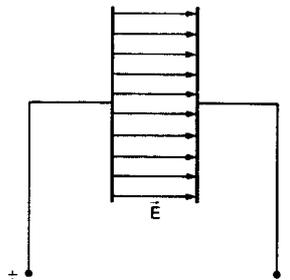
Capacitor

Capacitor

Denomina-se capacitor um sistema formado por dois condutores próximos, mas isolados um do outro, que interagem apenas por meio do campo elétrico, de forma que todas as linhas de campo que saem de um deles atingem o outro.



Capacitor esférico.



Capacitor plano

Esse sistema resulta numa indução eletrostática muito intensa, que leva a uma grande capacidade de armazenamento de carga elétrica e de energia potencial elétrica.

Os condutores que formam o capacitor denominam-se armaduras.

Capacidade de um capacitor

Quando o capacitor está carregado, suas armaduras apresentam sempre cargas de mesmo módulo e sinais contrários. Sendo +Q e -Q as cargas das armaduras, a carga do capacitor é Q. Para o capacitor se carregar com carga Q, é necessário uma diferença de potencial U entre suas armaduras.

Capacidade elétrica do capacitor (medida em farad) é a relação entre a carga e a diferença de potencial:

$$C = \frac{Q}{U}$$

Energia potencial no capacitor

Sendo Q a carga do capacitor e U a diferença de potencial entre suas armaduras, a energia potencial do sistema é:

$$E = \frac{Q \times U}{2}$$

Como $Q = C \times U$, essa energia pode também ser escrita em função da capacidade e da diferença de potencial:

$$E = \frac{C \times U^2}{2}$$

Constante dielétrica

Considere um capacitor com vácuo entre suas armaduras. Nessa situação, sua capacidade é C. Colocando um material isolante entre as armaduras, observa-se que a capacidade aumenta. Sendo C' a nova capacidade, a constante dielétrica K do material isolante é dada por :

$$K = \frac{C'}{C}$$

A tabela abaixo fornece as constantes dielétricas de alguns materiais isolantes. Veja que, dentro da precisão da tabela, o ar e o vácuo tem mesma constante dielétrica. Se medirmos com maior precisão, veremos que a constante dielétrica do ar é maior que a do vácuo.

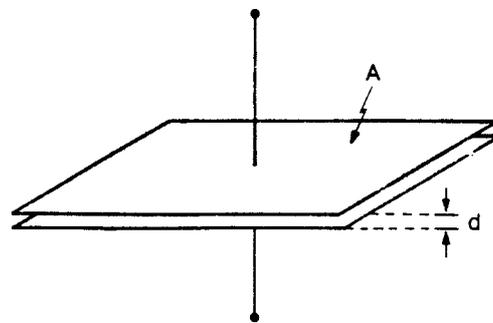
Material	Constante dielétrica
vácuo	1
ar	1,00054
polietileno	2,3
âmbar	2,7
papel	3,5
mica	5,4
porcelana	6,5
água	78

Capacitor plano

Chama-se *capacitor plano* o conjunto de dois condutores planos de mesmas dimensões, colocados paralelamente entre si, muito próximos um do outro.

A capacidade de um capacitor plano é diretamente proporcional à área de cada armadura (A) e inversamente proporcional à distância entre elas (d). Para um capacitor plano a *vácuo*, temos:

$$C = \epsilon_0 \times \frac{A}{d}$$



Onde ϵ_0 é uma constante denominada *permissividade elétrica do vácuo*, valendo:

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N \times m^2}$$

Se entre as placas houver um dielétrico de constante dielétrica K, a capacidade ficará multiplicada por K:

$$C = K \times \epsilon_0 \times \frac{A}{d}$$

Pode-se demonstrar que a permissividade elétrica do vácuo (ϵ_0) se relaciona com a constante K_0 da lei de Coulomb pela expressão:

$$K_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Essa denominação é feita a partir da *Lei de Gauss*, que não desenvolveremos neste livro.

Exemplo 1:

Um capacitor de $10 \mu\text{F}$ foi ligado a uma pilha de $1,5 \text{ V}$.
Determine:

- a) a carga do capacitor;
- b) a energia armazenada.

Resolução:

a) A capacidade é $C = 10 \times 10^{-6} \text{ F}$

$$Q = C \times U \Rightarrow Q = 10 \times 10^{-6} \times 1,5$$

$$Q = 15 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$\text{b) } E_p = \frac{C \times U^2}{2} = \frac{10 \times 10^{-6} \times 1,5^2}{2}$$

$$E_p = 1,13 \times 10^{-5} \text{ J}$$

Exemplo 2:

Um capacitor plano tem como dielétrico o polietileno. A distância entre as placas é de $0,1 \text{ mm}$ e a área entre elas, 20 cm^2 .
Determine a capacidade elétrica desse capacitor.

Resolução

A capacidade é dada por $C = K \times \epsilon_0 \times \frac{A}{d}$

Temos $A = 20 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ e $d = 0,1 \times 10^{-3} \text{ m}$

Como o dielétrico é o polietileno, a constante dielétrica é $K = 2,3$.

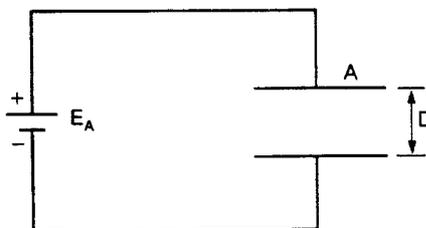
$$\text{Logo: } C = 2,3 \times 8,85 \times 10^{-12} \times \frac{20 \times 10^{-4}}{0,1 \times 10^{-3}}$$

$$C = 4 \times 10^{-10} \text{ F}$$

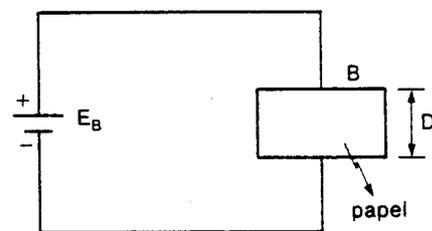
Exercícios

1. Um capacitor ligado aos terminais de uma bateria de 300V apresenta carga de $+30 \times 10^{-3} \text{ C}$ na armadura positiva. Qual sua capacidade em farads?

2. Um capacitor de $20\mu\text{F}$ de capacidade foi ligado a uma fonte de tensão constante igual a 40 V .
 - a) Qual a carga adquirida pelo capacitor?
 - b) Desliga-se o capacitor da fonte de tensão e conectam-se seus terminais por meio de um resistor de $50\ \Omega$. Qual será a energia dissipada no resistor até a descarga completa?
3. Um capacitor tem suas armaduras separadas por ar. Nessas condições, sua capacidade é de $1,0 \times 10^{-9}\text{ F}$. Se o espaço entre as armaduras for preenchido com mica, qual será o novo valor da capacidade?
4. Determine a carga adquirida por um capacitor de $10\mu\text{F}$ quando submetido à tensão de 20 V . Qual a energia armazenada no capacitor nessas condições?
5. Considere dois capacitores de mesmas dimensões, sendo que um deles tem mica entre as armaduras e o outro, porcelana. Qual deles tem maior capacidade?
6. Determine a distância entre as placas de um capacitor plano a ar, de $1,0 \times 10^{-10}\text{ F}$ de capacidade, sabendo que cada placa tem 20 cm^2 de área.
7. Refaça o exercício anterior adotando a mica como dielétrico.
8. (FCMSCSP) Dois capacitores, A e B, são formados, cada um deles, por placas perfeitamente iguais, de mesmo material, distanciadas igualmente de D , sendo que o dielétrico do capacitor A é o vácuo e o dielétrico do capacitor B é o papel. Esses capacitores são ligados a duas baterias cujas diferenças de potencial são, respectivamente, dadas por E_A e E_B , tal como mostra a figura. Em relação às cargas e às capacidades dos capacitores A e B, podemos afirmar que:



C_A : capacidade do capacitor A.
 Q_A : carga do capacitor A.



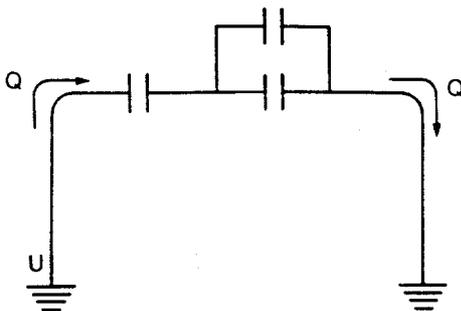
C_B : capacidade do capacitor B.
 Q_B : carga do capacitor B.

- a) se $E_A = E_B$ conclui-se que $Q_A = Q_B$.
 - b) se $E_A = E_B$ conclui-se que $C_A = C_B$.
 - c) se $E_A > E_B$ conclui-se que $Q_A = Q_B$
 - d) se $E_A = E_B$ conclui-se que $Q_A < Q_B$
 - e) se $E_A < E_B$ conclui-se que $Q_A > Q_B$
9. Dado um capacitor de placas planas paralelas, separadas por uma camada de material dielétrico de constante dielétrica igual a 10, espessura de 1 cm e área de 40 cm^2 , pede-se:
- a) a capacitância do capacitor;
 - b) a energia armazenada quando se liga esse capacitor a uma fonte de 200V.

Capacidade equivalente a uma associação de capacitores

Observe esta associação de capacitores. Aplicando uma diferença de potencial U , o conjunto se carrega com carga Q . Capacidade equivalente é a razão entre a carga da associação e a diferença de potencial da associação:

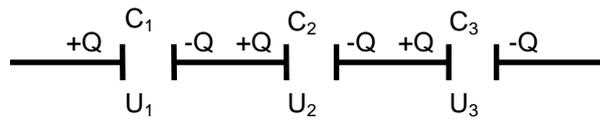
$$C_{ea} = \frac{Q}{U}$$



Associação em série de capacitores

Para capacitores associados em série, valem estas propriedades:

- A diferença de potencial da associação é igual à soma das diferenças de potencial dos capacitores associados:



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

- Todos os capacitores associados tem a mesma carga, que é igual à carga da associação.

Vamos obter a capacidade equivalente a esse conjunto. Sendo \$U\$ a diferença de potencial da associação e \$Q\$ a carga da associação, temos:

$$\left. \begin{array}{l} C_{eq} = \frac{Q}{U} \\ U = U_1 + U_2 + U_3 \end{array} \right\} \Rightarrow C_{eq} = \frac{Q}{U_1 + U_2 + U_3} = \frac{1}{\frac{U_1 + U_2 + U_3}{Q}}$$

$$\text{Portanto: } \frac{1}{C_{eq}} = \frac{U_1}{Q} + \frac{U_2}{Q} + \frac{U_3}{Q}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{U_1}{Q} = \frac{1}{C_1} \\ \frac{U_2}{Q} = \frac{1}{C_2} \\ \frac{U_3}{Q} = \frac{1}{C_3} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Numa associação de capacitores em série, o inverso da capacidade equivalente é igual à soma dos inversos das capacidades dos capacitores associados.

Para dois capacitores em série, temos:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Rightarrow \frac{1}{C_{eq}} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 \times C_2}$$

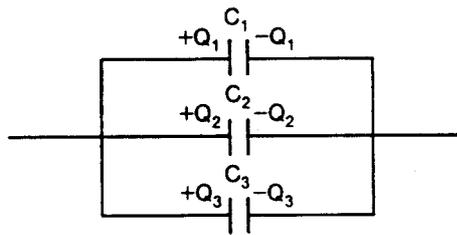
$$C_{eq} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

Associação em paralelo de capacitores

Para capacitores associados em paralelo, valem estas propriedades:

- A carga da associação é igual à soma das cargas dos capacitores associados:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$



- Todos os capacitores associados têm a mesma diferença de potencial.

Vamos obter a capacidade equivalente a esse conjunto. Sendo U a diferença de potencial da associação e Q a carga da associação, temos:

$$\left. \begin{array}{l} C_{\text{eq}} = \frac{Q}{U} \\ Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \end{array} \right\} \Rightarrow C_{\text{eq}} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{U} = \frac{Q_1}{U} + \frac{Q_2}{U} + \frac{Q_3}{U}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{Q_1}{U} = C_1 \\ \frac{Q_2}{U} = C_2 \\ \frac{Q_3}{U} = C_3 \end{array} \right\} \Rightarrow C_{\text{eq}} = C_1 + C_2 + C_3$$

A capacidade equivalente a uma associação de capacitores em paralelo é igual à soma das capacidades dos capacitores associados.

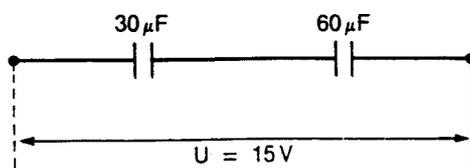
Exemplo 1:

Associaram-se em série dois capacitores de capacidade $C_1 = 30\mu\text{F}$ e $C_2 = 60\mu\text{F}$. Aplicou-se ao conjunto uma d.d.p. de 15 V. Qual a d.d.p. em cada um?

Resolução:

Vamos achar a capacidade equivalente:

$$C_{\text{eq}} = \frac{30 \times 60}{30 + 60} \Rightarrow C_{\text{eq}} = 20\mu\text{F}$$



A carga do conjunto é:

$$Q = C_{\text{eq}} \times U = 20 \times 10^{-6} \times 15$$

$$Q = 300 \times 10^{-6} \text{ C}$$

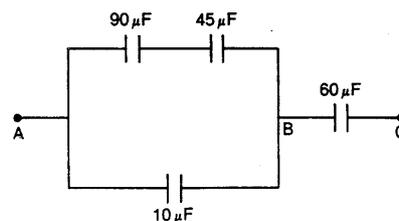
Essa é a carga de cada um, pois eles estão associados em série. Vamos então calcular as d.d.p.:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{300 \times 10^{-6}}{30 \times 10^{-6}} \Rightarrow U_1 = 10 \text{ V}$$

$$U_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{300 \times 10^{-6}}{60 \times 10^{-6}} \Rightarrow U_2 = 5 \text{ V}$$

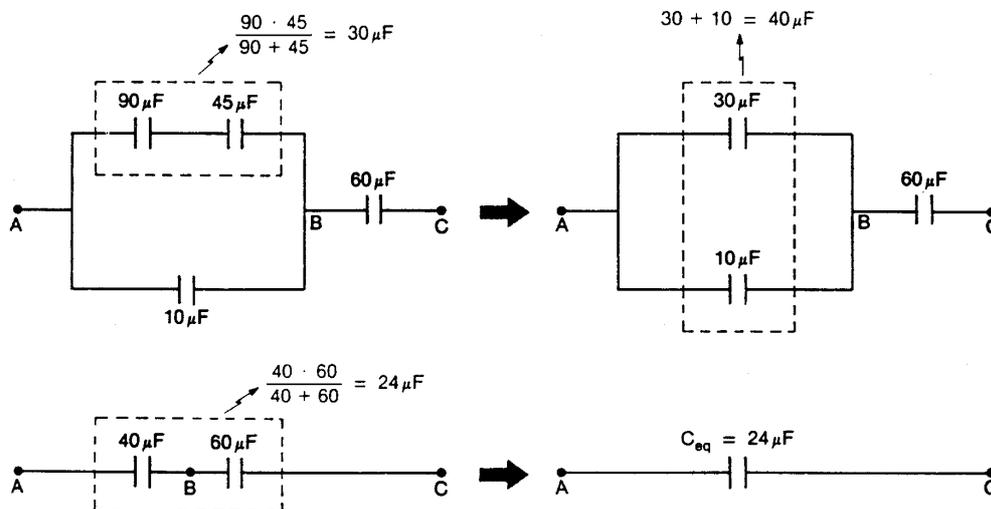
Exemplo 2:

Este conjunto foi ligado a uma bateria de 100V. Calcule a carga do capacitor de $10\mu\text{F}$.



Resolução:

Inicialmente, vamos obter a capacidade equivalente:



Como a d.d.p. total é de 100V, a carga da associação será:

$$Q = C_{eq} \times U = 24 \times 10^{-6} \times 100 \Rightarrow Q = 24 \times 10^{-4} \text{ C}$$

Vamos achar agora a d.d.p. entre A e B. A capacidade equivalente entre esses pontos é $C_{AB} = 40 \mu\text{F}$. A carga desse capacitor equivalente é igual à carga da associação, já que ele está em série.

$$U_{AB} = \frac{Q}{C_{AB}} = \frac{24 \times 10^{-4}}{40 \times 10^{-6}} \Rightarrow U_{AB} = 60 \text{ V}$$

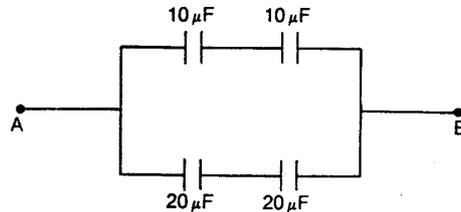
A carga do capacitor de $10 \mu\text{F}$ é calculada utilizando-se essa d.d.p.:

$$Q = C \times U = 10 \times 10^{-6} \times 60 \Rightarrow Q = 6 \times 10^{-4} \text{ C.}$$

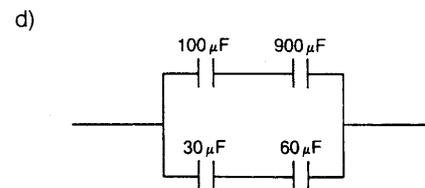
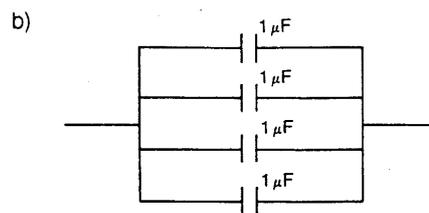
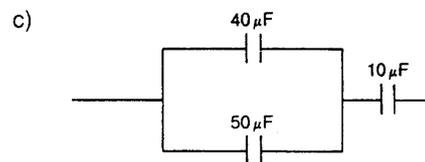
Exercícios:

1. Associam-se em série dois capacitores de capacidades $C_1 = 90 \mu\text{F}$ e $C_2 = 10 \mu\text{F}$. Se aplicarmos 200V de d.d.p. ao conjunto, qual será a carga e a d.d.p. em cada componente?
2. Dois capacitores de capacidade $C_1 = 20 \times 10^{-3} \text{ F}$ e $C_2 = 30 \times 10^{-3} \text{ F}$, são associados em paralelo. Aplica-se 100V de d.d.p. ao conjunto. Qual a carga de cada capacitor?
3. Considere esta associação.

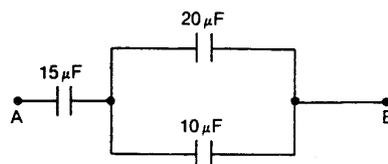
- a) Determine a capacidade equivalente entre A e B;
 b) Aplicando uma d.d.p. de 10 V entre os pontos A e B, qual a carga em cada capacitor de $10\mu\text{F}$?



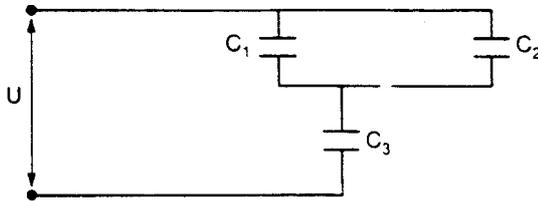
4. Dois capacitores de capacidades 30 mF e 60 mF ($1\text{ mF} = 10^{-3}\text{ F}$) foram associados em série. O conjunto foi submetido à d.d.p. de 2V. Determine:
- a) a carga do conjunto;
 b) a tensão em cada capacitor.
5. Associam-se em paralelo três capacitores de capacidades $C_1 = 10\mu\text{F}$, $C_2 = 20\mu\text{F}$ e $C_3 = 30\mu\text{F}$. O conjunto recebe carga total de $120\mu\text{C}$. Calcule a carga de cada um.
6. Determine a capacidade equivalente de cada um destes conjuntos:



7. Este conjunto é submetido à d.d.p. de 300V entre A e B. Calcule a tensão e a carga de cada capacitor.



e esq uem a consid $C_1 = 10 \mu F$, $C_2 = 10 \mu F$, $C_3 = 15 \mu F$ e $U = 100V$. Determine a carga de C_1 .



Capacitores utilizados para correção de fator de potência

Os capacitores usados para a correção do fator de potência são caracterizados por sua potência reativa nominal (dada em kVAr), sendo fabricados em unidades monofásicas e trifásicas, para alta e baixa tensão, com valores padronizados de potência reativa, tensão e frequência. Vejamos, como exemplo, alguns valores típicos dessas unidades:

- Alta tensão, monofásicos e trifásicos:

Tensões: 2 200, 3 800, 6 640, 7 620, 7 960, 12 700 e 13 200V

Frequências: 50 / 60 Hz

Potências reativas: 25,50 e 100 kVAr

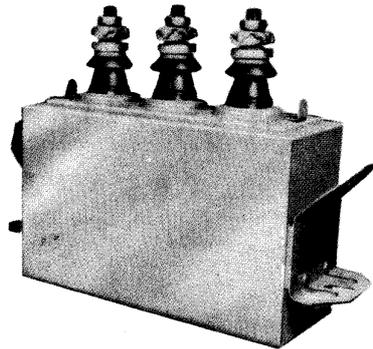
- Baixa tensão, monofásicos e trifásicos:

Tensões: 220, 380, 440 e 480V

Frequências: 50 / 60 Hz

Potências reativas: de 0,50 e 30 kVAr

Um banco de capacitores é um conjunto de unidades capacitadoras e seu respectivo equipamento de suporte, isolamento, proteção e controle em um mesmo módulo. A utilização dos bancos trifásicos, montados com unidades monofásicas, ligadas em estrela ou triângulo (e em série e/ou paralelo em cada fase), permite a obtenção de potências reativas mais elevadas, além de possibilitar maior flexibilidade de instalação e de manutenção.



Fator de potência e seus efeitos

Energia Ativa e Energia Reativa

Todos os equipamentos que possuem um circuito magnético e funcionam em corrente alternada (motores, transformadores, etc.) absorvem dois tipos de energia: a ativa e a reativa.

- Energia ativa: é aquela que efetivamente produz trabalho. Exemplo: a rotação do eixo de um motor;
- Energia reativa: é aquela que, apesar de não produzir trabalho efetivo, é indispensável para produzir o fluxo magnético necessário ao funcionamento dos motores, transformadores, etc.

A cada uma destas energias corresponde uma corrente, também denominada de Ativa e Reativa. Estas duas correntes se somam vetorialmente para formar uma corrente aparente. Esta, embora chamada Aparente, é bastante real, percorrendo os diversos condutores do circuito, provocando seu aquecimento, e, portanto, gerando perdas por efeito Joule.

O fator de potência (FP) pode ser calculado pela relação da corrente ativa (IA) com a corrente aparente (IAp), ou da potência ativa (PA) com potência aparente (PAp):

$$FP = \frac{IA}{IAp} = \frac{PA}{PAp}$$

Correção do Fator de Potência

O fator de potência (FP) é um índice que merece uma atenção especial.

Alguns aparelhos elétricos, como os motores, em um determinado período de tempo, além de consumirem energia ativa solicitam também energia reativa necessária para criar o fluxo magnético que o seu funcionamento exige.

Com relação entre estes dois valores determina-se o fator de potência médio indutivo (FP) num determinado período. Quando o fator de potência é baixo, surge uma série de inconvenientes elétricos para a indústria e para a concessionária (sobrecarga em todo o sistema de alimentação).

Em razão disto, a legislação do setor elétrico prevê a cobrança de um ajuste devido ao baixo fator de potência para aquelas unidades consumidoras que apresentam estes fator inferior a 0,85.

Quando o fator de potência é inferior a 0,85, o total desembolsado por sua empresa a título de ajuste do baixo fator de potência se constituirá em um potencial de economia que poderá ser obtido com a adoção de algumas medidas bastante simples.

Principais Causas do Baixo Fator de Potência

Motores operando em vazio

Os motores elétricos consomem praticamente a mesma quantidade de energia reativa necessária à manutenção do campo magnético, quando operando a vazio ou a plena carga.

Entretanto, o mesmo não acontece com a energia ativa, que é diretamente proporcional à carga mecânica solicitada no eixo do motor. Assim, quanto menor a carga mecânica solicitada, menor energia ativa consumida, conseqüentemente, menor o fator de potência.

Motores superdimensionados

Este é um caso particular do anterior, cujas conseqüências são análogas.

Geralmente os motores são superdimensionados apresentando um potencial de conservação de energia.

É muito comum o costume de substituição de um motor por outro de maior potência, principalmente nos casos de manutenção para reparos que, por acomodação, a substituição transitória passa a ser permanente, não se levando em conta que um superdimensionamento provocará baixo fator de potência.

Transformadores operando em vazio ou com pequenas carga

Analogamente aos motores, os transformadores, operando em vazio ou com pequenas cargas, consomem uma quantidade de energia reativa relativamente grande, quando comparada com a energia ativa, provocando um baixo fator de potência.

Transformadores superdimensionados

É um caso particular do anterior onde transformadores de grande potência são utilizados para alimentar, durante longos períodos, pequenas cargas.

Nível de tensão acima da nominal

Tensão superior à nominal, quando aplicada aos motores de indução, há o aumento do consumo de energia reativa e, portanto, diminui o fator de potência.

Lâmpadas de descarga

As lâmpadas de descarga (vapor de mercúrio, vapor de sódio, fluorescentes, etc.) para funcionarem necessitam do auxílio de um reator.

Os reatores, como os motores e os transformadores, possuem bobinas ou enrolamentos que consomem energia reativa, contribuindo para a redução do fator de potência das instalações.

A utilização de reatores de alto fator de potência pode contornar, em parte, o problema de baixo fator de potência da instalação.

Grande quantidade de motores de pequena potência

A grande quantidade de motores de pequena potência, provoca baixo fator de potência, uma vez que o correto dimensionamento desses motores às máquinas a eles acopladas é dificultoso, ocorrendo freqüentemente o superdimensionamento dos mesmos.

Conseqüências para a instalação

Uma instalação operando com baixo fator de potência apresenta os seguintes inconvenientes:

- Incremento das perdas de potência;
- Flutuações de tensão, que podem ocasionar a queima de motores;
- Sobrecarga da instalação, danificando-a ou gerando desgaste prematuro;
- Aumento do desgaste nos dispositivos de proteção e manobra da instalação elétrica;
- Aumento do investimento em condutores e equipamentos elétricos sujeitos à limitação térmica de corrente;
- Saturação da capacidade dos equipamentos, impedindo a ligação de novas cargas;
- Dificuldade de regulação do sistema.

Objetivos principais da melhoria do fator de potência:

- Redução dos custos da energia;
- Liberação de capacidade do sistema;
- Crescimento do nível de tensão por diminuição das quedas (melhorando o funcionamento dos motores e aparelhos e também o nível de iluminação);
- Redução das perdas do sistema.

Métodos de correção do fator de potência

A correção do fator de potência deverá ser cuidadosamente analisada e não resolvida de forma simplista, já que isto pode levar a uma solução técnica e econômica não satisfatória.

É preciso critério e experiência para efetuar uma adequada correção, lembrando que cada caso deve ser estudado especificamente e que soluções imediatas podem não ser as mais convenientes.

De modo geral, quando se pretende corrigir o fator de potência de uma instalação surge o problema preliminar de se determinar qual o melhor método a ser adotado.

Independente do método a ser adotado, o fator de potência ideal, tanto para os consumidores como para a concessionária, seria o valor unitário (1,0), que significa inexistência de energia reativa no circuito. Entretanto, esta condição nem sempre é conveniente e, geralmente, não se justifica economicamente.

A correção efetuada até o valor de 0,95 é considerada suficiente.

A seguir abordaremos os métodos utilizados na prática e que poderão servir como modelo para a orientação de cada caso específico.

Alteração das Condições Operacionais ou Substituição de Equipamentos.

As primeiras medidas que se deve aplicar para correção de baixo fator de potência são aquelas relacionadas às condições operacionais e características dos equipamentos, observadas nas descrições das principais causas de sua ocorrência, apresentada no item Principais Causas do Baixo Fator de Potência.

Correção por Capacitores Estáticos (Capacitores Shunts)

A correção do fator de potência através de capacitores estáticos constitui a solução mais prática em geral adotada.

Entretanto, alguns cuidados devem ser tomados, para que os capacitores não sejam usados indiscriminadamente. Podem os capacitores, em princípio, ser instalados em quatro pontos distintos do sistema elétrico:

- a) Junto às grandes cargas indutivas (motores, transformadores, etc.);
- b) No barramento geral de Baixa-Tensão (BT);
- c) Na extremidade dos circuitos alimentadores;
- d) Na entrada de energia em Alta-Tensão (AT).

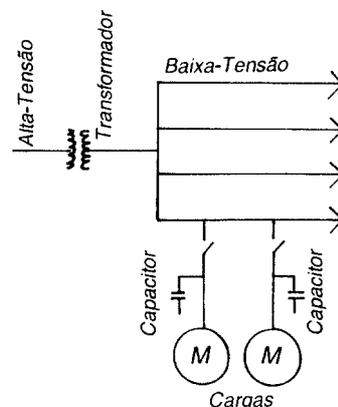
Para cada situação deve ser estudada qual a melhor alternativa. Em geral, no caso de motores, a opção é instalar o capacitor próximo da carga.

No que se refere ao dimensionamento dos bancos de capacitores, isto é, na determinação da potência reativa em kVAR a ser instalada de modo a corrigir o fator de potência, verifica-se que tal problema não é suscetível de uma solução imediata e simples.

Cada problema exige um estudo individual e tem uma solução própria.

Os comentários a seguir tem caráter geral e servem para orientar a solução dos casos particulares, quanto ao melhor local para instalação dos capacitores.

Junto às grandes carga indutivas

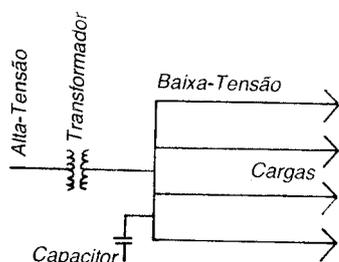


Uma das vantagens dessa opção, é que este tipo de instalação alivia todo o sistema elétrico, pois a corrente reativa vai do capacitor às cargas sem circular pelo transformador, barramentos, circuito alimentador, etc.

Sendo ambos, capacitor e carga, os elementos comandados pela mesma chave, não se apresenta o risco de haver, em certas horas, excesso ou falta de potência reativa, além do que, obtém-se uma redução no custo da instalação pelo fato de não ser necessário um dispositivo de comando e proteção em separado para o capacitor.

Por essas razões a localização dos capacitores junto a motores, reatores, etc. é uma das soluções preferidas para a correção do fator de potência.

No barramento geral de baixa-tensão

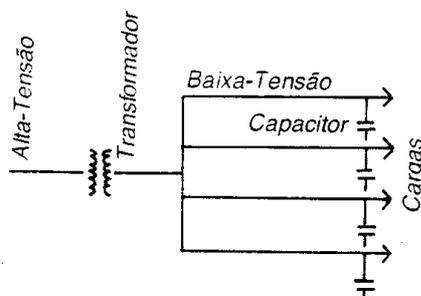


A vantagem dessa ligação é que se pode obter apreciável economia, usufruindo da diversidade de demanda entre os circuitos alimentadores, uma vez que a potência reativa solicitada pelo conjunto da instalação é menor que a soma das potências reativas de todo o conjunto.

Neste tipo de ligação de capacitores, haverá necessidade de ser instalada uma chave que permite desligá-los quando o consumidor finda suas atividades diárias.

Não o fazendo, poderão ocorrer sobretensões indesejáveis que, provavelmente, causarão danos às instalações elétricas.

Na extremidade dos circuitos alimentadores

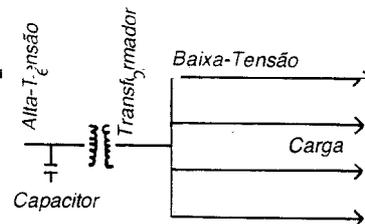


A instalação na extremidade dos circuitos representam uma solução intermediária entre as localizações (A) e (B).

Este método aproveita a diversidade entre as cargas supridas, embora o investimento seja superior ao da alternativa anterior. Por outro lado, fica aliviado também o circuito alimentador.

É utilizada, geralmente, quando o alimentador supre uma grande quantidade de cargas pequenas, onde é conveniente a compensação individual.

Na entrada de energia em alta-tensão (AT)



Não é muito usual a instalação do lado da alta-tensão.

Tal localização não alivia nem mesmo os transformadores, e exige dispositivos de comando e proteção dos capacitores com isolamento para tensão primária, embora o preço por kVAr dos capacitores seja menor para maiores tensões. Neste caso a diversidade da demanda entre as subestações pode redundar em economia na quantidade de capacitores a instalar.

Correção por motores e capacitores síncronos

Os motores e capacitores síncronos também funcionam como “geradores de potência reativa. Essa propriedade é função da excitação e, no caso dos motores síncronos, é também função da carga. Quando subexcitados, eles não geram potência reativa suficiente para suprir suas próprias necessidades e, conseqüentemente, devem receber do sistema uma potência reativa adicional. Quando superexcitados - funcionamento normal - suprem suas necessidades de reativos e também fornecem kVAr ao sistema.

Os dois primeiros métodos - capacitores derivação e motores síncronos- são os mais usados, cada um com sua aplicação característica. Usualmente, o método do capacitor derivação é mais prático e econômico para instalações existentes. O método do motor síncrono é muito usado em instalações industriais onde são acionadas cargas mecânicas de grande porte (por exemplo, grandes compressores). Nesses casos, o motor exercerá a dupla função de acionar a carga e corrigir o fator de potência da instalação. Por motivos econômicos os capacitores síncronos são raramente usados em instalações industriais.

Máquina Síncrona

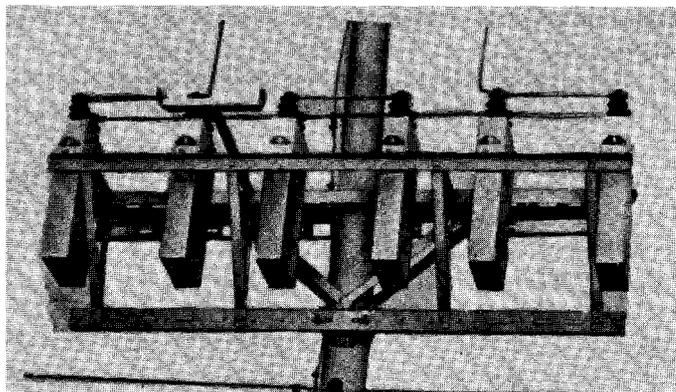
É uma máquina de corrente alternada na qual a frequência da força eletromotriz gerada é proporcional à frequência da máquina.

Nota 1. A constante conjugado/tempo é obtida apenas a certa velocidade.

Nota 2. Salvo quando especificado de outra forma, entende-se que a máquina síncrona tem um enrolamento de campo excitado com corrente contínua.

Motor Síncrono é a máquina síncrona funcionando como motor.

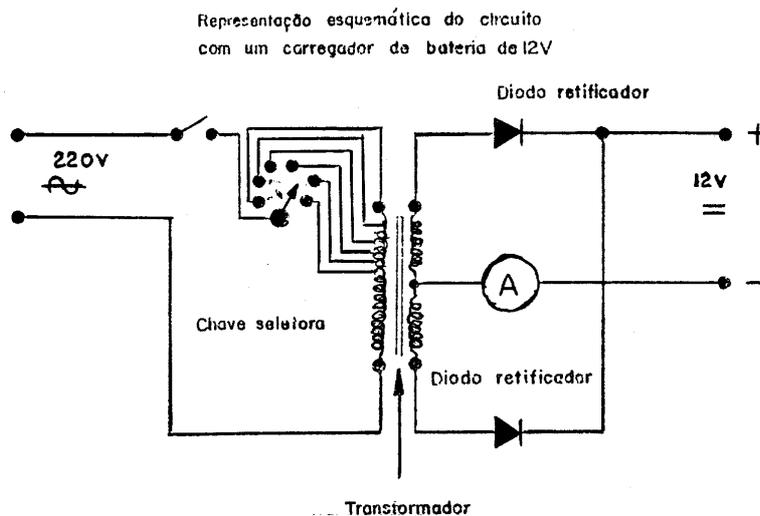
Capacitor Síncrono é uma máquina síncrona girando sem carga mecânica e fornecendo potência reativa a um sistema elétrico.



Recarregador para acumulador de energia

Introdução

Os carregadores de bateria são equipamentos retificadores que fornecem a energia necessária para submeter a bateria de acumuladores do automóvel a um processo de recuperação de sua carga.



Os carregadores são constituídos, como mostra a figura acima, de:

Transformador

Aparelho que transforma a tensão da linha para o valor necessário;

Elementos Retificadores

Retificam a tensão alternada fornecida pelo transformador;

Chave Seletora

Seleciona a tensão, de acordo com a bateria conectada ao circuito de carga;

Terminais de Saída

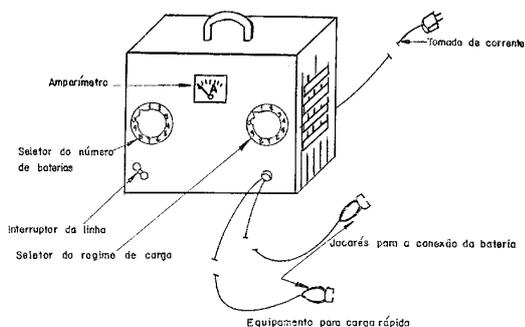
Permitem, por meio de terminais jacaré convenientemente identificados, a conexão entre o carregador e a bateria;

Instrumentos Indicadores

Permitem a leitura da tensão e da corrente de carga.

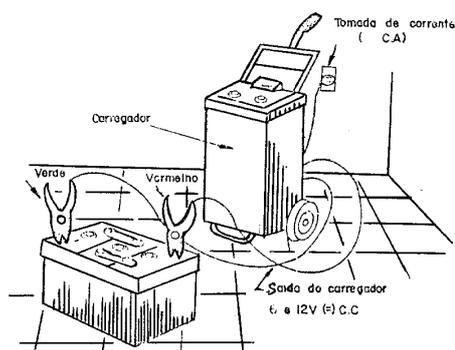
Os tipos de carregadores mais usados

Para carga lenta. São fabricados para carregar uma ou mais baterias.



Proporcionam uma intensidade de corrente de carga de até 6A.

Para carga rápida, são capazes de fornecer intensidade de corrente de carga até 120A.



Utilizam-se para dar carga de reforço e de emergência.

Carregadores especiais: além de cumprir as funções dos anteriores., permitem a comprovação do estado da bateria e fornecem uma corrente superior a 120A no momento de partida do automóvel.

Condições de Uso

Ao conectar-se o carregador na bateria, deve-se observar cuidadosamente a polaridade.

O jacaré assinalado (+), de cor vermelha, conecta-se ao borne positivo da bateria.

O jacaré assinalado (-), de cor verde, conecta-se ao borne negativo da bateria.

Observação: As conexões invertidas danificam o carregador.

Conservação

Cada vez que se acaba de usar um carregador, devem-se lavar seus jacarés de conexão com uma solução de bicarbonato de sódio, para se eliminarem os restos de ácidos e evitar sua corrosão.

Precauções

1. Antes de se retirar o jacaré da bateria que se acaba de carregar, deve-se desligar o carregador, já que as faíscas que de outro modo se produziriam, poderiam inflamar os gases que se desprendem da bateria.
2. Os carregadores devem ser usados em ambientes ventilados.

Regimes de Carga e Baterias

Para submeter-se uma bateria descarregada a um processo de recuperação, conecta-se à mesma e uma fonte de corrente contínua que permita regular a tensão e a intensidade da corrente de carga.

Pode-se, então, escolher entre dois métodos:

- carga lenta;
- carga rápida.

Carga Lenta

É a mais conveniente, sobretudo quando se deve carregar totalmente a bateria. O método recomendado é ajustar a intensidade da corrente, no início da carga, a 1/10 da capacidade da bateria em ampères/hora.

Exemplo: Uma bateria de 75 ampères/hora se submeterá a uma corrente de 7,5 A.

Outro método utilizado é ajustar a intensidade da corrente a 1 A por placa positiva de cada elemento.

Exemplo: Em uma bateria de 15 placas por elemento, 7 delas serão positivas, sendo, portanto, o regime de carga de 7A.

Carga Rápida

Não é aconselhável. Tem como desvantagem diminuir a durabilidade da bateria. Só deve ser realizada em casos de emergência e durante curtos períodos. A intensidade da corrente de carga pode ser de 75 a 100A para baterias de 6 volts e a metade desses valores para baterias de 12 volts.

Observação: Quanto mais rapidamente se carrega uma bateria, mais freqüente se deve controlar a temperatura do eletrólito e o processo de carga, mediante um termômetro e um densímetro.

Temperatura Limite de Carga

	Climas regularmente abaixo de 27°C	Climas entre 27°C e 30° C	Climas normalmente acima de 38°C
Lim	38°C	43°C	49°C

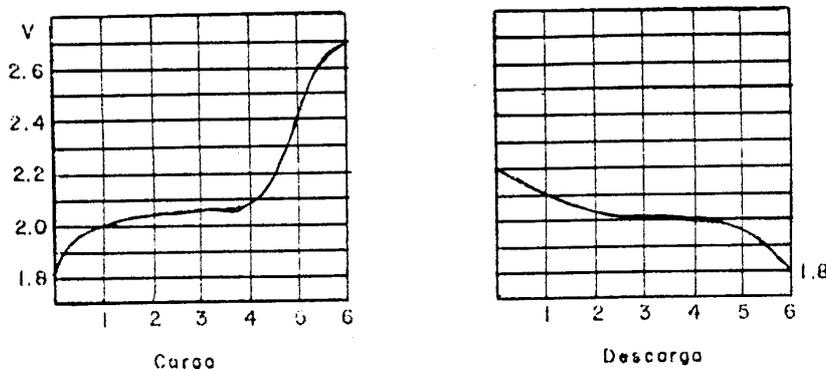
Uma bateria em bom estado suportará qualquer intensidade de carga, enquanto a tensão em cada elemento não for além de 2,3 volts e sua temperatura não ultrapassar 43°C.

Observações:

1. Todas as conexões entre a bateria e a linha de alimentação devem ser firmes, para que se produza um bom contato elétrico.
2. Quando a intensidade da carga é superior à recomendada, o eletrólito borbulha fortemente, desprendendo grande quantidade de hidrogênio.

Precaução - O hidrogênio desprendido, ao misturar-se com o ar, é inflamável.

Gráficos de Carga e Descarga



Colocar Bateria de Acumuladores em Carga

É a operação pela qual é acumulada energia elétrica na bateria, para se restabelecer seu estado normal de carga. Executa-se conectando-se a mesma a um carregador de baterias. É realizada quando a bateria se tenha descarregado, em razão de freqüentes ou prolongados arranques, ou grande consumo de energia não restabelecida pelo gerador.

Processo de Execução

1º Passo - Limpe e inspecione visualmente a bateria.

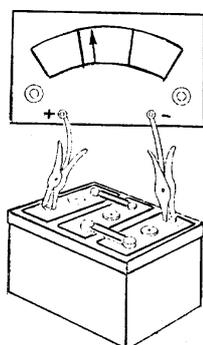
2º Passo - Verifique o nível do eletrólito e adicione água destilada, se for necessário.

Observações:

1. Se o processo de carga vai ser efetuado com a bateria montada no veículo, desconecte os cabos da mesma;
2. Utilize somente água destilada, para complementar o nível dos elementos.

3º Passo - Ponha a bateria em processo de carga.

- a) Determine a tensão, o tempo e o regime de carga da bateria, de acordo com as características da mesma.
- b) Conecte os terminais do carregador aos bornes da bateria, observando que a polaridade seja: positivo do carregador (+) com o positivo da bateria (+) e negativo do carregador (-) com negativo da bateria (-).



Observação: Assegure-se de que o interruptor do carregador está desligado.

c) Ligue o interruptor do carregador.

Precaução - Durante o processo de carga da bateria, evite centelhas ou chamas em sua proximidade, pois os gases emanados são inflamáveis.

4º Passo - Desconecte a bateria do carregador.

- a) Desligue o interruptor do carregador, ao concluir o tempo de carga.
- b) Retire da bateria os terminais do carregador.

5º Passo - Meça a densidade do eletrólito da bateria.

- a) Retire os bujões e verifique se o eletrólito cobre as placas.
- b) Introduza a sonda do densímetro no elemento, pressionando a pêra sem chegar a tocar no eletrólito.
- c) Chegue com a sonda do densímetro até as placas do elemento e aspire lentamente o eletrólito, até que o flutuador flutue.
- d) Observe a que número da coluna graduada do flutuador corresponde o nível do eletrólito.

Interruptor de Corrente de Fuga

Este dispositivo tem por finalidade a proteção de vidas humanas contra acidentes provocados por choques, no contato acidental com redes ou equipamentos elétricos energizados. Oferece, também, proteção contra incêndios que podem ser provocados por falhas no isolamento dos condutores e equipamentos. A experiência mostra que não se pode, na prática, evitar que ocorra uma certa corrente de fuga natural para a terra, apesar do isolamento da instalação. Esta corrente é inferior ou igual a 30 mA. Quando a corrente de fuga atinge valor que possa comprometer a desejada segurança, o dispositivo de que estamos tratando desliga a corrente. O interruptor de corrente é usado em redes elétricas com o neutro aterrado, devendo este condutor passar pelo transformador de corrente do dispositivo.

Tabela de Interruptores de corrente de fuga FI.

Tipo	Corrente nominal (A)	Corrente nominal de fuga (mA)	Tensão de operação (V)	Capacidade de ruptura (A)	Corrente nominal máxima de fusíveis retardados (A) Diazed ou NH
5SC3071-5B	40	30	220-440	1.500	50
5SV4071-5B	63	30	220-440	2.000	80
5SZ7460	63	500	220-380	2.000	80

Como exemplo, citamos o modelo FI da Siemens, tipo 5SV3071-5B, que funciona para uma corrente nominal de 40 A e desarma para uma corrente nominal de fuga de 30 mA, sob tensões de 220 a 400V.

A tabela acima indica, também, o interruptor para a corrente nominal de fuga de 500mA, aplicável, apenas, para proteção da instalação contra riscos de incêndio, uma vez que esse valor da corrente de fuga ultrapassa em muito o limite permissível para proteção contra riscos pessoais.

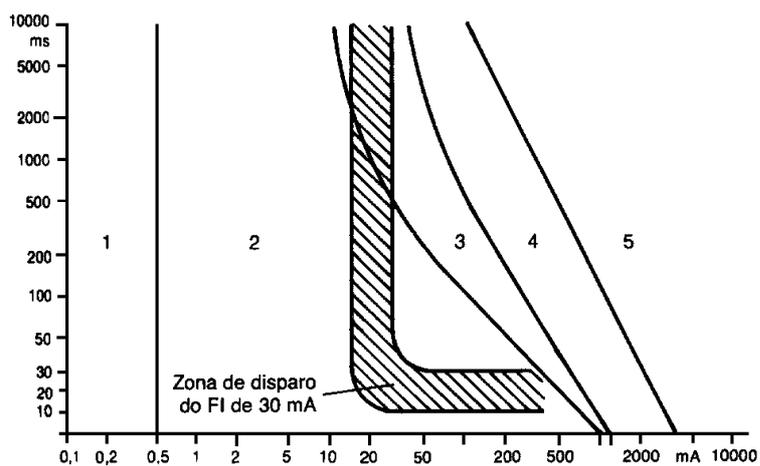
A figura abaixo, mostra o interruptor de corrente de fuga modelo FI, da Siemens, para $I_{\text{nominal}} = 63 \text{ A}$ e $I_{\text{fuga}} = 500 \text{ mA}$.



Interruptor de corrente de fuga FI.

Além da proteção convencional de circuito e aparelhos domésticos, recomenda-se a instalação de interruptor de corrente de fuga em casas e apartamentos onde é considerável o número de aparelhos domésticos, o que tende a aumentar o perigo de acidentes. Em locais úmidos, ambientes molhados ou com riscos de incêndio, são especialmente recomendados.

Efeitos da corrente de fuga. Observando-se as cinco faixas da figura abaixo, vemos que a faixa 1, até 0,5 mA, representa as condições para as quais não há reação. Para a faixa 2, não há normalmente efeito fisiopatológico. Na faixa 3 não há perigo de fibrilação. Já na faixa 4 há possibilidade de ocorrer fibrilação (probabilidade de 50%). Na faixa 5 há perigo de fibrilação (probabilidade maior que 50%).



Influência sobre o corpo humano da corrente de fuga.

Relés de Tempo

São dispositivos para utilização em manobras que exigem temporização, em esquemas de comando, para partida, proteção e regulagem. Eles tem excitação permanente e acionamento em corrente alternada. Os relés de tempo tipo eletrônicos também podem ter aplicações em corrente contínua.



7PU20