

2020

Máquinas elétricas



NIT

[Nome da empresa]

1/1/2020

Sumário

TRANSFORMADORES	3
Transformadores com mais de um secundário	7
Relação de transformação	8
Tipos de transformadores	9
$V P . I P = V S 1 . I S 1 + V S 2 . I S 2 = 6 V . 1 A + 40 V . 1,5 A = 6 V A + 60 V A = 66 V A$	13
Ligação de transformadores em 110 e 220V	13
Transformador com primário a três fios	13
Transformador com primário a quatro fios	15
Instalação de dispositivos de controle e proteção	17
Identificação dos terminais	19
Especificação de transformadores	20
Relação de fase entre as tensões do primário e do secundário	20
Transformador com derivação central no secundário	22
Tipos de ligação de transformadores trifásicos	24
Resfriamento de transformadores trifásicos	29
Transformador com resfriamento a seco	29
Transformador em líquido isolante	30
Numeração de bornes e identificação de bobinas	30
Características dos transformadores	32
Impedância percentual	35
MOTORES DE CA MONOFÁSICOS	36
Tipos de motores de indução	39
Ligação dos motores monofásicos	44
MOTORES TRIFÁSICOS DE CA	45
Tipos de motores trifásicos de CA	46
Ligação dos motores trifásicos	56
MÁQUINAS DE CORRENTE CONTÍNUA	59
Gerador de CC - princípio de funcionamento	60
Classificação dos geradores de CC	61
Motor de CC Funcionamento	65
Tipos de motores	68
Reação do induzido	71
Faiscamento nas escovas	75

Defeitos relacionados ao induzido	76
Aquecimento anormal	77
Ausência de arranque no motor	78
REFERÊNCIA	80

TRANSFORMADORES

O transformador é um dispositivo que permite elevar ou abaixar os valores de tensão em um circuito de CA. A maioria dos equipamentos eletrônicos emprega transformadores para elevar ou abaixar tensões.

A figura mostra alguns tipos de transformadores.

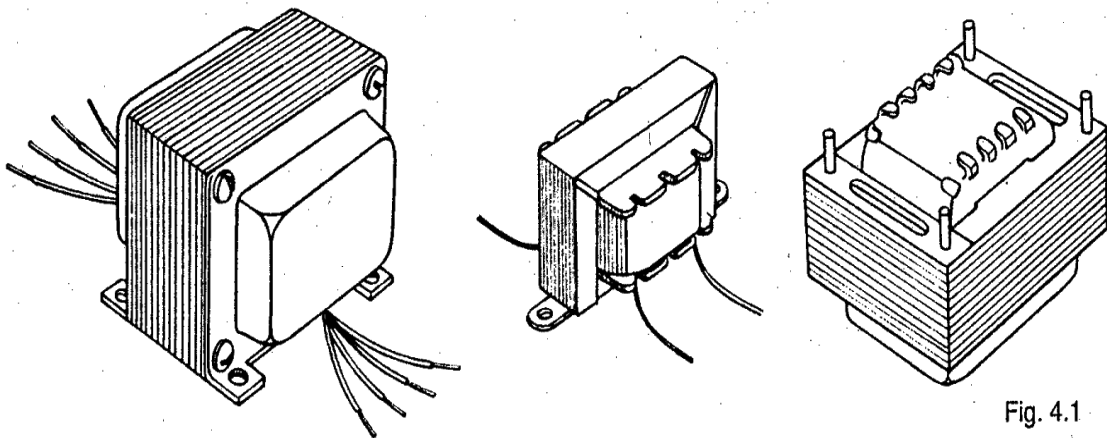


Fig. 4.1

Funcionamento

Quando uma bobina é conectada a uma fonte de CA, um campo magnético variável surge ao seu redor. Se outra bobina for aproximada da primeira, o campo magnético variável gerado na primeira bobina corta as espiras da segunda bobina.

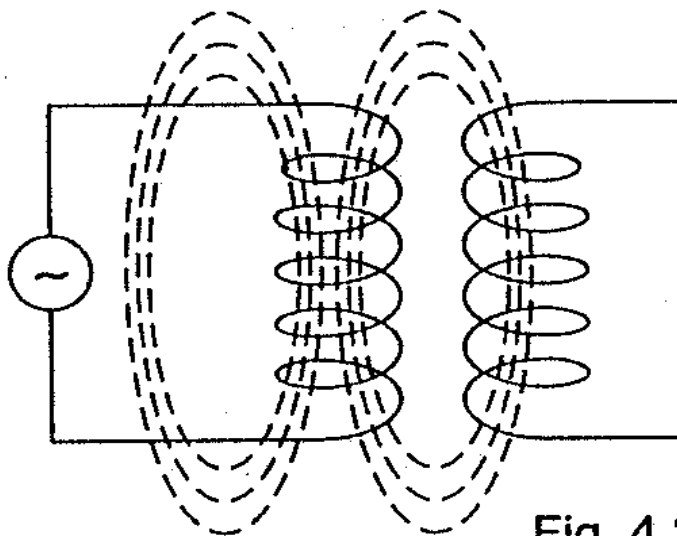


Fig. 4.2

Em consequência da variação do campo magnético sobre as espiras, surge uma tensão induzida na segunda bobina.

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

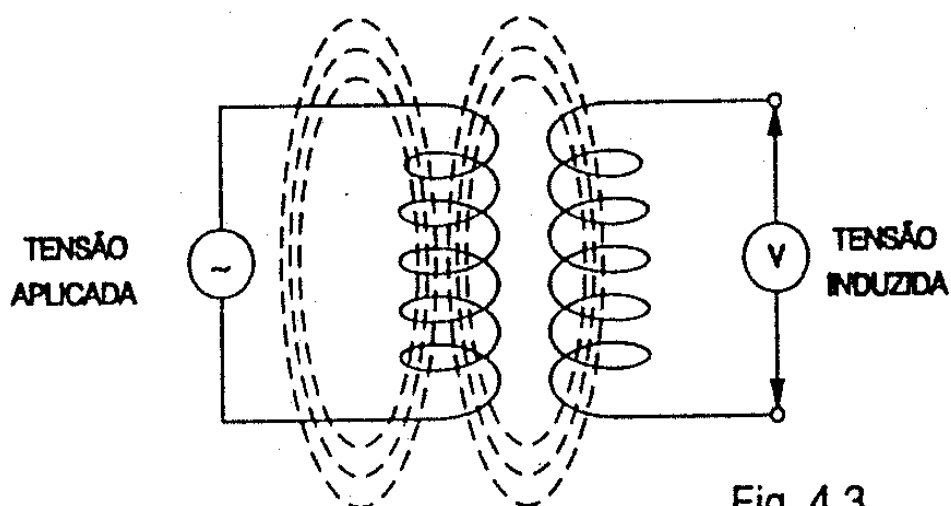


Fig. 4.3

Observação

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 forças magnéticas.

A tensão induzida no secundário é proporcional ao número de linhas magnéticas que cortam a bobina secundária e ao número de suas espiras. Por isso, o primário e o secundário são montados sobre um núcleo de material ferromagnético.

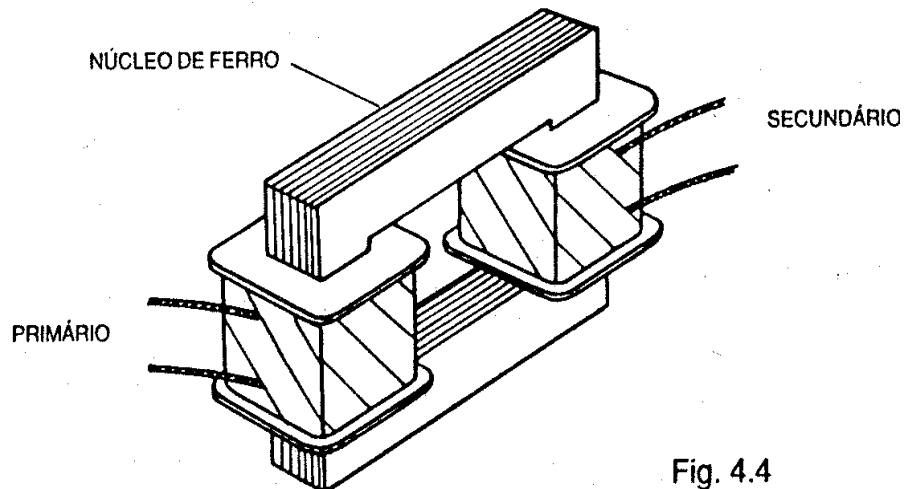
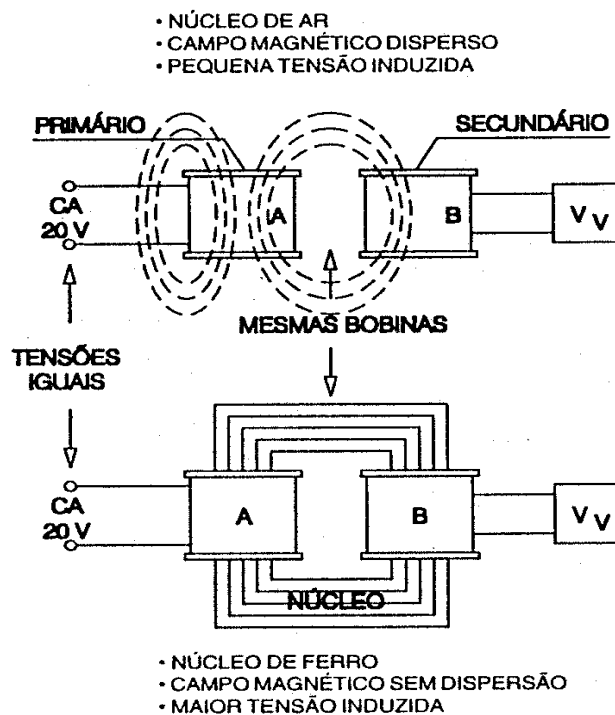


Fig. 4.4

Esse núcleo tem a função de diminuir a dispersão do campo magnético, fazendo com que o secundário seja cortado pelo maior número possível de linhas magnéticas. Como consequência, obtém-se uma transferência melhor de energia entre primário e secundário. Veja na figura o efeito causado pela colocação do núcleo no transformador.

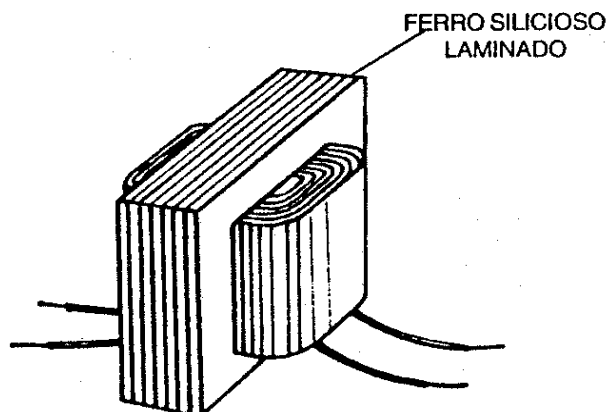


Com a inclusão do núcleo, embora o aproveitamento do fluxo magnético gerado seja melhor, o ferro maciço sofre perdas por aquecimento causadas por dois fatores: a histerese magnética e as correntes parasitas.

As perdas por histerese magnética são causadas pela oposição que o ferro oferece à passagem do fluxo magnético. Essas perdas são diminuídas com o emprego de ferro doce na fabricação do núcleo.

As perdas por corrente parasita (ou por correntes de Foucault) aquecem o ferro, porque a massa metálica sob variação do fluxo gera dentro de si mesma uma força eletromotriz (fem) que provoca a circulação de corrente parasita.

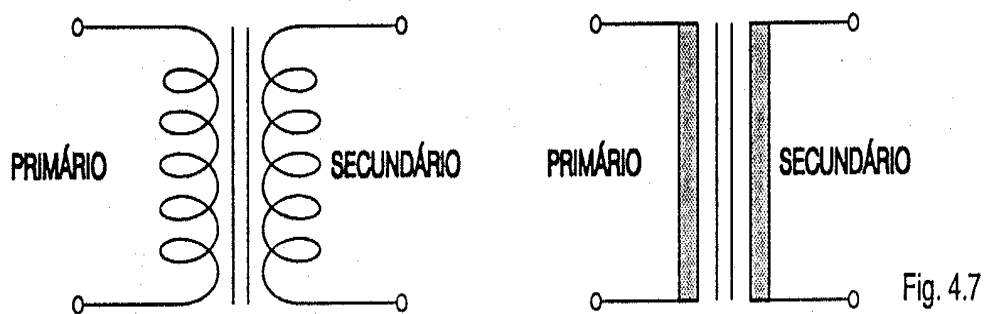
Para diminuir seu aquecimento, os núcleos são construídos com chapas de ferro isoladas entre si. O uso de lâminas não elimina o aquecimento, mas este se torna bastante reduzido em relação ao núcleo de ferro maciço.



Observação

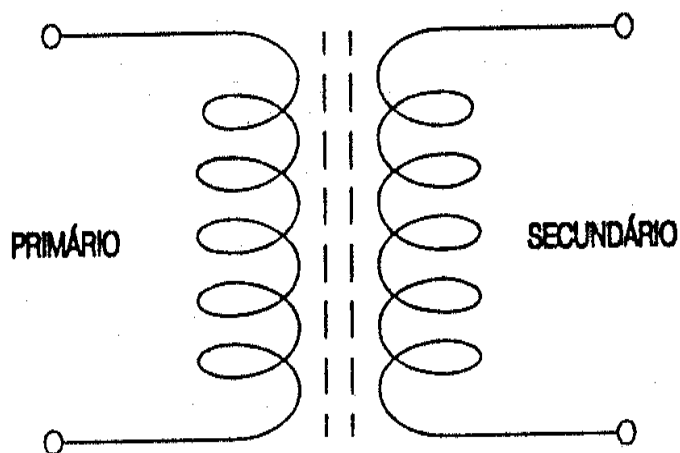
As chapas de ferro contêm uma porcentagem de silício em sua composição. Isso favorece a condutibilidade do fluxo magnético.

A figura mostra os símbolos usados para representar o transformador, segundo a norma da ABNT.



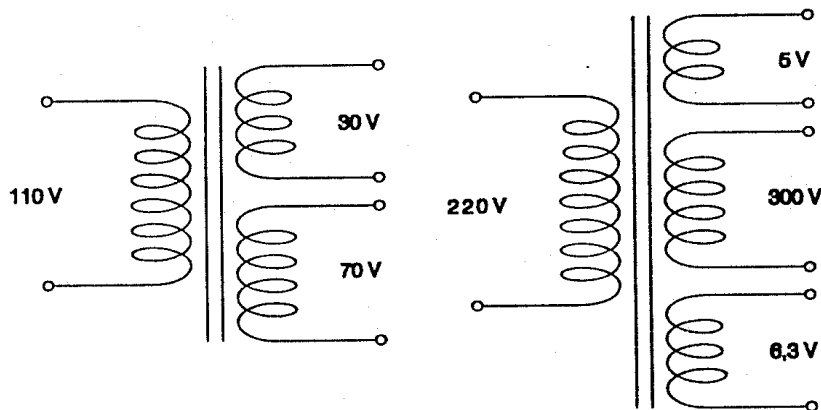
Observação

Os traços colocados no símbolo entre as bobinas do primário e secundário indicam o núcleo de ferro laminado. O núcleo de ferro é usado em transformadores que funcionam em baixas frequências (50, 60 e 120Hz). Para frequências mais altas (kHz), os transformadores são geralmente montados em núcleo de ferrite, cujo símbolo é mostrado na figura.



Transformadores com mais de um secundário

Para se obter várias tensões diferentes, os transformadores podem ser construídos com mais de um secundário.

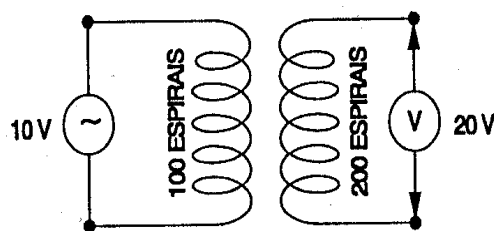


Relação de transformação

Como já vimos, a aplicação de uma tensão CA ao primário de um transformador causa o aparecimento de uma tensão induzida em seu secundário. Aumentando-se a tensão aplicada ao primário, a tensão induzida no secundário aumenta na mesma proporção. Essa relação entre as tensões depende fundamentalmente da relação entre o número de espiras no primário e secundário.

Por exemplo, num transformador com primário de 100 espiras e secundário de 200 espiras, a tensão do secundário será o dobro da tensão do primário.

Se chamarmos o número de espiras do primário de N_p e do secundário de N_s , podemos escrever: $V_s/V_p = N_s/N_p = 2$. (Lê-se: saem 2 para cada 1 que entra.)



O resultado da relação V_s/V_p e N_s/N_p é chamado de relação de transformação e expressa 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 seja necessária. Veja exemplo na tabela a seguir.

Relação de transformação	Transformação
3	$V_s = 3 \cdot V_p$
5,2	$V_s = 5,2 \cdot V_p$
0,3	$V_s = 0,3 \cdot V_p$

Observação

A tensão no secundário do transformador aumenta na mesma proporção da tensão do primário até que o ferro atinja seu ponto de saturação. Quando esse ponto é atingido, mesmo que haja grande variação na tensão de entrada, haverá pequena variação na tensão de saída.

Tipos de transformadores

Os transformadores podem ser classificados quanto à relação de transformação. Nesse caso, eles são de três tipos:

- transformador elevador;
- transformador abaixador;
- transformador isolador.

O transformador elevador é aquele cuja relação de transformação é maior que 1, ou seja, $N_s > N_p$. Por causa disso, a tensão do secundário é maior que a tensão do primário. Portanto, $V_s > V_p$.

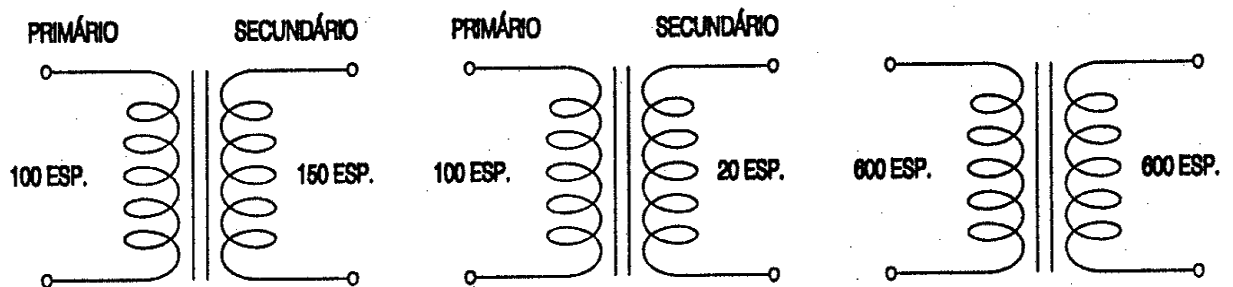
O transformador abaixador é aquele cuja relação de transformação é menor que 1, ou seja, $N_s < N_p$. Portanto, $V_s < V_p$.

Os transformadores abaixadores são os mais utilizados em eletrônica. Sua função é abaixar a tensão das redes elétricas domiciliares (110/220V) para tensões de 6,12 e 15V necessárias ao funcionamento dos equipamentos.

O transformador isolador é aquele cuja relação de transformação é de 1 para 1, ou seja, $N_s = N_p$. Portanto, $V_s = V_p$.

Os transformadores isoladores são usados em laboratórios de eletrônica para isolar eletronicamente da rede a tensão presente nas bancas. Esse tipo de isolamento é chamado de isolamento galvânica.

Veja na figura a representação esquemática desses três tipos de transformadores.



Relação de potência

Como já foi visto, o transformador recebe uma quantidade de energia elétrica no primário, transforma-a em campo magnético e converte-a novamente em energia elétrica disponível no secundário.

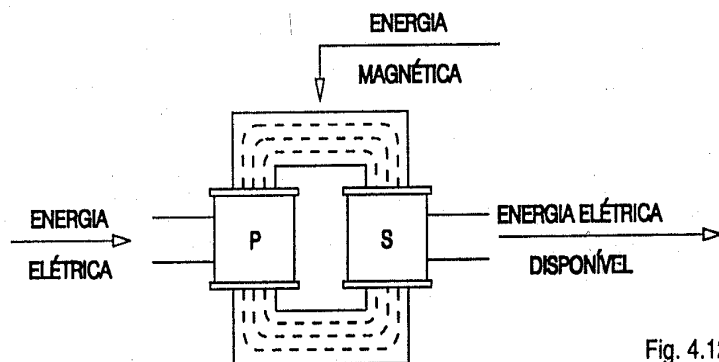


Fig. 4.12

A quantidade de energia absorvida da rede elétrica pelo primário 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 energia absorvida no primário está disponível no secundário.

A energia disponível no secundário chama-se potência do secundário (P_s). Se não existem perdas, é possível afirmar que $P_s = P_p$.

A potência do primário depende da tensão aplicada e da corrente absorvida da rede, ou seja: $P_p = V_p \cdot I_p$.

A potência do secundário, por sua vez, é o produto da tensão e corrente no secundário, ou seja: $P_s = V_s \cdot I_s$.

A relação de potência do transformador ideal é, portanto:

$$V_s \cdot I_s = V_p \cdot I_p$$

Essa expressão permite que se determine um dos valores do transformador se os outros três forem conhecidos. Veja exemplo a seguir.

Exemplo

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

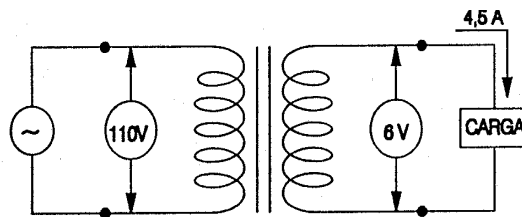


Fig. 4.13

$$V_P = 110V$$

$$V_S = 6V$$

$$I_S = 4,5A$$

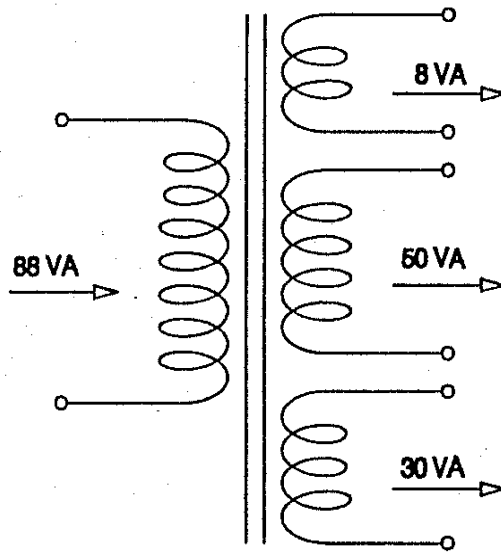
$$I_P = ?$$

Como $V_P \cdot I_P = V_S \cdot I_S$, então

$$I_P = \frac{V_S \cdot I_S}{V_P} = \frac{6V \cdot 4,5A}{110V} = \frac{27VA}{110V} = 0,245 \text{ OU } 0,245A$$

Potência em transformadores de mais de um secundário.

Quando um transformador tem mais de um secundário, a potência absorvida da rede pelo primário é a soma das potências fornecidas em todos os secundários. Matematicamente, isso pode ser representado pela seguinte expressão:



$$PP = P_{s1} + P_{s2} + \dots + P_{sn}$$

Onde:

- P_p é a potência absorvida pelo primário
- P_{s1} é a potência fornecida pelo secundário 1
- P_{s2} é a potência fornecida pelo secundário 2
- P_{sn} é a potência fornecida pelo secundário n

Essa expressão pode ser reescrita usando os valores de tensão e corrente do transformador:

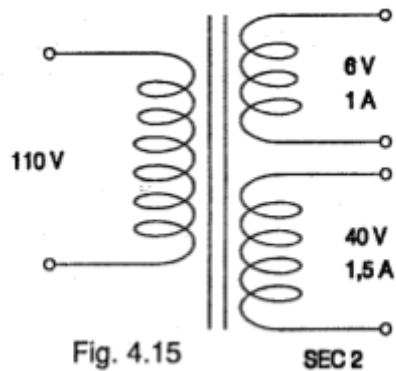
$$V_p \cdot I_p + (V_{s1} \cdot I_{s1}) + (V_{s2} \cdot I_{s2}) + \dots + (V_{sn} \cdot I_{sn})$$

Onde:

- V_p e I_p são respectivamente tensão e corrente do primário
- V_{s1} e I_{s1} são respectivamente tensão e corrente do secundário 1
- V_{s2} e I_{s2} são respectivamente tensão e corrente do secundário 2
- V_{sn} e I_{sn} são respectivamente tensão e corrente do secundário n

Exemplo

Determinar a corrente do primário do transformador mostrado na figura.



$$V_P \cdot I_P = (V_{S1} \cdot I_{S1}) + (V_{S2} \cdot I_{S2}) = (6V \cdot 1A) + (40V \cdot 1,5A) = (6VA + 60VA) = 66VA$$

$$I_P = \frac{66VA}{110V} = 0,6A$$

Ligação de transformadores em 110 e 220V

Os aparelhos eletrônicos modernos são fabricados de tal forma que podem ser usados tanto em redes de 110 quanto de 220V. Isso é possível através da seleção feita por meio de uma chave situada na parte posterior do aparelho.

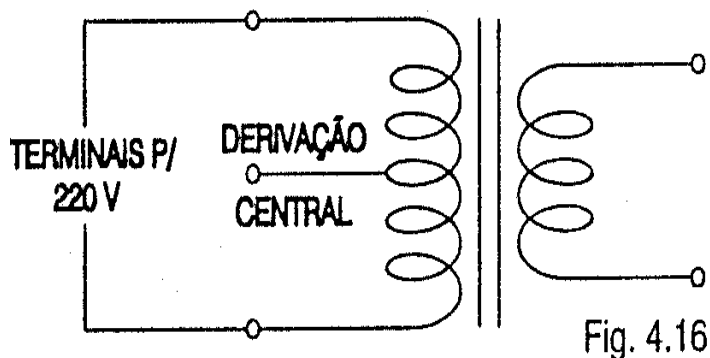
Na maioria dos casos, essa chave está ligada ao primário do transformador. De acordo com a posição da chave, o primário é preparado para receber 110 ou 220V da rede elétrica e fornece o mesmo valor de tensão ao secundário.

Existem dois tipos de transformadores cujo primário pode ser ligado para 110 e 220V:

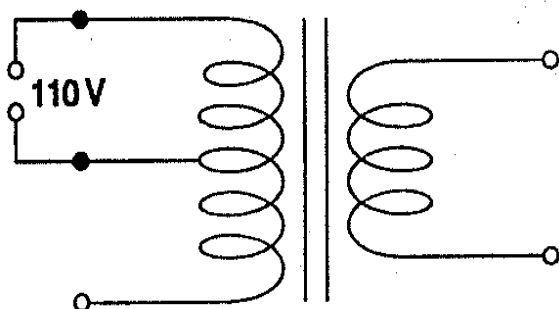
- transformador 110/220V com primário a três fios;
- transformador 110/220V com primário a quatro fios.

Transformador com primário a três fios

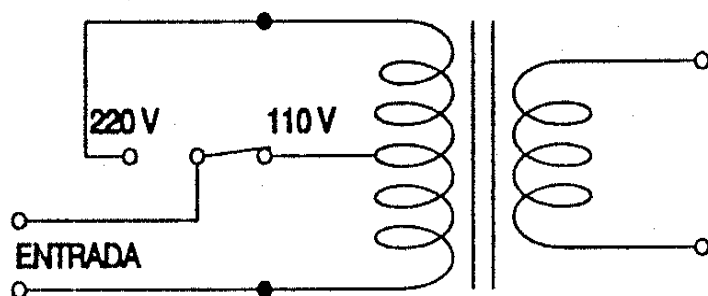
O primário do transformador a três fios é constituído por uma bobina para 220V com uma derivação central.)



Essa derivação permite que se utilize apenas uma das metades do primário, de modo que 110V sejam aplicados entre uma das extremidades da bobina e a derivação central.



Veja na figura a representação esquemática dessa ligação.



A chave usada para a seleção 110/220V é normalmente deslizante, de duas posições e dois polos. É também conhecida como HH. Quando esse tipo de chave é utilizado, a ligação do transformador fica como mostra a figura.

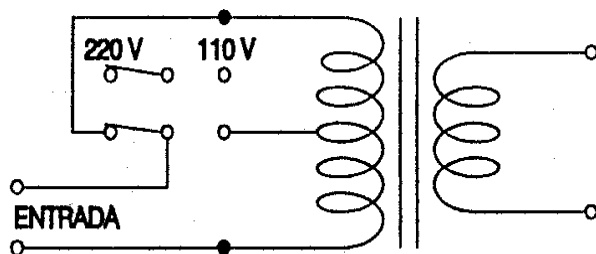


Fig. 4.19

Normalmente, as duas seções da chave são utilizadas em paralelo.

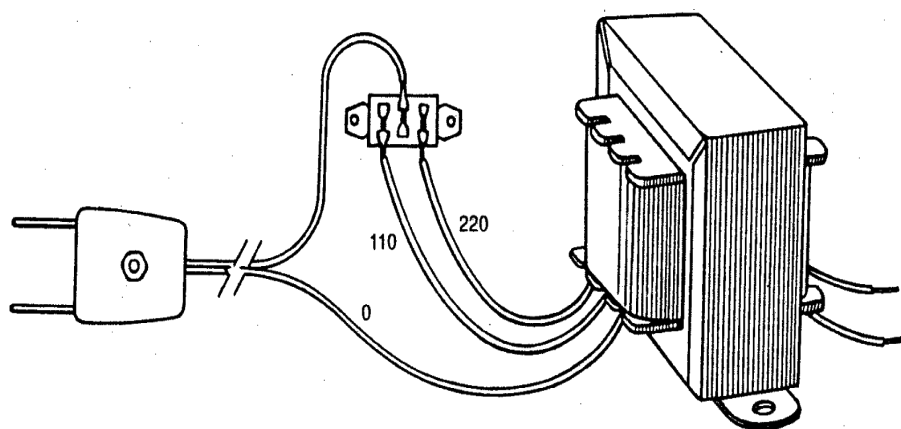


Fig. 4.20

Transformador com primário a quatro fios

O primário desse tipo de transformador constitui-se de duas bobinas para 110V, eletricamente isoladas entre si.

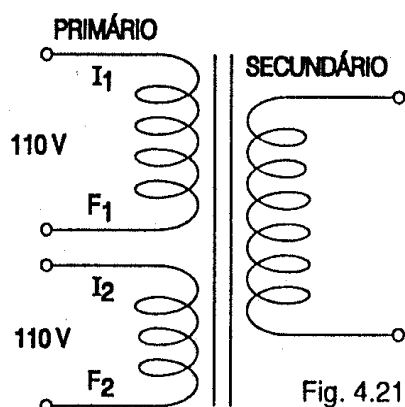


Fig. 4.21

Ligação para 220V

Em um transformador para entrada 110/220V com o primário a quatro fios, a ligação para 220V é feita colocando as bobinas do primário em série e observando a identificação dos fios, ou seja, I1 para a rede, I2 e F1 em ponte e F2 para a rede.

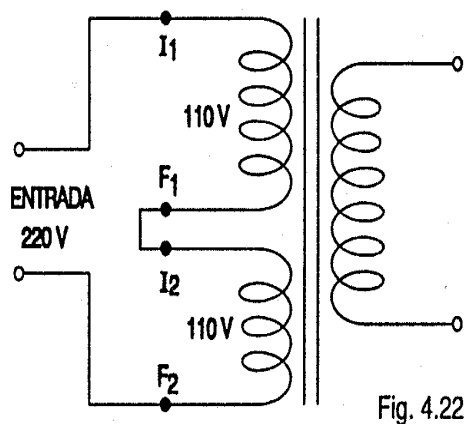


Fig. 4.22

Ligação para 110V

Em um transformador para entrada 110/220V com primário a quatro fios, a ligação para 110V é feita colocando as duas bobinas primárias em paralelo e respeitando a identificação dos fios, ou seja, I1 em ponte com I2 na rede, F1 em ponte com F2 na rede.

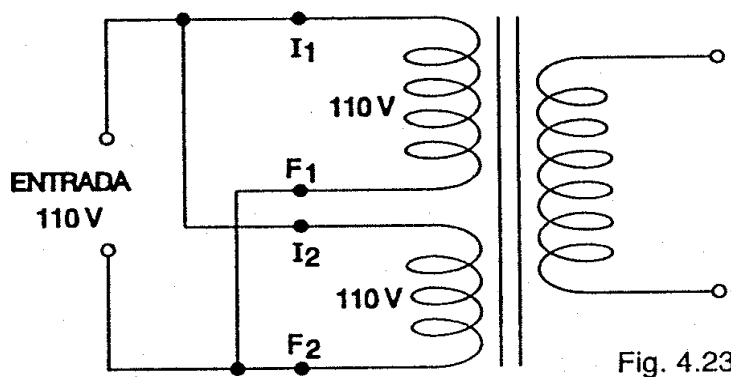


Fig. 4.23

Quando a chave HH está na posição 110V, os terminais I1, I2, F1 e F2 são conectados em paralelo à rede.

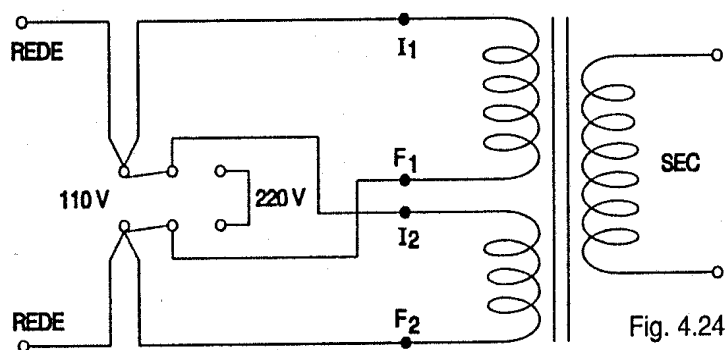


Fig. 4.24

Quando a chave HH está na posição 220V, os terminais I1 e F2 ficam ligados à rede por meio da chave.

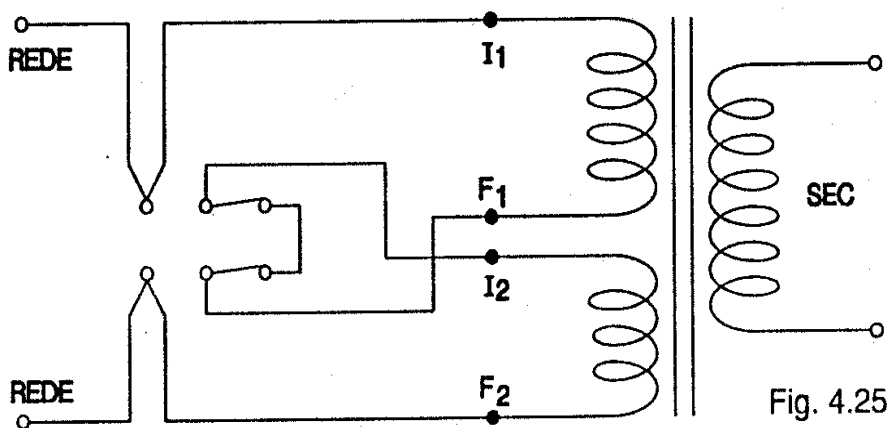


Fig. 4.25

Instalação de dispositivos de controle e proteção

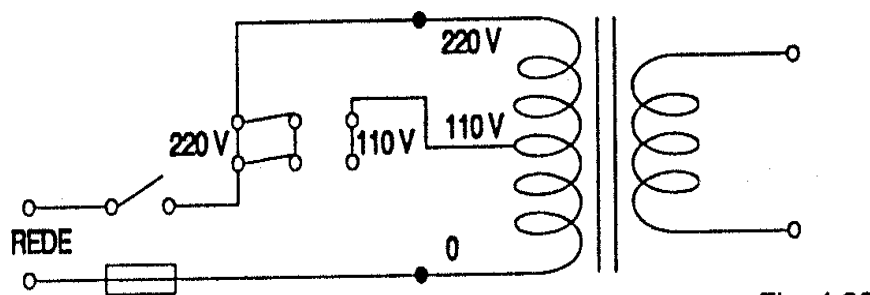
Em todo equipamento elétrico ou eletrônico, é necessário dispor de dispositivos de comando do tipo liga/desliga e de dispositivos de proteção que evitam danos maiores em caso de situações anormais. Normalmente, tanto os dispositivos de controle quanto os de proteção são instalados na entrada de energia do circuito, antes do transformador.

Para a proteção do equipamento, geralmente um fusível é usado. Sua função é romper-se caso a corrente absorvida da rede se eleve. Isso corta a entrada de energia do transformador.

O fusível é dimensionado para um valor de corrente um pouco superior à corrente necessária para o primário do transformador. Alguns equipamentos têm

mais de um fusível: um “geral”, colocado antes do transformador, e outros colocados dentro do circuito de acordo com as necessidades do projeto.

Veja a representação esquemática da ligação do fusível no circuito.



Observação

Tanto na ligação para 110 quanto para 220V, a ordem de início e fim das bobinas é importante. Normalmente, os quatro fios do primário são coloridos e o esquema indica os fios.

- I_1 - início da bobina 1
- F_1 - fim da bobina 1
- I_2 - início da bobina 2
- F_2 - fim da bobina 2

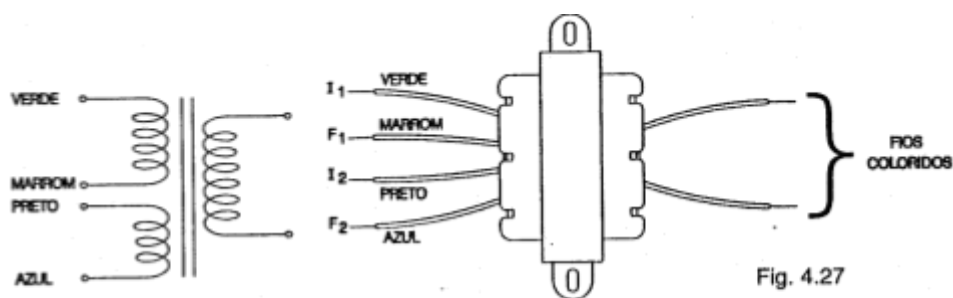


Fig. 4.27

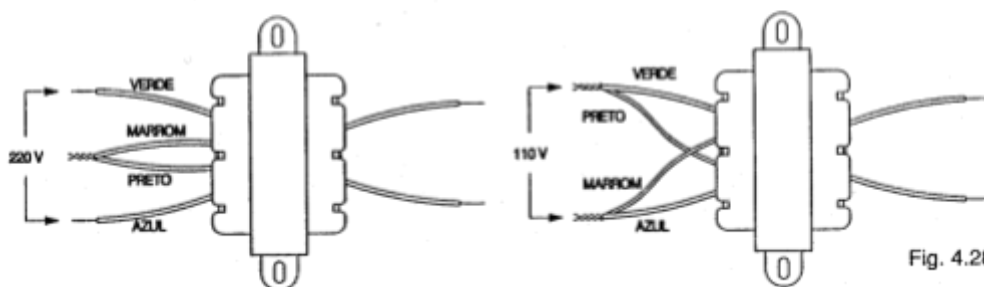


Fig. 4.28

Identificação dos terminais

Quando não se dispõe, no esquema do transformador, da identificação do início ou fim dos terminais da bobina, é necessário realizar um procedimento para identificá-los. Isso é necessário, porque, se a ligação for realizada incorretamente, o primário pode ser danificado irreversivelmente.

O procedimento é o seguinte:

- identificar com o ohmímetro o par de fios que corresponde a cada bobina. Sempre que o instrumento indicar continuidade, os dois fios medidos são da mesma bobina. Além de determinar os fios de cada bobina, esse procedimento permite testar se as bobinas estão em boas condições;
- separar os pares de fios de cada bobina;
- identificar os fios de cada uma das bobinas com início e fim (I_1 , F_1 e I_2 , F_2). A identificação de início e fim pode ser feita de maneira aleatória em cada bobina. Posteriormente, essa identificação será testada para verificar se está correta;
- interligar as bobinas do primário em série;
- aplicar, no secundário, uma tensão CA de valor igual à tensão nominal do secundário.

Por exemplo: em um transformador 110/220V X 6V ($6V_{CA}$ no secundário) deve-se aplicar uma tensão de 6V no secundário. No transformador usado como exemplo, se 220V foram aplicados ao primário, serão obtidos 6V no secundário. Da mesma forma, se forem aplicados 6V no secundário, deve-se obter 220V no primário (em série). Assim, é possível verificar se a identificação está correta, medindo a tensão nas extremidades do primário; medir a tensão das extremidades do primário. Se o resultado da medição for 220V, a identificação está correta. Se o resultado for 0V, a identificação está errada. Nesse caso, para corrigir a identificação, deve-se trocar apenas a identificação de uma das bobinas (I_1 por F_1 ou I_2 por F_2).

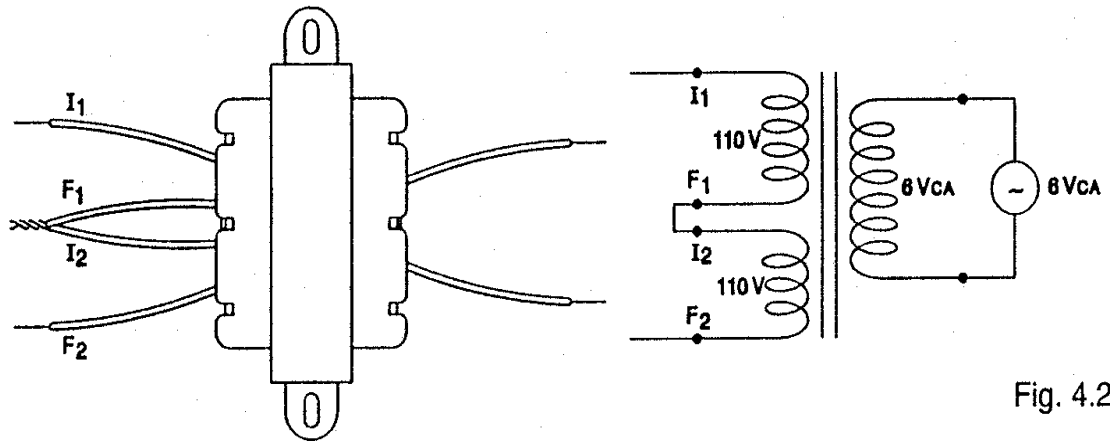


Fig. 4.29

Observação

É conveniente repetir o teste para verificar se os 220V são obtidos no primário.

Especificação de transformadores

A especificação técnica de um transformador deve fornecer:

- a potência em VA (pequenos transformadores);
- as tensões do primário;
- as tensões do secundário.

A especificação 21 VA 110/220V 6V - 1 A 30V - 0,5A indica um transformador com as seguintes características:

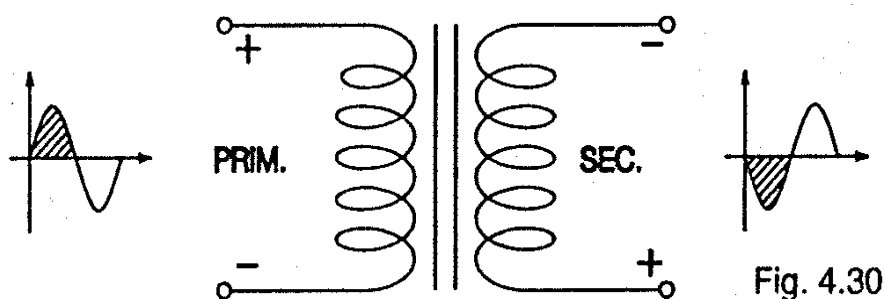
- potência - 21VA;
- Primário - entrada para 110 ou 220V;
- 2 secundários - um para 6V -1A e um para 30V - 0,5A.

A especificação técnica de um transformador em que o secundário tenha derivação central é feita da seguinte maneira: 12W (potência), 110/220V (características do primário), 6 + 6V (secundário com 6 + 6V, ou seja, 6V entre as extremidades e a derivação central), 1A (corrente no secundário).

Relação de fase entre as tensões do primário e do secundário

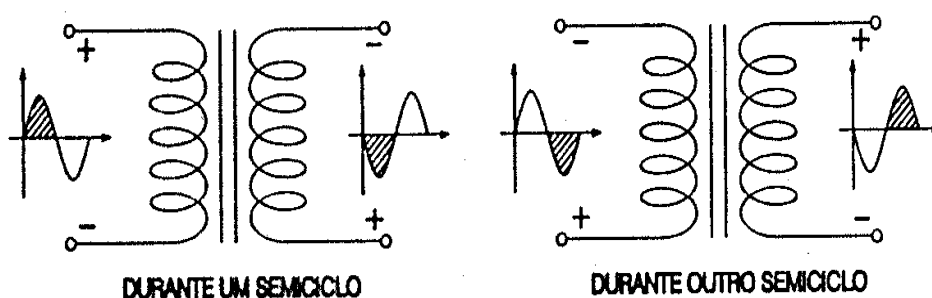
A tensão no secundário é gerada quando o fluxo magnético variável corta as espiras do secundário. Como a tensão induzida é sempre oposta à tensão indutora, a tensão no secundário tem sentido contrário à do primário.

Isso significa que a tensão no secundário está defasada 180° da tensão no primário, ou seja, quando a tensão no primário aumenta num sentido, a tensão do secundário aumenta no sentido oposto.



Ponto de referência

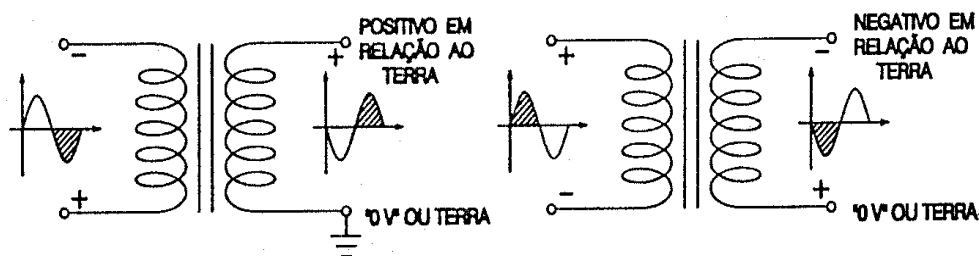
Considerando-se a bobina do secundário de um transformador ligado em CA, observa-se que a cada momento um terminal é positivo e o outro é negativo. Após algum tempo, existe uma troca de polaridade. O terminal que era positivo torna-se negativo e vice-versa.



Nos equipamentos eletrônicos é comum um dos terminais do transformador ser usado como referência, ligado à terra do circuito. Nesse caso, o potencial do terminal aterrado é considerado como sendo 0V, não apresentando polaridade.

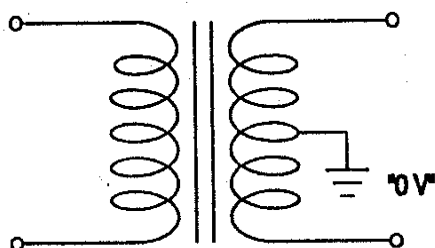
Isto, porém não significa que não ocorra a troca de polaridade no secundário. Em um semiciclo da rede, o terminal livre é positivo em relação ao terminal aterrado

(referência). No outro semiciclo, o terminal livre é negativo em relação ao terminal de referência.

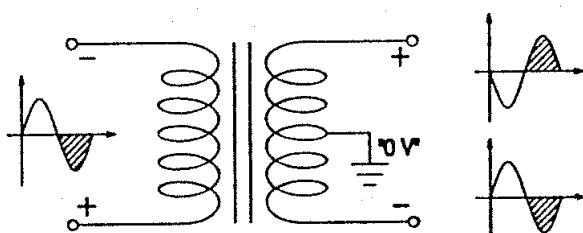


Transformador com derivação central no secundário

O transformador com derivação central no secundário (“centertap”) tem ampla aplicação em eletrônica. Na maioria dos casos, o terminal central é utilizado como referência e é ligado à terra do circuito eletrônico.



Durante seu funcionamento, ocorre uma formação de polaridade bastante singular. Num dos semiciclos da rede, um dos terminais livres do secundário tem potencial positivo em relação à referência. O outro terminal tem potencial negativo, e a inversão de fase (180°) entre primário e secundário ocorre normalmente.



No outro semiciclo há uma troca entre as polaridades das extremidades livres do transformador, enquanto o terminal central permanece em 0V e acontece

novamente a defasagem de 180° entre primário e secundário. Assim, verificamos que com esse tipo de transformador é possível conseguir tensões negativas e positivas instantaneamente, usando o terminal central como referência. Isso pode ser observado com o auxílio de um osciloscópio.

Transformadores trifásicos

Como já sabemos, o transformador é o equipamento que permite rebaixar ou elevar os valores de tensão ou corrente de CA de um circuito. Seu princípio de funcionamento baseia-se no fato de que uma tensão é induzida no secundário, quando este é percorrido pelo fluxo magnético variável gerado no primário.

O transformador é formado basicamente pelo núcleo e pelas bobinas (primária e secundária).

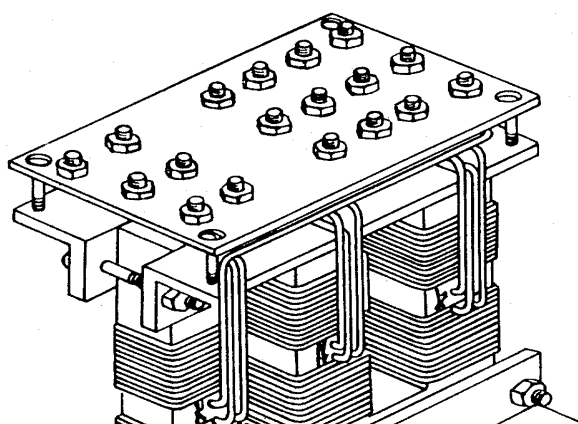
O núcleo constitui o circuito magnético do transformador. É peça metálica construída com chapas de ferro-silício isoladas entre si e sobre a qual são montadas as bobinas.

Os transformadores trifásicos, usados na distribuição de eletricidade, têm as mesmas funções que o transformador monofásico: abaixar ou elevar a tensão.

Trabalham com três fases e são de porte grande e mais potentes que os monofásicos.

O núcleo dos transformadores trifásicos também é constituído de chapas de ferro-silício. Essas chapas possuem três colunas que são unidas por meio de duas armaduras. Cada coluna serve de núcleo para uma fase onde estão localizadas duas bobinas, uma primária e outra secundária. Por essa razão, esses transformadores têm, no mínimo, seis bobinas: três primárias e três secundárias, isoladas entre si.

As bobinas das três fases devem ser exatamente iguais. Na figura está a representação esquemática do núcleo do transformador trifásico.



Num transformador trifásico, cada fase funciona independentemente das outras duas, como se fossem três transformadores monofásicos em um só. Isso significa que três transformadores monofásicos exatamente iguais podem substituir um transformador trifásico.

Esse sistema é mais econômico, pois facilita os serviços de manutenção, reparação e aumento de capacidade do banco de transformadores. A ligação inicial de dois transformadores monofásico sem triângulo aberto permite que um terceiro transformador seja acrescentado quando houver um aumento de carga.

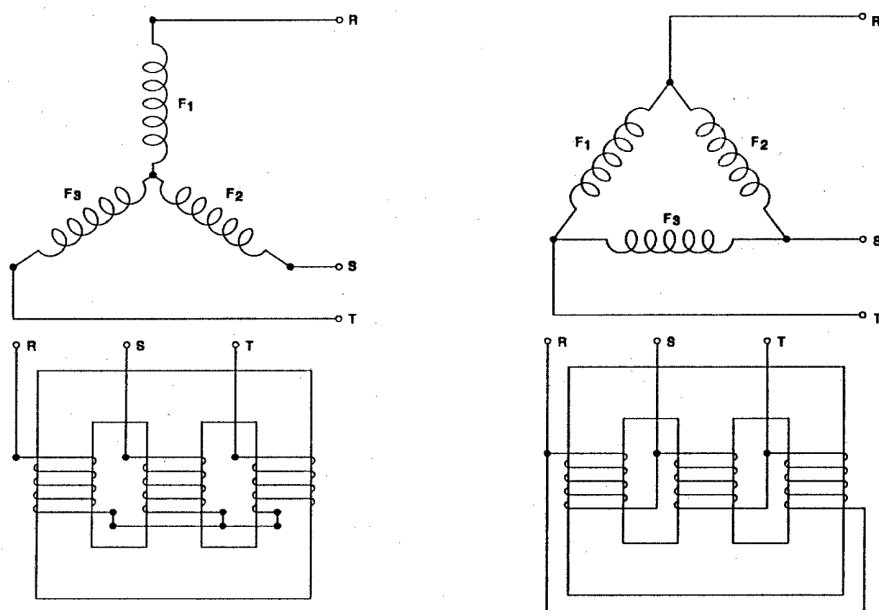
Tipos de ligação de transformadores trifásicos

As ligações internas entre as três fases do transformador trifásico podem ser feitas de duas maneiras:

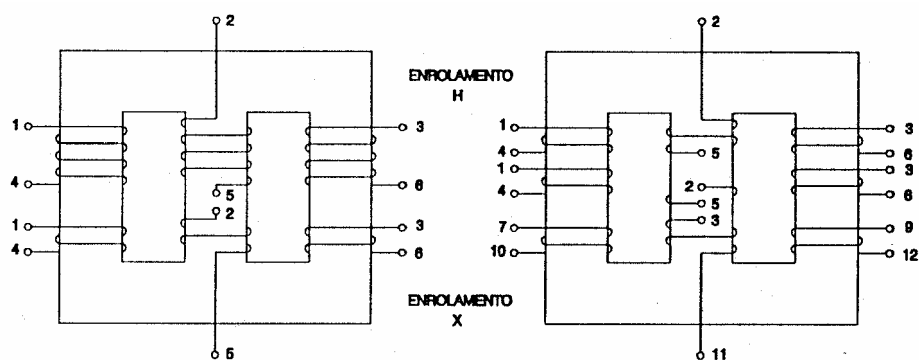
- ligação em estrela (Y);
- ligação em triângulo (A).

Tudo o que já foi estudado sobre as ligações em estrela e em triângulo vale também para os transformadores trifásicos.

A figura mostra as representações esquemáticas possíveis para esses tipos de ligação.



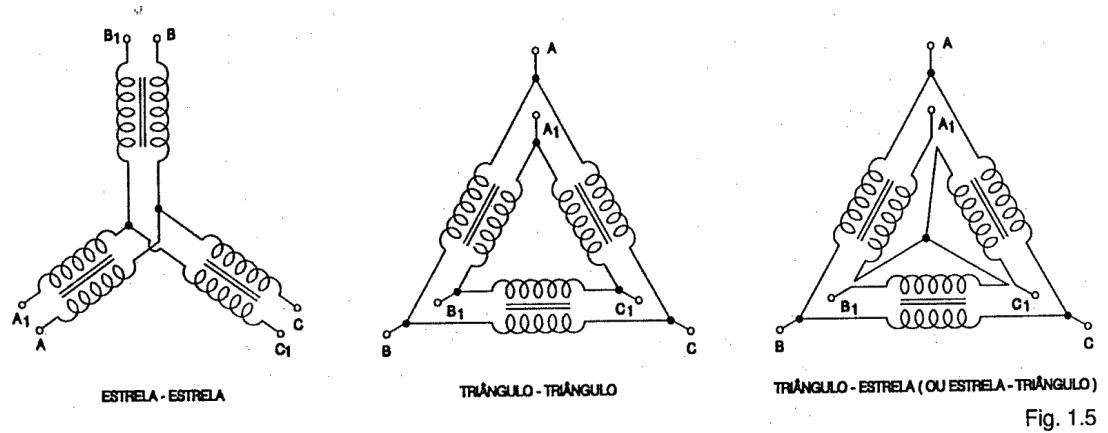
As ligações em estrela e em triângulo são executadas tanto no primário quanto no secundário do transformador. Nos diagramas, as letras H e X representam, respectivamente, o primário e o secundário, enquanto as extremidades dos enrolamentos são identificadas por números.



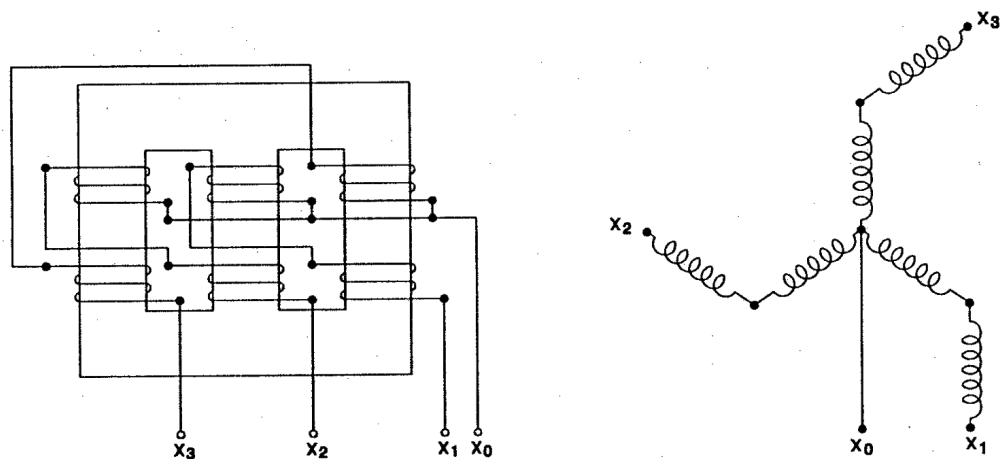
As ligações do primário e do secundário podem ser combinadas de várias formas:

- em estrela no primário e em estrela no secundário;
- em triângulo no primário e em triângulo no secundário;
- em estrela no primário e em triângulo no secundário e vice-versa.

A figura mostra, de modo esquemático, esses tipos de combinações.



Quando é necessário equilibrar as cargas entre as fases do secundário, emprega-se a ligação em zigzague.



Se, por exemplo, a fase 1 do secundário estiver recebendo mais carga, esse desequilíbrio será compensado pela indução das duas colunas onde a fase 1 está distribuída.

Para que as combinações de ligações sejam realizadas, os transformadores são divididos em dois grupos:

- grupo A: quando a tensão do secundário está em fase com a tensão do primário;
- grupo B: quando a tensão do secundário está defasada em 30°.

Dois transformadores de um pequeno grupo podem ser ligados em paralelo, desde que exista entre eles correspondência de tensão e impedância. Transformadores de grupos diferentes não podem ser ligados em paralelo.

Na tabela abaixo são apresentadas as interligações dos enrolamentos, a relação de transformação e os tipos de ligação que podem ser feitos com os transformadores do grupo A.

Tipos de ligação de transformadores trifásicos do grupo A			
Símbolo e denominação	Diagrama		Relação de transformação (tensão entre fases)
	Enrolamento de mais alta tensão	Enrolamento de mais baixa tensão	
Δ/Δ triângulo-triângulo			$E_x = \frac{N_x'}{N_H} \cdot E_H$
Y/Y estrela-estrela			$E_x = \frac{N_x}{N_H} \cdot E_H$
Δ/γ triângulo-ziguezague			$E_x = \frac{N_x \cdot E_H \cdot \sqrt{3}}{2N_H}$

Para verificar se as ligações estão corretas, alimenta-se o transformador pelas lides ou terminais de tensão mais elevada com uma fonte de corrente trifásica apropriada. Em seguida, ligam-se os terminais H_i e X_i entre si (curto-circuito).

Finalmente, mede-se a tensão entre os vários pares de terminais. O resultado deve ser o seguinte:

- tensão entre H2 e X3 igual à tensão entre H3 e X2;
- tensão entre H2 e X2 menor que a tensão entre H1 e X2;
- tensão entre H2 e X2 menor que a tensão entre H2 e Xa.

Na tabela a seguir, são apresentadas as interligações dos enrolamentos, a relação de transformação e os tipos de ligação que podem ser feitos com os transformadores do grupo B.

Tipos de ligação de transformadores trifásicos do grupo B			
Símbolo e denominação	Diagrama		Relação de transformação (tensão entre fases)
	Enrolamento de mais alta tensão	Enrolamento de mais baixa tensão	
Δ/Y triângulo-estrela			$Ex = \frac{Nx \cdot 1,73 \cdot Eh}{Nh}$
Y/Δ estrela-triângulo			$Ex = \frac{Nx \cdot Eh}{Nh \cdot \sqrt{3}}$
Y/∇ estrela-ziguezague			$Ex = \frac{Nx \cdot Eh \cdot \sqrt{3}}{2Nh}$

Observação

- NH número de espiras do primário
- Nx número de espiras do secundário

Para verificar se as ligações estão corretas, alimenta-se o transformador pelos terminais de tensão mais elevada com uma corrente trifásica apropriada. Em seguida, ligam-se os terminais H_i e X_i entre si.

Finalmente, mede-se a tensão entre os vários pares de terminais. O resultado deve ser o seguinte:

- tensão entre H_3 e X_2 igual à tensão entre H_3 e X_3 ;
- tensão entre H_3 e X_2 menor que a tensão entre H_1 e X_3 ;
- tensão entre H_2 e X_2 menor que a tensão entre H_2 e X_3 ;
- tensão entre H_2 e X_2 menor que a tensão entre H_i e X_3 .

Resfriamento de transformadores trifásicos

Os transformadores, quando em funcionamento, apresentam uma pequena perda que também se manifesta sob a forma de calor. Assim, quanto maior a potência consumida, maior é a geração de calor dentro do transformador.

Como a temperatura elevada traz danos irreparáveis ao funcionamento do transformador, deve-se mantê-la dentro de limites seguros. Segundo a norma da ABNT (EB91), existem dois tipos de resfriamento:

- a seco;
- com líquido isolante.

Transformador com resfriamento a seco

Segundo a norma EB91, “transformador a seco é o transformador cujos núcleo e enrolamento estão envoltos e refrigerados pelo ar do ambiente”.

Dentro desse grupo estão todos os pequenos transformadores e os de baixa potência nos quais a troca de calor é feita com o ar.

Para os transformadores desse grupo que necessitem de maior refrigeração, usam-se ventiladores que forcem a circulação do ar. Isso acontece em aparelhos eletrônicos como os microcomputadores, por exemplo.

Transformador em líquido isolante

De acordo com a norma EB91, transformador em líquido isolante “é o transformador cujo núcleo e enrolamento são imersos em líquido isolante”.

Esse líquido isolante exerce duas funções: isolação e resfriamento, pois transfere para as paredes do tanque o calor produzido.

Para cumprir essas funções, o óleo refrigerante deve possuir:

- elevada rigidez dielétrica;
- boa fluidez;
- capacidade de funcionamento em temperaturas elevadas.

O líquido isolante que possui essa característica é o óleo mineral.

Os transformadores que necessitam desse tipo de resfriamento são os trifásicos de grande potência, usados na rede de distribuição de energia elétrica.

Numeração de bornes e identificação de bobinas

Você aprendeu que o transformador é a máquina que permite rebaixar ou elevar os valores de tensão ou corrente CA de um circuito. Seu princípio de funcionamento baseia-se no fato de que uma tensão é induzida no secundário, quando este é cortado pelo fluxo magnético variável gerado no primário.

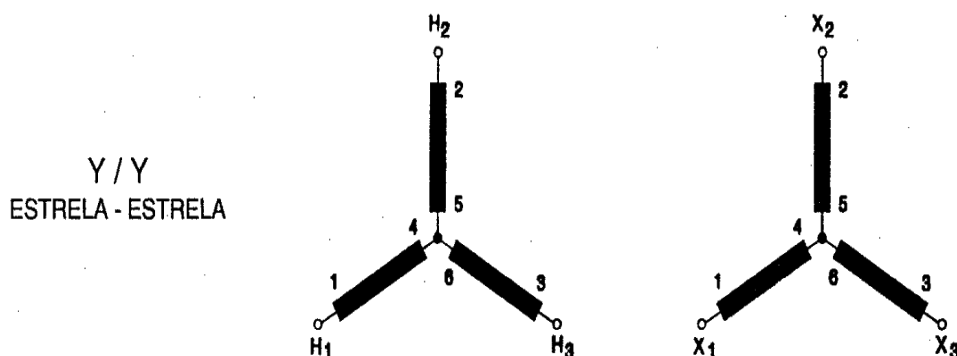
As bobinas do primário e do secundário são montadas sobre um núcleo de ferro silicioso laminado. O núcleo permite um melhor acoplamento magnético com pequenas perdas por aquecimento.

Os bornes de um transformador geralmente localizam-se sobre a tampa da máquina. Os bornes de maior tensão estão colocados de um lado e os de menor tensão, de outro.

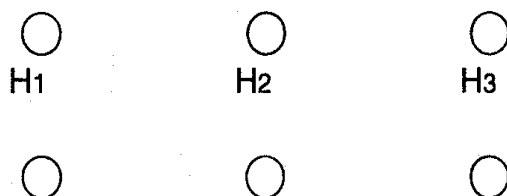
Os terminais dos diversos enrolamentos devem ser marcados com as letras H, X, Y e Z.

A letra H é reservada ao enrolamento de maior tensão. A sequência das demais letras é baseada na ordem decrescente das tensões nominais dos enrolamentos.

As letras devem ser acompanhadas pelos números 0,1, 2, 3... etc. para indicar o primeiro terminal neutro e os terminais restantes do circuito. Veja exemplo na figura.



A norma relativa à sequência das letras que identificam os bornes exige que os de maior tensão sejam marcados da esquerda para a direita de quem olha o transformador do lado dos bornes de menor tensão. Veja diagrama da figura.

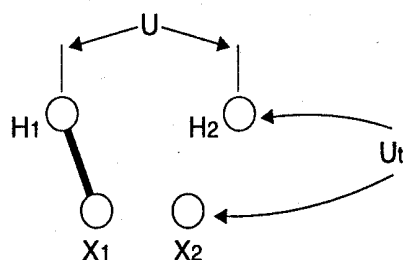


A marcação dos bornes de menor tensão é feita obedecendo à relação de fase existente entre as altas e as baixas tensões. A defasagem depende das conexões internas do transformador. Nos transformadores monofásicos, esta defasagem é nula ou de 180° . Nos transformadores trifásicos, essa defasagem é nula ou múltipla de 30° . Polaridade

As bobinas em um transformador podem ser enroladas com o primário e o secundário no mesmo sentido ou em sentido contrário. Com isso, a tensão de saída no secundário pode apresentar a mesma polaridade da tensão de entrada ou polaridade inversa.

Esse detalhe é muito importante, quando se deve identificar os fios (ou “taps”) do transformador trifásico.

Na prática, a polaridade de um transformador é definida pelas palavras subtrativa e aditiva. Para identificar o tipo de polaridade, conecta-se o terminal de maior tensão ao terminal de menor tensão adjacente, como mostra o diagrama da figura.



$U_t > U \rightarrow$ ADITIVA
 $U_t < U \rightarrow$ SUBTRATIVA

Fig. 2.3

Então, aplica-se tensão em um dos circuitos. Por exemplo, a tensão U no circuito de maior tensão. Se a tensão total (U_t) existente entre os outros terminais (H_2 e X_2) dos circuitos for maior que U , diz-se que a polaridade é aditiva. Se U_t for menor que U , a polaridade é subtrativa.

Nos transformadores com polaridade aditiva, a placa deve estar com os terminais dispostos, conforme mostra a figura.

Nos transformadores com polaridade subtrativa, a placa deve apresentar os terminais dispostos, conforme o diagrama da figura.

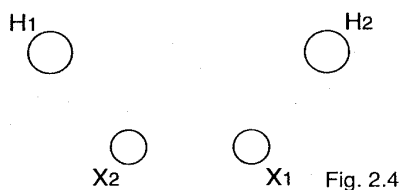


Fig. 2.4

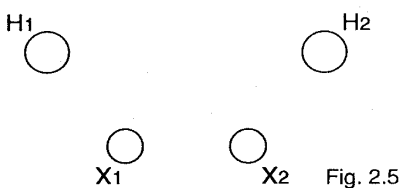


Fig. 2.5

Características dos transformadores

Transformadores, em geral, apresentam perdas de potência, quando estão em funcionamento. Essas perdas podem ser por efeito Joule (calor) e perdas no ferro.

Perdas por efeito Joule

As perdas por efeito Joule ocorrem em forma de calor, devido à resistência ôhmica dos enrolamentos; elas são chamadas de perdas no cobre.

Outras perdas são conhecidas como: perdas no núcleo que ocorrem pelo efeito da histerese magnética, e perdas adicionais devidas às correntes parasitas (ou correntes de Foucault).

As perdas no cobre dos transformadores monofásicos são calculadas através da fórmula:

$$P_{cu} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2$$

Onde:

- P_{Cu} corresponde às perdas no cobre em watts
- R_1 é a resistência ôhmica do enrolamento primário, medida na temperatura de trabalho (75°C)
- I_1 é a corrente primária em plena carga
- R_2 é a resistência ôhmica do enrolamento secundário, medida na temperatura de trabalho (75°C)
- I_2 é a corrente secundária em plena carga

Pode-se observar, através da fórmula, que as perdas no cobre sofrem dois tipos de variação, uma, através da variação da carga do transformador, pois, variando a carga, variam também as correntes primárias I_1 e correntes secundárias I_2 ; outra, através da variação de temperatura de trabalho do transformador, variam também as resistências ôhmicas dos enrolamentos primários R_1 e R_2 .

Rendimento

Você já estudou que o enrolamento primário absorve potência elétrica, enquanto o enrolamento secundário fornece potência elétrica.

O rendimento de um transformador é definido pela relação entre a potência elétrica fornecida pelo secundário e a potência elétrica absorvida pelo primário.

A potência absorvida pelo primário corresponde à potência fornecida pelo secundário mais as perdas no cobre e no ferro.

Como as perdas no cobre variam em função da temperatura, o rendimento do transformador deve ser calculado com a temperatura em regime de trabalho, ou seja, 75°C.

Para este cálculo, usa-se a seguinte fórmula:

$$\mu = \frac{V_2 \cdot I_2}{V_2 \cdot I_2 + P_{Cu} + P_{Fe}}$$

Ou

$$\mu(75^\circ\text{C}) = \frac{V_2 \cdot I_2}{V_2 \cdot I_2 + P_{Cu}(75^\circ\text{C}) + P_{Fe}}$$

Onde

- μ é o rendimento na temperatura ambiente
- 75°C é o rendimento na temperatura de trabalho
- V_2 é a tensão secundária em volts
- I_2 é a corrente secundária em ampères
- P_{Cu} indica as perdas no cobre à temperatura ambiente
- $P_{Cu}(75^\circ\text{C})$ indica as perdas à temperatura de trabalho
- P_{Fe} indica as perdas no ferro

Para transformadores trifásicos, a expressão é a seguinte:

$$\mu = \frac{V_{F2} \cdot I_{F2}}{V_{F2} \cdot I_{F2} + P_{Cu} + P_{Fe}}$$

Ou

$$\mu(75^{\circ}C) = \frac{V_{F2} \cdot I_{F2}}{V_{F2} \cdot I_{F2} + P_{Cu}(75^{\circ}C) + P_{Fe}}$$

Onde:

- VF2 é a tensão secundária de fase
- I_{F2} é a corrente secundária de fase

Impedância percentual

A impedância percentual ou tensão de curto-circuito percentual corresponde a uma parte da tensão nominal do enrolamento primário suficiente para fazer circular a corrente nominal do enrolamento secundário, desde que este esteja fechado em curto-circuito.

O valor da impedância percentual varia entre 3 e 9% e vem marcando na placa dos transformadores com os símbolos Z% Uk% ou Vcc%. Este valor é calculado com a seguinte fórmula:

$$Z\% = \frac{V_{cc}}{U_{np}} \cdot 100$$

Exemplo

Cálculo da impedância percentual de um transformador com as seguintes características:

- Tensão nominal do primário (Unp) = 500V
- corrente nominal do secundário (Ins) = 20A
- Tensão suficiente para fazer circular 20A no secundário quando fechado em curto-circuito (Vce) 30V

$$Z\% = \frac{30}{500} \cdot 100 = 6\%$$

O valor da impedância percentual (Z%) é 6%.

A impedância percentual é um dado importante para o cálculo da corrente de curto-circuito, cuja fórmula é:

$$I_{cc} = \frac{I_{ns}}{Z\%} \cdot 100$$

Exemplo

Cálculo da corrente de curto-circuito do transformador do exemplo anterior.

$$I_{cc} = \frac{20}{6} \cdot 100 = 333 \text{ ou } 333A$$

A corrente de curto-circuito desse transformador é 333A.

O valor da impedância percentual também é usado no dimensionamento de dispositivos de comando e proteção do equipamento e para auxiliar a ligação em paralelo entre transformadores.

Nesse tipo de ligação, a diferença entre as impedâncias dos transformadores não deve exceder a 10%.

Para valores diferentes da tensão de curto-circuito (V_{cc}) o transformador com tensão menor fica com a maior carga.

MOTORES DE CA MONOFÁSICOS

Os motores monofásicos possuem apenas um conjunto de bobinas, e sua alimentação é feita por uma única fase de CA. Dessa forma, eles absorvem energia elétrica de uma rede monofásica e transformam-na em energia mecânica.

Os motores monofásicos são empregados para cargas que necessitam de motores de pequena potência como, por exemplo, motores para ventiladores, geladeiras, furadeiras portáteis etc.

Tipos de motores monofásicos

De acordo com o funcionamento, os motores monofásicos podem ser classificados em dois tipos: universal e de indução.

Motor universal

Os motores do tipo universal podem funcionar tanto em CC como em CA; daí a origem de seu nome.

A figura mostra o rotor (parte que gira) e o estator (parte fixa) de um motor universal.

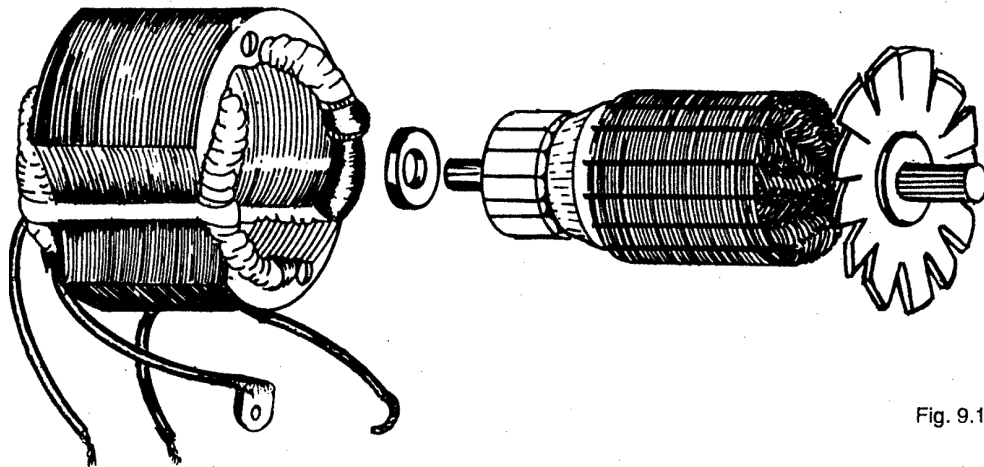
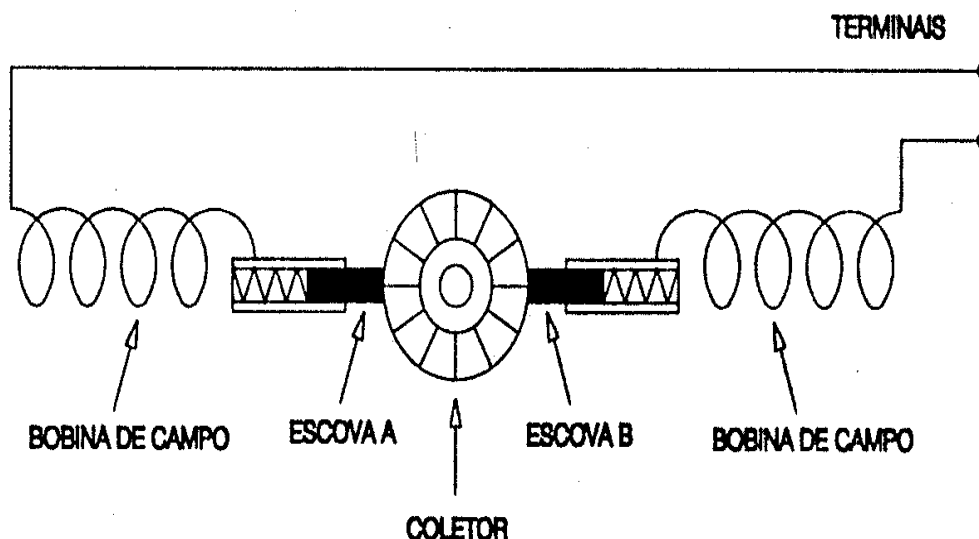


Fig. 9.1

O motor universal é o único motor monofásico cujas bobinas do estator são ligadas eletricamente ao rotor por meio de dois contatos deslizantes (escovas). Esses dois contatos, pôr sua vez, ligam em série o estator e o rotor.



Observação

É possível inverter o sentido do movimento de rotação desse tipo de motor, invertendo-se apenas as ligações das escovas, ou seja, a bobina ligada à escova A deverá ser ligada à escova B e vice-versa.

Os motores universais apresentam conjugado de partida elevado e tendência a disparar, mas permitem variar a velocidade quando o valor da tensão de alimentação varia. Sua potência não ultrapassa a 500W ou 0,75cv e permite velocidade de 1500 a 15000rpm.

Esse tipo de motor é o motor de CA mais empregado e está presente em máquinas de costura, liquidificadores, enceradeiras e outros eletrodomésticos, e também em máquinas portáteis, como furadeiras, lixadeiras e serras.

Funcionamento do motor universal

A construção e o princípio de funcionamento do motor universal são iguais ao do motor em série de CC.

Quando o motor universal é alimentado por corrente alternada, a variação do sentido da corrente provoca variação no campo, tanto do rotor quanto do estator. Dessa forma, o conjugado continua a girar no mesmo sentido inicial, não havendo inversão do sentido da rotação.

Motor de indução

Os motores monofásicos de indução possuem um único enrolamento no estator. Esse enrolamento gera um campo magnético que se alterna juntamente com as alternâncias da corrente. Neste caso, o movimento provocado não é rotativo.

Funcionamento do motor de indução

Quando o rotor estiver parado, o campo magnético do estator, ao se expandir e se contrair, induz correntes no rotor.

O campo gerado no rotor é de polaridade oposta à do estator. Assim, a oposição dos campos exerce um conjugado nas partes superior e inferior do rotor, o que tenderia a girá-lo 180° de sua posição original.

Como o conjugado é igual em ambas as direções, pois as forças são exercidas pelo centro do rotor e em sentidos contrários, o rotor continua parado.

Se o rotor estiver girando, ele continuará o giro na direção inicial, já que o conjugado será ajudado pela inércia do rotor e pela indução de seu campo magnético. Como o rotor está girando, a defasagem entre os campos magnéticos do rotor e do estator não será mais que 180°.

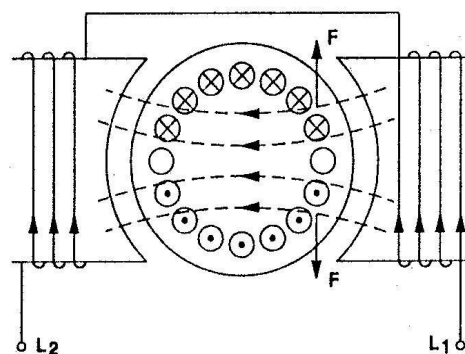
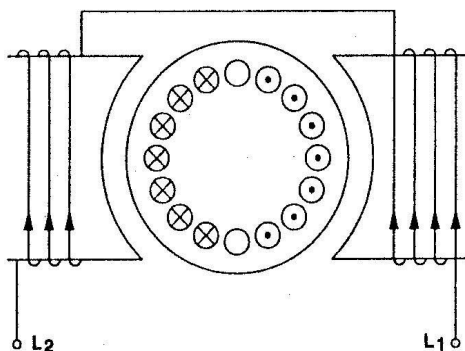


Fig. 9.3



Tipos de motores de indução

- a) Motor de campo distorcido;
- b) Motor monofásico de fase auxiliar.

Para dar o giro inicial do rotor, são usados comumente dois tipos de partida:

- a) de campo distorcido - motor de campo distorcido;

b) de fase auxiliar com capacitor - motor de fase auxiliar.

a) O motor de campo distorcido constitui-se pôr um rotor do tipo gaiola de esquilo e por um estator semelhante ao do motor universal. Contudo, no motor de campo destorcido, existe na sapata polar uma ranhura onde fica alojado um anel de cobre ou espira em curto-circuito. Por isso, este motor é conhecido também como motor de anel ou de espira em curto-circuito.

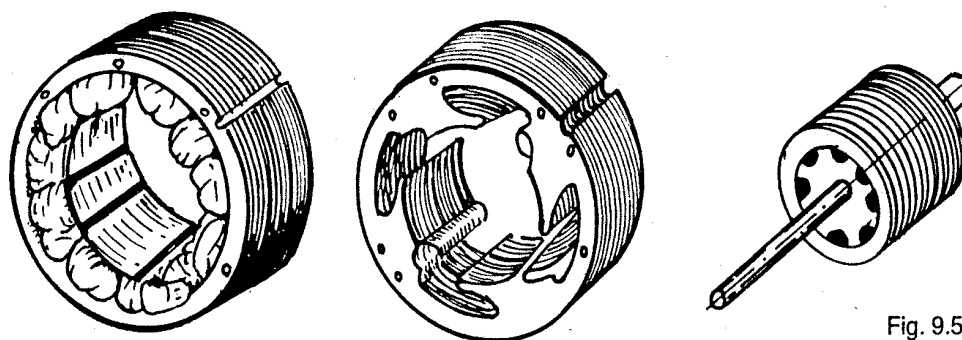


Fig. 9.5

Uma vez que, no motor de campo destorcido, o rotor é do tipo gaiola de esquilo, todas as ligações encontram-se no estator.

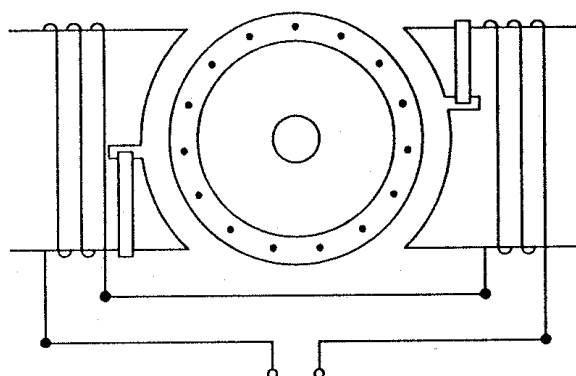


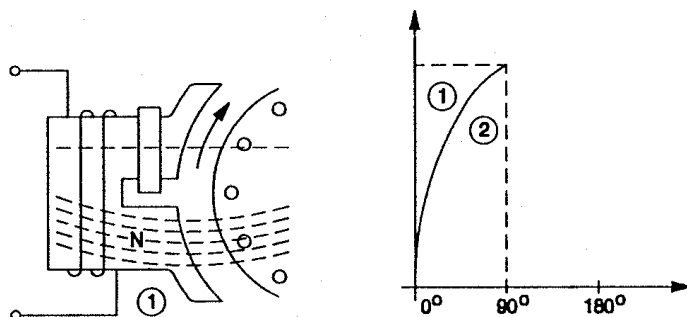
Fig. 9.6

Esse tipo de motor não é reversível. Sua potência máxima é de 300W ou 0,5cv; a velocidade é constante numa faixa de 900 a 3400rpm, de acordo com a frequência da rede e o número de polos do motor.

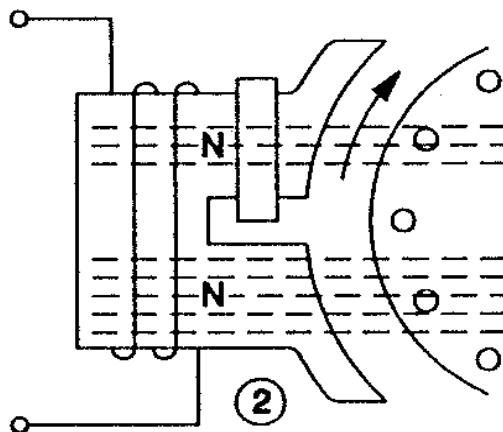
Esses motores são usados, por exemplo, em ventiladores, toca-discos, secadores de cabelo etc.

Funcionamento

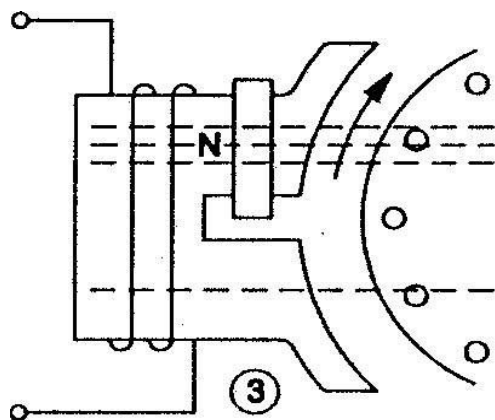
Quando o campo magnético do estator começa a aumentar (a partir de zero) as linhas de força cortam o anel em curto. A corrente induzida no anel gera um campo magnético que tende a se opor ao campo principal.



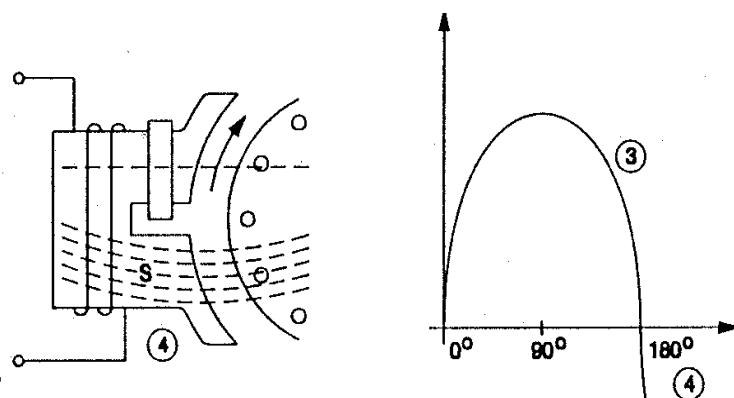
Com o aumento gradativo do campo até 90°, a maior parte das linhas de força fica concentrada fora da região do anel. Quando o campo atinge o máximo, ou seja, os 90°, não há campo criado pela bobina auxiliar, formada pelo anel, e ele se distribui na superfície da peça polar.



De 90° a 180° o campo vai se contraindo, e o campo da bobina auxiliar tende a se opor a essa contração, concentrando as linhas de força na região da bobina auxiliar.



De 0° a 180° o campo se movimenta ao longo da superfície polar, definindo assim o sentido de rotação.



De 180° a 360° o campo varia do mesmo modo que de 0° a 180° , porém em direção oposta.

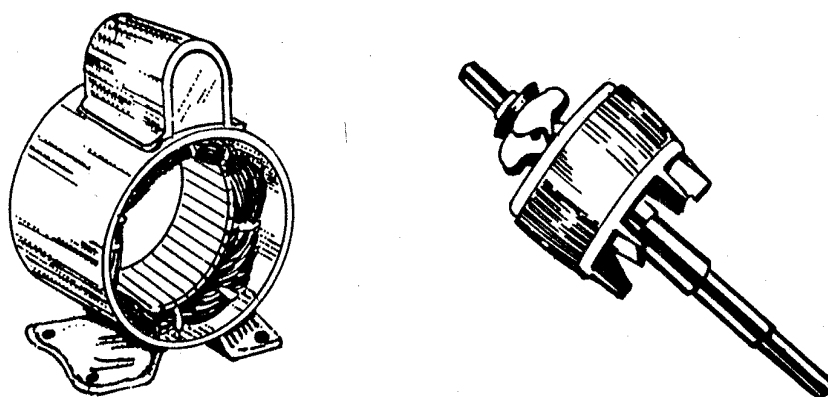
O movimento do campo produz um conjugado fraco, mas suficiente para dar partida ao motor. Como o conjugado é pequeno, esse tipo de motor é usado para alimentar cargas leves.

b) O motor monofásico de fase auxiliar é o de mais larga aplicação. Sua construção mecânica é igual à dos motores trifásicos de indução.

Assim, no estator há dois enrolamentos: um de fio mais grosso e com grande número de espiras (enrolamento principal ou de trabalho), e outro de fio mais fino e com poucas espiras (enrolamento auxiliar ou de partida).

O enrolamento principal fica ligado durante todo o tempo de funcionamento do motor, mas o enrolamento auxiliar só atua durante a partida. Esse enrolamento é desligado ao ser acionado um dispositivo automático localizado parte na tampa do motor e parte no rotor.

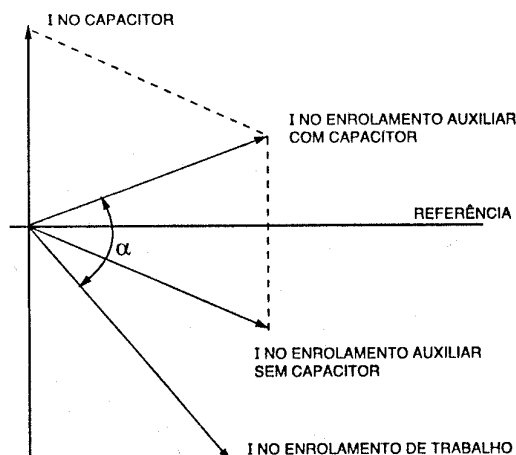
Geralmente, um capacitor é ligado em série com o enrolamento auxiliar, melhorando desse modo o conjugado de partida do motor.



Funcionamento - O motor monofásico de fase auxiliar funciona em função da diferença entre as indutâncias dos dois enrolamentos, uma vez que o número de espiras e a bitola dos condutores do enrolamento principal são diferentes em relação ao enrolamento auxiliar.

As correntes que circulam nesses enrolamentos são defasadas entre si. Devido à maior indutância no enrolamento de trabalho (principal), a corrente que circula por ele se atrasa em relação à que circula no enrolamento de partida (auxiliar), cuja indutância é menor.

O capacitor colocado em série com o enrolamento tem a função de acentuar ainda mais esse efeito e aumentar o conjugado de partida. Isso aumenta a defasagem, aproximando-a de 90° e facilitando a partida do motor.



Depois da partida, ou seja, quando o motor atinge aproximadamente 80% de sua rotação nominal, o interruptor automático se abre e desliga o enrolamento de partida. O motor, porém, continua funcionando normalmente.

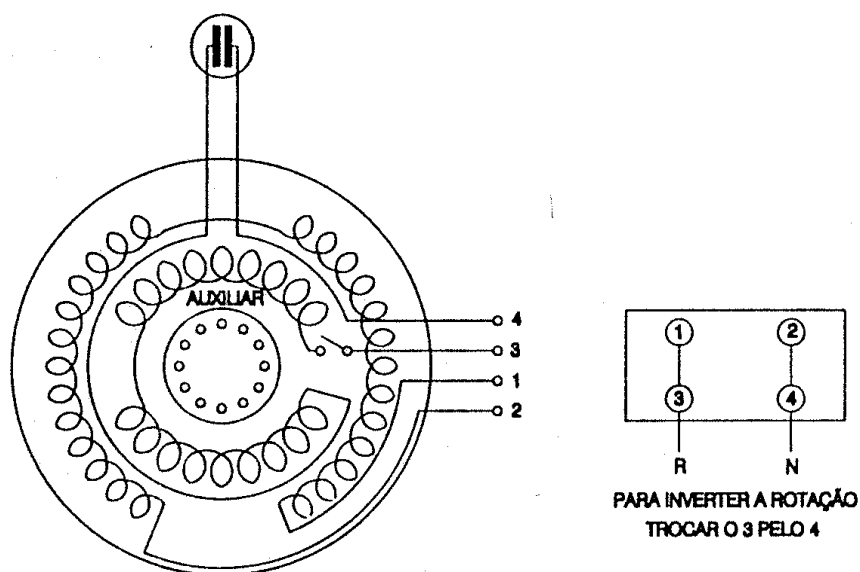
Ligação dos motores monofásicos

Os motores monofásicos de fase auxiliar podem ser construídos com dois, quatro ou seis terminais de saída.

Os motores de dois terminais funcionam em uma tensão (110 ou 220V) e em um sentido de rotação.

Os de quatro terminais são construídos para uma tensão (110 ou 220V) e dois sentidos de rotação, os quais são determinados conforme a ligação efetuada entre o enrolamento principal e o auxiliar.

De modo geral, os terminais do enrolamento principal são designados pelos números 1 e 2 e os do auxiliar, pôr 3 e 4.



Para inverter o sentido de rotação, é necessário inverter o sentido da corrente no enrolamento auxiliar, isto é, trocar o 3 pelo 4.

Os motores de seis terminais são construídos para duas tensões (110 e 220V) e para dois sentidos de rotação.

Para a inversão do sentido de rotação, inverte-se o sentido da corrente no enrolamento auxiliar.

O enrolamento principal é designado pelos números 1, 2, 3 e 4 e o auxiliar pôr 5 e 6. Para a inversão do sentido de rotação, troca-se o terminal 5 pelo 6.

As bobinas do enrolamento principal são ligadas em paralelo, quando a tensão é de 110V e, em série, quando a tensão é de 220V.

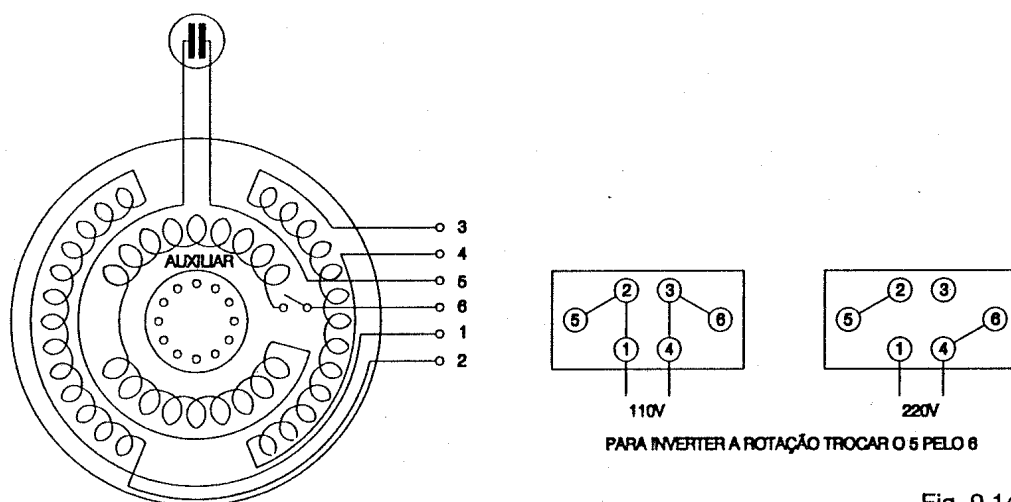


Fig. 9.14

O motor de fase auxiliar admite reversibilidade quando se retiram os terminais do enrolamento auxiliar para fora com cabos de ligação. Admite também chave de reversão, mas nesse caso, a reversão só é possível com o motor parado.

A potência desse motor varia de 1 /6cv até 1 cv, mas para trabalhos especiais existem motores de maior potência.

A velocidade desse tipo de motor é constante e, de acordo com a frequência e o número de polos, pode variar de 1425 a 351 5rpm.

MOTORES TRIFÁSICOS DE CA

Os motores trifásicos de CA são menos complexos que os motores de CC. Além disso, a inexistência de contatos móveis em sua estrutura garante seu funcionamento por um grande período, sem a necessidade de manutenção.

A velocidade dos motores de CA é determinada pela frequência da fonte de alimentação, o que propicia excelentes condições para seu funcionamento a velocidades constantes.

Os motores trifásicos de CA funcionam sob o mesmo princípio dos motores monofásicos, ou seja, sob a ação de um campo magnético rotativo gerado no estator, provocando com isto uma força magnética no rotor. Esses dois campos magnéticos agem de modo conjugado, obrigando o rotor a girar.

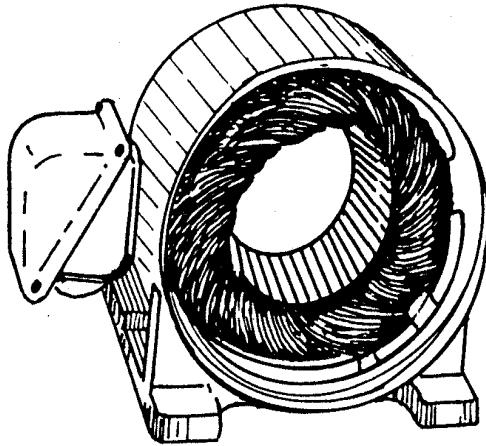
Tipos de motores trifásicos de CA

Os motores trifásicos de CA são de dois tipos: motores assíncronos (ou de indução) e motores síncronos.

Motor assíncrono de CA

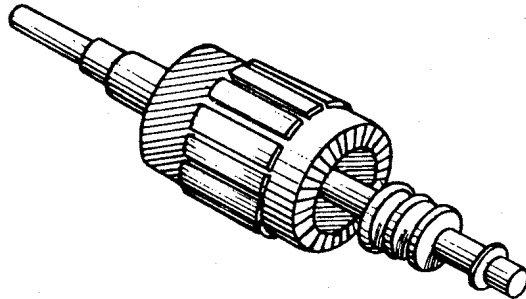
O motor assíncrono de CA é o mais empregado por ser de construção simples, resistente e de baixo custo. O rotor desse tipo de motor possui uma parte autossuficiente que não necessita de conexões externas.

Esse motor também é conhecido como motor de indução, porque as correntes de CA são induzidas no circuito do rotor pelo campo magnético rotativo do estator.



No estator do motor assíncrono de CA estão alojados três enrolamentos referentes às três fases. Estes três enrolamentos estão montados com uma defasagem de 120° .

O rotor é constituído por um cilindro de chapas em cuja periferia existem ranhuras onde o enrolamento rotórico é alojado.



Funcionamento

Quando a corrente alternada trifásica é aplicada aos enrolamentos do estator do motor assíncrono de CA, produz-se um campo magnético rotativo (campo girante).

A figura mostra a ligação interna de um estator trifásico em que as bobinas (fases) estão defasadas em 120° e ligadas em triângulo.

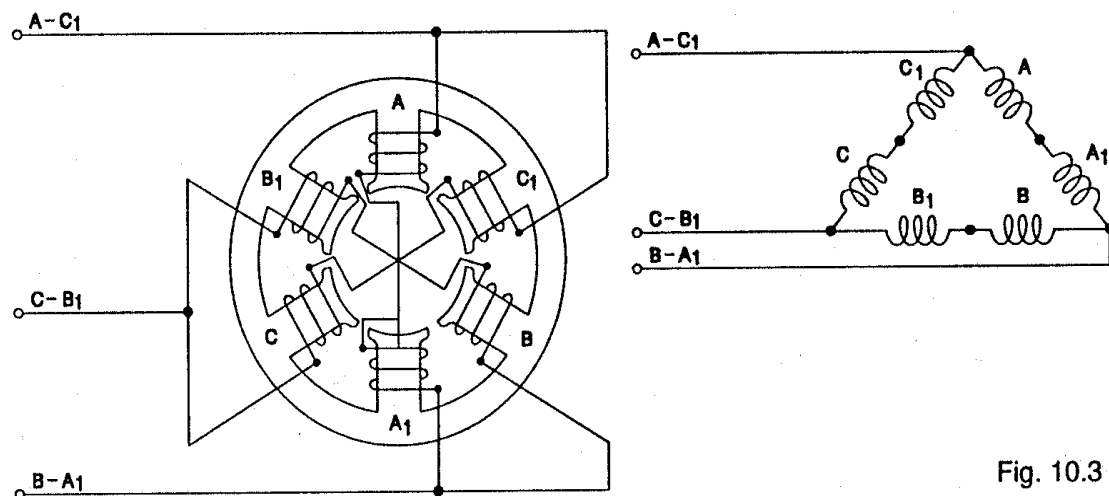


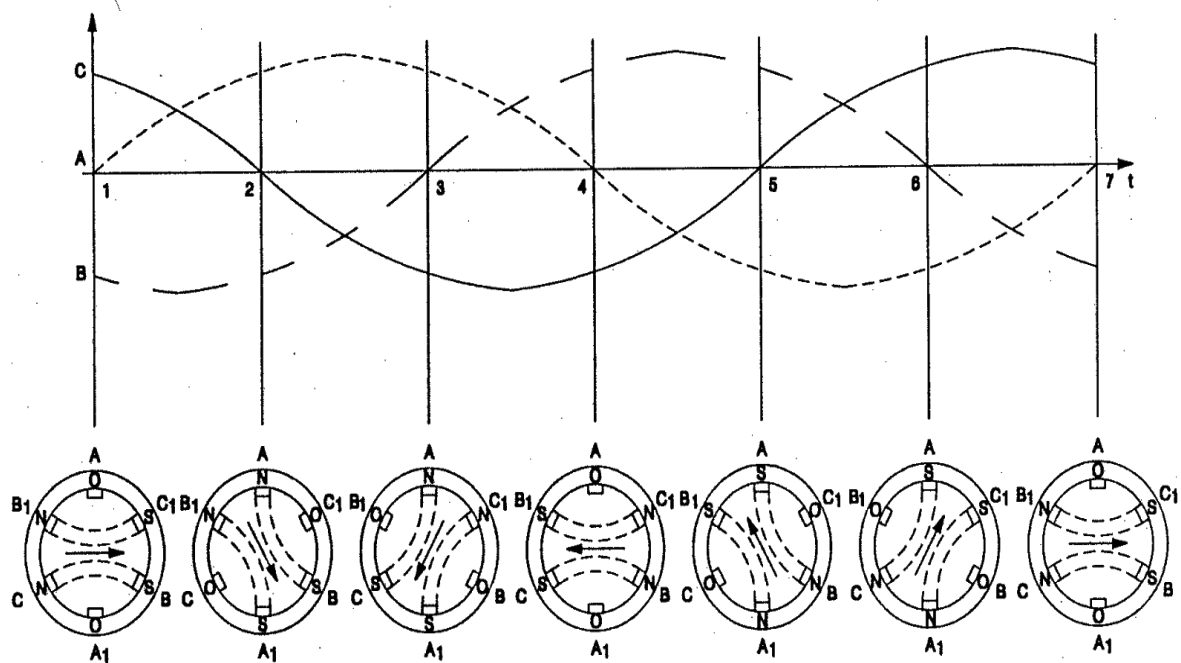
Fig. 10.3

O campo magnético gerado por uma bobina depende da corrente que no momento circula por ela. Se a corrente for nula, não haverá formação de campo magnético; se ela for máxima, o campo magnético também será máximo.

Como as correntes nos três enrolamentos estão com uma defasagem de 120° os três campos magnéticos apresentam também a mesma defasagem.

Os três campos magnéticos individuais combinam-se e disso resulta um campo único cuja posição varia com o tempo. Esse campo único, giratório, é que vai agir sobre o rotor e provocar seu movimento.

O esquema a seguir mostra como agem as três correntes para produzir o campo magnético rotativo num motor trifásico.



No esquema vemos que no instante 1, o valor da corrente A é nulo e, portanto, não há formação de campo magnético. Isto é representado pelo O (zero) colocado no polo do estator.

As correntes B e C possuem valores iguais, porém sentidos opostos. Como resultante, forma-se no estator, no instante 1, um campo único direcionado no sentido N $\rightarrow$ S.

No instante 2, os valores das correntes se alteram. O valor de C é nulo. A e B têm valores iguais, mas A é positivo e B é negativo. O campo resultante desloca-se em 60° em relação à sua posição anterior.

Quando um momento intermediário (d) é analisado, vemos que nesse instante as correntes O e A têm valores iguais e o mesmo sentido positivo. A corrente B, por sua vez, tem valor máximo e sentido negativo. Como resultado, a direção do campo fica numa posição intermediária entre as posições dos momentos 1 e 2.

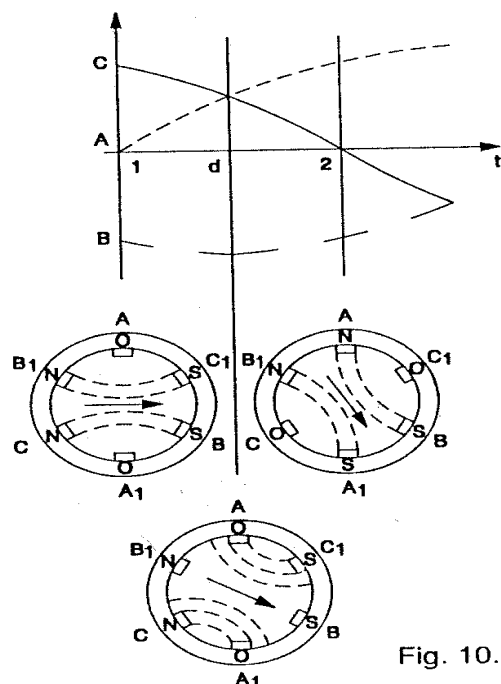


Fig. 10.5

Se analisarmos, em todos os instantes, a situação da corrente durante um ciclo completo, verificaremos que o campo magnético gira em torno de si. A velocidade de campo relaciona-se com a frequência das correntes conforme já foi demonstrado.

Tipos de motores assíncronos

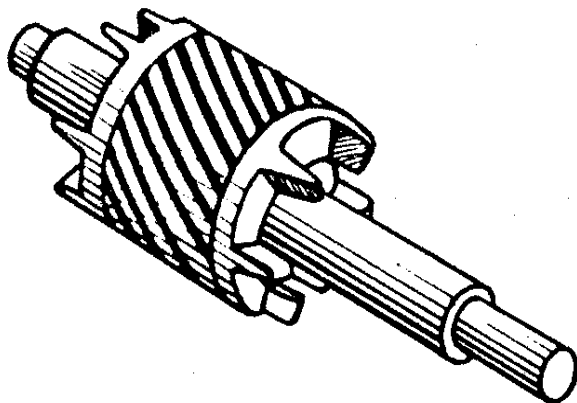
Os motores assíncronos diferenciam-se pelo tipo de enrolamento do rotor.

Assim, temos:

- motor com rotor em gaiola de esquilo;
- motor de rotor bobinado.

Motor com rotor em gaiola de esquilo

O motor com rotor em gaiola de esquilo tem um rotor constituído por barras de cobre ou de alumínio colocadas nas ranhuras do rotor. As extremidades são unidas por um anel também de cobre ou de alumínio.



Entre o núcleo de ferro e o enrolamento de barras não há necessidade de isolamento, pois as tensões induzidas nas barras do rotor são muito baixas.

Esse tipo de motor apresenta as seguintes características:

- velocidade que varia de 3 a 5% à vazio até a plena carga;
- ausência de controle de velocidade;
- possibilidade de ter duas ou mais velocidades fixas;
- baixa ou média capacidade de arranque, dependendo do tipo de gaiola de esquilo do rotor (simples ou dupla).

Esses motores são usados para situações que não exigem velocidade variável e que possam partir com carga. Por isso são usados em moinhos, ventiladores, prensas e bombas centrífugas, por exemplo.

No funcionamento do motor com rotor em gaiola de esquilo, o rotor, formado por condutores de cobre, é submetido ao campo magnético giratório, já explicado anteriormente. Como consequência, nesses condutores (barras da gaiola de esquilo) circulam correntes induzidas, devido ao movimento do campo magnético.

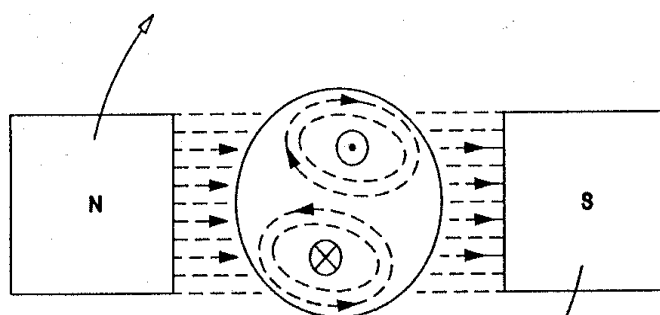


Fig. 10.7

Segundo a Lei de Lenz, as correntes induzidas tendem a se opor às variações do campo original. Por esse motivo, as correntes induzidas que circulam nos condutores formam um campo magnético de oposição ao campo girante.

Como o rotor é suspenso por mancais no centro do estator, ele girará juntamente com o campo girante e tenderá a acompanhá-lo com a mesma velocidade. Contudo, isso não acontece, pois o rotor permanece em velocidade menor que a do campo girante.

Se o rotor alcançasse a velocidade do campo magnético do estator, não haveria sobre ele tensão induzida, o que o levaria a parar.

Na verdade, é a diferença entre as velocidades do campo magnético do rotor e a do campo do estator que movimenta o rotor. Essa diferença recebe o nome de escorregamento e é dada percentualmente por:

$$S = \frac{V_S - V_R}{V_S} \cdot 100$$

Onde:

- V_S é a velocidade de sincronismo
- V_R é a velocidade real do rotor

Quando a carga do motor é aumentada, ele tende a diminuir a rotação e a aumentar o escorregamento. Consequentemente, aumenta a corrente induzida nas barras da gaiola de esquilo e o conjugado do motor.

Desse modo, o conjugado do motor é determinado pela diferença entre a velocidade do campo girante e a do rotor.

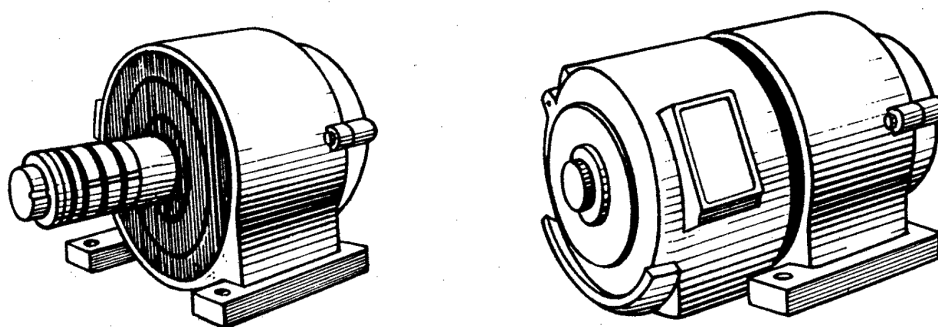
Motor de rotor bobinado

O motor com rotor bobinado trabalha em rede de corrente alternada trifásica. Permite um arranque vigoroso com pequena corrente de partida.

Ele é indicado quando se necessita de partida com carga e variação de velocidade, como é o caso de compressores, transportadores, guindastes e pontes rolantes.

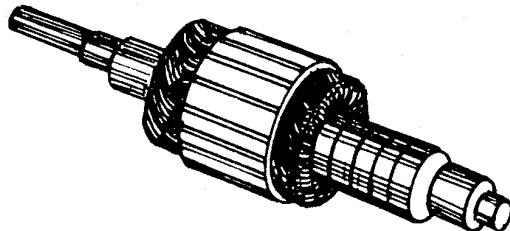
O motor de rotor bobinado é composto por um estator e um rotor.

O estator é semelhante ao dos motores trifásicos já estudados. Apresenta o mesmo tipo de enrolamentos, ligações e distribuição que os estatores de induzido em curto.



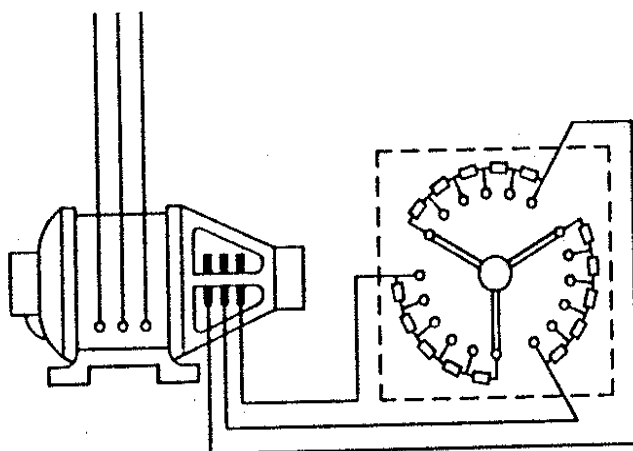
O rotor bobinado usa enrolamentos de fios de cobre nas ranhuras, tal como o estator.

O enrolamento é colocado no rotor com uma defasagem de 120° , e seus terminais são ligados a anéis coletores nos quais, através das escovas, tem-se acesso ao enrolamento.



Ao enrolamento do rotor bobinado deve ser ligado um reostato (reostato de partida) que permitirá regular a corrente nele induzida, isso torna possível à partida sem grandes picos de corrente e possibilita a variação de velocidade dentro de certos limites.

O reostato de partida é composto de três resistores variáveis, conjugados por meio de uma ponte que liga os resistores em estrela, em qualquer posição de seu curso.



O motor trifásico de rotor bobinado é recomendado nos casos em que se necessita de partidas a plena carga. Sua corrente de partida apresenta baixa intensidade: apenas uma vez e meia o valor da corrente nominal.

É também usado em trabalhos que exigem variação de velocidade, pois o enrolamento existente no rotor, ao fazer variar a intensidade da corrente que percorre o induzido, faz variar a velocidade do motor.

Deve-se lembrar, porém, que o motor de rotor bobinado é mais caro que os outros devido ao elevado custo de seus enrolamentos e ao sistema de conexão das bobinas do rotor, tais como: anéis, escovas, porta-escovas, reostato.

Em pleno regime de marcha, o motor de rotor bobinado apresenta um deslizamento maior que os motores comuns.

É importante saber que há uma relação entre o enrolamento do estator e o do rotor. Essa relação é de 3:1, ou seja, se a tensão do estator for 220V, a do rotor em vazio será de $220 \div 3$, ou 73V aproximadamente.

A mesma relação pode ser aplicada às intensidades da corrente. Se a intensidade no estator for 10A, o rotor será percorrido por uma corrente de $10 \times 3 = 30A$. Consequentemente, a seção do fio do enrolamento deve ser calculada para essa corrente. Por isso, os enrolamentos dos induzidos têm fios de maior seção que os do indutor.

Observação

É importante verificar na plaqueta do motor as correntes do estator e do rotor.

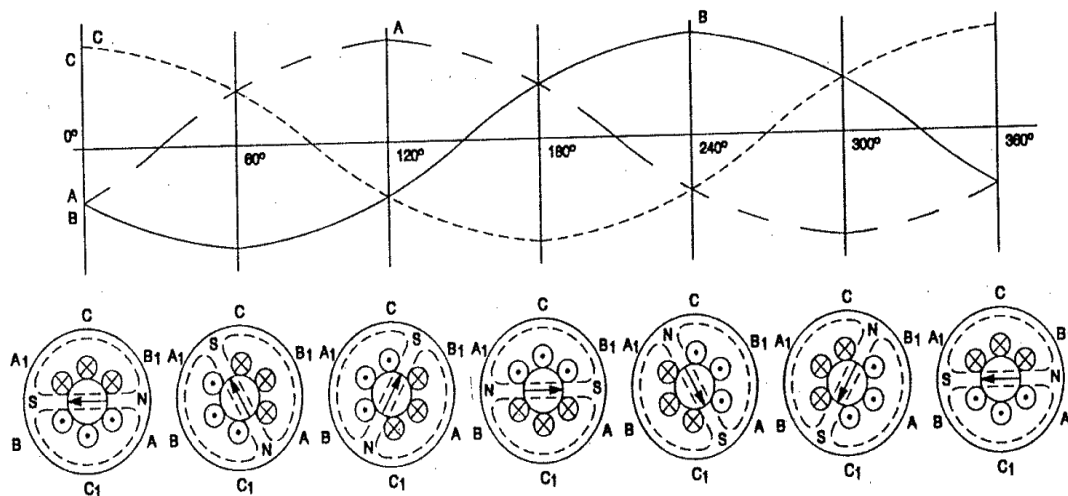
Funcionamento

O princípio de funcionamento do motor com rotor bobinado é o mesmo que o do motor com rotor em gaiola de esquilo. A única diferença é que a resistência do enrolamento do rotor bobinado pode ser alterada, pois esse tipo de rotor é fechado em curto na parte externa, através de reostatos. Isso permite o controle sobre o valor da corrente que circula no enrolamento do rotor e, portanto, a variação de velocidade, dentro de certos limites, mantém o conjugado constante.

Em resumo, pode-se dizer que, para a formação de um campo girante homogêneo, devem existir duas condições:

- o estator deve ser dotado de três bobinas deslocada entre si de 120° ;
- nas três bobinas do estator devem circular três correntes alternadas senoidais defasadas em 120° , ou seja, $1/3$ do período.

Na figura, vemos que o campo magnético no estator gira em sentido horário, porque as três correntes alternadas tornam-se ativas, sequencialmente, nos três enrolamentos do estator, também em sentido horário.



Se invertermos a sequência de fase nos enrolamentos do estator, por meio de dois terminais de ligação, o campo gira em sentido contrário, isto é, em sentido anti-horário.

É desta maneira que se inverte o sentido de rotação do campo girante e, conseqüentemente, a rotação dos motores trifásicos.

Para determinar a velocidade de rotação do campo girante, é necessário estabelecer a relação entre frequência (f) e o número de pares de polos (p) pela seguinte fórmula:

$$N = f \cdot 60(\text{rpm})$$

Motor síncrono de CA

O motor síncrono de CA apresenta a mesma construção de um alternador, e ambos têm o rotor alimentado por CC. A diferença é que o alternador recebe energia mecânica no eixo e produz CA no estator; o motor síncrono, por outro lado, recebe energia elétrica trifásica CA no estator e fornece energia mecânica ao eixo.

Esse tipo de motor apresenta as seguintes características:

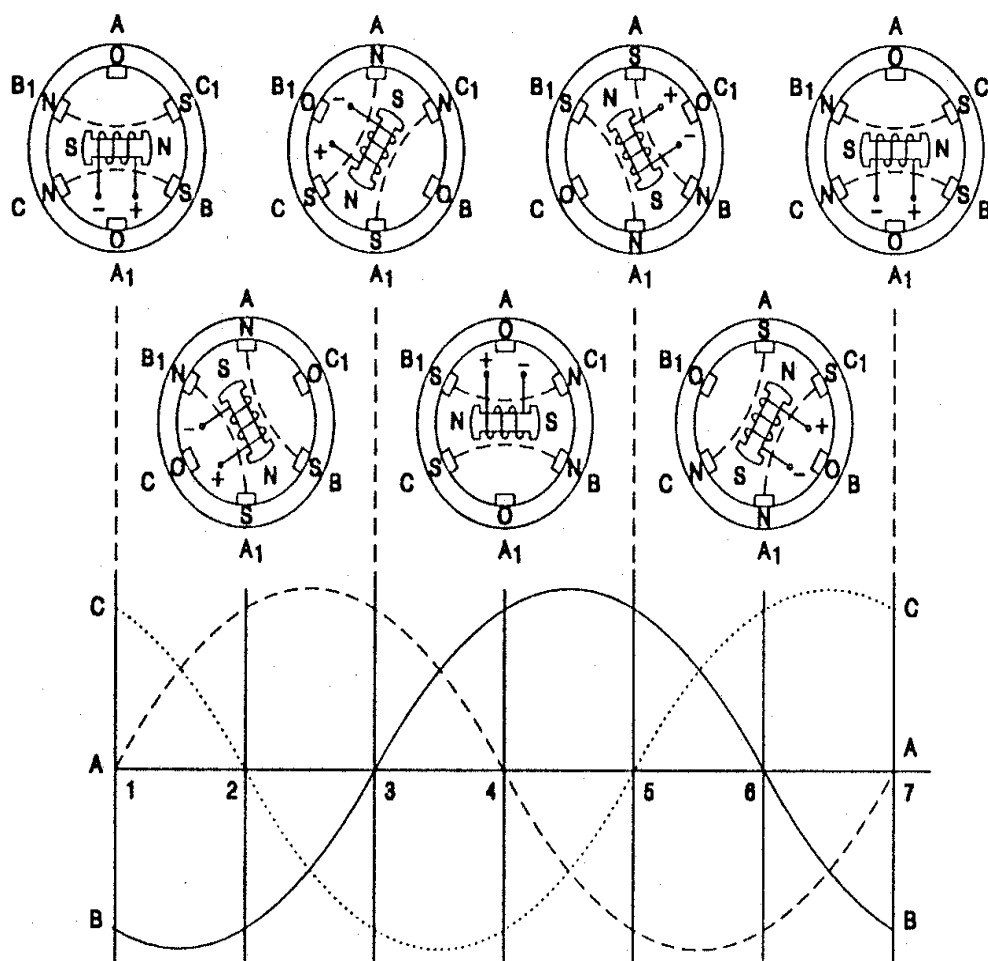
- velocidade constante (síncrona);
- velocidade dependente da frequência da rede;
- baixa capacidade de arranque.

Por essas características, o motor síncrono é usado quando é necessária uma velocidade constante.

Funcionamento

A energia elétrica de CA no estator cria o campo magnético rotativo, enquanto o rotor, alimentado com CC, age como um ímã.

Um ímã suspenso num campo magnético gira até ficar paralelo ao campo. Quando o campo magnético gira, o ímã gira com ele. Se o campo rotativo for intenso, a força sobre o rotor também o será. Ao se manter alinhado ao campo magnético rotativo, o rotor pode girar uma carga acoplada ao seu eixo.



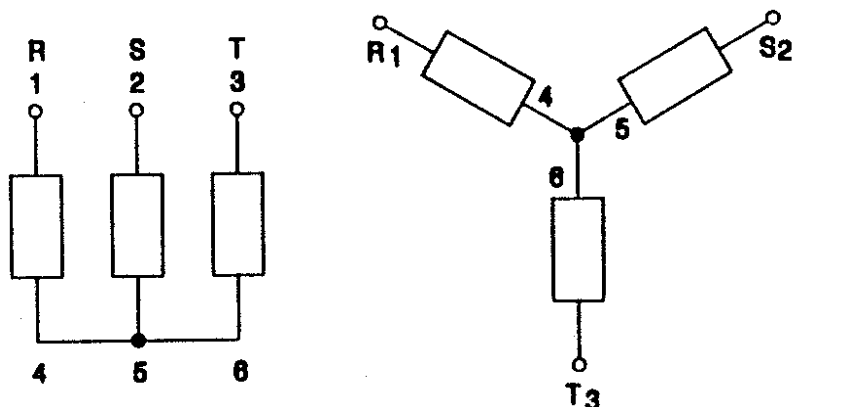
Quando parado, o motor síncrono não pode partir com aplicação direta de corrente CA trifásica no estator, o que é uma desvantagem. De modo geral, a partida é feita como a do motor de indução (ou assíncrono). Isso porque o rotor do motor síncrono é constituído, além do enrolamento normal, por um enrolamento em gaiola de esquilo.

Ligação dos motores trifásicos

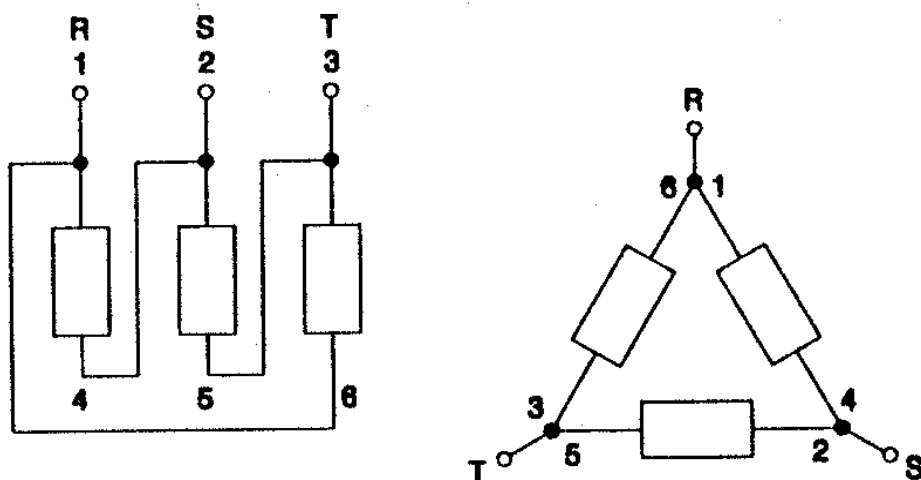
Como já foi estudado, o motor trifásico tem as bobinas distribuídas no estator e ligadas de modo a formar três circuitos distintos, chamados de fases de enrolamento.

Essas fases são interligadas formando ligações em estrela (Y) ou em triângulo (A), para o acoplamento a uma rede trifásica. Para isso, deve-se levar em conta a

tensão que irão operar. Na ligação em estrela, o final das fases se fecha em si, e o início se liga à rede.



Na ligação em triângulo, o início de uma fase é fechado com o final da outra, e essa junção é ligada à rede.



Os motores trifásicos podem dispor de 3, 6, 9 ou 12 terminais para a ligação do estator à rede elétrica. Assim, eles podem operar em uma, duas, três ou quatro tensões, respectivamente. Todavia, é mais comum encontrar motores com 6 e 12 terminais.

Os motores trifásicos com 6 terminais só podem ser ligados em duas tensões uma a 3 maior do que a outra. Por exemplo: 220/380V ou 440/760V.

Esses motores são ligados em triângulo na menor tensão e, em estrela, na maior tensão. Afigura mostra uma placa de ligação desse tipo de motor.

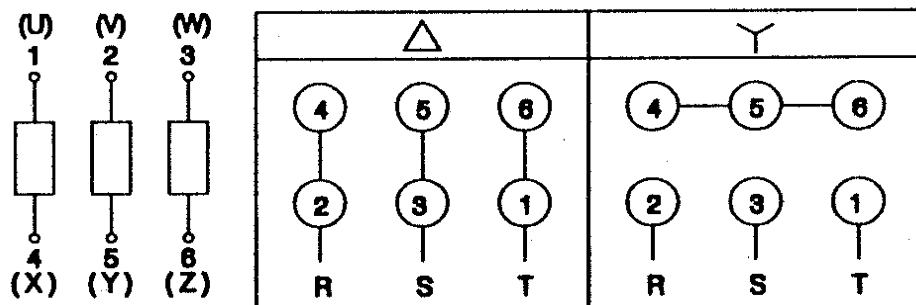


Fig. 10.15

Os motores com 12 terminais, por sua vez, têm possibilidade de ligação em quatro tensões: 220V, 380V, 440V e 760V.

A ligação à rede elétrica é feita da seguinte maneira:

para 220V

para 440V

YY para 380

Y para 760

Veja a representação da placa de ligação desse tipo de motor.

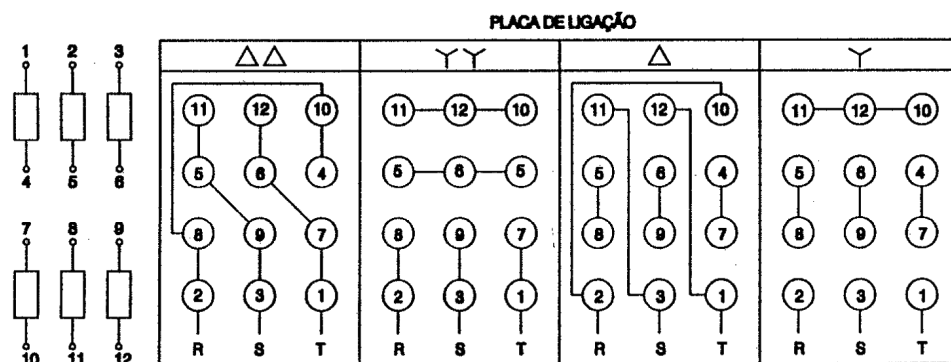


Fig. 10.16

Padronização da tensão e da dimensão dos motores trifásicos assíncronos e síncronos.

Os motores trifásicos são fabricados com diferentes potências e velocidades para as tensões padronizadas da rede, ou seja, 220V, 380V, 440V e 760V, nas frequências de 50 e 60Hz.

No que se refere às dimensões, os fabricantes seguem as normas NEMA, IEC e da ABNT.

MÁQUINAS DE CORRENTE CONTÍNUA

As máquinas de corrente contínua resultaram do desenvolvimento tecnológico e das exigências cada vez maiores dos processos automáticos de produção. Essas máquinas, por sua grande versatilidade, são largamente usadas na indústria moderna.

Geradores e motores

A máquina é um motor, quando transforma energia elétrica em energia mecânica. Quando transforma energia mecânica em energia elétrica, ela é um gerador.

Do ponto de vista da construção, motores e geradores de CC são iguais. Assim, um motor de CC pode funcionar como gerador de CC e vice-versa.

Construção

As máquinas de CC são compostas basicamente por duas partes: o estator e o rotor.

O estator (ou carcaça) é a parte fixa da máquina. Nele alojam-se as bobinas de campo cuja finalidade é conduzir o fluxo magnético.

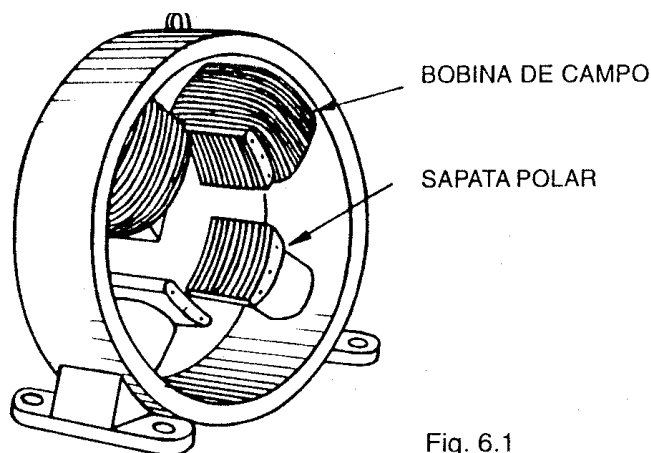


Fig. 6.1

O estator é formado por:

- polos de excitação (ou sapatas polares) - constituídos por condutores enrolados sobre o núcleo de chapas de aço laminadas;
- polos de comutação - têm a função de evitar o deslocamento da linha neutra em carga e reduzir a possibilidade de centelhamento. Localizam-se na região interpolar e por eles passa a corrente da armadura (rotor);
- conjunto porta-escovas - aloja as escovas feitas de material condutor e tem a função de realizar a ligação elétrica entre a armadura e o exterior.

O rotor é a parte móvel que abriga as bobinas ligadas ao comutador. É formado pelas seguintes partes:

- induzido (ou armadura) - fica dentro do estator. O mais usado é o do tipo tambor. É constituído por chapas de aço laminadas em cujas ranhuras se acomoda o enrolamento;
- comutador - constituído por lâminas de cobre isoladas uma das outras por lâminas de micas; sua função é transferir a energia do enrolamento da armadura para o exterior;
- eixo - é o elemento que transmite a potência mecânica convertida pela máquina.

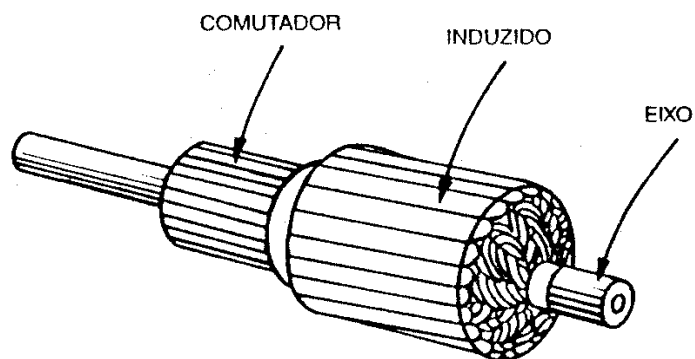


Fig. 6.2

Gerador de CC - princípio de funcionamento

O funcionamento do gerador de CC baseia-se no princípio da indução eletromagnética, ou seja, quando um condutor elétrico é submetido a um campo magnético, surge no condutor uma tensão induzida.

Além disso, a magnitude dessa tensão induzida é diretamente proporcional à intensidade do fluxo magnético e à taxa de sua variação.

O gerador de CC funciona segundo esses dois princípios. Assim, ao ser girado com velocidade (n), o induzido (rotor) faz os condutores cortarem as linhas de força magnética que formam o campo de excitação do gerador CC.

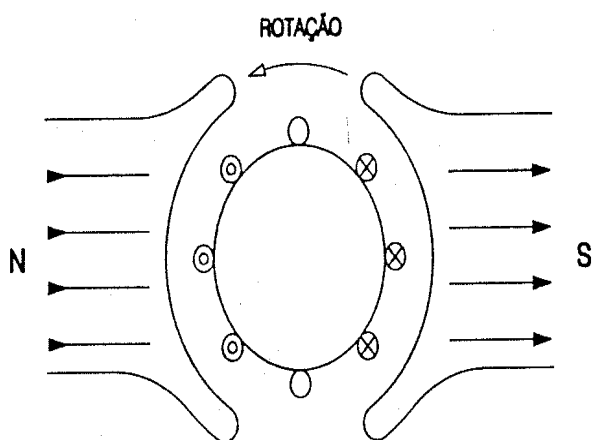


Fig. 6.3

Nos condutores da armadura aparece, então, uma força eletromotriz induzida. Essa força depende da velocidade de rotação (n) e do número de linhas magnéticas que tais condutores irão cortar, ou do fluxo magnético (Φ) por polo do gerador.

Representando a tensão induzida por E (quando o gerador está em vazio), conclui-se:

$$E = K \cdot n \cdot \Phi$$

Onde

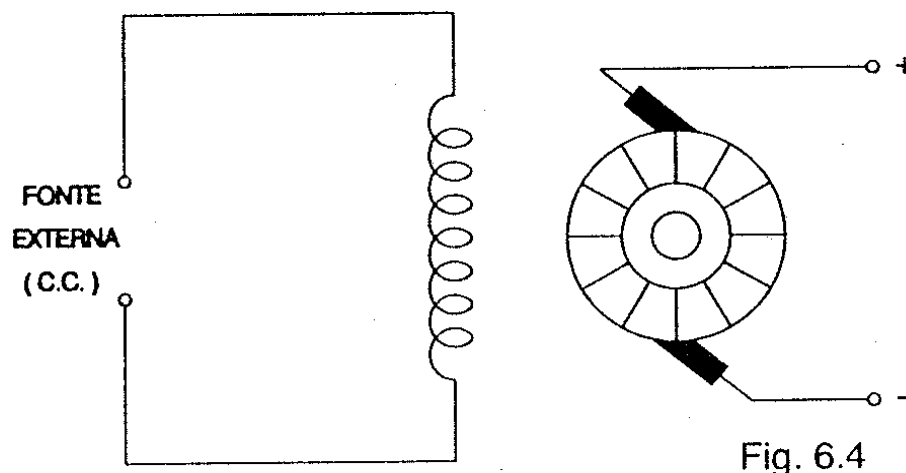
- k é uma constante que depende das características construtivas da máquina
- n é a velocidade de rotação
- Φ é o fluxo magnético

Classificação dos geradores de CC

Os geradores de CC são classificados de acordo com o tipo de ligação (excitação) para a alimentação de suas bobinas de campo. Assim, temos:

- Geradores de CC com excitação independente, quando a corrente de alimentação vem de uma fonte externa;
- Geradores com auto excitação, quando a corrente de excitação vem do próprio gerador.

No gerador de CC com excitação independente, as bobinas de campo são construídas com várias espiras de fio relativamente fino. Essas espiras são alimentadas (excitadas) por uma fonte externa, como mostra a representação esquemática da figura.



Quando esse gerador começa a funcionar, mesmo sem excitação, aparece uma força eletromotriz (fem) de pequeno valor devido ao magnetismo residual.

Durante a excitação gradativa do gerador, ocorre também um aumento gradativo do fluxo magnético. Consequentemente, a tensão gerada eleva-se de modo gradual. Isso ocorre até que haja a saturação magnética. Quando isso acontece, o acréscimo da corrente excitadora não aumenta o fluxo magnético.

Quando o gerador é posto em carga, a tensão por ele fornecida diminui.

Isto se deve a três fatores:

- resistência do enrolamento do induzido;
- resistência de contato nas escovas;
- Diminuição do fluxo indutor pela reação do induzido.

Nesses tipos de geradores, para que a tensão se mantenha constante, a cada aumento de carga deve haver, manual ou automaticamente, um aumento da excitação. Um exemplo desse tipo de gerador de CC é o dínamo do automóvel.

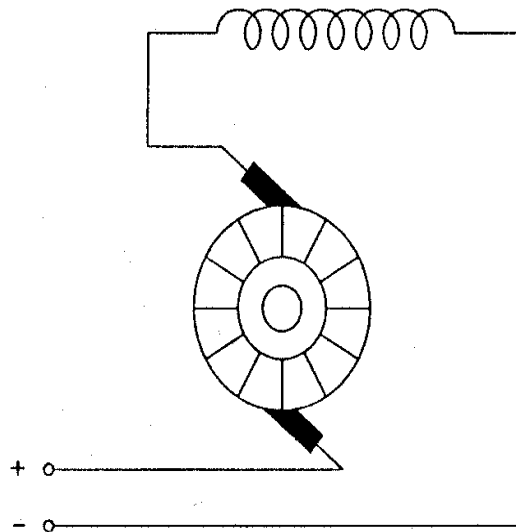
No gerador de CC auto excitado, as bobinas de campo são ligadas ao induzido. Assim, o próprio gerador se autoalimenta.

Tipos de geradores

Conforme o tipo de ligação entre as bobinas de campo e o induzido, os geradores são classificados como:

- gerador de CC em série;
- gerador de CC em paralelo;
- gerador de CC misto.

No gerador de CC em série, as bobinas de campo são constituídas por poucas espiras de fio relativamente grosso, ou seja, com bitola suficiente para suportar a corrente de armadura. As espiras são ligadas em série com o induzido.



É preciso notar que nesse gerador a corrente de carga é a própria corrente de excitação. No trabalho em vazio a fem é gerada apenas pelo magnetismo residual das sapatas polares.

Ao acrescentar carga ao gerador, uma corrente circula pela carga e pela bobina de excitação, fazendo com que aumente o fluxo indutor e, por conseguinte, a tensão gerada.

Ao elevar-se a tensão, a corrente aumenta e, conseqüentemente, aumenta também o fluxo indutor. Isso se repete até que se verifique a saturação magnética, quando a tensão se estabiliza. Observação

Antes da saturação magnética, a tensão pode alcançar valores perigosos.

Para evitar que a tensão se eleve, quando se acrescenta uma carga ao circuito, coloca-se um reostato em paralelo com a excitação.

No gerador de CC em paralelo, as bobinas de campo são ligadas em paralelo com o induzido. Elas são formadas por várias espiras de fio relativamente fino, cuja bitola varia de acordo com a potência do motor. Essa bitola deve ser suficiente para suportar a corrente do campo paralelo.

A corrente de excitação provém de uma pequena parcela da corrente do gerador e pode

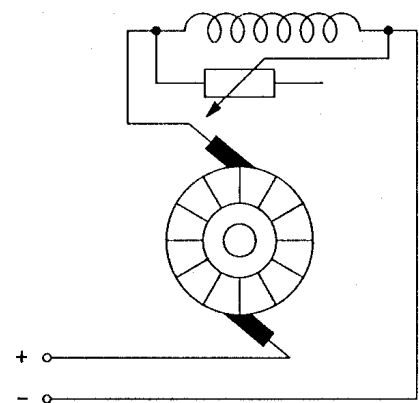


Fig. 6.6

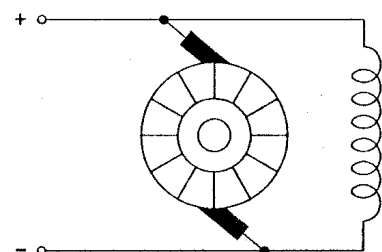


Fig. 6.7

ser controlada por um reostato ligado em série com o campo magnético.

Assim que o gerador entra em funcionamento, a tensão geradora em vazio é devida ao magnetismo residual. Essa tensão faz circular uma corrente pela bobina de excitação, o que, por sua vez, reforça o fluxo magnético e eleva a tensão gerada até o ponto de saturação do fluxo. E neste momento que a tensão se estabiliza.

A corrente do gerador deve alimentar tanto a carga como a bobina de campo, pois ambas estão em paralelo. Assim, a tensão gerada diminui com o aumento de carga.

A cada aumento de carga há uma diminuição na excitação e, conseqüentemente, uma queda na tensão. Se ocorrer um curto, ocorre também uma elevação instantânea da corrente. Em seguida, o gerador deixa de gerar energia, pois a tensão nos terminais será nula, não havendo, portanto, excitação.

No gerador de CC misto, a excitação é efetuada por dois enrolamentos. Um deles é constituído por poucas espiras de fio grosso ligadas em série com o induzido. O outro é formado por várias espiras de fio fino ligadas em paralelo com o induzido.

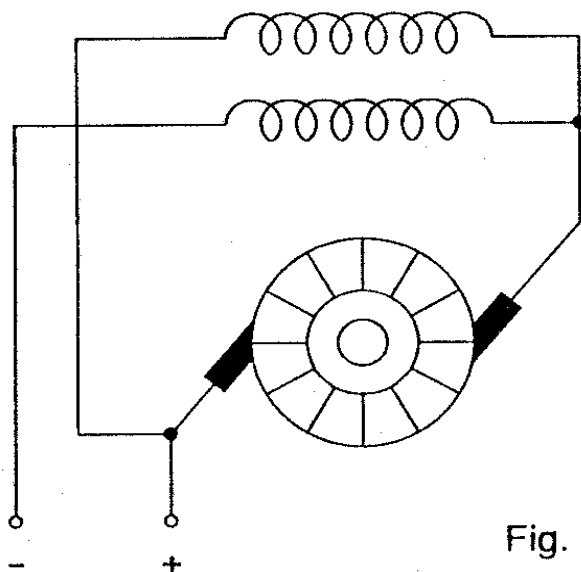


Fig. 6.8

Nesse gerador, a tensão mantém-se constante tanto em carga como em vazio, já que ele reúne as características dos geradores em série e em paralelo.

A tensão gerada é controlada através de reostato em série com a bobina de campo em paralelo e de reostato em paralelo com a bobina de campo em série.

Observação

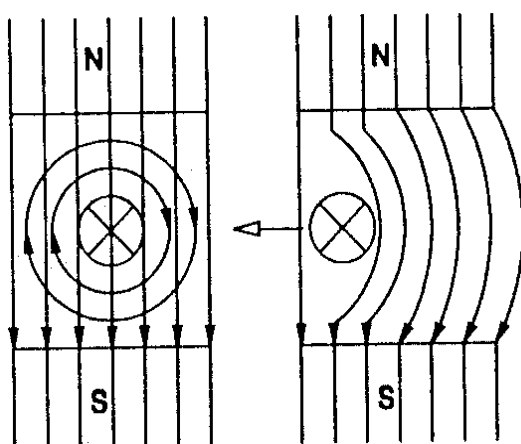
A relação entre as tensões em vazio e em carga de qualquer tipo de gerador é denominada de tensão de regulação e é dada em porcentagem pela seguinte fórmula:

$$V_R = \frac{E_o - E_t}{E_t}$$

Motor de CC Funcionamento

O funcionamento do motor de corrente contínua baseia-se no princípio da reação de um condutor, colocado num campo magnético fixo, ao ser percorrido por uma corrente elétrica.

A interação entre o campo magnético fixo e o campo magnético produzido pela corrente, que circula no condutor, provoca o aparecimento de uma força. É essa força que expulsa o condutor para fora do campo magnético fixo. A figura ilustra esse princípio.



De acordo com a figura, de um lado do condutor há uma diminuição das linhas magnéticas. Do lado oposto há um acúmulo dessas linhas. Estas provocam o aparecimento da força magnética que é a responsável pelo movimento do condutor.

O motor de corrente contínua funciona sob o mesmo princípio. Nele existe um campo magnético fixo formado pelas bobinas de campo. Há também condutores instalados nesse campo (no rotor), os quais são percorridos por correntes elétricas.

A figura mostra como aparece o movimento girante em motores de CC.

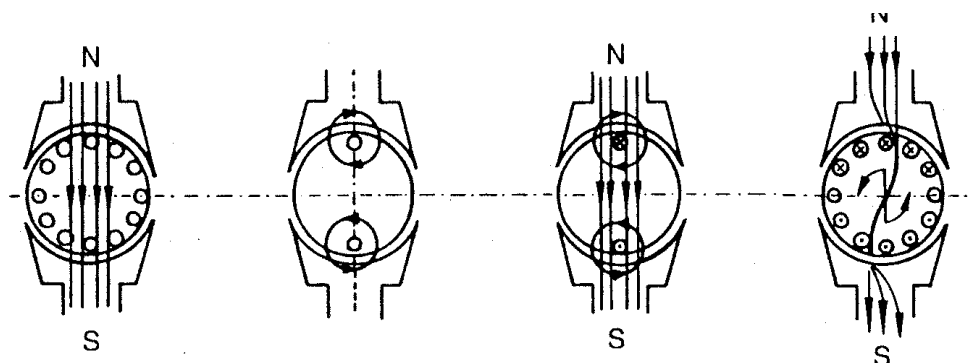


Fig. 6.10

Podemos observar que a corrente que circula pela espira faz este movimento nos dois sentidos: por um lado, a corrente está entrando e, por outro, saindo. Isso provoca a formação de duas forças contrárias de igual valor (binário), das quais resulta um movimento de rotação (conjugado), uma vez que a espira está presa à armadura e suspensa por mancal.

Essas forças não são constantes em todo giro. À medida que o condutor vai se afastando do centro do polo magnético, a intensidade das forças vai diminuindo.

Nos motores, para que haja força constante, as espiras colocadas nas ranhuras da armadura devem estar defasadas entre si e interligadas ao circuito externo através do coletor e escova.

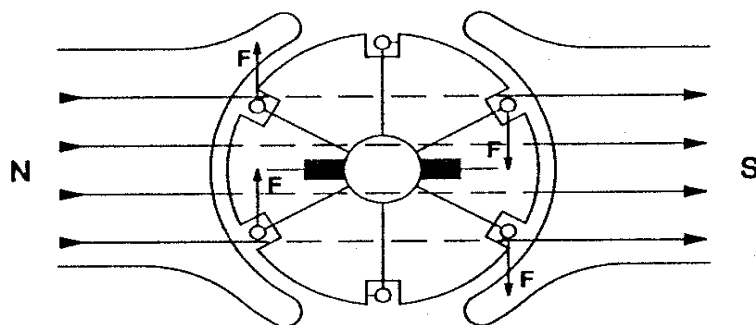


Fig. 6.11

Quando o rotor do motor de CC começa a girar, condutores de cobre cortam as linhas magnéticas do campo. Em consequência, uma força eletromotriz induzida

força a circulação de corrente no circuito da armadura, no sentido contrário à corrente de alimentação do motor.

A força eletromotriz induzida, por ser de sentido contrário à tensão aplicada, recebe o nome de força contra-eletromotriz (f_{cem}). O valor da força contra-eletromotriz induzida (E_o) é dado por:

$$E_o = n \cdot k$$

Onde

- n é a rotação
- é o fluxo magnético
- k é a constante da máquina

A corrente total que circulará pela armadura (I_a) será dada por:

$$I_a = \frac{E - E_o}{R_a}$$

Onde:

- E é a tensão aplicada
- E_o é a força contra-eletromotriz
- R_a é a resistência

Tipos de motores

Como acontece com os geradores, os motores também são classificados segundo o tipo de ligação de seus campos, ou seja: motor de CC em série, motor de CC em paralelo, motor de CC misto.

No motor de CC em série, as bobinas são constituídas por espiras de fio relativamente grossos ligados em série com o rotor (induzido).

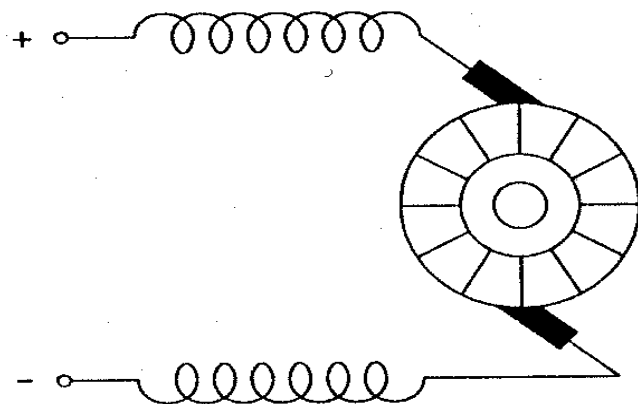


Fig. 6.12

Por causa da ação magnética, nesse motor, o conjugado é diretamente proporcional ao fluxo indutores à corrente que circula pelo induzido.

Esses motores possuem arranque vigoroso. A partida e a regulação de velocidade podem ser feitas por meio do reostato intercalado no circuito.

No arranque, o valor da corrente e, por consequência, o fluxo magnético são elevados. Isso fornece um alto conjugado ao motor.

Esse tipo de motor é indicado para casos em que é necessário partir com toda a norma por isso, eles são usados em guindastes, elevadores e locomotivos, por exemplo. Como tendem a disparar (aumentar a rotação), não é recomendável que esses motores funcionem a vazio, ou seja, sem carga.

No motor de CC em paralelo, as bobinas de campo são constituídas por muitas espiras de fio relativamente fino e ligadas em paralelo com o induzido.

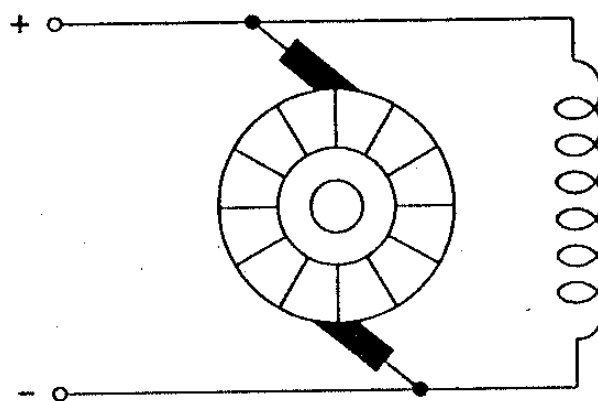


Fig. 6.13

O reostato de armadura (R_a), ligado em série com o induzido, limita a corrente no momento da partida. E o reostato de campo (R_c), ligado em série com as bobinas do campo magnético, regula a velocidade dentro de determinado limite. Na partida, o cursor do reostato R_c deve estar no ponto médio para possibilitar o ajuste de velocidade. A resistência do reostato R_a , por sua vez, deve estar intercalada no circuito.

Pela ação eletromagnética, o conjugado é proporcional ao fluxo e à corrente. No momento da partida, a corrente no induzido deve ser limitada pelo reostato, o que diminui o conjugado. Por isso, recomenda-se que esse tipo de motor inicie seu funcionamento em vazio, ou seja, sem carga.

O motor de CC em paralelo é empregado, por exemplo, em máquinas-ferramentas.

No motor de CC misto, as bobinas de campo são constituídas por dois enrolamentos montados na mesma sapata polar. Um desses enrolamentos é de fio relativamente grosso e se liga em série com o induzido. O outro, de fio relativamente fino, se liga em paralelo com o induzido.

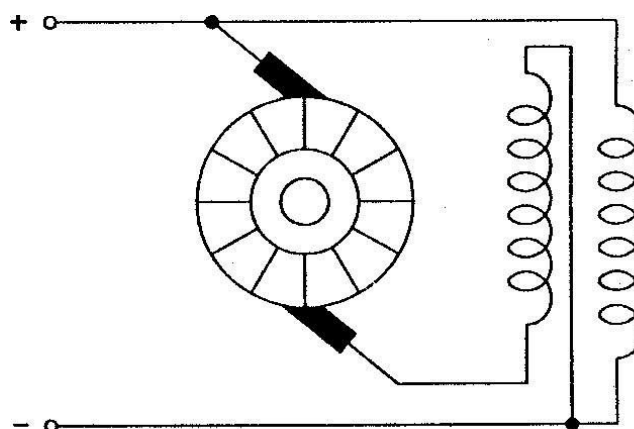


Fig. 6.14

Esse tipo de motor apresenta características comuns ao motor em série e ao motor em paralelo.

Assim, seu arranque é vigoroso e sua velocidade estável em qualquer variação de carga. Pode também partir com carga.

Na partida, a resistência do reostato do campo paralelo (RC) deve estar totalmente intercalada no circuito. Isso permite que o motor se comporte como motor em série sem o perigo de disparar, mesmo quando a carga é pequena ou nula.

Por sua vez, o reostato da armadura (Ra), ligado em série com o induzido, limita a corrente no momento da partida. Após a partida, o cursor RC é deslocado para ajuste da velocidade. Esses motores são empregados em prensas, estamparia etc.

Comutação

Nos motores e geradores de corrente contínua, a ligação da armadura com o circuito externo é feita por meio de escovas que se apoiam sobre as lâminas do coletor.

Quando se alimenta o motor ou se retira a corrente gerada pelo gerador, as escovas fecham, durante a rotação, no mínimo, duas lâminas do coletor em curto. Isso provoca um faiscamento.

Esse faiscamento acontece porque, no momento em que a escova está comutando de uma lâmina para outra, a corrente que circula na bobina tem seu sentido invertido. A figura ilustra esta situação.

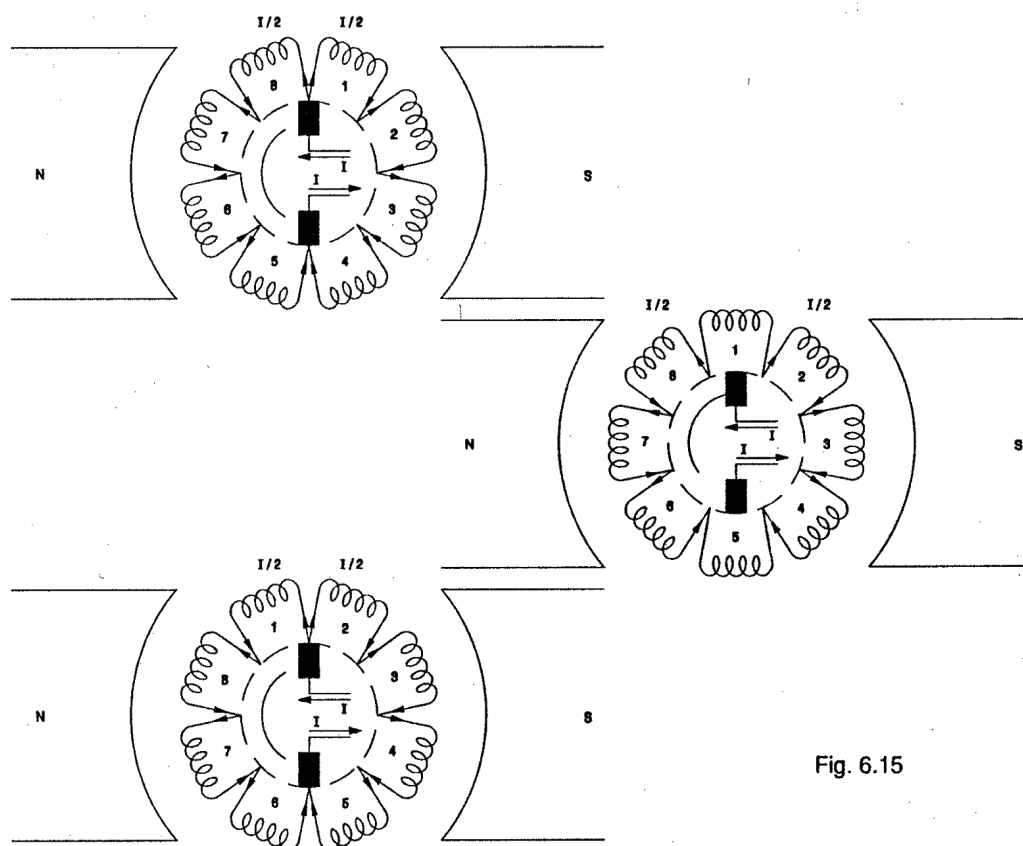


Fig. 6.15

Para que o motor ou o gerador não sejam danificados, devido ao faiscamento, o curto deverá ocorrer quando a bobina estiver passando pela zona neutra do campo magnético, já que neste ponto não há tensão induzida.

Por causa da reação do induzido, o ponto de comutação no motor e no gerador é móvel e varia de acordo com a carga.

Reação do induzido

Nas máquinas de CC, quando não circula corrente no induzido, o campo magnético produzido pelas bobinas do estator é constituído por linhas retas, e a densidade do fluxo é praticamente uniforme.

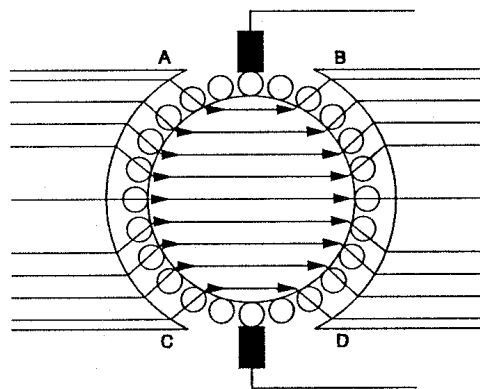


Fig. 6.16

Quando uma corrente é aplicada ao induzido com uma fonte externa qualquer e se interrompe a corrente das bobinas do estator, o campo magnético produzido no induzido será constituído por linhas concêntricas.

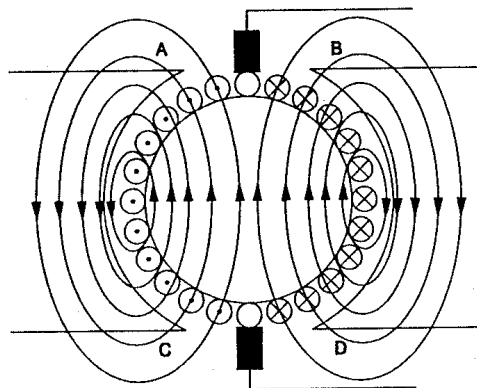


Fig. 6.17

Quando a máquina estiver em funcionamento e com carga, ou seja, quando a máquina estiver com corrente circulando nas bobinas do estator e nos condutores do induzido, seus campos magnéticos interagem formando um novo campo magnético com as linhas destorcidas e sem uniformidade.

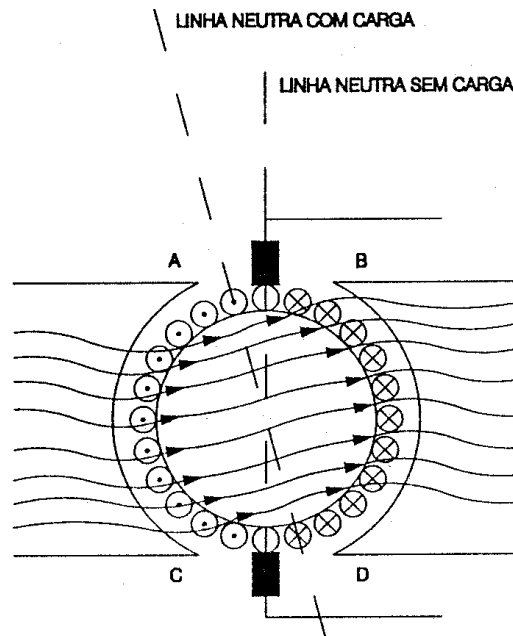


Fig. 6.18

Nas extremidades polares A e D, as linhas do campo magnético, criado pela corrente que circula no induzido, têm sentido oposto ao campo produzido pela corrente que flui do estator.

O inverso acontece nas extremidades B e C, onde as linhas do campo magnético, criado pelo induzido, têm o mesmo sentido das linhas produzidas pelo estator.

Isto pode ser observado, quando analisamos a figura que indica os sentidos dos campos magnéticos do estator do rotor.

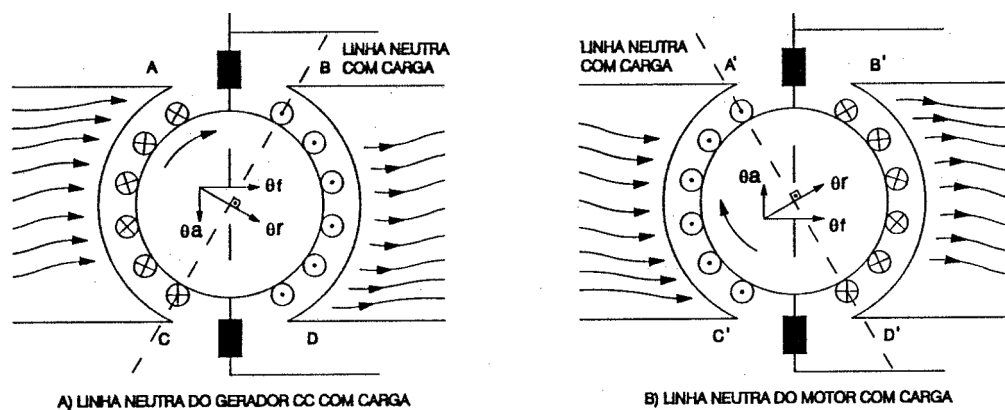


Fig. 6.19

Em consequência, ocorre uma redução das linhas nos campos magnéticos das extremidades A' e D' e uma intensificação nas extremidades B' e C'. Todavia, a

intensificação em B' e C' não compensa a redução que se verifica em A' e D'. Isto se deve à saturação magnética que provoca a redução do fluxo magnético total.

Assim, para evitar o faiscamento, a reação da armadura ou induzido provoca a redução do fluxo total, o deslocamento da linha neutra e a necessidade de deslocamento das escovas.

Identificação dos terminais das máquinas de CC

Os bornes da placa de ligação das máquinas de CC obedecerão a uma nomenclatura normalizada.

A tabela a seguir mostra as designações dos elementos da máquina com seus correspondentes para a norma DIN (alemã) e para a norma ASA (americana).

Elementos	NORMAS	
	DIN	ASA
Armadura ou Induzido	A.B	A1 A2
Campo de derivação	C.D	F1 F2
Campo em série	E.F	S1 S2

Veja agora um exemplo da placa de máquina de CC conectada para funcionar como motor misto de acordo com a norma ASA.

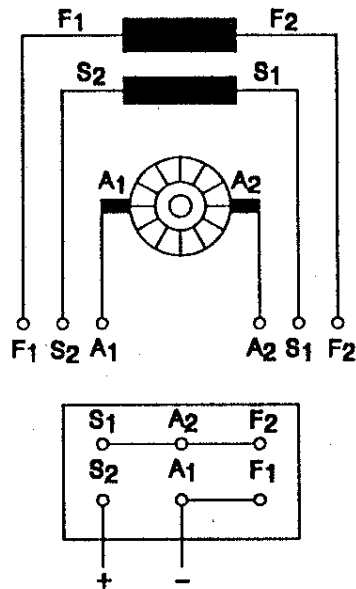


Fig. 6.20

DEFEITOS INTERNOS DOS MOTORES DE CC

Faiscamento nas escovas

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

Esses defeitos são causados por:

- Escovas fora da linha neutra;
- Isolação defeituosa entre as escovas;
- Pressão irregular das escovas;
- Mau contato entre as escovas e o coletor;
- Coletor sujo ou com a superfície irregular;
- Mica saliente.

Quando as escovas estão fora da linha neutra, elas devem ser ajustadas no plano de comutação.

No caso de isolação defeituosa entre as escovas, deve-se desmontar o porta-escovas, verificar a isolação e dar polimento cuidadoso nos isolantes que separam as escovas da máquina.

Quando há pressão irregular das escovas, deve-se verificar o porta-escovas e regular a pressão das escovas.

Quando há mau contato entre as escovas e o coletor, deve-se verificar a superfície de contato das escovas.

Coloca-se uma lixa fina sobre o coletor e sobre ela apoiam-se as escovas sob pressão. Gira-se o eixo com a mão, ajustando-se as escovas de modo que toda a sua superfície se apoie sobre o coletor.

Se o coletor estiver sujo ou com a superfície irregular, o faiscamento será intermitente.

Para remover a sujeira, o coletor deve ser desengraxado com benzina ou polido com lixa fina.

Se as superfícies estiverem irregulares, a máquina é desmontada e levada a um torno para ser levemente desbastada. Deve-se tomar cuidado para que as lâminas do coletor não se tornem muito finas. A retificação ideal é feita com rebolo de grãos finos.

A mica saliente provoca falta de corrente contínua entre coletor e escova.

Isso causa, além de faiscamento, funcionamento barulhento. Para reparar esse defeito, deve-se rebaixar a mica.

Defeitos relacionados ao induzido

Os defeitos relacionados ao induzido são:

- solda defeituosa;
- curto-circuito no induzido; • enrolamento ligado à massa.

A solda defeituosa provoca o faiscamento que, por sua vez, escurece as lâminas correspondentes. Se as pontas do enrolamento estão dessoldadas do coletor, o faiscamento aparece nas outras duas lâminas consecutivas.

Para localizar esse defeito, desmonta-se o induzido e faz-se a prova de continuidade. Esta prova consiste em enviar corrente contínua de baixa tensão às lâminas onde deveriam estar as escovas. Em seguida, mede-se, com o 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 de zero. Uma vez localizado o defeito, a solda deve ser refeita.

O curto-circuito no induzido pode ser provocado por aquecimento excessivo ou isolamento fraco ou defeituoso. Além do faiscamento, ele provoca um consumo de corrente maior que o normal e isso pode provocar a queima do enrolamento.

A localização desse defeito é realizada com a prova eletromagnética (com o eletroímã). As bobinas defeituosas devem ser substituídas e, se necessário, o enrolamento refeito.

Para saber se o enrolamento do induzido está ligado à massa, verifica-se com uma lâmpada de prova se há contato entre condutores e massa.

Após a localização da bobina defeituosa ou isolada, esta deve ser substituída por outra, nova, conforme a necessidade.

Aquecimento anormal

O aquecimento anormal pode ter várias causas a saber:

- mancais ou rolamentos gastos;
- defeitos de lubrificação;
- defeito de ventilação;
- umidade ou óleo nos enrolamentos;
- curto-circuito do induzido;
- curto-circuito nos enrolamentos dos campos.

No caso de mancais ou rolamentos gastos, deve-se verificar a folga dos mancais e dos rolamentos.

O mancal deve ser reparado e os rolamentos substituídos.

Quando há defeitos de lubrificação, os órgãos de lubrificação devem ser verificados e reparados.

No caso de defeito na ventilação, deve-se verificar o funcionamento dos dispositivos de ventilação e repará-los.

A umidade e/ou óleo nos enrolamentos baixam a resistência de isolamento e provocam aquecimento anormal da máquina.

Isso acontece quando a máquina está instalada em lugar húmido e pouco arejado. Antes de colocar a máquina em funcionamento, esta deve ser submetida a um teste de isolamento.

O óleo lubrificante dos mancais também pode escorrer e penetrar nos enrolamentos. Nesse caso, também é necessário efetuar um teste de isolamento, pois tanto a umidade quanto o óleo lubrificante estragam o verniz dos enrolamentos.

Para que a umidade e o óleo desapareçam, é necessário colocar a máquina em uma estufa com uma temperatura que vá aproximadamente até 100°C, não sem antes tomar o cuidado de retirar as partes que podem ser danificadas com essa temperatura.

Em alguns casos, é necessário fazer um novo envernizamento nos enrolamentos.

O curto-circuito no induzido pode ocorrer por contato entre lâminas ou entre as lâminas e a massa, o que é provocado por má ou falta de isolamento, ou ainda por interposição de material condutor. Isso provoca elevado aquecimento em todo o enrolamento.

O aquecimento também pode ser causado por espiras em curto-circuito. Esse defeito pode ser verificado com o auxílio de uma lâmpada de prova e eletroímã.

Um curto-circuito nos enrolamentos de campo, ainda que pequeno, pode causar aquecimento. Esse defeito, depois de localizado com eletroímã, deve ser reparado.

Ausência de arranque no motor

A ausência de arranque no motor pode ter duas causas:

- Mancais ou rolamentos gastos;
- Interrupção ou curto-circuito no induzido ou no indutor.

Quando os mancais e rolamentos estão gastos, a folga existente nas partes que suportam o eixo do motor provoca atração do induzido contra as expansões, e isso impede que o motor arranque.

No caso da interrupção ou curto-circuito no induzido ou no indutor, esse tipo de defeito é localizado com o auxílio de uma lâmpada de prova de um eletroímã.

Observação

Caso o motor misto tenha a sua velocidade reduzida e acentuado faiscamento, poderá estar ocorrendo que os campos em série e em paralelo estejam ligados em oposição. Isso é corrigido, trocando-se as ligações dos terminais F1 e F2 do campo em paralelo. Outros defeitos internos.

Outros defeitos internos dos motores de CC são:

- curto-circuito no indutor ou dissimetria do fluxo;
- excesso de velocidade.

O curto-circuito no indutor pode ser provocado por umidade ou excesso de aquecimento. Todavia, a extracorrente de abertura, devido ao fenômeno da autoindução, é a maior responsável pelo curto-circuito provocado pelo indutor.

A dissimetria do fluxo pode ter como origem um curto-circuito entre algumas espiras ou desigualdade de espira nos polos. Este efeito é mais acentuado nos motores com enrolamento do induzido em paralelo.

Esse defeito é verificado por meio de uma lâmpada de prova e eletroímã. O excesso de velocidade é provocado pela interrupção da bobina de campo. Esse defeito, depois de localizado, deve ser reparado.

REFERÊNCIA

- ALMEIDA, José Luis A.de. Eletrônica industrial. 3. ed. São Paulo: Erica, 1987.
- AZEVEDO JÚNIOR, João Batista de. TTL/C-MOS- teoria aplicada em circuitos digitais. 2. ed. São Paulo: Erica, 1984.
- CESP, CPFL e Eletropaulo. Fornecedora de energia elétrica em tensão secundária a edificações individuais. São Paulo: Governado Estado de São Paulo/ Superintendência de comunicação, 1990.
- CHAUPRADE, Robert, MILSANT, Francis. Control electronic de los motores de corriente alterna. México: Editorial Gustavo Gili, 1983.
- CIPELLI, Antonio Marco Vicari, SANDRINI, Waldir João. Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletônicos.6. ed. São Paulo: Erica,1982.
- CREDER, Hélio. Instalações elétricas. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1976.
- IDOETA, Ivan, CAPUANO, Francisco G. Elementos de eletrônica digital. 5. ed. São Paulo: Erica, 1983.
- MAGALDI, Miguel. Eletrotécnica - princípios e aplicações. Rio de Janeiro: Ao Livro técnico S.A., 1972.
- MARTIGNONI, Afonso. Instalações elétricas prediais. 6. ed. Porto Alegre: Globo, 1977.
- NATALE, Ferdinando. Automação industrial. São Paulo: Nobel: Simens S.A., 1989.
- PHILIPS LIGHTING DIVISON. Manual de iluminação. 3. ed. Holanda:[s.n.], 1981.