

Capítulo 8 - MOTORES ELÉTRICOS

8.1 - Motores de Corrente Contínua

8.2 - Motores de Corrente Alternada

8.3 - Motores Especiais

8.4 - Exercícios Propostos

Na natureza a energia se encontra distribuída sob diversas formas, tanto energia mecânica, térmica, luminosa e outras formas; no entanto a energia mecânica é a mais conhecida forma de energia e na qual o homem tem mais domínio. A energia mecânica, tal como ela está disponível na natureza é de difícil utilização prática, além de ser uma energia variável no tempo. Então, converte-se a energia mecânica em Energia Elétrica através das Máquinas Elétricas conhecidas como **geradores**. A energia elétrica possui as vantagens de ser uma energia limpa, de fácil transporte e de fácil manuseio, podendo ser reconvertida em energia térmica, luminosa, eletromagnética, e também em energia mecânica. Quem efetua esta última transformação são as Máquinas Elétricas conhecidas como **motores**.

Então, o **motor** é um elemento de trabalho que converte energia elétrica em energia mecânica de rotação. Já o **gerador** é uma máquina que converte energia mecânica de rotação em energia elétrica.

Num motor elétrico, distinguem-se essencialmente duas peças: o **estator**, conjunto de elementos fixados à carcaça da máquina, e o **rotor**, conjunto de elementos fixados em torno do eixo, internamente ao estator.

O **rotor** é composto de :

- a) *Eixo da Armadura*: responsável pela transmissão de energia mecânica para fora do motor, pelo suporte dos elementos internos do rotor e pela fixação ao estator, por meio de rolamentos e mancais.
- b) *Núcleo da Armadura*: composta de lâminas de Fe-Si, isoladas umas das outras, com ranhuras axiais na sua periferia para a colocação dos enrolamentos da armadura.
- c) *Enrolamento da Armadura*: São bobinas isoladas entre si e eletricamente ligadas ao comutador.
- d) *Comutador*: consiste de uma anel com segmentos de cobre isolados entre si, e eletricamente conectados às bobinas do enrolamento da armadura.

O **estator** é composto de:

- a) *Carcaça*: serve de suporte ao rotor, aos pólos e de fechamento de caminho magnético.
- b) *Enrolamento de campo*: são bobinas que geram um campo magnético intenso nos pólos.
- c) *Pólos ou sapatas polares*: distribui o fluxo magnético produzido pela bobinas de campo.
- d) *Escovas*: são barras de carvão e grafite que estão em contato permanente com o comutador.

As máquinas elétricas possuem praticamente os mesmos elementos principais, porém com diferenças importantes entre eles. Às vezes a bobina de armadura está no estator e não no rotor, o mesmo acontecendo com a bobina de campo. Outras não possuem escovas, outros ainda não possuem bobina de armadura, e assim por diante. Porém, os nomes dados aos componentes da máquina são gerais e valem para a maioria das máquinas elétricas.

De forma geral os motores elétricos são classificados em:

- Motores de Corrente Contínua
 - ◆ Motores Série
 - ◆ Motores Paralelo
 - ◆ Motores Composto ou Misto
- Motores de Corrente Alternada
 - ◆ Motores Síncronos
 - ◆ Motores Assíncronos
- Motores Especiais
 - ◆ Servomotores
 - ◆ Motores de Passo
 - ◆ Universais

Todo o motor apresenta suas principais características elétricas escrita sobre o mesmo ou em uma placa de identificação. Os principais dados elétricos são: tipo de motor, tensão nominal, corrente nominal, frequência, potência mecânica, velocidade nominal, esquema de ligação, grau de proteção, temperatura máxima de funcionamento, fator de serviço, etc..

4.1 Motor de Corrente Contínua

A Figura Capítulo 8.1 nos mostra as partes internas de um máquina de corrente contínua básica e sua representação.

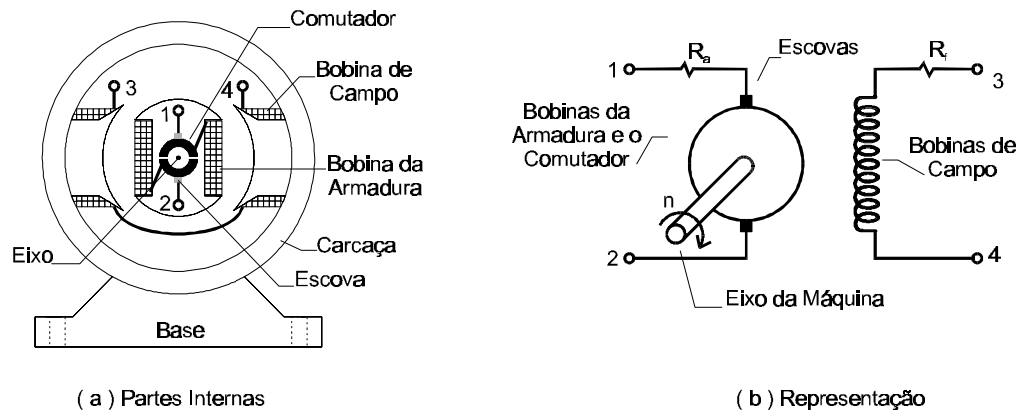


Figura Capítulo 8.1 - Motor de Corrente Contínua com 2 Pólos

O motor de corrente contínua apresenta quatro terminais acessíveis, dois para as bobinas de campo (terminais 3 e 4) e dois para as bobinas de armadura (terminais 1 e 2). Em alguns motores de baixa potência, as bobinas de campo são substituídas por ímãs permanentes. Neste caso, o motor apresenta apenas dois terminais de acesso (terminais 1 e 2).

O princípio de funcionamento elementar de um motor de corrente contínua está baseado na Força mecânica que atua sobre um condutor imerso num campo magnético, quando sobre ele circula uma corrente elétrica. Observe a figura 8.2 . Na bobina 1, as forças são iguais e opostas, não produzindo nenhuma força de rotação (torque ou par binário), mas as bobinas 2,3 e 4 tem sobre elas um torque $F \times l$ tal que impulsiona o rotor para girar, levando consigo a bobina 1, que então entra na região (da bobina 2) onde estava a bobina 2, e então passa a exercer uma força de giro também. Observe que para este esquema funcionar, é necessário inverter o sentido da corrente da armadura a cada 180° . O elemento que faz a comutação do sentido da corrente é o comutador.

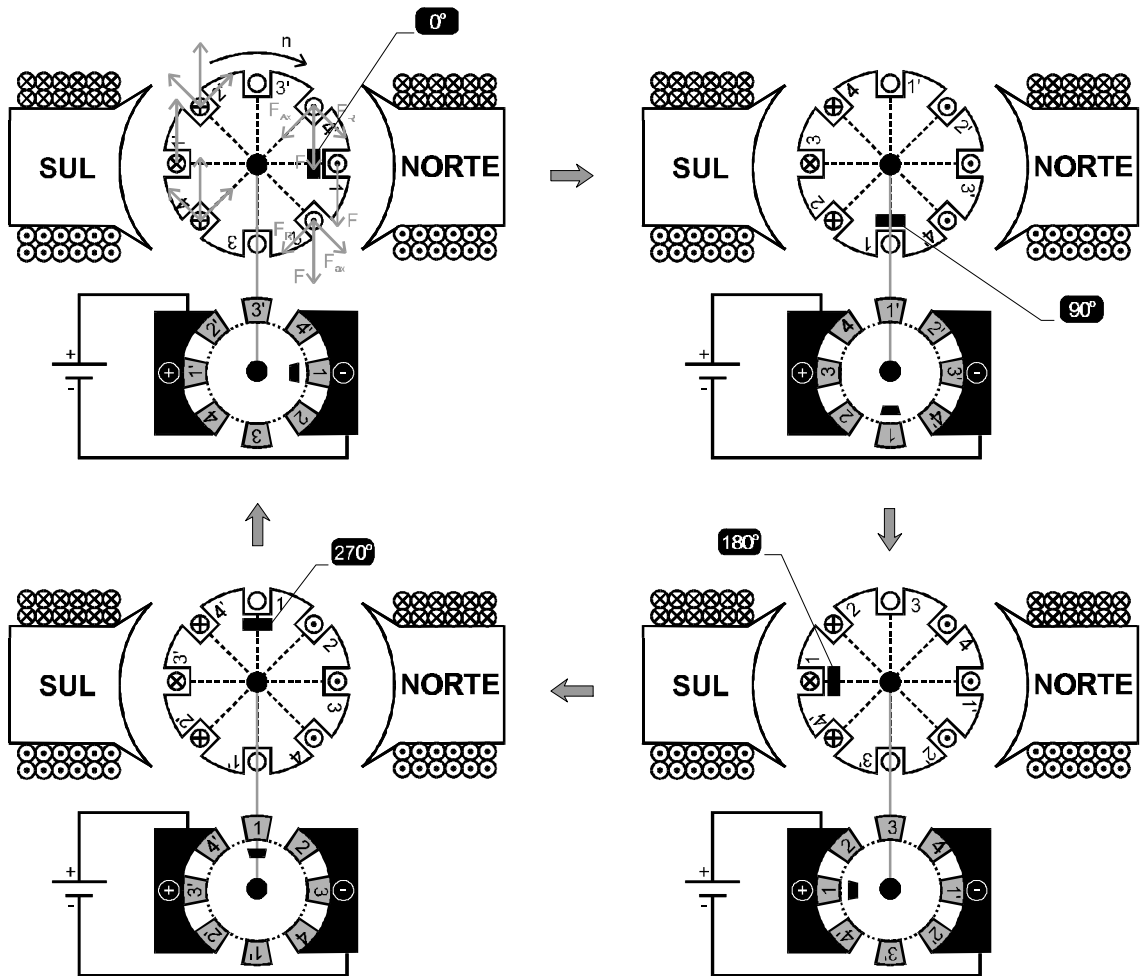


Figura Capítulo 8.2 - Motor de Corrente Contínua com 2 Pólos e 4 Bobinas no Rotor

Sabemos que, quando um condutor está imerso num campo magnético, se deslocando com uma certa velocidade “v” dentro deste campo, sobre ele é induzido uma corrente elétrica. Observe que o sentido desta corrente elétrica é contrário ao sentido mostrado na figura 8.2. Por isso essa força eletromotriz induzida é chamada de Força-contratromotriz induzida - fctem- simbolizada pelas letras Ec.

A equação fundamental do torque nos motores é dado por:

$$T = K_1 \cdot \phi \cdot I_a \text{ (N.m)}$$

Onde:

ϕ = Fluxo magnético produzido pelos pólos;

I_a = corrente que circula pelas bobinas da armadura;

K_1 = constante construtiva do rotor das máquinas elétricas.

A fctem gerada pelo movimento do motor é dado por:

$$E_c = K_2 \cdot \phi \cdot n \quad (\text{Volts})$$

Onde:

n = número de rotações por minuto;

K_2 = constante construtiva do campo magnético;

O fluxo magnético, por sua vez, depende da corrente de campo I_f , pela seguinte expressão:

$$\phi = K_3 \cdot I_f$$

Tanto as bobinas de campo como as bobinas de armadura apresentam uma resistência elétrica a passagem da corrente, e chamamos aqui de R_f e R_a respectivamente.

Analisando o circuito do rotor, podemos concluir que:

$$\begin{aligned} V_a &= I_a R_a + E_c \\ E_c &= V_a - I_a R_a \end{aligned}$$

Como E_c varia com a velocidade e o fluxo, podemos substituir E_c na equação anterior e isolar a velocidade n (em rpm). Então:

$$n = \frac{V_a - I_a R_a}{K_3 \cdot \phi}$$

Esta equação é fundamental, pois nos diz que a velocidade do motor depende da tensão aplicada na armadura, da corrente na bobina e do valor do fluxo magnético. Note que a velocidade do motor tende ao infinito quando o fluxo tende a zero. Conseqüentemente, não devemos tirar, sob hipótese alguma, a corrente de campo, pois o motor “dispara” .

O princípio de funcionamento do motor de corrente contínua também pode ser baseado na ação de forças magnéticas sobre o rotor, geradas pela interação do campo magnético criado pelas bobinas de campo com o campo magnético criado pelas bobinas da armadura, conforme mostra a figura 8.3.

Observa-se que o comutador possui a função de inverter o sentido da corrente na bobina da armadura em 90° e 270° dando continuidade ao movimento rotativo do motor.

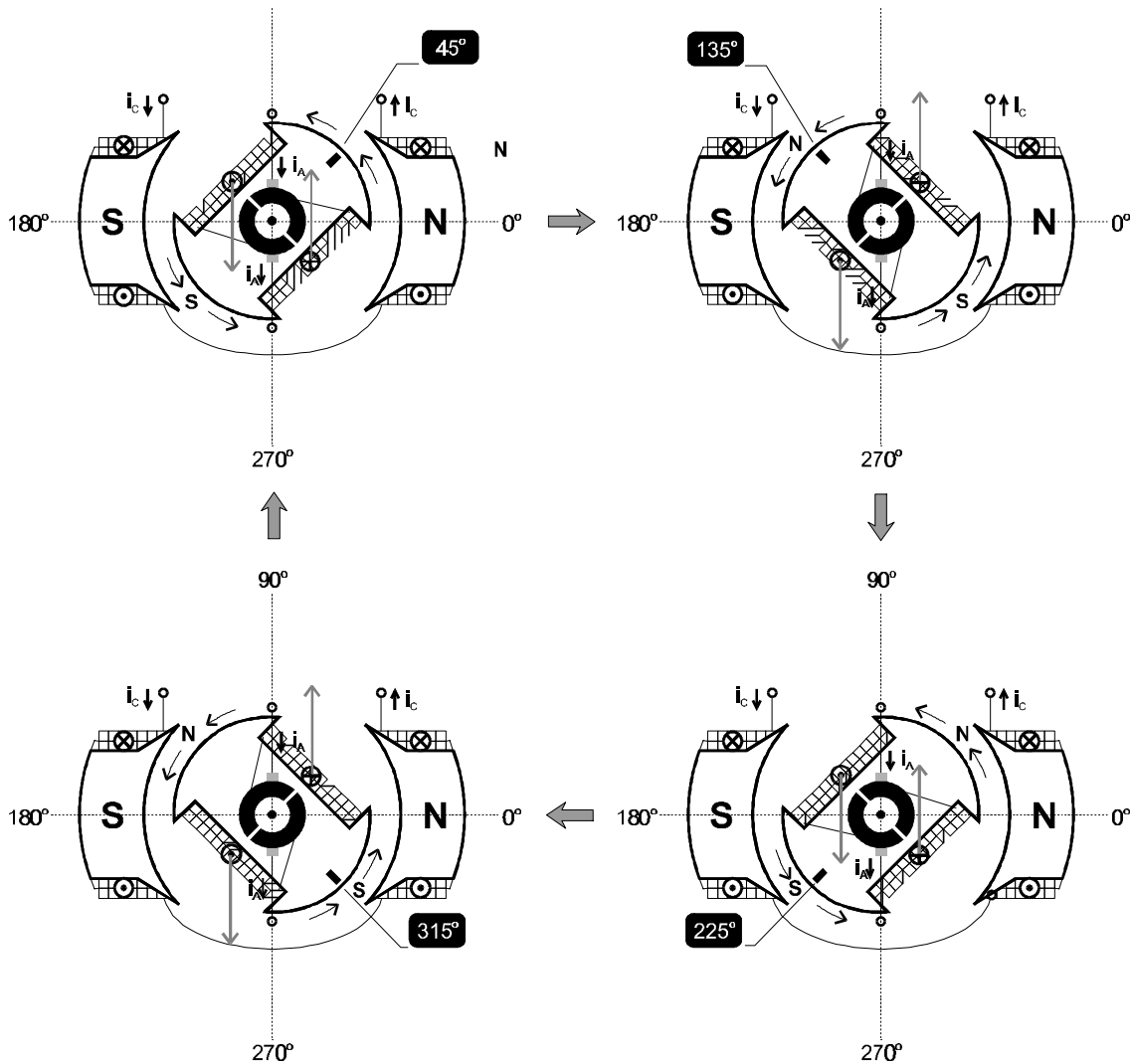


Figura Capítulo 8.3 - Princípio de Funcionamento

Tipos de Motores de Corrente Contínua

Os motores CC são divididos de acordo com o tipo de conexão entre as bobinas do rotor e do estator. Se forem conectados em série, são chamados de Motor Série. Se for em paralelo, são chamados de Motor Paralelo. Se for misto, são chamados de Motor Misto ou Composto.

A figura 8.4 mostra conexão Série e a conexão paralelo.

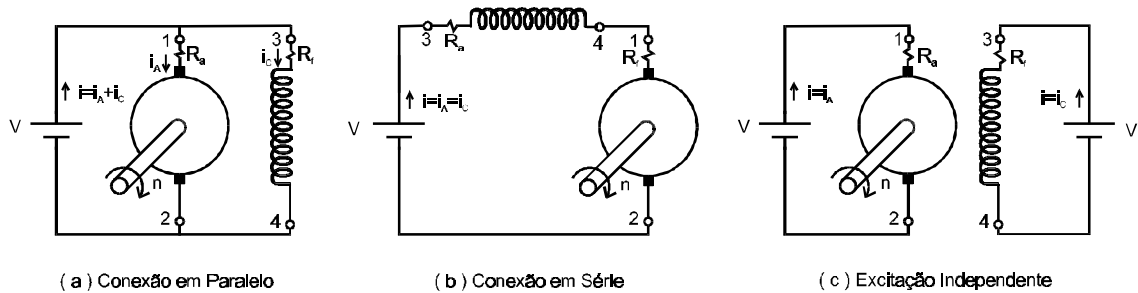


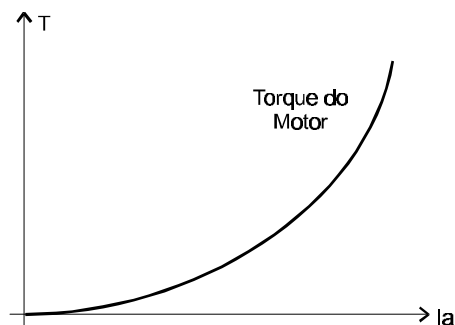
Figura Capítulo 8.4 - Ligações Elétricas do Motor de Corrente Contínua

Motor CC Série

Neste tipo de motor a corrente que circula pelo campo é o mesmo que circula pela armadura. Como o torque é proporcional ao fluxo magnético, que por sua vez é proporcional à corrente de campo, concluímos que neste motor o torque é dado por:

$$T = K \cdot I_a^2$$

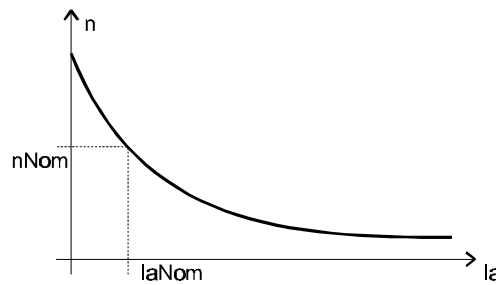
O torque apresenta uma relação exponencial com a corrente de armadura. A corrente de armadura é grande na partida, já que E_c é zero, pois não há movimento do rotor. Conclui-se, portanto, que o torque de partida do motor série é muito grande.



Devido a esta característica este motor é utilizado para acionar trens elétricos, metrô, elevadores, ônibus e automóveis elétricos, etc.. Este motor é conhecido como **motor universal** por poder funcionar em corrente alternada, porém este tipo de aplicação só é viável economicamente para pequenos motores de fração de CV.

A velocidade do motor série é dado por:

$$n = \frac{V_a - I_a(R_a + R_f)}{K \cdot I_a}$$



Então, no motor série a vazio, com baixa corrente de armadura, a sua velocidade tende a ser alta, o que é indesejável. Assim, este tipo de motor deve partir com uma carga mecânica acoplada no seu eixo. Também se percebe que este motor nunca vai disparar a sua velocidade, pois não depende da corrente de campo e se a corrente de armadura for a zero, não há torque e sua velocidade cai a zero também.

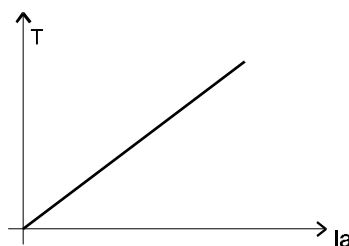
Motor Paralelo ou Shunt

No caso do motor Shunt a corrente de armadura somada a corrente de campo nos dá a corrente da fonte de alimentação do motor. Nesse caso, a tensão aplicada na armadura é a mesma que é aplicada no campo. Dessa forma o fluxo magnético produzido pelo campo é praticamente constante, já que I_f permanece praticamente constante. Então, o torque do motor é função apenas da corrente de armadura.

Para a inversão do sentido de rotação nos motores de corrente contínua, basta inverter as conexões das bobinas de campo (trocar o terminal 3 pelo 4) ou inverter as conexões da bobina da armadura (trocar o terminal 1 pelo 2). Caso o motor seja de ímã permanente, basta inverter os terminais da armadura.

$$T = K \cdot I_a$$

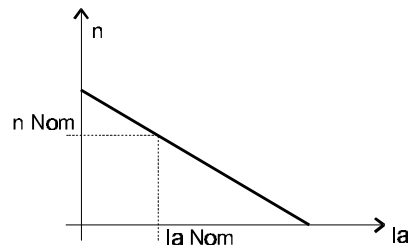
A curva Torque x Corrente de armadura é mostrada a seguir.



Neste tipo de motor, o torque de partida não é tão alto quanto no motor série, portanto não deve ser usado em cargas que exigem alto torque de partida. A velocidade do motor paralelo depende de I_a , já que o fluxo é constante, pela seguinte equação;

$$n = \frac{V_a - I_a R_a}{K \cdot \phi}$$

Então, se a corrente de armadura for grande (na partida), a velocidade do motor é pequena e cresce a medida em que aumenta a E_c (que por sua vez diminui I_a) até alcançar o seu valor nominal. Este motor não tem problemas de excesso de velocidade na partida sem carga. A curva abaixo mostra a velocidade em função da corrente de armadura.



Inversão no Sentido de Rotação e Controle de Velocidade

Para inverter o sentido de rotação de qualquer motor CC é necessário inverter a corrente de armadura em relação a corrente de campo. Deve-se inverter somente um deles, e a inversão em ambos os circuitos manterá o mesmo sentido de rotação.

No momento da inversão, o motor que está girando num sentido, entra num processo de frenagem (freio) até alcançar a velocidade zero e depois começa a girar no sentido contrário. Essa etapa de frenagem é muito importante para trens, elevadores, guindastes que necessitam de Força de Frenagem.

A principal aplicação dos motores de corrente contínua é o acionamento de máquinas com controle preciso de velocidade.

Os métodos mais utilizados para este fim são:

- ◆ Ajuste da tensão aplicada na armadura do motor;
- ◆ Ajuste da corrente nas bobinas de campo, ou seja, controle do fluxo magnético do motor;
- ◆ Combinação dos anteriores.

O controle de velocidade pode ser realizado através de um conversor estático CC ou por meio de um reostato como mostra a figura 8.5. Neste caso estamos controlando a velocidade através do ajuste da corrente das bobinas de campo.

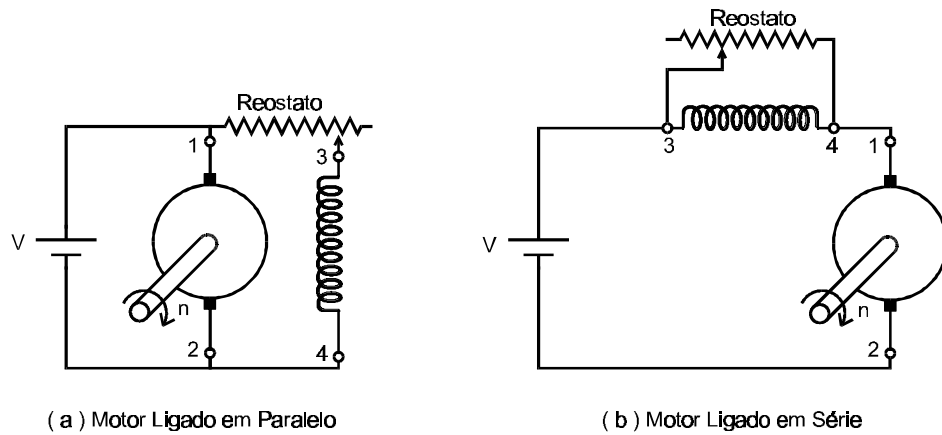


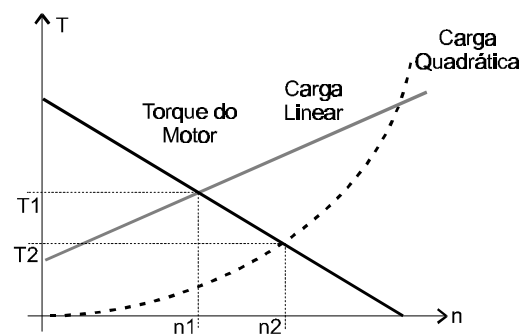
Figura Capítulo 8 .5 - Ajuste de Velocidade Através do Fluxo do Motor

Torque do Motor e Resistente

O torque do motor é a medida do esforço necessário para fazer girar um eixo, e é dado pela seguinte equação básica:

$$T = F \cdot \text{raio} (\text{N.m})$$

No caso de qualquer motor, o torque de partida deve ser maior do que o torque resistente acoplado ao eixo. Após um certo tempo depois que o motor partiu, na velocidade nominal, há o encontro das curvas de Torque do motor e do torque resistente. Na curva abaixo percebemos que, quando a carga mecânica no eixo varia (por algum motivo), o torque motor varia junto, e conseqüentemente a velocidade de rotação do motor varia junto. Por exemplo, se a carga mecânica diminui, o torque do motor também diminui e a velocidade aumenta, estabilizando num novo regime. Na curva abaixo, vemos este comportamento:



8.2 - Motores de Corrente Alternada

Neste tipo de motor, o fluxo magnético do estator é gerado nas bobinas de campo pela corrente alternada da fonte de alimentação monofásica ou trifásica, portanto trata-se de um campo magnético cuja a intensidade varia continuamente e cuja polaridade é invertida periodicamente. Quanto ao rotor, há dois casos a considerar:

• Motores Síncronos

No motor síncrono, o rotor é constituído por um ímã permanente ou bobinas alimentadas em corrente contínua mediante anéis coletores. Neste caso, o rotor gira com uma velocidade diretamente proporcional a frequência da corrente no estator e inversamente proporcional ao número de pólos magnéticos do motor. São motores de velocidade constante e constitui-se a sua principal aplicação. São utilizados somente para grandes potências devido ao seu alto custo de fabricação.

A seguinte equação define a velocidade síncrona n_s deste tipo de motor:

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{p}$$

Onde:

- ♦ n_s : velocidade síncrono (rpm)
- ♦ f : frequência da corrente do rotor (Hz)
- ♦ p : número de pólos magnéticos do motor

• Motores Assíncronos

No motor assíncrono ou de indução, o rotor possui vários condutores conectados em curto-circuito no formato de uma “gaiola de esquilo”, conforme mostra a figura 8.6.

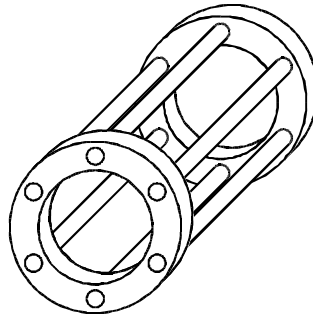


Figura Capítulo 8.6 - Rotor Gaiola de Esquilo

O campo magnético variável no estator, figura 8.6, induz correntes senoidais nos condutores da gaiola do rotor. Estas correntes induzidas, por sua vez, criam um campo magnético no rotor que se opõe ao campo indutor do estator (Lei de Lenz). Como os pólos se mesmo nome se repelem, então há uma força no sentido de giro no rotor. O rotor gira com uma velocidade n um pouco inferior à velocidade síncrona, isto é, a velocidade da corrente do campo. Como é um pouco inferior, diz que este motor é assíncrono, isto é, sem sincronia. Observe que este motor não consegue partir, isto é, acelerar desde a velocidade zero até a nominal. As forças que atuam nas barras curto-circuitadas se opõem uma à outra, impedindo o giro. Então, na partida, utiliza-se uma bobina de campo auxiliar, defasada de 90 graus das bobinas de campo principais, que cria um campo magnético auxiliar na partida. Assim, o fluxo resultante inicial está defasado em relação ao eixo das abcissas, e produz um torque de giro (par binário). Após a partida, não há mais a necessidade do enrolamento auxiliar, pois a própria inércia do rotor compõem forças tais que mantêm o giro.

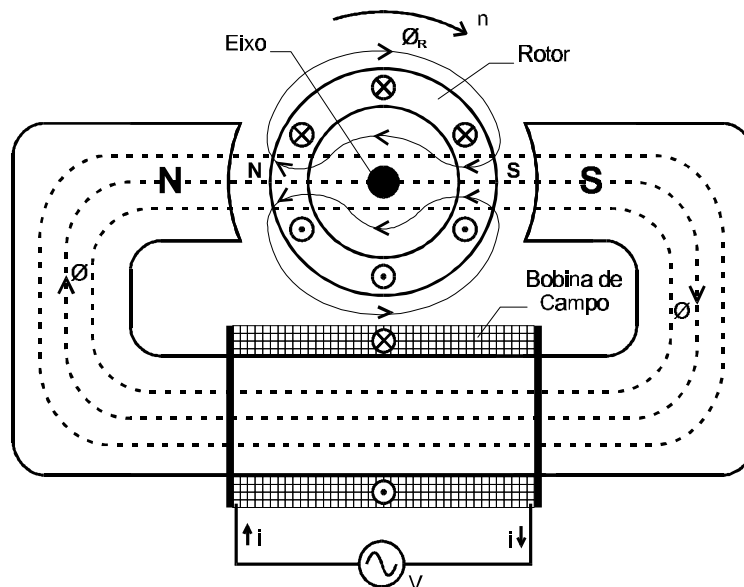


Figura Capítulo 8.7 - Motor de Indução Monofásico de Dois Pólos

A diferença em valores percentuais entre a velocidade síncrona e a velocidade do motor de indução chamamos de **escorregamento**, simbolizada pela letra **S**. O escorregamento dos motores de indução é variável em função da carga a ser acionada pelo motor, ou seja, é mínimo a vazio (sem carga) e máximo com a carga nominal. O escorregamento **S** dos motores de indução é expresso através da seguinte equação:

$$S = \frac{n_s - n}{n_s} \times 100$$

Onde:

◆ **n**: velocidade do eixo do motor (rpm)

Nota-se através das duas últimas equações que a velocidade dos motores síncronos e assíncronos pode ser controlada através do ajuste do valor da freqüência da corrente nas bobinas do estator. Este tipo de acionamento é realizado através de um conversor estático de freqüência.

Ao contrário dos motores síncronos e de corrente contínua; o motor assíncrono ou de indução é largamente utilizado nas indústrias pela sua simplicidade construtiva, pouca manutenção e baixo custo.

Os motores de indução podem ser monofásicos ou trifásicos:

◆ **Motores de Indução Monofásicos**

É um motor elétrico de pequena ou média potência, geralmente menores que 5 CV. Para a produção do conjugado de partida o motor de indução monofásico necessita de um segundo enrolamento de partida auxiliar (E_a) defasado de 90° construtivamente do enrolamento de trabalho (E_t), conforme mostra a figura 8.8.

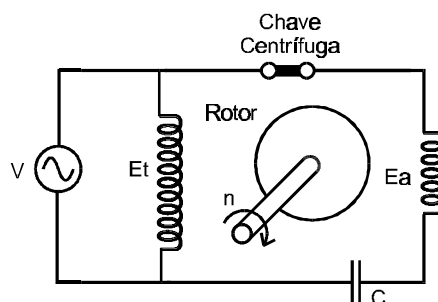


Figura Capítulo 8 .8 - Motor de Indução Monofásico

O resultado da ação das correntes nos enrolamentos de trabalho e auxiliar é um campo magnético girante no estator, que faz o motor partir. Após a partida enrolamento auxiliar é desligado através de uma chave centrífuga que opera a cerca de 75% da velocidade síncrona. O conjugado de partida, neste caso, é moderado.

Para aumentar o conjugado de partida é usado um capacitor, ligado em série com o enrolamento auxiliar e a chave centrífuga. Esta técnica é utilizada para cargas de partida difícil, tais como: compressores, bombas, equipamentos de refrigeração, etc.

O motor de indução monofásico comumente usados no Brasil apresenta seis terminais acessíveis, sendo quatro para os dois enrolamentos de trabalho E_t (1,2,3 e 4), bobinas projetadas para tensão de 127 V, e dois para o circuito auxiliar de partida (5 e 6), também projetado para a tensão de 127 V. A figura 8.9 mostra o esquema de ligação do motor de indução monofásico para as tensões de alimentação de 127 e 220 V fase-neutro.

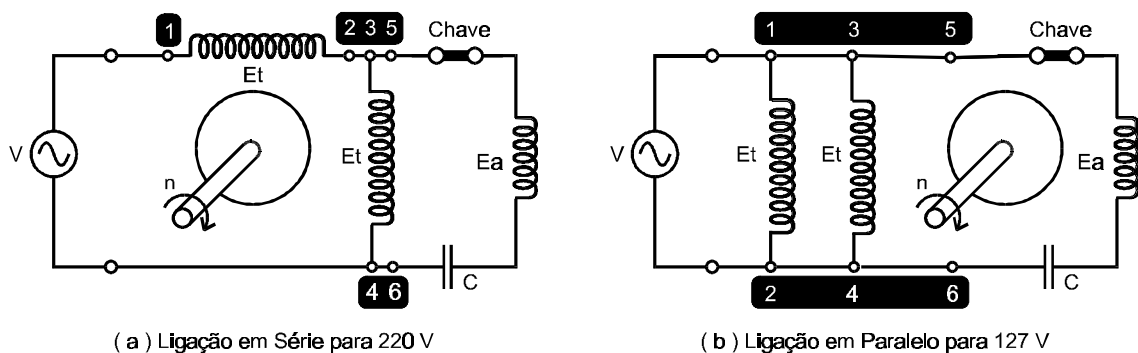


Figura Capítulo 8 .9 - Esquemas de Ligação do Motor de Indução Monofásico

Em alguns motores de baixa potência, o circuito auxiliar de partida é substituído por espiras curto-circuitadas, chamadas de bobinas de arraste. Neste caso, a máquina apresenta dois ou quatro terminais para as bobinas de trabalho.

Para a inversão do sentido de rotação no motor de indução monofásico basta inverter as conexões do circuito auxiliar, ou seja, trocar o terminal 5 pelo 6. No motor com bobina de arraste não é possível inverter o sentido de rotação.

◆ Motores de Indução Trifásicos

É um motor elétrico de pequena, média ou grande potência que não necessita de circuito auxiliar de partida, ou seja, é mais simples, menor, e mais leve que o motor de indução monofásico de mesma potência, por isso apresenta um custo menor. A figura abaixo mostra o princípio de funcionamento do campo girante.

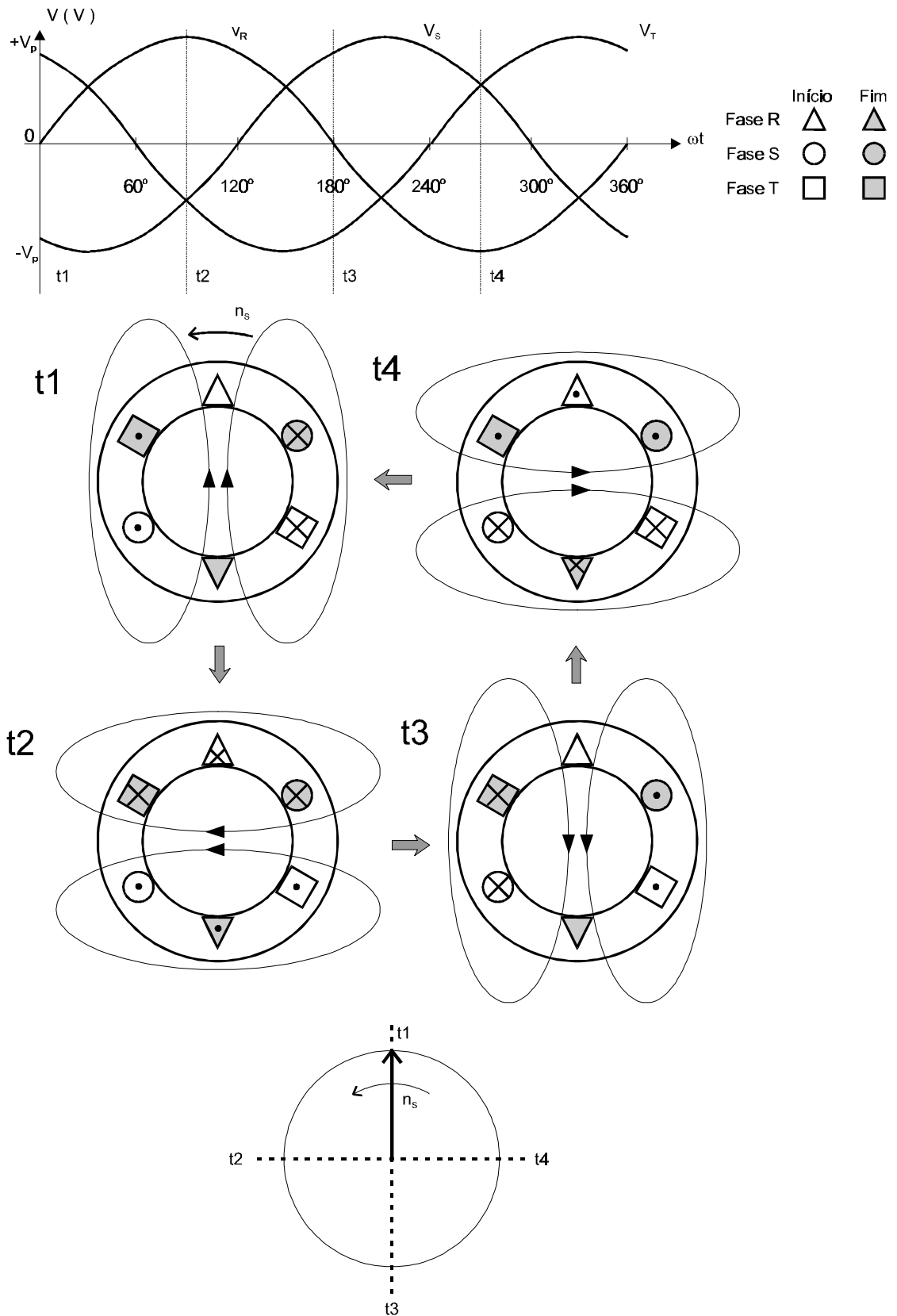


Figura Capítulo 8.10 - Princípio de Funcionamento Elétrico

O motor de indução trifásico comumente usado no Brasil apresenta seis terminais acessíveis, dois para cada enrolamento de trabalho E_t e, a tensão de alimentação destas bobinas é projetada para 220V. Para o sistema de alimentação 220/127V-60Hz este motor deve ser ligado em delta e para o sistema 380/220V-60Hz o motor deve ser ligado em estrela conforme mostra a figura 8.10.

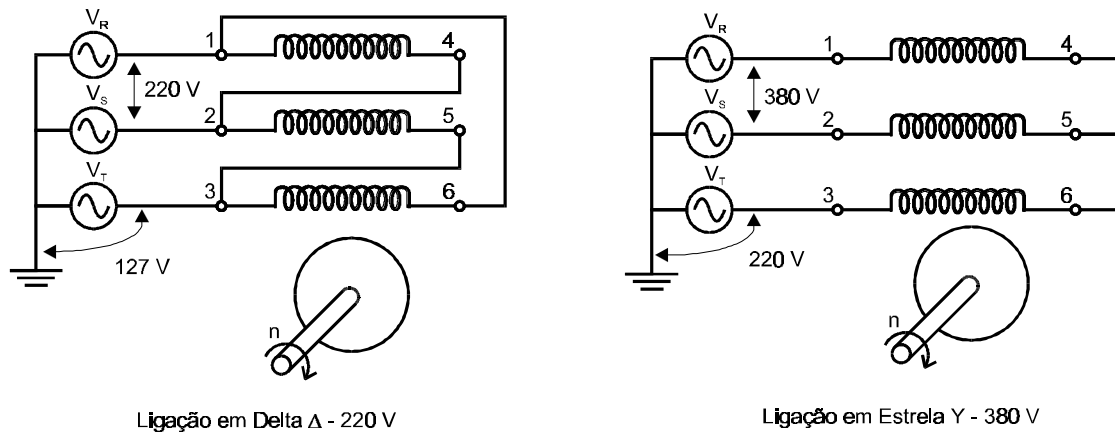


Figura Capítulo 8 . 11 - Esquemas de Ligação do Motor de Indução Trifásico

Para a inversão no sentido de rotação nos motores de indução trifásicos basta inverter duas das conexões do motor com as fontes de alimentação.

A potência elétrica P_E absorvida da rede para o funcionamento do motor é maior que a potência mecânica P_M fornecida no eixo especificado pelo fabricante, pois existe um determinado rendimento η do motor a ser considerado, isto é:

$$\eta = \frac{P_M}{P_E} = \frac{P_M}{\sqrt{3} \cdot V_L \cdot i_L \cdot FP}$$

A potência mecânica no eixo P_M do motor (em **W**) está relacionada com o momento de torção **M** ou conjugado (em **N.m**) e com a velocidade do rotor **n** (em **rpm**) através da seguinte operação.

$$P_M = \frac{2\pi}{60} \cdot n \cdot M$$

A figura 8.11 nos mostra as curvas do torque do motor, torque da carga e da corrente absorvida pelo mesmo ambas em função da velocidade do rotor.

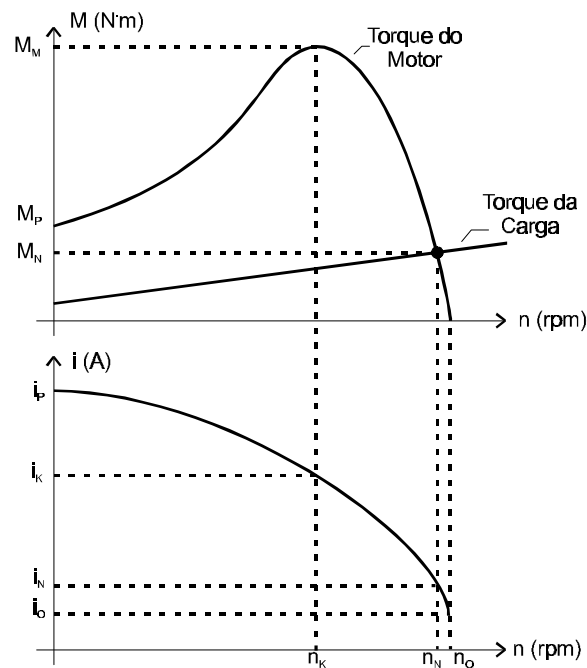


Figura Capítulo 8 .12 - Torque e Corrente de um Motor de Indução Trifásico

Sem acionar nenhuma carga no eixo, a vazio, o motor fornece uma pequena potência mecânica somente para vencer o atrito por ventilação e nos mancais. O torque do motor neste caso é próximo de zero, a corrente i_0 também é mínima e a velocidade do rotor é máxima n_0 mas inferior a velocidade síncrona n_s .

O motor ao acionar uma carga nominal em seu eixo a corrente aumenta para o valor nominal i_N e a velocidade diminui até o valor nominal n_N onde temos a igualdade de torque, isto é, torque do motor é igual ao torque de carga.

Podemos aumentar a carga no eixo do motor (torque de carga) além da carga nominal, procedimento que compromete a vida útil da máquina, até o ponto onde o torque do motor é máximo M_M e, a velocidade do motor irá diminuir para n_K e a corrente irá aumentar para i_K .

Observe que na partida, velocidade igual a zero, o motor de indução absorve uma corrente muito elevada i_P da ordem de até dez vezes a corrente i_N e seu torque de partida é baixo M_P dificultando com isso o acionamento de cargas que necessitam de um alto torque para partirem, como por exemplo: esteiras transportadoras carregadas.

8.3 - Motores Elétricos Especiais

Os motores especiais são máquinas construídas para serem aplicadas no controle preciso de posição e velocidades de processos. São motores mais rápidos que os convencionais, seus enrolamentos são dimensionados para suportarem momentâneas correntes elevadas. Já o rotor de uma máquina especial é projetado com uma baixa inércia, isto é: pequeno diâmetro e grande comprimento.

• Servomotores

De forma geral, os servomotores são classificados em:

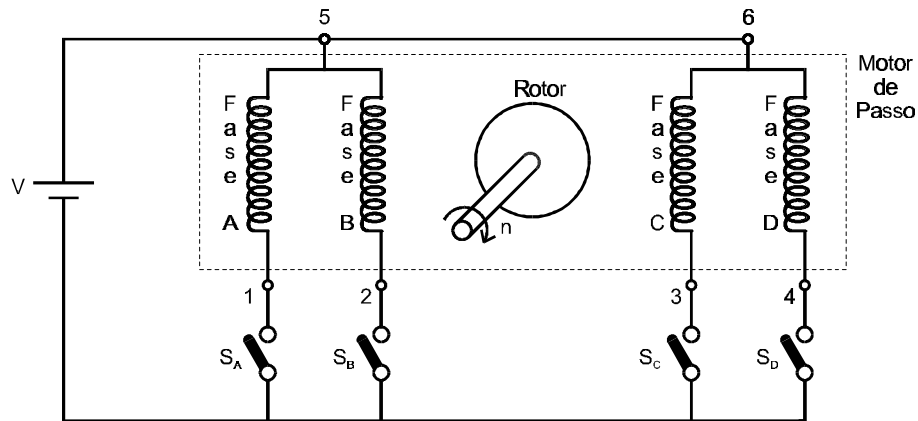
Servomotor CC: o estator é formado por ímãs permanentes e pelas escovas e o rotor é constituído pelas bobinas da armadura e pelo comutador. O controle da velocidade ou posição se dá através da regulação da corrente das bobinas da armadura.

Servomotor CA: O estator é formado pelas bobinas de campo sendo alimentada por uma fonte trifásica e o rotor é constituído por ímãs permanentes. O controle da velocidade ou posição se dá através da regulação da frequência das correntes nas bobinas de campo.

• Motores de Passo

O motor de passo é empregado em máquinas que necessitam de um controle preciso de posição, tais como: robôs, impressoras, plotters, equipamentos de coordenadas, etc..

O motor de passo é constituído por um rotor magnético (ímã permanente ou imantado) e um estator formado por conjuntos de bobinas denominadas fases. Os motores de passo mais comuns possuem quatro fases e seis terminais acessíveis. A figura 8.12 (a) apresenta este tipo de motor juntamente com o circuito simplificado de acionamento.



(a) Circuito Simplificado de Acionamento

PASSO	SA	SB	SC	SD
1	1	0	1	0
2	1	0	0	1
3	0	1	0	1
4	0	1	1	0

1 = Chave fechada
0 = Chave Aberta



→ Sentido horário de rotação
← Sentido anti-horário de rotação

(b) Seqüência de Comando

Figura Capítulo 8 .13 - Motor de Passo

Cada fase é energizada quando a sua respectiva chave é fechada. A figura 8.12 (b) mostra a seqüência de comandos do motor de passo para os dois sentidos de rotação.

Se o motor permanecer num determinado passo, o rotor fica travado devido à força eletromagnética entre o rotor e o estator. Para liberar o rotor, ou seja, deixá-lo em movimento livre, basta abrir todas as chaves do circuito de comando.

A cada passo executado, o eixo do motor realiza um determinado deslocamento angular. Este deslocamento é conhecido como ângulo de passo, sendo repetido precisamente em cada passo. A seguinte tabela mostra os valores de ângulo de passo com seus respectivos números de passos por volta dos motores de passo mais utilizados.

Ângulo de Passo	0,72°	1,80°	2,00°	2,50°	5,00°	7,50°	15,00°
Passos por Volta	500	200	180	144	72	48	24

8.4 - Exercícios Propostos:

- 1) Qual é o princípio geral de funcionamento de um motor elétrico?
- 2) Com relação ao motor de corrente contínua, associe a 1ª coluna com a 2ª.
 - a) Escovas Elementos do rotor responsável pela criação de um campo magnético no rotor.
 - b) Bobinas de campo Elementos do rotor responsável pela inversão da corrente nas bobinas do rotor.
 - c) Bobinas de armadura Elementos do estator que leva a corrente da rede elétrica para o rotor.
 - d) Comutador É o número de linhas de campo magnético por unidade de área.
 - e) Fluxo magnético Elemento do estator responsável pela criação de um campo magnético que envolve o rotor.
- 3) Um motor de indução de 3 CV e 4 pólos é alimentado pela rede elétrica 220V/380-60Hz. Calcule a velocidade do motor, com um escorregamento de 5% a plena carga. R: 1710 rpm.
- 4) Um motor de indução trifásico 5 HP, dois pólos, ligado em estrela, a plena carga com escorregamento de 8%, rendimento de 80% e fator de potência de 0,86 é alimentado pela rede elétrica de 220/380V-60Hz.
Calcule:
 - a) A potência elétrica fornecida.
 - b) A corrente elétrica por fase.
 - c) O torque do motor.R: a) 4,60 kW; b) 8,13 A, c) 10,61 N.m
- 5) Como se varia a velocidade de um motor de passo?
- 6) O que significa um motor de passo possuir 200 passos por volta?