



CONTROLE DE VELOCIDADE

MOTORES CA

1 - PARTIDA ELETRÔNICA (SOFT - STARTER).....	3
1.1 - CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS DAS SOFT-STARTERS	4
1.2 - APLICAÇÕES	7
1.3 – ALGUNS CUIDADOS COM SOFT-STARTERS	8
1.4 - INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS PARA ESPECIFICAÇÃO	8
1.5 - QUESTÕES TÍPICAS	9
1.6 - CONCLUSÃO	10
2 – SISTEMAS DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADE	10
2.1 - VARIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DA TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO	10
3 – CONVERSORES ESTÁTICOS DE FREQUÊNCIA.....	11
3.1 – INTRODUÇÃO	11
3.2 – TIPOS DE CONVERSORES DE FREQUÊNCIA	12
3.3 – TENSÃO NO CIRCUITO INTERMEDIÁRIO CONSTANTE.....	12
3.4 – CONVERSORES DE FREQUÊNCIA COM MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSOS (PULSE WIDTH MODULATION - PWM)	12
3.5 – CONTROLE ESCALAR	15
3.6 – CONTROLE VETORIAL	16
3.6.1 – Observações e considerações importantes	19
3.6.2 – Operação abaixo da rotação nominal	20
3.7 - MOTORES AUTOVENTILADOS.....	21
3.8 – OPERAÇÃO ACIMA DA ROTAÇÃO NOMINAL	22
3.9 – SISTEMAS DE ACIONAMENTO DE MULTICONVERSORES	22
3.10 – SISTEMAS DE ACIONAMENTO MONOCONVERSOR.....	23
3.11 – UTILIZAÇÃO DE FILTRO DE RÁDIO FREQUÊNCIA	24
4 – APLICAÇÕES.....	24
4.1 – BOMBAS.....	24
4.1.1 – Bombas dinâmicas ou turbobombas	24
4.1.2 – Bomba de deslocamento positivo ou volumétricas.....	24
4.2 - VENTILADORES	24
4.3 – SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO - AR CONDICIONADO	25
4.4 – EXTRUSORAS	25
4.5 – MISTURADORES	25
4.6 – SISTEMAS DE ELEVAÇÃO.....	25
4.7 – BOBINADORES/DESBOBINADORES.....	25
4.8 – FRESADORES.....	25
4.9 – - SISTEMAS DE DOSAGEM	26
4.10 – CENTRÍFUGAS	26
4.11 – MOINHOS A TAMBOR	26

5 – FUNÇÕES DOS CONVERSORES	26
5.1 – MULTI-SPEED.....	26
5.2 – CICLO AUTOMÁTICO	26
5.3 - CURVA U/F AJUSTÁVEL.....	27
5.4 – REJEIÇÃO DE FREQUÊNCIAS CRÍTICAS (SKIP FREQUENCY)	28
5.5 - FRENAGEM CC	28
5.6 – FRENAGEM REOSTÁTICA	29
06 – ASPECTOS GERAIS.....	29
6.1 - CARACTERÍSTICAS DOS MOTORES COM INVERSOR.....	29
7 - CONCLUSÃO	33

1 - Partida eletrônica (SOFT - STARTER)

A chave de partida a estado sólido consiste de um conjunto de pares de tiristores (SCR) ou combinações de tiristores/diodos, para cada fase do motor. O ângulo de disparo de cada par de tiristores é controlado eletronicamente para aplicar uma tensão variável no motor durante a aceleração. Este comportamento é, muitas vezes, chamado de partida suave (soft-starter).

No final do período de partida, ajustáveis conforme a aplicação, a tensão atinge seu valor pleno após uma aceleração suave ou uma rampa ascendente, ao invés de ser submetido a transição brusca, como ocorre com os métodos de partida por autotransformador, ligação estrela - triângulo, etc. Com isso, consegue-se manter a corrente de partida próxima da nominal e com suave variação, como desejado.

Além da vantagem do controle da tensão (corrente) durante a partida, a chave eletrônica apresenta, também, a vantagem de não possuir partes móveis ou que gerem arco elétrico, como nas chaves eletromecânicas.

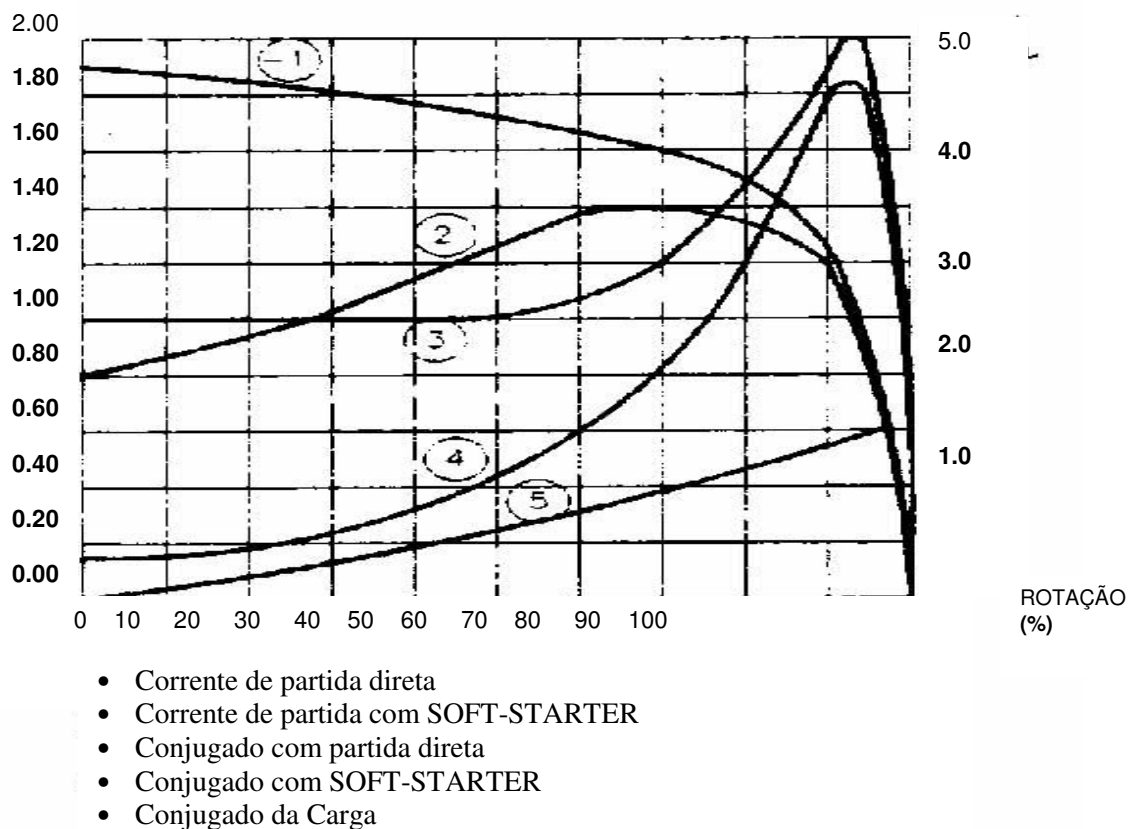


Fig1 - Curva característica de conjugado e corrente para motor com partida suave (soft- starter).

Este é um dos pontos fortes das chaves eletrônicas, pois sua vida útil é mais longa, assim como dos componentes acessórios (contatores, fusíveis, cabos, etc.). Ainda como um recurso adicional, a soft-starter apresenta a possibilidade de efetuar a desaceleração suave para cargas de baixa inércia.

1.1 - Características e Benefícios das SOFT-STARTERS

Abaixo, estão listadas as características comumente disponíveis em Soft-Starters modernas com os benefícios que estas podem fornecer.

a) Perfil da Tensão de Partida

Conforme ilustrado na figura 2, o usuário pode ajustar a tensão inicial (V_p) para igualar a tensão que começa a mover a carga. A tensão então, aumenta de (V_p) até a tensão da linha durante um tempo ajustável (t_r). Isto assegura uma partida suave, livre de choques. Para ajudar a vencer cargas de altas inércias, a característica “KICK START” (pulso de tensão na partida) está disponível. Um pulso de tensão a um nível ajustável (V_k) é aplicado por um período também ajustável (t_k). A tensão é então, elevada na maneira usual.

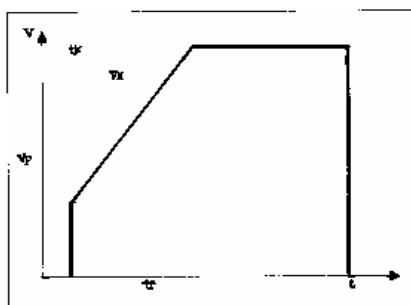


Figura 2 - Perfil da tensão de partida.

b) Perfil da Tensão na Desaceleração

A tensão é reduzida "instantaneamente" a um nível ajustável (V_t) que está normalmente ajustado ao nível onde o motor inicia a diminuição da rotação. A tensão declina segundo uma rampa ajustável (V_r2) até a tensão final (V_z) quando o motor terá parado de girar. Neste ponto, a tensão é desligada. Este “ Perfil Triplo de Rampa ” reduz choques hidráulicos em sistemas de bombeamento porque ele situa o conjunto do período de declive onde ele tem seu maior efeito na desaceleração do motor. Este sistema é visto na figura 3.

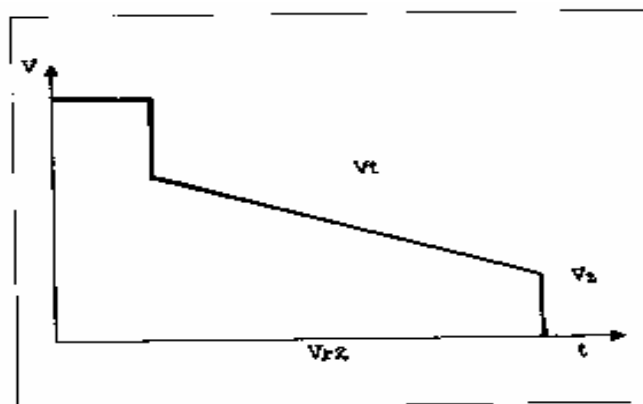


Figura 3 - Perfil de rampa de desaceleração.

c) Controle da Limitação de Corrente

A corrente é conservada num valor ajustável (I_{cl}) por um determinado tempo (t_{cl}). Isto permite que cargas de alta inércia sejam aceleradas com a menor corrente possível. Isto também coloca um limite na corrente máxima, para partidas de motores em fontes limitadas. Muitas cargas de torque constante também se beneficiam deste modo de partida.

Devemos notar, contudo, que a capacidade para limitar a corrente de partida a um certo valor não deve ser confundida com a capacidade de acelerar a carga à velocidade total aquela corrente.

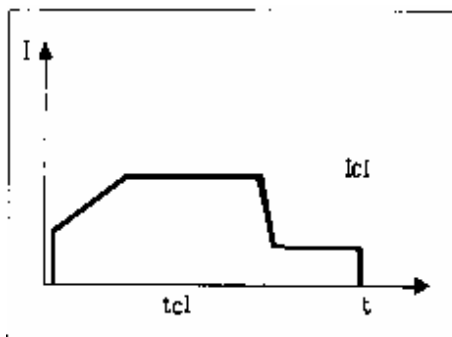


Figura 4. Perfil da limitação de corrente

d) Sinalizações

Sinalizações por leds, display e relés estão disponíveis para dar informações detalhadas sobre o status (condição) da Soft-Starter e da carga. Isto pode ser levado a um Display Remoto de LED's montado em painel frontal.

e) Proteção do motor

A figura 5 mostra o perfil típico da corrente em uma Soft-Starter. Além de estabelecer interrupções e bloqueios em caso de falta de fase ou falha do tiristor, algumas unidades são equipadas com relés eletrônicos de sobrecarga. Durante o tempo de partida (T_s) e o tempo de operação (T_r) um relé eletrônico de sobrecarga no motor entra em operação. Durante T_r , o bloqueador de corrente máxima/mínima é ativado.

A unidade pode ser configurada para dar proteção de sobrecorrente ou subcorrente a níveis ajustáveis I_{oc} e I_{uc} .

Muitos modelos também incorporam um relé para termistor do motor.

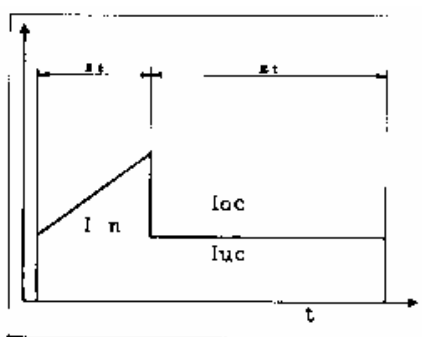


Figura 5 - Típico perfil de sobrecarga de corrente.

f) Sensibilidade a Seqüência de Fase

Alguns modelos somente operarão se a seqüência de fase estiver correta. Esta característica pode ser usada para assegurar que as cargas sensíveis à inversão de fase não girem ao contrário depois de uma mudança na seqüência de fase da fonte. As bombas, em particular, podem se beneficiar desta característica. Uma desvantagem dos modelos que são sensíveis a seqüência de fase é que qualquer operação de reversão deve ser feita na saída da soft-starter.

g) Fusível Ultra Rápido

Muitos fabricantes recomendam o uso de fusíveis ultra rápidos para proteger os tiristores (SCRs). Não argumentaremos sobre as vantagens de se adaptar estes fusíveis aqui, mas diremos que onde estes são especificados é bem melhor ter a possibilidade de tê-los integrados a Soft-Starter. Isto economiza tempo na instalação e espaço no painel.

h) Facilidade de Montagem

As chaves de partida estática modernas oferecem inúmeras características, mas isto não as fazem, necessariamente, difíceis de serem montadas. Enquanto um grande número de trimpots são necessários nas unidades analógicas, o que faz suas montagens problemáticas, a maioria dos modelos digitais usam chaves ou teclado de operação com montagens simples, precisas e repetíveis.

i) Modelos Semi Controlados

Muitas Soft-Starters pequenas, até 45A, usam 03 SCRs e 03 diodos como elementos de controle. Isto reduz o custo da placa de controle, mas não aumenta as harmônicas no sistema. É provável que o uso crescente do microprocessador para controle do disparo de 06 SCRs produzirá economia de escala, fazendo com que as unidades semi-controladas sejam cada vez menos comuns.

j) Economia de Energia

Muitas Soft-Starters tem um circuito de otimização de energia embutido. Isto reduz a tensão aplicada para motores à vazio, reduzindo as perdas no ferro, que são a maior perda nos motores com baixas cargas. Economias significantes podem ser experimentadas em motores que regularmente funcionam a cargas menores que suas nominais. As melhores aplicações são em transportadores de aeroportos e serrarias.

Como norma prática, a otimização de energia torna-se interessante quando a carga for menor que 50% por mais de 50% do tempo. Mesmo que a otimização de energia não seja benéfica, só a confiança adquirida

em uma partida menos problemática, significando que a máquina pode ser desligada quando não necessária, é a melhor maneira de se economizar energia.

1.2 - Aplicações

Muitas aplicações se beneficiam de Soft-Starter. As três mais comuns são descritas abaixo. Em cada caso, o perfilamento de tensão é usado para igualar o torque do motor às necessidades da carga.

a) Bombas

Esta é a aplicação mais comum para as Soft-Starters. Uma simples rampa de tensão iguala as curvas do motor e da carga. A figura 6 mostra o torque de saída do motor à diferentes tensões e como uma simples rampa de tensão de saída da Soft-Starter coloca a curva de torque do motor precisamente sobre a curva de torque de carga da bomba. A corrente de partida é reduzida para aproximadamente 2,5 vezes a corrente nominal. A rampa de desaceleração reduz drasticamente o choque hidráulico. Por estas razões muitas empresas de saneamento especificam Soft-Starters para uso em bombas acima de 11 kW. Bombas sujas com lama podem se beneficiar da característica “KICK START” para ajudar a superar o aumento de inércia de partida devido a presença de sólidos na bomba.

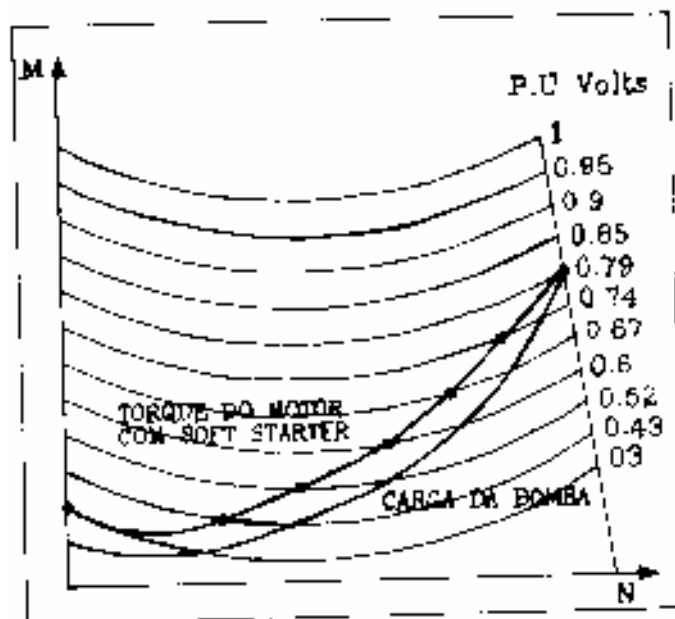


Fig. 6 - . Torque do motor à tensões reduzidas

b) Compressores

A crescente necessidade de ar-condicionados e refrigeração industrial significa que, frequentemente, os compressores estão sendo instalados em fontes de alimentação muito fracas. A Soft-Starter reduz drasticamente o perigo de desligamentos e distúrbios nas fontes de alimentação. Isto é particularmente importante onde existem sistemas de computação, isto é, em escritórios ou em fábricas de processo contínuo.

A Soft-Starter também reduz a manutenção e permite que compressores “críticos” sejam desligados quando não forem necessários. Alguns compressores tem em suas características de carga uma componente de alta inércia de partida. O “KICK START” pode ser novamente usado para superar estas componentes.

c) Ventiladores

Os ventiladores, assim como as bombas, tem uma necessidade de torque que aumenta com a velocidade, mas tem também uma considerável inércia. Normalmente, o limite de corrente é usado para estender o tempo de rampa enquanto a inércia do sistema é superada.

1.3 – Alguns cuidados com SOFT-STARTERS

Obviamente, as Soft-Starters não são aplicáveis em todas ocasiões. Abaixo, relacionamos uma lista de pontos a serem observados:

a) Refrigeração

Montar sempre as unidades verticalmente com a ventilação para cima. Considere uma perda de calor de 3,6 W/A da corrente circulante. Consulte os manuais para maiores informações.

b) Economia de Energia

Não pode ser usado em motores de anéis ou em aplicações onde ocorram rápidas mudanças de carga.

c) Motores de Anéis

Requer um único resistor de partida no circuito rotórico para operar com partida suave.

d) Correção de Fator de Potência

Nunca coloque capacitores na saída das Soft-Starters. Nunca ligue capacitores durante a rampa de aceleração.

e) Motores com Freio

Alimente o freio separadamente, energize com o relé de partida da Soft-Starter.

- *Elevadores e guindastes.* Nunca use Soft-Starter nestas aplicações.
- *Aplicações que requerem torque total à velocidade zero*

Não são adequados para partidas com tensão reduzida, como por exemplo, trituradores primários.

1.4 - Informações necessárias para especificação

Para se especificar uma Soft-Starter é importante obter-se os seguintes dados:

a) Sobre a Aplicação

Tome cuidado com amoladores, trituradores, elevadores, guindastes, centrífugas e/ou outras aplicações com um alto número de partidas por hora.

b) Sobre os motores

- Qual é a corrente do motor ou sua potência?
- Qual é a tensão da rede?
- O motor é assíncrono e de velocidade única?

c) Montagem

- Qual é o grau de proteção IP do painel?
- Qual é o tipo de refrigeração disponível?
- Qual é a tensão do painel de controle?

1.5 - Questões Típicas

A seguir, apresentamos uma lista das questões mais comuns sobre as SOFT-STARTERS e suas aplicações:

1) Quais são as correntes típicas de partida?

Bombas.....de 2,5 à 3 vezes a corrente nominal
Compressores.....de 3 à 3,5 vezes a corrente nominal
Amoladores, etc. de 3,5 à 4 vezes a corrente nominal

Se o valor da corrente de partida for crítico, este valor pode ser calculado para cerca de 10% acima dos seguintes dados:

- Motor: torque / rotação, corrente / curvas da rotação, inércia inicial.
- Carga: torque / curva da rotação, inércia inicial.

2) Qual o equipamento necessário em linha com Soft-Starter?

Fusíveis, contadores e relés de sobrecarga (se não incluído na Soft-Starter) dimensionados para uma partida direta.

3) Que efeito a Soft-Starter tem sobre o fator de potência?

Nenhum, exceto no modo de economia de energia onde o fator de potência do sistema melhora.

4) As Soft-Starter produzem Harmônicas?

Sim, porém somente durante a partida ou quando em economia máxima de energia. Entretanto, elas criam menos harmônicas do que os sistemas de velocidade variável.

5) Qual a diferença entre Soft-Starters e Conversores de Frequência?

As Soft-Starters controlam apenas a tensão, ou seja, servem para acelerar e desacelerar a velocidade dos motores na partida. Já, os Conversores de Frequência por controlarem a tensão e a frequência, tem por função maior controlar a velocidade de motores. Isto significa variar a velocidade durante o funcionamento do motor, além de controlar a aceleração e desaceleração na partida e parada.

Conforme exposto acima utilizar Conversores de Frequência para partida e parada de motores implica em sub-utilizar o equipamento normalmente com características mais complexas e de custo maior quando comparamos com Soft-Starters.

As Soft-Starters são comparativamente simples, de baixo custo e compactas quando comparadas com Conversores de Frequência.

Em suma, se uma aceleração e/ou desaceleração eletronicamente controlada for necessária em um motor com rotação fixa, é mais vantajoso usar uma Soft-Starter.

1.6 - Conclusão

Quando corretamente dimensionadas e instaladas, as Soft-Starters reduzem a corrente de partida e o torque para o mínimo necessário para acelerar a carga. Elas também reduzem choques hidráulicos em aplicações de bombeamento.

Para que as Soft-Starters sejam um produto confiável, é fundamental que elas sejam corretamente aplicadas.

2 – Sistemas de variação de velocidade

Uma das necessidades que sempre existiram, no passado, foi a variação de velocidade em motores de indução, pois a mesma é fixa e está relacionada com a característica elétrica construtiva do motor e a frequência da rede a qual ele está ligado. Existem atualmente vários sistemas de variação de velocidade e que para um melhor entendimento iremos classificá-los em:

- Variadores mecânicos
- Variadores hidráulicos
- Variadores eletromagnéticos
- Variadores eletroeletrônicos

2.1 - Variação da frequência da tensão de alimentação

Os motores podem ser controlados de modo a prover um ajuste contínuo de velocidade e conjugado com relação à carga mecânica.

O fato da velocidade dos motores de indução ser dada pela relação:

$$n = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{p}$$

Onde:

n = Rotação [rpm];

f = Frequência da rede [Hz];

p = Número de pares de pólos;

s = Escorregamento

Sugere a possibilidade de se obter varias velocidades para um mesmo motor variando-se a frequência. Com a variação da frequência obtém-se uma variação contínua da velocidade, ou seja, uma forma de se conseguir variar a velocidade dos motores de indução A através da alimentação por uma fonte de frequência variável (*Conversores estáticos de frequência*).

3 – Conversores estáticos de frequência

3.1 – Introdução

O mais eficiente método controle de velocidade de motores de indução trifásicos, com menores perdas no dispositivo responsável pela variação da velocidade, consiste na variação da frequência (f_1) da fonte alimentadora através de conversores de frequência, onde o motor pode ser controlado de modo a prover um ajuste contínuo de velocidade e conjugado com relação à carga mecânica.

Conforme visto no capítulo II, através do equacionamento da máquina assíncrona, sabemos que, para o conjugado desenvolvido pelo motor assíncrono vale a seguinte relação:

$$C = \Phi_m \cdot I_2$$

E que o fluxo depende da relação U_1/f_1 , desprezando-se a queda de tensão na resistência R_1 e na reatância de dispersão X_{d1} do estator, pode-se dizer que :

$$\Phi_m = \frac{U_1}{f_1}$$

Onde:

ϕ_m = Fluxo de magnetização

I_2 = Corrente do rotor

U_1 = Tensão estatórica

f_1 = Frequência da rede

Para possibilitar a operação do motor com torque constante para diferentes velocidades, deve-se fazer variar a tensão U_1 proporcionalmente com a variação da frequência f_1 mantendo desta forma o fluxo constante.

3.2 – Tipos de conversores de frequência

Um conversor de frequência converte a tensão da rede de amplitude e frequência constantes em uma tensão de amplitude e frequência variáveis. Esta conversão, pode ser obtida direta ou indiretamente:

- Conversão Direta : onde se enquadram os cicloconversores;
- Conversão Indireta : onde se enquadram os conversores com Circuito Intermediário.

3.3 – Tensão no circuito intermediário constante

Com este sistema, a tensão no circuito intermediário é constante e obtida através de uma ponte de diodos e um banco de capacitores que formam o circuito intermediário (link DC), cujo assunto será abordado em maiores detalhes no item a seguir.

3.4 – Conversores de frequência com modulação por largura de pulsos (PULSE WIDTH MODULATION - PWM)

GENERALIDADES

Um conversor de frequência com modulação por largura de pulsos consiste basicamente dos seguintes blocos, conforme mostra a figura a seguir:

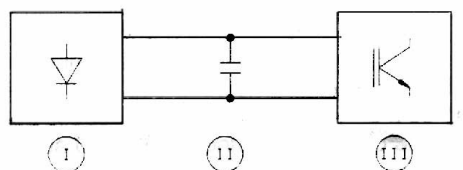


Figura 7 - Diagrama de blocos de conversor tipo PWM

- I - Fonte de tensão contínua elaborada a partir de uma ponte retificadora (diodos) alimentada por uma rede monofásica ou trifásica;
- II - Filtro capacitivo (link DC);
- III - Inversor constituído de transistores de potência;

A ponte retificadora de diodos transforma a tensão alternada de entrada em uma tensão contínua que é filtrada por um banco de capacitores.

O circuito de corrente contínua é chamado de *circuito intermediário*. Esta tensão contínua alimenta uma ponte inversora formada por transistores de potência (BJT, IGBT ou MOSFET) e diodos de roda livre. O comando das bases dos transistores, feito pelo circuito de comando (que utiliza um microcontrolador), permite a geração de pulsos para o motor com tensão e frequência controladas. O formato dos pulsos obedece ao princípio de modulação denominado PWM Senoidal, que permite um acionamento com corrente praticamente senoidal no motor. A configuração módulo é composta de transistores de potência.

Para formar um sistema de tensões trifásicas com um conversor, os transistores são chaveados com sinais gerados externamente, por um microcontrolador digital numa sequência pré-estabelecida, gerando uma forma de onda retangular ou escalonada de um sistema trifásico nos terminais de saída CA.

O circuito de controle é responsável pela geração dos pulsos de disparo dos transistores, monitoração e proteção dos componentes da potência, interpretação dos comandos, proteção e segurança.

Com este método os transistores de potência são acionados e desligados várias vezes, de modo que o valor médio da tensão de saída constante seja variada.

Como mostra a forma de onda da figura (a) a seguir, os transistores do circuito inversor são ligados e desligados de tal maneira que produzem pulsos de igual largura e com a parte de tensão de alimentação fixa igual ao valor da tensão do circuito intermediário de valor E .

Uma melhora na forma de onda, em função da diminuição da quantidade de harmônicos, pode ser obtida variando-se a relação entre os períodos ligado e desligado, como mostra a figura 8.

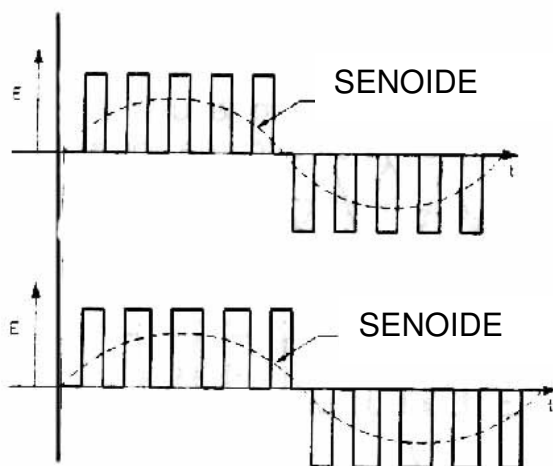


Figura 8

A variação U/f é feita linearmente até a frequência nominal do motor (50/60 Hz), acima desta, a tensão que já é a nominal permanece constante e há então apenas a variação da frequência que é aplicada ao enrolamento do estator.

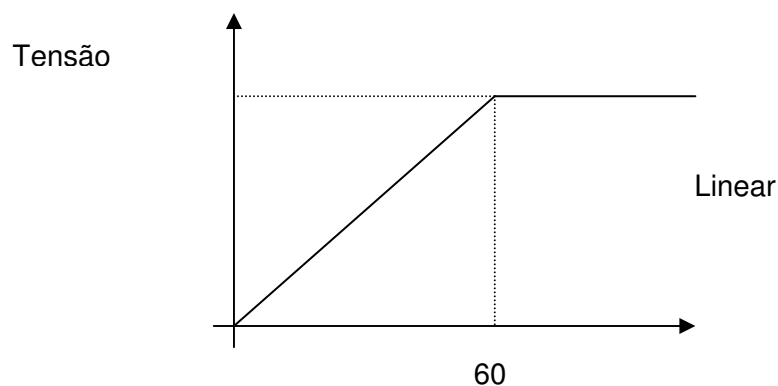


Figura 9 - Curva representativa da variação U/f .

Com isto determinamos uma área acima da frequência nominal que chamamos região de enfraquecimento de campo, ou seja, uma região onde o fluxo começa a decrescer e, portanto o torque também começa a diminuir. Diminui o carregamento.

Assim a curva característica conjugado x velocidade do motor acionado com conversor da seguinte maneira :

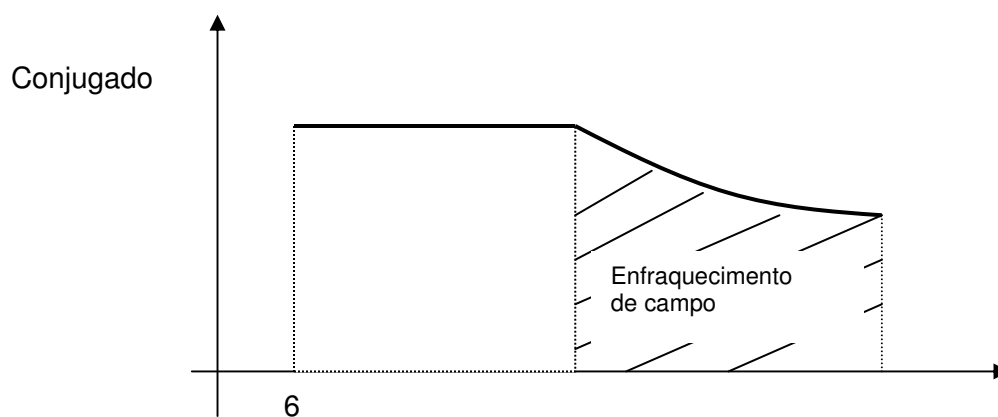


Figura 10 - Curva característica conjugado x velocidade

Abaixo de 6 Hz o conjugado não aparece (teste em laboratório – 5 Hz)

Podemos notar então, que o conjugado permanece constante até a frequência nominal e, acima desta, começa a decrescer. A potência de saída do conversor de frequência comporta-se da mesma forma que a variação U/f , ou seja, cresce linearmente até a frequência nominal e permanece constante acima desta.

$$P = \underline{C} \cdot n$$

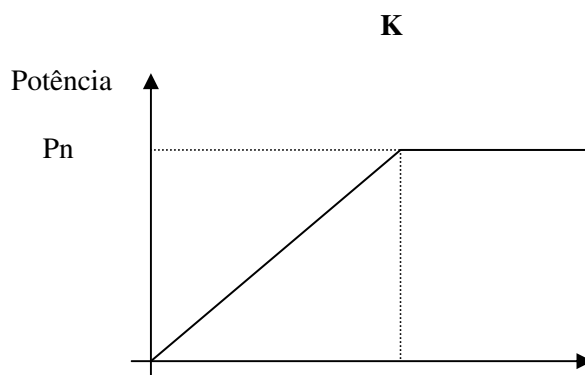


Figura 11 – Curva característica da potência de saída do conversor.

3.5 – Controle escalar

Entende-se por controle escalar o sistema de controle de velocidade feito por conversores de frequência convencionais, onde é necessária apenas a variação de velocidade em aplicações normais e que não requerem elevadas dinâmicas e precisões, nem controle de torque (corrente).

Em um sistema com controle escalar, é possível uma precisão de velocidade de até 0,5% da rotação nominal sem variação de carga, e de 3% a 5% com variação de carga de 0 a 100% da torque nominal. Pelo princípio de funcionamento e aplicação, são utilizados na maioria das vezes motores de indução convencionais sem nenhum sistema de realimentação de velocidade (tacogerador acoplado ao motor) em malha fechada. A faixa de variação de velocidade é pequena e da ordem de 1:10 (Ex: 6 a 60 Hz).

Com estas características, o conversor de frequência convencional (escalar), é utilizado em maior escala, pois apresenta um custo relativo menor que o conversor com controle vetorial, como também em relação a um acionamento por motor CC e conversor CA/CC.

A fim de estabelecer um comparativo da precisão de regulação de velocidade, apresentamos a seguir uma tabela com valores característicos para um motor de 3 CV, 4 pólos, com variação de velocidade feita através de conversor de frequência em quatro situações distintas: conversor direto, conversor com ajuste de compensação de escorregamento nominal, conversor com ajuste de compensação de escorregamento otimizado e conversor realimentado por tacogerador de pulsos acoplado ao motor.

CARGA	SEM COMPENSAÇÃO						COM COMPENSAÇÃO					
	VAZIO		50%		100%		VAZIO		50%		100%	
FREQ.(HZ)	RPM	%	RPM	%	RPM	%	RPM	%	RPM	%	RPM	%
5	149	0	99	34	80	46	176	17	133	11	130	11
10	300	0	266	11	143	52	326	8	305	1,6	253	15
20	599	0	571	4,8	486	19	628	4,6	618	3	579	3,5
30	904	0	880	2,2	802	10	934	3,7	922	2,4	891	1
40	1208	0	1178	1,8	1107	7,7	1236	3	1223	1,9	1202	0
50	1507	0	1480	1,3	1415	5,6	1535	2,3	1530	2	1511	0,7
60	1807	0	1785	0,8	1715	4,7	1836	2	1820	1,1	1801	0
70	2106	0	2068	1,5	1989	5,2	2133	1,5	2114	0,6	2090	0,4
80	2404	0	2340	2,5	2262	5,7	2429	1,2	2420	0,8	2393	0,3

TABELA 1 – Conversor sem e com compensação de escorregamento nominal.

	Com Compensação Otimizado						Com Realimentação Por Taco					
CARGA	VAZIO		50%		100%		VAZIO		50%		100%	
FREQ.(HZ)	RPM	%	RPM	%	RPM	%	RPM	%	RPM	%	RPM	%
5	187	24	176	17	145	3.3	160	6.6	160	6.6	160	6.6
10	336	12	328	9.3	322	7.3	312	4	312	4	311	4
20	641	6.8	633	5.5	634	5.5	612	2	612	2	611	2
30	944	4.8	937	4.1	940	4.4	910	1.1	910	1.1	910	1.1
40	1250	4.1	1238	3.1	1243	3.5	1212	1	1212	1	1211	1
50	1551	3.4	1537	2.4	1551	3.4	1510	0.6	1510	0.6	1509	0.6
60	1850	2.7	1838	2.1	1833	1.8	1810	0.5	1810	0.5	1810	0.5
70	2139	1.8	2122	1	2112	0.5	2109	0.4	2109	0.4	2109	0.4
80	2435	1.4	2412	0.5	2395	0.2	2409	0.3	2409	0.3	2409	0.3

TABELA 2 – Conversor sem e com compensação de escorregamento otimizado e realimentação por tacogerador de pulsos.

3.6 – Controle vetorial

Em aplicações onde se faz necessária uma alta performance dinâmica (respostas rápidas e alta precisão de regulação), o motor elétrico deverá fornecer essencialmente um controle preciso de torque para uma faixa extensa de condições de operação.

Para tais aplicações os acionamentos de corrente contínua sempre representaram uma solução ideal, pois, a proporcionalidade da corrente de armadura, do fluxo e do torque num motor de corrente contínua proporciona um meio direto para o controle de torque.

Contudo, a busca por avanços tecnológicos significativos, tem diminuído esta hegemonia, e gradativamente, estão crescendo as opções por novas alternativas como o uso de acionamentos em corrente alternada do tipo controle vetorial.

O controle vetorial é uma forma de regulação que possibilita a avaliação individual das componentes elétricas internas do motor de corrente alternada (resistências e indutâncias), permitindo uma regulação mais precisa, tornando seu comportamento semelhante ao de um motor de corrente contínua.

Vantagens do conversor com controle vetorial:

- Elevada precisão de regulação de velocidade (0,01%);
- Alta performance dinâmica;
- Controle de torque linear para aplicações de posição ou de tração;
- Operação suave em baixa velocidade e sem oscilações de torque, mesmo com variação de carga.

A produção de torque em um motor CC ou motor de indução em gaiola é uma função da relação de posição ou vetorial, no espaço, do fluxo magnético do entreferro para a corrente do rotor.

Referindo-se à figura 9.5.aa, o fluxo e a corrente de armadura estão sempre idealmente posicionados em virtude da ação de chaveamento do comutador; portanto o controle da corrente de armadura dá o controle imediato de torque do motor CC, tanto em regime permanente como transitório.

No motor de indução, o fluxo rotativo é responsável por estabelecer a corrente do rotor; a posição instantânea ou relação vetorial entre eles é uma função do escorregamento e de outras variáveis. Em regime permanente com um escorregamento muito baixo, quanto a reatância do rotor é desprezível, a corrente estará quase na posição ideal mostrada na figura 9.5ab; mas para escorregamento elevado, com a frequência da corrente do rotor maior, a reatância do rotor não é desprezível e a corrente é então atrasada, como mostrado na figura 9.5ac, resultando em menos torque.

Para obter uma resposta de controle transitória do motor de indução, que é igual àquela do motor CC, o fluxo em relação à posição da corrente do rotor tem de ser como mostrado na figura 9.5ab em todos os instantes. Diferente do motor CC, onde o fluxo e a corrente são controlados independentemente, no motor de indução o fluxo e a corrente não são independentes um do outro, sendo ambos estabelecidos pela, e relacionados à, corrente no enrolamento do estator.

Idealmente, o fluxo do rotor estabelecido pela corrente do rotor está em quadratura com o fluxo do estator, com o fluxo resultante sendo distorcido no entreferro e, portanto, gerando torque.

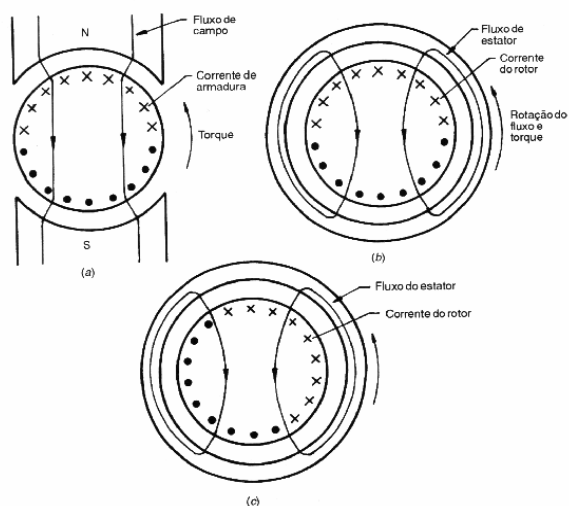


figura 12 : Relação entre fluxo e corrente nos motores.

a) Motor CC

b) Mostrando a posição ideal da corrente do rotor no motor de indução

c) Mostrando como na prática a corrente do rotor se atrasa do fluxo

O circuito do motor de indução já foi apresentado anteriormente mas, para fins de explicação do controle vetorial, ele é desenhado simplificado na figura 13b, com o diagrama fasorial associado. O torque desenvolvido é relacionado à componente em fase de I_2 mostrada como I_q e o fluxo é relacionado à corrente I_m modificado pela componente reativa de I_2 para dar a componente mostrada como I_d . O objetivo do controle vetorial, às vezes referido como controle de orientação de campo, é controlar separadamente o módulo das duas componentes I_d e I_q , de tal forma que o fluxo seja proporcional a I_d e o torque, proporcional a I_q .

Controlando independentemente cada componente, temos um sistema que se iguala ao do motor CC em ambas as respostas, a de regime permanente e a transitória.

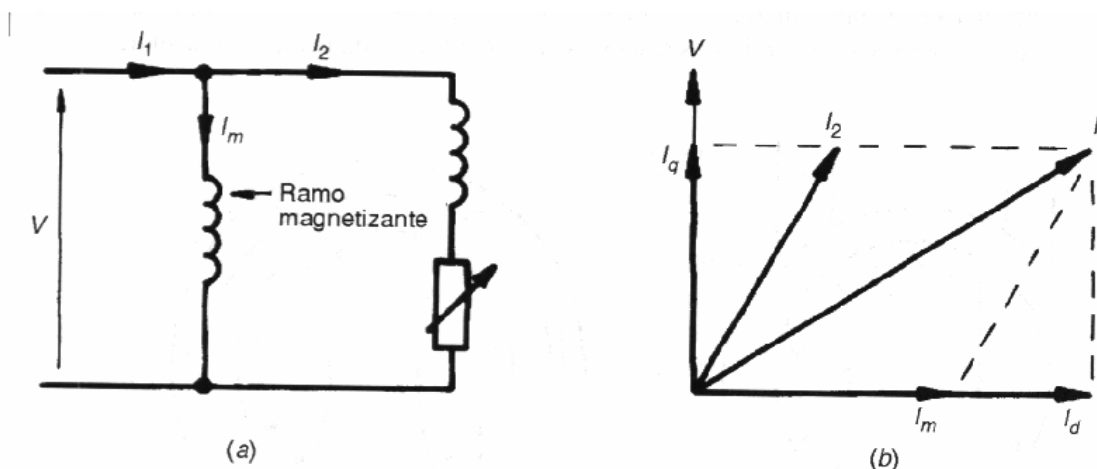


figura 13 - Componentes das correntes de estator do motor de indução
a) Circuito equivalente b) Diagrama fasorial

Referindo à figura 12a, no motor CC o fluxo é estacionário, com a corrente de armadura fixada no espaço pela ação do comutador, mas no motor de indução o fluxo e as correntes do rotor giram juntos. Os valores instantâneos das correntes trifásicas no estator determinam o ângulo do fluxo no espaço e o da corrente do rotor tal que tenha de haver um codificador que meça a posição mecânica angular do rotor em relação às correntes instantâneas do mesmo.

Para implementar o controle vetorial, os parâmetros do motor devem ser conhecidos e os valores colocados em um conjunto altamente complexo de equações matemáticas desenvolvido a partir da teoria generalizada da máquina. Dessa maneira, os valores desejados das duas componentes da corrente dos três enrolamentos do estator. É o advento dos poderosos microprocessadores rápidos que permitiu que os cálculos fossem realizados em tempo real e que o controle vetorial se tornasse um sistema prático.

Uma explicação completa do sistema de controle vetorial é muito complexa para ser dada aqui, mas um resumo do sistema é dada na figura 13b. As duas componentes da corrente, uma relacionada ao estabelecimento do fluxo e a outra ao torque, são determinadas com referência nos parâmetros do motor e então convertidas aos valores trifásicos para o motor. A velocidade é medida por meio da determinação da taxa da saída do codificador de posição.

É necessário conhecer a posição do rotor porque a corrente no mesmo não pode mudar instantaneamente; portanto, uma variação transitória na carga pode mudar a taxa de rotação do rotor e, com isto, a posição da corrente no mesmo espaço. A corrente do estator tem de mudar para acomodar esse movimento da corrente do rotor no espaço. As posições angulares são todas referenciadas em um sistema de estrutura rotativa, enquanto no motor CC a estrutura de

referência é estacionária. Em essência no sistema está tentando manter um escorregamento consistente com a condição de torque.

Os dados relacionados aos parâmetros do motor têm de ser predeterminados e armazenados no sistema de controle. ou medidos pelo sistema de controle e então armazenados. As variações de temperatura alterarão os valores de resistência e em particular a constante de tempo do circuito do rotor.; essas variações têm de ser contabilizadas para entrar nos dados dos parâmetros do motor. A saturação do fluxo magnético também pode alterar os parâmetros do motor.

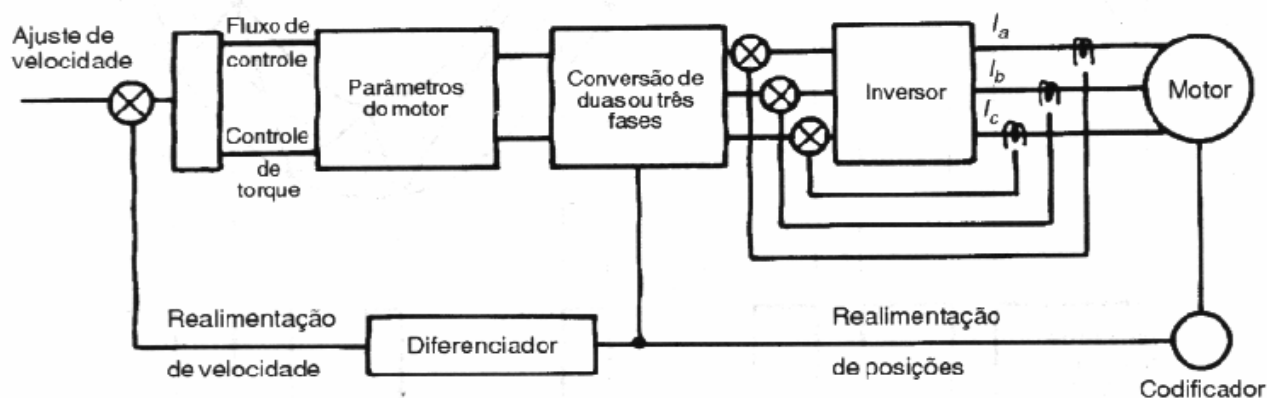


figura 14 - Esboço do sistema de controle vetorial

Os sistemas de controle menos complexos que contam com o estabelecimento da relação tensão/frequência e limitação de corrente, ou controle por meio da determinação do escorregamento, são geralmente conhecidos como **controladores escalares**. No sistema de controle vetorial, a configuração da forma de onda da corrente pode ser feita por um sistema conhecido como **controle da corrente de histerese**. a figura 15 ilustra o conceito, com os dispositivos do inversor sendo chaveados para manter a corrente dentro de uma banda acima ou abaixo da corrente desejada. Quando a corrente atinge a banda superior, o inversor desliga e, quando a corrente cai para a banda inferior, ele é ligado.

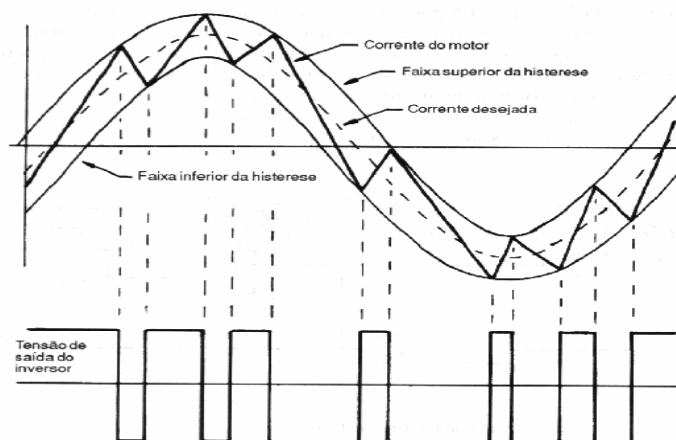
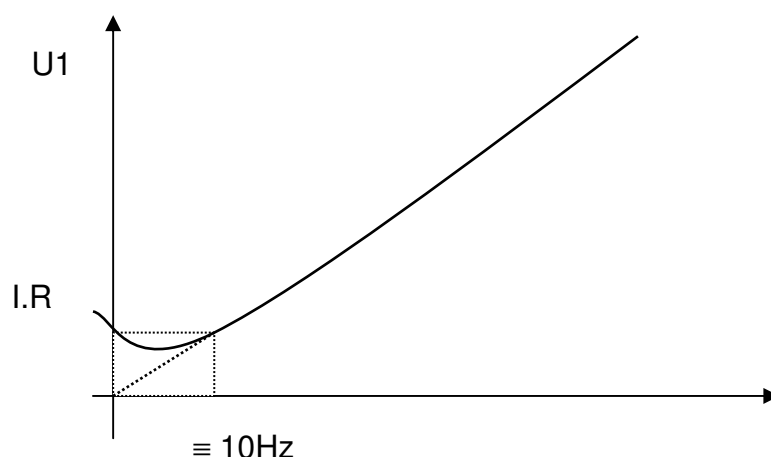


figura 15 Inversor do tipo controle de histerese

3.6.1 – Observações e considerações importantes

Quanto menor a tensão e a frequência do estator, mais significativa é a queda de tensão no estator, de modo que para baixas frequências, mantendo-se a proporcionalidade entre a frequência e a tensão, o fluxo e conseqüentemente o conjugado da máquina diminui bastante.

Para que isto seja evitado, a tensão do estator para baixas frequências deve ser aumentada, através a compensação $I \times R$, conforme figura a seguir:



3.6.2 – Operação abaixo da rotação nominal

Considerando-se que as perdas no cobre são resultado da corrente do motor, então a perda de potência será proporcional à carga.

Dessa forma, se o motor gira mais lento, com a mesma corrente nominal (determinada pela carga) gerando a mesma perda de potência que ocorre em velocidades mais elevadas, o motor se sobre aquece, pois há um menor fluxo de ar de refrigeração disponível quando o ventilador do motor se movimenta em velocidades menores (motores autoventilados).

Quando o motor é utilizado em aplicações para controle de ventiladores ou bombas centrífugas, a carga normalmente diminui, conforme a velocidade se reduz, dessa forma o sobre aquecimento deixa de existir.

Em aplicações onde o motor deve desenvolver pleno torque (100% da corrente) em baixa velocidade, o sobredimensionamento ou utilização de motores com um fator de serviço mais elevado se torna necessário.

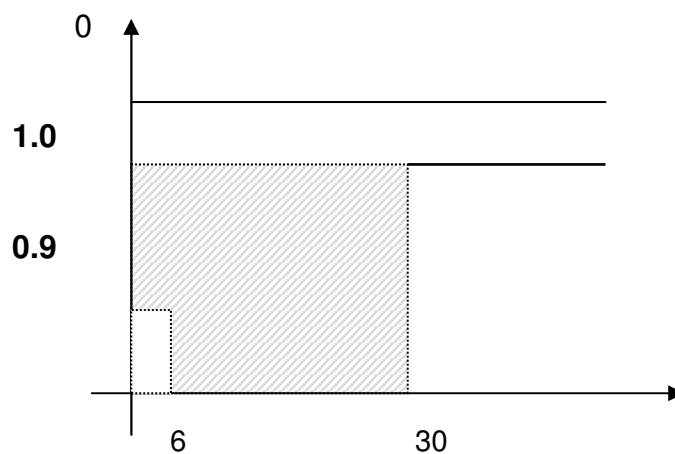
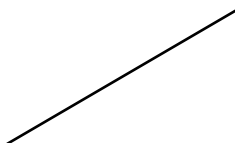


Figura 16 -Diminuição de torque devido à redução de refrigeração do motor.

Geralmente, em aplicações que possuam carga com conjugado constante e variação de velocidade de 0 a 50% da rotação nominal, utiliza-se o fator K de redução de potência, da figura anterior, ou se quisermos, poderemos utilizar o fator de serviço e/ou o aumento da classe de isolamento para manter o torque constante.



3.7 - Motores autoventilados

Para a operação com motores autoventilados padrões, é aconselhável a utilização de operação na faixa entre 50% a 100% da rotação nominal, faixa em que o ventilador acoplado ao próprio eixo do motor ainda possui eficiência na refrigeração.

Para rotações abaixo de 50%, em caso de cargas com conjugado constante, é necessário o sobre dimensionamento da carcaça do motor, ou através do simples aumento da potência nominal do motor, ou então através da fabricação de um motor especial com a carcaça sobre dimensionada, a fim de prover a devida refrigeração do motor.

Para o cálculo da carcaça a ser utilizada, deve-se levar em consideração o torque necessário pela carga a ser acionada e a faixa de variação de velocidade. Definindo-se a velocidade mínima de operação, utiliza-se o gráfico abaixo:

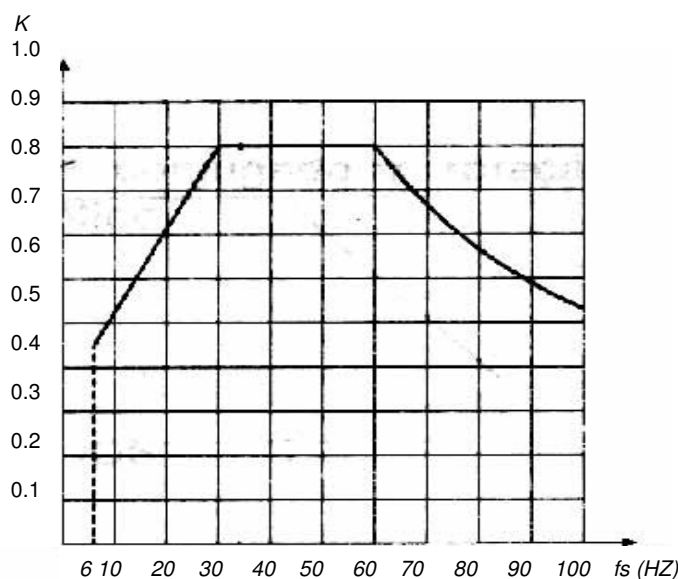


Figura 17

Com o conjugado sobre dimensionado obtido, define-se através de uma tabela de características de motores padrões, qual o motor que possui este conjugado. Este motor, portanto terá a carcaça que permitirá a utilização na faixa de rotações necessária sem o problema de sobre aquecimento, fornecendo o conjugado necessário para acionar a carga.

Pode-se então utilizar este motor diretamente, que estará sobre dimensionado em carcaça e também em potência, ou então utilizar um motor que possua esta carcaça sobre dimensionada, mas com a potência ajustada ao acionamento, através da bobinagem de enrolamentos em carcaça maior (motor especial).

3.8 – Operação acima da rotação nominal

Um motor padrão para operar em rede de frequência de 50 ou 60 Hz pode girar a frequências mais altas quando alimentado por um conversor de frequência. A velocidade máxima depende dos limites de isolamento para a tensão do motor e seu balanceamento mecânico.

Neste caso, como o motor funcionará com enfraquecimento de campo, a máxima velocidade estará limitada pelo torque disponível do motor e pela máxima velocidade periférica das partes girantes do motor (ventilador, rotor, mancais).

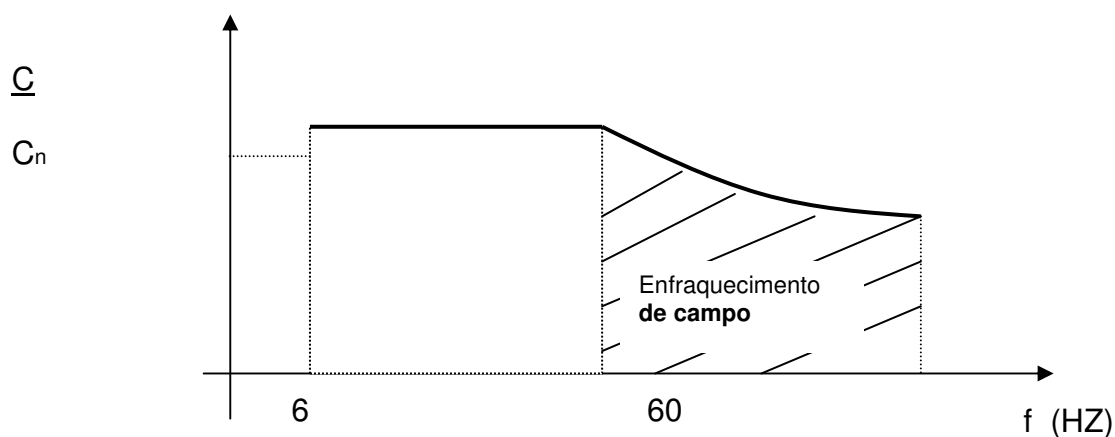


Figura 18 – Operação acima da rotação nominal

3.9 – Sistemas de acionamento de multiconversores

Para este acionamento considera-se a utilização de um conversor para cada motor, e o sincronismo entre os motores pode ser obtido utilizando-se uma lógica (equipamentos) auxiliar para permitir que se tenha a aceleração/desaceleração do sistema em conjunto para que não aconteçam sobrecargas individuais em alguns motores.

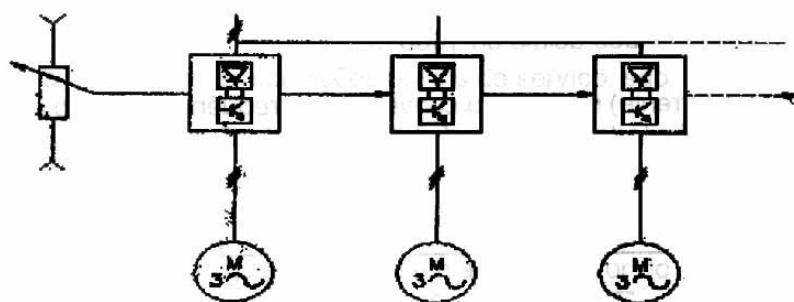


Figura 19 – Sistema multiconversores

Como características deste tipo de acionamento podemos citar:

- a) A proteção de cada motor é feita individualmente e diretamente pelo respectivo conversor e fusíveis ultra- rápidos.
- b) A potência de cada conversor é a própria potência do motor acionado.
- c) Pode haver o desligamento e religamento de cada motor individualmente, caso não seja necessário o sincronismo entre todos os motores.

3.10 – Sistemas de acionamento monoconversor

Para este acionamento considera-se a utilização de um conversor para vários motores, e o sincronismo entre os motores é obtido pela simples injeção da mesma frequência de alimentação para todos os motores. A figura a seguir demonstra a ligação destes motores:

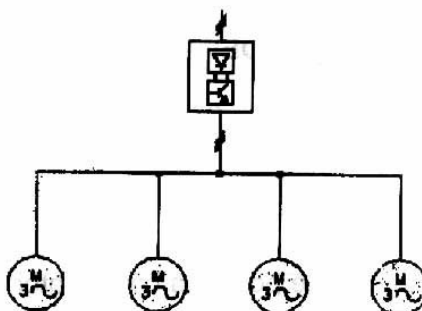


Figura 20 – Ligação de conversor a vários motores

Como características deste tipo de acionamento podemos citar:

- b) A proteção de cada motor é feita através de um relé térmico adicional, individualmente para cada motor na saída do conversor.
- c) A potência do conversor é igual a somatória de todas as potências dos motores acionados.
- d) Não pode haver o desligamento e religamento de cada motor individualmente, pois isto seria encarado como a condição de uma partida direta do motor, ocasionando um pico de corrente no religamento que causaria o bloqueio do conversor por sobrecorrente. No caso de desligamento de

um motor, é necessário o desligamento de toda a máquina para a posterior partida conjunta pela rampa de aceleração.

3.11 – Utilização de filtro de rádio frequência

Os conversores de frequência transmitem fortes ondas eletromagnéticas de alta frequência, que podem interferir em outros equipamentos eletrônicos. Os seguintes cuidados reduzem esta interferência:

- Instalação do conversor dentro de um painel metálico (aterrado);
- Uso de cabos blindados para conexões do motor;
- Aterramento de boa qualidade (baixa resistência);
- Uso de filtros supressores na alimentação do conversor.

4 – Aplicações

4.1 – Bombas

Levando em consideração o acionamento de bombas de vários tipos, podemos fazer a separação destas entre dois grupos básicos pelas suas características de conjugado resistente que são;

4.1.1 – Bombas dinâmicas ou turbobombas

Esta família de bombas (principalmente as BOMBAS CENTRÍFUGAS) possuem como característica Ter o conjugado de forma quadrática, isto é, o seu conjugado resistente varia com o quadrado da rotação aplicada. Por exemplo, caso seja duplicada a rotação da bomba para se aumentar a vazão/pressão do sistema hidráulico, conseqüentemente deverá ser fornecido um conjugado quatro vezes maior para tal.

4.1.2 – Bomba de deslocamento positivo ou volumétricas

Esta família de bombas possui como característica Ter o conjugado de forma constante para \ qualquer rotação, isto é, o seu conjugado resistente não varia com a rotação. Nesta família se enquadram as *Bombas a pistão, Bombas Helicoidais e as Bombas de Engrenagens*.

Caso seja necessário fazer controle de vazão/pressão através da variação da velocidade do motor, deve-se levar em consideração que o motor não poderá operar acima da sua rotação nominal, pois isto significa operar em condição de sobrecarga.

Para condições onde se necessita a operação com rotações abaixo da metade de sua rotação nominal (30 Hz), deverá ser considerado o problema de sobreaquecimento por redução de ventilação para motores convencionais. Problema este que pode ser contornado através do sobredimensionamento da carcaça do motor ou a utilização de ventilação forçada.

4.2 - Ventiladores

Esta aplicação possui como característica Ter o conjugado de forma quadrática, isto é, o seu conjugado resistente varia com o quadrado da rotação aplicada, da mesma forma que foi considerado para as bombas centrífugas.

4.3 – Sistemas de refrigeração - AR CONDICIONADO

Para sistemas de refrigeração e ar condicionado, os conversores de frequência são utilizados basicamente nos motores de acionamento das bombas e ventiladores do sistema.

A vantagem em se utilizar este equipamento está no fato de que a automação de grandes sistemas (por ex.: Shopping Centers, prédios comerciais, pavilhões de exposições, etc.) se torna bem mais versátil e com possibilidade de racionalização do consumo de energia com respectiva economia.

4.4 – Extrusoras

Estas máquinas tem como característica possuírem o conjugado resistente do tipo constante para qualquer velocidade. Deve-se novamente Ter cuidado especial para condições onde seja necessária a operação com rotações abaixo da metade da rotação nominal do motor, onde deverá ser considerado o problema de sobreaquecimento pela redução de ventilação para motores convencionais. Problema este que pode ser contornado através do sobredimensionamento da carcaça do motor ou a utilização de ventilação forçada.

4.5 – Misturadores

Para este tipo de aplicação, a princípio não é possível determinar qual a característica particular do conjugado resistente, uma vez que as condições da carga (material a ser processado) podem variar durante o processo.

4.6 – Sistemas de elevação

Fazem parte desta família de aplicações os *Guinchos*, *Guindaste*, *Pontes Rolantes (Içamento)* e *Elevadores em geral*. Nestes sistemas de elevação, a utilização de acionamentos por conversores de frequência convencionais e motor de indução trifásico não é geralmente aconselhável, pois neste caso o motor não terá condições de fornecer conjugado com o rotor parado (torque com rotação nula).

4.7 – Bobinadores/desbobinadores

Os bobinadores/desbobinadores são classificados em dois grupos, sendo:

- Bobinadores/desbobinadores (*Axiais*)
- Bobinadores/desbobinadores (*Tangenciais*)

4.8 – Fresadores

Esta aplicação tem como característica a necessidade de se manter a velocidade de desbaste (retirada de material) constante (velocidade superficial do reboło constante).

4.9 - Sistemas de dosagem

Entende-se por sistemas de dosagem as aplicações as quais utilizam conversores de frequência para variar a rotação do motor responsável pela alimentação do sistema, em processos contínuos e que não envolvam controle preciso de quantidade, volume ou vazão. Temos como exemplo aplicações tais como: *Esteira, Rosca sem fim e Bombas*.

4.10 – Centrífugas

As centrífugas são equipamentos utilizados para separação de compostos de várias naturezas. Entre estes equipamentos podemos salientar as *Centrífugas de açúcar, Roupas, Produtos químicos*, etc. Este tipo de aplicação possui características de conjugado resistente baixo e inércia extremamente alta. O conjugado resistente é devido principalmente a atrito de rolamentos resistente do ar.

4.11 – Moinhos a tambor

Entre os tipos de moinho a tambor, salientam-se os *Moinhoa de bolas* (indústria cerâmica) e por analogia do princípio de funcionamento, são aplicações semelhantes as *Máquinas de lavar roupa industrial*. Este tipo de aplicação possui característica de conjugado que varia linearmente com a rotação, ou seja, quanto maior a rotação, maior o conjugado resistente. Este sistema possui elevadas inércias na partida que dependem diretamente da quantidade de carga do moinho.

5 – Funções dos Conversores

5.1 – Multi-speed

Esta função permite a variação da frequência de saída do conversor através de combinações das entradas digitais, as quais podem ser comandadas por várias formas, tais como: chaves seletoras, contadores, relés, chaves fim-de-curso, sensores em geral, etc. Seu uso é recomendado quando utiliza-se duas ou mais velocidades fixas (pré-ajustadas), pois traz as seguintes vantagens:

- As frequências ajustadas dos patamares são mais estáveis e não apresentam influência da temperatura (grande repetibilidade)
- Imunidade a ruído elétrico
- Simplificação de comandos e ajustes

A maior imunidade ao ruído elétrico é importante quando os comandos são feitos a grandes distâncias, evitando o uso de sinais analógicos para referência de velocidade.

5.2 – Ciclo automático

O ciclo automático é utilizado para acionar um motor em uma determinada sequência de 1 operação a ser repetida a cada liberação do conversor. Conforme demonstrado na figura a seguir, a frequência de cada patamar, bem como a sua duração podem ser ajustadas (programadas) independentemente.

Após o início do ciclo, o mesmo poderá ser interrompido, sendo que a parada da máquina será feita através de rampa de desaceleração, e poderá ser reiniciado voltando a operar no mesmo ponto em que foi determinada a parada. Ao término do ciclo completo, o conversor aguardará um comando externo que habilite o início de um novo ciclo.

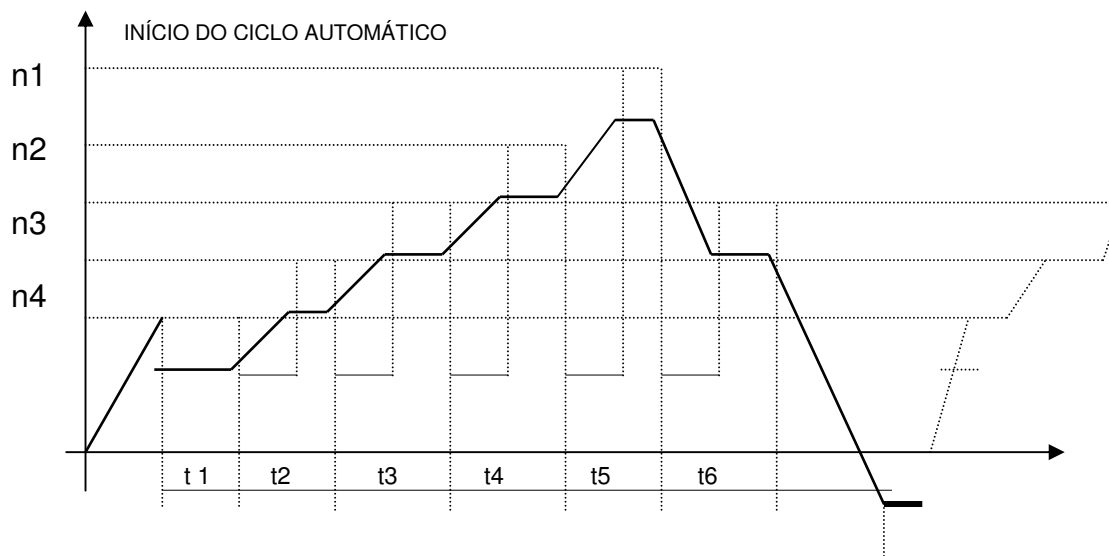


Figura 21 – Ciclo Automático

5.3 - Curva U/F ajustável

Esta função permite a alteração das curvas características padrões definidas, que relacionam a tensão e a frequência de saída do conversor e consequentemente o fluxo de magnetização do motor, a fim de adequar a uma necessidade específica.

Esta característica pode ser utilizada em aplicações especiais nas quais os motores utilizados necessitam de tensão nominal ou frequência nominal diferentes dos padrões. O ajuste da relação entre a tensão e a frequência é feito através do software do conversor (parâmetros de programação), onde se define a inclinação de uma reta (conforme ilustrado na figura a seguir) através de três pares (U , f) de pontos distintos que são: Ponto mínimo, ponto médio e ponto máximo.

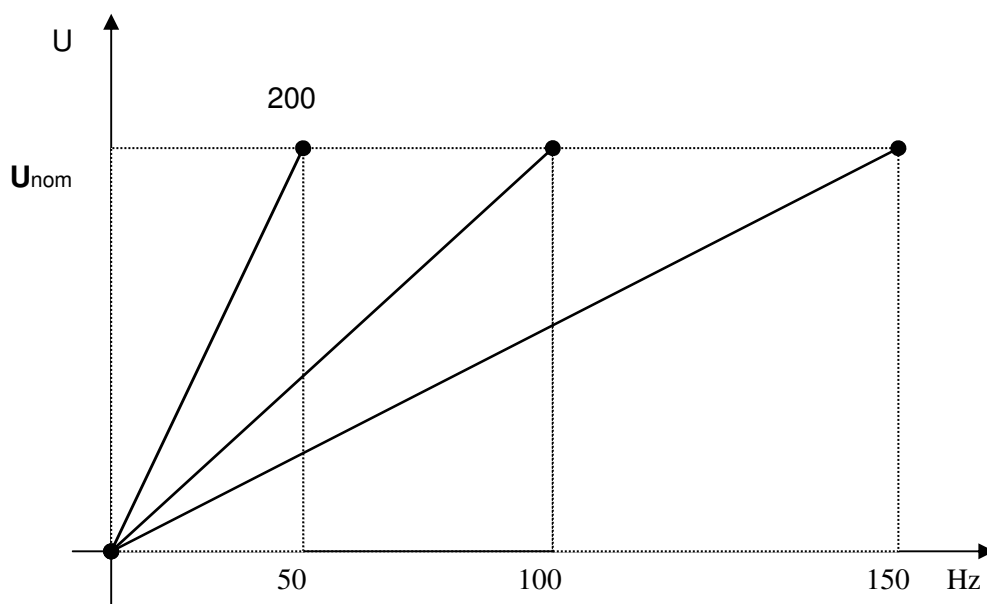


Figura 22 – Curva U / F Ajustável

5.4 – Rejeição de frequências críticas (SKIP FREQUENCY)

Este recurso é utilizado quando o sistema a ser acionado possui faixas de operação com rotações críticas e que não podem ser utilizadas. Como exemplo, problemas de ressonância mecânica em ventiladores, que causam a vibração excessiva do mesmo, podem causar a destruição de rolamentos e eixos.

5.5 - Frenagem CC

Este tipo de frenagem do motor é conseguida aplicando-se no seu estator uma tensão contínua. Esta é obtida pelo disparo dos transistores do conversor, não necessitando nenhum dispositivo adicional. Este tipo de frenagem é útil quando se deseja a parada do motor (freio) apenas, diferentemente da frenagem reostática que pode ser utilizada para reduzir a velocidade, mas mantendo-se o motor girando.

O torque de frenagem pode ser ajustado de acordo com a aplicação, através do tempo de injeção de corrente contínua e do nível de tensão CC aplicada no motor. (Maiores detalhes vide item 7.4 Capítulo II). Durante a frenagem CC, é necessário um intervalo para a desmagnetização do motor (Tempo Morto), para não haver um pico de corrente no conversor, que poderá atuar a proteção e bloquear o mesmo.

5.6 – Frenagem reostática

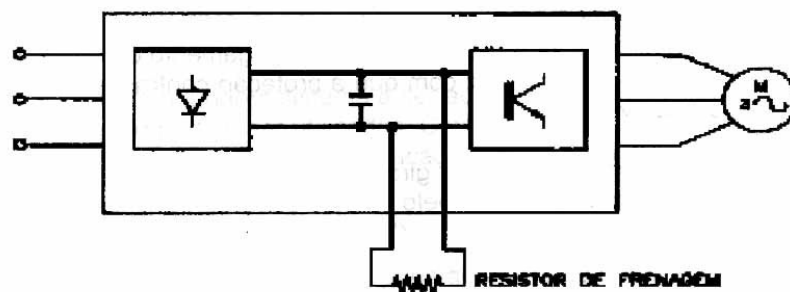


Figura 24

Este tipo de frenagem é utilizado nos casos em que são desejados tempos de desaceleração curtos ou quando forem acionadas cargas de elevada inércia.

06 – Aspectos Gerais

De uma forma geral, as aplicações de motores de indução com inversores é algo relativamente novo, principalmente dentro do contexto nacional, isto já no ponto inicial mostra ser um assunto polemico e divergente, as vezes até contraditório, mas como não há uma norma específica que oriente os fabricantes de motores, que padronize os processos de avaliação dos motores

para a aplicação com inversores em nível nacional, já que existe uma abordagem neste assunto em algumas normas internacionais, como exemplo podemos citar a IEC34-17(1992).

6.1 - Características dos Motores com Inversor

a) Ruído

Esta característica é especialmente notada logo que acionamos um motor com inversor de frequência, notamos logo o ruído característico do motor, um tom agudo e de relativa intensidade, este efeito é causado pelo conteúdo harmônico de tensão presente na alimentação de tensão fornecida ao motor pelo inversor, em consequência temos o ruído magnético, nota-se que aumentando a frequência de chaveamento do inversor para frequências acima de 12Khz há melhora nesta característica, isto se deve porque a onda senoidal entregue ao motor é sintetizada, com o aumento da frequência de chaveamento nos aproximamos de uma senoide mais real.

b) Vibração

Outra característica também afetada é o nível de vibração, este nível aumenta se trabalharmos com uma frequência baixa de chaveamento, é outra característica que melhora ao se elevar a frequência de chaveamento como no ruído.

c) Rendimento

O rendimento do conjunto motor-inversor, é outra variável que tem sua melhora em função do aumento da frequência de chaveamento do inversor, porém, o rendimento do inversor diminui com este aumento de frequência, pode-se notar isto no manual do fabricante do inversor, aonde se tem que a potência de saída diminui com o aumento da frequência, ou seja, a corrente de saída do inversor diminui.

d) Correntes nos Mancais

Componentes de alta frequência da tensão de modo comum dos inversores de frequência (pwm) geram um acoplamento capacitivo do motor ao terra, sua via de descarga é o rolamento, a isolamento das pistas interna e externa proporcionada pela graxa dos rolamentos é o fator que serve para que se acumule cargas no rotor, no momento que a capacidade dielétrica da graxa se romper há a passagem de corrente pelo rolamento, a superfície dos rolamentos são danificadas e, com isto sua vida útil é reduzida, há uma falha prematura do rolamento do motor.

7 - Conclusão

O aumento da frequência de chaveamento melhora algumas características, porém não é uma solução simples de se tomar, obtém-se um resultado satisfatório trabalhando em 8Khz, não queremos com isto que se torne regra mas, deveremos ponderar e escolhermos como devemos trabalhar.