

PRÁTICA 21

INVERSORES DE FREQUÊNCIA PARA ACIONAMENTOS DE MÁQUINAS DE CORRENTE ALTERNADA – CA COM FREQUÊNCIA E VELOCIDADE VARIÁVEL

1. OBJETIVO

Familiarizar o usuário com a instalação, parametrização e operação de inversor de frequência para acionamento de máquinas CA, com frequência e velocidade variáveis.

Apresentação teórica de eletrônica de potência, relativa aos conversores CA-CC, CC-CA.

2. COMENTÁRIOS TEÓRICOS

Num passado não muito distante, os motores CA eram considerados de difícil controle. Os recursos convencionais existentes, como a comutação do número de polos, a ligação de resistências inseridas no circuito, dentre outros, eram soluções aplicadas mas de resultados discretos e limitados. Na verdade o problema estava na fonte de alimentação e não no motor, propriamente dito. A variação da tensão e da frequência de alimentação do motor, se tornou viável graças a evolução da eletrônica de potência, que permite o controle da velocidade sem perda da capacidade de torque.

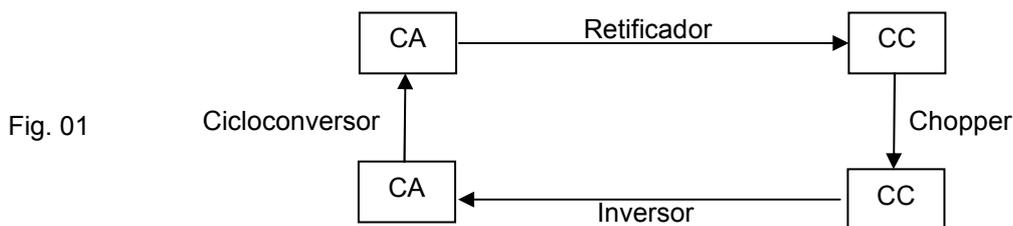
Com a evolução dos dispositivos semicondutores de potência e da microeletrônica, foi possível avançar na aplicação dos acionamentos CA.

Os principais dispositivos hoje disponíveis no mercado, fruto de constantes pesquisas tecnológicas na área da eletrônica, são relacionados a seguir:

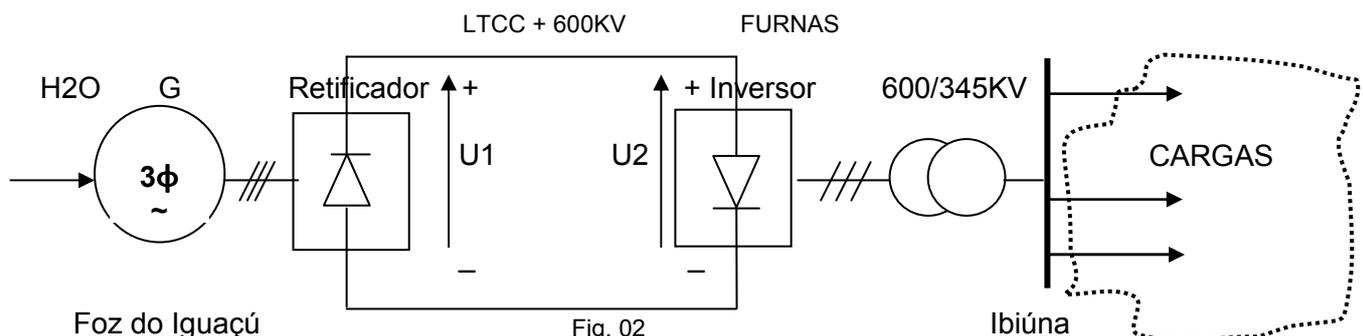
- GTO (Gate Turn-Off thyristor = Tiristor de desligamento pelo gatilho);
- BJT (Bipolar Junction Power Transistor = Transistor bipolar de junção);
- Mosfet de potência (Metal oxide semiconductor field effect transistors = Transistores de efeito de campo de óxido de zinco);
- IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors = Transistores bipolar de porta isolada);
- SIT (Static Induction Transistors = Transistores de indução estática);
- SITH (Static Induction Thyristor = Tiristor de indução estática);

Cada um destes componentes possui capacidade de potência e características de condução e bloqueio (unidirecional, bidirecional, controlável, não controlável), bem como de sinais de controle peculiares (contínuo, pulsante).

Os conversores são usados para transmitir energia de uma fonte CA para uma carga CC (retificador), ou de uma fonte CC para uma carga CA (Inversor). A representação genérica dos conversores pode ser apresentada conforme o diagrama de blocos da Fig. 01.



Um exemplo da aplicação de conversores nos circuitos de potência é o sistema de energia elétrica de Itaipú, onde a geração é realizada em CA, a transmissão em CC (LTCC), e a distribuição, a nível de consumidores, novamente em CA, proporcionada pela Inversão de frequência no lado da carga. Fig.02.



2.1. Conversores não controlado e controlado

Os conversores são classificados como **Não Controlado** e **Controlado**.

2.1.1. Conversores Não Controlado:

São conversores que não permitem variação nas grandezas de saída, sem que as grandezas de entrada sejam variadas.

São compostos basicamente de diodos, portanto constituem-se em circuitos retificadores usados para converter tensão alternada em tensão contínua constante. Qualquer variação no valor médio da tensão contínua de saída, só pode ser obtida variando-se a tensão alternada de entrada.

2.1.2. Conversores Controlável:

São conversores que permitem a variação das grandezas de saída mantendo-se constante as grandezas de entrada. São exemplo de conversores controlados: Retificador controlado, Chopper, Inversor auto-controlado, Inversor controlado pela rede, Regulador eletrônico de tensão (Soft-start), Cicloconversores

Hoje podemos afirmar que o inversor de frequência é um dos dispositivos que tem larga aplicação na automação industrial e faz a interface entre o segmento de controle e a motorização da máquina. Para uma melhor compreensão desses dispositivos, iremos tratar de 2 métodos de controle dos inversores aplicados na prática:

2.2. Métodos de controle:

- Controle escalar
- Controle vetorial

A fundamentação teórica das máquinas CA se baseia em equações que descrevem o comportamento do motor em regime permanente. O método de controle obtido com aplicação das equações em regime permanente, são denominados de “controle escalar”

Em outras aplicações que é exigido um controle preciso da rotação e torque elevado, para rotação baixa ou zero, ou com torque regulável, como é o caso de tração elétrica, guindastes, pontes rolantes elevadores, etc., o controle escalar não é adequado pois não considera o funcionamento da máquina em regime transitório, daí a necessidade de utilizar as técnicas de "controle vetorial". Detalhes da técnica de controle vetorial serão apresentados no item 2.5.2.

2.3 Equação da tensão da máquina:

A Lei de Faraday descreve quantitativamente a indução de tensões por parte de um campo magnético variável no tempo. Desta maneira, a tensão induzida na bobina do estator é dada pela seguinte expressão:

$$U = \omega \cdot N \cdot \phi \cdot \text{sen}(\omega t), \quad \text{mas } \omega = 2\pi f$$

$$U = 2\pi \cdot f \cdot N \cdot \phi \cdot \text{sen}(\omega t), \quad \text{logo o seu valor eficaz será:}$$

$$U_{ef} = (2\pi / \sqrt{2}) \cdot f \cdot N \cdot \phi = \underbrace{[(2\pi / \sqrt{2}) \cdot N] \cdot \phi \cdot f}_k$$

então a relação tensão/frequência será dada:

$$\frac{U_{ef}}{f} = k$$

Ao se variar a frequência de alimentação do motor CA, varia-se a sua velocidade síncrona, significando que todas as velocidades síncronas variam desde $f = 0$ até a máxima frequência do inversor. O comportamento do motor pela curva conjugado X velocidade, quando alimentado pela rede, permanece da mesma forma, entretanto com a curva deslocada conforme seja a frequência aplicada.

Teoricamente existem duas faixas de atuação: uma com o fluxo constante, até a frequência nominal, e outra, com o enfraquecimento de campo, correspondendo para frequências acima da nominal.

- $U_{ef} / f = \text{CTE}$ (Fluxo constante)
- $f > f_n \longrightarrow U_{ef} = \text{CTE}$ (Enfraquecimento de campo)

Na prática é necessário reduzir conjugado e potências admissíveis, de forma a compensar as perdas devido a diminuição da ventilação, quando o motor funciona com velocidade abaixo da nominal e tem sua refrigeração diminuída, ou devido as harmônicas que são produzidas na saída do inversor. Portanto para aplicação do inversor, deve-se considerar uma limitação da curva de torque X frequência.

2.4. Curva tensão X frequência:

Como já foi mencionado anteriormente, se houver variação da frequência da tensão de saída do inversor, alteramos na mesma proporção a velocidade de rotação do motor. Na prática a faixa de variação da frequência dos inversores se situa entre 5 a 300 Hz, aproximadamente.

A função do inversor de frequência aplicado a um motor CA, não é apenas controlar a velocidade, pois caso fosse necessário utilizá-lo só para o regime de partida, com certeza outra alternativa muito mais econômica seria apresentada, como é o caso do Softstarter, ou mesmo um dos métodos convencionais de partida, mas o que o torna importante é que o inversor precisa manter o torque constante para não provocar alterações na rotação quando o motor estiver com carga. Imagine uma aplicação clássica de uma máquina operatriz, onde um inversor controla a velocidade de rotação de uma placa que faz parte da máquina, e que nela é fixada uma peça de um torno a ser usinada. Quando introduzimos a

ferramenta de corte uma carga mecânica é imposta ao motor, que deve manter a rotação constante. Caso a rotação se altere a peça pode apresentar defeitos de usinagem e ser refugada, o que com certeza vai gerar custos adicionais de produção e talvez até a perda da peça como sucata. Para que esse torque realmente fique constante e garanta a qualidade da usinagem da peça, é necessário que o inversor mantenha a relação U/f constante, isto é, caso haja mudança de frequência, ele deve mudar o valor de tensão na mesma proporção, para que a razão se mantenha.

Ex. Situação 1: O inversor foi programado para enviar 40 Hz ao motor e sua curva U/f está parametrizada em 5. Automaticamente ele alimenta o motor com 200 V.

Situação 2: O inversor recebeu uma nova instrução para mudar de 40 Hz para 60 Hz. Pela relação constante agora ele passa de 200 V para 300 V, mantendo-se em 5 a razão U/f .

Veja a curva da fig.03

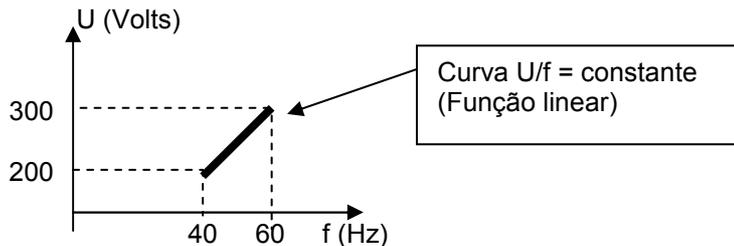


Fig. 03 - Curva Tensão X frequência

O inversor altera o valor de tensão oriundo do barramento CC, através da modulação por largura de pulso, daí a forma de como manter a relação $U/f = \text{constante}$. Como vimos no item anterior essa relação é válida até para valores da frequência nominal.

2.5. Inversor de frequência:

De acordo com a equação de tensão da máquina, a velocidade de um motor trifásico é determinada pela frequência. Considerando que o número de polos de um motor seja fixo, ou seja, determinado na sua construção, ao variarmos a sua frequência de alimentação variamos na mesma proporção sua velocidade de rotação. Se esta varia, deve-se também variar a tensão para que o motor trabalhe de forma otimizada.

O inversor de frequência põe a disposição do motor um sistema trifásico de frequência e tensão variáveis, e isso se realiza através de um circuito intermediário e com a ajuda de um retificador não controlável do lado da rede alternada e de um inversor no lado da carga.

No circuito de potência o retificador converte a tensão da rede em tensão contínua no barramento CC. Um capacitor conectado no circuito intermediário, filtra a tensão CC e fornece a potência reativa requerida pelo motor. O capacitor funciona como um filtro para limitar as sobretensões na entrada do inversor.

O estágio inversor normalmente constituído de 6 transistores IGBTs gera um sistema trifásico de tensão e frequência variáveis, conforme o circuito da Fig. 06.

2.5.1. Modulação de onda no inversor de frequência:

A forma de onda da tensão de saída do inversor para alimentação do motor trifásico (Figs. 07 e 08), é gerada a partir de um sistema de modulação da onda, podendo o comando das chaves do inversor ser realizado pelos seguintes tipos de modulação:

- Modulação por onda quadrada;
- Modulação por PWM senoidal;
- Modulação por deslocamento de fase

Na prática verifica-se que a comutação modulada por largura de pulsos (PWM) dos transistores de potência, é bastante utilizada, pois produz um menor conteúdo harmônico na tensão de carga, além de produzir no motor uma corrente aproximadamente senoidal, o que em termos práticos se traduz em acionamentos suaves com baixos ruídos (Fig. 08).

A unidade lógica além de distribuir os pulsos aos IGBTs, também controla o tempo em que cada transistor permanece ligado (ciclo de trabalho). Quando a tensão tem que aumentar os pulsos são alargados, implicando um maior tempo de operação, e quando a tensão tem que diminuir, os pulsos são estreitados. Dessa forma a tensão entregue ao motor pode ser controlada e com pouca distorção.

A modulação por onda quadrada é ideal para que se possa entender melhor visualmente o processo de conversão de tensão CC em tensão CA, que no caso das aplicações industriais emprega basicamente os inversores com entrada monofásica ou trifásica CA, e alimentação da carga trifásica.

2.5.2. Inversor vetorial:

Ao contrário do inversor escalar para que o torque na carga se mantenha constante, deverá manter constante a relação U/f . A fig. 04 mostra um exemplo típico onde uma parte da curva mantém a relação U/f constante e outra parte da curva onde a relação não se mantém constante, o que causa uma pequena queda de torque. Dessa forma fica evidente que o inversor escalar não pode oferecer altos torque em baixa rotação.

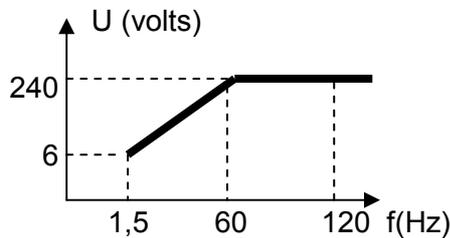


Fig. 04

O torque é função da corrente de alimentação, e como temos de abaixá-la (devido a redução de tensão) proporcionalmente a frequência, o torque também cai. Caso a curva U/f não se mantenha CTE, o motor funcionará com sobressaltos de potência, o que provavelmente causará problemas a carga acionada. A curva U/f pode ser parametrizada no inversor escalar, e o seu valor ideal depende da aplicação. O inversor vetorial não tem uma curva U/f pré estabelecida (parametrizada). Na verdade essa curva varia de acordo com a solicitação de torque. O inversor vetorial possui circuitos que variam a tensão e frequência do MIT, através do controle de corrente de magnetização (I_m) e da corrente do rotor (I_r). Vide Fig. 05.

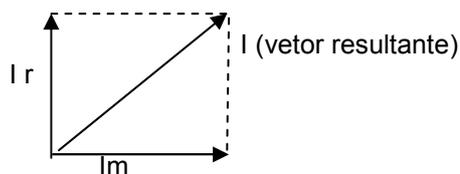


Fig. 05 – Controle vetorial

Fazendo uma comparação entre o inversor escalar e o vetorial, verifica-se que o escalar permite a queda de velocidade para dar início ao aumento do torque, enquanto no vetorial isso não ocorre. Ainda quanto a performance, pode-se verificar que na resposta dinâmica quando a carga muda a solicitação de torque rapidamente, o escalar demora um tempo muito maior para encontrar o ponto estável de trabalho.

2.5.2.1. Princípio de funcionamento do inversor vetorial:

Pelas equações do motor de indução, verifica-se que o torque é proporcional ao fluxo magnético e a corrente rotórica. Por sua vez o fluxo magnético é proporcional a corrente de magnetização do estator. Podemos então concluir que o torque é proporcional as duas correntes, a de magnetização e a rotórica. O inversor vetorial através do controle dessa corrente, estabelece o acionamento dos IGBTs de potência, e a partir daí vai gerar a forma de onda trifásica na saída do inversor.

Aplicações típicas para o inversor vetorial e escalar:

Como observado anteriormente, o vetorial deve ser usado quando necessitamos de pelo menos uma das características seguintes:

- Torque elevado com baixa rotação, ou mesmo rotação zero (ex. pontes rolantes)
- Controle preciso de velocidade (ex. eixo árvore de máquinas operatrizes)
- Torque regulável (ex. tração elétrica)

O inversor escalar pode ser usado quando necessitamos de:

- Partidas suaves (motores com carga de alta inércia)
- Operação acima da velocidade nominal do motor (ex. furadeiras, fresadoras)
- Operação com constantes reversões (EX. eixos coordenadores de máquina ferramenta)
- É importante observar que sempre um inversor vetorial pode substituir um escalar, mas nem sempre um escalar pode substituir um vetorial.

Não é por causa disso que só devemos utilizar inversores vetoriais, pois deve ser considerado além das funções típicas, o custo do investimento.

2.6. Vantagens do acionamento eletrônico para motores:

- Partidas suaves (a corrente de partida é reduzida);
- Economia em componentes auxiliares como chaves, transformadores e outros;
- Aumento da vida útil de equipamentos rotativos: A vida útil do motor é em parte determinada pelo número de partidas que o mesmo é submetido. Normalmente as altas correntes de partida, acompanhadas de forças magnéticas envolvidas, causam altas temperaturas, que aceleram o

surgimento de defeitos. A ausência de trancos tende a aumentar também a vida útil dos acoplamentos e dentes das engrenagens.

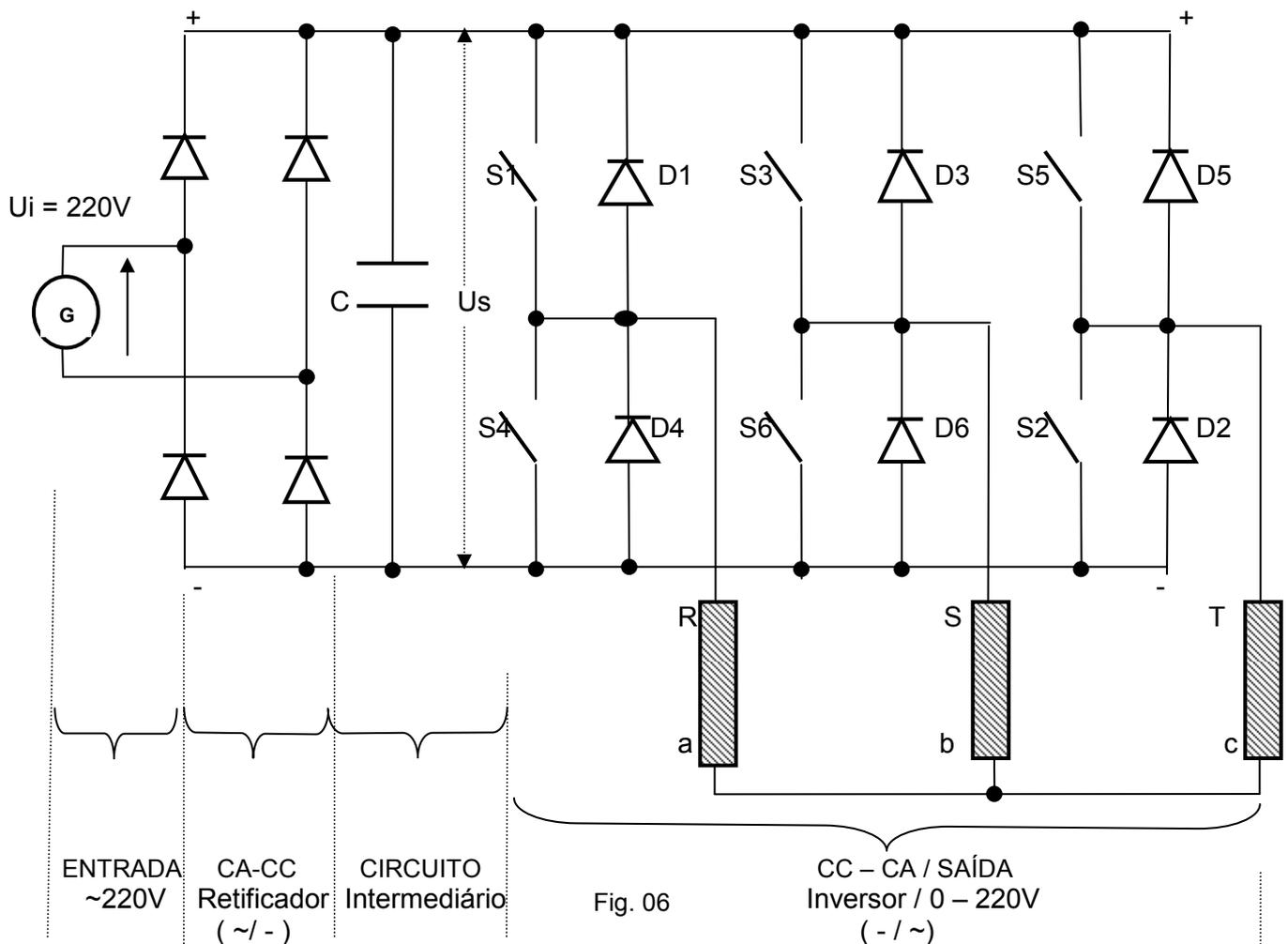
- Aumento da vida útil do motor: Com o motor operando abaixo da velocidade nominal, sua vida útil aumenta. Abaixo da potência nominal, a temperatura diminui. Para se ter uma idéia da magnitude desta influência, uma diminuição de 10% da temperatura, dobra a vida útil do isolamento.
- Aumento da gama de velocidades disponíveis para o motor: Os acionamentos eletrônicos podem fornecer velocidades acima de 60 Hz.
- Melhoria do fator de potência: Como na maioria dos acionamentos eletrônicos apresenta na entrada uma ponte retificadora de diodos não controlada, o FP visto pelo sistema fica próximo da unidade.
- Incorporação de várias outras funções (proteção contra cc, falta de fase, diagnóstico, outras).
- Economia de energia: Estudos desenvolvidos por órgãos de P&D, em parceria com a indústria, pode-se constatar uma economia de energia na aplicação direta do inversor de frequência, em torno de 80% (PEE teórico) a 95% (PEE prático). Pode-se verificar um tempo de retorno do investimento em menos de 1 ano. O PEE é dado pela expressão:

$$PEE = \frac{\text{Consumo sem acionamento} - \text{Consumo com acionamento}}{\text{Consumo sem acionamento}} \times 100$$

O simples uso do inversor de frequência para variação de velocidade de motores já implica em reduzir o consumo de energia elétrica, já que ao se reduzir a velocidade, reduz-se também a tensão do motor e conseqüentemente, o consumo de energia.

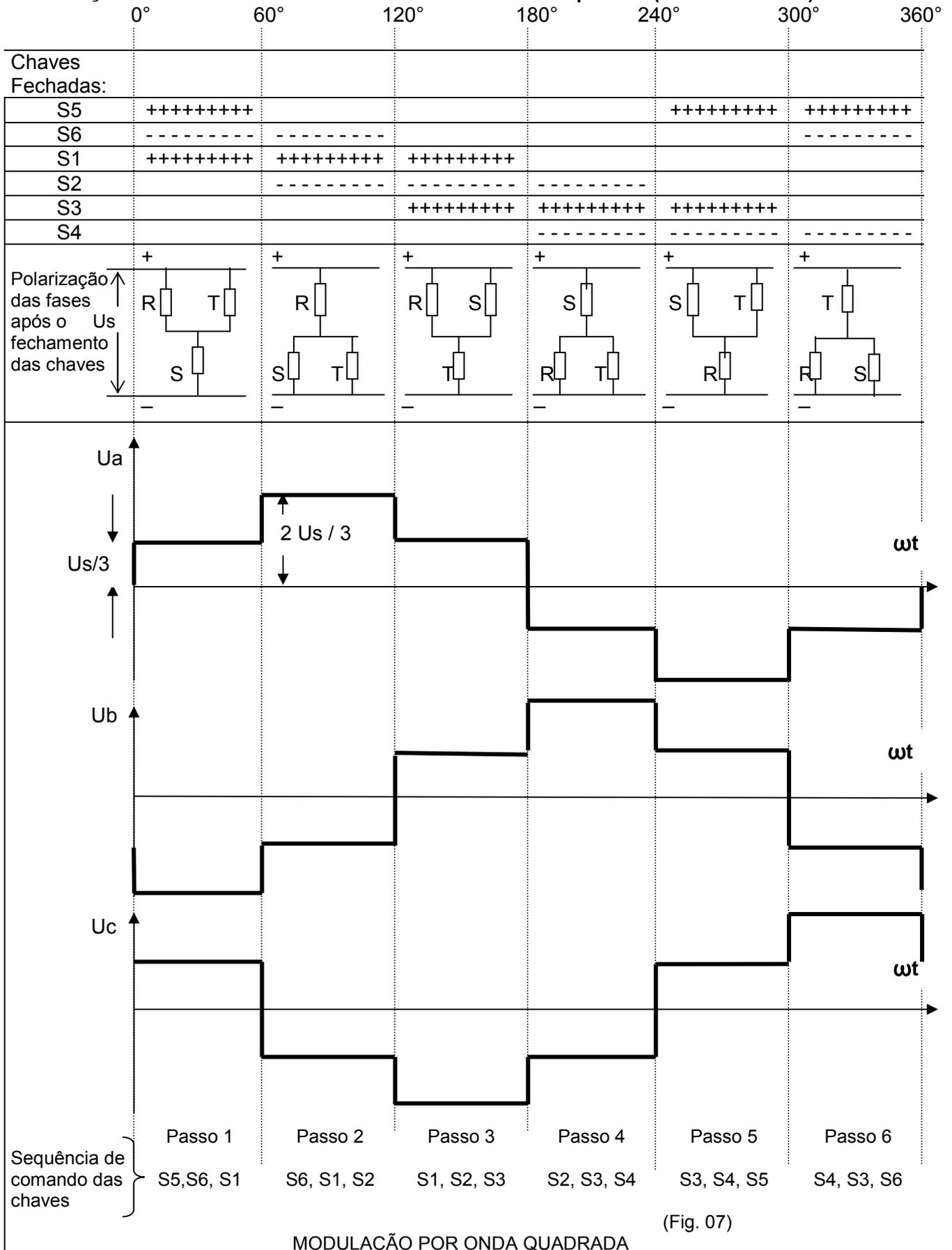
2.7. Desenho esquemático do inversor de frequência

A seguir é apresentado o arranjo do circuito de um inversor de frequência trifásico para acionamento de motores CA:



Obs. As chaves S1, S2, S3, S4, S5 e S6 representam os são transistor de potência tipo IGBT

Construção da forma de onda na saída do inversor de frequência (Tensão de fase)



Observe que a cada 60° ocorre uma comutação, e cada interruptor permanece fechado por 180°.

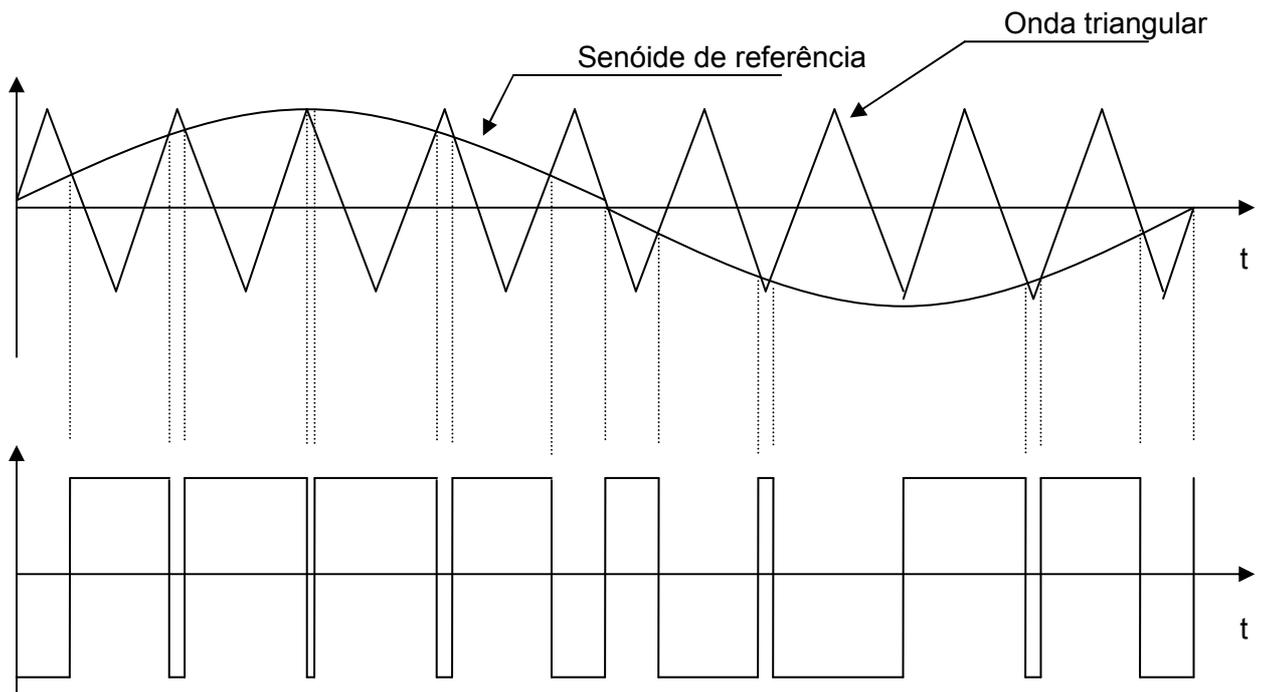
A modulação por onda quadrada apresenta as seguintes características:

- Simplicidade no circuito de controle;
- Alta distorção na carga (conteúdo harmônico);
- As chaves são comandadas na mesma frequência desejada na carga, que em geral é baixa;
- Permite o controle apenas da frequência aplicado a carga.

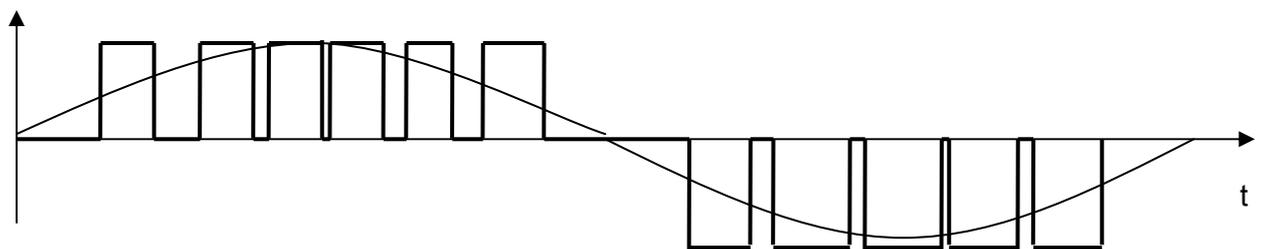
Modulação por PWM senoidal:

Na modulação por PWM senoidal, são aplicados vários pulsos a cada meio ciclo da tensão de saída. Estes pulsos tem largura variável e são controlados por uma senoidal de referência.

Também é gerada uma onda triangular de frequência fixa, onde o tempo de condução e de bloqueio das chaves, é obtido pela comparação entre a senóide de referência e a onda triangular. Vide Fig. 08a. O resultado é que o valor médio instantâneo da tensão na carga se aproxima de uma onda senoidal.



a) Sinais envolvidos na geração do PWM senoidal



b) Forma de onda na saída do Inversor de frequência
(valor médio instantâneo da tensão na carga, que se aproxima de uma senoidal)

Fig. 08

A modulação por PWM senoidal apresenta as seguintes principais características:

- Menor conteúdo harmônico na tensão de carga;
- Frequência de chaveamento elevada, fixada pela onda triangular;
- Possibilidade de controlar a frequência e a amplitude de tensão de saída;
- Maior complexidade nos circuitos de comando.

2.8. Principais aplicações do inversor de frequência:

O inversor de frequência tem sua aplicação direta nos diversos segmentos industriais (químico e petroquímico, plástico e borracha, papel e celulose, sucos e bebidas, açúcar e álcool, cimento e

mineração, alimentação e ração, têxtil, siderurgia e metalurgia, cerâmicos, vidros e refrigeração) inclusive em aplicações que há necessidade de controlar variável do processo (nível, vazão, pressão, temperatura, etc), e dentre as aplicações típicas podemos citar:

- Bombas e ventiladores para sistemas de aquecimento e ar condicionado;
- Bombas centrífugas em sistemas de abastecimento d'água;
- Bombas de circulação de água quente em sistemas de aquecimento;
- Transportadoras de correia e máquinas de produção em indústria manufatureira;
- Bombas, misturadores, agitadores e ventiladores na indústria química, petroquímica, sucos, bebidas papel e celulose, alimentação e ração;
- Bombas, separadoras, secadoras, engarrafadoras, máquinas de embalagem, centrifugadoras e correias transportadoras em indústria alimentícia;
- Prensas, tornos e fresas;
- Britadores;
- Pontes rolantes e outros.

Quando o inversor é aplicado no controle de variáveis do processo, geralmente nos inversores disponíveis no mercado, é empregada uma função específica de controle automático denominada função regulador PI/PID. Dessa forma deverá existir um sensor de medição de variável do processo instalado no sistema, de maneira a possibilitar realimentar o inversor com a informação captada e gerar a partir daí uma ação para variação da velocidade do motor.

Outras funções especiais podem ser incorporadas ao inversor, dependendo do tipo, modelo e fabricante, podem ser disponibilizadas as funções de ciclo automático do processo, curva U/f ajustável, Rampa S de aceleração e desaceleração (ao invés das rampas convencionais lineares), Multi-speed (velocidades pré-ajustadas), dentre outras.

Além da aplicação dos inversores para acionamento de máquinas, podemos citar como outras aplicações, o aquecimento indutivo, no-break e fonte chaveada.

3. MATERIAL EMPREGADO

01 Fusível diazed de 4 A – completo, 01 Fusível de 16 A – completo, 04 interruptores de 1 seção, 1 potenciômetro de 2,2 a 10K Ω , 01 botão de comando NA, 01 botão de comando NF, 01 Contator de 220Vca, 01 Inversor de frequência para 220Vca, 01 MIT de 0,33 ou 0,5cv - 220/380Vca.

4. ALERTA DE RISCOS E PERIGOS

A montagem e os acionamentos que você vai trabalhar durante a prática de laboratório, envolvem partes condutoras de circuitos elétricos que não estarão protegidas contra contatos acidentais e choques elétricos. Você vai manusear circuitos com tensão de 220V. Ao fazer a montagem sempre trabalhe com os disjuntores de alimentação do quadro desligados.

O trabalho em equipe é de fundamental importância para a sua segurança e de seus companheiros. Antes de energizar o circuito chame o instrutor para conferir e checar as ligações.

5. PROCEDIMENTO DA PRÁTICA

5.1. Inversor de frequência ALTIVAR 08:

Siga os procedimentos sequenciados para efetuar as ligações e fazer o acionamento de um MIT de 0,33 CV disponível na prateleira do rack do quadro eletromecânico a ser trabalhado:

- Fazer as ligações de acordo com o esquema da Fig.09.
- Lembrar que o inversor é alimentado por tensão monofásica de 220/240V, e a saída corresponde a tensão de linha de 220V (motor 220/380V, ligação delta);
- Utilizar um potenciômetro de referência de 2,2 K Ω ou equivalente na entrada analógica, e 4 interruptores de uma seção para simular os atuadores externos nas entradas lógicas (os atuadores externos podem ser chaves fins de curso, chaves de nível, fotocélulas, sensores de proximidade, relés e contatores auxiliares, chaves e botões seletores, contatos de saída do módulo lógico programável, etc).
- Colocar sob tensão, mas ainda sem ordem de marcha;
- Utilizar os teclados tipo membrana para checar ou configurar a parametrização do inversor no nível 1, que corresponde a configuração básica para funcionamento (**bfr** de 50 para 60Hz, **HSP** de 50 para 60Hz, etc):

Parâmetro	Função	Unid.	Regulagem de fábrica	Regulagem da prática
<i>r d y</i>	Parado, inversor pronto.	Hz		
<i>b f r</i>	Frequência do motor = a frequência da rede = 60Hz.	Hz	50	60
<i>A C C</i>	Tempo da rampa de aceleração linear	S	3	3
<i>d E C</i>	Tempo da rampa de desaceleração linear	S	3	3
<i>L S P</i>	Low speed = velocidade baixa (mínima)	Hz	0	0
<i>H S P</i>	High speed = velocidade alta (máxima)	Hz	50	60
<i>S P 2</i>	2ª velocidade pré selecionada.	Hz	5	5
<i>S P 3</i>	3ª velocidade pré selecionada.	Hz	25	25
<i>I t H</i>	Corrente de proteção térmica (nominal da placa do motor)	A	In	In
<i>L 2 A</i>	Acesso aos parâmetros do nível 2.			<i>no</i>

* Caso necessário fazer ajustes no inversor, acessar a parametrização nível 2:

Parâmetro	Função	Unid.	Regulagem de fábrica	Regulagem da prática
<i>L 2 A</i>	Acesso aos parâmetros do nível 2			<i>yes</i>
<i>F r H</i>	Visualização da frequência de referência	Hz	<i>F r H</i>	<i>F r H</i>
<i>L C r</i>	Visualização da corrente do motor	A		
<i>U L n</i>	Visualização da tensão da rede	V		
<i>t H r</i>	Visualização da temperatura do motor (nominal=100%, atuação a 118%)	%		
<i>t H d</i>	Visualização da temperatura do inversor(nominal=100%, atuação a 118%)	%		
<i>U n S</i>	Tensão nominal do motor (placa do motor)	V	230	230
<i>F r S</i>	Frequência do motor (deve ser modificada caso não corresponda a 50 Hz. Máximo de 120Hz.	Hz	<i>b F r</i>	b F r
<i>U F r</i>	Tensão mínima do motor a baixa frequência	%	20	20
<i>C r l</i>	Compensação RI	%	20	20
<i>F l g</i>	Ganho do anel de frequência. Se FLG>99,visualização "nff"	%	33	33
<i>S L P</i>	Compensação de escorregamento	Hz	Depende do calibre	
<i>L I</i>	Configuração da entradas lógicas: <ul style="list-style-type: none"> <i>L I = 2 C 4</i> (comando de 2 fios, 2 sentidos de marcha e 4 velocidades): LI1= para frente, LI2= para trás, LI3/LI4 = 4 velocidades: LSP + referência AI1, LI3=0, LI4=0 SP2 se LI3=1, LI4=0 SP3 se LI3=0, LI4=1 HSP se LI3=1, LI4=1 <i>L I = 3 C 4</i> (comando de 3 fios, 1 sentido de marcha e 4 velocidades): LI1 = paragem; LI2 = Run para frente LI3/LI4 = 4 velocidades. <i>L I = 3 C 2</i> (comando com 3 fios, 2 sentidos de marcha e 2 velocidades): LI1 = paragem LI2 = Run para frente- LI3 = Run para trás LI4 = 2 velocidades (LI4 a 0: L S P + referência AI1, LI4 a 1: HSP) <i>L I = 1 C 4</i> (comando de 2 fios, 1 sentido de marcha e 4 velocidades): LI1 = para frente, LI2 = não afetado, LI3/LI4 = 4 velocidades. 		<i>2 C 4</i>	<i>2 C 4</i>
<i>H I t</i>	Configuração de entrada AI1: <ul style="list-style-type: none"> <i>A I t = S U</i>: 0-5V (fonte interna) <i>A I t = I O U</i>: 0 a 10V(fonte externa) <i>A I t = O A</i>: 0 a 20 mA. <i>A I t = 4 A</i>: 4-20 mA 		<i>S U</i>	<i>S U</i>
<i>A t r</i>	Rearme automático após defeito		<i>n o</i>	<i>n o</i>
<i>F C S</i>	Retorno a regulação de fábrica (<i>n o, y e s</i>)		<i>n o</i>	<i>n o</i>
<i>I d C</i>	Corrente de travagem por injeção automática durante a paragem.	A	<i>0,7In</i> <i>inversor</i>	<i>0,7 In</i> <i>inversor</i>
<i>t d C</i>	Tempo de travagem por injeção automática durante a travagem: Se <i>t d C = 0</i> , sem travagem, Se <i>t d C = 21</i> , visualização <i>C n t</i>	S	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>
<i>L O C</i>	Bloqueio de parâmetro (<i>n o, y e s</i>)		<i>n o</i>	<i>n o</i>

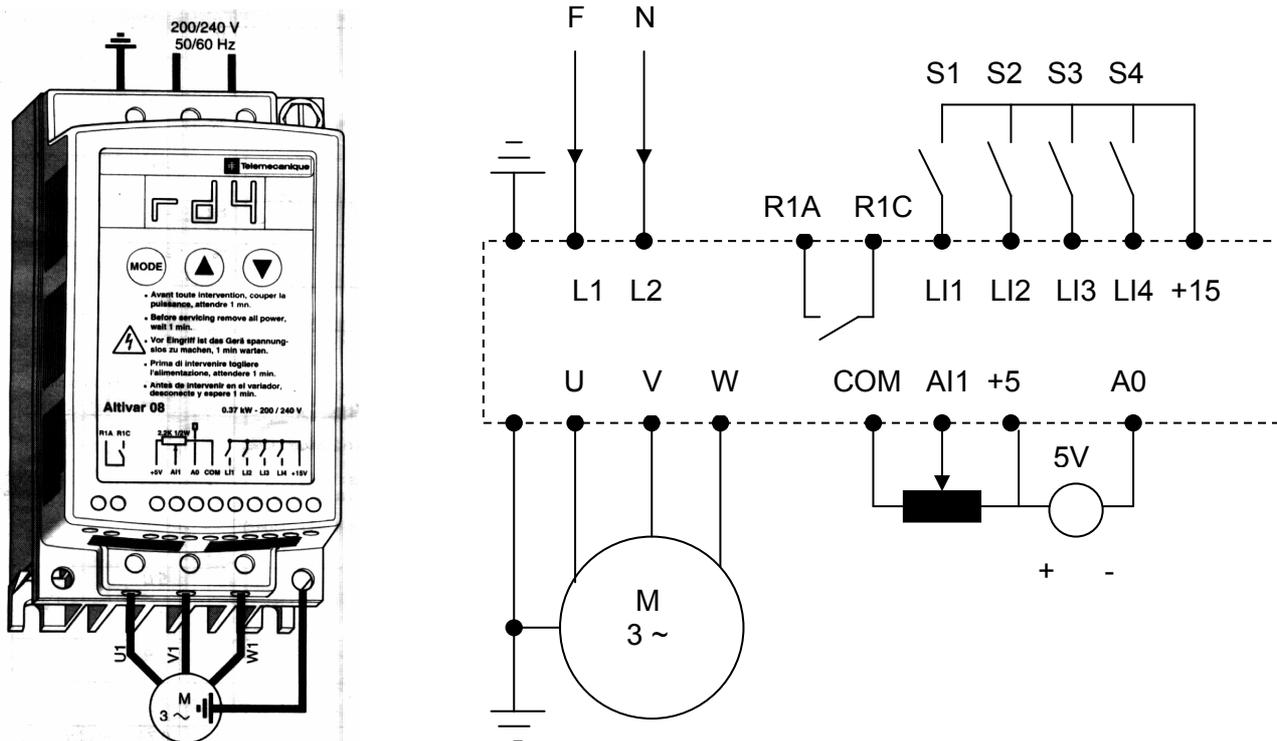


Fig. 09

5.1.1. Instruções para acionamento passo a passo:

Nesta simulação serão utilizados interruptores de 1 seção (S1, S2, S3, S4) que correspondem aos atuadores externos nas entradas lógicas LI1, LI2, LI3 e LI4, e 1 (um) potenciômetro de 2,2 kΩ, correspondente a entrada analógica AI1.

Com um multímetro, verifique a posição de cada interruptor marcando cada posição da tecla com os símbolos correspondentes (aberto = 0, fechado = 1), isso irá facilitar a simulação de operação das entradas lógicas e por conseguinte, do controle do motor.

Após a montagem do circuito e as ligações efetuadas, proceder de acordo com os passos a seguir: para acionamento e controle do motor:

5.1.1.1. Acionamento do motor até a velocidade nominal, no sentido de rotação horária:

I. Colocar o inversor sob tensão:

- Ligar o disjuntor de alimentação;
- Observar no display, o aparecimento do parâmetro **rdy** (significa inversor pronto).

I. Para dar ordem de marcha:

- Fechar o interruptor LI1 = Acionar o motor para frente (sentido horário);
- Observar no display o incremento de frequência até atingir o valor nominal (60Hz), ou velocidade máxima pré ajustada.

II. Para parar o motor:

- Abrir o interruptor LI1 = desligar o motor;
- Observar no display o decremento da frequência até zero;

5.1.1.2. Acionamento do motor até a velocidade nominal, no sentido de rotação anti-horária:

I. Para dar ordem de marcha:

- Fechar o interruptor LI2 = Acionar o motor para trás (sentido anti-horário);
- Observar no display o incremento de frequência até atingir o valor nominal (60Hz), ou velocidade máxima pré ajustada.

II. Para parar o motor:

- Abrir o interruptor LI2 = desligar o motor;
- Observar no display o decremento da frequência até zero;

5.1.1.3. Para fazer o motor operar com as 4 (quatro) velocidades pré-ajustadas, deve-se acionar os interruptores em combinação lógica (I / 0), de forma a obter as 4 velocidades pré selecionadas na parametrização:

- Possibilidade de obter 4 velocidades previamente selecionadas:
 - V1: L S P + referência em AI1 (LI3 = 0, LI4 = 0)
 - V2: S P 2 (LI3 = 1, LI4 = 0)

V3: S P 3 (LI3 = 0, LI4 = 1)

V4: H S P (LI3 = 1, LI4 = 1)

A) Para obter a 1ª velocidade pré-ajustada:

- Deixar os interruptores LI3 e LI4 abertos, que correspondem as posições lógicas LI3 = 0 e LI4 = 0;
- Com a *LOW SPEED* parametrizada em zero pode-se dar sinal de partida no motor através do giro do potenciômetro. Inicialmente o potenciômetro deverá estar todo girado para a esquerda. Para colocar o motor em marcha, girar o potenciômetro todo para a direita, de forma a obter a referência analógica em AI1;

A.I) Para dar partida no motor:

- Fechar o interruptor LI1= acionar o motor para frente (sentido horário);
- Observar no display o incremento de frequência até atingir a 1ª velocidade pré selecionada. Caso $f_1 = 0$, $V_1 = 0$, o motor permanecerá parado.
- O motor deverá permanecer girando na 1ª velocidade pré-ajustada;

A.II) Para parar o motor:

- Abrir o interruptor LI1= desligar o motor
- Observar no display o decremento da frequência até zero;

B) Para obter a 2ª velocidade pré-ajustada:

- Deixar o interruptor LI3 fechado e LI4 aberto, que correspondem as posições lógicas LI3 = 1 e LI4 = 0;

B.I) Para dar partida no motor:

- Fechar o interruptor LI1 = acionar o motor para frente (sentido horário);
- Observar no display o incremento de frequência até atingir a 2ª velocidade pré selecionada;
- O motor deverá permanecer girando na 2ª velocidade pré-ajustada;

B.II) Para parar o motor:

- Abrir o interruptor LI1 = desligar o motor;
- Observar no display o decremento da frequência até zero;

C) Para obter a 3ª velocidade pré-ajustada:

- Deixar o interruptor LI3 aberto e LI4 fechado, que correspondem as posições lógicas LI3 = 0 e LI4 = 1;

C.I) Para dar partida no motor:

- Fechar o interruptor LI1 = acionar o motor para frente (sentido horário);
- Observar no display o incremento de frequência até atingir a 3ª velocidade pré selecionada;
- O motor deverá permanecer girando na 3ª velocidade pré-ajustada;

C.II) Para parar o motor:

- Abrir o interruptor LI1 = desligar o motor;
- Observar no display o decremento da frequência até zero;

D) Para obter a 4ª velocidade pré-ajustada,:

- Deixar os interruptores LI3 e LI4 fechados, que correspondem as posições lógicas LI3 = 1 e LI4 = 1;

D.I) Para dar partida ao motor:

- Fechar o interruptor LI1 = acionar o motor para frente (sentido horário);
- Observar no display o incremento de frequência até atingir a 4ª velocidade pré selecionada;
- O motor deverá permanecer girando na 4ª velocidade pré-ajustada;

D.II) Para parar o motor:

- Abrir o interruptor LI1 = desligar o motor;
- Observar no display o decremento da frequência até zero;

Obs. Caso deseje que o motor gire no sentido anti-horário para as 4 velocidades pré-ajustadas, é só acionar o interruptor LI2 ao invés do LI1, nas partidas e paradas.

5.1.1.4. Para acionamento do motor através da entrada analógica AI1:

- Gire o potenciômetro todo para a esquerda;

I. Para acionamento do motor com toda a gama de velocidade variável :

- Fechar o interruptor LI1 = pré ajustado para girar no sentido horário;
- Girar gradativamente o potenciômetro para a direita até atingir o final do cursor;
- Observar através do display, o incremento de frequência até atingir o valor máximo, seguindo uma rampa de aceleração;

Obs. Observar que a LSP deve estar parametrizada para $f = 0$

II. Para parar o motor:

- Girar gradativamente o potenciômetro para a esquerda até atingir o final do cursor;

- Observar através do display, o decremento da frequência até atingir o valor nulo, seguindo uma rampa de desaceleração até parar;
- Desligar o interruptor LI1.

Obs. Caso deseje que o motor gire no sentido anti-horário através do ajuste fino do potenciômetro (rampa de aceleração e desaceleração), é só acionar o interruptor LI2 ao invés do LI1.

5.2. Inversor de frequência ALTIVAR 18:

Siga os procedimentos sequenciados para o acionamento de um MIT de 0,33 CV, disponível na prateleira do rack do quadro eletromecânico a ser trabalhado.

- Fazer as ligações de acordo com a localização dos bornes no ALTIVAR 18 (Fig.10) e o esquema da Fig. 11
- Utilizar um potenciômetro de referência de 1 a 10 K Ω , na entrada analógica, e 4 interruptores de uma seção para simular os atuadores nas entradas lógicas (digitais);
- Colocar sob tensão, mas ainda sem ordem de marcha;
- Utilizar os teclados tipo membrana para checar ou configurar a parametrização do inversor no nível 1, que corresponde a configuração básica para funcionamento (**bfr** de 50 para 60Hz, **HSP** de 50 para 60Hz, etc):

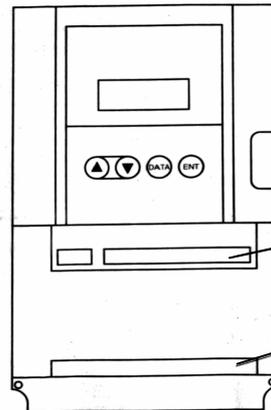
Parâmetro	Função	Unid.	Reg. fábrica
rdy	Inversor pronto		
FrH	Referência de frequência	Hz	<i>FrH</i>
LCr	Corrente do motor	A	
rFr	Frequência de rotação	Hz	
ULn	Tensão da rede	V	
bfr	frequência de base = a frequência da rede;	Hz	50
ACC	tempo da rampa de aceleração linear;	S	3,0
dEC	tempo da rampa de desaceleração linear;	S	3,0
LSP	velocidade baixa (mínima);	Hz	0
HSP	velocidade alta (máxima);	Hz	50
FLG	Ganho da malha de frequência		33
ItH	Proteção térmica do motor	A	In
JPF	Supressão da velocidade crítica	Hz	0
IdC	Corrente de frenagem por injeção de DC na parada	A	0,7 In
t dC	Tempo de frenagem por injeção automática na parada	S	0,5
UFR	Parâmetro que permite otimizar o conjugado em velocidade muito baixa.		20
SP3	3ª velocidade pré-ajustada,	Hz	5
SP4	4ª velocidade pré-ajustada	Hz	25
JOG	Referência para funcionamento passo a passo	Hz	10
Fdt	Nível de frequência associado à função nível de frequência atingido da saída L0	Hz	0
rPG	Ganho proporcional da função regulador PI		1
rIG	Ganho integral da função regulador PI	1/s	1
FbS	Coefficiente multiplicador da realimentação da função regulador PI		1
L2A	Acesso aos parâmetros do nível 2		<i>no</i>

Para acesso aos parâmetros do nível 2:

Parâmetro	Função	Unid.	Reg. fábrica
L2A	Acesso aos parâmetros do nível 2		<i>yes</i>
Uft	Escolha do tipo de relação tensão/frequência: L – conjugado constante para motores em paralelo ou especiais; P – conjugado variável n – controle vetorial de fluxo sem realimentação para aplicações em conjugado constante n L d – economia de energia, para aplicações em conjugado variável sem trancos.		n
tUn	Auto regulagem: Ativo somente para as relações V/f (<i>no, yes</i>)		<i>no</i>
UnS	Tensão nominal do motor: colocar o valor lido na placa	V	230
FrS	Frequência nominal do motor: colocar o valor lido na placa	Hz	<i>bFr</i>
tFr	Frequência máxima de saída:	Hz	60
brA	Adaptação automática do tempo da rampa de desaceleração: YES : função ativa, no : função inativa		YES

Parâmetro	Função	Unid.	Reg. fábrica
<i>SLP</i>	Compensação de escorregamento: este parâmetro só aparece se a relação $U F t$ configurada for a relação n	Hz	Depende do calibre
<i>tLS</i>	Limite do tempo de funcionamento em baixa velocidade: $t L S = 0$ (função inativa)	s	0
<i>LI2</i>	Reconfiguração da entrada lógica LI2: O F F: Não configurada r r S: sentido de rotação reverso d C l: frenagem por injeção de corrente contínua fixa F S t: parada rápida (esta função é ativada quando a entrada estiver desligada). J O G: funcionamento passo a passo. PS2: 2 velocidades pré-selecionadas. PS4: 4 velocidades pré-selecionadas.		<i>rrS</i>
<i>LI3</i>	Reconfiguração da entrada lógica LI3: Idem LI2		<i>PS2</i>
<i>LI4</i>	Reconfiguração da entrada lógica LI4: Idem LI2		<i>PS4</i>
<i>LO</i>	Configuração da saída lógica: 1) <i>S r A</i> : referência de velocidade atingida pelo motor, com histerese de +/- 2,5 Hz. 2) <i>F t A</i> : nível de frequência ultrapassado (<i>F d t</i>)		<i>S r A</i>
<i>AIC</i>	Configuração da entrada analógica AIC/AI2: <i>S A I</i> : somatório com AI1 <i>P I F</i> : realimentação do regulador PI		<i>S A I</i>
<i>CrL</i>	Configuração da entrada AIC/AI2: - <i>0.0</i> : AIC : 0 – 20 mA / AI2: 0 + 10V - <i>4.0</i> : AIC : 4 – 20 mA / AI2 : 2 + 10V	mA	<i>0.0</i>
<i>SPr</i>	Regulagem automática com retomada de velocidade. Após um corte breve da rede, o motor parte novamente com rampa: - <i>no</i> : função inativa - <i>YES</i> : função ativa		<i>no</i>
<i>SFr</i>	Frequência de chaveamento: É regulável para reduzir o nível de ruído gerado pelo motor.	kHz	<i>4.0</i>
<i>StP</i>	Parada controlada na falta da rede: controle da parada do motor na ocorrência de uma falta de rede, segundo uma rampa auto-adaptada em função da energia cinética restituída: - <i>no</i> : função inativa - <i>YES</i> – função ativa		<i>no</i>
<i>Atr</i>	Religamento automático após desligamento por defeito, se este desapareceu e que as outras condições de funcionamento o permitam. A nova partida se efetua por uma série de tentativas automáticas separadas por tempo de espera crescentes: 1s, 5s, 10s e 1min: Se a partida não efetuou-se após 6 min., o procedimento será abandonado e o inversor permanecerá travado até sua desenergização e posterior energização. - <i>no</i> : função inativa - <i>YES</i> : função ativa		<i>no</i>
<i>FCS</i>	Retorno as regulagens de fábrica: - <i>no</i> : não - <i>YES</i> : a visualização seguinte será <i>rdy</i>		<i>no</i>
<i>CPU</i>	Visualização da versão do software		
<i>L2A</i>	Retorna para o nível 1		<i>yes</i>

Obs. O motor a ser empregado com esse inversor, deve possuir tensões de placa 220/380V. Como a tensão de linha na saída do inversor é de 220V, fazer as ligações dos terminais do motor na ligação delta.

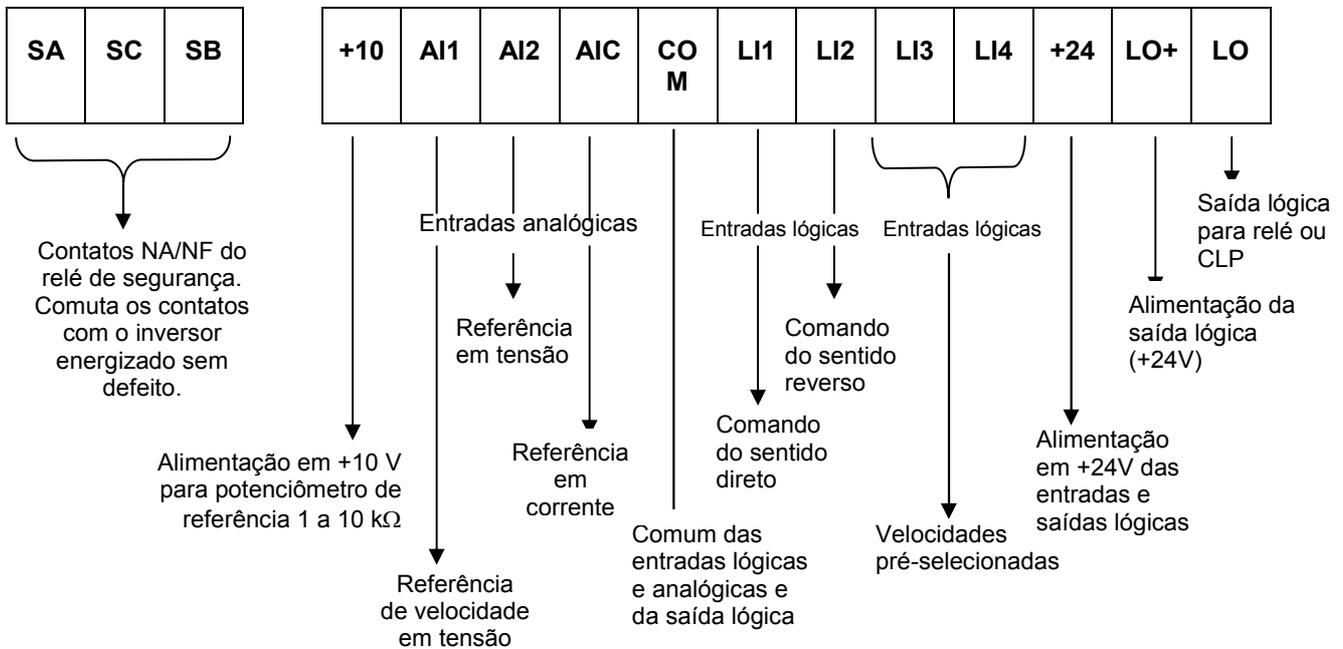


1. Bornes de Controle

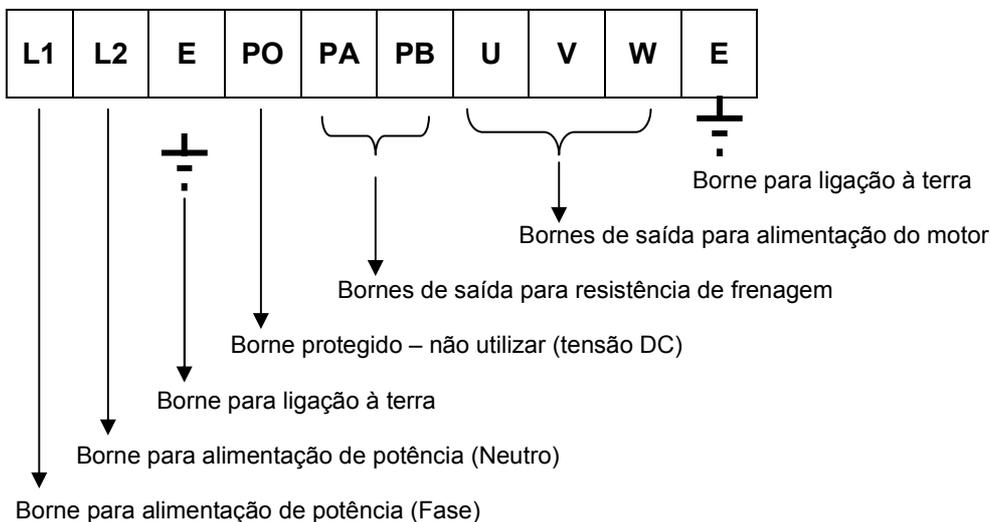
2. Bornes de Potência

Fig. 10

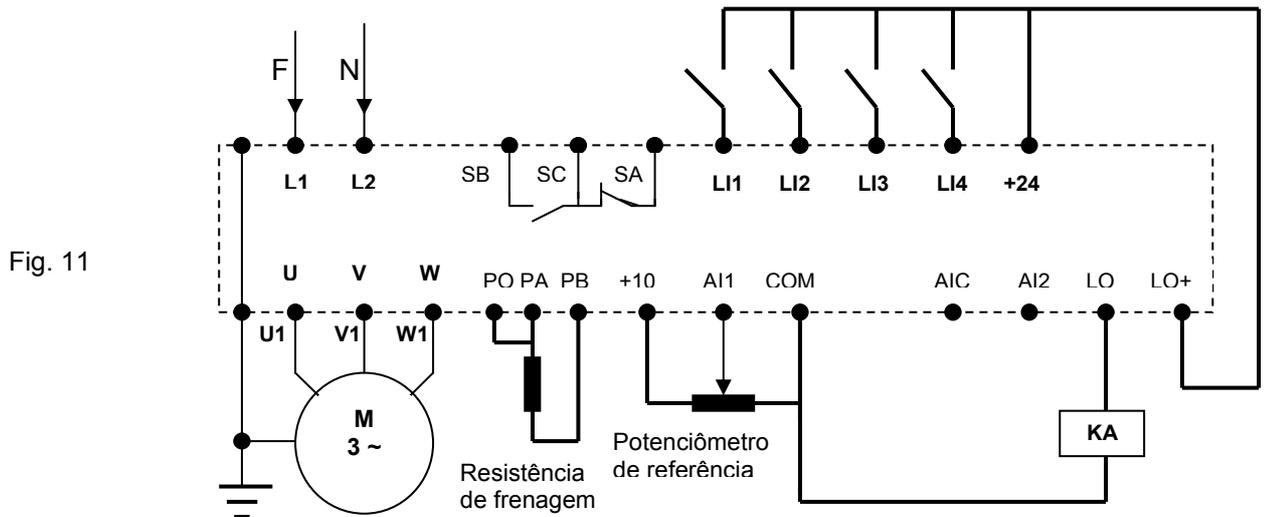
I) Disposição dos Bornes de Controle:



II) Disposição dos Bornes de Potência:



Esquema de ligações do ALTIVAR 18:



Obs. Na montagem dessa prática não serão utilizados o resistor de frenagem externo nem o CLP (KA) para controle do inversor.

5.2.1. Instruções para acionamento passo a passo:

Nesta simulação serão utilizados interruptores de 1 seção para compor os atuadores nas entradas lógicas LI1, LI2, LI3 e LI4, e 1 (um) potenciômetro de 1 a 10kΩ, correspondente a entrada analógica AI1.

Após a montagem do circuito e as ligações efetuadas, proceder de acordo com os passos a seguir, para acionamento e controle do motor:

Inicialmente cheque os valores parametrizados de fábrica e se preciso for, faça as devidas correções de parametrização na frequência da rede (*b f r*) e na velocidade máxima do motor (*H S P*) para 60 Hz, e considere os demais parâmetros com a regulagem original de fábrica. Caso deseje ajustar *H S P* para > 60 Hz, modificar a regulagem de *t f r* no nível 2.

5.2.1.1. Acionamento do motor até a velocidade nominal, no sentido de rotação horária:

- I. Colocar o inversor sob tensão:
 - Ligar o disjuntor de alimentação;
 - Observar no display, o aparecimento do parâmetro **rdy** (significa inversor pronto).
- II. Para dar ordem de marcha:
 - Fechar o interruptor LI1 = Acionar o motor para frente (sentido horário);
 - Observar no display o incremento de frequência até atingir o valor nominal (60Hz), ou velocidade máxima pré ajustada.
- III. Para parar o motor:
 - Abrir o interruptor LI1 = desligar o motor;
 - Observar no display o decremento da frequência até zero;

5.2.1.2. Acionamento do motor até a velocidade nominal, no sentido de rotação anti-horária:

- I. Para dar ordem de marcha:
 - Fechar o interruptor LI2 = Acionar o motor para trás (sentido anti-horário);
 - Observar no display o incremento de frequência até atingir o valor nominal (60Hz), ou velocidade máxima pré ajustada.
- II. Para parar o motor:
 - Abrir o interruptor LI2 = desligar o motor;
 - Observar no display o decremento da frequência até zero;

5.2.1.3. Para fazer o motor operar com 2(duas) ou 4 (quatro) velocidades pré-ajustadas, deve-se configurar as entradas lógicas em PS2 ou PS4 no nível 2 de parametrização.

- Possibilidade de obter 2 (duas) velocidades previamente selecionadas:

Configuração PS2:

V1: LI3 com contato aberto: referência = *L S P* + referência analógica; (LI3 = 0)

V2: LI3 com contato fechado: referência = *H S P*; (LI3 = 1)

- Possibilidade de obter 4 (quatro) velocidades previamente selecionadas:
Configuração PS4:
V1: LI3 e LI4 com contatos abertos: referência = *L S P* + referência analógica; (LI3 = 0 e LI4 = 0);
V2: LI3 com contato fechado e LI4 aberto: referência = *S P 3* (LI3 = 1 e LI4 = 0);
V3: LI3 com contato aberto e LI4 fechado: referência = *S P 4* (LI3 = 0 e LI4 = 1);
V4: LI3 e LI4 com contatos fechados: referência = *H S P* (LI3 = 1, LI4 = 1)

Instruções Passo a passo:

Para obter as 2 (duas) velocidades pré-ajustadas na configuração PS2:

- A) Para obter a 1ª velocidade pré-ajustada:
- Deixar o interruptor LI3 aberto, que corresponde a posição lógica LI3 = 0;
 - Girar o potenciômetro todo para a direita, de forma a obter a referência analógica em AI1;
- A.I) Para dar partida no motor:
- Fechar o interruptor LI1= acionar o motor para frente (sentido horário);
 - Observar no display o incremento de frequência até atingir a 1ª velocidade pré-selecionada. Caso $f_1 = 0$, $V_1 = 0$, o motor permanecerá parado.
 - motor deverá permanecer girando na 1ª velocidade pré-ajustada;
- A.II) Para parar o motor:
- Abrir o interruptor LI1= desligar o motor
 - Observar no display o decremento da frequência até zero;
- B) Para obter a 2ª velocidade pré-ajustada:
- Deixar o interruptor LI3 fechado, que corresponde a posição lógica LI3 = 1;
- B.I) Para dar partida no motor:
- Fechar o interruptor LI1 = acionar o motor para frente (sentido horário);
 - Observar no display o incremento de frequência até atingir a velocidade pré-selecionada *H S P*;
 - O motor deverá permanecer girando na 2ª velocidade pré-ajustada;
- B.II) Para parar o motor:
- Abrir o interruptor LI1 = desligar o motor;
 - Observar no display o decremento da frequência até zero;
- Obs. Caso deseje que o motor gire no sentido anti-horário para as 2 velocidades pré-ajustadas, é só acionar o interruptor LI2 ao invés do LI1, nas partidas e paradas.

Para obter as 4 (quatro) velocidades pré-ajustadas na configuração PS4:

- C) Para obter a 1ª velocidade pré-ajustada:
- Deixar os interruptores LI3 e LI4 abertos, que correspondem as posições lógicas LI3 = 0 e LI4 = 0;
- C.I) Para dar partida no motor:
- Fechar o interruptor LI1 = acionar o motor para frente (sentido horário);
 - Observar no display o incremento de frequência até atingir a 3ª velocidade pré selecionada;
 - O motor deverá permanecer girando na velocidade pré-ajustada;
- C.II) Para parar o motor:
- Abrir o interruptor LI1 = desligar o motor;
 - Observar no display o decremento da frequência até zero;
- D) Para obter a 2ª velocidade pré-ajustada,:
- Deixar o interruptor LI3 fechado e LI4 aberto, que correspondem as posições lógicas LI3 = 1 e LI4 = 0;
- D.I) Para dar partida ao motor:
- Fechar o interruptor LI1 = acionar o motor para frente (sentido horário);
 - Observar no display o incremento de frequência até atingir a 4ª velocidade pré selecionada;
 - O motor deverá permanecer girando na 2ª velocidade pré-ajustada;
- D.II) Para parar o motor:
- Abrir o interruptor LI1 = desligar o motor;
 - Observar no display o decremento da frequência até zero;
- E) Para obter a 3ª velocidade pré-ajustada:
- Deixar o interruptor LI3 aberto e LI4 fechado, que correspondem as posições lógicas LI3 = 0 e LI4 = 1.

E.I) Para dar partida ao motor:

- Fechar o interruptor LI1 = acionar o motor para frente (sentido horário);
- Observar no display o incremento de frequência até atingir a 3ª velocidade pré-selecionada;
- O motor deverá permanecer girando na 3ª velocidade pré-ajustada;

E.II) Para parar o motor:

- Abrir o interruptor LI1 = desligar o motor;
- Observar no display o decremento da frequência até zero;

F) Para obter a 4ª velocidade pré-ajustada:

Deixar os interruptores LI3 e LI4 fechados, que correspondem as posições lógicas LI3 = 1 e LI4 = 1.

F.I) Para dar partida ao motor:

- Fechar o interruptor LI1 = acionar o motor para frente (sentido horário);
- Observar no display o incremento de frequência até atingir a 4ª velocidade pré-selecionada;
- O motor deverá permanecer girando na 4ª velocidade pré-ajustada;

F.II) Para parar o motor:

- Abrir o interruptor LI1 = desligar o motor;
- Observar no display o decremento da frequência até zero;

Obs. Caso deseje que o motor gire no sentido anti-horário para as 4 velocidades pré-ajustadas, é só acionar o interruptor LI2 ao invés do LI1, nas partidas e paradas.

5.2.1.4. Para acionamento do motor através da entrada analógica AI1:

- Gire o potenciômetro todo para a esquerda;

I. Para acionamento do motor com toda a gama de velocidade variável no sentido horário:

- Fechar o interruptor LI1 = pré ajustado para girar no sentido horário;
- Girar gradativamente o potenciômetro para a direita até atingir o final do cursor;
- Observar através do display, o incremento de frequência até atingir o valor máximo, seguindo uma rampa de aceleração;

Observação importante! Quando for alterar a velocidade do motor através do ajuste fino do potenciômetro, a velocidade **LSP deve estar parametrizada para $f=0$** .

II. Para parar o motor:

- Girar gradativamente o potenciômetro para a esquerda até atingir o final do cursor;
- Observar através do display, o decremento da frequência até atingir o valor nulo, seguindo uma rampa de desaceleração até parar;
- Desligar o interruptor LI1.

Obs. Caso deseje que o motor gire no sentido anti-horário através do ajuste fino do potenciômetro (rampa de aceleração e desaceleração), é só acionar o interruptor LI2 ao invés do LI1, como segue:

III. Para acionamento do motor com toda a gama de velocidade variável no sentido anti-horário:

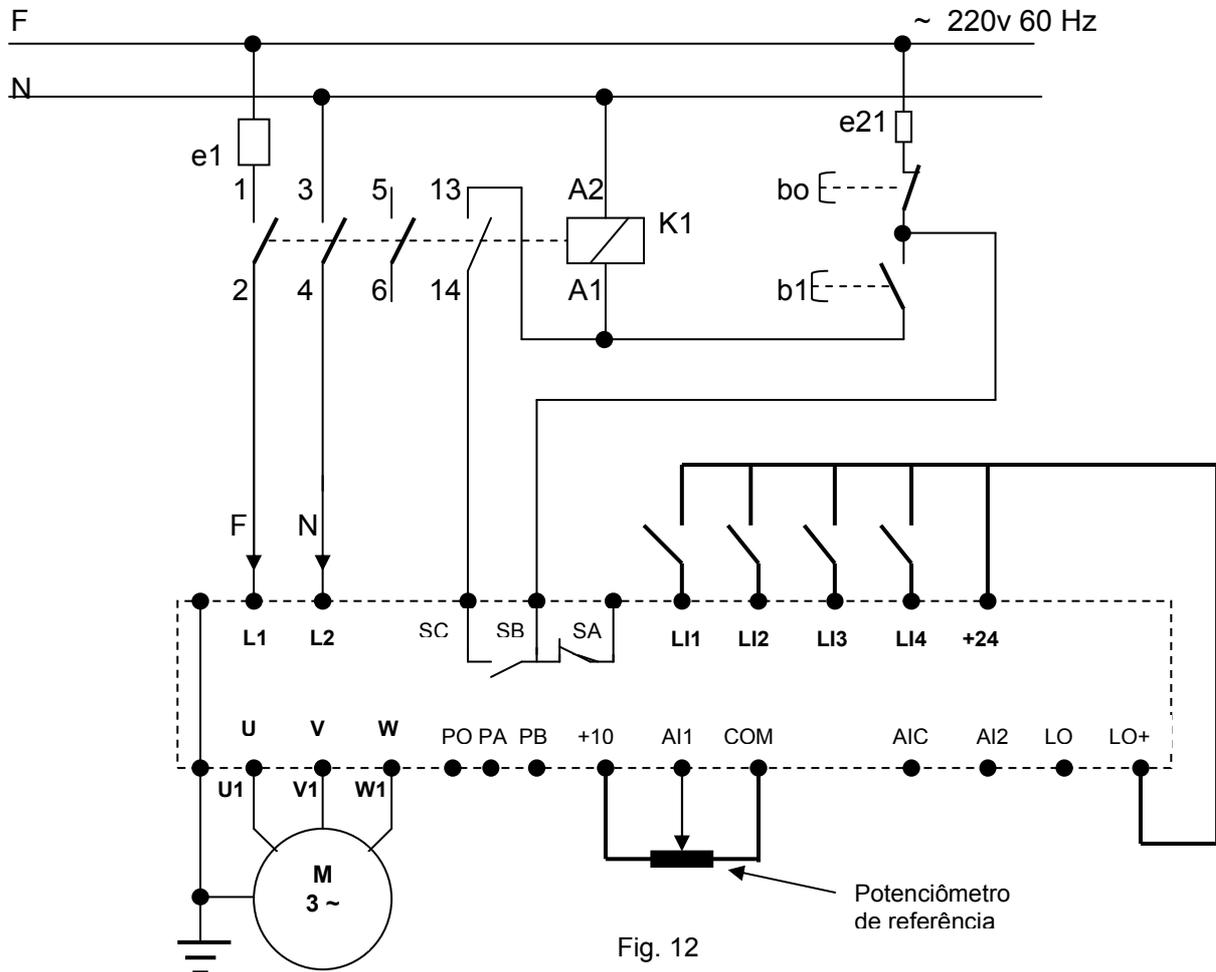
- Fechar o interruptor LI2 = pré-ajustado para girar no sentido anti-horário;
- Girar gradativamente o potenciômetro para a direita até atingir o final do cursor;
- Observar através do display, o incremento de frequência até atingir o valor máximo, seguindo uma rampa de aceleração;

IV. Para parar o motor:

- Girar gradativamente o potenciômetro para a esquerda até atingir o final do cursor;
- Observar através do display, o decremento da frequência até atingir o valor nulo, seguindo uma rampa de desaceleração até parar;
- Desligar o interruptor LI2.

5.3. Esquemas com componentes associados:

Para acionamento do inversor de frequência, através do controle e proteção do circuito de comando, utilizando componentes associados, efetue a montagem, do diagrama da fig. 12. (circuito integrado = comando + força)



6. VERIFIQUE OS SEUS CONHECIMENTOS

- 6.1- Quando deve ser utilizar o inversor de frequência?
- 6.2- Quais as vantagens da aplicação do inversor de frequência para o acionamento de motores?
- 6.3- Que tipo de componente do estado sólido é utilizado no circuito de potência do inversor de frequência?
- 6.4- Cite algumas aplicações do inversor de frequência.
- 6.5- Qual o tipo de modulação é empregada para a formação da onda senoidal de saída do inversor?
- 6.6- No inversor utilizado nessa prática quais as entradas lógicas e analógicas disponíveis no equipamento?
- 6.7- Qual a diferença entre inversor escalar e vetorial?
- 6.8- Quantas e quais velocidades pré-ajustadas são disponibilizadas no inversor?