

Universidade Federal da Campina Grande
Centro de Ciências e Tecnologia
Departamento de Engenharia Elétrica

Relatório de Estágio Supervisionado

Relatório apresentado à Coordenação de Estágios de
Engenharia Elétrica da UFCG, como parte dos
requisitos à obtenção do título de Engenheiro Eletricista

Aluno: EISENHAWER DE MOURA FERNANDES

Matricula: 29821140

Fevereiro de 2004

Universidade Federal da Campina Grande
Centro de Ciências e Tecnologia
Coordenação de Estágios do DEE

Relatório de Estágio Supervisionado

Trabalho Apresentado por: EISENHAWER DE MOURA FERNANDES

Empresa: FELINTO INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA - CG

Período de Estágio: 19/11/2003 A 18/02/2004

Orientador: CURSINO BRANDÃO JACOBINA

Campina Grande - Paraíba
Fevereiro de 2004



Biblioteca Setorial do CDSA. Março de 2021.

Sumé - PB

Aluno: EISENHAWER DE MOURA FERNANDES

Matricula: 29821140

Estágio Supervisionado

Julgado em ____ / ____ / ____

Nota: _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Cursino Brandão Jacobina, Dr. Ing.
Orientador

Convidado

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

Sumário

1 Felinto Com. e Ind. Ltda	1
2 Introdução	3
2.1 Servoacionamentos na indústria	3
2.2 Motor de Indução Trifásico	6
2.3 Inversor de Freqüência	9
2.4 Técnicas de Acionamentos de Motores de Indução Trifásicos	10
2.4.1 Controle de Fluxo e Conjugado	10
2.4.2 Controle de Velocidade	14
2.5 Sensores de velocidade	16
3 Inversor de Freqüência 690+ da Eurotherm Drives	20
3.1 Descrição	20
3.2 Especificações	21
3.3 Instalação	21
3.4 Funcionamento	22
3.5 Estratégias de Controle de Velocidade	28
3.6 Painel de Controle 6901	29
3.7 Programação	30
3.8 Indicações de Falhas	34
3.9 O <i>Software CE Lite</i>	35
3.10 Controle Externo do Inversor	37
4 Projeto de Controle de Registro da Máquina SOS	38
4.1 Motivação	38
4.2 Objetivos	40
4.3 Atividades Realizadas	41
5 Conclusões	54
A Macro 1 - controle padrão	56

B SOS - Controle de Registro da Máquina SOS 1	57
Bibliografia	58

Apresentação

O presente estágio supervisionado foi realizado nas dependências da empresa Felinto Indústria e Comércio Ltda, resultado do convênio firmado entre a empresa, o Instituto Euvaldo Lodi (IEL) e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O relatório trata da implementação de um sistema de controle de registro de uma máquina que fabrica sacos de embalagens de papel, visando a substituição do controle atual e, mediante aprovação, implantação nas demais máquinas, uma vez que o atual sistema impõe algumas limitações ao operador, de por exemplo, a mudança automática do comprimento da embalagem para um comprimento arbitrário. Dessa forma, o relatório está estruturado em 5 capítulos. No primeiro capítulo, apresenta-se de maneira sucinta a fábrica Felinto e as atividades desenvolvidas pela mesma. O capítulo 2 constitui-se numa revisão bibliográfica tratando de assuntos fundamentais para localizar o projeto. O capítulo 3, mostra uma visão geral do Inversor de Frequência utilizado no controle de registro, comentando as principais características desse equipamento. Uma descrição do atual sistema de controle das máquinas de embalagens da fábrica é feita no capítulo 4, além disso, tem-se ainda, a descrição das atividades desenvolvidas, dos objetivos gerais do projeto e resultados obtidos com o sistema de controle de registro operando em caráter experimental na máquina SOS 1. Por último, o capítulo 5 apresenta comentários acerca da experiência do estágio e principalmente, as conclusões obtidas dos resultados do controle de registro proposto.

Capítulo 1

Felinto Com. e Ind. Ltda

A Felinto Comércio e Indústria e Ltda é uma fábrica cuja atividade destina-se a impressão de logomarcas de produtos (em sua maioria alimentícios) em embalagens plásticas e de papel. A Felinto apresenta-se hoje como a maior empresa do Norte e Nordeste do Brasil no setor de impressão em embalagens, tendo clientes em todo o país.

A matéria-prima utilizada na empresa compreende tintas, papel, filmes de plástico (poli-etileno, polipropileno) e filmes de alumínio.

O ponto de partida para a impressão da logomarca do cliente na embalagem respectiva, é a confecção da logomarca do cliente feita no setor de "Criação e Arte" na qual a imagem (ou desenho) do produto é elaborada em computadores e, uma vez aceita pelo cliente, é transferida para gravadoras de cilindros de cobre, as matrizes de impressão. As gravadoras de cilindros de cobre fazem a gravação da imagem em baixo relevo (rotogravura) de forma helicoidal.

A confecção do cilindro com as dimensões adequadas para utilização nas impressoras é feita na "Oficina" (Setor de Mecânica) da empresa. Os cilindros após a gravação passam por um processo de galvanoplastia, no qual sofrem um banho de cromo visando proporcionar maior durabilidade. Neste setor, é feito um controle de qualidade, no qual uma gravação de teste verifica a qualidade da imagem impressa e as tintas empregadas.

Em seguida, as matrizes de gravação são transportados para as impressoras: "as rotos". Considere a Figura 2.6, a matriz de gravação gira em torno de um eixo tendo parte de seu volume submerso em uma banheira com tinta, a tinta penetra nas células demarcadas pela gravadora na matriz, assim, quando o filme plástico ou papel passar entre o cilindro de pressão P e a matriz, ocorre a absorção da tinta por capilaridade, ao processo descrito chama-se rotogravura. A faca F serve para retirar o excesso de tinta existente na superfície da matriz.

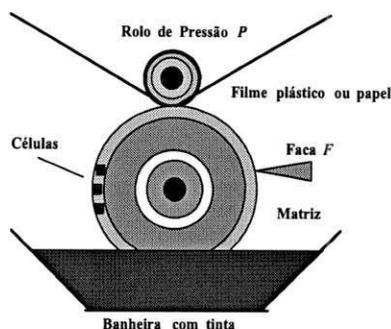


Figura 1.1: Impressão em baixo relevo - rotogravura

A partir desse ponto, se as bobinas de material impresso forem de filme plástico elas são transportadas manualmente para as máquinas revisoras que verificam a ocorrência de falhas de impressão, se nenhuma falha for detectada, o material é cortado em bobinas menores formando as bobinas-filhas. Por outro lado, se o material impresso for de papel (embalagens de fubá de milho), as bobinas são conduzidas ao "Setor SOS", no qual as embalagens são confeccionadas.

A empresa possui uma extrusora que tem a função de produzir as bobinas de filmes plásticos a serem usadas nas máquinas de impressão ou para as máquinas de laminação (laminadora). A laminadora tem como função obter um filme composto de dois materiais plásticos diferentes, colados. A laminação é feita pois permite que agregar em um filme a boa qualidade de impressão oferecida por um filme plástico com a resistência mecânica ou a umidade proporcionada por um filme de alumínio. As bobinas obtidas das laminadoras também são levadas as revisoras e só depois de aprovadas, são divididas em bobinas-filhas.

As bobinas-filhas das rotos ou das laminadoras são posteriormente embaladas em plástico e transportadas para o armazenamento e comercialização com as empresas-clientes.

Capítulo 2

Introdução

2.1 Servoacionamentos na indústria

Os servoacionamentos são utilizados nas mais diversas aplicações industriais, onde elevada dinâmica, controle de torque, precisão de velocidade e posicionamento são fatores decisivos para aumento de produtividade. Os servoacionamentos tem como aplicações: empacotadeiras, dosadoras, bobinadeiras, máquinas-ferramentas, máquinas de corte e solda (plástico), máquinas gráficas, sistemas de posicionamentos, *retrofitting*, mesas gráficas, esteiras com paradas programadas, máquinas de embalagens, alimentador de prensas e máquinas têxteis.

Servomotores

Os primeiros servomotores eram geralmente do tipo CC pois eram capazes de ser utilizados em aplicações para controle de correntes de valor elevado. Algumas companhias designam qualquer sistema em malha fechada que não utilizam um motor de passo um servo sistema, dessa forma, um motor de indução conectado a um controlador de velocidade ser chamado servomotor [1].

Um dos tipos de motores mais empregados em servoacionamentos são motores do tipo ímã permanente. A tensão do enrolamento de campo de um motor a ímãs permanentes podem ser CC ou CA. A Figura 2.1 mostra um diagrama típico de um motor a ímã permanente, este tipo de motor traz acoplado um encoder ou resolver para indicar a posição ou velocidade do eixo do motor.

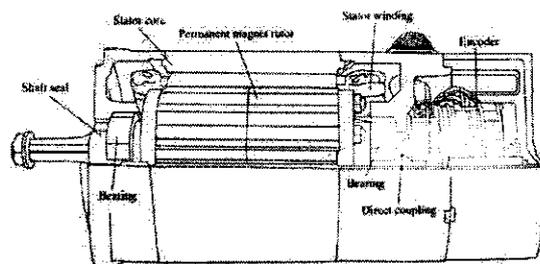


Figura 2.1: Diagrama de um servomotor típico

Servoacionadores

Os servoacionadores ou servoconversores (*servodrives*) devem ser capazes de realizar um grande número de decisões, dispor de meios para receber sinais de sensores e controlar o servo-sistema e ainda, interagir com computadores (*host*) ou Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) que podem ser utilizados para interface com o servo-sistema. A Figura 2.2 mostra alguns servoacionadores da *Pacific Scientific*.



Figura 2.2: Exemplos de servomotores e servoconversores da *Pacific Scientific*

Aplicações de servomotores

Para se ter uma melhor idéia de como servomotores e servoconversores são usados, considere as seguintes aplicações típicas:

Sistema de enchimento de precisão :

Nesta aplicação, um grande tanque de enchimento é usado para encher depósitos durante a passagem em uma linha de montagem (*conveyor line*), vide Figura 2.3. O material que é colocado dentro dos depósitos pode ser um único material ou pode ser um de vários materiais a serem misturados em uma etapa de mistura desses. Desde que quantidade de material que é colocada nos depósitos deve ser precisamente pesada e medida, o dosador é composto por um servo-sistema controlado. O sensor de realimentação pode ser uma célula de carga. Os sinais de comando pode ser originados de um controlador programável ou pela ação de um operador, selecionando uma receita, a partir de um terminal. À medida que o preço do material cresce, um equipamento de enchimento com precisão pode proporcionar economia como também qualidade na quantidade de material empregado na receita.

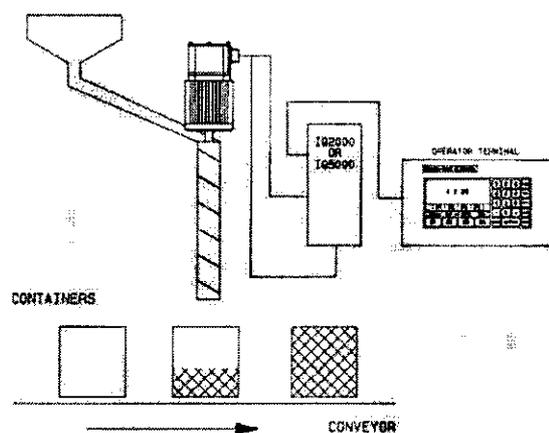


Figura 2.3: Aplicação de uma estação de enchimento de precisão

Sistema de aplicação de rótulos :

Na Figura 2.4 tem-se um servomotor controlando a velocidade de um mecanismo para colocação de etiquetas ou rótulos pré-impressos em um rolo e, aplica esses rótulos a pacotes que se movimentam em uma esteira de uma linha de montagem. Os sinais de realimentação são providos de um encoder que indica a posição da esteira, de um tacogerador que fornece a velocidade da esteira e de um sensor que indica a marca de registro de cada rótulo. O sistema de posicionamento é controlado por microprocessador que determina o sinal de erro e um conversor que fornece a potência para o servomotor.

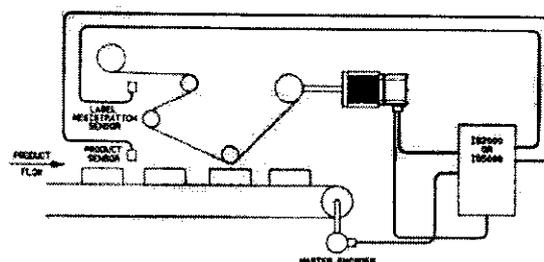


Figura 2.4: Exemplo de um sistema de aplicação de rótulos ou etiquetas

2.2 Motor de Indução Trifásico

Os motores elétricos constituem parte dos equipamentos mais amplamente utilizados na indústria. Dentre os motores elétricos, os motores de indução, por serem robustos, mais baratos e de fácil manutenção, são os mais empregados [2]. O motor de indução com rotor em gaiola de esquilo é o mais comum de todos os motores elétricos empregados na indústria. Além de aplicações industriais, é muito usado nos setores rural e residencial.

Princípio de Funcionamento

O motor de indução (Figura 2.5) é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor, este montado sobre mancais e rolamentos, separados por um entreferro (*gap* de ar).

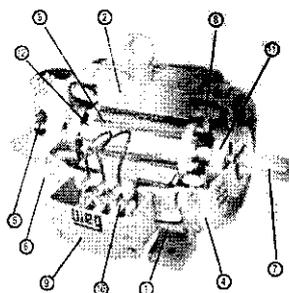


Figura 2.5: Motor de indução típico, fabricante: Weg Motores

- Estator: Carcaça (1), núcleo de chapas (2) e enrolamento trifásico (8);
- Rotor: Eixo (7), núcleo de chapas (3) e barras e anéis de curto-circuito (12);
- Outras partes: Tampa (4), ventilador (5), tampa defletora (6), caixa de ligação (9), terminais (10) e rolamentos (11)

Quanto ao eletromagnetismo, o estator consiste de um núcleo ferromagnético laminado com grupos de bobinas uniformemente distribuídas em suas ranhuras, onde seus eixos são decalados entre si de 120 graus elétricos, formando um sistema trifásico simétrico. O rotor, por sua vez, é cilíndrico em aço laminado, no qual condutores são fundidos em ranhuras curto-circuitadas em cada extremidade por anéis terminais contínuos, por isso a designação gaiola de esquilo [3].

O motor de indução trifásico é alimentado por fonte de tensão senoidal trifásica através dos enrolamentos do estator e as correntes rotóricas surgem por indução. As correntes polifásicas equilibradas do estator e rotor de amplitude constante criam ondas de fmm (força magnetomotrizes) de amplitude constante, girando no entreferro à velocidade síncrona e portanto estacionárias uma em relação à outra, independentemente da velocidade mecânica do rotor. A resultante destas fmm cria uma resultante de indução eletromagnética no entreferro. A interação entre a onda de fluxo e a onda de rotor dá origem ao conjugado eletromagnético [2].

Características de Operação

- Regime de partida: A corrente de partida pode variar de 6 a 10 vezes a corrente nominal. O conjugado pode atingir valores aproximados de 1 a 3 vezes o valor do conjugado nominal. Essas correntes e conjugados de partida provocam dois efeitos danosos: distúrbios elétricos na rede de alimentação e desgaste das partes mecânicas reduzindo vida útil do motor.
- Curva conjugado-rotação: O motor de indução tem velocidade nula à velocidade síncrona, à medida que carga é acrescida a seu eixo, a velocidade cai gradativamente, até um ponto em que o conjugado atinge um valor máximo que o motor é capaz de desenvolver em rotação nominal. Se o conjugado de carga aumentar mais, a rotação cai bruscamente, podendo travar o motor, vide Figura 2.6.

Regulação de Velocidade

A relação entre velocidade, frequência, número de pólos e escorregamento é expressa pela equação 2.1.

$$N = \frac{120 \cdot f \cdot (1 - s)}{P} \quad (2.1)$$

Observando-se a fórmula [4], pode-se observar que a velocidade de um motor de indução varia com os seguintes parâmetros:

Números de pólos :

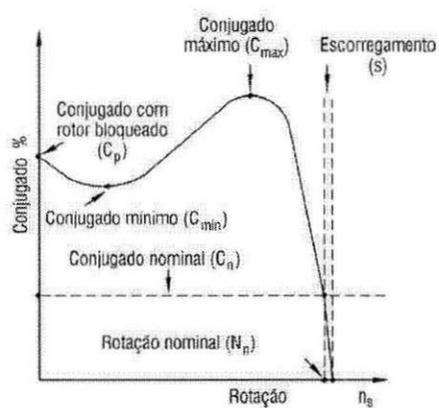


Figura 2.6: Curva Conjugado-Rotação de um motor de indução

- enrolamentos separados no estator;
- um enrolamento com comutação de pólos ou ainda;
- combinação dos anteriores.

Escorregamento :

- variação da resistência do rotor;
- variação da tensão do estator;
- variação de ambos.

2.3 Inversor de Frequência

O Inversor de Frequência é o equipamento de tecnologia a estado sólido mais empregado na variação e controle de motores elétricos de indução. Esse equipamento é resultado do desenvolvimento crescente dos semicondutores de potência juntamente com a crescente oferta de microprocessadores, microcontroladores e DSPs (*Digital Signal Processors*)[5].

O Inversor de Frequência tem como princípio de funcionamento variar a velocidade do motor de indução, sob condições normais de operação, é determinada pela frequência da fonte de alimentação. Dessa forma, os inversores de frequência controlam a velocidade do motor através da variação e controle da frequência fornecida ao motor de indução. A Figura XX mostra um diagrama típico de um Inversor de Frequência comercial.

Existem dois tipos de inversores: Inversor Fonte de Tensão (*Voltage Source Inverter - VSI*) e Inversor Fonte de Corrente (*Current Source Inverter - CSI*). A maioria das aplicações industriais utilizam o tipo fonte de tensão (VSI), modulados por largura de pulso (*Pulse Width Modulation - PWM*).

Os Inversores de Frequência modulados por largura de pulso são de dois tipos: de controle escalar e controle vetorial. O inversor de controle escalar varia a velocidade do motor mediante o controle da amplitude da tensão e da frequência fornecidas ao motor de maneira a obter uma relação V/Hz constante em uma faixa de velocidade. O inversor de controle vetorial são utilizados em aplicações com alta precisão, regulação e controle de torque em uma faixa ampla de operação. (co?)

2.4 Técnicas de Acionamentos de Motores de Indução Trifásicos

A máquina de corrente contínua (CC) apresenta características dinâmicas e de operação muito favoráveis à realização de acionamentos elétricos à velocidade variável. Todavia, algumas limitações construtivas, principalmente o comutador de corrente mecânico, ela vem sendo substituída pelas máquinas de corrente alternada (CA), que dispensam esse tipo de comutador por terem sistemas de alimentação estáticos [6].

A máquina assíncrona ou de indução é uma máquina de corrente alternada que apresenta características muito requisitadas para acionamentos estáticos à velocidade variável: robustez, simplicidade de construção e preço baixo comparado às demais máquinas.

Os sistemas de acionamento que empregam máquinas assíncronas são mecanicamente robustos, mas sua análise é complexa pois requer o estudo de um sistema multivariável e não linear [6]. Os primeiros esquemas de acionamentos com máquina assíncrona eram do tipo escalar e baseados em modelos de regime permanente, tal como o Volts/Hertz, apresentando fraco desempenho dinâmico. Dessa forma, estratégias de controle de alto desempenho tem sido investigadas de maneira a assegurar o desacoplamento ou independência entre o controle do fluxo e do conjugado.

2.4.1 Controle de Fluxo e Conjugado

De modo genérico as estratégias de controle podem ser classificadas como estratégias escalares ou vetoriais. Nas estratégias escalares controlam-se simultaneamente a amplitude e a frequência da grandeza. No caso das estratégias vetoriais o controle, o controle é feito por meio dos valores e da fase ou das componentes dq da grandeza. As estratégias de controle podem ser classificadas ainda conforme o fluxo escolhido para a excitação magnética da máquina e de acordo com o tipo de variável empregada no controle do conjugado eletromagnético. A excitação magnética pode ser feita através do fluxo estatórico, do fluxo rotórico ou do fluxo de entreferro. Por sua vez, o conjugado eletromagnético pode ser controlado através da frequência de escorregamento da variável escolhida para excitar a máquina (controle por escorregamento), ou pela componente de uma segunda variável, variável de conjugado, em quadratura com a variável de excitação (controle em quadratura).

Controle por escorregamento

O conjugado eletromagnético de uma máquina assíncrona pode ser expresso genericamente como:

$$c_e = k_1 \phi_1^2 \omega_{1r} \quad (2.2)$$

Na equação (2.2) k_1 depende dos parâmetros da máquina, ϕ_1 é amplitude do fluxo escolhida e $\omega_{1r} = \omega_1 - \omega_r$ é a freqüência de escorregamento do vetor fluxo escolhido. Quando o fluxo utilizado é o fluxo rotórico, esta expressão é exata e vale também durante os regimes transitórios da máquina. Quando o fluxo utilizado é o fluxo estatórico ou o de entreferro, esta expressão é aproximada e é válida apenas em regime permanente.

O controle por escorregamento é baseado na equação (2.2): controla-se a amplitude do fluxo ϕ_1 , normalmente num valor constante (exceto nos casos de enfraquecimento de campo e otimização da eficiência da máquina), e o escorregamento ω_{1r} é utilizado para o controle do conjugado. A estratégia de controle por escorregamento pode ser do tipo escalar, onde o referencial para implementação dos controladores pode ser arbitrário. Como exemplo, considere o controle por escorregamento com fluxo estatórico, a partir do modelo dq da máquina assíncrona [6], obtém-se a seguinte expressão:

$$c_e = \frac{Pl_m^2}{r_r l_s^2} \cdot \frac{\omega_{ar}}{1 + (\omega_{ar} \sigma \tau_r)^2} \cdot \phi_s^2 \quad (2.3)$$

onde $\sigma = 1 - l_m^2 / (l_s l_r)$ é o coeficiente de dispersão. Para pequenos valores de escorregamento e abaixo do valor de "pull-out" a expressão (2.5) pode ser aproximada por:

$$c_e = \frac{Pl_m^2 \omega_{ar} \phi_s^2}{r_r l_s^2} \quad (2.4)$$

Segundo a equação (2.6), percebe-se que c_e pode ser controlado através de ω_{ar} , desde que ϕ_s seja mantido constante. Maiores informações sobre as condições para a dedução da equação (2.6) são encontradas em [6]. Dessa forma, um diagrama de blocos de um controle vetorial indireto por escorregamento com fluxo estatórico no referencial estatórico é ilustrado na Figura 2.7.

Controle em quadratura

O conjugado eletromagnético da máquina assíncrona pode ainda ser expresso genericamente pelo módulo do produto vetorial de duas grandezas vetoriais de estado quaisquer da máquina (x_1^g e x_2^g):

$$c_e = k_{12} x_1 x_2 \text{sen}(\delta_{21}) \quad (2.5)$$

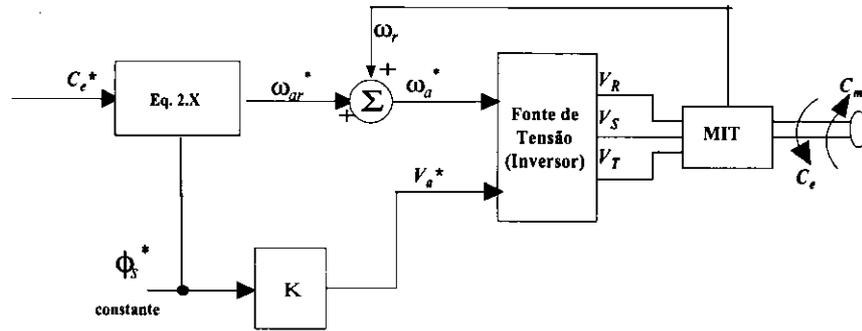


Figura 2.7: Controle vetorial indireto em por escorregamento com o fluxo estatórico

Na equação (2.5) x_1 e x_2 são as amplitudes dos vetores x_1^g e x_2^g , δ_{21} é o ângulo entre os vetores e k_{12} é uma constante. As grandezas x_1^g e x_2^g podem ser escolhidas como: fluxo-fluxo ou fluxo-corrente. O controle em quadratura é baseado na equação (2.5). Supondo que x_1^g é variável de excitação magnética, x_1 é controlada em um valor normalmente constante, e o conjugado eletromagnético da máquina é controlado através de $x_2 \text{sen}(\delta_{21})$ componente de x_2^g em quadratura com x_1^g .

A técnica de controle em quadratura é do tipo vetorial empregando controladores no referencial de fluxo a ser controlado. Considere-se o controle em quadratura com o fluxo estatórico, ou seja $\phi_s^d = \phi_s$, $\phi_s^q = 0$ e $\omega_g = \omega_a$ escreve-se do modelo dq da máquina;

$$c_e = P\phi i_{sq}^a \quad (2.6)$$

$$\frac{l_s}{\tau_r} i_{sd}^a + \sigma l_s \frac{di_{sd}^a}{dt} - \omega_{ar} \sigma l_s i_{sq}^a = \frac{1}{\tau_r} \phi_s + \frac{d\phi_s}{dt} \quad (2.7)$$

$$\frac{l_s}{\tau_r} + \sigma l_s \frac{di_{sq}^a}{dt} + \omega_{ar} \sigma l_s i_{sd}^a = \omega_{ar} \phi_s \quad (2.8)$$

Onde $i_{sq}^a = i_s \text{sen}(\delta_i - \delta_a)$ é a componente do vetor corrente i_s^s em quadratura com o o vetor ϕ_s^s e, $i_{sd}^a = i_s \text{cos}(\delta_i - \delta_a)$. Portanto, tem-se que o conjugado eletromagnético é controlado por meio de i_{sq}^a equação (2.6), e o fluxo ϕ_s é controlado através de i_{sd}^a , na equação (2.7).

Uma forma de implementar este estratégia de controle é indicado na Figura 2.8. Neste diagrama ϕ_s^* e i_{sq}^{a*} são o fluxo estatórico e a corrente em quadratura de referências. Os blocos indicados com R_ϕ^a e R_i^a representam os controladores de fluxo e de corrente estatóricos respectivamente.

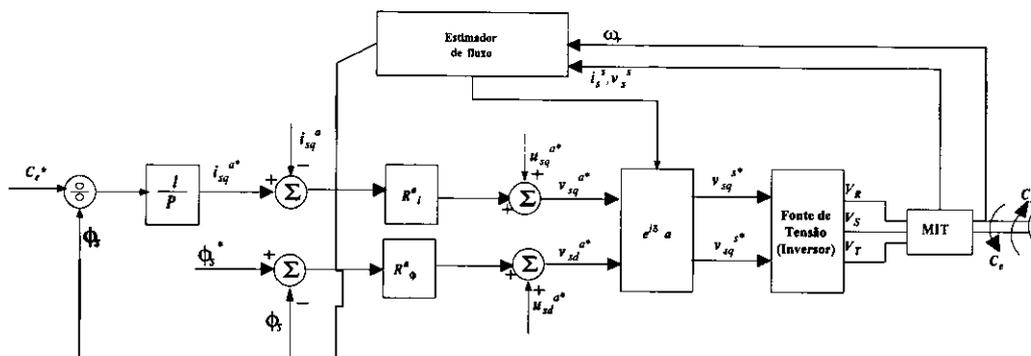


Figura 2.8: Controle vetorial direto em quadratura com o fluxo estático

Acionamento Volts/Hertz

O princípio do acionamento Volts/Hertz requer que a magnitude e a frequência da tensão aplicada ao estator do motor de indução mantenha-se constante. Em se fazendo isso, a intensidade do campo magnético no estator é mantido constante ao longo da faixa de operação. O motivo para se manter a razão Volts/Hertz constante é que a capacidade de produção de torque constante é conservada.

A energia entregue pelo conversor de potência ao motor é controlada sinais modulados por largura de pulso (PWM) aplicados as chaves que compõem o conversor.

O princípio da razão Volts/Hertz constante

Assumindo que a tensão aplicada a um motor de indução trifásico é senoidal e, desprezando-se a queda de tensão na resistência do estator, tem-se em regime permanente Eqs. (2.9) e (2.10):

$$\hat{V} = j\omega\hat{\Lambda} \quad (2.9)$$

$$V \approx \omega\Lambda \quad (2.10)$$

Onde \hat{V} e $\hat{\Lambda}$ são fasores do fluxo magnético e tensão do estator, V e Λ são as suas respectivas magnitudes, assim obtém-se:

$$\Lambda \approx \frac{V}{\omega} \approx \frac{V}{2 \cdot \pi \cdot f} \quad (2.11)$$

Da Eq.(2.11) segue que se a razão V/Hz permanece constante com a variação de f , então Λ permanece e o torque é independente da frequência de alimentação. Entretanto, quando a frequência e a tensão são de pequenos valores, a queda de tensão na resistência não pode ser

desprezada e deve ser compensada [7]. Para frequências superiores ao valor nominal, o princípio da razão V/Hz deve ser violado, pois a isolamento do enrolamento do estator pode ser danificada. O princípio é ilustrado na Figura 2.9.

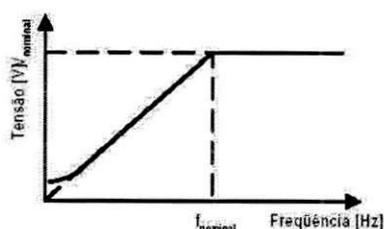


Figura 2.9: Tensão versus frequência

Desde que o fluxo do estator é mantido constante, independente da variação da frequência de alimentação, o torque desenvolvido depende apenas do escorregamento, como na Figura 2.10. Então pela regulação do escorregamento, o torque e a velocidade de um motor de indução pode ser controlado pelo princípio V/Hz constante.

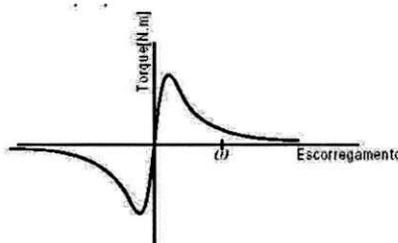


Figura 2.10: Conjugado versus escorregamento

2.4.2 Controle de Velocidade

Sem informação de velocidade

Sistemas de acionamento estático de motores de indução que não tem a informação de velocidade de um sensor, extraem informação da velocidade do eixo do motor a partir da medição das tensões e correntes do estator da máquina. Dessa forma, a estimação de parâmetros é uma das tarefas mais importantes nos sistemas de acionamento estáticos de alto desempenho, pois torna-se muito importante na sintonia dos controladores com orientação pelo campo (controle em quadratura). Dessa forma, a robustez da estratégia de controle pode ser melhorada.

Com relação ao princípio V/Hz , o controle de velocidade de um motor de indução pode ser implementado em malha aberta ou em malha fechada. O controle em malha aberta é usada quando precisão na resposta de velocidade não é um fator importante, como em aplicações de ventilação, aquecimento e condicionamento de ar. Nestas aplicações, a frequência de alimentação é determinada com base na velocidade desejada e de que o erro de velocidade é aceitável.

O controle de velocidade sem informação pode sugerir a situação na qual não há estimação da velocidade mecânica do eixo do motor. Como consequência, a dinâmica adquirida pela máquina será determinada pelo conjugado mecânico oferecido pela carga ao eixo da máquina. Considere a situação de controle por escorregamento com fluxo estático, como a não se dispõe da velocidade da máquina ω_r , a frequência da tensão de alimentação ω_a do motor não corresponde a frequência de escorregamento ω_{ar} , logo, há um erro inerente no sistema de controle (Figura 2.11).

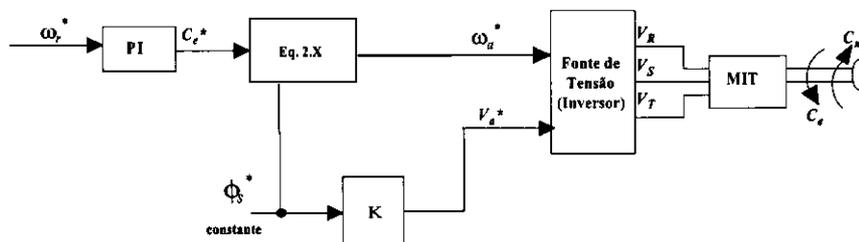


Figura 2.11: Controle de velocidade sem o uso de técnicas de estimação

Com informação de velocidade

Uma estratégia de controle típica, como ilustrada na Figura 2.12, é utilizar um controlador PI para controlar a velocidade do motor ω_r , de maneira a mantê-la próxima ao seu valor de referência ω_r^* . Este método utiliza um controle em cascata, na qual se controla uma variável interna e a partir desta a variável de saída: na estrutura de controle representada na Figura 2.12 controla-se o conjugado eletromagnético c_e da máquina e a partir desta controlar a velocidade ω_r . Na estrutura de controle representada na Figura 2.12 a malha interna de controle implementa um controle por escorregamento com o fluxo estático ϕ_a .

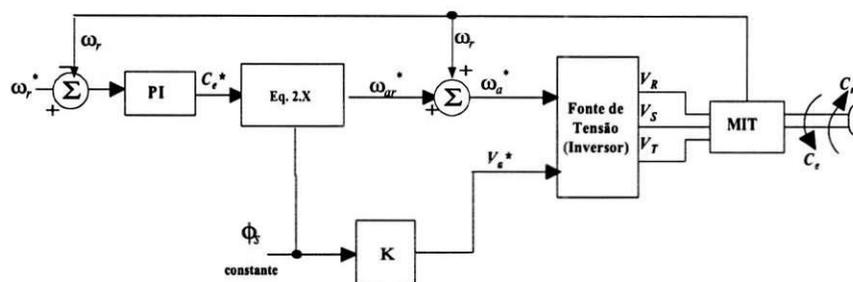


Figura 2.12: Controle de velocidade em malha fechada

2.5 Sensores de velocidade

Tacogerador

Trata-se de um pequeno gerador de corrente contínua (CC) com campo fornecido por um ímã permanente (Figura 3.2). A tensão gerada pelo equipamento é diretamente proporcional a velocidade do com que o fluxo magnético intercepta os condutores do rotor (Eq. 2.12). Onde K é uma constante de proporcionalidade que depende da intensidade do campo, do número de pólos, do número de espiras e da dimensão do rotor.

$$V = K \cdot \omega \quad (2.12)$$

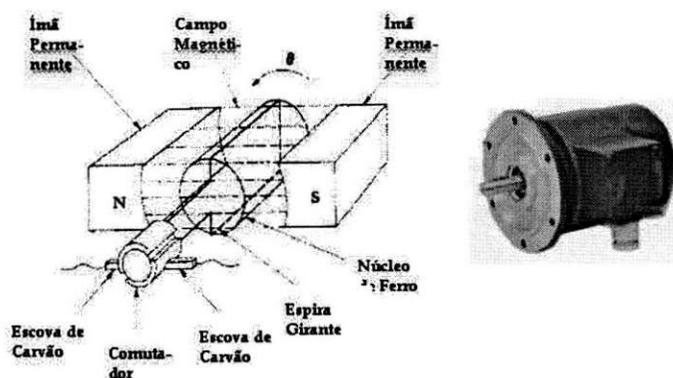


Figura 2.13: Esquema simplificado de um gerador CC e, um tacogerador comercial

Encoders

Encoders são transdutores rotativos que transformam movimentos rotativos em uma série de pulsos digitais [8]. As principais aplicações desses conversores estão nas máquinas-ferramentas ou de produção de materiais, em robôs; em sistemas de motores, em equipamentos de medição e controle.

De modo geral, os encoders ópticos são baseados no princípio de reflexão óptica, cujo sistema de leitura é formado por um disco graduado com um reticulado radial formado por linhas opacas, alternadas por espaços transparentes (Figura 2.14). Este conjunto é iluminado de modo perpendicular por uma fonte de luz (infravermelha), o foto-emissor, as variações de luz são detectadas por foto-receptores, convertendo-as em variações elétricas.

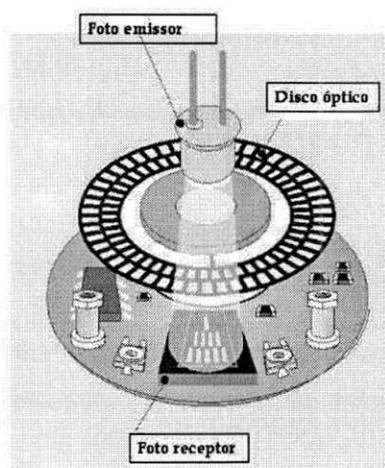


Figura 2.14: Encoder Incremental

O sinal elétrico detectado é processado por um circuito eletrônico, para produzir sinais em quadratura e sem interferências de modo comum.

Encoders Incrementais

O encoder incremental (Figura 2.14) proporciona normalmente duas formas de onda defasadas de 90 graus elétricos, os quais são denominados, geralmente, de "Canal A" e "Canal B". Com a leitura de um só canal obtém-se a informação da velocidade, enquanto que com o sinal do canal B se é possível discriminar o sentido de rotação com base na seqüência de dados produzidas pelos sinais. Além disso, é disponibilizado um terceiro sinal chamado "Canal Z" ou "Zero" que

proporciona a posição absoluta de zero do eixo do encoder. A Figura 3.4 ilustra as formas de onda geradas pelos canais A, B e Z.

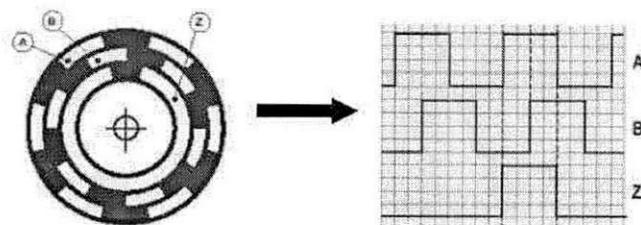


Figura 2.15: Disco de Encoder Incremental e Sinais A, B e Z

A precisão de um encoder incremental depende de alguns fatores, a saber: erro nos divisões dos retículos, inclinação do disco, erros de leitura, estado dos rolamentos, etc [9]. A precisão de encoder é quantizada na quantidade de pulsos gerados em uma volta mecânica, dada pela seguintes expressão:

Encoders Absolutos

O princípio de funcionamento de um encoder absoluto é muito similar ao de um encoder incremental no qual um disco que gira, com zonas transparentes e opacas que ao interromper um feixe de luz produz variações luminosas captadas por foto-receptores. A Figura 2.16 ilustra o esquema típico de um encoder absoluto comercial.

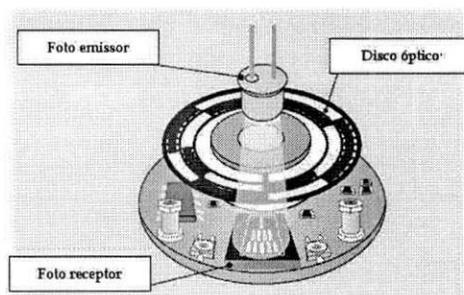


Figura 2.16: Encoder Absoluto

Os encoders absolutos diferenciam-se dos incrementais pelo fato de que a posição é determinada por um código de saída, única para cada posição em uma volta. Para tanto, isso é conseguido através de uma codificação direta o disco, permitindo que mesmo na falta de alimentação não se perca a posição angular do eixo.

O código utilizado na codificação das posições angulares do disco é o Código Gray, pois ocorre apenas a mudança de estado de 1 bit entre posições sucessivas, o que no caso do Código Binário poderia haver a mudança de todos os bits, como por exemplo 7 (0111) e 8 (1000), tornando muito problemática a detecção de uma leitura nesse instante [9].

Capítulo 3

Inversor de Freqüência 690+ da Eurotherm Drives

3.1 Descrição

O Inversor 690+ categoria B é projetado para controle de velocidade de motores de indução trifásicos. Os inversores de outras séries são disponíveis numa faixa de especificações em aplicações para torque constante e torque quadráticos (bombas e ventiladores). O Inversor 690+ permite as seguintes formas de acionamento de motores: escalar volts/hertz, vetorial sem sensor e vetorial em malha fechada [10].

A figura 3.1 mostra um diagrama de blocos do Inversor 690+, sendo dividido em duas partes principais: potência e controle.

A parte de controle Inversor 690+ é subdividida em:

- Processador - com entradas analógicas e digitais que são configuráveis de modo que pode ser controlado remotamente, sem a necessidade de equipamento opcional;
- Opções de Tecnologia (*Technology Options*);
- *Keypad Interface* - O Inversor pode, ainda, ser controlado localmente pelo uso do painel de controle 6901 disponível ou remotamente através do software *ConfigEd Lite*, permitindo o acesso a parâmetros e seus diagnósticos, mensagens de configuração, mensagens de falhas ou ainda programar o aplicativo;
- Placa de Sistema (*System Board Interface*) - Placa de interface de rede.

No que concerne a parte de potência do drive, esta é subdividida em:

- Estágio de Filtragem - Atenua o ruído produzido pelo Inversor a ser injetado na rede de alimentação;

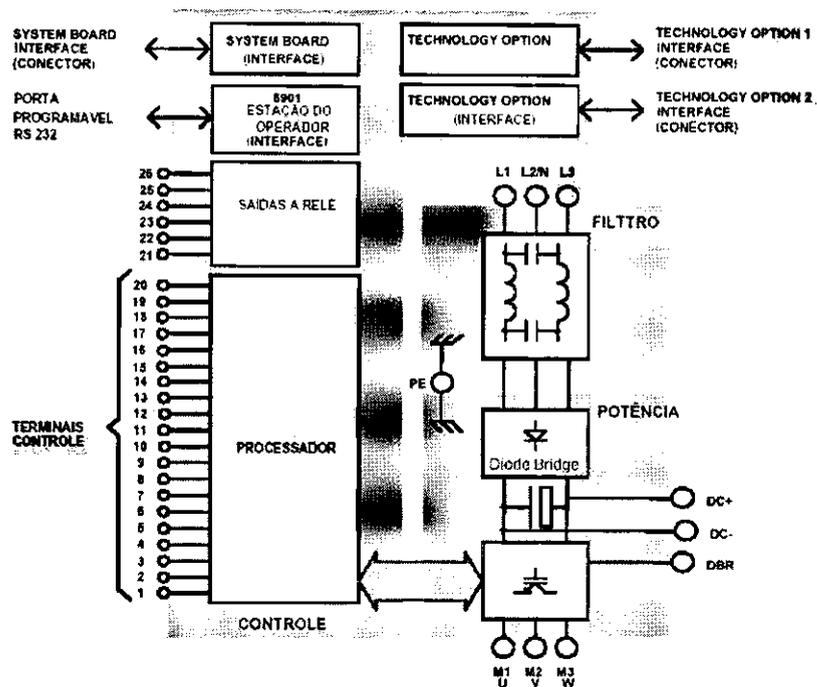


Figura 3.1: Diagrama de blocos do Inversor 690+

- Estágio de Potência - Composto por um barramento CC obtido a partir de retificação e cujo nível de tensão é mantido por capacitores, além de um inversor trifásico formado por IGBTs (*Insulated Gate Bipolar Transistor*).

3.2 Especificações

As principais especificações do equipamento [10] encontram-se na tabela 3.1 a seguir:

3.3 Instalação

a - Potência

As conexões de potência do Inversor 690 + para alimentação monofásica ou trifásica é exibida na figura 3.2:

Geral	Frequência de saída	0-500Hz (modo V/Hz) 0-350 Hz (modo vetorial em malha fechada) 0-120Hz (modo vetorial sem sensor)
	Reforço de tensão	0-25 %
	Frequências críticas	4 com banda ajustável
	Modos de parada	Rampa, parada rápida, com injeção DC
	Rampas	Simétricas ou assimétricas
	Função de Jog	Programável
	Funções Lógicas	10 blocos funcionais programáveis
	Funções de valores	10 blocos funcionais programáveis
	Diagnósticos	Monitoração
	Entradas/saídas	Entradas analógicas
Saídas analógicas		3 configuráveis tensão ou corrente
Entradas digitais		7 configuráveis (24VDC), 1 fixa (24VDC)
Saídas a relé		3 contatos a relé

Tabela 3.1: Características de Controle

b - Entradas de Controle

As conexões típicas para as entradas de controle (Figura 3.3) para os inversores da série 690+ apresentam as mesmas conexões para a configuração de controlador simples de velocidade. Observando-se que os cabos de controle devem ser blindados contra interferência eletromagnética, além disso, o terminal de 0 V deve ser conectado a malha de aterramento.

3.4 Funcionamento

a - Filosofia de Controle

Há duas formas de controle durante a operação [10]: controle de partida/parada (*Start/Stop Control - Sequencing*) e controle de velocidade (*Speed Control - Reference*). Cada forma de controle pode ser selecionada para controle local ou remoto.

- **Controle Local:** o painel de controle 6901 (Estação do operador)
- **Controle Remoto:** Entradas e saídas analógicas e digitais, porta RS 232 ou *6053 Technology Option*

Dessa forma, o drive pode operar em uma das quatro combinações de controle possíveis (Figura 3.4):

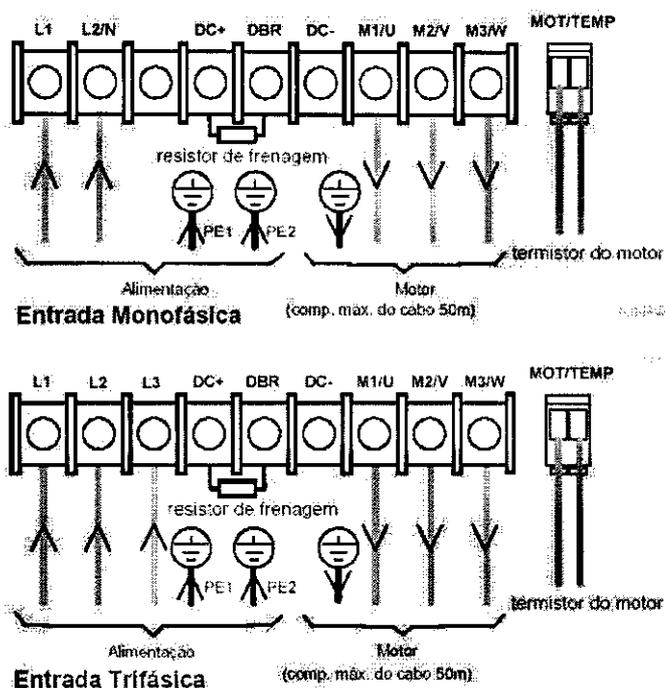


Figura 3.2: Conexões de potência

A configuração padrão é Controle Remoto de partida/parada e de velocidade, dessa forma, o usuário pode modificá-la através do painel de controle 6901 ou através de um software de programação. A mudança do modo de controle deve ser feita quando o drive está parado. O teclado do painel de controle dispõe da tecla **L/R** a qual permite a troca entre os modos de operação **Local** e **Remoto**. Entretanto, o usuário pode navegar através do software do drive até o Nível 4, onde, o bloco funcional Controle Local (LOCAL CONTROL) possibilita definir o modo de controle, podendo-se desativar a tecla **L/R**.

Métodos de partida

Os métodos de partida referem-se a configuração padrão mostrada na Figura 3.5.

- **Controle Remoto:** Na configuração da Figura 3.5, o valor de referência é obtido da soma das entradas analógicas 1 e 2. O sentido de rotação é controlado pela ação da entrada digital 4 (DIGITAL INPUT 4). Quando a entrada RUN é acionada, a demanda de velocidade segue uma rampa de referência a uma taxa determinada pelo parâmetro Tempo de Aceleração (ACCEL TIME). O motor ficará girando enquanto a entrada RUN estiver ativa (RUN ==

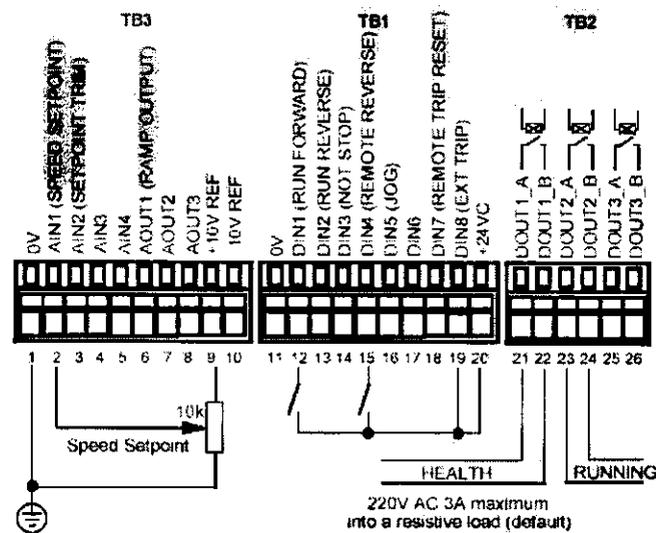


Figura 3.3: Conexões das Entradas de Controle

TRUE). De maneira análoga, a entrada JOG (DIGITAL INPUT 5).

- Controle Local: O valor de referência local é determinada pelo parâmetro SETPOINT (LOCAL). O sentido de rotação é controlado pela tecla DIR (Horário/Anti-horário) no teclado da estação do operador. Quando a tecla RUN é pressionada a demanda de velocidade (SPEED DEMAND) cresce num perfil linear numa taxa determinada pelo parâmetro Tempo de Aceleração (ACCEL TIME). Para parar a operação do drive deve-se pressionar a tecla STOP no teclado.

Quando a tecla JOG é pressionada e mantida, a demanda de velocidade (SPEED DEMAND) cresce seguindo um perfil linear numa taxa determinada pelo parâmetro JOG ACCEL TIME. Quando a tecla é liberada, o drive pára a operação, desligando o motor.

A interação existente entre as funções RUN e JOG é que apenas uma dessas funções pode ser ativada para ter efeito, sendo a outra ignorada durante a execução da função solicitada primeiro. O drive deve parar para que haja mudança de uma função para outra.

Métodos de parada

- Métodos normais
 - *Ramp to stop*: Quando o sinal de comando é recebido, o drive desacelerado do valor atual para zero dentro do tempo programado (DECEL TIME), vide Figura 3.6. Quando este tempo é atingido, a Referência de Velocidade Remota (REMOTE SETPOINT)

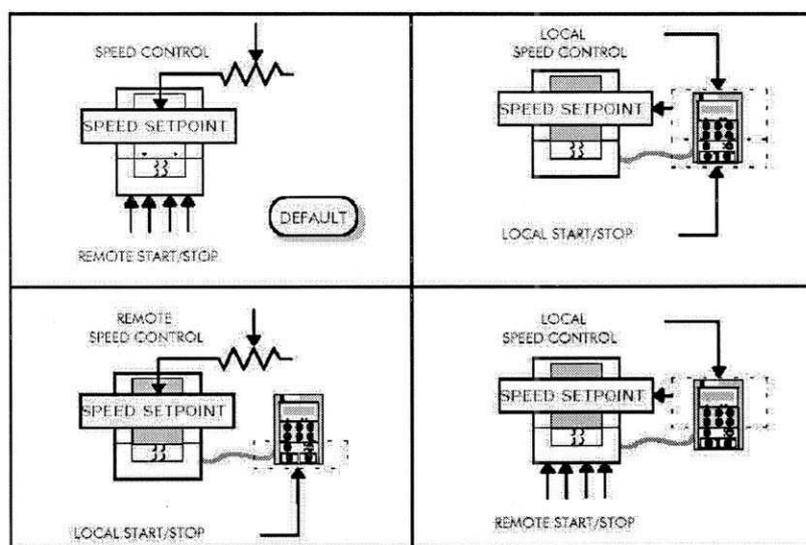


Figura 3.4: As combinações de controle remoto e local

decrece a 0 % no tempo de parada programado (STOP TIME).

- *Coast to stop*: Nesse modo, os parâmetros Tempo de desaceleração (DECCEL TIME) e Tempo de parada (STOP TIME) são ignorados. A demanda de velocidade (SPEED DEMAND) passa imediatamente para 0 % logo que o comando de parada é recebido. O circuito de potência é desabilitado imediatamente causando a parada imediata do motor (Figura 3.7).

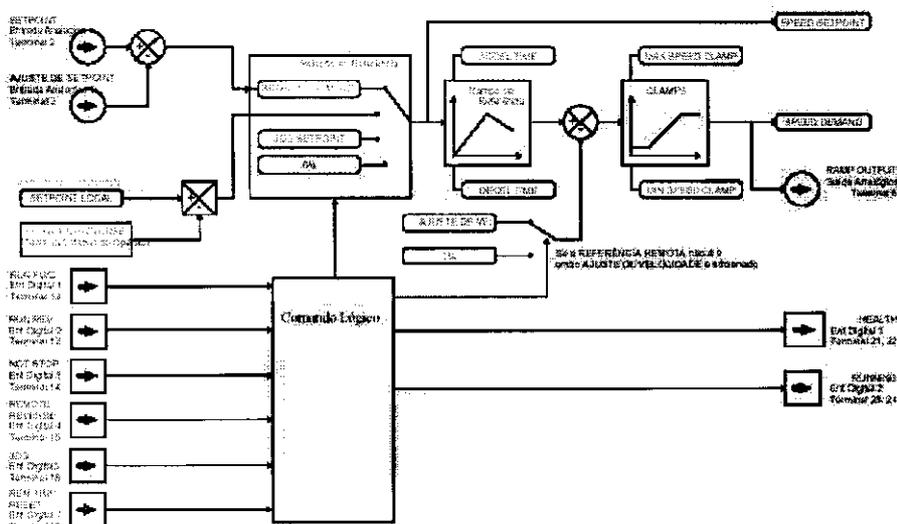


Figura 3.5: Configuração Padrão

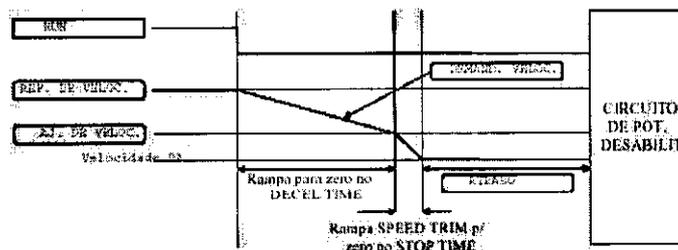


Figura 3.6: Rampa de Parada (*Ramp to stop*)

• Métodos Avançados

- *Forced fast stop*: O modo anula a ação das funções RUN e JOG tanto comando local quanto remoto (Figura 3.8). A parada do motor ocorre dentro do tempo de parada estabelecido (FAST STOP TIME).
- *Forced coast stop*: O circuito de potência é desabilitado provocando a parada brusca do motor (Figura 3.9). O sinal NOT FAST STOP tem prioridade sobre o sinal FORCED FAST STOP, sendo este ignorado quando o primeiro está ativo.

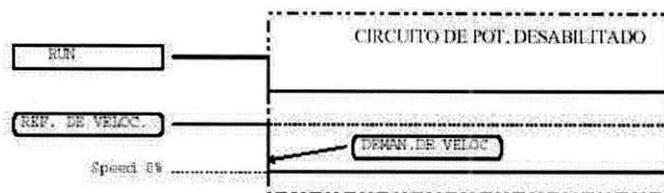


Figura 3.7: Rampa de parada (*Coast to Stop*)

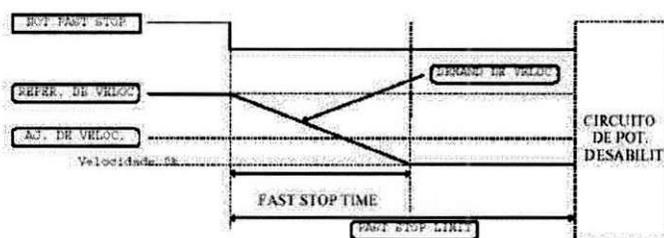


Figura 3.8: Parada Rápida Forçada (*Forced Fast Stop*)

b - Funcionamento como Máquina de Estados

A reação do Inversor 690+ é definido por uma máquina de estados. Isto determina quais comandos impõem uma ação e qual a seqüência que deve proceder [10]. A principal seqüência de estados da unidade é indicada pelo valor de parâmetro chamado Seqüenciador de Estados (SEQUENCER STATE) do bloco funcional Comando Lógico (SEQUENCING LOGIC). Esses estados estão indicados na tabela 3.2.

Valor	Estado Principal	Nome Padrão	Descrição
0	START DISABLED	Switch On Disabled	Não aceitará um comando para fechamento
1	START ENABLED	Ready To Switch On	Aceitará um comando para fechamento
2	SWITCHED ON	Switched On	Está habilitado
3	READY	Ready	Esperando o contactor ser fechado
4	ENABLED	Enable	Em operação
5	F-STOP ACTIVE	Fast-stop Enable	Parada Rápida está ativa
6	TRIP ACTIVE	Trip active	Processando um evento de falha
7	TRIPPED	Tripped	Em falha e espera por solução

Tabela 3.2: Principais estados do Inversor 690+



Figura 3.9: Parada Rápida Imediata (*Forced Coast to Stop*)

3.5 Estratégias de Controle de Velocidade

De acordo com o fabricante, o Inversor 690+ implementa estratégias de controle de velocidade escalares e vetoriais, designadas como:

a - Modo Escalar: Volts/Hertz :

O drive reproduz uma estrutura de controle em malha aberta a qual implementa o controle escalar V/Hz com perfil de linear ou quadrático. Dessa forma, o Inversor pode implementar uma estrutura como representada no diagrama da figura 2.11.

b - Modo Vetorial: *Sensorless* :

O Inversor apresenta um recurso para compensar o escorregamento e controle de fluxo, no entanto, por não o fabricante especificar se é feita uma estimativa da velocidade do eixo do motor ou não. Pode se admitir que a estrutura implementada neste tipo de controle assemelha-se àquela representada na figura 2.11.

c - Modo Vetorial: Com sensor de velocidade :

Neste modo, os sinais de informação de velocidade são fornecidos por um encoder acoplado ao eixo do motor, em seguida, um algoritmo que implementa um controlador PI (Proportional Integral) no *software* do Inversor determina os sinais a serem aplicados as chaves (IGBTs) do circuito de potência para produção da tensão e frequência necessária para atingir a velocidade de referência. O Inversor emprega, provavelmente, uma estratégia de controle em quadratura com fluxo estático para controlar fluxo e conjugado e, na malha externa um controlador PI de velocidade. A estrutura de controle deve ser similar àquela da figura 2.12.

3.6 Painel de Controle 6901

O Painel de Controle 6901 (Figura 3.10) é uma Interface Humano-Máquina (IHM) optativa do drive que permite ao usuário acesso total as características do drive. É utilizado para controle local do drive, monitoração, e acesso completo para programação do aplicativo de controle.

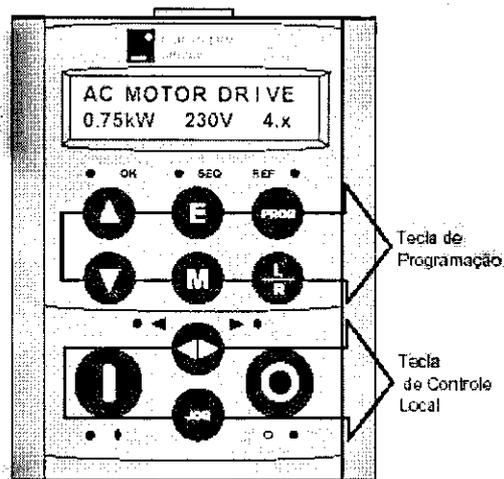


Figura 3.10: Painel de Controle

Definições das teclas de controle

Diagnóstico de operação do Inversor 690+

Como mostrado na configuração da Figura 3.5, o esquema de controle de partida do Inversor 690+ produz duas saídas digitais chamadas RUNNING e HEALTH. O sinal RUNNING é TRUE a partir do momento que um sinal de comando de partida é processado até a que lógica de parada esteja completa. Por sua vez, a saída HEALTH é TRUE quando o drive não está em uma condição de falha.

O painel da IHM do drive tem sete LEDs que indicam o estado do drive. Cada LED pode funcionar em três diferentes formas: OFF (apagado), ON (aceso) e FLASH (piscando). A Tabela 3.3 lista as principais indicações dos LEDs.

HEALTH (OK)	RUN	STOP	Estado do Drive
<i>flash</i>	<i>flash</i>	<i>flash</i>	Re-coonfiguração
<i>flash</i>	<i>off</i>	<i>on</i>	Falha
<i>on</i>	<i>off</i>	<i>on</i>	Parado
<i>on</i>	<i>off</i>	<i>flash</i>	Parando
<i>on</i>	<i>flash</i>	<i>off</i>	Rodando c/ demanda de veloc. zero ou falsa habilitação
<i>on</i>	<i>on</i>	<i>off</i>	Rodando
<i>on</i>	<i>flash</i>	<i>flash</i>	<i>Autoting</i>
<i>flash</i>	<i>flash</i>	<i>on</i>	Reiniciando: a espera de solução da falha
<i>flash</i>	<i>flash</i>	<i>off</i>	Reiniciando

Tabela 3.3: Principais indicações dos LEDs

3.7 Programação

O software de controle do drive é dividido em uma estrutura em árvore com 5 níveis de Menus [11]. O nível 1 é o topo da estrutura (Figura 3.11). O níveis de visualização dos Menus podem ser definidos pelo usuário através do teclado do 6901. Abaixo, tem-se uma descrição do Menu Nível 1 :

- OPERADOR: um visualização personalizada dos parâmetros contidos no menu SETUP. Dessa forma, pode-se elaborar um uma lista de parâmetros para operação do drive pelo operador.
- DIAGNÓSTICOS: acesso a diagnósticos dos principais parâmetros contidos no menu SETUP.
- AJUSTE RÁPIDO (QUICK SETUP): contem todos os parâmetros necessários para o drive acionar o motor.
- AJUSTE COMPLETO (SETUP): contem todos os parâmetros dos blocos funcionais para programação da aplicação do usuário.
- SISTEMA (SYSTEM): seleção da Macro.

Navegação : As teclas **E** e **M** permitem a navegação pelos níveis de menus do software. As teclas *Up*(▲) e *Down* (▼) permitem navegar por menus e listas de parâmetros.

Visualização dos Níveis : A configuração para o parâmetro VIEW LEVEL (Nível de Visualização) define como o software será exibido. A escolha do menu ocorre conforme o tipo de usuário dentre três opções: Operador, Básico e Avançado. Esse parâmetro encontram-se no menu de QUICK SETUP (Ajuste Rápido).

Alteração de Parâmetros : As teclas *Up* (▲) e *Down* (▼) mudarão o valor do parâmetro/função selecionado e a tecla **E** (ESCAPE) para terminar a edição.

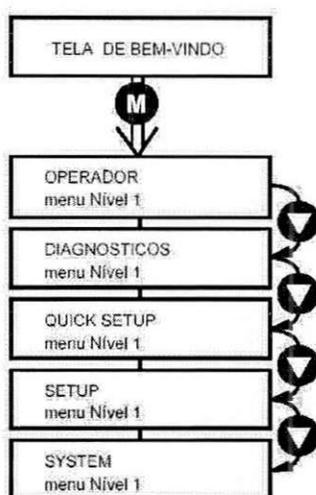


Figura 3.11: Nível 1 do Sistema

O Menu SISTEMA

O Menu SISTEMA contém as opções para salvar, restaurar ou apagar uma aplicação.

Salvar Configuração (SAVE CONFIG) : O menu SAVE CONFIG salva as configurações correntes para o nome exibido no display do 6901. O usuário pode salvar seu aplicativo em qualquer dos nomes listados, substituindo as configurações. Para salvar uma configuração deve seguir os passos abaixo (Figura 3.12):

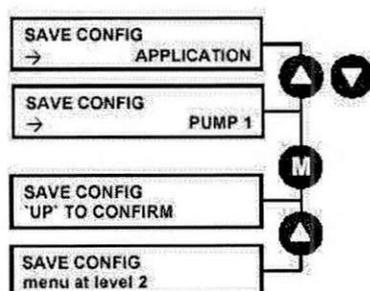


Figura 3.12: Salvar Configuração

Restaurar Configuração (RESTORE CONFIG) : O menu RESTORE CONFIG restaura a configuração exibida no display do 6901. Para restaurar uma configuração procede-se de maneira idêntica ao de salvar uma configuração (Figura 3.12).

Apagar Configuração (DELETE CONFIG) : Permite ao usuário apagar uma configuração, para tanto, procede-se de maneira análoga a de salvar uma configuração (Figura 3.12).

Novo Nome de Configuração (NEW CONFIG NAME) : Permite criar um novo nome de configuração. Um nome padrão APPLICATION é fornecido ao usuário para salvar sua aplicação, no entanto, este pode criar seu próprio nome de configuração seguindo os passos mostrados na Figura 3.13.

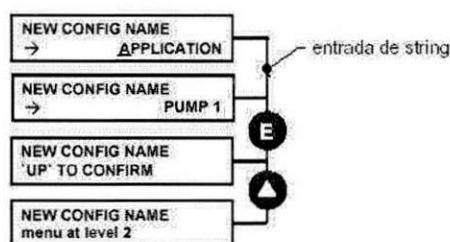


Figura 3.13: Novo Nome de Configuração

Macros

O Inversor 690+ é fornecido com macros (configurações padrão) que podem ser usadas como pontos de partida para a programação de aplicações específicas [11]. Essa programação pode envolver a entrada de valores de parâmetros, ou ainda criação *links* (interconexões) ou quebra de *links* programáveis. O Inversor 690+ disponibiliza 8 macros (configurações padrão), denominadas Macro 0 a Macro 7. Cada macro possui um conjunto de pré-definido de parâmetros e *links* quando restaurada no sistema. Cada macro proporciona:

- Macro 0: Não controla o motor. A Macro 0 quando restaurada (*loading*) no sistema, remove todos os *links* e, define todos os parâmetros para os valores default dos blocos funcionais do sistema.
- Macro 1: É a configuração padrão de fábrica que proporciona um controle básico de velocidade.
- Macro 2: É a configuração que permite o ajuste de velocidade do tipo *Raise/Lower* no qual há a simulação de um potenciômetro interno.
- Macro 3: Implementa um controlador PID.
- Macro 4: Implementa um Bobinador Programável (*Speed Programmed Winder - SPW*) para processos industriais de bobinagem de papel, plásticos, impressoras de embalagens e situações similares.

- Macro 5: Proporciona o controle de velocidade usando velocidades pré-determinadas pelo usuários (*Preset speeds*).
- Macro 6: Implementa o controle de velocidade com funções similares aos drives das séries 620 e 590+ da Eurotherm Drives.
- Macro 7: É a configuração para aplicações que exigem controle de fase e de registro.

Programação com Diagramas de Blocos

Os processos realizados por uma macro são representadas como um diagrama de blocos composto de blocos funcionais e *links* (interconexões):

- Cada bloco funcional contém os parâmetros necessários para o processamento de uma característica.
- Os *links* são usados para conectar os blocos funcionais. Cada *link* transfere o valor de um parâmetro de saída para um parâmetro de entrada de um outro (ou o mesmo) bloco funcional.

Existem dois modos de operação usados para modificar uma macro:

Modo de Configuração No modo de configuração os *links* podem ser modificados e os valores dos parâmetros. Este modo é sinalizado quando os LEDs do painel de controle passam a piscar (*flashing*). O Inversor não pode acionar o motor neste modo. Nesse modo, a mensagem ENABLE CONFIG é exibida na Estação do Operador. Para sair desse modo, basta pressionar a tecla *Escape* (**E**) ou para entrar, a tecla *Up* (**▲**). Para retornar do modo de configuração, o usuário deve pressionar repetidamente a tecla *Escape* (**E**) até chegar a tela de Bem-vindo do software.

Modo de Parametrização No modo de parametrização o usuário pode apenas modificar os valores dos parâmetros, podendo o Inversor estar acionando o motor ou parado.

Os *links* podem ser criados, movidos ou apagados de um bloco funcional no modo de configuração. O software do drive dispõe 80 *links* cada qual com um número identificador. Para criar um *link* deve-se definir qual o parâmetro fonte (SOURCE) e de destino (DESTINATION) dentre os vários blocos funcionais. Os menus e parâmetros são mostrados em ordem alfabética. Para se apagar um *link* deve-se definir os parâmetros SOURCE e DESTINATION como NULL. A Figura 3.14 ilustra como pode-se criar ou apagar *links* dentro do modo de configuração.

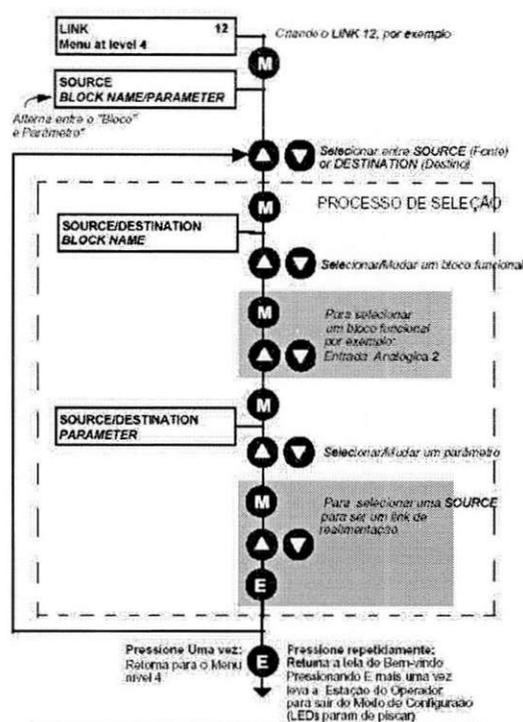


Figura 3.14: Criar ou apagar links

3.8 Indicações de Falhas

Quando uma falha ocorre, o circuito de potência é imediatamente desabilitado provocando a parada instantânea do motor (*Coast to stop*). O drive permanece desabilitado enquanto uma ação para saná-la não é realizada. Dessa forma, as falhas devido a condições transitórias podem ser capturadas e o drive ser desabilitado, mesmo quando a causa original da falha não está presente [11].

Se um condição de falha é detectada uma mensagem é exibida no tela do painel 6901, além disso, o drive faz as seguintes ações:

- O LED HEALTH pisca indicando a ocorrência de falha;
- O parâmetro TRIPPED do bloco funcional Comando Lógico (SEQUENCING LOGIC) assume TRUE.

Todas as falhas devem ser removidas para se reabilitar o drive. O sucesso dessa operação é sinalizado com o LED HEALTH parando de piscar e, o parâmetro TRIPPED do bloco Comando Lógico (SEQUENCING LOGIC) assume FALSE.

3.9 O Software CE Lite

O CE Lite (ConfigEd Lite) é um *software* utilizado para configurar os controladores da *Eurotherm Drives*, permitindo ao usuário alterar parâmetros e desenhar o diagrama da configuração que deseja. A figura 3.15 ilustra a tela de CE Lite exibindo uma configuração em diagrama de blocos [12].

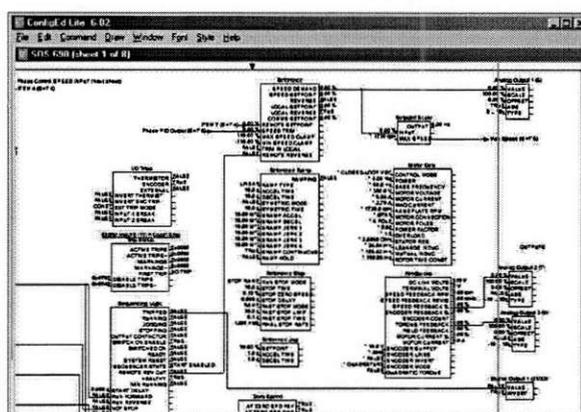


Figura 3.15: Tela do CE Lite

O CE Lite atualizar, modificar e obter uma lista de parâmetros da configuração no Inversor, possibilitando configurar e definir os parâmetros de uma Macro de maneira *off-line* e depois instalá-la no Inversor. A comunicação entre o Inversor e o CE Lite é feita através de um cabo UDP conectado a porta serial do computador do usuário e a porta P3 do drive 690+.

Criar uma configuração

A janela que exibida para o usuário quando este acessa Novo (*New*) no Menu Arquivo (*File*) é reproduzida na figura 3.16, na qual deve-se escolher a pasta correspondente ao drive que irá ser configurado. Por outro lado, para se modificar parâmetros de um bloco funcional particular de uma configuração, deve-se dar um duplo *click* com o *mouse* e, assim, tem-se a seguinte tela (Figura 3.17): Observa-se que as conexões do blocos funcionais são exibidas, contudo, só podem ser feitas de maneira gráfica.

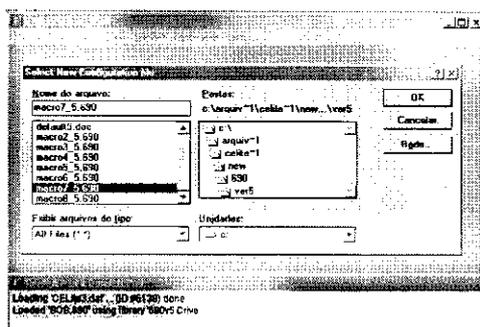


Figura 3.16: Criar configuração usando o *CE Lite*

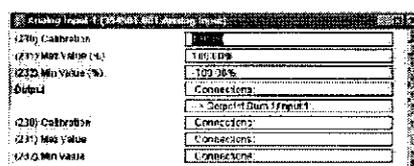


Figura 3.17: Modificar parâmetros usando o *CE Lite*

Salvar uma configuração

Feitas as modificações nos blocos funcionais da configuração o usuário deve acessar Novo (*New*) no Menu Arquivo (*File*) e, com na janela mostrada, escolher o diretório adequado.

Instalar e atualizar uma configuração

Para tanto, deve-se conectar o cabo UDP a entrada serial do PC e a porta P3 do drive [12]. Para que uma configuração seja instalada, o usuário deve acessar no Menu Comando (*Command*) e selecionar dentre Instalação Completa (*Full Install*) e Instalação Típica (*Typical Install*). Na Instalação Completa são alterados todos os parâmetros, incluindo aqueles do motor; por outro lado, na Instalação Típica apenas os parâmetros do motor não são alterados. Nas duas situações uma janela exibe o progresso da ação.

Em contrapartida, os parâmetros do drive podem ser armazenados no CE Lite quando solicitado o procedimento de Atualizar (*Update*) a configuração, situada no Menu Comando (*Command*). Aqui também uma janela também exibe o progresso da ação.

3.10 Controle Externo do Inversor

Comandos de Comunicação : Quando o comando está no modo de Comunicação Remota (*Remote Comms Mode*), o comando do drive é controlado pela escrita no parâmetro COMMS COMMAND pelo uso de uma interface de comunicação. O parâmetro COMMS COMMAND do bloco funcional COMMS CONTROL fornece um diagnóstico do comando solicitado. O parâmetro COMMS COMMAND é uma palavra de 16 bits baseado no protocolo *Standard Fieldbus*. A seguir, tem-se a descrição dos comandos suportados pelo drive que associam os bits da palavra de comando aos parâmetros do bloco funcional Comando Lógico (SEQUENCING LOGIC):

- Fechar Inversor (*Switch On*) [bit 0]- Substitui os parâmetros RUN FWD, RUN REV e NOT STOP. Quando setado 1, significa RUN FWD = TRUE e quando setado 0, tem-se RUN = FALSE, nos dois casos tem-se: RUN REV = FALSE e NOT STOP = FALSE.
- Habilitar (Não) Parada Imediata (*(Not) Disable Voltage*) [bit 1]- Quando 1: NOT COAST STOP = TRUE e quando 0: NOT COAST STOP = FALSE.
- Habilitar (não) Parada em Rampa (*(Not) Quick Stop*) [bit 2]- Quando 1: NOT FAST STOP = TRUE e quando 0: NOT FAST STOP = FALSE.
- Operação Habilitar Drive (*Enable Operation*) [bit 3]- Quando 1: DRIVE ENABLE = TRUE e quando 0: DRIVE ENABLE = FALSE.
- *Enable Ramp Output, Enable Ramp, Enable Ramp Output* [bits 4, 5 e 6]- Quando 1: ENABLE RAMP OUTPUT, ENABLE e ENABLE RAMP OUTPUT = TRUE e quando 0: ENABLE RAMP OUTPUT, ENABLE e ENABLE RAMP OUTPUT = FALSE.
- Desativar Falta (*Reset Fault*) [bit 7]- Substitui o parâmetro REM TRIP RESET. Quando 1: REM TRIP RESET = TRUE e quando 0: REM TRIP RESET = FALSE.
- Controle Local/Remoto (*Remote*) [bit 10]- Permite ao PLC trocar entre comando local e remoto.

Status de Comunicação : O parâmetro COMMS STATUS no bloco funcional COMMS CONTROL monitora o controle do drive, trata-se de uma palavra de 16 bits baseado no protocolo *Standard Fieldbus*.

Capítulo 4

Projeto de Controle de Registro da Máquina SOS

4.1 Motivação

A máquina SOS é a máquina destinada a produção de sacos de embalagens a partir do material impresso nas máquinas de impressão em rotogravura. A máquina SOS (Figura 4.1) é composta de duas partes principais: uma árvore de engrenagens que quando acionada movimenta peças para produção de sacos de embalagens (alinhamento, corte, colagem e despacho) e, um puxador de material. O material é composto de papel impresso (parte externa do saco) e papel (parte interna de contato com o produto) dispostos em duas bobinas.



Figura 4.1: Máquina SOS 1

A árvore de engrenagens da máquina SOS é acionada a partir um motor assíncrono (CA) fabricado pela VARIMOT controlado pelo operador. Esse motor é flangeado numa embreagem

eletromagnética, isto é, por dispor de uma bobina fixa de campo, à medida que a excitação dessa bobina é variada, esta provoca um aumento ou diminuição no fluxo magnético, que por sua vez, modifica a força de arraste do rotor proporcionando um controle contínuo na velocidade, com aceleração suave, independente da carga. Por outro lado, o puxador é composto por dois rolos de alimentação que retiram o material da bobina e determinam a velocidade do material de modo que haja uma relação com o comprimento de repetição impresso. O puxador também é acionado pelo motor VARIMOT ficando em sincronismo com a árvore de engrenagens, no entanto, o operador dispõe de um mecanismo para avançar ou atrasar o puxador de forma a acertar o corte da embalagem. Esse mecanismo para retardo ou avanço do puxador é obtido a partir uma engrenagem compensadora acionada por um pequeno motor.

Esse sistema de confecção de embalagens nas máquinas SOS atuais apresentam a desvantagem de que há uma relação fixa de engrenagens entre a engrenagem principal e a engrenagem do puxador. Dessa forma, para o operador alterar o comprimento para corte de um saco de embalagem é preciso que a máquina seja parada e trocada a engrenagem do puxador, onerando a produção.

Em vista dos fatos acima, a estrutura proposta utiliza o princípio de eixo virtual de forma tal que a posição e velocidade de um motor (escravo) é determinada a partir de um primeiro (mestre). A árvore de engrenagens da máquina SOS 1 utilizada para implementação do projeto é acionada por um motor CC chamado motor mestre e o rolo puxador é acionado por um motor de indução trifásico designado motor escravo.

Esse tipo de controle proporcionará uma relação de engrenagens virtual entre os eixos mestre e escravo permitindo ao operador modificar com facilidade o comprimento de corte da embalagem, utilizando ainda, o controle de registro. Os sensores de realimentação serão um encoder acoplado no eixo mestre para informação de posição e marcas de registro do eixo mestre, um encoder acoplado no eixo escravo para informação de velocidade e posição do eixo mestre, um tacogerador para informação de referência de velocidade do eixo mestre e uma fotocélula para indicar as marcas de registro do material impresso. O controle de velocidade do eixo mestre é feito por um conversor CA/CC comercial com realimentação por tacogerador. E, finalmente, o controle de registro do eixo escravo é feito por um Inversor de Freqüência microprocessado da Eurotherm Drives.

Por último, será avaliado a produtividade proporcionada pelo sistema, para fins de expansão nas demais máquinas do setor SOS.

4.2 Objetivos

- Implementar um controle automático de fase e registro dos motores mestre e escravo da máquina SOS;
- Permitir ao operador alterar com rapidez o tamanho da embalagem;
- Informar ao operador a produção de sacos de embalagens naquele minuto de operação da máquina SOS;
- Avaliar a produtividade do sistema proposto.

4.3 Atividades Realizadas

1 - Montagem do Armário de Comando

A montagem de um armário de comando foi realizada. A Figura 4.2 ilustra o armário com todos os componentes necessários para o comando do motor escravo.

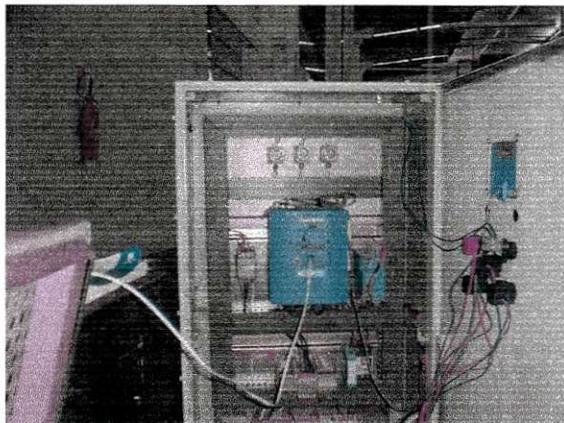


Figura 4.2: Armário de comando

2 - Determinação dos parâmetros do motor de indução

A determinação dos parâmetros do motor de indução empregado deveu-se a característica chamada *autotune* do drive 690+ da Eurotherm Drives. Este recurso do drive determina alguns parâmetros que lhe permitem controlar o motor, visando modelar a máquina, os parâmetros do motor são estimados a partir das medições das tensões e correntes fornecidas ao motor. Esses parâmetros podem ser fornecidos pelo usuário através do Menu Ajuste Rápido (QUICK SETUP). Existem dois tipos de autotune disponíveis no drive 690 +:

- A rotativa se o eixo do motor pode girar livremente durante o processo, a velocidade do motor atingirá até 30% da velocidade máxima fornecida pelo usuário. Este é o método recomendado pelo fabricante para determinação de tais parâmetros;
- A estacionária se o eixo do motor não pode girar durante o processo, devendo o usuário fornecer o valor da corrente de magnetização, sendo o conjunto de parâmetros limitado.

Escolheu-se a *Rotating autotune* (rotativa) para determinação dos parâmetros supracitados já que o motor em questão tinha seu eixo livre para movimentação. Para tanto, para que a

autotune seja feita é necessário o usuário fornecer os seguintes parâmetros ao drive 690 + no Menu de Ajuste Rápido (QUICK SETUP):

Procedimento Utilizado

- Uma vez que o motor poderia girar livremente, no Menu de Ajuste Rápido (QUICK SETUP) definiu-se a velocidade máxima do motor, neste caso 1730 RPM;
- Ainda no Menu de Ajuste Rápido, habilitou-se o AUTOTUNE fazendo-se o AUTOTUNE ENABLE para TRUE (verdadeiro). Em seguida, acionou-se o drive através de seu painel de controle.

Resultados

A tabela 4.1 contém os resultados da estimação de parâmetros do motor de indução.

Parâmetro	Valor
Corrente de magnetização	2,70 A
Resistência do estator	2,685 Ω /fase
Indutância de dispersão	24,64 mH
Indutância mútua	188,42 mH
Constante de tempo do rotor	109,88 ms

Tabela 4.1: Parâmetros do motor de indução estimados com o recurso *Autotune*

3 - Controle de velocidade do motor (Macro 1 - controle padrão)

A Macro 1 é a configuração para controle de velocidade de um motor na qual a velocidade do motor é dependente do valor de referência em sua entrada analógica 1 do drive 690 +. O método de controle empregado pelo drive 690 + é o acionamento escalar Volts/Hertz.

O diagrama do programa implementado pelo drive 690 + encontra-se no Anexo A. Os principais blocos desse acionamento são o Sequencing Logic, Reference e Reference Ramp. O bloco de Sequencing Logic (Comando Lógico) contém todos os parâmetros relacionados ao comando (partida ou parada) do inversor. O bloco funcional Reference mantém todos os parâmetros referentes a geração do valor de referência. Por sua vez, o bloco funcional Reference Ramp compõe parte da geração da referência e, permite controlar a taxa na qual o Inversor 690 + responderá a mudanças na referência.

Na configuração mostrada, o valor de referência é obtido através da entrada analógica 1. O sentido de rotação é controlado pela entrada digital 4. Quando a entrada digital 1 (RUN) é TRUE, a demanda de velocidade (SPEED DEMAND) segue uma rampa para o valor de referência a uma taxa controlada pelo tempo de aceleração (ACCEL TIME). O drive continuará a impor a referência enquanto a entrada RUN estiver TRUE.

De modo análogo, quando a entrada JOG (Entrada Digital 5) é TRUE, a demanda de velocidade (SPEED DEMAND) tende a Referência de Jog (JOG SETPOINT) numa taxa de crescimento determinado pelo Tempo de Aceleração de Jog (JOG ACCEL TIME). O drive continuará a manter a Referência de Jog enquanto a entrada Jog permanecer verdadeira (TRUE).

Procedimento Utilizado

- Inicialmente foi consultado o manual do Inversor 690+;
- Em seguida foi feita a programação do Inversor 690+ para utilização da entrada analógica 1 para geração da referência de velocidade, desabilitando links desnecessários, como para entrada analógica 2, não usada;
- Realizou-se as conexões com o potenciômetro de a entrada analógica, além da do botão de comando (RUN) com a Placa de Sistema;
- Acionou-se o Inversor 690+ e, observou-se o comportamento da velocidade do motor de indução com a variação de referência introduzida pelo potenciômetro.

Comentários

O teste realizado mostrou que a velocidade assumida pelo motor era reflexo do valor de referência de tensão na entrada analógica 1, esta regulada manualmente pela posição do potenciômetro.

4 - Controle de fase/registo dos motores mestre e escravo (Macro 7)

A Macro 7 é a configuração para controle de fase e de registro entre os motores escravo e mestre. O motor escravo segue a velocidade do motor mestre a partir do valor de referência (amostra) na entrada analógica 1, o drive 690+ utiliza um acionamento vetorial com realimentação de velocidade. Mediante as posições angulares dos eixos do mestre e do escravo como também das marcas de índices fornecidas pelos respectivos encoders de quadratura, o software calculará as correções necessárias para alinhá-las ou sincronizá-las, observando-se a relação de engrenagens existente.

A referência de velocidade para o motor escravo é produzida a partir de um potenciômetro duplo de $5k\Omega$ conectado a entrada analógica 1 e a referência de velocidade do conversor CA/CC CMW 02 Weg Automação.

O diagrama de controle implementado é indicado pelo diagrama de blocos no Anexo B. Os principais blocos funcionais para o controle de registro são: Configuração de Fase (PHASE CONFIGURE), Controle de Fase (PHASE CONTROL), Fase Red. Automática (PHASE AUTO GEAR), PID de Fase (PHASE PID) e Registro de Fase (PHASE REGISTER).

O bloco de Configuração de Fase (PHASE CONFIGURE) tem como principais funções:

1. Configurar o encoder escravo a ser usado na realimentação de velocidade da malha de controle de velocidade, pois é aquele no qual é montado no eixo do motor no qual o drive 690+ controla, para tanto, deve-se configurar o parâmetro SPD LOOP SPD FBK == SLAVE ENCODER;
2. Com a informação de velocidade máxima do bloco de SETPOINT SCALE, o bloco escalona a velocidade de realimentação a ser utilizada em outros blocos como Incremento de Fase (PHASE INCH), Mover a Fase (PHASE MOVE) e Registro de Fase (PHASE REGISTER);
3. Escalonar o *setpoint* de posição de acordo com a quantidade de pulsos do encoder disponível, isto é, o número de contagens (pulsos) por unidade (volta). Para o encoder em questão tem-se 1024 pulsos/revolução vezes 4, dando 4096. Assim, configurou-se COUNTS PER UNIT = 4096;
4. E ainda, selecionar o tipo de marca (índice) para capturar a posição relativa mestre/escravo.

Essa seleção pode ser entre o tipo pulso ou transição de nível do sinal de índice. Na situação em questão, optou-se pelo tipo borda positiva, logo: MASTER MARK TYPE == POSITIVE EDGE.

Um bloco de extrema importância é Fase Red. Automática (PHASE AUTO GEAR) quando habilitado (RESET = FALSE e ENABLE = TRUE) pois:

- Calcula automaticamente a relação de engrenagens entre mestre e escravo a partir dos comprimentos de repetição, estes determinados com base nas entradas de marcas. Os comprimentos de repetição relativos são usados para calcular as velocidades relativas do mestre e escravo, a fim de sincronizá-los. Sem esse mecanismo, não seria possível o controle de registro. Os resultados desse cálculo são fornecidos ao bloco de Controle de Fase (PHASE CONTROL) indicando a relação de engrenagens, ou seja: GEARING A ← SLAVE LENGTH e GEARING B ← MASTER LENGTH;
- Emprega uma lógica para avaliar as marcas válidas (boas) e inválidas (ruins, que ocorrem muito tarde ou muito cedo) ocorridas fora de uma janela de tolerância. A janela é aberta antes do local de amostragem e permanece aberta que uma nova marca ocorra. Se a marca (pulso de índice do encoder) ocorrer dentro da janela ela é aceita caso contrário ela é descartada. Esse procedimento é ilustrado na Figura.
- Permite ao usuário modificar o comprimento nominal (números de pulsos do encoder entre marcas válidas) do escravo e do mestre. Indicando, indiretamente, a relação de engrenagens existente ou virtual.
- Além disso, o bloco citado sinaliza ao bloco Registro de Fase o momento para fazer as correções a fim de alinhar as marcas do escravo e do mestre através da conexão entre a saída Pronto (READY) com o ENABLE do bloco de Registro de Fase.

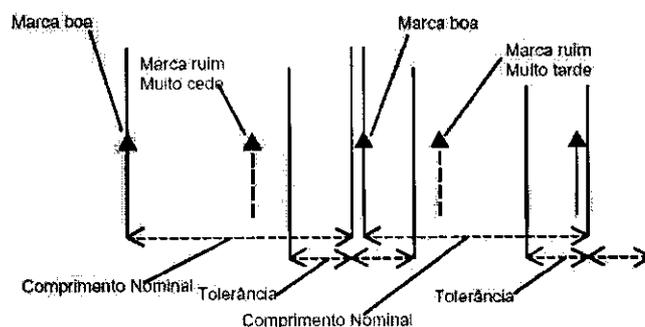


Figura 4.3: Lógica para discriminar entre marcas boas e ruins (Janelamento)

Por sua vez, o bloco de Controle de Fase (PHASE CONTROL)(Figura 4.4), utiliza os re-

sultados obtidos pelo Fase Red. Auto (PHASE AUTO GEAR) para determinar a fração da posição/velocidade do mestre, a qual o escravo deve girar. Constitui-se no principal bloco para controle para geração de erro bem como de cálculo dos parâmetros de posição/velocidade da malha. A entrada de velocidade (SPEED INPUT) é conectada a entrada analógica 1 e, é utilizada como referência de velocidade para determinar a saída de velocidade (SPEED OUTPUT), como na Equação ser passada para o bloco PID de Fase (PHASE PID).

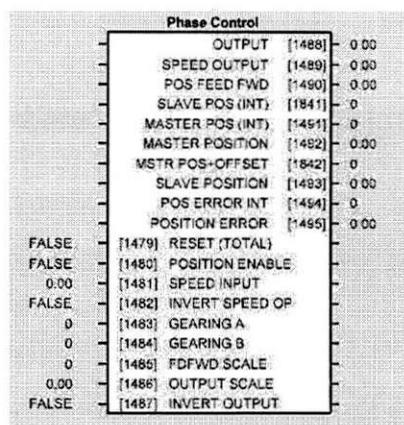


Figura 4.4: Bloco funcional *Phase Control*

Além disso, o bloco de Controle de Fase fornece ao bloco de PID de Fase a informação da posição necessária para o escravo dada por OUTPUT.

O bloco de PID de Fase (Figura 4.5) trata-se de uma versão simplificada do controlador PID dedicado ao controle de fase. A correção da saída do PID de Fase (PID OUTPUT), é internamente conectada na Entrada de Fase (PHASE INPUT) na bloco de controle da malha de velocidade (SPEED LOOP). Esse bloco funcional tem como principais características:

- Permite ao usuário a definição dos ganhos do controlador para funcionar como controlador P, PI, PD e PID;
- Determinar a excursão máxima positiva e negativa da saída do controlador PID através do parâmetro LIMIT a faixa de 0 a 300;
- É empregado um filtro para atenuar os ruídos de alta frequência no termo derivativo.

O bloco de Registro de Fase (Figura 4.6) recebe as marcas de índice com o objetivo de alinhá-las. As correções necessárias para a posição do escravo são feitas através de um perfil de velocidade trapezoidal. As taxas na qual ocorrem as correções podem ser configuradas pelo usuário por meio dos parâmetros velocidade (VELOCITY) e aceleração (ACCELERATION).

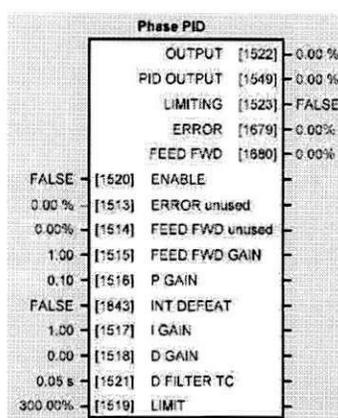


Figura 4.5: Bloco funcional *Phase PID*

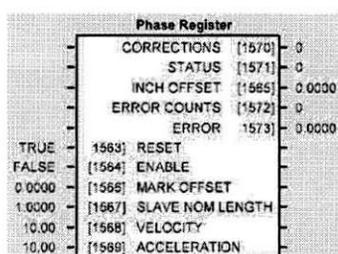


Figura 4.6: Bloco funcional *Phase Register*

O bloco de Registro de Fase realiza as correções quando habilitado (ENABLE = TRUE) mediante a transição da saída Pronto (READY) do bloco Fase Red. Auto (PHASE AUTO GEAR) e a entrada RESET é falsa. O erro em contagens é medido entre as marcas do escravo e do mestre, esse erro é adicionado a posição do escavo para correção desse erro.

Por último, utilizou-se a função Escala de Display (DISPLAY SCALE) cuja finalidade é aplicar a qualquer parâmetro de ponto flutuante um fator de escalonamento, fórmula e unidades (Figura 4.7). Nesta etapa, a função foi utilizada para modificar o parâmetro Comprimento Nominal do Escravo (NOM SLAVE LENGTH) do bloco Fase Red. Auto conforme o comprimento do saco de embalagem escolhido pelo usuário no Menu Operador do painel de controle do Inversor 690+. A alteração do comprimento nominal do escravo indica a relação de engrenagens virtual a ser usada naquele instante. No entanto, para o usuário ter acesso ao parâmetro desejado, deve-se configurar o bloco funcional Menu Operador para definição do parâmetro de interesse a ser exibido no Menu Operador, o nome a ser exibido além de proteção da configuração senha, se for o caso. Para a situação em questão, escolheu-se o nome Tamanho do Saco em mm associado

ao parâmetro Comprimento Nominal do Escravo.

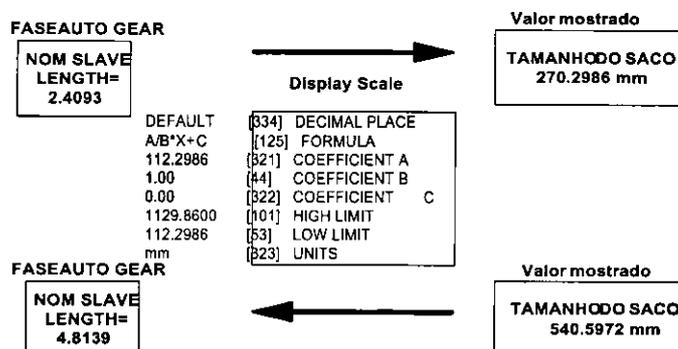


Figura 4.7: *Display Scale*

Procedimento Utilizado

- Consultas ao manual do Inversor 690+
- Programação do Inversor 690+ para configuração dos parâmetros necessários como da definição de links entre os blocos e, dos botões de comando a ser instalados na porta do quadro e os parâmetros de interesse;
- Colocação de discos com tarjas nos eixos dos motores com o objetivo de verificar o sincronismo entre os eixos;
- Definição pelo usuário da relação de engrenagens virtual através do Menu Operator;
- Acionamento do Inversor 690+ e, observação do comportamento do motor de indução com a relação de engrenagens determinada e a variação de velocidade introduzida pelo potenciômetro.

Montagem

Uma representação simplificada da montagem é feita na Figura 4.4.

Comentários

Com relação ao controle de fase e registro observou-se que o motor escravo seguiu a trajetória assumida pelo motor mestre, cuja velocidade de referência é definida pela tensão proporcionada pelo potenciômetro na entrada analógica 1. Por outro lado, a definição da relação virtual de

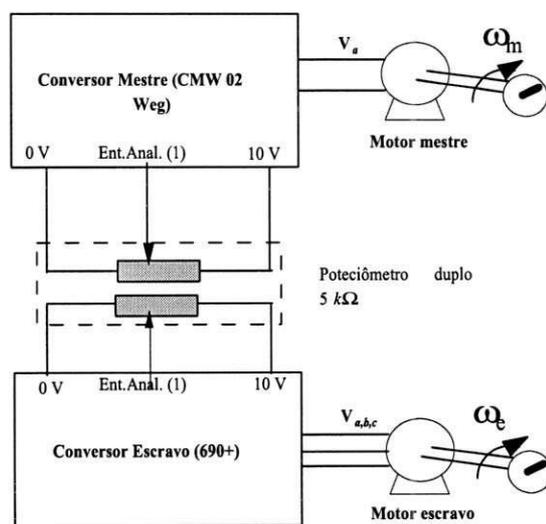


Figura 4.8: Diagrama simplificado da montagem

engrenagens pelo usuário foi verificada com êxito, a velocidade assumida pelo do motor escravo era função dessa relação, múltipla ou submúltipla da velocidade do motor mestre.

5 - Controle de Registro da Máquina SOS 1

Com a verificação do funcionamento do motor escravo no ensaio anterior, passou-se a instalação do motor na máquina SOS 1, como do encoder do eixo mestre (eixo da faca de corte) e do armário de comando. Além disso, substituiu-se o potenciômetro duplo utilizado na montagem anterior pelo tacogerador já existente no eixo do motor mestre para produzir a referência de velocidade, pois a tensão gerada por esse dispositivo expressa de maneira fiel a velocidade daquele. Para tanto, empregou-se um desacoplador de tensão entre o tacogerador e a entrada analógica 1 do Inversor 690+ para isolação e porque a tensão gerada pelo tacogerador disponível excedia a faixa de tensão da entrada analógica 1, obtendo-se assim, uma tensão gerada normalizada na saída do desacoplador.

Adotou-se como procedimento verificar o funcionamento da máquina em duas etapas: em primeiro momento, com as marcas do motor escravo geradas pelo encoder acoplado em seu eixo e, posteriormente, com as marcas de índice do escravo produzidas pelo sensor fotoelétrico colocado na entrada de material impresso na máquina.

Calibração da entrada analógica

O motor escravo aciona o rolo puxador através de uma correia dentada de forma tal que a relação entre as polias é de 21/57, logo, foi necessário determinar o ganho da entrada analógica 1 para que a velocidade do motor escravo fosse igual a do eixo mestre da máquina. Dessa maneira, num primeiro momento, com os blocos Fase Red Auto (PHASE AUTO GEAR) e Registro de Fase (PHASE REGISTER) desabilitados, ajustou-se o controle do motor mestre para uma velocidade tal que a influência a vibrações fosse reduzida. Em seguida, verificou-se o valor a tensão de referência da entrada analógica 1 e o ganho respectivo. Logo, por comparação direta determinou-se qual seria o ganho necessário na entrada analógica 1 para que a velocidade do motor escravo seguisse o eixo mestre. Feito isso, os blocos de Fase Red.Auto (PHASE AUTO GEAR) e Registro de Fase (PHASE REGISTER) foram novamente habilitados para que o controle de registro passasse a funcionar. Por fim, verificou-se o funcionamento da máquina com um material de teste e constatou-se que o controle funcionava bem.

Teste com material impresso

Na segunda etapa, substituiu-se o sinal de índice do encoder (Z/\bar{Z}) do motor escravo pelo sinal gerado do sensor fotoelétrico (Figura 4.9) a cada leitura das marcas impressas no material de teste utilizado (Figura 4.10). Dessa forma, os blocos Fase Red. Auto (PHASE AUTO

GEAR) e Registro de Fase (PHASE REGISTER) foram desabilitados para verificação do corte do material uma vez definido comprimento do saco de embalagem. Alguns ajustes do fator de escalonamento da função Escala de Display (DISPLAY SCALE) foram feitos para o corte da embalagem ocorrer no local desejado.



Figura 4.9: Fotocélula utilizada: Fabricante Omron

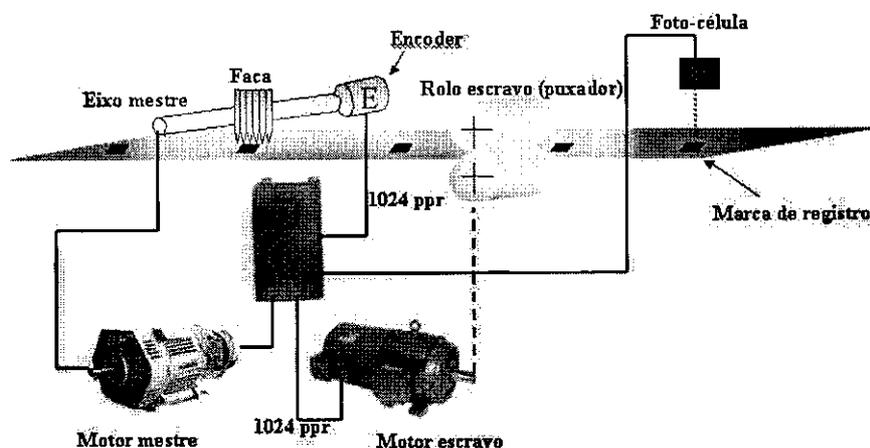


Figura 4.10: Esquema simplificado da montagem

Depois disso, os blocos de Fase Red.Auto (PHASE AUTO GEAR) e Registro de Fase (PHASE REGISTER) foram habilitados de forma que o controle de registro fosse habilitado. Mais uma vez, acionou-se a máquina e verificou-se o funcionamento do controle de fase do Inversor no que se refere a erro de posição, detecção das marcas do mestre e escravo e correções do registro de fase.

Ajuste dos parâmetros do drive

Durante o funcionamento da máquina com as marcas de índice geradas pelo sensor fotoelétrico, verificou-se a extrema dependência do sistema de controle com o sistema mecânico, em particular, a presença de vibrações durante o funcionamento da máquina SOS e o deslizamento do material impresso ao ser puxado. Esses fatores apresentaram-se como as principais fontes de erro fazendo com que o ponto de corte das embalagens ficasse oscilando em torno da posição escolhida. As variações nas pontos de corte produziram embalagens fora dos padrões aceitáveis pelo controle de qualidade.

Diante dos fatos acima, foi necessário se fazer um ajuste fino dos parâmetros dos blocos funcionais de PID de Fase (PHASE PID) e Registro de Fase (PHASE REGISTER). Inicialmente, passou-se ao ajuste dos parâmetros do bloco PID de Fase (PHASE PID), ganhos proporcional, integral e derivativo de forma que as oscilações em torno do ponto de corte fossem reduzidas, situando-se dentro de uma margem aceitável. Posteriormente, foram alterados os parâmetros velocidade e aceleração do bloco Registro de Fase (PHASE REGISTER) visando determinar as melhores taxas de correção da posição angular do eixo escravo com o intuito de alinhar as marcas de índice dos eixos.

Além disso, foi utilizado um filtro digital embarcado no próprio Inversor para filtrar a referência de tensão produzida pelo tacogerador e, assim reduzir o ruído produzido durante o corte do material nessa grandeza.

O resultado do procedimento acima culminou na produção de saquinhos no padrão esperado pelo operador e, liberação da máquina para produção de embalagens em fase experimental.

Montagem

A montagem da máquina SOS 1 utilizando o Controle de Registro encontra-se na Figura 4.11.

Resultados

Com a operação da máquina até o momento, verificou-se que os saquinhos produzidos encontram dentro dos padrões aceitáveis do controle de qualidade. Verificou-se, também a extrema dependência da resposta do sistema de controle de registro a dinâmica do sistema mecânico, em particular, as vibrações produzidas durante o corte dos sacos e, ao deslizamento ou não do papel ao entrar na máquina.

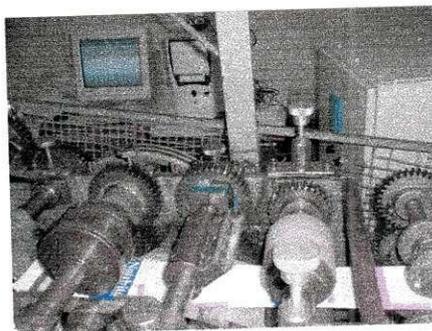


Figura 4.11: Controle de Registro da Máquina SOS 1

Capítulo 5

Conclusões

A realização do estágio possibilitou conhecer o funcionamento de uma fábrica do setor de embalagens de produtos alimentícios, mostrando claramente a importância do Engenheiro Eletricista no processo produtivo. Como importantes funções pode-se citar o zelo pela manutenção dos equipamentos e máquinas para que continuem funcionando da melhor maneira possível, além de observar e propor soluções para melhorar o andamento de um processo produtivo visando torná-lo mais confiável e rentável para a empresa.

O estágio permitiu também perceber a presença da automação de processos industriais visando proporcionar aumento de produtividade, qualidade dos produtos e rentabilidade, mostrando-se como uma tendência necessária e irreversível.

Foi verificado o rigor de precisão no funcionamento de máquinas do setor de papel tais como impressoras, laminadoras e máquinas de corte de embalagens, necessitando equipamentos que incorporem cada vez mais recursos como microprocessadores e portas para comunicação com computadores e CLPs e, ainda interface amigáveis para o operador que permitam rápidas parametrizações, por exemplo.

No projeto do controle de registro da máquina SOS 1 tratada, temos que o Inversor de Frequência utilizado mostrou-se um equipamento muito versátil e possibilitando substituição, conforme a aplicação, de equipamentos como CLPs. O Inversor de Frequência permitiu implementar o controle dos motores da máquina através de um eixo virtual, permitindo a máquina SOS 1 funcionar de maneira aceitável, produzindo sacos nos padrões permitidos.

Quanto ao aumento de produtividade da máquina SOS 1, temos que o sistema de controle permitiria atingir tal fim, no entanto, verificou-se, até o momento, que isso não é possível devido as condições das partes mecânicas da máquina que surgiram ao se aumentar a velocidade de operação da mesma, como vibrações, folgas e desalinhamento de peças que dão forma ao saco

para posterior despacho. Apesar disso, o controle implementado mostrou-se promissor, podendo atingir esse fim se implantado em outras máquinas SOS em melhor situação que aquela dessa fase experimental.

Por fim, deve-se ressaltar que foram fundamentais os conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia Elétrica da UFCG durante o estágio.

Referências Bibliográficas

- [1] "Servo Amplifiers Tutorial", www.ni.com.
- [2] A. E. Fitzgerald, C.Kingsley Jr., e A. Kusko. *Máquinas Elétricas*. McGraw-Hill, Brasil, 1975.
- [3] C. F. do Carmo Silva. *Análise do Comportamento do Motor de Indução no Acionamento com Chave de Partida Estática e Inversor de Freqüência*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Engenharia Elétrica, Campina Grande - PB, Agosto, 2001.
- [4] Catálogo Geral de Motores Elétricos. Weg Motores, Brasil, 2000.
- [5] A. H. M. Santos, A. A. Simões, A. R. S. Martins *et al.* *Conservação de Energia Elétrica: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos*. Ed. da EFEI, Itajubá - MG, Brasil, 2001.
- [6] C. B. Jacobina e A. M. N. Lima. Acionamento de Máquinas Elétricas de Alto Desempenho. In XIV Congresso Brasileiro de Automática, Natal - RN, Setembro 2002.
- [7] Z. Yu e D. Figoli. "AC Induction Motor Control Using Constant V/Hz Principle and Space Vector PWM Technique with TMS320C240", Texas Instruments, Abril, 1998.
- [8] Encoder Incremental: Descripción General., Eltra, www.silge.com.ar, Argentina, 2000.
- [9] Encoder Absoluto: Descripción General., Eltra, www.silge.com.ar, Argentina, 2000.
- [10] Instalation Product Manual: Series 690+ Frame B, C, D, E and F. Eurotherm Drives Ltd., U.S.A., 2003.
- [11] Software Product Manual: Series 690+ Frame B, C, D, E and F. Eurotherm Drives Ltd., U.S.A., 2003.
- [12] ConfigEd Lite Product Manual. Eurotherm Drives Ltd., U.S.A., 2002.
- [13] I. L. Kosow. *Máquinas Elétricas e Transformadores*; tradução de Felipe Luís Daiello e Percy Antônio Soares. Ed. Globo, Porto Alegre - RS, Brasil, 1979.
- [14] J. Holtz. "Methods for Speed Sensorless Control of AC Drives", IEEE Trans. Ind. Electronics, Vol XX, No XX.

- [15] F. Lima. *Modelagem, Análise e Controle de um Sistema de Bobinamento de Tiras de Aço*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos - SP, 2001.
- [16] Tacogeradores: Manual de Instalação e Manutenção. Weg Máquinas, Brasil, 2002.