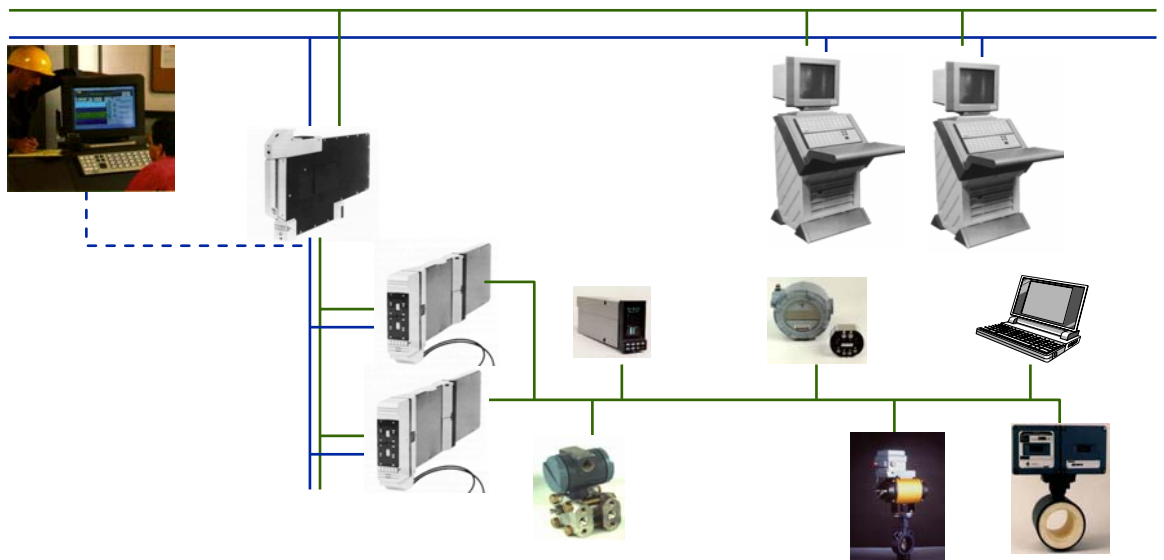


Fundamentos da Automação

1ª edição

Marco Antônio Ribeiro



Fundamentos da Automação

1ª edição

Marco Antônio Ribeiro

Dedicado a **Ivan Alfredo Ivanovs**, meu amigo e que conhece mais do que eu este assunto

Quem pensa claramente e domina a fundo aquilo de que fala, exprime-se claramente e de modo compreensível. Quem se exprime de modo obscuro e pretensioso mostra logo que não entende muito bem o assunto em questão ou então, que tem razão para evitar falar claramente (Rosa Luxemburg)

©1 2003, Tek Treinamento & Consultoria Ltda
Salvador, Verão 2003

Prefácio

O presente trabalho foi escrito como suporte de um curso ministrado a engenheiros e técnicos ligados, de algum modo à automação industrial. Ele enfoca os aspectos de equipamentos e programas associados à automação.

O trabalho é dividido basicamente em três grandes assuntos:

Fundamentos

Tecnologias

Alarme e Intertravamento do Processo

Na primeira parte, é apresentado o capítulo de **Automação**. A seguir são vistos as definições, símbolos e características de chaves manuais e automáticas, relés e solenóides, temporizadores, contadores e dispositivos de segurança, no capítulo **Componentes Eletromecânicos**. O terceiro capítulo, **Símbolos Lógicos**, baseia-se na norma ISA S5.2 e são apresentados os símbolos, equações, circuitos e conceitos básicos das portas lógicas. Encerrando esta primeira parte, são apresentados os componentes, desenvolvimento e análise da **Programação de Sistemas Digitais**, baseada na norma IEC 1131-1. São vistas as duas programações gráficas: o **Diagrama Ladder**, representação básica para circuitos de automação com relés e de Controlador Lógico Programável e o **Diagrama de Blocos de Função**, que são atualmente aplicados em sistemas onde o diagrama ladder é pobre e insuficiente.

Na segunda parte do trabalho e no capítulo de **Tecnologias** são apresentados os principais conceitos relacionados com o **Computador no Processo**, como as aplicações comuns do computador na automação, incluindo configurações clássicas, como a arquitetura do Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD). No próximo capítulo, são apresentados os conceitos, diagrama de blocos, componentes do **Controlador Lógico Programável (CLP)**, sistema básico para realizar a automação de processos. É apresentada a filosofia do **Controle Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA)**. Finalmente, é apresentado o capítulo de **Integração de Sistemas**, dando ênfase aos conceitos de redes de computadores protocolos, interfaces, comunicação de dados e **Base de Dados**, que é o capítulo final da seção.

Na terceira parte do trabalho, há o capítulo de **Alarme e Intertravamento de Processo** e outro capítulo sobre **Anunciador de Alarme**. Finalmente, há um capítulo sobre **Operação de Processo**.

O trabalho está continuamente sendo revisto, quando são melhorados os desenhos, editadas figuras melhores, atribuídos os créditos a todas as fotografias usadas e alterada a terminologia para atender as revisões de normas aplicáveis.

Sugestões e críticas destrutivas são bem-vindas, no endereço do autor:

Rua Carmen Miranda 52, A 903, CEP 41820-230,

Fone (0xx71) 452-3195 e Fax (0xx71) 452-4286, celular (071) 9989-9531 e

e-mail: marcotek@uol.com.br.

Marco Antônio Ribeiro
Salvador, BA, Verão 2003

Autor

Marco Antônio Ribeiro nasceu em Araxá, MG, no dia 27 de maio de 1943. Formou-se pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), em Engenharia Eletrônica, em 1969.

Entre 1973 e 1986, trabalhou na Foxboro, onde fez vários cursos nos Estados Unidos (Foxboro, MA e Houston, TX) e em Buenos Aires, Argentina.

Desde 1987, dirige a Tek (*) Treinamento e Consultoria Ltda., firma pequeníssima voltada para treinamento na área de Instrumentação, Controle de Processo, Medição de Vazão, Cálculo de Incerteza na Medição, Metrologia Industrial, Instalações Elétricas em Áreas Classificadas. É certamente difícil ser um especialista competente em numerosos assuntos tão ecléticos, porém ele se esforça continuamente em sê-lo.

Gosta de xadrez, corrida, fotografia, música de Beethoven, leitura, trabalho, curtir os filhos e a vida.

Já correu três maratonas, a melhor em 3 h 13 m 11 s e a pior em 3 h, 28 m 30 s. Diariamente corre entre 8 e 12 km, às margens do oceano Atlântico. Semanalmente participa de torneios de xadrez relâmpago e nas horas de taxa telefônica reduzida, joga xadrez através da Internet. Possivelmente, é o melhor jogador de xadrez entre os corredores e o melhor corredor entre os jogadores de xadrez, o que realmente não é grande coisa e também não contribui nada para a *Automação Industrial*.

(*) Tekinfim (Tek) foi seu apelido no ITA, pois só conseguiu entrar lá na terceira tentativa. Mas o que conta é que entrou e saiu engenheiro. O que foi um grande feito para um bóia fria do interior de Minas Gerais.

Fundamentos da Automação

Conteúdo

FUNDAMENTOS DA AUTOMAÇÃO	1	3. Chaves Automáticas	11
CONTEÚDO		3.1. Pressostato	11
1. AUTOMAÇÃO	1	3.2. Termostato	12
1.1. Objetivos	1	3.3. Chave de Vazão	12
1.1. Automação	1	3.4. Chave de Nível	13
1.1.1. Conceito	1	3.5. Chave Limite ou Fim de Curso	14
1.2. Automação e mão de obra	1	4. Solenóide	14
1.3. Automação e controle	2	4.1. Conceito	14
1.4. Automação e eletrônica	2	4.2. Seleção	14
2. Graus de Automação	3	4.3. Tipos	15
2.1. Ferramentas manuais	3	5. Relés	16
2.2. Ferramentas acionadas	3	5.1. Definição e Funções	16
2.3. Quantificação da energia	3	5.2. Características	16
2.4. Controle programado	3	5.3. Aplicações	17
2.5. Controle com realimentação negativa	4	5.4. Tipos de Relés	17
2.6. Controle da máquina com cálculo	4	5.5. Seleção de Relés	20
2.7. Controle lógico da máquina	4	6. Temporizadores	20
2.8. Controle Adaptativo	4	6.1. Atraso para ligar	23
2.9. Controle indutivo	4	6.2. Atraso para desligar	23
2.10. Máquina criativa	4	7. Contadores	24
2.11. Aprendendo pela máquina	4	7.1. Contagem simples	25
3. Sistemas de automação	5	7.2. Dois contadores	25
4. Conclusão	6	7.3. Número de peças	25
2. COMPONENTES		8. Proteção de Circuitos	26
ELETROMECAÂNICOS	7	8.1. Fusível	26
Objetivos de Ensino	7	8.2. Disjuntor (Circuit Breaker)	28
1. Introdução	7	3. SÍMBOLOS LÓGICOS	29
2. Chave	8	1. Lógica	29
2.1. Conceito	8	1.1. Conceito	29
2.2. Polos e Terminais	9	1.2. Lógica de relé e programas	29
2.3. Chave Liga-Desliga	9	1.3. Lógica Sequencial	29
2.4. Chave Botoeira	10	1.4. Lógica CLP	30
2.5. Chave Seletora	10	2. Conceituação e Execução	30
2.6. Critérios de Seleção	11	2.1. Tipos de documentos	30
		2.2. Documentos lógicos conceituais	31

3. Portas Lógicas	31	APLICAÇÕES DE DIAGRAMA LADDER	78
3.1. Porta OR	31	1. Alarme de Alta Pressão	78
3.2. Porta OR Exclusivo	32	1.1. Descrição	78
3.3. Porta AND	33	1.2. Solução	78
3.4. Porta NOT	33	2. Controle de Bomba e duas lâmpadas piloto com chave de nível	79
3.5. Porta NAND	34	2.1. Descrição	79
3.6. Porta NOR	34	2.2. Solução	79
4. Exemplos lógicos	35	3. Controle seqüencial de 3 motores	80
4.1. Circuito retentivo	35	3.1. Descrição	80
5.4. ANSI/ISA S5.2: Diagrama lógico binário para operações de processo	37	3.2. Solução	80
5.5. Diagrama lógico	37	4. Controle temporizado de motores	81
5.6. Aplicações das portas	38	4.1. Descrição	81
Outros símbolos	46	4.2. Solução	81
e1	46	5. Controle seqüencial temporizado de motores	82
e2	46	5.1. Descrição	82
f1	46	5.2. Solução	82
f2	46	6. Controle de Velocidade de motores	83
f3	46	6.1. Descrição	83
f4	47	6.2. Solução	83
f5	47	7. Unidade de Aquecimento de Óleo	85
Função especial	48	7.1. Descrição	85
6. Conclusão	48	7.2. Solução	85
4. PROGRAMAÇÃO DIGITAL	49	8. Enchimento, Mistura e Esvaziamento de Tanque	86
1. Introdução	49	8.1. Descrição	86
2. Ferramentas auxiliares	50	8.2. Solução	86
2.1 Fluxograma (Flowchart)	50	8.3. Esquema do Processo	86
2.2. Diagrama de Função Seqüencial (SFC – Sequential Function Chart)	52	8.4. Diagrama Ladder	87
3. Linguagens Textuais	59	9. Enchimento de Tanque com Duas Bombas Alternadas	88
3.1. Elementos comuns	59	9.1. Descrição	88
3.2. Lista de Instruções	59	9.2. Solução	88
3.3. Linguagem de Texto Estruturado	64	10. Sistema de Enchimento de garrafa: controle contínuo e discreto	89
4. Linguagens Gráficas	66	10.1. Descrição	89
4.1. Elementos comuns	66	10.2. Diagrama Ladder	90
Definições (Cfr. Norma IEC 1131-3)	68	10.3. Diagrama Ladder para a <i>Operação</i>	90
5. DIAGRAMA LADDER	72	11. Sistema de Esteira	91
5.1. Introdução	72	11.1. Descrição	91
5.2. Componentes	72	11.2. Fluxograma (Flowchart) da seqüência de eventos	92
5.3. Regras de composição	72		
5.4. Exemplos	73		
5.5. Desenvolvimento	74		
5.6. Análise	76		

12. Sistema de Elevador	92	Módulo de alarme	125
12.1. Equipamento	92	Normal	125
12.2. Descrição narrativa	93	Olho de boi	125
12.3. Solução	93	Piscamento (Flasher)	125
13. Enchimento de tanque	95	Plug in	125
13.1. Equipamentos	95	Ponto de alarme	125
13.2. Seqüência de eventos	95	Pulso	126
13.3. Explicação do ladder	95	Rearme (reset)	126
13.4. Diagrama Ladder	95	Relé de intertravamento	126
6. BLOCOS FUNCIONAIS	97	Reset	126
1. Conceitos Básicos	97	Ringback (alerta de retorno)	126
1.1. Geral	97	Saída auxiliar (Contato auxiliar)	126
2.2. Combinação de elementos	97	Segurança Intrínseca	126
2.3. Ordem da avaliação do circuito	97	Selado (hermeticamente)	126
2.4. Bloco de função	97	Sensor de campo	126
3. Blocos Funcionais Padrão	99	Seqüência	127
4. Blocos Personalizados	106	Silêncio	127
4.1. Parâmetros dos blocos	106	Sinal de alarme	127
5. ALARME E INTERTRAVAMENTO	121	Sistema de alarme	127
Objetivos	121	Tempo de resposta	127
1. Terminologia	121	Teste	127
Ação de seqüência	121	2. Segurança da Planta	127
Alarme	121	2.1. Projeto da planta	127
Alerta	122	2.2. Medição e Controle do processo	127
Alto-Baixo (High-Low)	122	2.3. Alarme do processo	128
Anormal	122	2.4. Desligamento de emergência	128
Anunciador	122	2.4. Monitoração do fogo e gás	128
Botoeira (<i>Push button</i>)	122	3. Tecnologias do Sistema	128
Chave	122	3.1. Tecnologias disponíveis	128
Condição do processo	123	3.2. Escolha do Sistema	129
Conhecimento	123	Sistema	130
Contato de campo	123	Confiabilidade	130
Desligamento (trip, shutdown, shut-off)	123	Custo	130
Diagrama de seqüência	123	Flexibilidade	130
Display visual	123	4. Alarme do Processo	131
Equipamento sonoro ou audível	123	4.1. Introdução	131
Estação	123	4.2. Componentes	131
Estado de seqüência	123	4.3. Prioridade de alarmes	132
Etiqueta (nameplate)	123	4.4. Realização do Alarme	132
Falha	123	5. Intertravamento do Processo	135
Flasher	124	5.1. Conceito	135
Filtragem de alarme	124	5.2. Tipos de Falhas	135
First-out (First alert)	124	5.3. Análise do Intertravamento	137
Intertravamento (interlock)	124	5.4. Segurança da malha de controle	137
Janela (nameplate)	124	5.5. Projeto do Intertravamento	138
Limpar (Clear)	125	5.6. Filtrando os alarmes	140
Local Perigoso	125	5.7. Circuitos de Intertravamentos	143
Memória (<i>Lock in</i>)	125	5.8. Sistema de Votação	146
		5.9. Falhas do Intertravamento	149
		Sistema com relés	158

Causas de desligamento falso	158	Modo de Falha do Instrumento	186
Causas de falha para perigo	158	Nº falhas	186
Sistema com CLP	158	Válvula de Controle	186
Causas de desligamento falso	158	Termopar	186
Causas de falha para perigo	158	Falhas de malhas (por tipo)	186
5.10. Sistema de Falha Segura	159	Falhas/ano	186
6. Alarme e Cores	162	% falhas	186
6.1. Introdução	162	Instrumento	187
6.2. Código de cores	162	Número em Risco	187
Cor	162	No Falhas	187
Código	162	Falhas/ano	187
6.3. Transmissão e projeção de cores	163	P	188
6. OPERAÇÃO DO PROCESSO	164	Atividade	188
1. Introdução	164	9.6. Administração de Falhas	190
2. Fatores Humanos no Projeto	164	10. Erro Humano	194
2.1. Temas em fatores humanos	165	11. Treinamento	196
2.2. Fatores humanos na operação	167	12. Display para o Operador	199
3. Funções do operador de processo	170	12.1. Introdução	199
4. Atributos Mentais do Operador	171	12.2. Display da Medição	199
4.1. Automatização	171	12.3. Desempenho do instrumento	201
4.2. Modelo mental do operador	171	12.4. Instrumentos Inteligentes	204
4.3. Representação espacial	171	12.5. Analógico e Digital	205
5. Estudos do Operador	172	12.6. Aspectos Psicológicos	206
6. Alocação de função	173	12.7. Computador de Processo	206
7. Análise da tarefa	173	Conclusão	209
8. Display da informação	173	7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	210
9. Falhas do Processo	179		
9.1. Sistema de Controle	179		
9.2. Características do Processo	179		
9.3. Características do Sistema	181		
9.4. Projeto da Instrumentação	182		
9.5. Falhas de Instrumentos	185		

1. Automação

1. Objetivos

1. *Conceituar automação e controle automático.*
2. *Listar os diferentes graus de automação.*
3. *Definir o conceito de automação e seu efeito na indústria e sociedade.*
4. *Introduzir os tipos básicos de sistemas e equipamentos de controle eletrônico.*

1. Automação

1.1. Conceito

Automação é a substituição do trabalho humano ou animal por máquina. Automação é a operação de máquina ou de sistema automaticamente ou por controle remoto, com a mínima interferência do operador humano. Automação é o controle de processos automáticos. Automático significa ter um mecanismo de atuação própria, que faça uma ação requerida em tempo determinado ou em resposta a certas condições.

O conceito de automação varia com o ambiente e experiência da pessoa envolvida. São exemplos de automação:

1. Para uma dona de casa, a máquina de lavar roupa ou lavar louça.
2. Para um empregado da indústria automobilística, pode ser um robô.
3. Para uma pessoa comum, pode ser a capacidade de tirar dinheiro do caixa eletrônico.

O conceito de automação inclui a idéia de usar a potência elétrica ou mecânica para acionar algum tipo de máquina. Deve acrescentar à máquina algum tipo de inteligência para que ela execute sua tarefa de modo mais eficiente e com vantagens econômicas e de segurança.

Como vantagens, a máquina

1. nunca reclama

2. nunca entra em greve
3. não pede aumento de salário
4. não precisa de férias
5. não requer mordomias.

Como nada é perfeito, a máquina tem as seguintes limitações:

1. capacidade limitada de tomar decisões
2. deve ser programada ou ajustada para controlar sua operação nas condições especificadas
3. necessita de calibração periódica para garantir sua exatidão nominal
4. requer manutenção eventual para assegurar que sua precisão nominal não se degrade.

1.2. Automação e mão de obra

Com o advento do circuito integrado (1960) e do microprocessador (1970), a quantidade de inteligência que pode ser embutida em uma máquina a um custo razoável se tornou enorme. O número de tarefas complexas que podem ser feitas automaticamente cresceu várias vezes. Atualmente, pode-se dedicar ao computador pessoal (CP) para fazer tarefas simples e complicadas, de modo econômico.

A automação pode reduzir a mão de obra empregada, porém ela também e ainda requer operadores. Em vez de fazer a tarefa diretamente, o operador controla a máquina que faz a tarefa. Assim, a dona de casa deve aprender a carregar a máquina de lavar roupa ou louça e deve conhecer suas limitações. Operar a máquina de lavar roupa pode inicialmente parecer mais difícil que lavar a roupa diretamente. Do mesmo modo, o operador de uma furadeira automática na indústria automobilística deve ser treinado para usar a máquina com controle numérico que faz o furo realmente. A linha de montagem

com robôs requer operadores para monitorar o desempenho desses robôs. Quem tira o dinheiro do caixa eletrônico, deve possuir um cartão apropriado, decorar uma determinada senha e executar uma série de comandos no teclado ou tela de toque.

Muitas pessoas pensam e temem que a automação significa perda de empregos, quando pode ocorrer o contrário. De fato, falta de automação coloca muita gente para trabalhar. Porém, estas empresas não podem competir economicamente com outras por causa de sua baixa produtividade devida à falta de automação e por isso elas são forçadas a demitir gente ou mesmo encerrar suas atividades. Assim, automação pode significar ganho e estabilidade do emprego, por causa do aumento da produtividade, eficiência e economia.

Muitas aplicações de automação não envolvem a substituição de pessoas por que a função ainda não existia antes ou é impossível de ser feita manualmente. Pode-se economizar muito dinheiro anualmente monitorando e controlando a concentração de oxigênio dos gases queimados em caldeiras e garantindo um consumo mais eficiente de combustível. Pode-se colocar um sistema automático para recuperar alguma substância de gases jogados para atmosfera, diminuindo os custos e evitando a poluição do ar ambiente.

1.3. Automação e controle

A automação está intimamente ligada à instrumentação. Os diferentes instrumentos são usados para realizar a automação.

Historicamente, o primeiro termo usado foi o de controle automático de processo. Foram usados instrumentos com as funções de medir, transmitir, comparar e atuar no processo, para se conseguir um produto desejado com pequena ou nenhuma ajuda humana. Isto é controle automático.

Com o aumento da complexidade dos processos, tamanho das plantas, exigências de produtividade, segurança e proteção do meio ambiente, além do controle automático do processo, apareceu

a necessidade de monitorar o controle automático.

A partir deste novo nível de instrumentos, com funções de monitoração, alarme e intertravamento, é que apareceu o termo automação. As funções predominantes neste nível são as de detecção, comparação, alarme e atuação lógica.

Por isso, para o autor, principalmente para a preparação de seus cursos e divisão de assuntos, tem-se o controle automático aplicado a processo contínuo, com predominância de medição, controle PID (proporcional, integral e derivativo). O sistema de controle aplicado é o Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD), dedicado a grandes plantas ou o controlador single loop, para aplicações simples e com poucas malhas.

Tem-se a automação associada ao controle automático, para fazer sua monitoração, incluindo as tarefas de alarme e intertravamento. A automação é também aplicada a processos discretos e de batelada, onde há muita operação lógica de ligar e desligar e o controle sequencial. O sistema de controle aplicado é o Controlador Lógico Programável (CLP).

Assim: controle automático e automação podem ter o mesmo significado ou podem ser diferentes, onde o controle regulatório se aplica a processos contínuos e a automação se aplica a operações lógicas, sequenciais de alarme e intertravamento.

1.4. Automação e eletrônica

Na década de 1970, era clássica a comparação entre as instrumentações eletrônica e pneumática. Hoje, às vésperas do ano 2000, há a predominância da eletrônica microprocessada.

Os sensores que medem o valor ou estado de variáveis importantes em um sistema de controle são as entradas do sistema, mas o coração do sistema é o controlador eletrônico microprocessado. Muitos sistemas de automação só se tornaram possíveis por causa dos recentes e grandes avanços na eletrônica. Sistemas de controle que não eram práticos por causa de custo há cinco anos atrás hoje se tornam obsoletos por causa do rápido avanço da tecnologia.

A chave do sucesso da automação é o uso da eletrônica microprocessada que pode fornecer sistemas eletrônicos programáveis. Por exemplo, a indústria aeronáutica constrói seus aviões comerciais em uma linha de montagem, mas personaliza o interior da cabine através de simples troca de um programa de computador. A indústria automobilística usa robôs para soldar pontos e fazer furos na estrutura do carro. A posição dos pontos de solda, o diâmetro e a profundidade dos furos e todas as outras especificações podem ser alteradas através da simples mudança do programa do computador. Como o programa do computador é armazenado em um chip de memória, a alteração de linhas do programa neste chip pode requerer somente alguns minutos. Mesmo quando se tem que reescrever o programa, o tempo e custo envolvidos são muitas vezes menores que o tempo e custo para alterar as ferramentas.

2. Graus de Automação

A história da humanidade é um longo processo de redução do esforço humano requerido para fazer trabalho. A sua preguiça é responsável pelo progresso e o aparecimento da automação. Pode-se classificar os graus de automação industrial em várias fases.

2.1. Ferramentas manuais

O primeiro progresso do homem da caverna foi usar uma ferramenta manual para substituir suas mãos. Esta ferramenta não substituiu o esforço humano, mas tornou este esforço mais conveniente. Exemplos de ferramentas: pá, serra, martelo, machado, enxada.

Como não há máquina envolvida, considera-se que este nível não possui nenhuma automação.

Na indústria, este nível significa alimentar manualmente um reator, moendo sólidos, despejando líquidos de containeres, misturando com espátula, aquecendo com a abertura manual de válvula de vapor.

2.2. Ferramentas acionadas

O próximo passo histórico foi energizar as ferramentas manuais. A energia foi suprida através de vapor d'água, eletricidade e ar comprimido. Este degrau foi chamado de Revolução Industrial. A serra se tornou elétrica, o martelo ficou hidráulico.

Na indústria, usa-se um motor elétrico para acionar o agitador, a alimentação é feita por uma bomba, o aquecimento é feito por vapor ou por eletricidade.

2.3. Quantificação da energia

Com a energia fornecida para acionar as ferramentas, o passo seguinte foi quantificar esta energia. Um micrômetro associado à serra, indica quanto deve ser cortado. A medição torna-se parte do processo, embora ainda seja fornecida para o operador tomar a decisão.

Na indústria, este nível significa colocar um medidor de quantidade na bomba para indicar quanto foi adicionado ao reator. Significa também colocar um cronômetro para medir o tempo de agitação, um termômetro para indicar o fim da reação. As variáveis indicadas ao operador ajudavam o operador determinar o status do processo.

2.4. Controle programado

A máquina foi programada para fazer uma série de operações, resultando em uma peça acabada. As operações são automáticas e expandidas para incluir outras funções. A máquina segue um programa predeterminado, em realimentação da informação. O operador deve observar a máquina para ver se tudo funciona bem.

Na planta química, uma chave foi adicionada no medidor de vazão para gerar um sinal para desligar a bomba, quando uma determinada quantidade for adicionada. Um alarme foi colocado no cronômetro para avisar que o tempo da batelada foi atingido.

2.5. Controle com realimentação negativa

O próximo passo desenvolve um sistema que usa a medição para corrigir a máquina. A definição de automação de Ford se refere a este nível.

Na indústria química, o controle a realimentação negativa é o começo do controle automático. A temperatura é usada para controlar a válvula que manipula o vapor. O regulador de vazão ajusta a quantidade adicionada no reator, baseando na medição da vazão.

2.6. Controle da máquina com cálculo

Em vez de realimentar uma medição simples, este grau de automação utiliza um cálculo da medição para fornecer um sinal de controle.

Na planta química, os cálculos se baseiam no algoritmo PID, em que o sinal de saída do controlador é uma função combinada de ações proporcional, integral e derivativa. Este é o primeiro nível de automação disponível pelo computador digital.

2.7. Controle lógico da máquina

O sistema de telefone com dial é um exemplo de máquina lógica: Quando se tecla o telefone, geram-se pulsos que lançam chaves que fazem a ligação desejada. Caminhos alternativos são selecionados por uma série programada de passos lógicos.

O sistema de segurança e desligamento da planta química usa controle lógico. Um conjunto de condições inseguras dispara circuitos para desligar bombas, fechar válvula de vapor ou desligar toda a planta, dependendo da gravidade da emergência.

2.8. Controle Adaptativo

No controle adaptativo, a máquina aprende a corrigir seus sinais de controle, se adequando às condições variáveis. Uma versão simples deste nível é o sistema de aquecimento de um edifício que adapta sua reposta ao termostato a um programa baseado nas medições da temperatura externa.

O controle adaptativo tornou-se acessível pelo desenvolvimento de

sistemas digitais. Um exemplo de controle adaptativo na indústria química é o compressor de nitrogênio e oxigênio para fabricação de amônia. A eficiência do compressor varia com a temperatura e pressão dos gases e das condições do ambiente. O controlador adaptativo procura o ponto ótimo de trabalho e determina se o compressor está em seu objetivo, através do índice de desempenho. Para isso, usa-se a tecnologia avançada do computador mais a tecnologia de instrumentos de análise em linha.

2.9. Controle indutivo

A máquina indutiva rastreia a resposta de sua ação e revisa sua estratégia, baseando-se nesta resposta. Para fazer isso, o controlador indutivo usa programa heurístico.

Na planta química, o sistema usa um método e o avalia, muda uma variável de acordo com um programa e o avalia de novo. Se este índice de desempenho tem melhorado, ele continua no mesmo sentido; se a qualidade piorou, ele inverte o sentido. A quantidade de ajuste varia com seu desvio do ponto ideal. Depois que uma variável é ajustada, o sistema vai para a próxima. O sistema continua a induzir as melhores condições na planta.

Uma aplicação típica é no controle de fornalha de etileno.

2.10. Máquina criativa

A máquina criativa projeta circuitos ou produtos nunca antes projetados. Exemplo é um programa de composição de música. A máquina criativa procura soluções que seu programado não pode prever.

Na planta química, é o teste de catalisador. O sistema varia composição, pressão e temperatura em determinada faixa, calcula o valor do produto e muda o programa na direção de aumentar o valor.

2.11. Aprendendo pela máquina

Neste nível, a máquina ensina o homem. O conhecimento passa na forma de informação. A máquina pode ensinar matemática ou experiência em um laboratório imaginário, com o estudante seguindo as instruções fornecidas pela máquina. Se os estudantes cometem muitos erros, porque não estudaram a

lição, a máquina os faz voltar e estudar mais, antes de ir para a próxima lição.

Assim, todos os graus de automação são disponíveis hoje, para ajudar na transferência de tarefas difíceis para a máquina e no alívio de fazer tarefas repetitivas e enfadonhas. Fazendo isso, a máquina aumenta a produtividade, melhora a qualidade do produto, torna a operação segura e reduz o impacto ambiental.

3. Sistemas de automação

A aplicação de automação eletrônica nos processos industriais resultou em vários tipos de sistemas, que podem ser geralmente classificados como:

1. Máquinas com controle numérico
2. Controlador lógico programável
3. Sistema automático de armazenagem e recuperação
4. Robótica
5. Sistemas flexíveis de manufatura.

3.1. Máquina com controle numérico

Uma máquina ferramenta é uma ferramenta ou conjunto de ferramentas acionadas por potência para remover material por furo, acabamento, modelagem ou para inserir peças em um conjunto. Uma máquina ferramenta pode ser controlada por algum dos seguintes modos:

1. Controle contínuo da trajetória da ferramenta onde o trabalho é contínuo ou quase contínuo no processo.
2. Controle ponto a ponto da trajetória da ferramenta onde o trabalho é feito somente em pontos discretos do conjunto.

Em qualquer caso, as três coordenadas (x, y, z ou comprimento, largura e profundidade) devem ser especificadas para posicionar a ferramenta no local correto. Programas de computador existem para calcular a coordenada e produzir furos em papel ou fita magnética que contem os dados numéricos realmente usados para controlar a máquina.

A produtividade com controle numérico pode triplicar. No controle numérico, exige-se pouca habilidade do operador e um único operador pode supervisionar mais de uma máquina.

Se em vez de usar uma fita para controlar a máquina, é usado um computador dedicado, então o sistema é tecnicamente chamado de máquina controlada numericamente com computador (CNC). Um centro com CNC pode selecionar de uma até vinte ferramentas e fazer várias operações diferentes, como furar, tapar, frezar, encaixar.

Se o computador é usado para controlar mais de uma máquina, o sistema é chamado de máquina controlada numericamente e diretamente. A vantagem deste enfoque é a habilidade de integrar a produção de várias máquinas em um controle global de uma linha de montagem. A desvantagem é a dependência de várias máquinas debaixo de um único computador.

3.2. Controlador lógico programável

O controlador lógico programável é um equipamento eletrônico, digital, microprocessado, que pode

1. controlar um processo ou uma máquina
2. ser programado ou reprogramado rapidamente e quando necessário
3. ter memória para guardar o programa.

O programa é inserido no controlador através de microcomputador, teclado numérico portátil ou programador dedicado.

O controlador lógico programável varia na complexidade da operação que eles podem controlar, mas eles podem ser interfaceados com microcomputador e operados como um DNC, para aumentar sua flexibilidade. Por outro lado, eles são relativamente baratos, fáceis de projetar e instalar.

3.3. Sistema de armazenagem e recuperação de dados

Atividades de armazenar e guardar peças são centralizados em torno de inventário de peças ou materiais para, posteriormente, serem usadas, embaladas ou despachadas. Em sistemas automáticos, um computador remoto controla empilhadeiras e prateleiras para receber, armazenar e recuperar itens de almoxarifado. O controle da relação é

exato e os itens podem ser usados ou despachados de acordo com os dados recebidos. Os restaurantes da cadeia McDonald's têm um dispensa automática para armazenar batatas fritas congeladas. Uma cadeia de supermercado, tipo Makro, usa um almoxarifado automatizado para a guarda e distribuição automática de itens.

3.4. Robótica

Um robô é um dispositivo controlado a computador capaz de se movimentar em uma ou mais direções, fazendo uma sequência de operações. Uma máquina CNC pode ser considerada um robô, mas usualmente o uso do termo robô é restrito aos dispositivos que tenham movimentos parecidos com os dos humanos, principalmente os de braço e mão.

As tarefas que os robôs fazem podem ser tarefas de usinagem, como furar, soldar, pegar e colocar, montar, inspecionar e pintar. Os primeiros robôs eram grandes, hoje eles podem ser pequeníssimos.

Quando uma tarefa é relativamente simples, repetitiva ou perigosa para um humano, então o robô pode ser uma escolha apropriada. Os robôs estão aumentando em inteligência, com a adição dos sentidos de visão e audição e isto permite tarefas mais complexas a serem executadas por eles.

3.5. Sistema de manufatura flexível

A incorporação de máquinas NC, robótica e computadores em uma linha de montagem automatizada resulta no que é chamado sistema de manufatura flexível. Ele é considerado flexível por causa das muitas mudanças que podem ser feitas com relativamente pouco investimento de tempo e dinheiro. Em sua forma final, matéria prima entra em um lado e o produto acabado sai do almoxarifado em outro lado, pronto para embarque sem intervenção humana. Hoje isto existe somente em conceito, embora grandes partes deste sistema já existem.

4. Conclusão

1. Houve uma revolução industrial com automação de processos de manufatura.
2. Automação é o uso da potência elétrica ou mecânica controlada por um sistema de controle inteligente (geralmente eletrônico) para aumentar a produtividade e diminuir os custos.
3. A falta de automação pode aumentar o desemprego.
4. Automação é um meio para aumentar a produtividade.
5. A habilidade de controlar os passos de um processo é a chave da automação.
6. Avanços na eletrônica tornaram possível o controle de sistemas complexos, a um baixo custo.
7. Os vários tipos de sistemas de automação que podem ser aplicados a processos industriais são:
 - máquina com controle numérico
 - controlador lógico programável
 - sistema de armazenagem e recuperação de peças
 - robótica
 - sistema de manufatura flexível

■

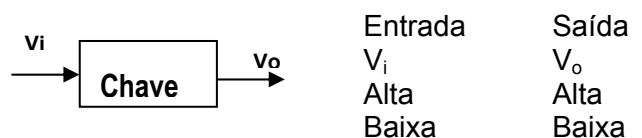
2. Componentes Eletromecânicos

Objetivos de Ensino

1. Descrever e aplicar vários arranjos de chaveamento elétrico.
2. Desenhar os símbolos para botoeiras, chaves liga-desliga, lâmpadas pilotos e contatos de relés.
3. Descrever o solenóide elétrico e suas aplicações.
4. Descrever a construção e operação de relés eletromecânicos e a estado sólido. Diferenciar os diferentes tipos de relés.
5. Descrever a operação de temporizadores e contadores.

7. produzem barulho quando mudam o estado.

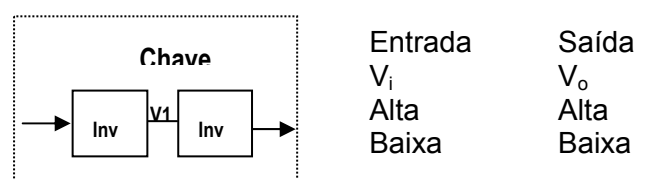
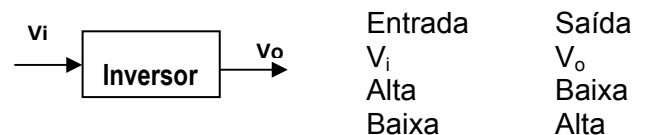
Fig. 2.1. Chaves e inversores



1. Introdução

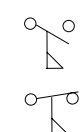
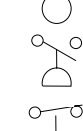




A eletrônica possui vários componentes com partes e peças mecânicas. O funcionamento destes componentes sempre envolve movimento mecânico. As partes mecânicas da eletrônica são chamadas de peças móveis. Elas constituem o elo mais fraco da corrente. Por causa de seu movimento mecânico elas apresentam as seguintes desvantagens:

1. sofrem desgaste com o uso e portanto possuem vida útil limitada
2. podem ficar emperradas e portanto são pouco confiáveis
3. são relativamente lentas comparadas com as operações puramente eletrônicas
4. podem apresentar sujeira e umidade que atrapalham o seu funcionamento,
5. quebram mais facilmente, por causa da fadiga e desgaste.
6. seu funcionamento pode ser perturbado por vibração e choque mecânico.



Os principais componentes mecânicos da eletrônica (eletromecânicos) são a chave liga-desliga (*toggle*), chave botoeira (*push button*), chave seletora, chave automática acionada por variável de processo (termostato, pressostato, nível, vazão, posição), relé, válvula solenóide e disjuntor.

Tab. 4.1. Símbolos usados em sistemas de segurança

	Contato elétrico, normalmente aberto (NA)
	Contato elétrico, normalmente fechado (NF)
	Chave de vazão, normalmente aberta (NA)
	Chave de vazão, normalmente fechada (NF)
	Chave de nível, normalmente aberta (NA)
	Chave de nível, normalmente fechada (NF)
	Chave de pressão, normalmente aberta (NA)
	Chave de pressão, normalmente fechada (NF)
	Chave de temperatura, normalmente aberta (NA)
	Chave de temperatura, normalmente fechada (NF)
	Chave limite, normalmente aberta (NA)
	Chave limite, normalmente fechada (NF)
	Lâmpada de sinalização
	Buzina
	Válvula solenóide de duas vias
	Válvula solenóide de três vias

2. Chave

2.1. Conceito

A chave é um componente eletromecânico usado para ligar, desligar ou direcionar a corrente elétrica, através de um acionamento mecânico manual ou automático. A chave de duas posições é um componente binário de circuito simples e fundamental, com uma entrada e uma saída.

A saída é alta quando a entrada é alta e a saída é baixa quando a entrada é baixa. A entrada da chave é uma força mecânica e a saída é uma tensão elétrica. A chave estática o semicondutor possui na entrada e saída sinais elétricos. A chave é adequada para teclados e entrada de dados em sistemas digitais.

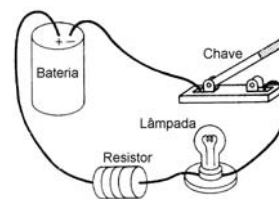


Fig. 2.2. Conceito de chave

O inversor é uma variação da chave. O inversor é também um dispositivo binário, com uma entrada e uma saída, de modo que a saída é alta, quando a entrada for baixa e saída é baixa, quando a entrada for alta. O inversor é um bloco construtivo do sistema digital mais poderoso e fundamental que a chave pois a chave pode ser construída a partir de dois inversores em série e nenhuma combinação de chaves pode produzir um inversor.

As características desejáveis da chave

1. alta velocidade
2. alta confiabilidade
3. entrada e saída elétricas
4. pouca energia consumida
5. baixo custo

Os tipos mais comuns de chaves manuais usadas em sistemas eletrônicos são os seguintes:

1. chave liga-desliga (*toggle*)
2. chave botoeira (*push button*)
3. chave seletora

2.2. Polos e Terminais

Embora exista uma grande variedade de chaves elétricas, há vários termos que são comuns quando se descreve a construção de qualquer chave.

A haste ou parte da chave que é movida para abrir ou fechar um circuito é chamada de pólo da chave. Se uma chave tem somente um pólo, ela é chamada de chave de único pólo (single pole switch). Se ela possui dois pólos, é chamada de chave de duplo pólo. A chave pode ter também três, quatro ou qualquer outro número de pólos, quando é chamada de triplo pólo, e multipolo.

Se cada contato alternadamente abre e fecha somente um circuito, a chave é chamada de único terminal (single throw). Quando o contato é de dupla ação, ou seja, abre um circuito enquanto simultaneamente fecha outro, a chave é chamada de duplo terminal (double throw)..

Assim, pode haver uma combinação de pólos e terminais; tendo-se

1. single-pole, single-throw (SPST),
2. single-pole, double-throw (SPDT),
3. double-pole, double-throw (DPDT).

Esta nomenclatura se aplica também aos contatos de relés (relé é uma chave operada pela ação magnética).

A chave elétrica básica é a de simples pólo e simples terminal, SPST.

Quando a chave estiver na posição desligada (OFF), o circuito está eletricamente aberto entre M e N. Quando a chave é mudada para a posição ligada (ON), cria-se um circuito de ligação entre os pontos M e N. Esta chave pode ser normalmente aberta (NA) ou normalmente fechada (NF). A chave NF SPST é um curto-circuito entre M-N quando desligada e é um circuito aberto entre M-N quando ligada. É fundamental definir o tipo, NA ou NF, quando escolher a chave para uma aplicação.

Outro tipo de chave possui polo simples e duplo terminal, abreviado SPDT. O circuito de M é chaveada entre N e O, quando a chave é ligada ou desligada.

Quando se quer ligar dois circuitos separados em ON e OFF simultaneamente. Pode-se usar duas chaves SPST. Na prática, usa-se a chave DPST. Ela consiste de duas chaves SPST

em um único corpo. Quando se quer duas chaves simultaneamente em duplo polo, usa-se a chave DPDT. Este arranjo de chaveamento pode ser expandido para três pólos ou mais, como necessário.

Dois outros tipos de configurações são:

1. retorno de mola
2. centro desligado

Atuando a chave SPST com retorno de mola, fecha-se M-N. Porém, quando a chave é liberada, sua mola torna-a desligada. Ela não permanece na posição fechada, como uma chave normal o faz.

A chave com centro desligado possui três posições. Ela também pode ter retorno por mola para a posição central desligada.

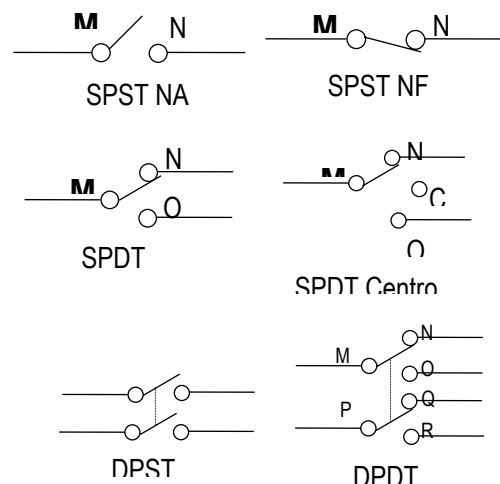


Fig. 2.3. Arranjos de chaveamento elétrico

2.3. Chave Liga-Desliga

A chave liga-desliga (*toggle*) possui uma haste ou alavanca que se move através de um pequeno arco fazendo os contatos de um circuito abrirem ou fecharem repentinamente. O fato de o contato abrir ou fechar muito rapidamente reduz o arco voltaico e garante um curto-circuito seguro. O acionamento da chave toggle é retentivo, ou seja, a chave é ligada por um movimento mecânico e os contatos permanecem na posição alterada, até que a chave seja acionada no sentido contrário. A chave toggle tem uma pequena protuberância saindo do eixo. O eixo toggle é empurrado para cima ou para baixo para produzir o chaveamento.

Tais chaves são tipicamente usadas em pequenos equipamentos com pouco espaço disponível no painel.

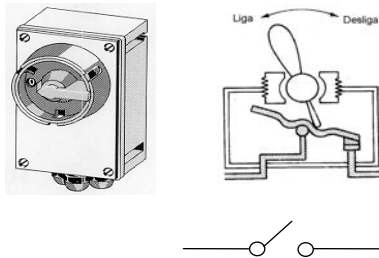


Fig. 2.4. Chave liga desliga (toggle)

2.4. Chave Botoeira

A chave botoeira (*push button*) é projetada para abrir ou fechar um circuito quando acionada e retornar à sua posição normal, quando desacionada. O contato é não retentivo, ou seja, o contato só permanece na posição alterada enquanto a chave estiver acionada; o contato volta para a posição normal quando se tira a pressão da chave. O contato é momentâneo e o seu retorno é causado por uma mola. Normalmente aberto ou normalmente fechado significa que os contatos estão em uma posição de repouso, mantidos por uma mola e não estão sujeitos a nenhuma força externa mecânica ou elétrica.

A botoeira normal tem retorno de mola, de modo que ela é não sustentável. A botoeira mais usada é do tipo SPDT. Quando a botoeira é apertada, o circuito entre M-N é aberto e O-P é fechado. Quando ela é solta, fecha M-N e abre O-P eletricamente. Algumas botoeiras podem ter três, quatro ou mais pólos, aumentando sua capacidade de chaveamento.

A botoeira é usada em controle de motores, onde ela serve para partir, parar, inverter e acelerar a rotação do motor. A chave botoeira é usada tipicamente em chaves de acionamento de campainha e chave de segurança de motores. Ela é disponível em várias cores, identificações, formatos, tamanhos e especificações elétricas.

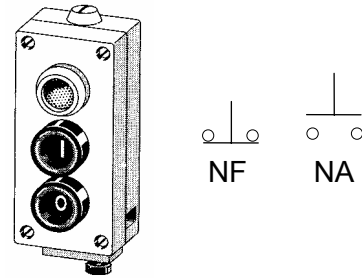


Fig. 2.5. Chave botoeira com lâmpada piloto

2.5. Chave Seletora

A chave seletora ou rotatória fecha e abre circuitos quando é girada entre posições. O knob da chave é girado e não apertado, como nas chaves botoeira. Um contato fixo ao eixo gira por meio de um knob ligado à outra extremidade do eixo. O contato se move ao longo de um círculo de material isolante que possui tiras de material condutor colocadas ao longo da circunferência. Quando o eixo gira de uma posição para a próxima, o contato rotativo faz a ligação para as tiras condutoras. Isto fecha e abre contatos desejados. Há uma marcação externa no *knob* para localizar a posição da chave.

A chave seletora é usada para selecionar duas, três, dez ou mais posições. Ela é usada tipicamente para selecionar diferentes faixas de medição de instrumentos, selecionar canais da televisão, selecionar funções de um amplificador.

Se a chave rotatória é do tipo de curto-circuito, o seu contato girante faz a ligação com o próximo terminal antes de abrir o contato com a posição atual. Esta chave é chamada de *make-before-break* (fecha-antes-de-abrir). Tal característica de *curto-circuito* fornece proteção para certos instrumentos ou equipamentos.

Há também chave rotatória do tipo não curto-circuito. Esta chave abre o circuito atual antes de fechar o circuito seguinte. Ela é também chamada de *break-before-make* (abre-antes-de-fechar).

Um anel metálico é montado sobre um wafer fenólico, não condutor. As ligações

elétricas são feitas em um suporte que desliza no anel metálico, quando ele gira. O wafer é girado para posições específicas para conseguir o chaveamento.

Na chave fechar-antes-abrir de não curto, indo de A para B, o circuito é completamente aberto na posição intermediária, como mostrado. Para a chave abrir-antes-fechar, fazendo curto, o anel giratório tem uma saliência mais larga. A largura da saliência excede a distância A-B. O circuito fica portanto ligado a A e B na posição intermediária.

Um exemplo mostra onde cada tipo de chave deve ser usado. O voltímetro deve ter uma chave seletora que não provoque curto-circuito. Entre faixas, a chave desliga a tensão para o galvanômetro. Se fosse usada uma chave de fazendo curto-circuito, os resistores seriam em paralelo. A baixa resistência temporária, $19,3\text{ k}\Omega$, permitiria que o excesso de corrente fluísse no galvanômetro. Neste caso, o galvanômetro deveria suportar uma corrente cinco vezes maior.

De modo contrário, o amperímetro deve ter uma chave que provoque curto-circuito. Se fosse usada uma chave que provocasse circuito aberto, o galvanômetro deveria suportar uma corrente 100 vezes maior que a especificada. Para cada faixa de corrente, um resistor paralelo é percorrido por uma corrente apropriada, com mostrado. Se não houvesse um resistor paralelo ligado no circuito entre as posições das faixas, toda a corrente da linha deveria passar pelo galvanômetro. Para uma corrente de linha de 100 mA, isto é 100 vezes a corrente especificada. Durante o chaveamento, com a chave apropriada que provoca curto-circuito, tem-se uma baixa resistência de alguns ohms.

2.6. Critérios de Seleção

O tipo de chave escolhida para uma determinada aplicação depende de muitos fatores, como:

1. a configuração, que determina número de pólos e terminais
2. a tensão a ser chaveada e o tipo de corrente (ca ou cc)
3. o valor da corrente a ser chaveada e a corrente a ser percorrida após o chaveamento

4. o ciclo de vida necessário em número de atuações
5. as considerações ambientes, como vibração, temperatura, umidade, agressividade do ambiente
6. o tamanho físico necessário
7. a velocidade de atuação
8. a capacitância parasita
9. opções, como lâmpada piloto embutida, chave de trava.

3. Chaves Automáticas

As chaves vistas até agora eram acionadas manualmente. Assim que o operador aperta o seu acionamento, seus contatos mudam de estado. Quando os contatos são retentivos, eles permanecem mudados quando o operador retira a pressão de acionamento. Quando são não retentivos, os contatos voltam a posição original quando a chave deixa de ser apertada.

Existem chaves automáticas, cuja operação é determinada pela posição de algum dispositivo ou pelo valor de alguma quantidade física. Sistemas mais complexos podem ter chaves ligadas de um modo intertravado, tal que a operação final de uma ou mais chaves depende da posição das outras chaves individuais.

As principais chaves automáticas são: pressostato, termostato, chave de vazão, chave de nível, chave fim de curso.

3.1. Pressostato

Pressostato é uma chave comandada pela pressão. Uma chave elétrica muda os estados dos seus contatos quando a pressão atinge determinados valores críticos. Por exemplo, por economia e segurança, um compressor de ar deve ser desligado quando a sua pressão atingir um valor alto determinado e deve ser religado quando a pressão atingir um valor baixo determinado. Ajustes convenientes no pressostato permitem que o compressor opere entre estes dois valores críticos de pressão.

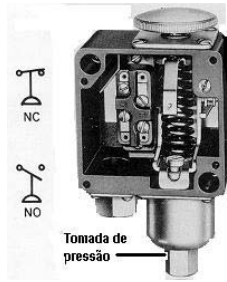


Fig. 2.6. Chave de pressão ou pressostato

O pressostato é um modo simples e barato de executar o controle liga-desliga de processos envolvendo pressão. O pressostato também pode servir de proteção de um sistema de controle de pressão. Um controlador convencional fornece uma pressão constante, dentro da banda proporcional. Quando, por algum problema do controlador ou do sistema, o controlador perde o controle e a pressão tende para um valor perigoso de alta pressão, um pressostato desliga o sistema.

Deve-se diferenciar bem a proteção fornecida pelo pressostato e a proteção oferecida pela válvula de alívio ou de segurança. O pressostato protege o sistema de pressão desligando um motor elétrico que faz a pressão subir. A válvula de alívio e a de segurança protege o sistema de pressão diminuindo diretamente a pressão do sistema, jogando para a atmosfera o fluido de alta pressão.

Como o pressostato é comandado pela pressão, ele deve ter um sensor de pressão, geralmente mecânico como o bourdon C, fole, espiral ou helicoidal.

3.2. Termostato

Termostato é uma chave comandada pela temperatura. Uma chave elétrica muda os estados dos seus contatos quando a temperatura atinge determinados valores críticos. Por exemplo, por economia e segurança, um condicionador de ar deve ser desligado quando a temperatura do ambiente atingir um valor alto determinado e deve ser religado quando a temperatura atingir um valor baixo determinado. Ajustes convenientes no termostato permitem que o

condicionador opere entre estes dois valores críticos de temperatura.

O termostato é um modo simples e barato de executar o controle liga-desliga de processos envolvendo temperatura. O termostato também pode servir de proteção de um sistema de controle de temperatura. Um controlador convencional fornece uma temperatura constante, dentro da banda proporcional. Quando, por algum problema do controlador ou do sistema, o controlador perde o controle e a temperatura tende para valores perigosos de muito baixa ou muito alta temperatura, o pressostato desliga o sistema.



Fig. 2.7. Chave de temperatura ou termostato

Como o termostato é comandado pela temperatura, ele deve ter um sensor de temperatura, geralmente mecânico, como bimetálico ou enchimento termal. Termostatos são comuns em condicionadores de ar, geladeiras e motores.

3.3. Chave de Vazão

Chave de vazão (flow switch) é uma chave comandada pela vazão. Uma chave elétrica muda os estados dos seus contatos quando a vazão de um fluido atinge determinados valores críticos. Por exemplo, por segurança, um sistema de lubrificação com óleo pode ser desligado por uma chave de vazão, quando a vazão do lubrificante ficar menor que um valor crítico ajustado na chave. Ajustes convenientes na chave de vazão permitem que o sistema de lubrificação opere de modo seguro acima de um valor crítico da vazão do lubrificante.

A chave de vazão é um modo simples e barato de executar o controle liga-desliga de processos envolvendo vazão. A chave

de vazão também pode servir de proteção de um sistema de controle de vazão. Um controlador convencional fornece uma vazão constante, dentro da banda proporcional. Quando, por algum problema do controlador ou do sistema, o controlador perde o controle e a vazão tende para valores perigosos muito baixo ou muito alto, a chave de vazão desliga o sistema.

Como a chave de vazão é comandada pela vazão, ela deve ter um sensor de vazão ou ser acionada diretamente pela passagem do fluido. As chaves de vazão podem operar com líquidos ou com gases (airflow switch). Há chaves de vazão térmicas ou mecânicas. A chave é inserida na tubulação de modo que a vazão do fluido passa em seu interior. Quando a vazão atinge valores críticos ajustados na chave, os seus contatos mudam para energizar bobinas de starter de motor de bomba ou de compressor.

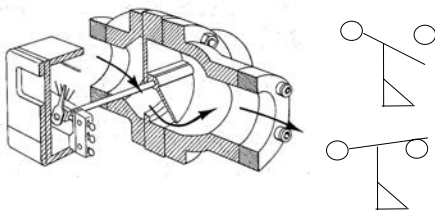


Fig. 2.8. Chave de vazão mecânica

3.4. Chave de Nível

Chave de nível (float switch) é uma chave comandada pelo nível. Uma chave elétrica muda os estados dos seus contatos quando o nível de um líquido atinge determinados valores críticos. Por exemplo, por segurança, um tanque aquecido pode ser desligado por uma chave de nível, quando o nível do líquido no seu interior ficar menor que um valor crítico. Ajustes convenientes na chave de nível permitem que o nível do tanque varie dentro de uma faixa segura acima de um valor crítico baixo e abaixo de um valor alto.

A chave de nível é um modo simples e barato de executar o controle liga-desliga de processos envolvendo nível de líquido. A chave geralmente liga ou desliga motores de bombas quando o nível do líquido atinge valores críticos.

A chave de nível também pode servir de proteção de um sistema de controle de nível. Um controlador convencional fornece um nível constante, dentro da banda proporcional. Quando, por algum problema do controlador ou do sistema, o controlador perde o controle e o nível tende para valores perigosos muito baixo ou muito alto, a chave de nível desliga o sistema.

Como a chave de nível é comandada pelo nível, ela deve ter um sensor de nível preferivelmente mecânico, como uma bóia flutuadora. A operação da chave pode ser controlada pelo movimento para cima ou para baixo de uma bóia que flutua na superfície do líquido. O movimento da bóia causa uma haste operar a chave. A chave acionada muda os seus contatos. Os contatos da chave fazem parte do sistema de alimentação do motor da bomba. O arranjo dos contatos, se NA ou NF, depende se a bomba está enchendo o tanque ou esvaziando-o, se o tanque é seguro quando vazio ou cheio.

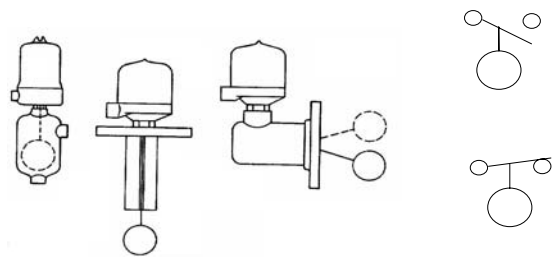


Fig. 2.9. Chave de nível acionada por bóia

3.5. Chave Limite ou Fim de Curso

A chave limite ou fim de curso é acionada automaticamente pelo movimento de alguma máquina ou dispositivo. Ela deve ter uma resposta instantânea e ser confiável.

Em geral, a operação de uma chave limite começa quando uma peça em movimento bate em uma alavanca que atua a chave. Quando acionada, a chave muda os seus contatos.

O tamanho, força de operação, percurso e modo de montagem são os parâmetros críticos na instalação da chave fim de curso. As especificações elétricas da chave devem estar de conformidade com a carga a ser acionada.

As chaves fim de curso podem ser usadas como piloto em circuitos de controle de motores, como proteção ou emergência para evitar o funcionamento impróprio de máquinas. As chaves limites podem ter contatos momentâneos ou retentivos.



Fig. 2.10. Chave limite

4. Solenóide

4.1. Conceito

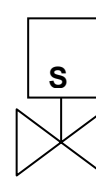
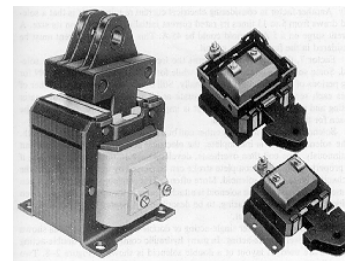
O solenóide é um dispositivo usado para transladar sinais elétricos ON/OFF em movimentos mecânicos ON/OFF. Válvula é um dispositivo mecânico projetado para controlar a vazão de fluidos. Válvula solenóide é uma combinação destes dois componentes básicos:

1. válvula contendo uma abertura com a posição de um disco ou haste para regular a vazão e
2. solenóide, que é o dispositivo eletromagnético com a bobina.

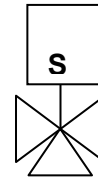
A válvula é aberta ou fechada pelo movimento do núcleo, que é comandado pela passagem ou não da corrente através

da bobina do solenóide. A válvula retorna automaticamente para sua posição original quando a corrente é interrompida.

No solenóide, uma haste é mantida na posição superior através de uma mola, enquanto o solenóide estiver desligado eletricamente (desenergizada). Quando a bobina for percorrida por uma determinada corrente, cria-se um campo magnético dentro do núcleo da bobina. Este campo magnético resultante age na haste, empurrando-a para baixo contra a pressão da mola. A haste do solenóide tem uma projeção externa que é fixada ao equipamento mecânico a ser operado.



Duas vias



Três vias

Fig. 2.11. Solenóides

4.2. Seleção

Na escolha do solenóide para uma aplicação, devem ser considerados os seguintes fatores:

1. tamanho da carga mecânica a ser movida
2. distância do percurso (stroke)
3. ambiente de operação
4. tipo da ligação elétrica
5. tensão e tipo da corrente, ca ou cc
6. valor da corrente (manutenção e transitória)
7. vida útil, expressa em atuações por minuto

O tamanho da carga mecânica a ser acionada pelo solenóide é expresso em gramas; varia entre alguns gramas até 30 kg. A força deve ser maior que a carga por, no mínimo, 25%. Quanto maior a carga a

ser acionada, maior o tamanho e o custo do solenóide.

A distância a ser acionada deve ser igual ou maior do que o movimento linear externo necessário.

O ambiente de contorno é importante. A classificação mecânica do invólucro deve ser compatível com a atmosfera de trabalho, para que o solenóide sobreviva e funcione normalmente. Deve ser considerada a atmosfera circundante (poeira, óleo, umidade, gases corrosivos) e o nível de vibração mecânica da área. Solenóide sob vibração pode esquentar muito, se desgastar anormalmente e ter a vida útil encurtada.

Como o solenóide é um dispositivo elétrico, sua classificação elétrica deve ser compatível com a classificação da área. São disponíveis solenóides com invólucro à prova de explosão e intrinsecamente seguros, compatíveis com áreas de Divisão 1 e 2, Grupos B, C e D.

O tipo de ligação elétrica se refere pode ser através de plugs, rabo de porco (pigtail) ou terminais com parafuso.

A tensão é tipicamente 110 V ca; pode-se ter também 24 V ca. Outra consideração importante é o tipo de tensão: ca ou cc. Os solenóides são construídos especificamente para operação em ca ou em cc. Assim, um solenóide de 110 V ca não pode ser usado em 110 V cc.

A corrente do solenóide é também importante. Quando energizada, o solenóide puxa a corrente especificada. A linha elétrica e o fusível devem ser dimensionados de acordo com esta corrente. Outro fator a considerar na especificação do solenóide é que, na partida, ela puxa de 5 a 15 vezes sua corrente especificada de regime, dependendo do tamanho. Um pico de corrente em um solenóide de 5 A pode atingir 45 A. Esta corrente transitória deve ser considerada na escolha do fusível.

O ciclo de trabalho se refere à frequência de operação do solenóide. Alguns solenóides ficam ligados uma vez durante um tempo pequeno. Outras ficam ligadas durante longos períodos e ficam desligadas por pouco tempo. Outras são operadas muitas vezes cada segundo. Os solenóides que operam em alta frequência

são sujeitas e maior aquecimento e maior tensão mecânica. É importante que o solenóide apropriado seja escolhido para o ciclo de trabalho necessário.

A falha do solenóide ocorre normalmente com a queima da bobina ou defeito mecânico ou ambos. Se o percurso do solenóide é incompleto, a bobina elétrica puxa corrente excessiva. A bobina se aquece, desenvolve espiras em curto e se queima, se não é protegida corretamente por fusíveis. Um deslocamento incompleto pode ser causado pelo desgaste das partes mecânicas do solenóide. Frequentemente, um percurso incompleto ocorre quando o mecanismo em que o solenóide é fixado fica bloqueado em uma posição intermediária. A proteção através do fusível correto é a melhor precaução para evitar queima elétrica.

4.3. Tipos

As válvulas solenóides podem ser classificadas em vários tipos, em função de sua ação, número de vias e corrente.

O solenóide pode ser de única ação ou de dupla ação. As válvulas solenóides de dupla ação são usadas em sistemas hidráulicos.

As válvulas solenóides podem ter duas ou três ou quatro vias. As válvulas de duas vias são as mais comuns: elas possuem uma entrada e uma saída. As válvulas de três vias podem ter duas entradas e uma saída ou podem ter uma entrada e duas saídas. As válvulas de quatro vias são usadas em controle de cilindro de dupla ação. Quando a bobina está desligada, um lado do pistão está à pressão atmosférica e o outro está pressurizado. Quando a bobina é energizada, a válvula joga o lado de alta pressão para a atmosfera. Como resultado, o pistão e sua carga agem reciprocamente em resposta ao movimento do solenóide.

O solenóide pode operar com corrente alternada ou contínua. Os solenóides operados com corrente alternada são mais comuns e simples. Normalmente elas são protegidas com capacitores de surge ou diodos dos picos de tensão resultantes da abertura e fechamento rápidos.

O corpo da válvula solenóide se comporta como o de uma válvula

convencional. Todos os cuidados aplicáveis a uma válvula de controle referentes à vedação, estanqueidade, selagem e classe de pressão se aplicam à válvula solenóide.

Geralmente a válvula solenóide é assimétrica, ou seja, sua entrada é diferente da saída e elas não podem ser invertidas.

Uma válvula solenóide é diferente de uma chave de vazão. Embora ambas possam prover um controle liga-desliga da vazão, a válvula solenóide é operada por um sinal elétrico externo à válvula. A chave de vazão também corta ou permite uma vazão, porém é comandada pela própria vazão. Quando a vazão atinge um valor crítico pré-ajustado, a chave muda os seus contatos, desligando o motor da bomba ou compressor e tornando a vazão zero. Quando se quer cortar a vazão de uma válvula solenóide, basta energizar (ou desenergizar) a sua bobina.

5. Relés

5.1. Definição e Funções

O relé é uma chave comandada por uma bobina. Ele é uma chave porque ele liga-desliga um circuito elétrico, permitindo a passagem da corrente elétrica como o resultado do fechamento de contato ou impedindo a passagem da corrente durante o estado de contato aberto. Diferentemente da chave convencional que é acionada manualmente, o relé não necessita da intervenção humana direta para ser operado. O relé eletromecânico é um dispositivo que inicia a ação num circuito, em resposta a alguma mudança nas condições deste circuito ou de algum outro circuito.

O relé é geralmente usado para aumentar a capacidade dos contatos ou multiplicar as funções de chaveamento de um dispositivo piloto adicionando mais contatos ao circuito. Sob o ponto de vista de entrada-saída, o relé pode também ser considerado como amplificador e controlador. Ele tem um ganho de potência, que é a relação da potência manipulada na saída sobre a potência de entrada. Assim um relé pode requerer uma corrente da bobina de 0,005A em 50 V

mas pode controlar 2500 W de potência, com ganho de 10.000.

5.2. Características

Os relés controlam a corrente elétrica por meio de contatos que podem ser abertos ou fechados. Os contatos apresentam altíssima resistência quando abertos e baixíssima resistência quando fechados. Eles podem ter múltiplos contatos, com cada contato isolado eletricamente de todos os outros. Os contatos são atuados numa sequência definida e positiva.

A bobina de atuação usualmente é isolada completamente do circuito controlado. Ela pode ser atuada por energia elétrica de características totalmente diferentes do circuito controlados. Por exemplo, mA cc pode controlar kW de RF.

Cada uma das várias estruturas mecânicas possui vantagens e desvantagens. Alguns respondem rapidamente, menos de um microssegundo, mas não podem manipular com segurança grande quantidade de energia. Alguns manipulam grande quantidade de energia, mas são lentos. Aproximadamente todas as formas são disponíveis com contatos abertos, com invólucros vedados à poeira ou hermeticamente selados. Alguns são a vácuo para manipular altíssimas tensões. Alguns possuem contatos apropriados para manipular tensões de RF e para evitar acoplamentos capacitivos.

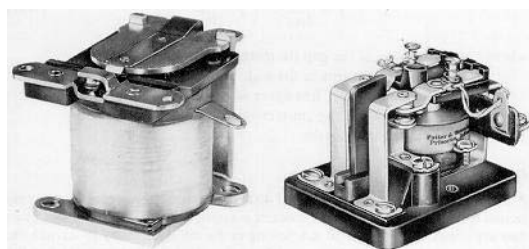


Fig. 2.12. Bobina de relé eletromecânico

Os relés de controle são disponíveis em vários arranjos de contatos NA e NF de simples ou duplo throw. Em muitos relés é possível a mudança de contatos NA em NF e NF em NA, através da mudança da posição da mola.

Há os relés de estado sólido, que utilizam transistores SCR, triacs e não são eletromecânicos. Nestes dispositivos, o circuito controlado é isolado do circuito de controle por um transformador, acoplador óptico ou por um relé eletromecânico.

5.3. Aplicações

A função de um relé é a de abrir ou fechar um contato elétrico ou um conjunto de contatos, em consequência da mudança de alguma condição elétrica. Estes fechamentos e aberturas são usados em circuitos associados para selecionar outros circuitos ou funções, para ligar ou desligar outras funções. Esta mudança da condição elétrica é o *signal*.

Há algumas centenas de relés diferentes. O relé é usado para muitas funções de controle. Entre suas características importantes para uso em circuitos de controle estão:

1. operação remota
2. operação lógica
3. controle de alta tensão através de baixa tensão
4. isolamento entre circuito de controle e de chaveamento

Os relés podem ser usados para

1. ligar e desligar correntes ou tensões em ambientes hostis, no espaço sideral ou em processos industriais onde a temperatura pode ser extremamente alta ou baixa e perigosa à saúde humana
2. monitorar altas correntes e tensões de modo automático ou manual e em condições perigosas
3. operar simultaneamente vários circuitos ou equipamentos em altas velocidades
4. ligar e desligar equipamentos em sistemas lógicos de intertravamento, só permitindo a operação de um equipamento quando algum evento tenha ocorrido
5. proteger equipamentos de sobrecarga ou sob carga, quando a tensão, corrente, temperatura, pressão, vazão, nível ou qualquer outra variável do processo varie além dos limites máximos e mínimos estabelecidos
6. evitar a aplicação de tensão por um determinado intervalo de tempo em

sistema de proteção com purga ou pressurização ou permitir que certos componentes se aqueçam antes de operar, através de atrasos predeterminados

7. bloquear, sincronizar, variar taxas, detectar frequências, detectar diferenças de percentagens em aplicações especiais.

5.4. Tipos de Relés

Os relés podem ser acionados por ca e cc. Podem manipular microvolts a kilovolts, microamperes e kiloamperes.

Os relés eletromecânicos são disponíveis em variadas faixas de arranjos de contatos. Um relé a semicondutor é muito usado como piloto para um relé eletromecânico.

A isolamento elétrica entre contatos deve ser muito elevada de modo que não haja vazamentos, mesmo com altas tensões. O espaçamento dos contatos deve ser grande para evitar arcos voltaicos no controle de alta tensão. O acoplamento capacitivo deve ser mantido baixo.

O relé eletromagnético é atuado por força eletromagnética, que é produzida por corrente elétrica fluindo através da bobina. Na maioria dos relés, a força magnética move uma armadura de ferro. Em outros relés, especialmente em relés de medição, a bobina é que se move no campo magnético.

Quando não há corrente na bobina, a armadura é mantida afastada do núcleo da bobina por uma mola e há contato com A.

Quando há corrente na bobina, o campo magnético produzido atrai a armadura para o núcleo da bobina, diminuindo o espaçamento de ar. Quando diminui o espaçamento, a força de atração aumenta, fazendo o contato sair de A e ir para B. A força de atração da bobina vence a força de resistência da mola de retorno.

Quando a bobina é percorrida pela corrente, ela atrai a armadura. A armadura muda os contatos: o que era aberto, fecha, o que era fechado, abre.

Estes relés podem operar em ca e cc. Quando se tem ca, um anel de cobre é usado para evitar aberturas e fechamentos sucessivos. Quando se tem cc, obtém-se o controle da resposta do relé

Reed relé

Duas palhetas de material magnético montadas em uma cápsula de vidro instalada dentro de uma bobina constituem um reed relé. A corrente fluindo através da bobina produz um campo magnético, magnetizando as palhetas, fazendo-as se atraírem mutuamente, fazendo contato. As superfícies de contato são revestidas de ligas metálicas preciosas. A ação mola requerida é provida pelas lâminas em si. Reed relés são os mais rápidos relés (eletromagnéticos) eletromecânicos: operam com menos de 500 microssegundos. Eles são disponíveis em várias configurações de contatos. Eles podem ser polarizados, podem ser feitos em *latch* relé que mantém a última posição assumida, mesmo quando a bobina é desenergizada, com a adição de pequenos elementos magnéticos permanentes.

Reed relés são disponíveis com contatos secos ou a mercúrio (molhado). Mais de um conjunto de lâminas pode ser usado com uma única cápsula ou várias cápsulas podem ser operadas por um único conjunto de bobina. Vantagens do Reed relés: rápidos, pequenos, alta confiabilidade e durável: > 10 de operações.

Relé eletromecânico

O tipo mais comum de relé é o eletromecânico (EMR). O relé eletromecânico combina os princípios de chaveamento mecânico com a atuação do solenóide elétrica. Quando o solenóide é energizada ou desenergizada, ela move uma haste em uma direção e a pressão de uma mola move a haste em direção contrária. A haste, por sua vez, abre e fecha contatos. Os contatos são especificados no estado não atuado, como NA ou NF. Os contatos de um relé podem ser múltiplos.

Alguns relés eletromecânicos são do tipo retentivo (*latching*). Os relés retentivos fecham quando se aplica potência aos dois terminais da bobina. Quando a potência é removida da bobina, o relé permanece na posição selada. Para soltar, deve-se ou desligar o relé ou aplicar potência em terminais diferentes do relé. Energizando os terminais não selantes aplica-se potência em outra bobina, que libera a

haste. A haste então retorna à sua posição original. Relés com retenção são usados em aplicações onde o relé é ligado por longos períodos. A potência pode ser removida durante a operação ligada normal. Note que o relé de retenção ou com selagem não deve ser usado para configuração de falha segura (*fail safe*). Deve-se aplicar potência para desligar um circuito, este circuito não é de falha segura.

Outro tipo comum de é o reed relé. O reed relé é de ação rápida, possui uma longa vida útil, usa baixa potência e é compacto. Muitos reed relés são do tipo *plug in*, tornando fácil sua substituição. O reed relé usa a ação magnética para sua operação e não a ação do solenóide. Pela ação magnética, quando a bobina do relé é energizada, ela produz um campo magnético. O material do braço do contato é magnético. Assim, as duas tiras do contato se tornam magnetizadas e se atraem entre si. Quando os contatos se encontram, o circuito elétrico é fechado. Quando a potência é removida da bobina, os contatos se reabrem pela ação da mola dos braços do contato. Alguns contatos do reed relé são de mercúrio, para aumentar a vida do relé. Eles são muito mais caros.

Relé a estado sólido

Atualmente são disponíveis os relés de estado sólido (SSR). O relé de estado sólido substitui o relé eletromecânico em várias aplicações. O relé a estado sólido não possui peças móveis. O chaveamento liga e desliga é conseguido eletronicamente.

O relé a estado sólido pode ser usado para controlar cargas cc ou ca. Se o relé é projetado para controlar uma carga cc, um transistor de potência é usado para ligar a carga à linha.

O acoplador óptico do relé possui um par casado: diodo emissor de luz e diodo fotodetector. O diodo emissor de luz (LED) está ligado à entrada e o diodo fotodetector está na saída. Quando a tensão de entrada liga o LED, o fotodetector ligado à base do transistor faz o transistor conduzir, energizando a carga. Neste tipo de relé o feixe de luz serve como o isolador entre o circuito de controle e a carga do circuito.

Alguns relés a estado sólido usam um conjunto de contatos reed para disparar

um triac. O circuito de controle é ligado à bobina do reed relé. Quando a tensão de controle faz a corrente fluir através da bobina, aparece um campo magnético em torno da bobina do relé, que fecha os contatos reed, fazendo o triac conduzir. Neste tipo de relé o campo magnético serve como o isolador entre o circuito de controle e a carga do circuito.

Na instrumentação, os relés competem com diodos SCR, chaves a semicondutor e transistores.

As vantagens do relé eletromecânico sobre o relé a semicondutor são :

1. baixa resistência e portanto baixa queda de tensão quando fechados e alta resistência quando abertos (fornecem boa isolamento entre o circuito controlado de alta energia com o circuito de baixa energia)
2. manipulação de altas tensões e correntes, em larga faixa de frequências.
3. operação em condições ambientais adversas.
4. tamanho pequeno, baixo custo e simplicidade.
5. memória funcional que não é perdida pela ausência da alimentação.

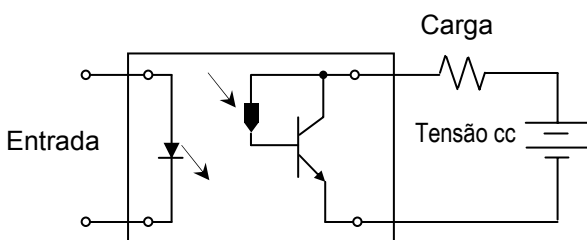


Fig. 2.13. Transistor de potência para carga cc

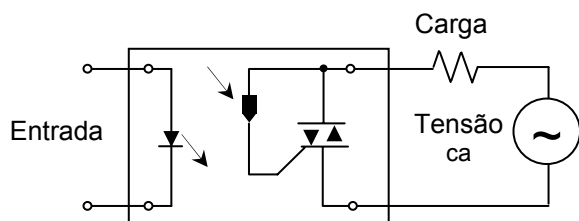


Fig. 2.14. TRIAC para controlar carga cc

As desvantagens do relé eletromecânico:

1. são mais lentos
2. são sensíveis às vibrações
3. são mais volumosos
4. Os relés especiais mais comuns são:
5. contadores sequenciais com contatos de transmissão
6. relés eletro-ópticos (acoplamento entre atuador e circuito de fechamento e raio de luz)
7. relés de medição com sensibilidade de 20 mW
8. relés de medição com 2 ou mais valores de atuação.
9. relés reed ressonantes para chaveamento com controle remoto.

Relé temporizado

O relé temporizado é útil para provocar uma ação atrasada por um breve período após uma outra ação, em casos onde o período de tempo é crítico. Não se deve confundir relé temporizado termal com o temporizador, contador e programador de altíssima precisão.

Os relés temporizados são similares aos outros relés de controle em que eles usam uma bobina para controlar a operação dos contatos. A diferença entre um relé de controle e um relé de atraso é que os contatos do relé temporizado demoram um determinado tempo ajustável para alterar seus contatos quando a bobina é energizada ou desenergizada.

Os relés temporizados ou relés de atraso de tempo podem ser classificados em relé de on-delay ou de off-delay. Quando a bobina de um relé temporizado on-delay é energizada, os contatos mudam os estados depois de um determinado atraso. Por exemplo, o timer foi ajustado para 10 segundos e o contato é NA. Quando a bobina é energizada no relé on-delay, o contato continua aberto durante 10 segundos e depois fecha. Quando a bobina for desligada, o contato volta imediatamente para a posição NA.

A operação do timer off-delay é oposta a do timer on-delay. Para o exemplo do timer ajustado para 10 segundos e para o contato NA, quando a bobina do relé off-delay for energizada, o contato imediatamente muda para fechado.

Quando a bobina for desenergizada, porém, o contato permanece fechado por 10 segundos e depois abre.

Nos esquemas, os timers podem ter símbolos diferentes para seus contatos. As abreviações TO e TC são usadas para indicar um contato operado pelo tempo. TO se refere a tempo para abertura e TC, tempo para fechamento. O TC deve ser usado com relé on-delay para indicar o tempo atrasado quando fechando e TO deve ser associado com timer off-delay, para indicar o tempo atrasado quando abrindo.

Na norma NEMA, tem-se os contatos

1. NOTC no contato on-delay - normalmente aberto tempo fechando,
2. NCTO no contato off-delay - normalmente fechado tempo abrindo.

Há vários princípios de funcionamento para os relés temporizados: dashpot, bimetálico-térmico, pneumático, eletrônico (circuito RC).

5.5. Seleção de Relés

Fatores que afetam a seleção: custo, tamanho, velocidade e energia requerida. Parâmetros mais restritivos: limitações de montagem, contatos selados ou abertos, proteção contra geração de faíscas, proteção contra condições ambientais desfavoráveis.

Para que os relés sejam aplicados corretamente, as funções dos relés devem ser claramente entendidas, as características devem ser definidas, o relé deve ser escolhido para satisfazer a necessidade e o circuito deve ser projetado para casar corretamente o relé com o resto do sistema. Assim, devem ser definidos.

1. a energia a ser controlada,
2. o sinal de controle disponível,
3. a quantidade de contatos necessária,
4. as condições ambientais,
5. necessidade de relés selados,
6. espaço disponível para o uso do relé
7. problemas de vibração, ruídos e temperatura,
8. proteção dos contatos contra arcos voltaicos, faíscas, solda por derretimento,
9. manutenção dos contatos sempre limpos, principalmente para baixas correntes.

6. Temporizadores

O temporizador, como o contador, é um dispositivo lógico que permite o sistema automático ativar equipamentos de saída, durante um estágio específico na operação do processo. Ele é usado para atrasar ciclos de partida e parada, intervalos de controle, ciclos operacionais repetitivos e tem a capacidade de rearmar o sistema ao fim destes ciclos.

O temporizador pode ser disponível em lógica de relé (eletrônico ou eletromecânico) ou como função lógica do Controlador Lógico Programável.

Os temporizadores pneumático e mecânico possuem a mesma aparência, com um dial para ajustar o tempo de atraso desejado. O símbolo de um temporizador é o mesmo para os vários tipos diferentes. Um círculo simboliza a bobina ou motor temporizado. Este elemento do temporizador é usado para rodar o intervalo de tempo ajustado. No fim do intervalo predeterminado, os contatos elétricos mudam de estado, de aberto para fechado ou de fechado para aberto.

É possível fazer quatro combinações de temporizadores, considerando a lógica de atraso para ligar (TON) ou atraso para desligar (TOFF) e os contatos normalmente abertos (NA) ou normalmente fechados (NF). Assim, tem-se:

1. NO/ON/TC (normally open, timed-closing - normalmente aberto, temporizado para fechar, ligando)
2. NC/ON/TO (normally close, timed-opening - normalmente fechado, temporizado para abrir, ligando)
3. NO/OFF/TC, (normally open, OFF timed closing - normalmente aberto, desligam fechando com o tempo).
4. NC/OFF/TO (normally close timed opening (NC/OFF/TO, normalmente fechado, desliga abrindo com o tempo).

Seus símbolos são diferentes.

O tipo de temporizador mais comum é time-delay TON: depois do intervalo de tempo predeterminado ser completado, depois da bobina ser energizada, os contatos mudam de estado, de aberto para fechado ou de fechado para aberto. Quando a bobina é desenergizada, os contatos voltam ao seu estado original,

instantaneamente. Alguns temporizadores podem ser resetados por um circuito separado e não resetados automaticamente quando a bobina for desenergizada.

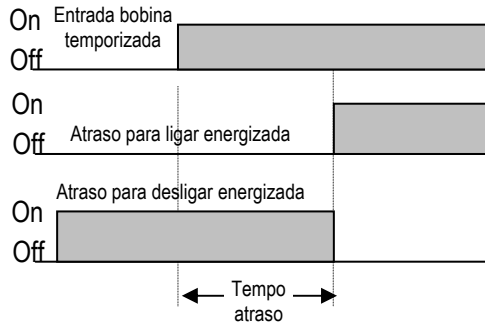


Fig. 2.15. Gráfico do tempo para timer TON

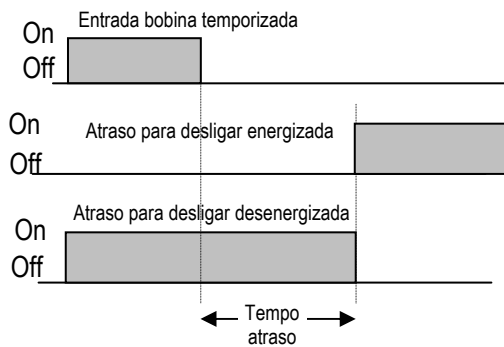
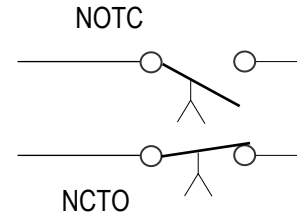


Fig. 2.16. Gráfico do tempo para timer TOFF

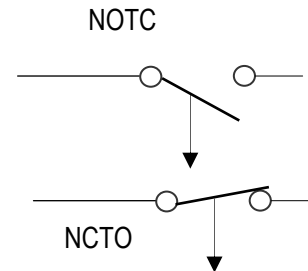
Alguns temporizadores mudam de status dos contatos da saída, depois de intervalo de tempo, quando a bobina é desenergizada, são os TOFF.

Em situações de temporização, devem ser considerados os status da saída em três tempos:

1. antes de partida, quando o circuito está no estado predeterminado,
2. durante o período de contagem do tempo,
3. após o intervalo de tempo ter expirado, quando o circuito é acionado.



(a) Atraso para energizar



(b) Atraso para desenergizar

Fig. 2.17. Contatos temporizados

Em circuitos de lógica de relés, os temporizadores e contadores são unidades individuais montadas no painel e fiadas fisicamente.

Para a função de temporização do CLP, o temporizador é gerado no programa, chamando-o como uma função especial. Há somente um tipo de função de temporização no CLP: atraso de tempo de ligar. Qualquer outro tipo de necessidade de temporização pode ser realizado pelo uso de combinações de um número de funções de temporização no CLP.

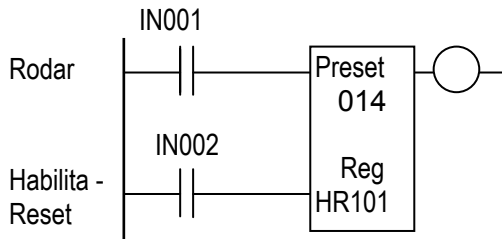
Quando a função de temporização é chamada pelo teclado, aparece o bloco do temporizador. O bloco é programado com três parâmetros:

1. número ou tag do temporizador, p. ex., TS017 ou 31.
2. o valor do tempo do intervalo de temporização, p. ex., 14 s para cada formato
3. registro especificado onde a contagem se processa, p. ex., HR101 ou função 31.

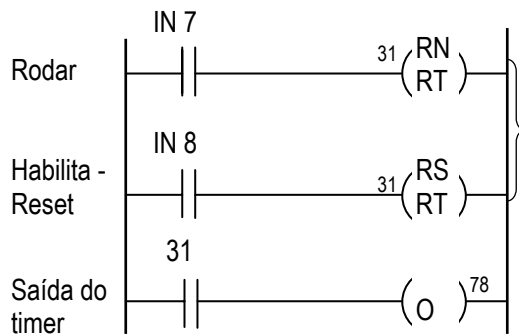
Há duas entradas para a função de temporização:

1. entrada que começa a função de intervalo de temporização,
2. entrada que habilita - rearme (enable - reset).

Quando a entrada enable - reset está desligada, o temporizador não conta mesmo se a linha de contagem estiver ligada. Quando a entrada enable - reset está desligada, o temporizador pode contar. Quando a entrada enable - reset é desligada após o temporizador terminar o tempo, o temporizador é resetado para zero.



(a) Formato de bloco



(b) Formato de bobina

Fig. 2.18. Temporizador com duas entradas

temporizador roda enquanto IN001 estiver energizada. Se IN001 é desenergizada enquanto o temporizador estiver rodando, ele pára onde estiver e não é resetado para 0.

No formato bloco, seja IN 002 fechada e IN 001 ligada. Após 6 segundos, IN 001 é aberta. O temporizador retém a contagem de 6. Como o tempo ainda não atingiu o valor predeterminado de 14, a saída do temporizador ainda está desligada. O temporizador não reseta até que IN 002 seja aberta. Se algum tempo mais tarde IN 001 é fechada novamente, ele conta mais 8 segundos depois do fechamento de IN 001, e a bobina do temporizador irá energizar quando atingir 14 (6 + 8).

No formato bobina, IN7 é para temporizar RT31 = RN. IN8 habilita RT31 – RS. Quando o temporizador liga, sua saída 31 (interna) liga a saída 78.

Tab. 4.1. Sequência do temporizador

Status Reset	Tempo durante	Tempo expirado	Convenção
Aberto	Aberto	Fechado	O O X
Aberto	Fechado	Aberto	O X O
Fechado	Aberto	Fechado	X O X

O – contato aberto
X – contato fechado

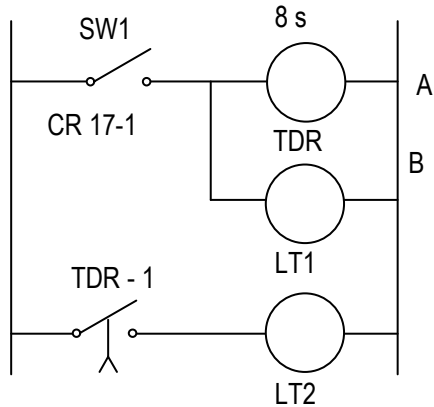
Preset é onde o valor da temporização é estabelecido. Ele pode ser uma constante ou um registro designado.

Reg. é o registro designado em que a contagem ocorre.

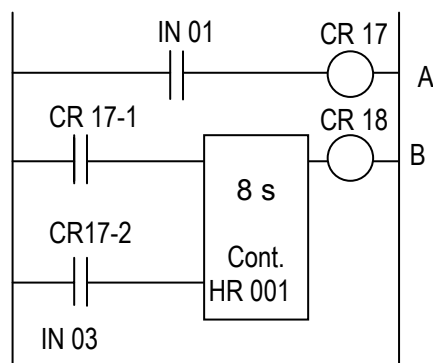
Um temporizador deve ter duas entradas. A entrada IN002 é a linha de habilitar-resetar, que permite o temporizador rodar quando energizado. Quando desenergizado, o temporizador é mantido em 0 ou resetado para 0. A linha IN001 faz o temporizador rodar quando o ele for habilitado. Quando habilitado, o

6.1. Atraso para ligar

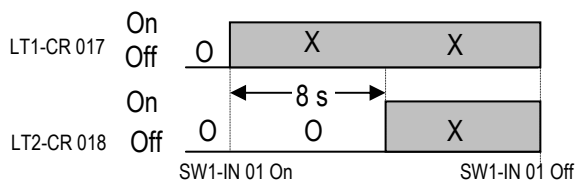
Quando o circuito é ligado, ocorre uma ação. Depois de um determinado tempo, ocorre outra ação. São mostradas as lógicas com relé e com CLP.



(a) Diagrama elementar



(b) Bloco funcional do CLP



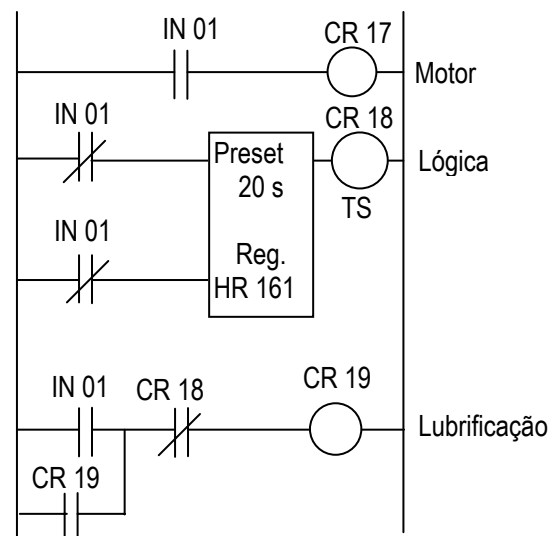
(c) Diagrama de tempo

Fig. 2.19. Temporizador para ligar

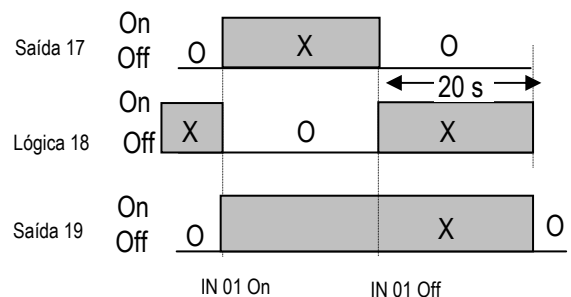
1. Quando a chave SW1 é ligada, lâmpada A acende
2. Oito segundos depois, lâmpada B acende
3. As duas lâmpadas apagam ou permanecem apagadas, sempre que SW1 estiver aberta.

6.2. Atraso para desligar

Tem-se dois motores: principal e da bomba de lubrificação. O motor de lubrificação deve ser ligado durante um intervalo de tempo (e.g., 20 s) e depois desligado, e o principal continua operando.



(a) Bloco funcional do CLP



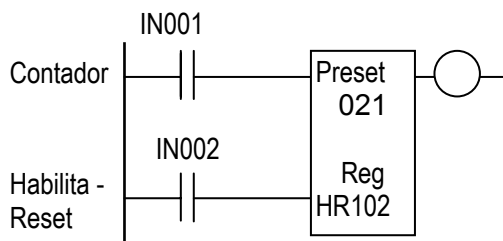
(b) Diagrama de tempo

Fig. 2.20. Temporizador para desligar

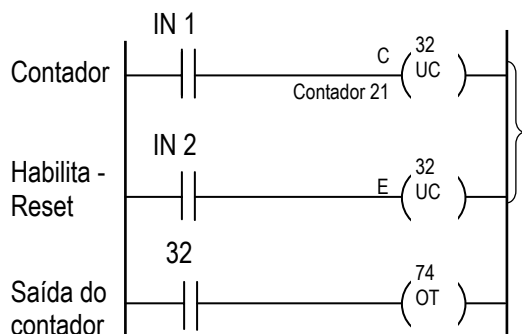
7. Contadores

Os contadores podem ser mecânicos, elétricos ou eletrônicos. Um contador não reseta automaticamente quando a sua bobina é desenergizada, como faz o temporizador. Se fosse assim, ele contaria até 1 e resetaria em 0 e não sairia disso. O contador necessita de um dispositivo ou ligação separada para resetá-lo. Os contadores podem ser crescentes (contagem sobe continuamente) ou decrescentes (contagem desce continuamente).

A função de contador do CLP opera de modo semelhante à função do temporizador. Quando a linha enable - reset está ligada, o contador conta uma vez cada momento que a linha de contagem é ligada. Quando uma contagem predeterminada é atingida, a saída fica ligada. A contagem predeterminada pode ser uma constante, como mostrada, ou pode ser contida em um registro, como na função temporizador do CLP. Quando a linha enable - reset é desligada, o contador reseta para zero.



(b) Formato de bloco



(b) Formato de bobina

Fig. 2.21. Contador básico

Preset é onde o valor da contagem é estabelecido. Ele pode ser uma constante ou um registro designado.

Reg. é o registro designado em que a contagem ocorre.

Um contador deve ter duas entradas. Se IN002 está aberta, o contador está em 0, quando IN002 é fechada, o contador é habilitado. Em qualquer tempo durante a operação que IN002 é reaberto, o contador reseta para 0.

No formato bloco, quando habilitado, o contador irá contar cada vez que a entrada IN 001 vai de aberta para fechada. Ele não conta quando IN 001 vai de fechada para aberta. Seja a contagem ajustada para 21. Começando de 0, o contador incrementa um número cada vez que os pulsos de entrada se ligam. Quando a contagem 21 é atingida, não há mais mudança na saída. A saída fica ligada e o contador continua a incrementar.

A função contagem crescente é parecida com a contagem decrescente, exceto que uma contagem aumenta a outra diminui. Se o contador fosse decrescente, ele começaria em 21. Quando os pulsos de entrada são recebidos em IN 001, o contador diminui de 21, 20, 19, ...). Quando o contador atinge 0, a saída do contador fica energizada. Qualquer pulso adicional que chega na entrada IN 001 não afeta o status da saída IN 001.

No formato bobina, as contagens de pulsos são por IN1 a UC 32. A contagem ajustada é 21. O comando Habilita - Reset é feito por IN02. Quando uma contagem de 21 é atingida, o contato 32 energiza a saída 74.

Para alguns formatos de contador, não mostrados aqui, uma linha de uma função contador em cada bloco é a linha de habilitação. A detecção da contagem é feita pela função bloco de um registro específico ou entrada no bloco. Uma linha de reset para o bloco contador é incluída depois no programa ladder.

A operação de contagem é normalmente não retentiva. Abrindo a entrada habilitada IN 002, em qualquer momento, irá resetar o contador para 0, no CLP. Quando IN 002 é fechada de novo, a contagem não é retida como um ponto de nova partida.

7.1. Contagem simples

Após um determinado número de contagens, a saída do contador liga, para energizar um indicador. O status da saída pode também ser utilizado na lógica do diagrama ladder na forma de um contato.

O contador funciona se sua linha de habilitação é energizada. Depois que a entrada de contagem atinge 18 pulsos, a saída do relé é energizada.

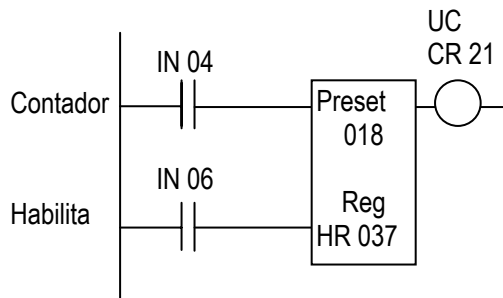
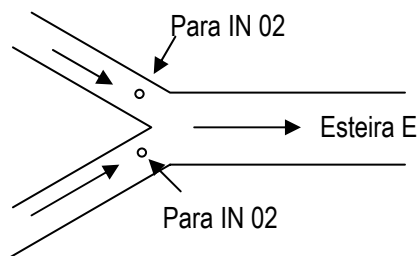


Fig. 2.22. Operação básica do contador no CLP

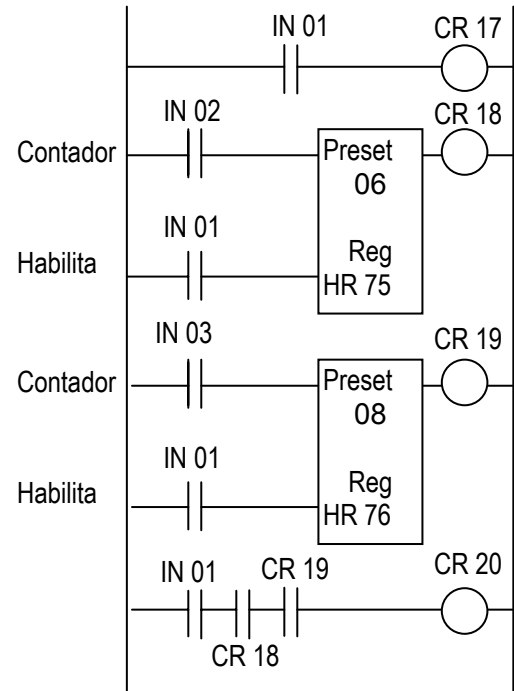
7.2. Dois contadores

A aplicação envolve dois contadores. Quer-se que um indicador de saída fique ligado quando houver 6 peças de uma esteira C e oito peças de uma esteira D entrada na esteira comum E. O circuito monitora as duas contagens. IN 02 e IN 03 são sensores de proximidade que dão um pulso quando uma peça passa por eles. O circuito não indica mais do que seis ou oito peças, ele somente indica quando há peças suficientes.

Para repetir o processo, abrir IN 01 para resetar o sistema. Depois, fechar de novo IN 01.



(a) Lógica das esteiras



(b) Diagrama ladder

Fig. 2.23. Aplicação com dois contadores

CR 17 – relé mestre do sistema

CR 18 – Lógica para contar até 6 (C)

CR 19 – Lógica para contar até 8 (D)

CR 020 – vai para uma lâmpada piloto para indicar quando, no mínimo, 6 peças A e 8 peças B entraram na esteira E.

7.3. Número de peças

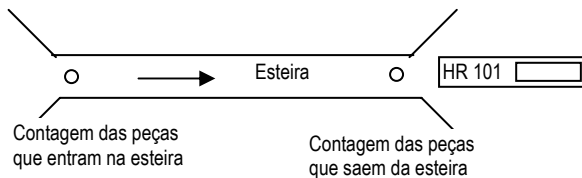
O sistema é para contar a diferença do número de peças que entram e que saem de uma esteira.

O número de peças que entram na esteira é contado pelo contador com entrada IN 02 e o número de peças deixando a esteira é contado pelo contador com entrada IN 03. Cada contador é alimentado pela saída de uma chave de proximidade.

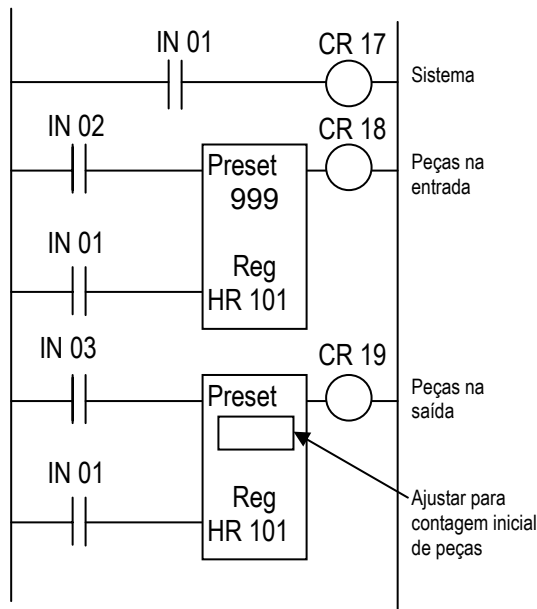
É necessário que a contagem inicial seja exata. Quando começando a operação, o número de peças na esteira deve ser determinado. Este número de contagem é programado no registrador comum, HR 101. Normalmente, é necessário colocar este número no contador decrescente, como o número predeterminado. Então, qualquer peça indo

na esteira, pulsa o contador crescente. O registro do contador, que é comum aos dois contadores, tem seu valor aumentado por um, para cada peça que entra. Do mesmo modo, as peças deixando a esteira diminuem a contagem do registro comum através do contador decrescente. O valor no registro HR 101 representa o número de peças na esteira, assumindo que nenhuma peça caiu da esteira e nenhuma foi colocada no caminho.

O valor do contador crescente não importa, nesta aplicação. Não importa se suas saídas estão ligadas ou desligadas. A lógica da saída não é usada. Na figura, o valor colocado predeterminado é 999, arbitrário. 8. Dispositivos de Proteção



(a) Lógica da esteira



(c) Diagrama ladder

Fig. 2.24. Aplicação para contagem de número de peças na esteira

8. Proteção de Circuitos

Grandes picos de correntes provenientes de sobrecargas ou curtos-circuitos podem ocorrer acidentalmente em circuitos elétricos. Tais picos de corrente podem destruir componentes, provocar choques elétricos ou resultar em incêndios, se não forem parados a tempo. Para proteger os sistemas contra os danos de tais sobrecargas inesperadas, são usados dispositivos de proteção. Os mais comuns são

1. fusível
2. disjuntor
3. limitador de corrente
4. térmico

8.1. Fusível

O fusível é basicamente um pedaço de fio fino projetado para se aquecer e derreter quando for percorrido por uma corrente maior do que a especificada. O fusível é colocado em série com o circuito a ser protegido. Os fusíveis devem ser colocados na linha quente ou na fase e não na linha neutra ou de terra. Quando o fusível é colocado na linha neutra, o circuito eletrificado poderia permanecer no potencial da linha quente, mesmo com o fusível queimado.

O fusível destrói uma parte do caminho de condução da corrente, se derretendo, quando a corrente que flui por ele excede um valor predeterminado. A queima do fusível interrompe a corrente no resto do circuito. A interrupção deve ser muito rápida, para que os componentes em série sejam protegidos.

Há aplicações que requerem a ação retardada do fusível. Alguns circuitos podem suportar grandes picos de corrente de curta duração mas devem ser protegidos contra picos de corrente de longa duração. Devem ser usados fusíveis de ação retardada ou de queima lenta (*slow blow*). Um fusível de ação retardada resiste a altas correntes de curta duração. Porém, se a sobrecarga ou curto-circuito persiste por longo período, este fusível também deve se abrir. Aplicações típicas de fusíveis com retardo se referem a proteção de motores elétricos. A corrente de partida do motor é momentaneamente

alta e a corrente de regime é muito menor. O fusível deve permitir a partida do motor e deve protegê-lo contra alta corrente de regime permanente.

A queima de um fusível é uma indicação que houve (ou ainda há) um defeito dentro do circuito que o fusível está protegendo. Antes de substituir o fusível por um novo, é aconselhável analisar o circuito para verificar se há algum defeito permanente.

O fusível é descrito de acordo com a relação entre o valor da corrente circulando através dele e o tempo que ele leva para interromper a corrente. A terminologia comum para descrever os tipos de fusíveis inclui:

ação rápida, alta velocidade ou instrumento
padrão, normal ou atraso médio
atraso, retardado, ação lenta ou queima lenta

fusível térmico

Cada tipo, disponível em diferentes capacidades de corrente, protege o circuito eletrônico se o tempo de interrupção do fusível é suficientemente rápido.

O fusível térmico é destruído principalmente pela temperatura e não apenas pela corrente que circula por ele. Ele pode suportar grandes correntes, porém se queima quando a temperatura do componente que ele protege atinge temperatura crítica. Ele se queima com a alta temperatura, mesmo que a corrente que circula por ele seja pequena. Ele é usado principalmente para estabelecer a classe de temperatura de equipamentos elétricos. Geralmente este fusível é *enrolado* (wrap in) no circuito e não soldado, pois a temperatura da solda o romperia.

Todos os fusíveis têm especificações de tensão, corrente e queima. Todas as especificações se aplicam aos tipos ação lenta, ação normal e ação rápida, independente do tamanho.

A especificação da tensão marcada no fusível é uma garantia do laboratório certificado para risco de fogo. Isto indica que o fusível irá seguramente abrir sem provocar arco voltaico ou explodir em uma situação de curto-circuito, quando a tensão é igual ou menor que a tensão especificada. Nunca use, em nenhuma

circunstância, um fusível especificado com menor tensão do que a tensão aplicada realmente entre seus terminais, independente de sua corrente nominal. O fusível pode ser usado em qualquer tensão menor que a sua especificada, sem afetar suas características de projeto.

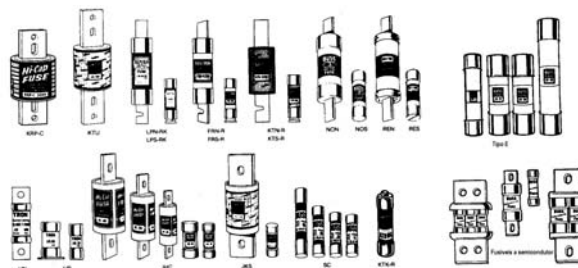


Fig. 2.25. Fusíveis para alta corrente

A corrente especificada no fusível indica o valor de teste padrão da corrente de carga. Os fusíveis de ação rápida são projetados para suportar 100% de sua corrente nominal, mas irá queimar muito rapidamente quando sua corrente exceder de uma pequena percentagem. Os fusíveis de ação normal geralmente são projetados para suportar 110% de sua corrente nominal por um período mínimo de quatro horas ou 135% de sua corrente especificada por períodos menores que uma hora ou 200% de sua corrente nominal por um máximo de 30 segundos. Os fusíveis de ação retardada são projetados para suportar 110% de sua corrente nominal por um período de quatro horas mas se a corrente atinge 135% do valor nominal, ele abrirá dentro de uma hora. Quando o fusível de ação retardada é percorrido por uma corrente 200% do valor nominal, ele irá interromper a corrente dentro de um período de 5 segundos a 2 minutos.

É fundamental ter o conhecimento e o entendimento da literatura técnica fornecida pelo fabricante do fusível, para relacionar o tipo do fusível (ação rápida, normal ou retardada), identificação alfa numérica empregada, a amperagem nominal, a tensão e o tamanho físico.

8.2. Disjuntor (Circuit Breaker)

O disjuntor é um equipamento de proteção que também abre um circuito quando há uma sobrecarga aplicada nele. Diferente do fusível que se destrói, o disjuntor apenas se desarma.

O disjuntor geralmente consiste de uma chave que é mantida fechada por uma trava. Para abrir o circuito, a saliência é liberada. Basicamente, há dois mecanismos para atuar e desatuar o disjuntor:

1. eletromagnético
2. térmico

Quando a corrente excede o valor crítico na bobina eletromagnética, o campo magnético aciona uma barra metálica colocada dentro do seu campo e a trava do disjuntor é liberada. No mecanismo térmico, uma tira bimetálica é aquecida pela corrente que passa por ela e produz um pequeno movimento. Quando a corrente excede o valor crítico, a tira bimetálica aciona a trava, abrindo o circuito. Em ambos os mecanismos eletromagnético e térmico, há uma mola e um dispositivo para rearme do disjuntor. Quando a causa do excesso de corrente é localizada e removida, o disjuntor pode ser rearmado (reset) para sua posição de condução por uma botoeira ou chave. Por causa desta chave, o disjuntor pode também ser usado para liga-desliga.

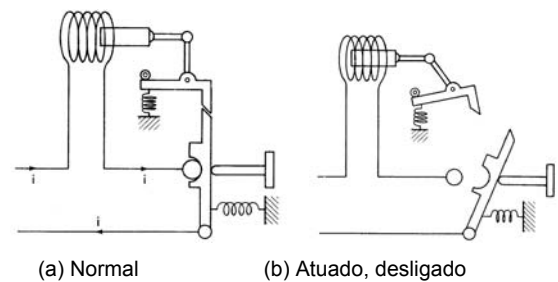


Fig. 2.26. Disjuntor

O circuito eletrônico com disjuntor com rearme manual ou automático possibilita uma economia de tempo e de componente, pois o dispositivo protetor não precisa ser substituído. O disjuntor é um dispositivo protetor do circuito elétrico que não se danifica irremediavelmente quando opera. O disjuntor pode possuir capacidades definidas da corrente de regime permanente, a corrente de desligamento e a corrente de manutenção. A corrente de desligamento descreve o valor da corrente que irá desligar o disjuntor, protegendo o circuito de correntes maiores que a nominal. A corrente de manutenção indica a mínima corrente permissível para o disjuntor particular. Qualquer valor de corrente menor que o valor de manutenção não permitirá o rearme do disjuntor.

São disponíveis disjuntores para 125 V (padrão), 6 V até 24 V. As correntes típicas são, em ampères:

5	6	8	10	12
15	18	20	25	30
40	45	50		

3. Símbolos Lógicos

1. Lógica

1.1. Conceito

Em sistemas de controle, a palavra *lógica* é geralmente usada em termos de relé lógico ou lógica de controlador programável, o que não é muito lógico. O termo lógico está geralmente associado com o conceito de binário, que significa possuir um de apenas dois estados possíveis, tais como liga-desliga, aceso-apagado, alto-baixo, verdadeiro-falso, presente-ausente, maior-menor, igual-diferente ou 1-0. A palavra *lógica* se refere a um sistema que obedece a um conjunto fixo de regras e sempre apresenta o mesmo conjunto de saídas para o mesmo conjunto de entradas, embora estas respostas possam ser modificadas por alguma condição interna, como o estado de uma saída de um temporizador ou contador. A lógica sempre trabalha com as combinações de E (AND), OU (OR), NÃO (NOT) e nunca com TALVEZ.

1.2. Lógica de relé e programas

No início, a lógica de relé foi usada para o simples intertravamento de circuitos de controle elétrico:

1. Se a corrente de um motor exceder um determinado valor pré-estabelecido, ele deve ser desligado.
2. Se o aquecedor elétrico ultrapassar determinada temperatura, ele deve ser desligado.
3. Se uma correia de esteira estiver rodando com uma extremidade fora, ela deve ser parada.

Para um dado conjunto de entradas, uma decisão deve ser feita e uma ação tomada.

1.3. Lógica Sequencial

Geralmente, tenta-se distinguir binário, acionado por evento e lógica instantânea de lógica sequencial. Isto está mais relacionado com as dificuldades associadas em representar a lógica sequencial do que com as diferenças reais. Não há nenhum problema prático em considerar equivalentes todos os conceitos acima.

A lógica sequencial foi manipulada menos satisfatoriamente no passado do que a lógica combinatória. A lógica seqüência é geralmente representada de um modo que requer muito mais conhecimento técnico por parte do leitor não técnico que deve analisar o documento. Foi desenvolvida uma metodologia mais simples que mudou estes conceitos. O IEC publicou a norma 848 (*Preparação das Cartas Funcionais para Sistemas de Controle*, 1988).

Os diagramas lógicos binários são usados para tentar tornar o trabalho mais fácil, para fazê-lo menos dependente do conhecimento do equipamento específico e para fazê-lo mais funcional na orientação.

1.4. Lógica CLP

O controlador lógico programável (CLP) atualmente substitui, com vantagens, os sistemas complexos de relés.

O CLP é freqüentemente programado emulando diagramas ladder de relés, pois estes diagramas são facilmente entendidos por muitas pessoas não instrumentistas. O problema que permanece é que o diagrama ladder é orientado para equipamento e requer um conhecimento de circuito elétrico. A diagramação lógica binária é uma tentativa de reduzir a lógica complexa que existe entre as entradas e saídas de um sistema para a representação mais simples possível.

Uma grande vantagem do diagrama lógico binário sobre o diagrama ladder é a facilidade com que a lógica binária pode ser combinada com uma representação do processo sendo controlado, que dá um entendimento mais claro da ligação entre o controle do processo e sua lógica. Mesmo que o CLP seja programado através dos símbolos do diagrama ladder, é ainda mais fácil trabalhar e entender o esquema básico representado por lógica binária.

2. Conceituação e Execução

Há uma sutil mas importante diferença entre as duas fases que devem ser consideradas para se ter um esquema de controle trabalhável envolvendo lógica binária. A primeira fase é comum a todo o equipamento e a segunda depende muito mais do equipamento específico usado. A primeira fase responde a pergunta: O que precisa ser feita para determinado processo? A segunda fase responde a questão: Sabido o que deve ser feito, como fazê-lo?

Quebrando o projeto nestas duas fases, O que fazer? e Como fazer?, as coisas andam mais facilmente. O problema pode ser claramente definido sem a restrição da necessidade do conhecimento detalhado do equipamento disponível. O projeto pode ser discutido entre pessoas que podem conhecer o problema mas que podem ter diferentes graus de conhecimento do equipamento (e programa) disponível para sua solução. Quando o projeto é dividido em suas

partes componentes deste modo mais ou menos abstrato, o problema e a sua solução podem ser conceitualizados, o equipamento pode ser escolhido e a solução pode ser executada mais eficientemente.

A primeira fase é a conceitualização. Como o objetivo é conceber esquemas de controle que envolvam um processo, lógica para controlar este processo e a interface de operação que permita ao operador intervir a qualquer momento no processo, é razoável incluir estes elementos em um desenho ou esquema conceitual.

A segunda fase, execução, envolve detalhes de execução ou instruções para um CLP. Esta fase requer o conhecimento apenas das entradas imediatas e não das condições que as geram. Nesta fase, é razoável eliminar muitos detalhes irrelevantes associados com o processo ou com a interface do operador.

2.1. Tipos de documentos

Quando se vai do conceito para a execução, pode-se perceber que, no mínimo, dois tipos de documentos são necessários. O documento de execução é geralmente o único que é visto formalmente. O documento de conceito existe, como um esquema de engenharia ou como uma tentativa de combiná-lo com o diagrama de fluxo de engenharia. Para lógica complexa, o documento conceitual é completamente insatisfatório. Muita confusão seria evitada se o documento conceitual fosse um desenho formal.

Na realidade, mais do que estes dois tipos de documentos estão envolvidos, quando se vai do conceito para a execução. Usualmente, o processo de conceitualização começa com o diagrama de fluxo do processo. Nesta etapa, uma descrição geral, resumida, narrativa esquematiza o processo, o que é para ser feito e as necessidades da interface do operador. Quando o diagrama de fluxo do processo é desenvolvido, no mínimo, as entradas e saídas são definidas. Assim que as entradas e saídas do processo estão definidas, o documento lógico conceitual pode ser desenvolvido. Depois de aprovado o documento conceitual, pode-se começar a fazer os documentos de execução.

Pode-se ir diretamente do documento lógico conceitual para um diagrama ladder, como o documento final de execução para relé ou CLP. Porém, em sistemas grandes e complexos, é recomendável ter um documento intermediário que seja entendido por aqueles que não necessariamente entendem os detalhes do diagrama ladder. Este documento pode também ser usado para verificação (*check*), pois ele mostra toda a lógica interna e simboliza todas as entradas e saídas sem os detalhes irrelevantes do processo ou da interface do operador.

O documento final de execução geralmente é o diagrama ladder, utilizado em sistema com relé ou com CLP. No caso de CLP, ele pode ser gerado por um programa associado (p. ex., PGM, Reliance)

2.2. Documentos lógicos conceituais

O documento lógico conceitual tenta responder a questão: Como se consegue ir até lá daqui? Um diagrama de fluxo de engenharia (P&I) não é uma ferramenta adequada para fins de lógica. Também, o diagrama ladder é muito especializado para fins de conceitualização. Assim, a maior utilidade do diagrama conceitual é como uma ferramenta que permite ao projetista lógico raciocinar através do processo presente sem muita consideração acerca das especificações finais do equipamento a ser usado para executar a lógica.

Há três divisões básicas no documento lógico conceitual:

1. desenho do processo sendo controlado sem entrar em detalhes que são irrelevantes para o controle deste processo
2. desenho da lógica
3. desenho da interface do operador, desde que nada é totalmente automatizado e tudo requer a intervenção eventual do operador.

3. Portas Lógicas

Portas lógicas são circuitos eletrônicos que operam com entradas e saídas booleanas, que podem assumir apenas os valores 1 ou 0. Eles podem ser microprocessados ou com contatos

discretos de relés e chaves. As portas podem manipular apenas um sinal de entrada, exatamente dois ou podem ser extensivas, manipulando de dois até dezenas de entradas.

As portas lógicas básicas são:

1. OR (também OR EXCLUSIVO)
2. AND
3. NOR
4. NAND
5. INVERSOR ou NOT

3.1. Porta OR

A porta OR possui duas ou mais entradas e uma única saída. As entradas são designadas por A, B, ... N e a saída por L. As entradas podem assumir só 0 ou 1.

A expressão para o OR é: $A + B = L$

A saída de uma porta OR assume o estado booleano 1 se uma ou mais entradas assume o estado 1. A saída do OR é 1 se alguma das entradas for 1.

Símbolos

Os símbolos MIL, NEMA e ANSI são:

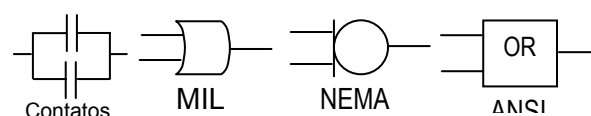


Fig. 3.1. Símbolos da porta OR

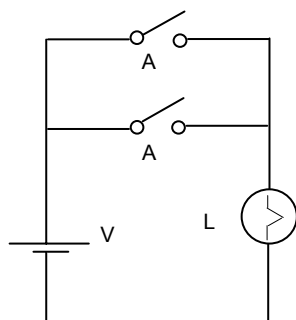
Tabela verdade

Tabela verdade OR para duas entradas

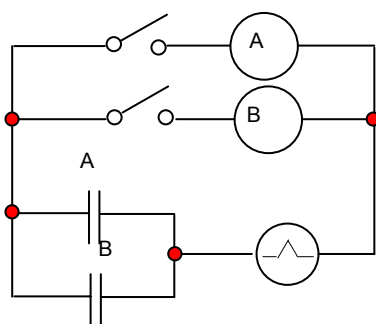
A	B	L
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Circuitos equivalentes

Exemplo do uso OR em controle de processo é ligar uma lâmpada através de qualquer uma de duas chaves ou ambas.



(a) Com chaves



(b) Com relés

Fig. 3.2. Circuitos para porta OR

3.2. Porta OR Exclusivo

O OR exclusivo é uma porta com duas entradas, cuja saída é 1 se e somente se os sinais de entrada forem diferentes. Quando as entradas forem iguais, a saída é zero.

A Equação do OR exclusivo é

$$A \oplus B = L \text{ ou}$$

$$A\bar{B} + \bar{A}B = L$$

Símbolos

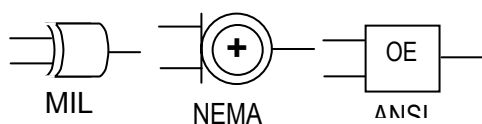


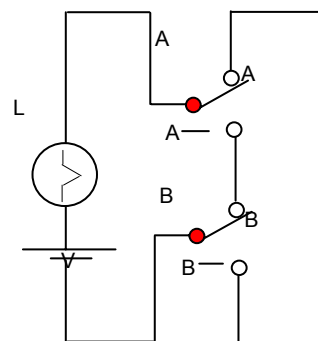
Fig. 3.3. Símbolos da porta OR exclusivo

Tabela Verdade OR EXCLUSIVO

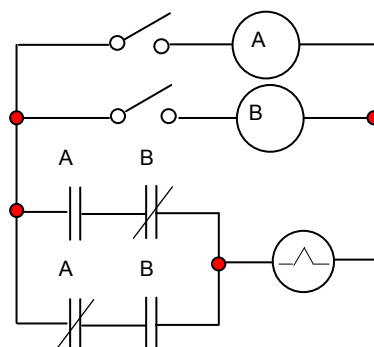
A	B	L
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Circuito equivalente

Um circuito equivalente com duas chaves para uma porta OR EXCLUSIVO é mostrado abaixo. Quando qualquer uma das duas chaves estiver ligada e a outra desligada, a lâmpada está ligada. Quando as duas chaves estiverem simultaneamente ligadas, a lâmpada fica apagada.



(a) Com chaves



(b) Com relés

Fig. 3.4. Circuitos para OR exclusivo

3.3. Porta AND

A porta AND tem duas ou mais entradas e uma única saída e opera de acordo com a seguinte definição: a saída de uma porta AND assume o status 1 se e somente se todas as entradas assumem 1.

A equação do AND é

$$A \cdot B = L$$

$$A \times B = L$$

$$AB = L$$

Símbolos

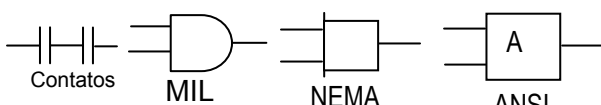


Fig. 3.5. Símbolos da porta AND

Tabela Verdade

A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Circuito equivalente

O circuito equivalente da porta AND com chaves é mostrado abaixo.

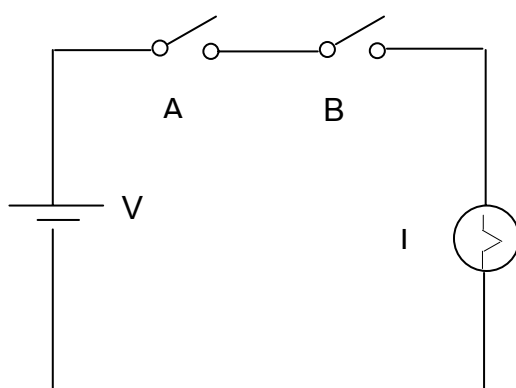


Fig. 3.6 (a). Circuito equivalente a AND com chaves

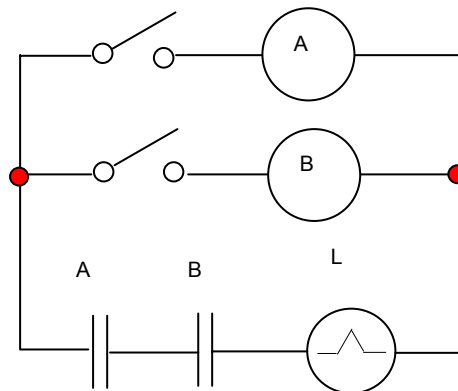


Fig. 3.6 (b). Circuito equivalente a AND com relés

3.4. Porta NOT

A porta NOT ou inversora produz uma saída oposta da entrada. Esta porta é usada para inverter ou complementar uma função lógica. O inversor, diferente das outras portas lógicas que possuem duas ou mais entradas e uma saída, só possui uma entrada e uma saída. A saída é o inverso ou oposto da entrada.

A equação do NOT ou inversor é

$$\bar{A} = L$$

Símbolos

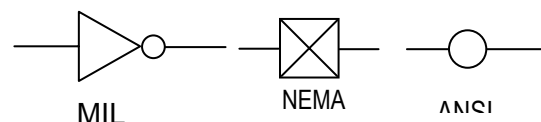


Fig. 3.7. Símbolos da porta NOT

Tabela Verdade do NOT

A	L
0	1
1	0

Circuito equivalente

O circuito equivalente para um INVERSOR com relés é mostrado abaixo.

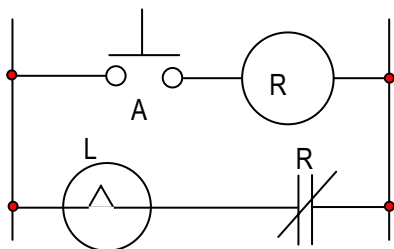


Fig. 3.8. Circuito NOT ou inversor

3.5. Porta NAND

NAND é a porta oposta à AND. Quando todas as entradas NAND são 1, a saída é zero. Em todas as outras configurações, a saída do NAND é zero

A equação do NAND é

$$\overline{AB} = L$$

$$A + B = L$$

Símbolo:

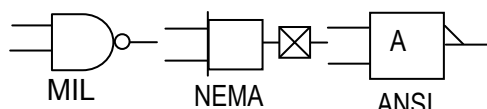


Fig. 3.9. Símbolos da porta NAND

Circuito equivalente

O circuito equivalente da porta NAND com chaves é mostrado abaixo.

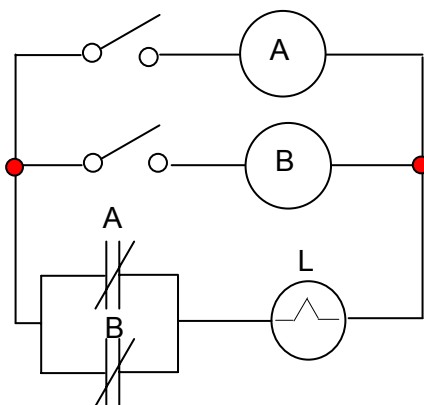


Fig. 3.10. Circuito equivalente a NAND

Tabela Verdade NAND

A	B	AND	NAND
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

3.6. Porta NOR

NOR é a porta oposta a OR. Quando todas as entradas são 0, a saída é 1.

A equação do NOR é

$$\overline{A + B} = L$$

$$A \times B = L$$

Símbolo:

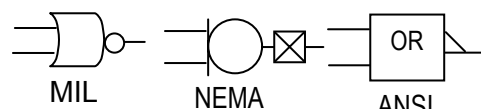


Fig. 3.11. Símbolos da porta NOR

Tabela Verdade

A	B	OR	NOR
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

Circuito equivalente

O circuito equivalente da porta NOR com relé é mostrado abaixo.

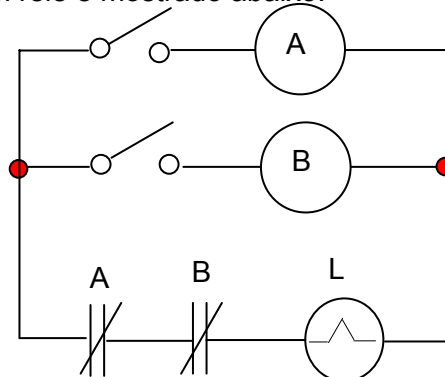


Fig. 3.12. Circuito equivalente a NOR

4. Exemplos lógicos

4.1. Circuito retentivo

Um dos circuitos lógicos mais comuns é o circuito retentivo (hold) para motores elétricos (Fig. 3.13). A figura mostra a divisão do diagrama em três áreas: painel (display), lógica e campo (outras áreas também poderiam ser adicionadas, como área do painel cego). O botão PARTIDA (HMS 500) envia um sinal para a porta OR, que passa qualquer sinal recebido. O sinal vai para uma porta AND, que produz uma saída somente quando todas as entradas estão presentes. Como a botoeira PARADA (HMS 501) não está sendo apertada, a porta NOT inverte o sinal zero para um sinal positivo, satisfazendo a porta AND e uma saída é produzida. A saída de AND vai para o motor e volta para a entrada da porta OR para manter a lógica, mesmo quando o botão PARTIDA deixa de ser pressionado. Quando o botão PARADA é apertado, a porta NOT inverte o sinal positivo, de modo que a porta AND não seja mais atendida e o circuito retentivo é desligado.

Note-se que são usadas muitas palavras para descrever um sistema simples que pode ser facilmente representado por poucos símbolos conhecidos. Note, também, que todos os símbolos lógicos estão representados na figura. Está mostrada a lógica do processo, não a proteção do equipamento. Assim, o relé de sobrecarga, relé termal e outros dispositivos de intertravamento não estão mostrados, embora pudessem ser também representados. Deve-se notar ainda que parece que o motor recebe sua potência da lógica. Isto obviamente não ocorre, mas a representação é simples e não diminui o entendimento do circuito.

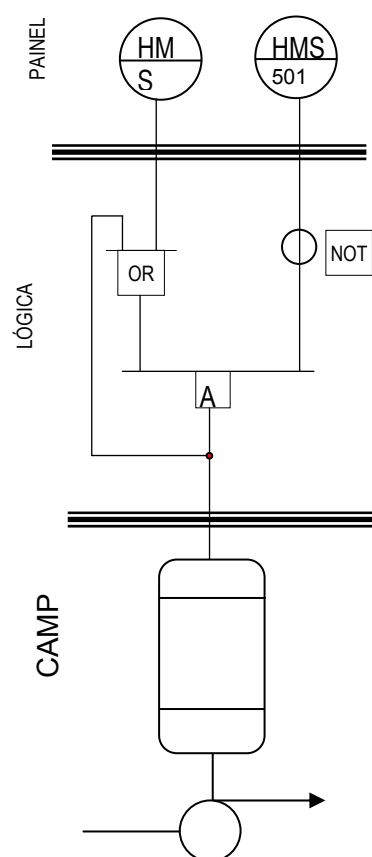


Fig. 3.13. Circuito retentivo

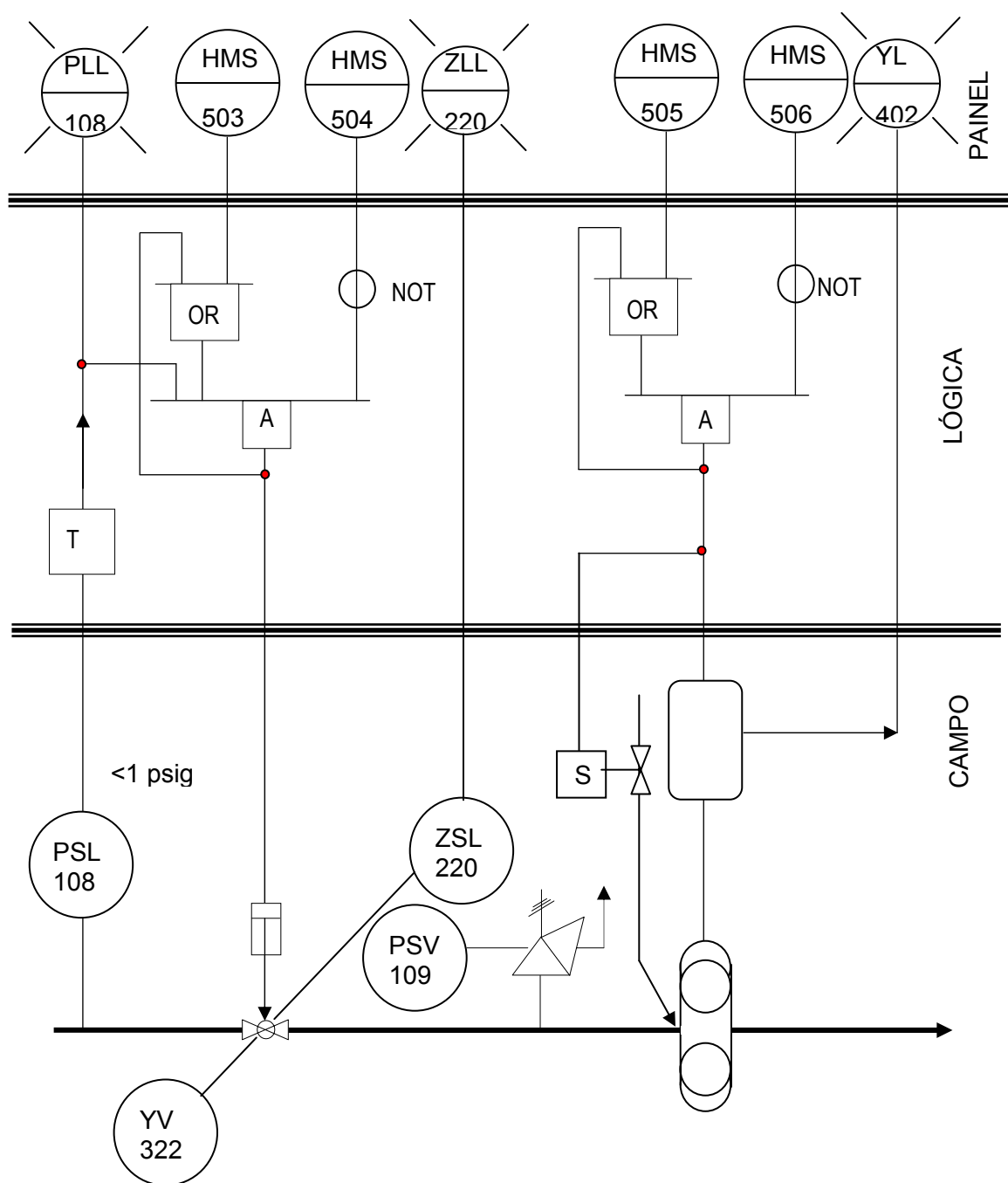


Fig. 3.14. Funções de campo

5.4. ANSI/ISA S5.2: Diagrama lógico binário para operações de processo

Esta norma tem o objetivo de fornecer um método de diagramação lógica de sistemas de intertravamento binário e sequenciamento para a partida, operação, alarme e desligamento de equipamento e processos na indústria química, petroquímica, refino de metal e outras indústrias. A norma pretende facilitar o entendimento das operações binárias e melhorar as comunicações entre técnicos, gerentes, projetistas, operadores e pessoal de manutenção, ligados ao sistema.

Entre a documentação conceitual e a de execução, o pessoal de gerenciamento e operação acha maior utilidade na conceitual do que na de execução, pois a ligação com o processo é mais explícita.

As diferenças básicas entre os diagramas de conceituação e de execução são:

1. O diagrama conceitual tem uma orientação vertical, pois o processo é usualmente visto operando horizontalmente e as linhas de sinal são mais bem mostradas perpendiculares ao processo. O diagrama de execução geralmente tem orientação horizontal, quase como um diagrama ladder (escada) e possivelmente porque a lógica é seguida seqüencialmente sem muita ligação com o processo.
2. O desenho conceitual é mais bem desenhado em tamanho grande, enquanto o desenho lógico de execução é feito em folhas de tamanho A4 ou carga. O formato grande ajuda a visualização de todo o panorama, o formato pequeno é melhor de ser manuseado e na lógica não há interesse em se ver o processo global.
3. As portas lógicas são mais fáceis de desenhar. Como a lógica é desenhada usualmente na forma de esquemas à mão livre, é importante que haja um mínimo de linhas, símbolos e letras usadas.

5.5. Diagrama lógico

Antes de se desenvolver um diagrama lógico, deve se ter um diagrama de fluxo. A Fig. 3.25. é um diagrama de fluxo de processo. Deve se ter também uma breve descrição narrativa, ponto por ponto, do objetivo do projetista. Então segue se o diagrama lógico. A Fig. 3.26 é um diagrama lógico associado com o diagrama de fluxo da Fig. 3.14.

Os diagramas mostram muitos dos símbolos binários lógicos para operação do processo. Os símbolos de função de entrada e saída são os balões e bandeiras dos instrumentos da norma ANSI/ISA S 5.1. As declarações de entradas e saída são interpostas entre os balões ou bandeiras e as setas de continuação e a lógica levam de um desenho lógico para outro. A lógica flui da esquerda para a direita. As setas usadas somente onde necessárias, para melhor entendimento do fluxo de sinal.

Aqui estão os principais pontos referentes à apresentação lógica como mostrado na Fig. 3.26.

1. Os desenhos são mais fáceis de seguir se todas as entradas são mostradas na esquerda e todas as saídas na direita. As funções lógicas são mostradas no meio.
2. Embora as chaves de posição ZSH e ZSL sejam atuadas pelas válvulas HV1 e HV2, as chaves estão na entrada para a lógica e as válvulas estão na saída. Elas podem ser ligadas fisicamente, mas na lógica as chaves são desenhadas na esquerda como entradas e as válvulas são desenhadas na direita, como saídas.

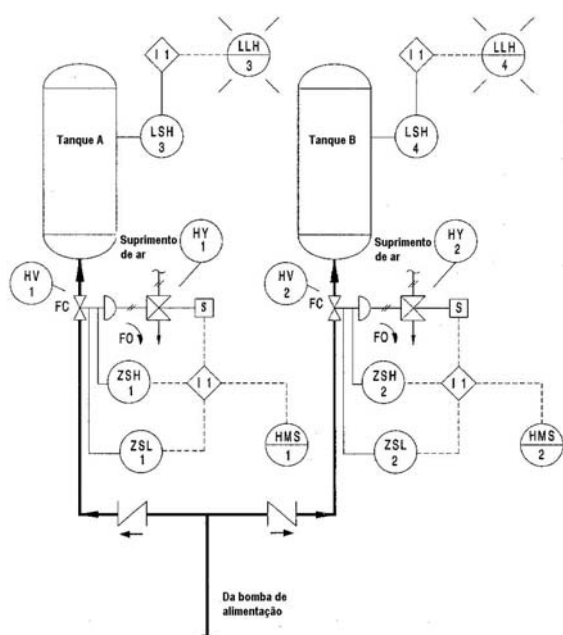


Fig. 3.22 Exemplo de diagrama de fluxo

3. As chaves NOT devem ser um pouco menores em relação aos balões de instrumentos ou de equipamentos. Não há necessidade de parar a linha lógica em qualquer lado das portas. Na prática, a linha é desenhada e o círculo é desenhado em cima.
4. As botoeiras PARTIDA e PARADA possuem o mesmo tag número, porém elas têm funções totalmente diferentes e devem ser diferenciadas. Se é desejável manter o mesmo número básico porque elas podem estar na mesma caixa, pode se usar um número ou letra como sufixo. Mesmo isto não é absolutamente necessário, porém, desde que a chave pode ser tagueada com números diferentes separados por /.
5. Às vezes, é tentador manter o conceito de malhas (HS1, HV1, ZSH1). Isto é geralmente inútil, pois, na prática, é raramente possível ser mantido. Além disso é errado pois ANSI/ISA S5.1 requer um novo número de malha para cada nova variável medida ou inicializada. Somente se a malha da variável H e a malha da variável Z forem as duas primeiras malha para

usar estas letras e se ter correspondência.

6. A maioria dos sistemas de complexidade moderada não tem uma relação biunívoca entre funções de entrada e saída. Quando eles têm, eles seriam sistemas manuais. É melhor encarar a complexidade na saída e dar ao sistema lógico a designação YIC (ou YC). O sistema é, antes de tudo, um controlador de evento. Os elementos de saída similares devem ter sufixos numéricos ou alfabéticos.
7. Embora a lógica seja muito abstrata, as ligações dela devem ser concretas. A Fig. 3.14 mostra somente uma única saída física para uma válvula solenóide de três vias. A ligação para a lógica deve refletir isto. Não há função de saída para *válvula fechada*. Para fechar a válvula, o sinal *abrir válvula* é removido. São necessárias duas saídas somente quando houver duos solenóides.

Como o diagrama lógico é documento de execução, é preferível usar a identificação dos equipamentos ligados (i.e., válvulas solenóides, não as válvulas de linha) e observar os modos de falha dos equipamentos ligados.

Recomenda-se observar os modos de falha segura. Não é aconselhável se ter válvula de enchimento com falha aberta, porque é improvável. Também não se deve usar nível lógico alto para desenergizar solenóides pois isto é confuso.

5.6. Aplicações das portas

A Fig. 3.16 dá símbolos e funções de funções lógicas básicas. Aqui estão mais algumas recomendações úteis para um bom projeto.

Geral

Não usar palavras quando símbolos e identificadores estiverem disponíveis. Quando usar palavras, fazê-lo do modo mais conciso possível. Mesmo quando o número de tag não for disponível, a parte do identificador deve ser usada para evitar uma descrição narrativa.

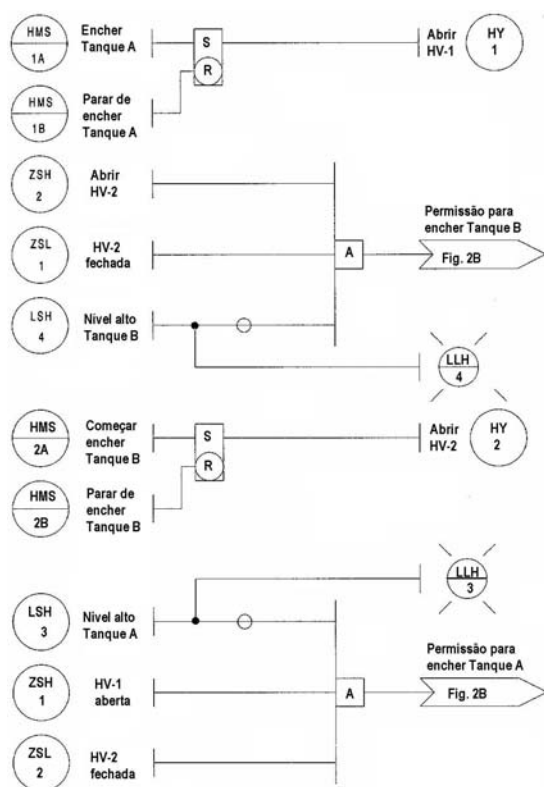


Fig. 3.23. Diagrama lógico típico

Função entrada

Se as linhas lógicas forem diretamente a uma saída chamada de Partida da Esteira, então as palavras devem ser omitidas, especialmente se HS é substituída por HMS (chave manual momentânea ou botoeira). Se não, então as palavras Partida da Esteira (uma sobre a outra) economizam espaço horizontal e, junto com HMS, contêm toda a informação necessária sem redundância.

Função saída

Quando houver uma escolha entre palavras e símbolos, escolher símbolos ou uma combinação de símbolos com um breve estado da saída. Há um impacto muito maior no reconhecimento de paradigmas quando se escolhe esta alternativa

A primeira letra (H) deve ser usada somente se há uma ligação direta com uma chave manual. Se não, é recomendável tratar a lógica como um sistema e usar Y para evento ou K para

tempo, dependendo se a lógica é orientada para evento ou para tempo. Nestes casos, todas as saídas devem ter o mesmo número de malha e sufixos diferentes.

Função AND

As palavras nas entradas e saída simplesmente ajudam a ligar o símbolo à definição. Lógica é a arte de fazer identificações não contraditórias, não importa se com tanques, válvulas ou bombas.

As duas entradas projetam mais informação de modo mais específico se forem usados balões com os identificadores funcionais LSH e ZSH. Quando for necessário identificar equipamentos (tanques, válvulas ou bombas), deve-se usar os identificadores T-1, HV-2 e P-3, se existirem. Se não, deve-se usar palavras específicas, tais como tanque de mistura, bomba de sucção de óleo, válvula da descarga do compressor.

A saída é também não específica. Quando se sabe que um relé específico é atuado para partir a bomba, então um balão com o tag número do relé deve ser usado, p. ex., YY6.

Função OR

Muitas pessoas se sentem desconfortáveis se uma saída positiva tem de ocorrer para desligar uma máquina. Na ausência de um comando positivo, o conceito de falha segura requer que a máquina pare. A saída é invertida usando uma porta NOT e as palavras *Permissão Operação Compressor* em vez de *Parar Compressor*.

Função OR Qualificado

O OR qualificado não é muito necessário, mas é requerido quando se necessita de lógica complicada. A mesmas sugestões feitas acima com relação à identificação de equipamentos de entrada e saída são aplicadas. Também deve ser sentido o mesmo modo de falha segura. Se uma reação exotérmica ocorre, perdendo-se o controle (sistema run away), é melhor mostrar uma lógica positiva para manter a reação ocorrendo. A falha da lógica deve parar a reação.

Função Memória

A combinação do simbolismo e identificação da norma ANSI ISA S5.1 com os identificadores específicos do equipamento permitem um resultado conciso. A aplicação de uma situação real de processo exemplifica o princípio que não se deve se tornar muito abstrato para se perder o senso da realidade.

Considerações acerca de modos de falha do vent do tanque e da permissão de partida da bomba requerem que o vent falhe e a permissão também falhe.

Originalmente, a norma fala das opções relacionadas com perda, manutenção e independência da perda da alimentação principal. Atualmente estes conceitos são facilmente implementados com as novas tecnologias eletrônicas que permitem memória permanente na ausência da alimentação.

Quando se analisa a segura de um sistema e os modos de falha, deve se tomar todo o panorama e não se restringir apenas à lógica. A potência pode falhar em qualquer ponto – entrada, saída, motor, pneumática, elétrica – e cada uma delas deve ser considerada.

Elementos temporizados

A norma ANSI ISA S5.2 apresenta os elementos de tempo, que são basicamente três:

1. Inicialização atrasada da saída (DI)
2. Terminação atrasada da saída (DT)
3. Saída pulsada (PO)

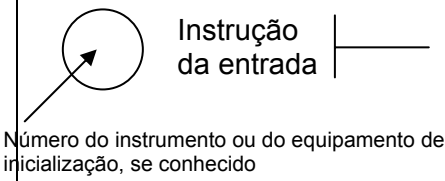
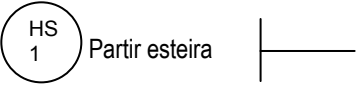
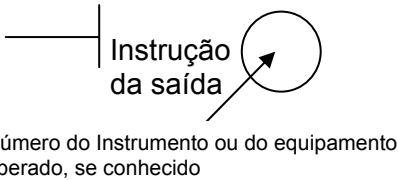
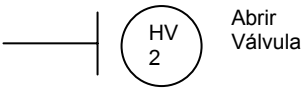
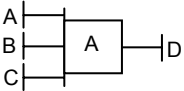
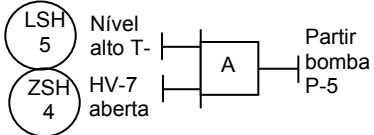
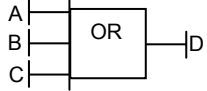
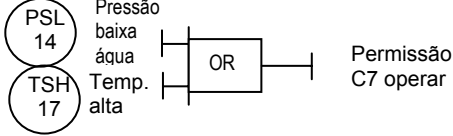
Função	Símbolo	Exemplo
(1) Entrada		<p>A posição partida de uma chave manual HS-1 é atuada para fornecer uma entrada para ligar uma esteira.</p> 
(2) Saída		<p>Uma saída de seqüência lógica comanda a válvula HV-2 para abrir</p> 
(3) AND	<p>A saída lógica D existe se e somente todas as entradas lógicas A, B e C existirem</p> 	<p>Operar bomba se</p> <ol style="list-style-type: none"> nível do tanque estiver alto e válvula de descarga aberta 
(4) OR	<p>Saída lógica D existe se e somente se uma ou mais das entradas lógicas A, B e C existir</p> 	<p>Não permitir operação do compressor se</p> <ol style="list-style-type: none"> pressão água resfriamento for baixa temperatura do mancal for alta 

Fig. 3.24. Símbolos lógicos ISA

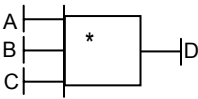
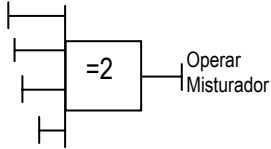
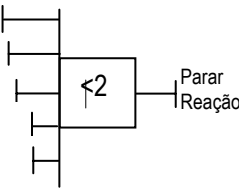
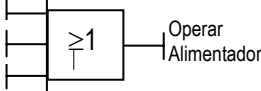
Função	Símbolo	Exemplo
(5) OR Qualificado	<div></div> <p>* Detalhes internos representam quantidades numéricas (ver abaixo)</p> <p>Saída lógica D existe se e somente se um número especificado de entradas lógicas A, B e C existirem.</p> <p>Os seguintes símbolos matemáticos podem ser usados, quando apropriado:</p> <div><div>a. =</div><div>b. ≠</div><div>c. <</div><div>d. ></div><div>e. ≤</div><div>f. ≥</div><div>g. ≤</div><div>h. ≥</div><div>igual a</div><div>não igual a</div><div>menor que</div><div>maior que</div><div>não menor que</div><div>não maior que</div><div>menor ou igual a (como f)</div><div>maior ou igual a (como e)</div></div>	<div><p>Exemplo 1</p><p>Operar misturador se duas e somente duas caixas estiverem em serviço</p><div><div>Caixa 1 em serviço</div><div>Caixa 2 em serviço</div><div>Caixa 3 em serviço</div><div>Caixa 4 em serviço</div><div></div></div></div> <div><p>Exemplo 2</p><p>Parar reator se pelo menos dois dispositivos de segurança solicitarem a parada</p><div><div>Dispositivo 1 atuado</div><div>Dispositivo 2 atuado</div><div>Dispositivo 3 atuado</div><div>Dispositivo 4 atuado</div><div>Dispositivo 5 atuado</div><div></div></div></div> <div><p>Exemplo 3</p><p>Fazer alimentação se, no mínimo um e não mais que 2 moedores estiver em serviço.</p><div><div>Moinho 1 em serviço</div><div>Moinho 2 em serviço</div><div>Moinho 3 em serviço</div><div></div></div></div>

Fig. 3.25. Símbolos lógicos ISA (continuação)

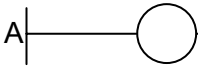
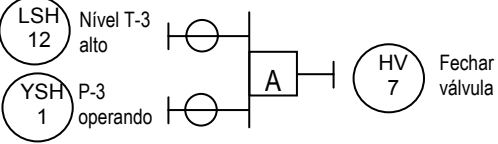
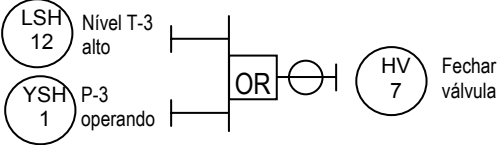
Função	Símbolo	Exemplo
(6) NOT	 <p>Saída lógica B existe se e somente se a entrada A não existir.</p>	<p>Fechar válvula HV-7 quando nível do tanque T-3 não estiver alto e a bomba P-4 não estiver operando</p>  <p>Alternativa de lógica</p> 

Fig. 3.26. Símbolos lógicos ISA (continuação)

Nota Tabela verdade para mostrar equivalência

Entradas		Saída	
LSH 7	YSH 7	HV 7	
		Caso 1	Caso 2
1	1	0	0
1	0	0	0
0	1	0	0
1	0	1	1

Uma lógica 1 implica a existência de uma entrada ou saída e uma lógica 0 é a ausência de um sinal.

Função NOT

A função NOT mostra a equivalência entre uma porta AND com portas NOT em suas entradas e uma porta OR com um único NOT em sua saída.

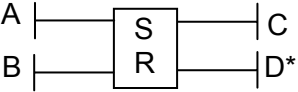
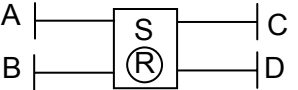
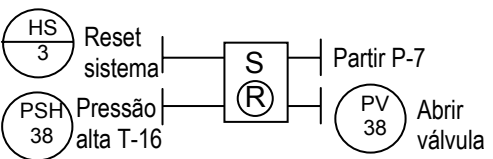
Função	Símbolo	Exemplo
(7) Memória (Flip flop)	 <p>*A saída D não precisa ser mostrada, quando não usada</p> <p>Opção de superposição de entrada</p> <p>Se as entradas A e B existirem simultaneamente e se é desejado ter A anulando B, então S deve ser envolvida em um círculo S. Se B é para anular A, então R deve ser envolvido por um círculo.</p>  <p>Note que a entrada B anula entrada A</p>	<p>S representa set da memória R representa reset da memória A saída lógica C existe tão logo exista a entrada A. C continua a existir, independente do estado subsequente de A, até ser resetada pela entrada lógica B. C permanece terminado, independente do estado subsequente de B, até que a lógica seja resetada por A.</p> <p>A saída lógica D, se usada, existe quando C não existe e D não existe quando C existe.</p> <p>Exemplo</p> <p>Se pressão do tanque T-16 fica alta, abrir o tanque PV-38 para a atmosfera (vent) e continuar ventando independente da pressão, até que a válvula seja fechada por HS-3, desde que a pressão não seja alta. Quando o vent for desligado, a bomba P-7 deve ser ligada.</p> 

Fig. 3.30. Símbolos lógicos ISA de memória
Tabela verdade mostrando a necessidade de override:

Entradas		Saídas	
A	B	C	D
1	1	*	*
1	0	1	0
0	1	0	1
0	0	**	**
1	1	0	1
1	0	1	0
0	1	0	1
0	0	**	**

* Indefinido

** Determinado pelo último sinal de entrada

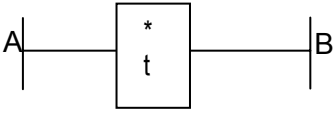
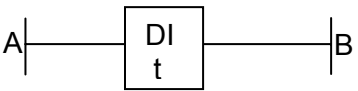
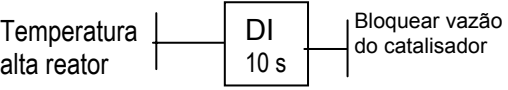
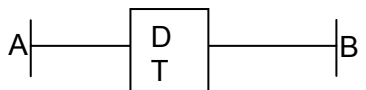
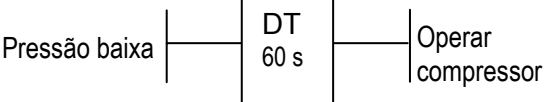
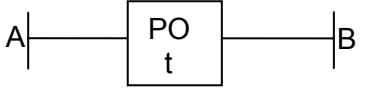
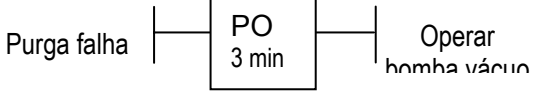
Símbolo	Definição	Exemplo
	<p>A saída lógica B existe com uma relação de tempo para a entrada lógica A. Esta relação de tempo pode assumir várias lógicas.</p>	
	<p>A existência contínua da entrada lógica A durante o tempo t faz a saída B existir quando t expira. B termina quando A termina</p>	<p>Se a temperatura do reator exceder um determinado valor, continuamente durante 10 segundos, bloquear a vazão do catalisador. Recomeçar a vazão, quando a temperatura não exceder este valor.</p>
<p>Inicialização atrasada da saída (Delay Initiation)</p>		
		
	<p>A existência contínua da entrada lógica A faz a saída B existir imediatamente. B termina quando A terminar e não tem ainda existido durante um tempo t.</p>	<p>Se a pressão do sistema cai abaixo de um limite de baixa, operar o compressor ainda. Parar o compressor quando a pressão ficar abaixo do limite continuamente por 1 minuto.</p>
<p>Terminação atrasada da saída (Delay Termination)</p>		
		
	<p>A existência da entrada lógica A, independente de seu estado subsequente, faz a saída B existir imediatamente. B existe durante um tempo t e depois termina.</p>	<p>Se a purga do vaso falha por um período de tempo, operar a bomba de vácuo por 3 minutos e depois parar a bomba.</p>
<p>Saída de pulso</p>		
		

Fig. 3.27. Símbolos lógicos ISA temporizados

Outros símbolos

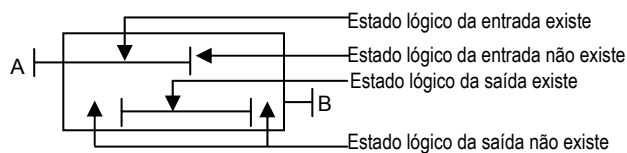
Será mostrado, a seguir, um método geral para diagramar todas as funções de tempo.

e1

O tempo em que a entrada lógica A é iniciada é representado pelo canto esquerdo da caixa. A passagem do tempo é da esquerda para a direita e geralmente não é mostrada em escala.

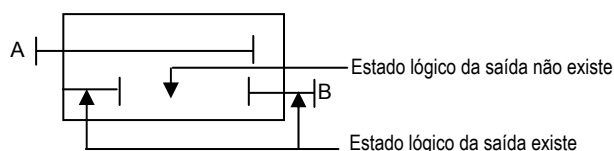
A saída lógica B sempre começa e termina no mesmo estado dentro do bloco temporizado.

Mais de uma saída pode ser mostrada, se necessário.



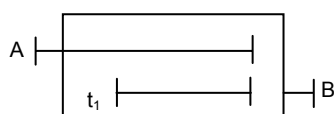
e2

A temporização da lógica pode ser aplicada à existência do estado ou à não existência do estado, como aplicável.



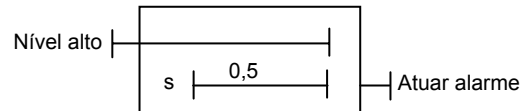
f1

A existência contínua da entrada lógica A pelo tempo t_1 faz a saída lógica B existir quando t_1 expira. B termina quando A termina. (É um temporizador para ligar).



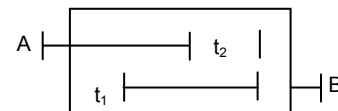
Exemplo

Evitar alarme falso em nível alto, atuando somente se o nível permanece alto continuamente por 0,5 s. O sinal de alarme termina quando não há nível alto.



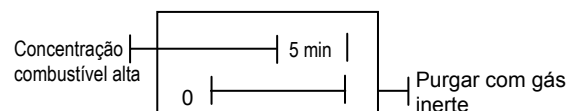
f2

A existência contínua da entrada lógica A pelo tempo t_1 faz a saída lógica B existir quando t_1 expira. B termina quando A tem sido terminado continuamente durante o tempo t_2 .

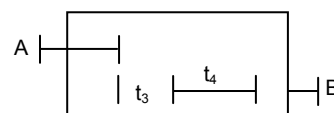


Exemplo

Purgar imediatamente com gás inerte, quando a concentração do combustível ficar alta. Parar a purga quando a concentração não for alta continuamente por 5 minutos.



f3

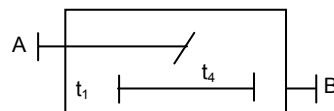
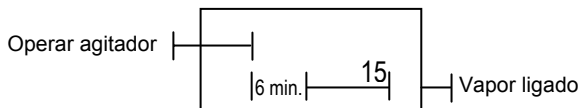


A terminação da entrada lógica A e sua não existência contínua durante o tempo t_3 causa a saída lógica B existir, quando t_3 expirar. B termina quando:

1. B tem existido por um tempo t_4 ou
2. A ainda existe, o que ocorrer primeiro

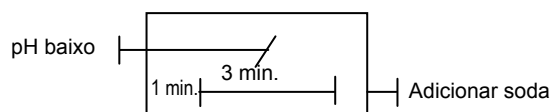
Exemplo

O vapor é ligado durante 15 minutos, começando 6 minutos depois da parada do agitador, exceto que o vapor deve ser desligado se o agitador recomeça.



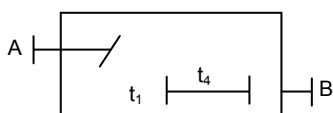
Exemplo

Se o pH ficar continuamente por 1 minuto, adicionar soda cáustica durante 3 minutos.



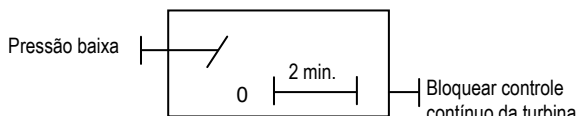
f4

A existência da entrada lógica A, independente de seu estado subsequente, causa a saída lógica B existir quando o tempo t_1 expira. B existe durante o tempo t_4 e depois termina.



Exemplo

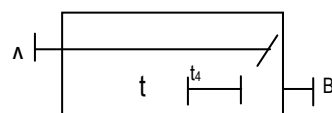
Se a pressão cai para valores baixos momentaneamente, bloquear o controle contínuo da turbina imediatamente, manter por 2 minutos, então liberar a turbina para o controle contínuo.



f6

A existência contínua da entrada lógica A durante o tempo t_1 , causa a saída lógica B existir quando o tempo t_1 expira.

B termina quando ocorrer o primeiro dos seguintes fatos:
tem expirado o tempo t_4 ,
A termina

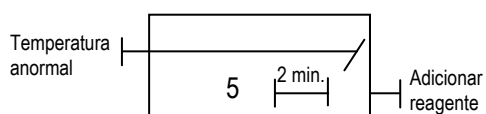


f5

A existência contínua da entrada lógica A durante o tempo t_1 , causa a saída lógica B existir quando o tempo t_1 expira. B existe durante o tempo t_4 , independente do estado subsequente de A e depois termina.

Exemplo

Se a temperatura for normal continuamente por 5 minutos, adicionar reagente por 2 minutos, exceto que o reagente não pode ser adicionado se a temperatura for anormal.



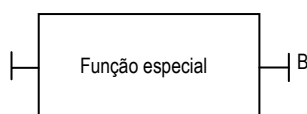
Nota

Para os símbolos f_4 , f_5 , e f_6 , a ação da saída lógica B depende de quanto tempo a entrada lógica A fica continuamente em 1, até a quebra de A. Além da quebra de A, o estado de A não importa para terminar a sequência B.

Se for desejado ter um segmento de tempo B, e.g., t_1 , terminar somente se A existir continuamente, então A deve ser desenhado além deste segmento. Se A é desenhado depois do início mas não além do fim do segmento de tempo, então o segmento será iniciado e vai terminar, independente se A existe somente momentaneamente ou mais tempo.

Função especial

A saída lógica B existe como uma relação da entrada lógica A, como especificado no comando das exigências especiais. O comando pode cobrir uma função lógica diferente das funções especificadas nesta norma ou algum outro sistema lógico definido por aí.



6. Conclusão

O engenheiro de sistema de controle necessita tratar da lógica binária. Binário significa possuir apenas um de dois estados possíveis: **ligado** ou **desligado**, **1** ou **0**. Um sistema lógico sempre apresenta o mesmo conjunto de saídas para o mesmo conjunto de entradas, embora as respostas de saída possam ser modificadas por algum programa interno.

Geralmente a lógica binária é realizada através de relés eletromecânicos ou eletrônicos e atualmente através de Controlador Lógico Programável, sistema que substitui os relés com vantagens. O mesmo diagrama ladder pode ser usado para programar os dois tipos de lógica.

O diagrama lógico binário simplifica e generaliza o simbolismo lógico, além de reduzir o tamanho da dependência do equipamento.

As duas principais fases de realizar um sistema de controle operável são:

conceituação
execução.

A fase de conceituação é independente do equipamento e a fase de execução pode depender do equipamento escolhido para realizar o esquema de controle.

Também, os dois principais tipos de documentação são associados com as duas fases. O documento conceitual tenta representar um esquema de controle abstrato. Seu objetivo é o de ajudar o projetista e a todos que precisam ver o quadro panorâmico, a conceber o esquema necessário para controlar o processo. O documento de execução tem o objetivo de instruir os especialistas como desenvolver especificamente um esquema lógico que já foi definido abstratamente.

O documento conceitual mostra as partes essenciais do processo e a interface do operador. O documento de execução mostra simplesmente as entradas e as saídas. O diagrama ladder é um dos documentos de execução.

Uma boa prática inclui aspectos lógicos e estéticos.

Na diagramação lógica fica mais evidente o provérbio chinês que estabelece que uma figura vale mais que mil palavras.

■

4. Programação Digital

1. Introdução

As linguagens de programação estão tendo cada vez mais funções poderosas. Microprocessadores mais rápidos e poderosos e ambiente gráfico baseado em MS Windows têm sido combinados para permitir aos programadores obter tarefas complexas.

A programação de Controladores Lógico Programáveis (CLP) era originalmente apenas booleana. Um comando era mais ou menos assim: **Se** o contato da chave limite A estiver fechado **E** o contato da chave limite C estiver aberto, **Então** energizar a bobina C. Havia e ainda há linguagens baseadas em texto para acompanhar este programa. O diagrama lógico tipo ladder era considerado ideal para representar a lógica booleana. Este diagrama parece como diagramas lógicos de relés, familiares a eletricitistas, enquanto representando a lógica digital, com contatos em série (AND) ou paralelos (OR).

Isto é conveniente para algumas funções de máquinas, mas é insuficiente quando se quer funções especiais, como matemática, tratamento de entradas e saídas analógicas e comunicação. Para estas exigências, os blocos funcionais são mais adequados. Os editores de programas de diagrama ladder começaram a incorporar uma biblioteca de blocos de função especiais para temporizadores, contadores, matemática, mensagem e outros mais complexos como controle Proporcional, Integral e Derivativo (PID) ou totalizadores de vazão (FQ).

A norma internacional IEC 61131 foi adotada para colocar ordem no caos resultante da proliferação de normas de

programação de CLP. Esta norma tem duas partes:

1. Elementos comuns
2. Linguagens de programação

A primeira parte da norma, Elementos Comuns, define tipos de dados, variáveis, configuração, fontes, tarefas e unidades de organização do programa. Definindo tipos de dados evita erros como dividir um Dado por um Inteiro. Variáveis são somente atribuídas para explicitar endereços de equipamentos em configurações, fontes ou programas para conseguir independência entre equipamento e o programa. Um programa é configurado para um sistema específico de controle e é considerado como uma rede de funções e blocos de função.

Programas, funções e blocos de função são chamados de Unidades de Organização do Programa. A norma IEC 1131-3 definiu funções padrão como: aritméticas (adição, subtração, multiplicação, divisão), seletoras, trigonométricas, condicionadoras de sinais, comparadoras e de tempo.

As linguagens definidas têm sintaxe e semântica definidas, deixando espaço para dialetos personalizados. Funções definidas pelo usuário são permitidas na norma. Uma vez definida, a função pode ser reusada. Blocos de função são equivalentes e circuitos integrados e representam uma função de controle especializada. Blocos de função podem conter dados e algoritmos. Eles têm uma interface bem definida. O programa pode ser escrito em qualquer linguagem definida.

Conforme a norma IEC 1131-3, há duas versões textuais e duas versões gráficas de programação. As textuais são:

1. Lista de Instruções, parecida com código assembler
2. Texto Estruturado, parecida com Pascal.

As linguagens gráficas são:

1. Diagrama Ladder, típico para controle de máquinas e motores
2. Diagrama de Bloco de Funções, comum a indústrias de processos contínuos.

2. Ferramentas auxiliares

Há duas ferramentas gráficas usadas para facilitar a execução de programas, tais como:

1. Fluxograma (*flowchart*)
2. Diagrama de função sequencial (*Sequential Function Chart - SFC*)

Há ainda linguagens especializadas para controle de movimento (robótica, controle numérico) e até a linguagem C é usada como linguagem de controle. Foram desenvolvidas outras linguagens para CLP, cada uma para determinada plataforma ou fabricante. Foram empregados diferentes enfoques para manipular as funções especiais, resultando em uma grande confusão quando se mudava de um fabricante para outro.

2.1 Fluxograma (Flowchart)

O fluxograma (*flowchart*) é um sistema gráfico usado como uma ferramenta de análise de programas e outros diagramas. O fluxograma contém blocos retangulares de ação, losangos para tomada de decisão, a partir de comparação ou verificação de atributos. O fluxograma de programação tem dois elementos básicos: Ação e Ramificação

Um bloco de ação (retângulo) representa uma operação em um dado do sistema. Um bloco de ação tem um ponto de entrada (superior) e uma saída (inferior). O bloco de encaminhamento, (losango) representa um caminho no circuito de controle baseado no resultado de uma decisão. A decisão poder ser

1. a comparação de duas variáveis
2. a comparação de uma variável com uma constante

O bloco de encaminhamento possui uma entrada (superior) e duas saídas, uma lateral e outra inferior.

Os blocos de ação podem ter várias funções lógicas e de controle embutidas. Uma das vantagens da programação através do fluxograma é a disponibilidade de uma biblioteca com controles complexos (controle de movimento, algoritmo PID, comunicação rápida de dados através de Windows NT).

Outras operações disponíveis incluem controle I/O sobre redes da planta, funções booleanas, matemática de alto nível, manipulação de matrizes, funções string, movimento e cópia de dados. Os blocos de ação podem Chamar (Call) uma sub-rotina, executar uma malha (Do), ter funções temporizadas (Wait) e fazer comunicação.

Os blocos de encaminhamento são de comparação e decisão. Uma decisão depende de um Sim (Yes) ou Não (Not) a uma condição: Chave A está fechada? A comparação olha em dois valores para verificar se são maiores que, menores que ou iguais e retorna ao Sim ou Não. A lógica If-Then-Else (Se-Então-Algo mais) pode ser feita facilmente com um bloco de decisão (If) com cada entrada indo para um bloco de ação. Assim, se a chave A estiver fechada, então ligar a bobina C, e além disso, ligar a lâmpada piloto 1. Depois, ligar os dois blocos de ação à próxima ação.

Se o programador de fluxograma conhece melhor o diagrama ladder, é útil fazer a seguinte analogia: bloco de decisão age como contato e bloco de ação age como bobina. Se o contato está fechado (bloco de decisão), então ligar a bobina (bloco de ação).

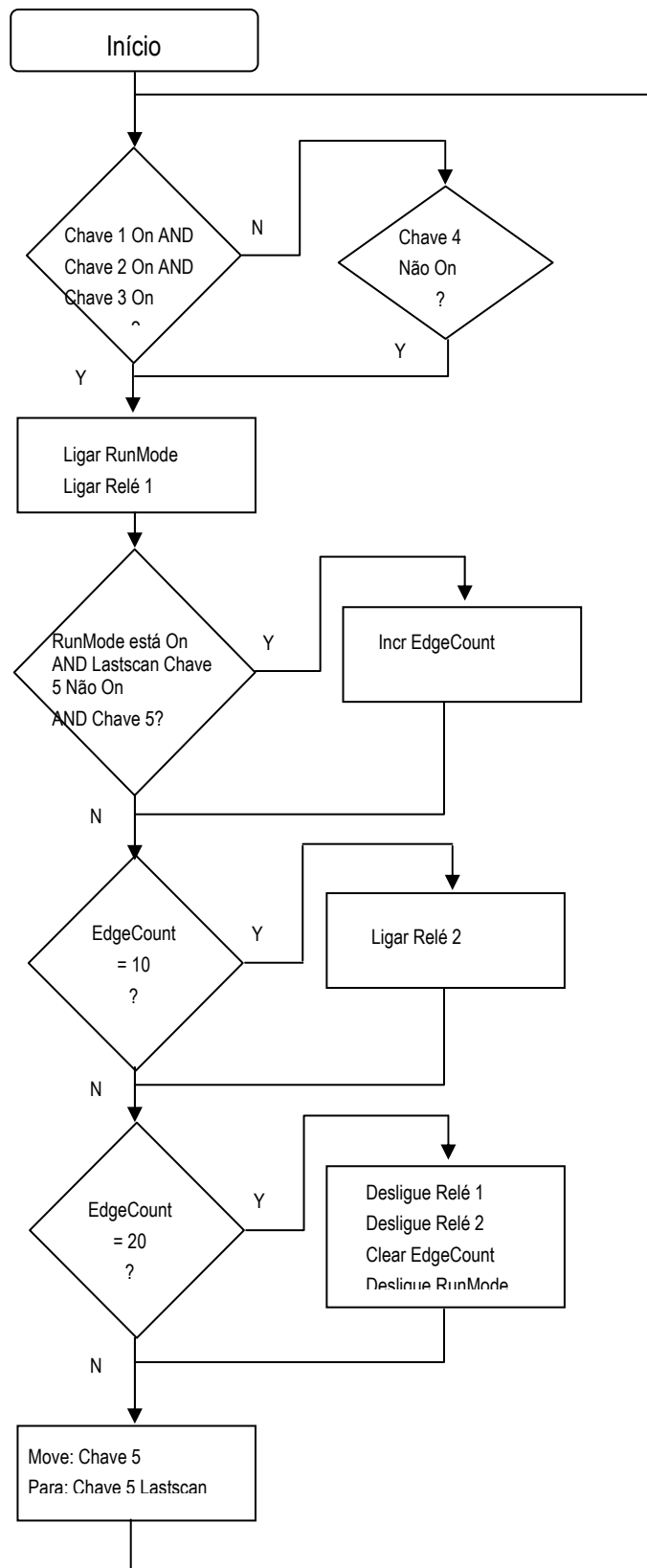


Fig. 4.1. Fluxograma típico

2.2. Diagrama de Função Seqüencial (SFC – Sequential Function Chart)

Conceito

O Diagrama de Função Seqüencial (Sequential Function Chart – SFC) não é considerado uma linguagem mas descreve graficamente o comportamento seqüencial de um programa de controle. Este diagrama é uma estrutura que organiza a utilização do programa de qualquer linguagem, dependendo do editor escolhido e por isso serve como ferramenta auxiliar para desenvolver as linguagens textuais e gráficas.

O Comitê Técnico IEC #3, Subcomitê 3B de Documentação, publicou um método de descrever a função e o comportamento dos sistemas de controle que contenham o projeto conceitual e a descrição da seqüência lógica (IEC Pub. 848-1988).

Desenvolvimento e componentes

O diagrama de função seqüencial é constituído de:

1. Passos,
2. Elos dirigidos (links)
3. Transições

O passo descreve um estado permanente (às vezes, momentânea) de um processo seqüencial. Cada passo representa um estado particular do sistema. Um passo é representado por um retângulo com passos anteriores ligados por uma linha formando um caminho. O primeiro passo tipicamente inicializa o sistema. O elo dirigido mostra a direção do fluxo da lógica.

A transição é usada para mostrar a mudança condicional entre estados permanentes. Uma transição é uma condição, que, quando verdadeira, causa a desativação do passo anterior e ativa o passo seguinte. Uma linha cruzando a linha de ligação entre passos representa uma transição. Há uma transição seguindo cada passo.

Os passos podem ser associados a:

1. Ações
2. Estados
3. Comandos

O bloco de ação dentro de um passo e a transição podem ser programados em qualquer linguagem padrão, ou outras linguagens suportadas pelo editor. Nem todos os editores suportam as quatro linguagens IEC, mas eles podem ser conformes com uma ou mais.

Condições ou comandos para a lógica são associados com transições (Fig. 3.16). Comandos ou ações são qualificados pelas letras símbolo

S (*stored* – armazenado),

D (*delayed* – atrasado),

L (*limited* – limitado em tempo)

P (*pulsed* – pulsado, menor que limitado).

As letras podem ser combinadas (Fig. 4.17). Comandos ou ações podem ser condicionais (letra C), (Fig. 4.18). Condições transitórias podem ser representadas por afirmações textuais, expressões booleanas ou símbolos gráficos (Fig. 4.19).

Uma poderosa capacidade destas cartas de função é que elas podem representar caminhos lógicos paralelos, seleção de seqüência exclusiva (Fig. 4.20) ou seleção de seqüência inclusive (Fig. 2.21).

Na Fig. 4.20 a exclusividade é mostrada pela lógica booleana nas transições.

Na Fig. 4.21 a simultaneidade é mostrada pelas linhas duplas, especialmente as mais baixas. Neste caso, a transição c não é habilitada até que os passos 09 e 10 sejam ativados ao mesmo tempo. Assim, e somente assim, a transição pode ser terminada.

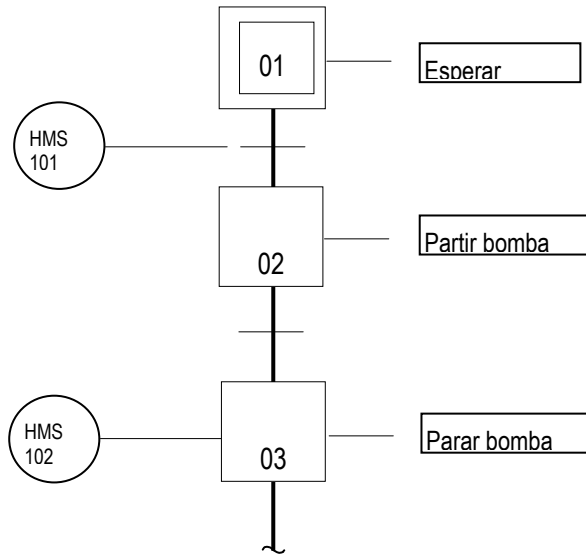


Fig. 4.15. Comandos para e da lógica

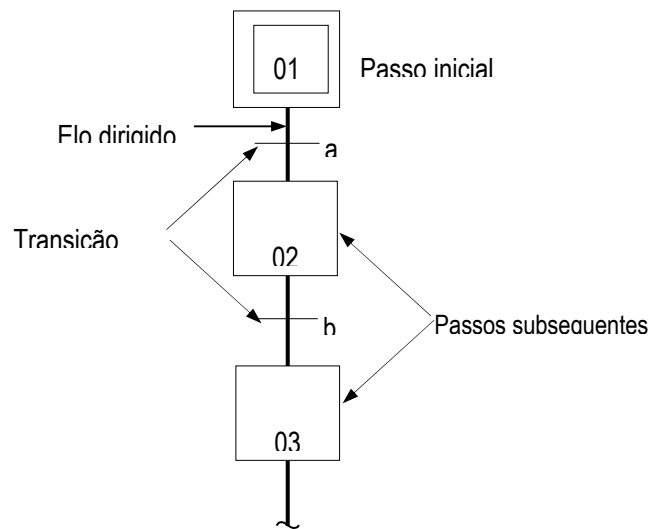


Fig. 4.16. Passos, elos dirigidos e transições

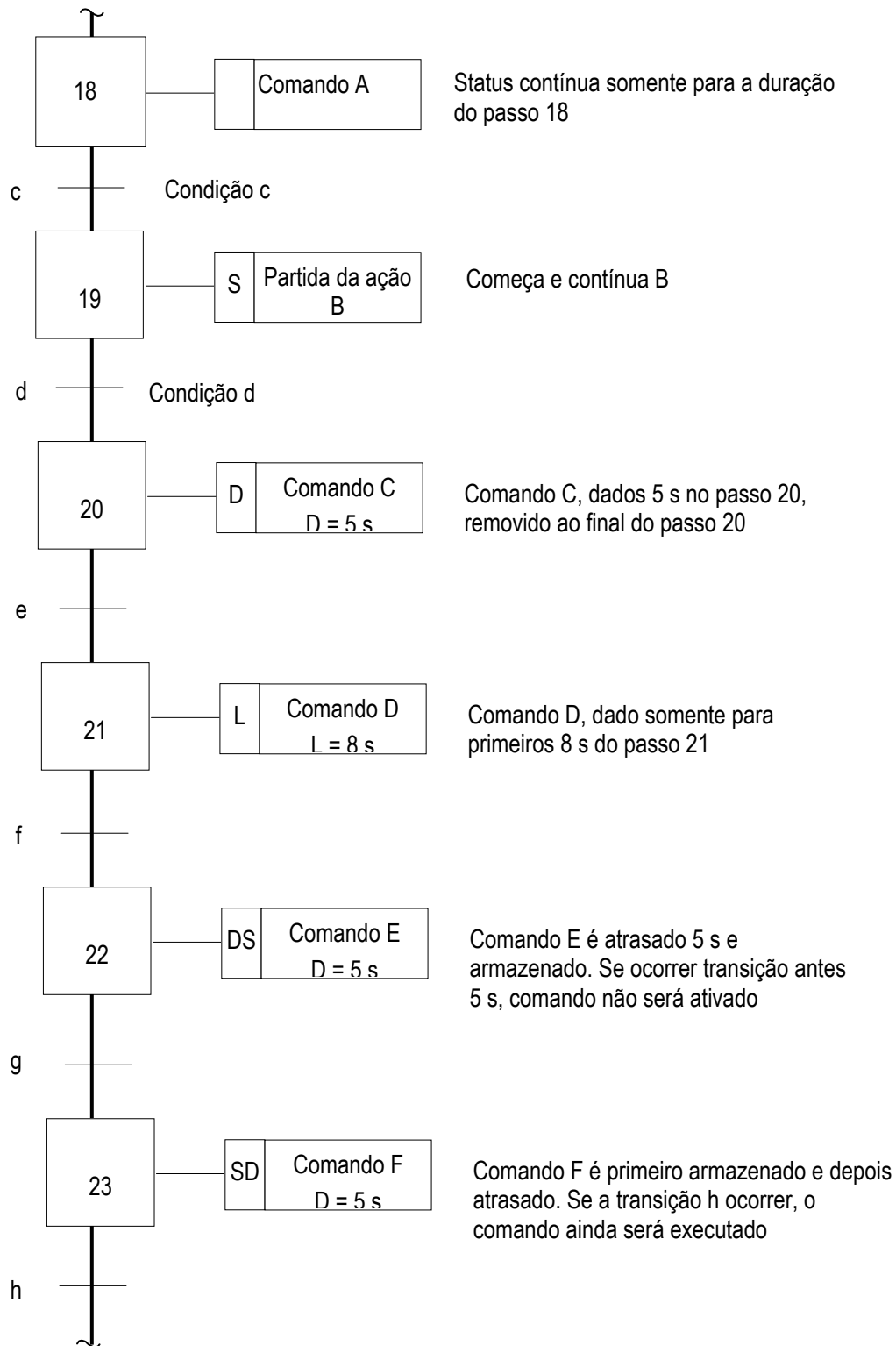


Fig. 4.17. Combinações de comandos ou ações

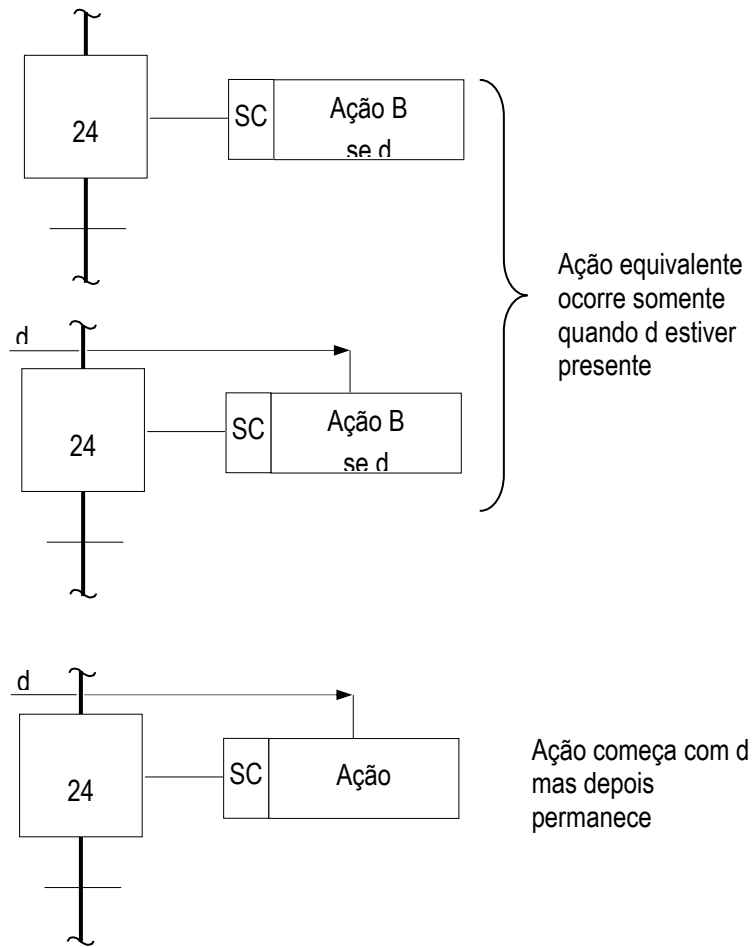


Fig.4.18. Comandos condicionais

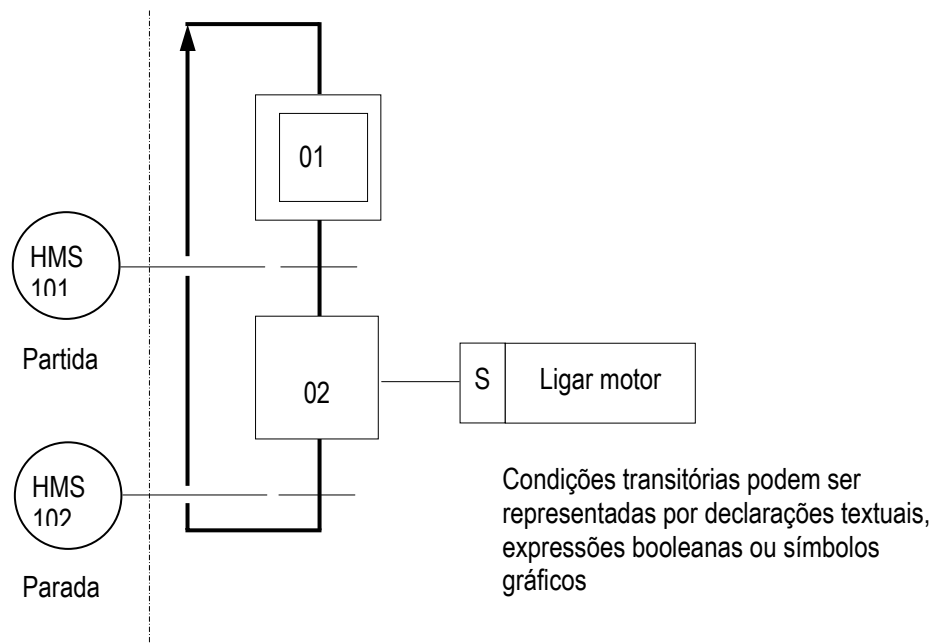


Fig. 4.19. Condições transitórias

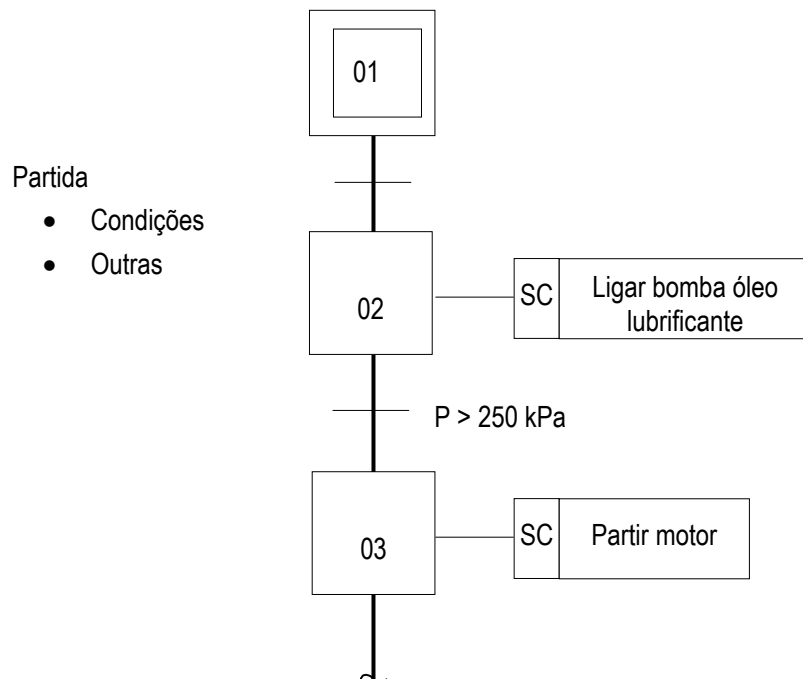


Fig. 4.20. Condições

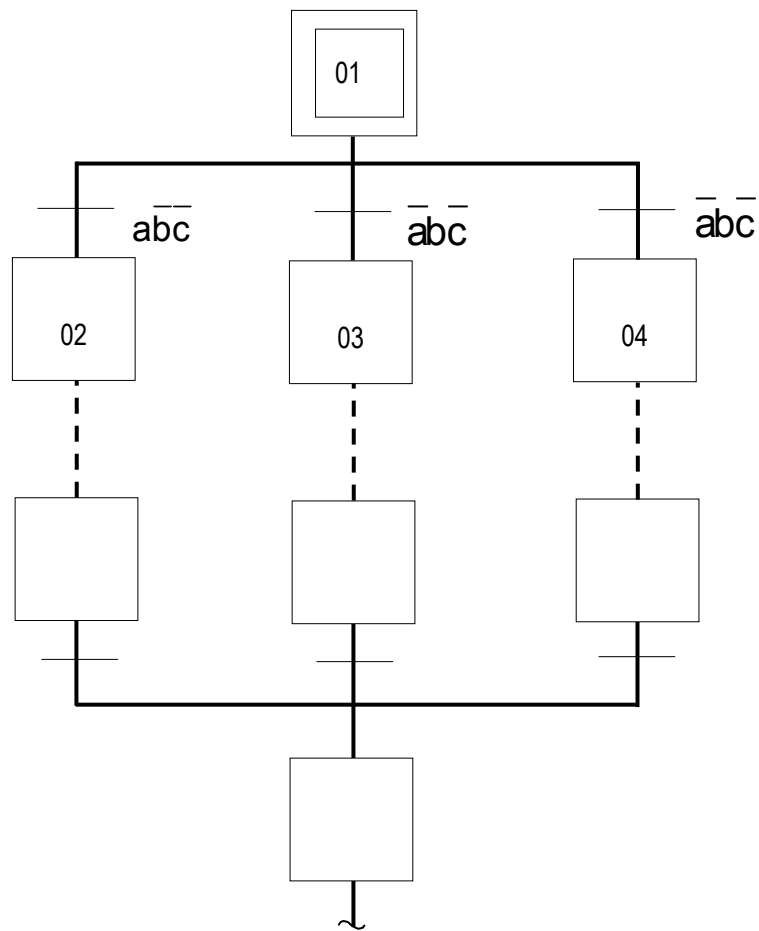


Fig. 2.21. Caminhos paralelos: seleção de seqüência exclusiva

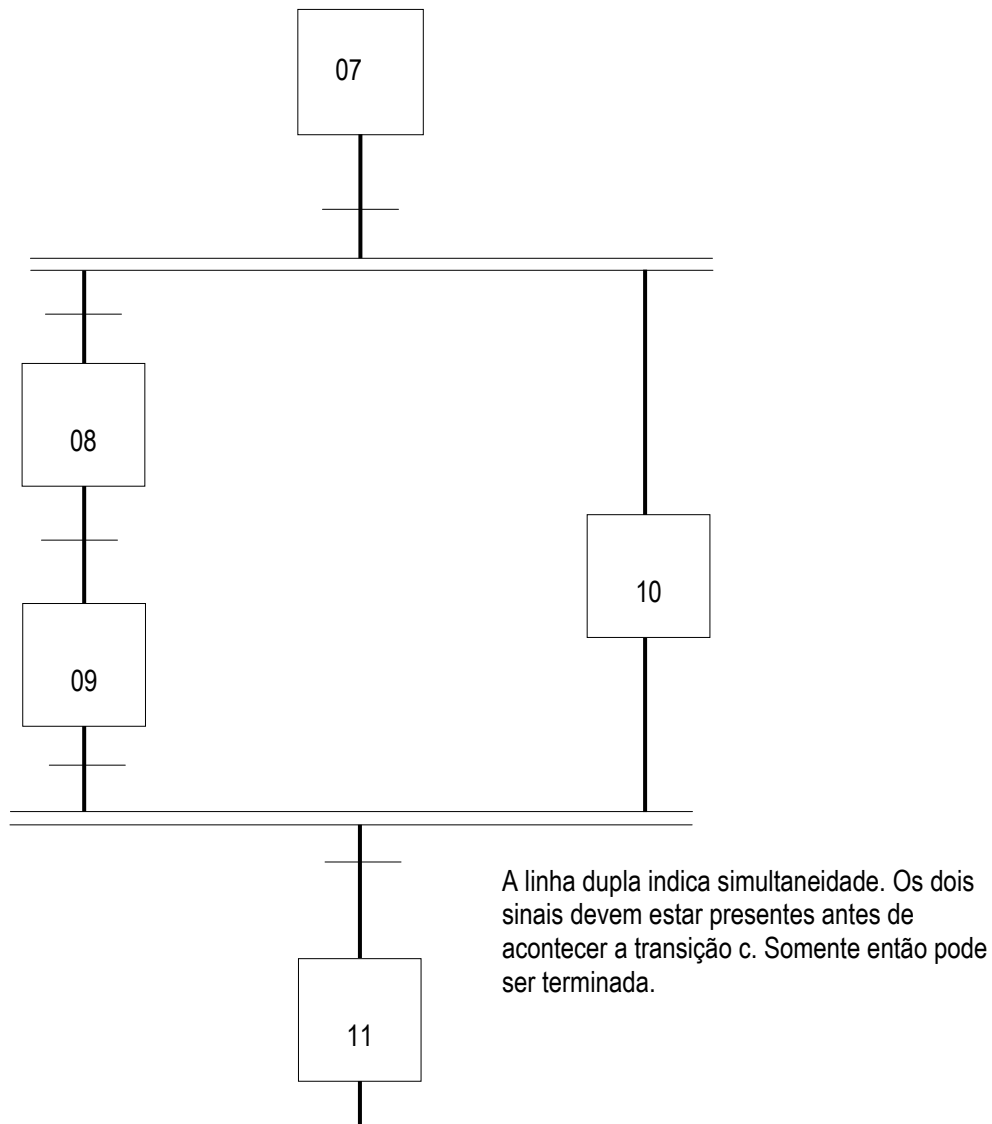


Fig. 2.22. Caminhos paralelos: seleção de seqüência inclusiva

3. Linguagens Textuais

As linguagens textuais definidas na norma IEC 1131-3 são

1. Lista de Instruções (IL - Instruction List)
2. Texto Estruturado (ST – Structured Text).

Os elementos do diagrama de função sequencial (SFC) da norma podem ser usados em conjunto com qualquer uma destas linguagens.

3.1. Elementos comuns

Os elementos textuais especificados na norma devem ser comuns com as linguagens textuais (IL e ST). Em particular, os seguintes elementos de estrutura de programa devem ser comuns com as linguagens textuais.

TYPE...END_TYPE	(2.3.3)
VAR...END_VAR	(2.4.3)
VAR_INPUT...END_VAR	(2.4.3)
VAR_OUTPUT...END_VAR	(2.4.3)
VAR_IN_OUT...END_VAR	(2.4.3)
VAR_EXTERNAL...END_VAR	(2.4.3)
FUNCTION...END_FUNCTION	(2.5.1.3)
FUNCTION_BLOCK...END_FUNCTION_BLOCK	(2.5.2.2)
PROGRAM...END_PROGRAM	(2.5.3)
STEP...END_STEP	(2.6.2)
TRANSITION...END_TRANSITION	(2.6.3)
ACTION...END_ACTION	(2.6.4)

3.2. Lista de Instruções

A norma define a semântica e sintaxe formal da linguagem Lista de Instruções de modo detalhado.

Instruções

Uma lista de instruções é composta de uma sequência de instruções. Cada instrução deve começar em uma nova linha e deve conter um operador com modificadores opcionais e, se necessário para a operação particular, um ou mais operandos separados por vírgulas. Operandos podem ser qualquer representação de dados definida para literais e para variáveis.

A instrução pode ser precedida por uma etiqueta de identificação seguida por

dois pontos (:). Um comentário, se necessário e presente, deve ser o último elemento na linha. Linhas vazias podem ser inseridas entre instruções.

Tab. 51 - Exemplos de campos de instrução

Etiqueta	Operador	Operando	Comentário
START	LD	%IX1	(* PUSH BUTTON *)
	ANDN	%MX5	(* NOT INHIBITED *)
	ST	%QX2	(* FAN ON *)

Operadores, Modificadores e Operandos

Operadores padrão com seus modificadores permitidos e operandos estão listados na norma.

A não ser que seja definido diferente, a semântica do operador deve ser a seguinte:

result := result OP operando

Isto é, o valor da expressão sendo calculada é substituído por seu valor corrente operado pelo operador com relação ao operando. Por exemplo, a instrução AND%IX1 é interpretada como:

result := result AND %IX1

Os operadores de comparação devem ser interpretados com o resultado corrente à esquerda da comparação e o operando à direita., com um resultado booleano. Por exemplo, a instrução GT %IW10 terá o resultado booleano igual a 1, se o resultado corrente for maior do que o valor da palavra de entrada 10 e o resultado sejam zero, nos outros casos.

O modificador N indica a negação booleana do operando. Por exemplo, a instrução ANDN %IX2 é interpretada como

result := result AND NOT %IX2

O modificador *abre parêntesis* ou *parentização*, “(“ indica que o cálculo do operador deve ser adiado até que o operador *fecha parêntesis* “)” seja encontrado, e.g., a sequência de instruções

```
AND ( %IX1
OR   %IX2
)
```

deve ser interpretada como

```
result := result AND( %IX1 OR %IX2)
```

O modificador **C** indica que a instrução associada deve ser executada somente se o valor do resultado atualmente calculado seja o booleano 1 (ou booleano 0 se o operador é combinado com o modificador **N**)

Tab. 52 – Características de invocação do bloco de função para linguagem IL

No.	Descrição – Exemplo
1	CAL com lista de entrada CAL C10(CU := %IX10m PV :=15)
2	CAL com carga ou entradas de armazenagem:
	LD 15
	ST C10 . PV
	LD %IX10
	ST C10.CU
	CAL C10
3	Uso de operadores de entrada
	LD 15
	PV C10
	LD %IX10
	CU C10
Nota: Uma declaração como VAR C10 : CTU ; END_VAR é assumida nos exemplos acima	

Tab. 5 – Operadores de entrada padrão do bloco de função para linguagem IL

No.	Operadores	Tipo FB	Reference
4	S1,R	SR	2.5.2.3.1
5	S,R1	RS	2.5.2.3.1
6	CLK	R TRIG	2.5.2.3.2
7	CLK	F TRIG	2.5.2.3.2
8	CU,R,PV	CTU	2.5.2.3.3
9	CD,LD,PV	CTD	2.5.2.3.3
10	CU,CD,R,LD,PV	CTUD	2.5.2.3.3
11	IN. PT	TP	2.5.2.3.4
12	IN,PT	TON	2.5.2.3.4
13	IN,PT	TOF	2.5.2.3.4

Funções e blocos de função

Funções devem ser invocadas pela colocação do nome da função no campo do operador. O resultado corrente deve ser usado como o primeiro argumento da função. Argumentos adicionais, se requeridos, devem ser dados no campo do operando. O valor retornado pela função depois da execução bem sucedida de uma instrução RET ou depois de atingir o fim físico da função deve se tornar o *resultado corrente*.

Blocos de Função podem ser invocados condicional ou incondicionalmente via operador CAL (chamada – call). Como mostrado na norma, esta invocação pode ser de três formas diferentes, como mostrado na **Tab. 53**.

Tab. 52 – Operadores da linguagem Lista de Instruções (IL)

No	Operador	Modificador	Operando	Semântica
1	LD	N	Nota 2	Estabelece o resultado corrente igual ao operando
2	ST	N	Nota 2	Armazena o resultado corrente para o local do operando
3	S R	Nota 3 Nota 3	BOOL BOOL	Coloca o operando booleano igual a 1 Coloca o operando booleano igual a 0
4	AND	N, (	BOOL	Booleano AND
5	&	N, (	BOOL	Booleano AND
6	OR	N, (	BOOL	Booleano OR
7	XOR	N, (	BOOL	Booleano OR Exclusivo
8	ADD	(	Nota 2	Adição
9	SUB	(	Nota 2	Subtração
10	MUL	(	Nota 2	Multiplicação
11	DIV	(	Nota 2	Divisão
12	GT	(	Nota 2	Comparação : >
13	GE	(	Nota 2	Comparação : >=
14	EQ	(	Nota 2	Comparação : =
15	NE	(	Nota 2	Comparação : <>
16	LE	(	Nota 2	Comparação : <=
17	LT	(	Nota 2	Comparação : <
18	JMP	C, N	LABEL	Salte para label
19	CAL	C, N	NAME	Chama o bloco de função (Nota 4)
20	RET	C, N		Retorna da função chamada ou bloco de função
21	)	C, N		Avalia a operação adiada

Notas:

1. Ver explicação dos modificadores e avaliação das expressões (3.2.2)
2. Estes operadores devem ser sobrecarregados ou entrados conforme a norma (2.5.1.4). O resultado corrente e o operando devem ser do mesmo tipo
3. Estas operações são feitas se e somente se o valor do resultado corrente é o booleano 1.
4. O nome do bloco de função é seguido de um argumento entre parêntesis (3.2.3)
5. Quando uma instrução JMP é contida em uma construção ACTION...END_ACTION, o operando deve ser um label dentro da mesma construção.

Tab. 55. Operadores da Linguagem de Texto Estruturado

No	Operação	Símbolo	Precedência
1	Parêntesis	(Expressão)	Mais alta
2	Avaliação da função	Identificador (lista de argumentos)	
	Exemplos	LN(A), MAX(S,Y), etc.	
3	Exponenciação	**	
4	Negação	-	
5	Complemento	N	
6	Multiplicação	*	
7	Divisão	/	
8	Módulo	MOD	
9	Soma	+	
10	Subtração	-	
11	Comparação	<, >, <=, >=	
12	Igualdade	=	
13	Desigualdade	<>	
14	Booleana AND	&	
15	Booleana AND	AND	
16	Booleana OR Exclusivo	XOR	
17	Booleana OR	OR	Mais baixa
<p>Notas:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. As mesmas restrições se aplicam aos operandos destes operadores quando as entradas das funções correspondentes definidas em 2.5.1.5 2. O resultado da avaliação da expressão A**B deve ser o mesmo que o resultado da avaliação da função EXPT(A, B) 			

Tab. 56 – Comandos da linguagem Texto Estruturado

No.	Tipo de comando (Referencia)	Exemplos
1	Atribuição (3.3.2.1)	A := B; CV := CV+1 ; C := SIN(X) ;
2	Invocação do bloco de função e uso da saída do bloco de função	CMD_TMR(IN := %IX5. PT := T#300ms) ; A:= CMD_TMR.Q ;
3	RETURN (3.3.2.2)	RETURN;
4	IF (3.3.2.3)	D:=.B*B – 4*A*C; IF D < 0.0 THEN NROOTS := 0 ; ELSIF D := 0.0 THEN NROOTS :=1; X1 := - B/ (2.0*A) ;. ELSE NROOTS := 2 ; X1 := (-B+SQRT(D))/(2.0*A) ; X2 := (-B-SQRT(D))/(2.0*A) ; END_IF ;
5	CASE (3.32.3)	TW := BCD_TO_INT(THUMBWHEEL) ; TW_ERROR := 0 ; CASE TW OF 1.5 : DISPLAY := OVEN_TEMP ; 2 : DISPLAY := MOTOR_SPEED ; 3 : DISPLAY:= GROSS_TARE ; 4.6..10: DISPLAY := STATUS (TW-4) ; ELSE DISPLAY:= 0 ; TW_ERROR := 1 ; END_CASE ; QW100 := INT_TO_BCD(DISPLAY) ;
6	FOR (3.3.2.4)	J := 101 ; FOR 1:= 1 TO 100 BY 2 DO IF WORDS[I] = 'KEY' THEN J:=1; EXIT; END IF ; END FOR ;
7	WHILE (3.3.2.4)	J:= 1 ; WHILE J <= 100 & WORDS[J] <> 'KEY' DO J:-J+2; END_WHILE ;
8	REPEAT;	J: =-1 ; REPEAT J:= J+2; UNTIL J := 101 OR WORDS[JJ = 'KEY' END_REPEAT
9	EXIT (3.3.2.4)	EXIT;
10	Comando vazio	;

3.3. Linguagem de Texto Estruturado

A norma define a semântica e sintaxe da linguagem Texto Estruturado. Nesta linguagem, o fim da linha de texto deve ser tratado do mesmo modo que o caractere espaço (SP – space).

Expressões

Uma expressão é uma construção que, quando executada, fornece um valor correspondente a um dos tipos de dados definidos na norma.

Expressões são compostas de operadores e operandos. Um operando pode ser

1. um literal
2. uma variável
3. uma invocação de função
4. outra expressão

Os operadores da linguagem de Texto Estruturado estão resumidos na norma. A avaliação de uma expressão consiste em aplicar o operador ao operando, em uma sequência definida pela precedência do operador. O operador com precedência mais alta em uma expressão deve ser aplicado primeiro, seguido pelo operador da próxima precedência mais baixa, até completar a avaliação. Operadores de igual precedência devem ser aplicadas como escrito na expressão, da esquerda para a direita. Por exemplo, se A, B, C e D são do tipo INT com valores 1, 2, 3 e 4, respectivamente, então:

$$A+B-C*ABS(D)$$

deve ser avaliado como -9 e

$$(A+B-C)*ABS(D)$$

deve ser avaliado como 0.

Quando um operador tem dois operandos, o operando mais à esquerda deve ser avaliado primeiro. Por exemplo, na expressão

$$\text{SIN}(A)*\text{COS}(B)$$

A expressão $\text{SIN}(A)$ deve ser avaliada primeira, seguida por $\text{COS}(B)$, seguida pela avaliação do produto dos dois.

Expressões booleanas devem ser avaliadas somente para a extensão necessária para determinar o valor resultante. Por exemplo, se $A \leq B$, então somente a expressão $A > B$ seria avaliada para determinar que o valor da expressão

$$A > B \& (C < D)$$

é o booleano 0.

Funções devem ser invocadas como elementos de expressões consistindo do nome da função seguido pelo argumento entre parêntesis.

Quando um operador em uma expressão pode ser representado como uma das funções sobrecarregadas, a conversão dos operadores e resultados devem ser as regras e exemplos dados na norma.

Comando (Statement)

Os tipos de comandos da linguagem de texto estruturado são sumarizados na **Tab. 56**. O comando deve ser terminado por ponto de vírgula (;).

Comando de atribuição (assignment statement)

O comando de atribuição substitui o valor corrente de uma variável simples ou multi-elemento pelo resultado da avaliação de uma expressão. Ele consiste de uma variável de referência à esquerda, seguida pelo operador de atribuição “:=”, seguido pela expressão a ser avaliada. Por exemplo, o comando

$$A := B ;$$

Deve ser usado para substituir o valor do dado de uma variável A pelo valor corrente da variável B, se ambos forem do tipo INT. Porém, se ambos A e B forem do tipo ANALOG_CHANNEL_CONFIGURATION, então os valores de todos os elementos da variável estruturada A devem ser substituídos pelos valores correntes dos elementos correspondentes da variável B.

Como ilustrado na fig. 6, o comando atribuição pode ser também usado para atribuir o valor a ser retornado pela função, colocando nome da função para a esquerda de um operador de atribuição no corpo da declaração da função. O valor

retornado pela função deve ser o resultado da avaliação mais recente de tal atribuição. É um erro retornar da avaliação de uma função com a saída ENO diferente de zero, a não ser que, no mínimo, tal atribuição tenha sido feita.

Comandos de controle de função e blocos de função

Comandos de controle de função e blocos de função consistem de mecanismos para invocar blocos de função e para controlar o retorno da entidade de invocação, antes do fim físico de uma função ou bloco de função.

A avaliação da função deve ser invocada como parte da avaliação de expressão.

Blocos de função devem ser invocados por um comando consistindo do nome do bloco de função, seguido por uma lista de atribuições de valores de parâmetros de entrada entre parêntesis, como mostrado na **Tab. 56**. A ordem em que os parâmetros de entrada são listados em uma invocação de bloco de função não é importante. Não é necessário que todos os parâmetros de entrada tenham valores atribuídos em cada invocação de um bloco de função. Se um determinado parâmetro não tem atribuído um valor em uma invocação de bloco de função, será aplicado o valor atribuído anterior (ou o valor inicial, se não houver nenhum anterior definido).

O comando RETURN dá a saída de uma função ou bloco de função, e.g., como o resultado da avaliação de um comando IF.

Comando de Seleção

Os comandos de seleção incluem o IF e CASE. Um comando de seleção escolhe um ou um grupo de seus comandos componentes para execução, baseado em uma condição especificada. Exemplos de comandos de seleção são dados na **Tab. 56**.

O comando IF especifica que um grupo de comandos deve ser executado somente se a expressão booleana associada é verdadeira (resultado da avaliação é 1). Se a condição é falsa, então nenhum outro comando é executado ou o grupo de

comando seguindo o ELSE (senão) é executado.

O comando CASE consiste de uma expressão que avalia variáveis do tipo INT e uma lista de grupos de comando, cada grupo sendo identificado por um ou mais inteiros ou faixas de valores inteiros. Ele especifica que o primeiro grupo de comandos, uma destas faixas contém o valor computado pelo seletor, deve ser executado. Se o valor do seletor não ocorre em uma fase de qualquer caso, a seqüência do comando seguindo a palavra chave ELSE, caso ela ocorra, deve ser executada. Nos outros casos, nenhuma das seqüências de comandos é executada.

Comandos iterativos

Comandos iterativos especificam que o grupo de comandos associados deve ser executado repetidamente. O comando FOR é usado se o número de iterações pode ser determinado a priori, nos outros casos, as construções WHILE (enquanto) ou REPEAT (repetir) são usadas.

O comando EXIT (sair) deve ser usado para terminar iterações antes que a condição de terminação seja satisfeita.

Quando o comando EXIT é localizado dentro de construções iterativas encadeadas, a saída será da malha mais interna em que o EXIT esteja localizado, isto é, o controle passa para o comando seguinte depois do terminados da primeira malha (END_FOR, END_WHILE ou END_REPEAT) seguindo o comando EXIT. Por exemplo, depois de executar os comandos mostrados na **Fig. 22**, o valor da variável SUM deve ser 15, se o valor da variável booleana FLAG é 0 e 6 se FLAG = 1.

```
SUM := 0 ;
FOR I := 1 TO 3 DO
    FOR J := 1 TO 2 DO
        IF FLAG THEN EXIT ;
    END_IF
    SUM := SUM + J
END_FOR ;
SUM := SUM + i ;
END_FOR :
```

Fig. 22 – Exemplo do comando EXIT

O comando FOR indica que a seqüência de comandos deve ser executada repetidamente, até a palavra chave END_FOR enquanto a progressão dos valores é atribuída para a variável de controle da malha FOR. A variável de controle, valor inicial e valor final devem ser expressões do mesmo tipo de inteiro (SINT, INT ou DINT) e não podem ser alteradas por qualquer um dos comandos repetidos. O comando FOR incrementa a variável de controle para cima ou para baixo de um valor inicial até um valor final, em incrementos determinados pelo valor de uma expressão; este valor default é 1. O teste para a condição de terminação é feito no início de cada iteração, de modo que a seqüência de comando não é executada se o valor inicial excede o valor final. O valor da variável de controle depois de terminar a malha FOR é dependente da implementação.

Um exemplo do uso do comando FOR é dado na característica 6 da **Tab. 56**. Neste exemplo, a malha FOR é usada para determinar o índice J da primeira ocorrência (se existir) do string KEY nos elementos de número ímpar de uma matriz de strings WORDS com uma faixa de índice de 1 a 100. Se nenhuma ocorrência é verificada, J terá o valor 101.

O comando WHILE causa a sequência de comandos até a palavra chave END_WHILE ser executada repetidamente até a expressão booleana associada ser falsa. Se a expressão é inicialmente falsa, então o grupo de comandos não é executado. Por exemplo, FOR..._END_FOR pode ser reescrito usando o WHILE...END_WHILE, como mostrado em **Tab. 56**.

Os comandos WHILE e REPEAT não podem ser usados para conseguir a sincronização dentro do processo, por exemplo, como uma *malha* WAIT com uma condição de terminação determinada externamente. Os elementos do diagrama de função seqüencial são usados com este objetivo.

É um erro que viola a norma ter um comando WHILE ou REPEAT em um algoritmo para que a satisfação da condição de terminação da malha ou execução de um comando EXIT não possa ser garantida.

4. Linguagens Gráficas

4.1. Elementos comuns

Há elementos comuns aplicados às duas linguagens gráficas (Diagrama Ladder e Diagrama de Bloco de Função) e à representação de função seqüencial.

Representação de linhas e blocos

Nº	Característica	Exemplo
1	Linha horizontal: caractere menos	-----
2	Linha vertical: caractere linha vertical	|
3	Conexão horizontal-vertical: sinal mais	<pre> | -----+----- | </pre>
4	Cruzamento de linha sem conexão	<pre> | -----+----- | </pre>
5	Cantos ligados e não ligados	<pre> | | -----+-----+----- | | -----+--+ +----- | | | </pre>
6	Blocos com linhas de conexão	<pre> | +-----+ ----+-----+ ----| |--- ----| | +-----+ | </pre>
7	Conexão com caracteres: Conector Continuação da linha de um conector	<pre> ----->OTTO> >OTTO>----- </pre>

Direção do fluxo em circuitos

Um circuito é definido como um conjunto máximo de elementos gráficos interligados, excluindo as linhas verticais à esquerda e à direita no diagrama ladder.

Fluxo de potência – análogo ao fluxo de potência em um sistema com relés eletromagnéticos, tipicamente usado em diagramas ladder. O fluxo de potência em uma linguagem de diagrama ladder deve ser da esquerda para a direita.

Fluxo de sinal - análogo ao fluxo de sinais entre elementos de um sistema de processamento de sinais, tipicamente usado em diagrama de bloco de função. O fluxo de sinal em uma linguagem de diagrama de bloco de função deve ser da saída (lado direito) de um bloco de função para a entrada (lado esquerdo) da função ou do bloco de função assim ligado.

Fluxo de atividade – usado em diagrama de função seqüencial. O fluxo de atividade dos elementos de diagrama de função seqüencial deve ser do fundo de um passo através da transição apropriada para o topo do passo sucessor correspondente.

Avaliação de circuitos

A ordem em que os circuitos e seus elementos são avaliados não é necessariamente a mesma ordem em que eles são identificados ou mostrados. Não é necessário que os circuitos sejam avaliados antes da avaliação de um dado circuito possa ser repetido. As seguintes regras devem ser obedecidas:

1. Nenhum elemento de um circuito deve ser avaliado até que os estados de todas as entradas tenham sido avaliados.
2. A avaliação de um elemento de circuito não é completada até que os estados de todas as suas saídas tenham sido avaliados.
3. A avaliação de um circuito não é completada até que as saídas de todos os seus elementos tenham sido avaliadas, mesmo se o circuito contenha um dos elementos de controle de execução definidos em 4.1.4.

Existe um caminho de realimentação em um circuito quando a saída de uma função ou bloco de função é usada como entrada para uma função ou bloco de função que o precede no circuito; a variável associada é chamada de variável de realimentação.

Elementos de controle de execução

Os elementos gráficos da transferência do controle do programa nas linguagens gráficas são definidos na norma.

O jump (salto) deve ser mostrado por uma linha de sinal booleano terminada em uma dupla seta (>>). A linha de sinal para uma condição de jump deve originar em

1. variável booleana,
2. saída booleana de uma função ou bloco de função
3. linha de fluxo de potência de um diagrama ladder

Uma transferência de controle de controle para a identificação do circuito designado deve ocorrer quando o valor booleano da linha de sinal for 1 (verdadeiro), assim, o jump incondicional é um caso especial do jump condicional.

O alvo de um jump deve ser uma etiqueta do circuito dentro da unidade de organização do programa, dentro da qual ocorre o jump. Se o jump ocorre dentro de uma construção ACTION...END_ACTION, o alvo do jump deve estar dentro da mesma construção.

Retornos condicionais de funções e blocos de função devem ser implementados usando uma construção RETURN. A execução do programa será transferida de volta para a entidade de invocação, quando a entrada booleana for 1 (verdadeiro) e deve continuar no modo normal quando a entrada booleana for 0 (falso). Retornos incondicionais devem ser fornecidos pelo fim físico da função ou bloco de função ou pelo elemento RETURN ligado ao lado esquerdo da linguagem ladder.

Serão vistas a seguir, com detalhes, as duas programações gráficas mais usadas na programação de CLP:

1. Diagrama Ladder
2. Diagrama de bloco funcional

Definições

(Cfr. Norma IEC 1131-3)

Absoluto, tempo

A combinação do tempo do dia e data.

Ação

Uma variável booleana ou uma coleção de operações a serem feitas, junto com uma estrutura de controle associada (2.6.4)

Ação, bloco de

Um elemento de linguagem gráfica que utiliza uma variável de entrada booleana para determinar o valor de uma variável de saída booleana ou a condição que habilita uma ação de acordo com uma estrutura de controle predeterminada (2.6.4.5).

Acesso, caminho de

Associação de um nome simbólico com uma variável para o objetivo de comunicação aberta.

Agregado

Uma coleção estruturada de objetos de dados, formando um tipo de dado.

Argumento

Mesmo que parâmetro de entrada ou parâmetro de saída.

Avaliação (evaluation)

O processo de estabelecer um valor para uma expressão ou uma função ou para as saídas de um circuito ou bloco de função, durante a execução do programa.

Atribuição (assignment)

Um mecanismo para dar um valor a uma variável ou para um agregado.

Base, número

Um número representado em uma base específica diferente de 10.

Biestável, bloco de função

Bloco de função com dois estados biestáveis, controlado por uma ou mais entradas.

Bit string

Um elemento de dado consistindo de um ou mais bits.

Bloco de função, tipo

Um elemento de linguagem de programação de controlador lógico programável consistindo de:

1. definição de uma estrutura de dado particionada em entrada, saída e variáveis internas
2. um conjunto de operações a serem executadas nos elementos da estrutura de dados, quando uma instância do tipo bloco de função é invocada.

Bloco de função, diagrama

Um ou mais circuitos de funções representadas graficamente, blocos de função, elementos de dados, etiquetas e elementos de ligação.

Call

Uma construção de linguagem para invocar (chamar) a execução de uma função ou bloco de funções.

Canto de descida (falling edge)

A mudança de 1 para 0 de uma variável booleana.

Canto de subida (rising edge)

A mudança de 0 para 1 de uma variável booleana.

Character string

Um agregado que consiste de uma sequência ordenada de caracteres.

Chave palavra (keyword)

Uma unidade léxica que caracteriza um elemento de linguagem, e.g., “IF”.

Comentário

Uma construção de linguagem para a inclusão de texto em um programa e não tendo impacto na execução do programa.

Compilar

Transladar uma unidade de organização de programa ou especificação de dados em sua linguagem de máquina equivalente ou em forma intermediária.

Configuração

Um elemento de linguagem correspondendo a um sistema de controlador lógico programável.

Contador, bloco de função

Um bloco de função que acumula um valor para o número de variações sentidas em uma ou mais entradas especificadas.

Corpo (body)

Porção de uma unidade de organização de programa que especifica as operações a serem feitas nos operandos declarados da unidade de organização do programa quando sua execução é invocada.

Dado, tipo

Um conjunto de valores junto com um conjunto de operações permitidas.

Dado e tempo

A data dentro do ano e o tempo do dia, representado conforme ISO 8601.

Declaração

O mecanismo de estabelecer a definição de um elemento de linguagem. Uma declaração normalmente envolve anexar um identificador ao elemento de linguagem e alocar atributos, tais como tipos de dados e algoritmos a ele.

Delimitador

Um caractere ou combinação de caracteres usados para separar elementos de linguagem de programa.

Direta, representação

Um meio de representar uma variável em um programa de controlador lógico programável, do qual uma correspondência específica do fabricante a um local físico

ou lógico pode ser determinada diretamente.

Dupla palavra

Um elemento de dado contendo 32 bits.

Entrada parâmetro (Entrada)

Um parâmetro que é usado para fornecer um argumento a uma unidade de organização de programa.

Escopo

A porção de um elemento de linguagem dentro da qual se aplica uma declaração ou uma etiqueta.

Etiqueta (Label)

Uma construção de linguagem nomeando uma instrução, circuito ou grupo de circuitos e incluindo o identificador.

Execução, elemento de controle

Um elemento de linguagem que controla o fluxo de execução do programa.

Fonte (resource)

Um elemento de linguagem correspondendo a qualquer uma “função de processamento de sinal” e sua “interface homem-máquina” e “funções de interface sensor e atuador”.

Função

Uma unidade de organização de programa que, quando executada, fornece exatamente um elemento de dado (que pode ter vários valores, e.g., uma matriz ou estrutura) e cuja invocação pode ser usada em linguagens textuais como um operando em uma expressão.

Genérico, tipo de dado

Um tipo dado que representa mais do que um tipo de dados. (2.3.2).

Global escopo

Escopo de uma declaração aplicando a todas as unidades de organização de programa dentro de uma fonte ou configuração.

Global, variável

Uma variável cujo escopo é global.

Hierárquico endereçamento

A representação direta de um elemento de dado como um membro de uma hierarquia física ou lógica, e.g., um ponto

dentro de um módulo que é contido em um armário, que por sua vez, é contido em um cubículo.

Identificador

Uma combinação de letras, números, caracteres sublinhados, que começa com uma letra ou sublinhado e que nomeia um elemento de linguagem.

Inicial valor

Um identificador associado com uma instância específica.

Instância

Uma cópia individual e nomeada da estrutura de dados associada com um tipo bloco de função ou tipo programa, que persiste de uma invocação das operações associadas para a próxima.

Instância, nome

Um identificador associado com uma instância específica.

Instanciação

Criação de uma instância.

Inteiro literal

Um literal que representa diretamente um valor de tipo SINT, INT, DINT, LINT, BOOL, BYTE, WORD, DWORD ou LWORD (2.3.1).

Invocação

Processo de iniciar a execução das operações especificadas em uma unidade de organização de programa.

Linguagem, elemento de

Qualquer item identificado por um símbolo no lado esquerdo de uma regra de produção na especificação formal dada no anexo B desta norma.

Literal

Uma unidade léxica que representa diretamente um valor.

Local escopo

O escopo de uma declaração ou etiqueta aplicando somente para a unidade de organização do programa em que a declaração ou etiqueta aparece.

Lógico local

O local de uma variável hierarquicamente endereçada em um

esquema que pode ou não ter qualquer relação com a estrutura física das entradas, saídas e memórias do controlador lógico programável.

Long palavra

Um elemento de dado de 64 bits.

Long real

Um número real representado em uma palavra longa.

Matriz (array)

Um agregado que consiste de objetos de dados, com atributos idênticos, cada um podendo ser referenciado como subscripting.

Memória (armazenagem de dado do usuário)

Uma unidade funcional para a qual o programa do usuário pode armazenar dados e da qual ele pode recuperar os dados armazenados.

Nomeado, elemento

Um elemento de uma estrutura que é nomeada por seu identificador associado.

Off-delay timer (on-delay), bloco de função

Um bloco de função que atrasa o canto de descida (subida) de uma entrada booleana por uma duração específica.

Operador

Um símbolo que representa a ação a ser executada em uma operação.

Operando

Um elemento de linguagem em que uma operação é executada.

OR fiado (wired)

Uma construção para obter a função booleana OR na linguagem de diagrama ladder, ligando juntos os lados direitos das ligações horizontais com as ligações verticais.

Overloaded

Com relação a uma operação ou função, capaz de operar em dados de diferentes tipos. (2.5.1.4).

Passo (step)

Uma situação em que o comportamento de uma unidade de

organização de programa com relação a suas entradas e saídas segue um conjunto de regras definido pelas ações associadas do passo.

Potência, fluxo de

O fluxo simbólico da potência elétrica em um diagrama ladder, usado para denotar a progressão da solução de um algoritmo lógico.

Pragmática

As relações de caracteres ou grupos de caracteres para sua interpretação e uso.

Programar (verbo)

Projetar, escrever e testar programas do usuário.

Real literal

Um literal representando dados do tipo REAL ou LREAL.

Retentivo, Dado

Dado armazenado, de tal modo que seu valor permanece inalterado depois de uma seqüência desligamento/ligamento de energia.

Retorno

Uma construção de linguagem dentro de uma unidade de organização de programa designando um fim para as seqüências de execução na unidade.

Saída, parâmetro de (Saída)

Um parâmetro que é usado para retornar o resultado da avaliação de uma unidade de organização de programa.

Semântica

A relação entre os elementos simbólicos de uma linguagem de programação e seu significado, independente da sua interpretação e uso.

Semigráfica Representação

Representação da informação gráfica usando um conjunto limitado de caracteres.

Simbólica, representação

O uso de identificadores para nomear variáveis.

Sintaxe

Relação entre elementos simbólicos, independente de seu significado,

interpretação ou uso. Regras governando a estrutura de uma linguagem.

Simples, Elemento de dados

Um elemento de dado consistindo de um único valor.

Subscripting

Um mecanismo para referenciar um elemento de matriz por meio de uma referência de matriz e uma ou mais expressões que, quando avaliadas, denota a posição do elemento.

Tarefa (task)

Um elemento de controle de execução fornecido para execução gatilhada ou periódica de um grupo de unidades de organização de programa associadas.

Tempo literal

Um literal representando dados do tipo TIME, DATE, TIME_OF_DAY ou DATE_AND_TIME.

Tipo de dado estruturado

Um dado tipo agregado que tem sido declarado usando uma declaração STRUCT ou FUNCTION_BLOCK.

Transição

A condição onde o controle passa de um ou mais passos anteriores para um ou mais passos posteriores ao longo de um caminho dirigido.

Unidade de organização de programa

Uma função, bloco de função ou programa. (O termo pode se referir a um tipo ou a uma instância).

Unsigned, inteiro

Um inteiro literal não contendo o sinal inicial de mais (+) ou menos (-).

5. Diagrama Ladder

5.1. Introdução

Diagrama ladder é uma representação ordenada em forma de escada de componentes e conexões de um circuito elétrico. O diagrama ladder é também chamado de diagrama elementar ou diagrama de linha. O termo ladder (escada) se aplica porque ele parece com uma escada, contendo degraus. É o diagrama básico associado com o controle lógico programado.

5.2. Componentes

Os elementos constituintes de um diagrama ladder podem ser divididos em componentes de entrada e de saída. O principal componente de entrada é o contato.

Quanto à operação o contato pode ser retentivo ou não retentivo. Quanto à lógica, o contato pode ser normalmente aberto (NA) ou normalmente fechado (NF). Quanto à operação, o contato pode ser de chave manual ou de automática, (pressostato, termostato, chaves automáticas de nível e de vazão, chave térmica de motor). . Quanto ao tempo, os contatos podem ser instantâneos ou temporizados para abrir ou fechar.

O principal componente de saída é a bobina, associada ao *starter* de motor, ao relé ou solenóide. Outros componentes incluem lâmpada piloto, sirene ou buzina.

Existem outros componentes, porém estes são os mais importantes e usados e são suficientes para o entendimento dos diagramas encontrados nas aplicações práticas.

5.3. Regras de composição

1. Há algumas práticas comuns a todos os diagramas ladder, como:
2. Entradas, chaves e contatos são colocados no início da linha, no lado esquerdo.
3. Saídas, bobinas e lâmpadas piloto são colocadas no fim da linha, no lado direito.
4. Uma linha de entrada pode alimentar mais de uma saída. Quando isso ocorre, as saídas estão ligadas em paralelo.
5. Chaves, contatos e entradas podem ter contatos múltiplos em série, paralelo ou combinação de série e paralelo.
6. As linhas são numeradas consecutivamente, à esquerda e de cima para baixo.
7. Dá-se um único número de identificação para cada nó de ligação.
8. As saídas podem ser identificadas por função, no lado direito, em notas.
9. Pode-se incluir um sistema de identificação de referência cruzada, no lado direito. Os contatos associados com a bobina ou saída da linha são identificados pelo número da linha.
10. Os contatos de relé são identificados pelo número da bobina do relé mais um número seqüencial consecutivo. Por exemplo, os três contatos do relé CR₇ são CR₇-1, CR₇-2 e CR₇-3.

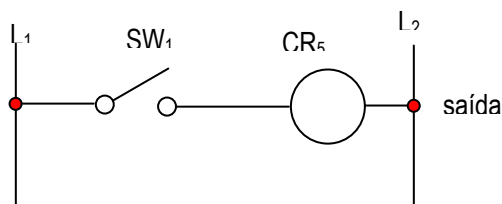


Fig. 5.1. Diagrama ladder básico, para uma chave manual que liga a saída de um relé:

L_1, L_2 linhas de alimentação
 SW_1 contato de chave manual
 CR_5 bobina do relé CR_5

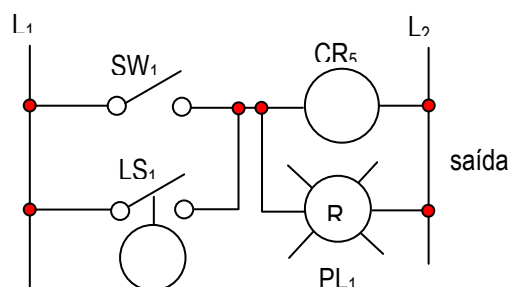


Fig. 5.2. Duas chaves em paralelo (manual SW_1 e automática de nível LS_1) controlam a saída do relé CR_5 e uma lâmpada piloto PL_1 vermelha (R).

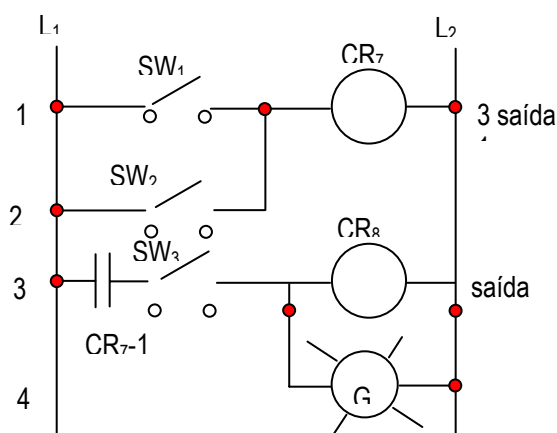


Fig. 5.3. Diagrama ladder com duas funções

5.4. Exemplos

Exemplo 1

O diagrama ladder da Fig. 5.1, está associado a um sistema com uma chave que liga-desliga um relé de saída, CR_5 . A Fig. 5.2 mostra um sistema de controle com linhas paralelas na entrada e na saída. Qualquer uma das duas chaves liga-desliga a saída e a lâmpada piloto. O diagrama da figura possui duas linhas funcionais ativas.

O diagrama ladder da Fig. 5.3 tem a seguinte seqüência de operação:

1. No início, todas as chaves estão abertas, as bobinas estão desligadas
2. Fechando SW_1 ou SW_2 ou ambas, CR_7 é energizada.
3. Na linha 3, o contato $NA CR_7-1$ fecha, habilitando a linha 3 e CR_8 ainda está desligada
4. Fechando a chave manual SW_3 , CR_8 é energizada e a lâmpada piloto verde (G) é acesa
5. Abrindo as duas chaves SW_1 e SW_2 , tudo é desligado
6. Em operação, desligando SW_3 , CR_8 é desligado, PL_1 é desligada mas CR_7 continua ligada.

Exemplo 2

As seguintes modificações podem ser feitas ao diagrama da Fig. 5. 3:

SW_4 deve estar ligada para CR_7 ficar ligada

CR_7 deve estar desligada para CR_8 estar ligada

CR_9 é ligada por CR_7 , CR_8 e SW_3 .

O diagrama completo é mostrado na Fig 5. Há uma linha pontilhada entre os dois contatos SW_3 , indicando uma única chave comum com dois contatos (Se SW_3 estivesse na esquerda, somente um contato seria necessário para energizar as linhas 3, 4 e 5).

Uma linha adicional de operação poderia ser acrescentada ao diagrama ladder, como a linha 6 mostrada na figura 5. A seqüência adicionada seria a seguinte:

CR_7 ou CR_8 ou ambas, mais LS_{12} e CR_9 ligam a saída do relé CR_{10} .

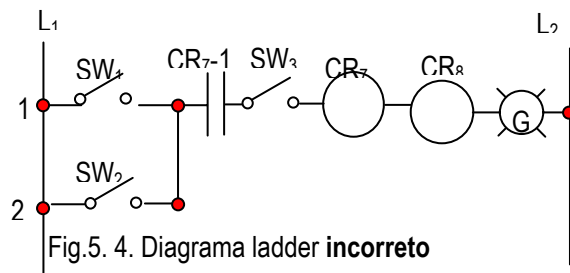


Fig.5. 4. Diagrama ladder incorreto

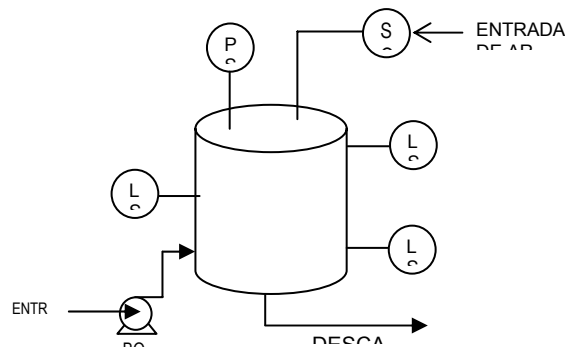


Fig.5.5. Controle automático de tanque de água pressurizado

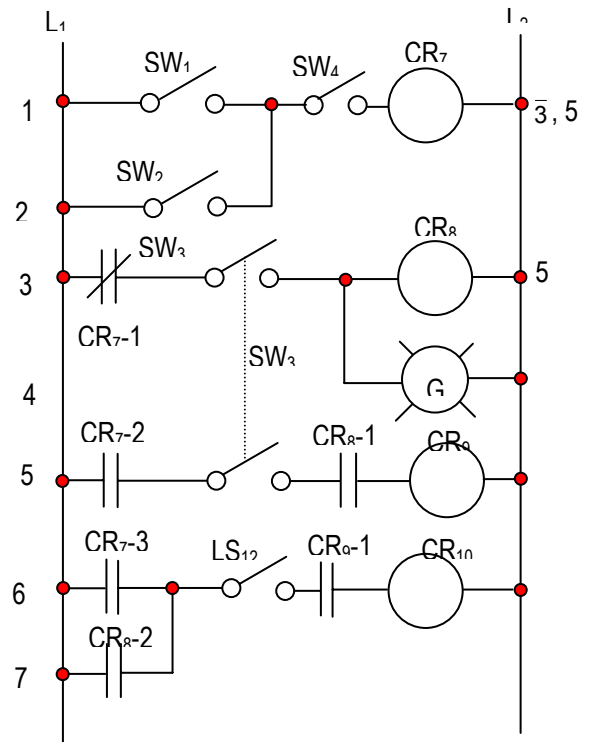


Fig.5. 5. Diagrama ladder completo

Diagrama errado

O diagrama da Fig. 5.4 é um diagrama ladder **incorreto**, que contém os mesmos componentes da figura, porém, nunca irá funcionar. Os erros são os seguintes:

1. Mesmo que houvesse potência entre as linhas, a voltagem aplicada em cada elemento de saída seria dividida por 3 e nenhuma bobina teria a tensão correta de funcionamento e a lâmpada piloto ficaria só um pouco acesa. Mas, logicamente, as saídas nunca seriam ligadas.
2. Mesmo fechando todas as chaves, o contato CR₇₋₁ ficaria sempre aberto. Para fechar o contato CR₇₋₁ a bobina CR₇ deve ser energizada e a bobina só seria energizada fechando-se CR₇₋₁, que é impossível.

5.5. Desenvolvimento

Pode-se avaliar a utilidade do diagrama ladder vendo um exemplo e ligando-o a um processo lógico seqüencial. O processo consiste de um tanque de armazenagem de produto (p.ex., água), um tanque de pressão, uma bomba, e um conjunto de dispositivos pilotos (pressostatos e chaves de nível) para fornecer o controle do processo.

O diagrama ladder do sistema indica que o circuito de controle possui dois modos de operação: automático e manual. O controle manual é executado pela chave (*push-button*) liga-desliga (*stop-start*) junto com o dispositivo de segurança de sobrecarga da bomba.

Para o processo partir e operar, a chave PARADA deve estar inativa (fechada) e a chave PARTIDA deve estar pressionada. Os contatos NA que são ativados quando o relé da bomba contatos é energizado permitem a bomba ficar ligada, depois que se alivia a chave PARTIDA.

O controle automático é mais complexo. O desenho mostra que há uma monitoração do nível baixo, nível alto e pressão baixa do tanque de pressão, e de nível baixo do tanque de armazenagem. A bomba pode ser energizada somente quando as exigências de controle sejam satisfeitas e a ligação entre L1 para L2 através do relé de partida da bomba seja feita.

A parte automática do circuito de controle da água é mostrada na metade superior do diagrama ladder. No desenvolvimento deste diagrama, a ligação elétrica entre L1 e L2 foi criada com os símbolos do elemento de controle intercalado. A chave de parada é geralmente colocada próxima de L1 antes de colocar qualquer outra linha no diagrama. O sensor de pressão alta (LSH 101) possui dois conjuntos de contatos: um normalmente aberto para o controle da operação do solenóide de ar e um normalmente fechado para permitir a operação da bomba. A operação da bomba é também governada pelos sensores de nível baixo no tanque de pressão e de nível baixo no tanque de armazenagem, ou seja, LSL 102 e LSL 103. Os símbolos destes elementos devem ser colocados no desenho indicando que a bobina da partida da bomba é energizada quando o nível de água for baixo no tanque de pressão mas deve ser desligada pelo nível baixo do tanque de armazenagem. Esta exigência, que evita estrago na bomba por causa de nível baixo de água no tanque de armazenagem e garante uma pressão estável no tanque de pressão, é satisfeita pela colocação de LSL 103 e LSL 102 em série com a partida e os contatos normalmente fechados de LSH 101. Para garantir que a bomba fique ligada, quando LSL 102 for energizada momentaneamente, coloca-se um retentor com o conjunto de contatos do relé da bomba (contato M em paralelo).

Estes símbolos de elemento de controle do nível da bomba são apresentados na porção intermediária do diagrama ladder do sistema de água. A chave de seleção do modo de operação é colocada próxima do relé de partida. Os contatos normalmente fechados de LSL 103 e LSH 101 são colocados em série

com os contatos normalmente abertos LSL 102. Como com a chave de partida na porção manual do desenho, um conjunto de contatos de relé de partida normalmente aberto é colocado em paralelo com LSL 102 para garantir que o relé de partida permaneça energizado quando o nível do líquido suba acima do nível mínimo e permaneça abaixo do nível máximo do tanque de pressão. LSL 101 também controla o estado do relé e desliga o relé quando o nível d'água do tanque de pressão atinja o valor máximo. O nível alto do tanque de pressão ativa os contatos normalmente abertos LSH 101, que permite o solenóide de entrada de ar ser energizada (desde que PSL 103 indique que a pressão do tanque esteja abaixo do ajuste desejado).

O método de se desenvolver um diagrama ladder para um sistema consiste em

1. rever as funções de controle requeridas no circuito,
2. selecionar os elementos de controle que desempenham esta tarefa,
3. arranjar os símbolos para as condições impostas pelo controle de modo seqüencial, entre as linhas da tensão de alimentação.

Quando necessário,

4. fornecer contatos de intertravamento ou retenção em volta dos contatos momentâneos de chave botoeira.

Os botões de desligamento e outros intertravamentos de segurança devem ser arranjados de modo que eles sejam eletricamente fechados para a linha de tensão de alimentação. Cada componente do desenho deve ter uma etiqueta de modo que seja facilmente associado com o dispositivo real do processo.

Deve-se ter o cuidado de identificar todos os contatos de uma bobina de relé específica. Finalmente, as condições normalmente aberta ou fechada de todos os contatos automáticos devem sempre ser indicados quando elas estiverem no estado inativo ou sem uso.

5.6. Análise

O procedimento básico para a análise de um diagrama ladder de um circuito de controle é considerar um componente por vez e decidir o que ocorre se uma chave push button é acionada ou contato é ligado ou desligado. Se o diagrama é analisado deste modo, com a observação que a mudança do contato geralmente fecha ou abre circuitos completos de uma linha de tensão através de uma bobina de relé. Esta bobina é energizada ou desenergizada, dependendo da continuidade do circuito. Quando um circuito é fechado para uma bobina particular, seu contador, relé, starter é energizado e seus contatos mudam suas posições normais. Se os contatos são normalmente fechados, se abrem e se os contatos são normalmente abertos, eles agora ficam fechados. Quando um relé temporizado (de atraso) é usado no circuito, seus contatos mudam de estado depois de um determinado tempo. Quando se usam reles, é importante considerar cada contato que é operado pelo relé, sempre que sua bobina for energizada. Quando não se consideram todos os contatos de um relé, comete-se um erro conceitual da função do circuito. Finalmente, quando se avalia um circuito, deve-se estar certo que cada componente está sendo considerado em sua posição normal e na posição energizada, de modo que se possa compreender o circuito completo.

Seja o diagrama ladder para um circuito de freio dinâmico de um motor. Este sistema pode ser aplicado a qualquer equipamento, quando se quer uma parada rápida, suave ou quando se deseja ter um eixo do motor livre de rotação manual quando se desliga a alimentação. Um sistema de freio dinâmico fornece uma parada sem qualquer tendência para reverter e produz menos choque aos componentes de acionamento do motor do que outros métodos.

O sistema de freio dinâmico usa voltagem cc para fornecer uma ação de freio suave mas positiva e para fazer o motor parar rapidamente. O sinal cc deve ser removido quando o motor estiver quase parando, para evitar qualquer dano aos

enrolamentos causado por superaquecimento, como resultado da corrente excessiva nos enrolamentos de baixa resistência.

Esta tensão cc é obtida da retificação da tensão ca, através de uma ponte retificadora. Dois contatos normalmente abertos (B) isolam o retificador dos terminais T1 e T3 do motor.

Há também dois contatos normalmente abertos da mesma bobina do freio (B) que isolam o primário do transformador das duas linhas L1 e L2. O quinto contato da bobina do freio (B), normalmente fechado, está em série com a bobina do relé de acionamento do motor e com a chave de partida. Quando a bobina de freio estiver acionada (energizada) não se consegue partir o motor.

Se a chave de partida é acionada, se os contatos de sobrecarga estão fechados e se a chave P.B. estiver fechada, a bobina de acionamento do motor é energizada e todos os cinco contatos (B) são ativados. O primeiro contato do relé (M1), NA, fecha, garantindo a continuidade do circuito, mesmo quando se solta a chave de partida (contato retentivo).

O segundo contato, M2, NF, abre, impedindo que a bobina de freio seja ativada e receba o sinal da linha L1. Depois de transcorrido um determinado tempo o contato T também fecha o circuito, pois sua bobina (T) também foi energizada, juntamente com a bobina do motor (M). Os últimos três contatos, M3, M4 e M5, normalmente abertos, se fecham, energizando os enrolamentos do motor T1, T2 e T3.

O sistema de freio inclui o relé de breque (B), o relé temporizado (T), o retificador ca/cc, o transformador com secundário/primário e cinco contatos do relé de breque (B). Os terminais T1 e T3 do motor estão alimentados pela tensão cc, pelos contatos B. Quando se aperta a chave parada, o relé do motor (M) é desenergizado, o motor é isolado da tensão ca, pelos contatos M4, M5 e M3 que ficam abertos. O relé temporizado é desligado e o seu contato T fecha. Como M2 já estava fechado, T fechado, a bobina de breque (B) é energizada e todos seus contatos mudam de estado. Ou seja, todos os contatos B (exceto B1) ficam fechados

B2 e B3 ligam o transformador e, como consequência, produzem tensão cc retificada do transformador. Os contatos B4 e B5 ligam a tensão cc aos terminais T1 e T3 do motor. Depois de transcorrido o tempo de atraso, ajustável e função do motor, a bobina T abre o contato T que desliga a bobina de freio B.

Em resumo, o procedimento básico para analisar o diagrama ladder envolve a consideração de cada componente do circuito por vez para decidir o que acontece com este componente quando um contato é fechado,

a determinação da função de cada componente em suas posições normal e energizada

a função de cada componente em relação aos outros elementos do diagrama.

É importante fazer uma análise completa do diagrama sem pular para conclusões parciais. Uma análise apressada e incompleta é usualmente desastrosa, porque a consideração de apenas um contato adicional pode mudar totalmente a natureza básica do circuito.

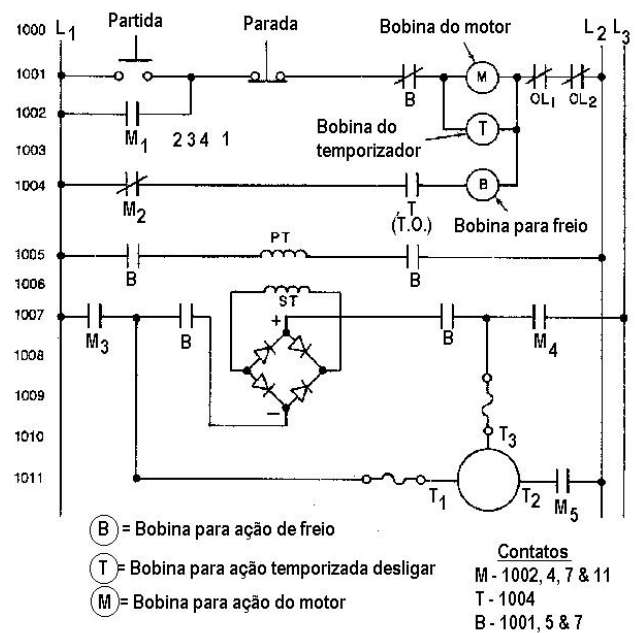


Fig. 5.8. Diagrama ladder do freio do motor

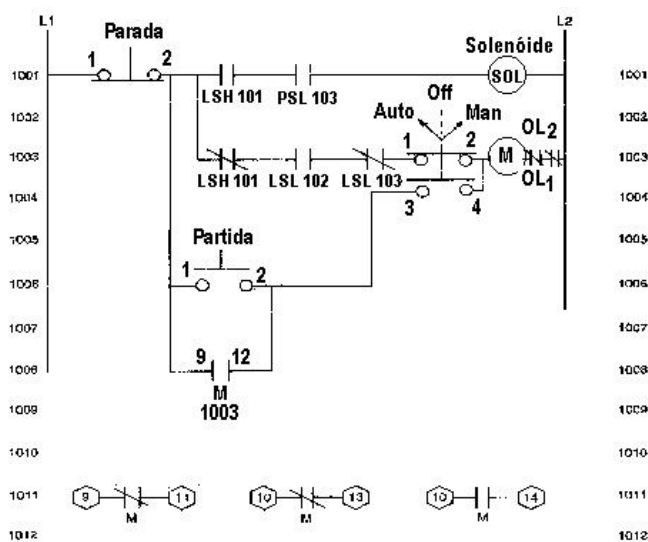


Fig. 5.7. Diagrama ladder correspondente ao controle do tanque de água pressurizado

Aplicações de Diagrama Ladder

1. Alarme de Alta Pressão

1.1. Descrição

O circuito faz soar uma buzina e acender uma lâmpada piloto quando a pressão atingir um valor alto perigoso. Depois que o alarme soa, o botão ACKN (conhecimento) desliga a buzina e deixa a lâmpada acesa. Quando a pressão baixar para um valor seguro, a lâmpada se apaga

1.2. Solução

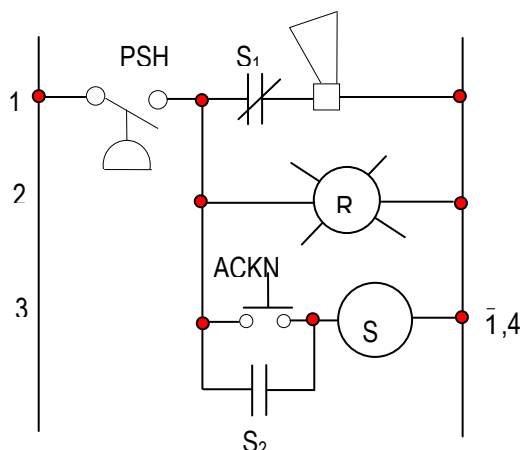
Quando a pressão atinge valor alto perigoso, a chave PS atua, fechando o circuito e

1. soando a buzina
2. acendendo lâmpada R

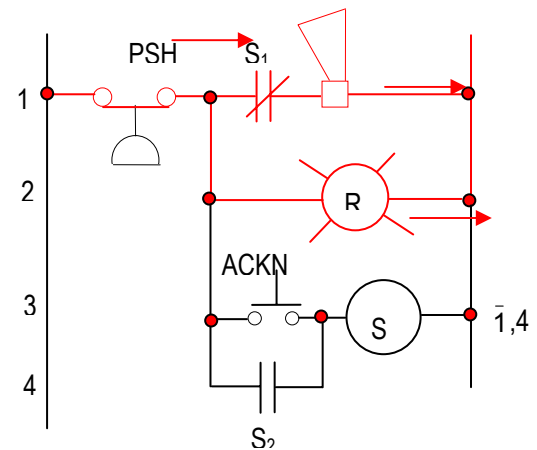
Quando operador toma conhecimento do alarme e aperta a chave ACKN, a bobina S se energiza, trocando seus contatos S_1 e S_2

1. S_1 abre, desligando a buzina
2. S_2 fecha, mantendo bobina S energizada

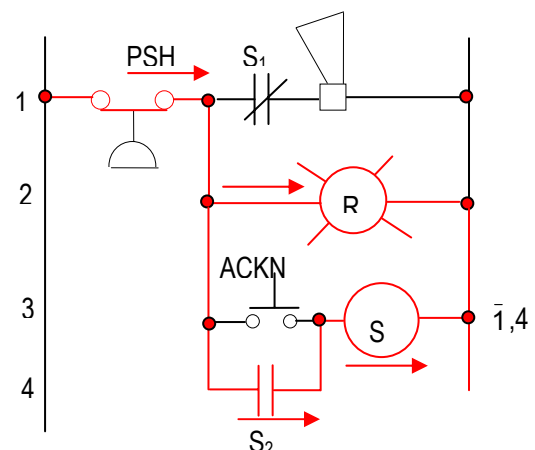
A bobina S só é desligada quando a chave PS abrir, ou seja, quando a pressão alta cair e ficar em valor seguro.



Condição normal: pressão não alta, PSH aberta, buzina calada, lâmpada apagada



Condição anormal: pressão alta, PSH fechada, buzina toca, lâmpada acende



Depois de apertada a chave ACKN, S2 (selo) se mantém ligada, lâmpada acesa e S1 abre e a buzina se cala.

2. Controle de Bomba e duas lâmpadas piloto com chave de nível

2.1. Descrição

A chave de nível opera o starter do motor da bomba. A bomba enche um tanque com água. Enquanto o nível do tanque receptor estiver baixo, a chave liga o motor da bomba e acende a lâmpada R. Quando o nível atingir o nível máximo (tanque cheio), a chave desliga o motor e a lâmpada R e acende a lâmpada A. Se o motor se sobrecarregar, o motor é desligado, mas a lâmpada R continua acesa.

2.2. Solução

Quando o nível estiver abaixo do máximo (normal), a chave LSH está aberta e

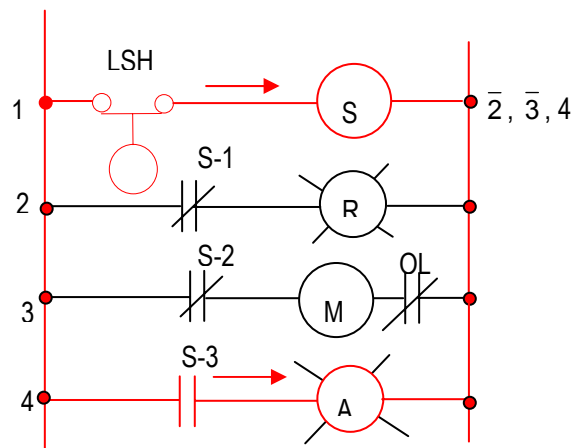
1. lâmpada R está acesa
2. motor está ligado, operando
3. lâmpada A está apagada

Quando o nível atingir o máximo, LSH fecha

1. apagando R
2. desligando motor M
3. acendendo A

Quando motor ficar sobrecarregado,

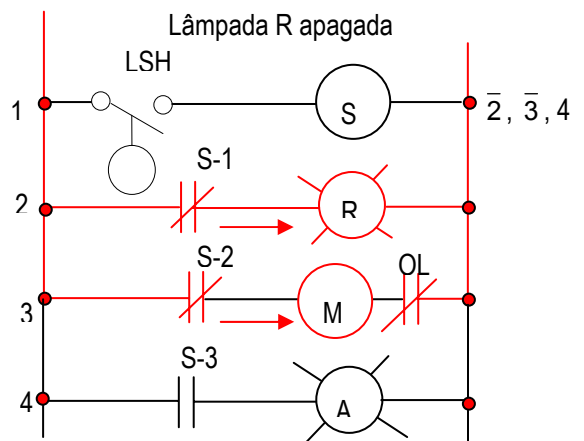
1. OL abre
2. desligando motor e
3. mantendo R acesa



Nível alto: LSH fechada

Motor M desligado

Lâmpada R apagada



Nível baixo: LSH aberta

Motor M ligado

Lâmpada R acesa

3. Controle seqüencial de 3 motores

3.1. Descrição

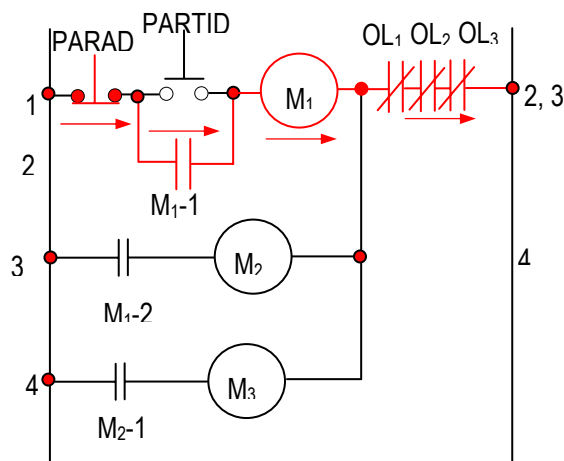
Ligar três motores, isoladamente e um após o outro. A parada desliga todos os motores. Qualquer sobrecarga desliga todos os motores

3.2. Solução

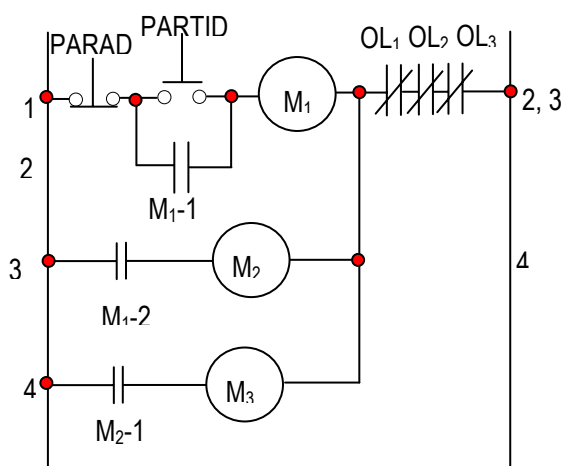
Apertando a botoeira PARTIDA

1. M₁ parte e fecha M₁₋₁ e M₁₋₂
2. M₁₋₁ sela a partida de M₁, mantendo M₁ ligado depois que a botoeira PARTIDA for solta
3. M₁₋₂ liga M₂, fechando M₂₋₁
4. M₂₋₁ liga M₃

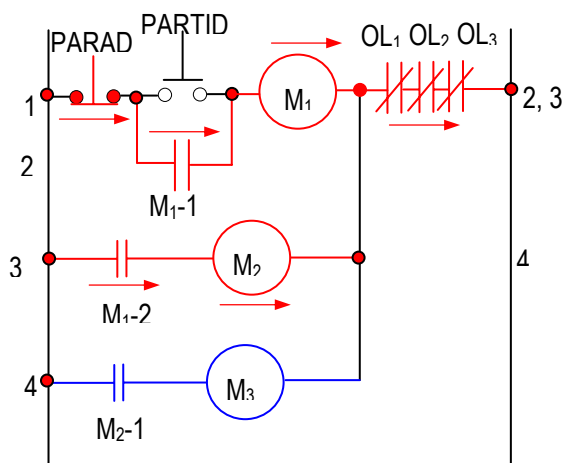
Qualquer sobrecarga em M₁, M₂ ou M₃ desliga todos os três motores, pois OL₁, OL₂ e OL₃ são contatos NF e estão em série



Quando se aperta a chave PARTIDA,
M₁ parte e sela M₁₋₁



Contatos auxiliares (ou intertravamentos) para controle de seqüência automática:
Contato M₁ energiza bobina M₂
Contato M₂ energiza bobina M₃



Depois que M₁ parte,
M₁₋₂ fecha e parte M₂
Depois que M₂ parte,
M₂₋₁ fecha e parte M₃

4. Controle temporizado de motores

4.1. Descrição

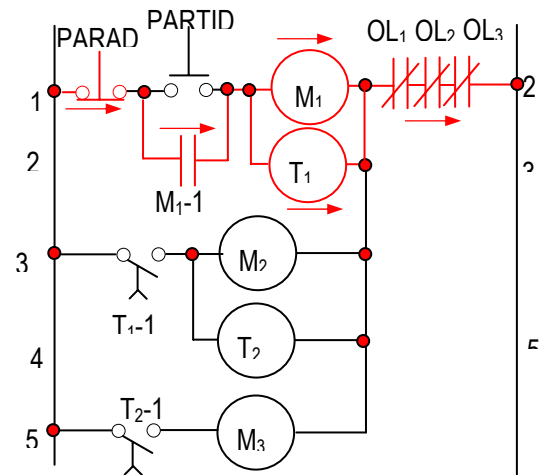
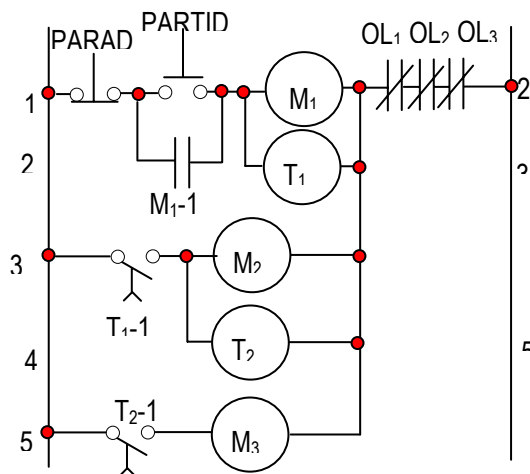
Ligar três motores, isoladamente e um após o outro, com intervalos de 1 minuto. A parada desliga todos os motores. Qualquer sobrecarga desliga todos os motores

4.2. Solução

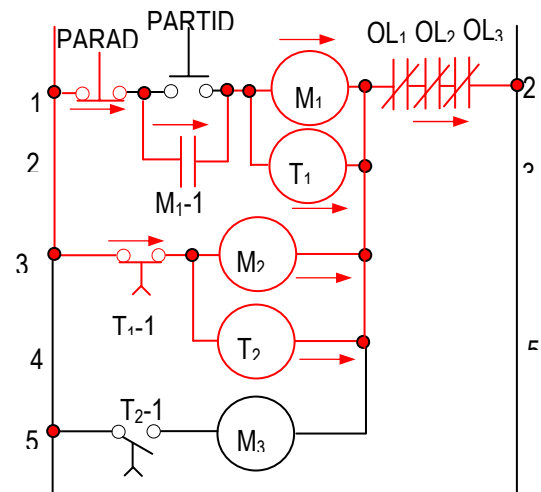
Apertando a botoeira PARTIDA

5. M_1 parte e energiza T_1
6. M_{1-1} sela a partida de M_1 ,
mantendo M_1 ligado depois que
botoeira PARTIDA é solta
7. T_1 energizado fecha T_{1-1} depois de
1 min
8. T_{1-1} parte M_2 e energiza T_2 , que
fecha T_{2-1} depois de 1 min
9. T_{2-1} parte M_3

Qualquer sobrecarga em M_1 , M_2 ou M_3 desliga todos os três motores, pois OL_1 , OL_2 e OL_3 são contatos NF e estão em série



Assim que se aperta PARTIDA,
M1-1 sela e M1 permanece
operando
T1 é energizada



Depois de um intervalo de tempo,
T1-1 fecha, partindo M2 e energizando T2
Depois de um intervalo de tempo,
T2-1 fecha, partindo M3

5. Controle seqüencial temporizado de motores

5.1. Descrição

Três motores

1. M_1 – motor bomba de lubrificação
 2. M_2 – motor principal
 3. M_3 – motor de alimentação
- devem ser ligados em seqüência e em intervalos de tempo determinados.

5.2. Solução

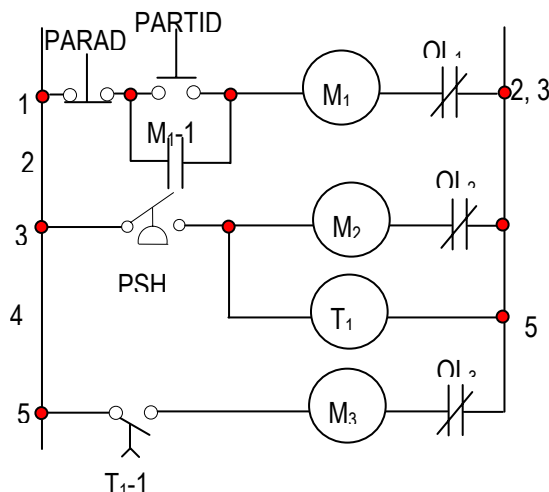
Apertando a botoeira PARTIDA

1. M_1 parte e M_1-1 sela a partida de M_1 .
2. A bomba faz a pressão subir e a alta pressão faz chave PSH fechar e partir M_2 e energizar T_1 .
3. T_1 energizado fecha T_1-1 depois de 10 s, partindo M_3

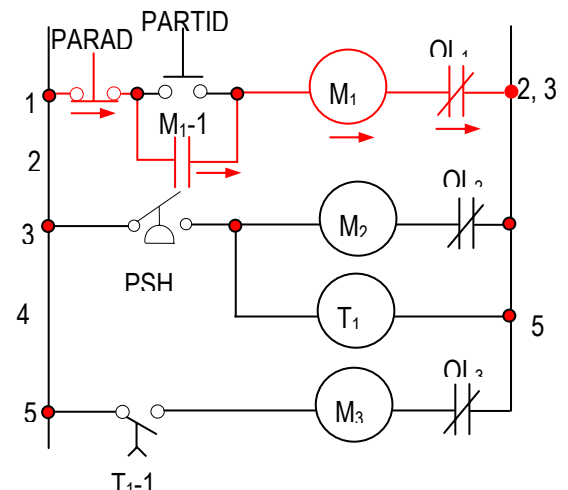
Se M_1 aquecer, OL_1 , abre, desligando M_1 e a pressão cai.

A queda de pressão faz PSH abrir, desligando M_2 e desenergizando T_1 .

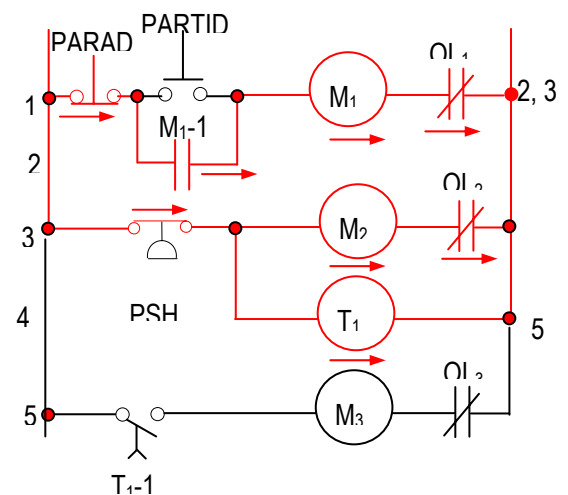
Quanto T_1 é desenergizada, T_1-1 abre, desligando M_3



Dispositivos piloto usados em controle de seqüência automática



Quando se aperta PARTIDA, M_1 parte e M_1-1 sela seu funcionamento



A operação de M_1 faz a pressão subir.

Quando a pressão sobe,

PSH fecha

M_2 parte

T_1 é energizado

Depois de um determinado intervalo, T_1-1 fecha

6. Controle de Velocidade de motores

6.1. Descrição

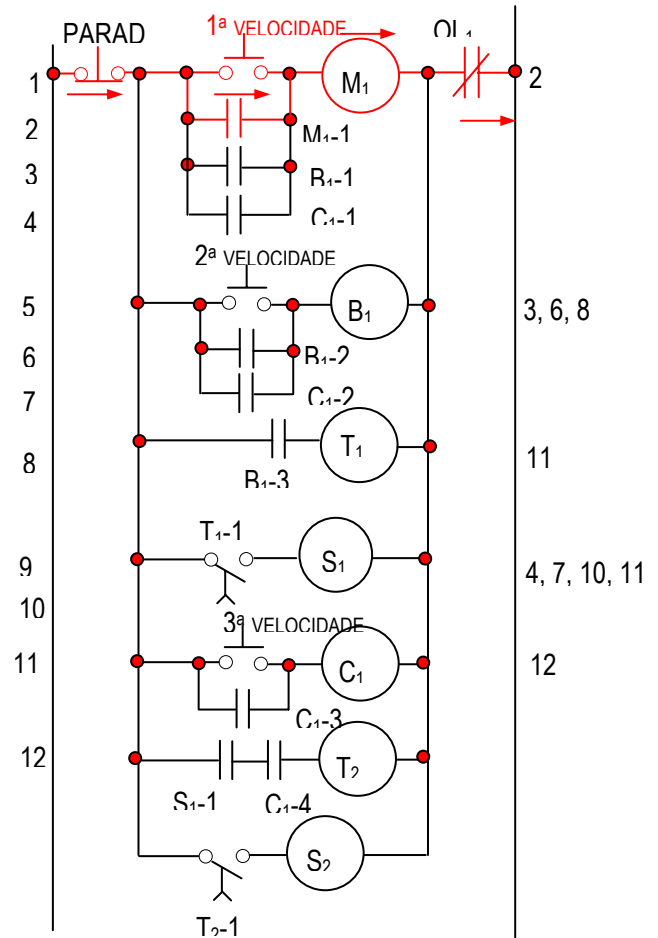
1. O motor tem três faixas de velocidades.
2. O motor acelera automaticamente para a velocidade selecionada.
3. Uma botoeira pode parar o motor em qualquer velocidade
4. O motor possui proteção de sobrecarga
5. Três botoeiras separadas selecionam 1ª, 2ª e 3ª velocidade.
6. Há um atraso de 3 segundos para passar de uma velocidade para outra

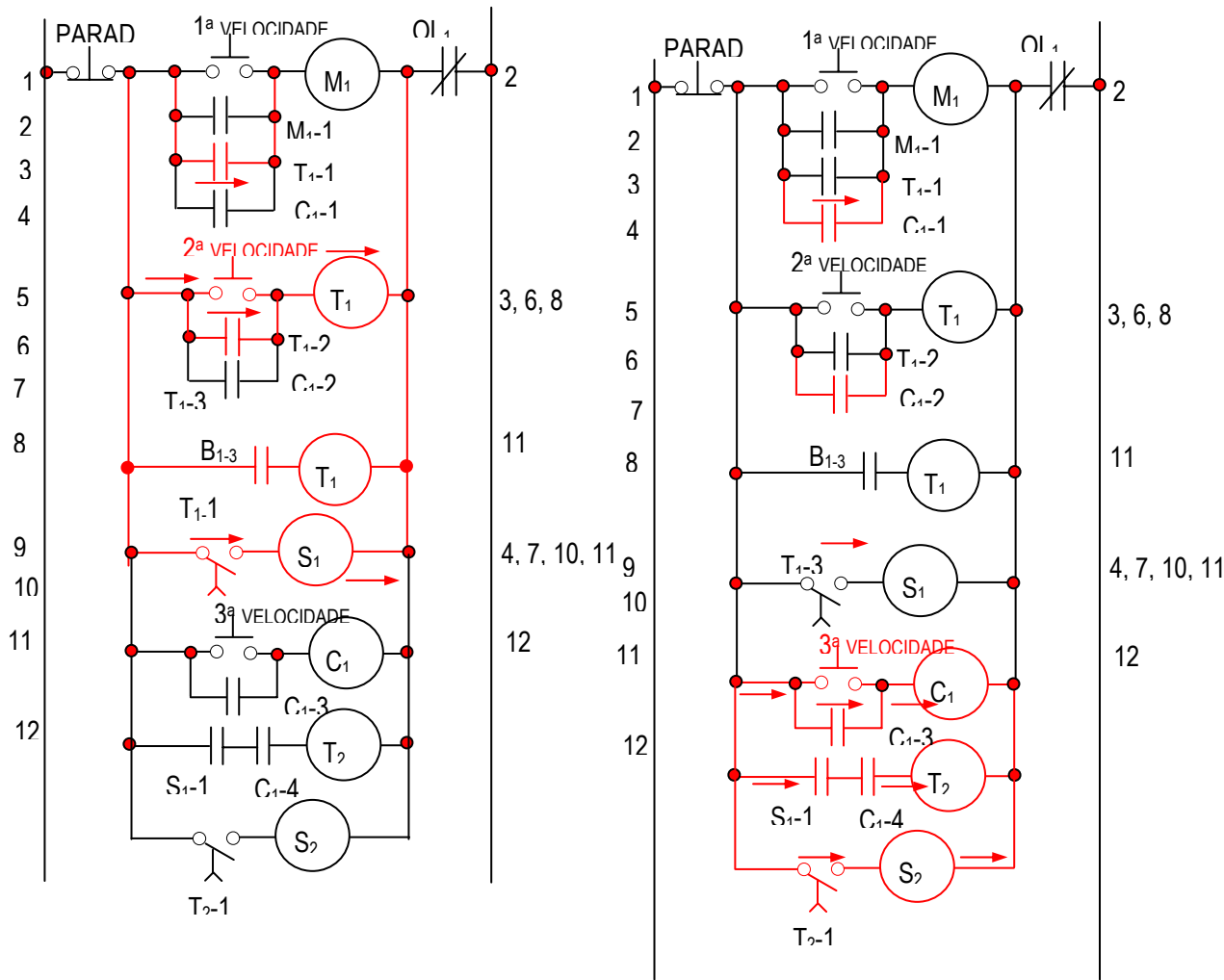
6.2. Solução

Apertando a botoeira 1ª VELOCIDADE

1. M₁ parte e M₁-1 sela a partida de M₁, mantendo-o na primeira velocidade depois que a chave PARTIDA é solta.
 2. Quando a chave 2ª VELOCIDADE for apertada,
 - T₁ fica energizado (Atraso para Ligar)
 - B₁ –1 faz motor girar na 1ª velocidade
 - B₁ –2 mantém B₁ selado
 3. Depois de 3 segundos, T₁ –1 fecha, ligando S₁. S₁ faz motor operar na 2ª velocidade
 4. Quando a botoeira 3ª VELOCIDADE for apertada,
 - C1 fica energizado
 - C₁ –1 faz motor girar na 1ª velocidade
 - C₁ –2 faz motor girar na 2ª velocidade
 - C₁ –3 faz motor girar na 3ª velocidade
 - C₁ –4 faz operar T2 (falta S₁ –1 fechar)
- Depois de 3 segundos, T₃ fecha e energiza S₁ (motor fica na 2ª velocidade).
- S₁ –1 fecha operando T2. Depois de 3 segundos T₂ fecha e opera S₂, que coloca o motor na 3ª velocidade.

Quando houver sobrecarga, OL₁, abre, desligando M₁.





7. Unidade de Aquecimento de Óleo

7.1. Descrição

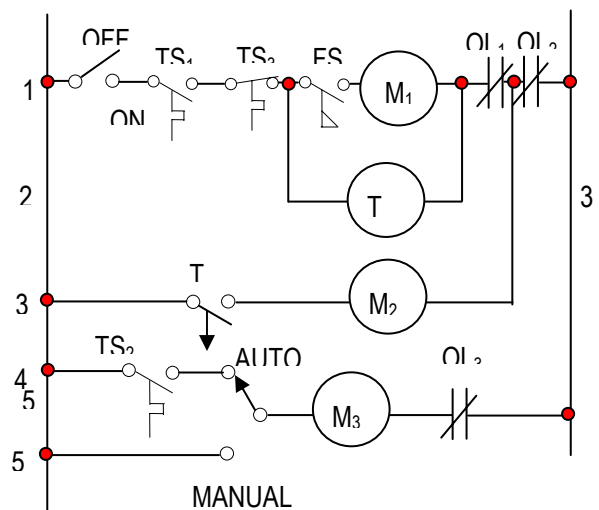
- ♦ Motor M_1 opera uma bomba de alta pressão, que injeta óleo em um queimador.
- ♦ Motor M_2 opera um soprador de indução que força o ar para o queimador, quando o óleo estiver sendo queimado.
- ♦ Chave liga-desliga comanda o circuito
- ♦ Termostato TS_1 sente a temperatura do interior do ambiente
- ♦ Termostato TS_2 sente a temperatura do trocador de calor.
- ♦ Quando a chave estiver ligada (ON) e a temperatura interna do ambiente for baixa, TS_1 fecha e parte os motores M_1 e M_2 .
- ♦ Quando a temperatura do trocador de calor subir demais, TS_2 fecha e parte M_3 . O soprador circula o ar dentro do ambiente através do trocador e aumenta a temperatura dentro do ambiente.
- ♦ Quando a temperatura do ambiente subir muito, TS_1 abre e desliga o motor da bomba e o motor do soprador de indução. O soprador do trocador continua operando até que o trocador de calor seja resfriado a uma temperatura baixa, quando TS_3 abre.

7.2. Solução

1. Ligando a chave para ON e se a temperatura do ambiente estiver baixa, TS_1 fecha, fechando TS_1 e energizando T e M_1 .
2. O temporizador é TOFF (atraso para desligar), então T₁ fecha imediatamente, partindo M_2 . Se T ficar desenergizado, depois de 1 min e se abre, desligando M_2 .
3. FSL_1 é uma chave de vazão que sente a vazão de ar produzida pelo soprador de indução e impede que o motor da bomba de alta pressão continue injetando óleo na câmara de combustão.
4. M_2 ligado faz FSL_1 fechar, partindo M_1 e permitindo a partida do motor da

bomba de alta pressão. Se o motor do soprador de ar pára por qualquer razão, FSL_1 abre M_1 .

5. A chave seletora AUTO MANUAL permite ao operador decidir a circulação de ar dentro do ambiente quando o sistema de aquecimento estiver fora de serviço. Quando a chave estiver em AUTO, o motor do soprador é controlado pelo termostato TS_2 . Quando a chave estiver em MANUAL, ela liga o motor M_3 diretamente e permite o motor do soprador operar independente do sistema de aquecimento.



M_1 Motor da bomba de injeção de óleo combustível no queimador

M_2 Motor do soprador de indução de ar combustível no queimador

M_3 Motor do soprador de ar através do trocador

TS_1L	Chave de ligamento Temperatura ambiente baixa, fechada Temperatura ambiente alta, aberta
TS_2H	Chave de ligamento Temperatura do trocador alta, fechada Temperatura do trocador baixa, aberta
TS_3H	Chave de desligamento Temperatura do trocador baixa, aberta Temperatura do trocador alta, fechada
FSH	Vazão de ar alta, fechada Vazão de ar baixa, aberta

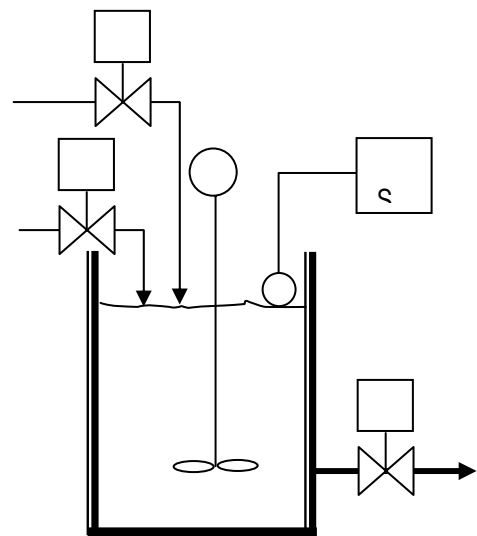
8. Enchimento, Mistura e Esvaziamento de Tanque

8.1. Descrição

O funcionamento do sistema é o seguinte:

1. Apertando PARTIDA, os solenóides A e B abrem, permitindo o tanque se encher
2. Quando o tanque encher, uma chave de nível tipo bóia desliga A e B e liga um motor M de agitação da mistura do tanque
3. O motor trabalha em determinado intervalo de tempo ajustável, T. Depois de transcorrido T, o motor desliga e um solenóide C, na saída do tanque, é ligado esvaziando o tanque.
4. Quando o tanque ficar vazio, a chave de nível desliga o solenóide C e o ciclo recomeça.
5. Um relé térmico desliga o motor em caso de sobrecarga.
4. O motor do agitador mistura os líquidos A e B durante 1 minuto
5. Depois de 1 minuto TR-2 abre, desligando o motor M
TR-1 abre, impedindo que os solenóides A e B sejam ligadas neste momento (interlock)
TR-3 fecha, ligando o solenóide C que esvazia o tanque
6. Quando o tanque fica vazio, LSL tripa
LSL-1 fecha, permitindo ligação dos solenóides A e B
LSL-2 abre, desligando o solenóide C
7. O ciclo se repete e os solenóides A e B são energizadas, pois CR-2 está fechado
LSH-1 fechado (nível abaixo do máximo)
LSL-1 fechado (nível mínimo já atingido)
TR-1 fechado (temporizador desligado)

8.3. Esquema do Processo



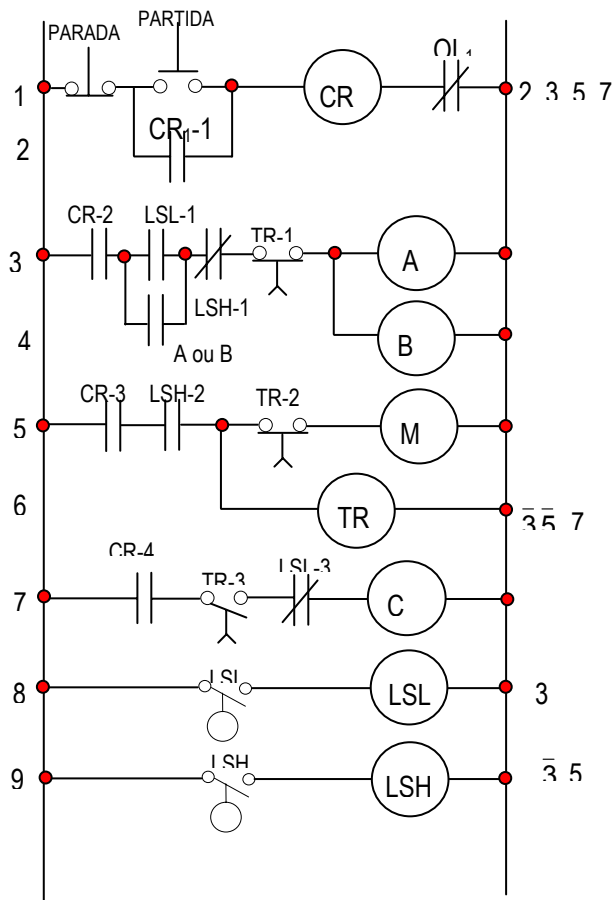
8.2. Solução

1. Apertando a botoeira PARTIDA
CR energiza
CR-1 sela a partida, mantendo motor funcionando depois de soltada a botoeira
CR-2 permite os solenóides A e B serem ligadas
CR-3 permite o motor M ligar e o temporizador TR energizar (satisfeitas outras condições)
CR-4 permite o solenóide C ser ligada
2. Com CR-1 fechado (PARTIDA acionada),
LSH-1 fechado (nível do tanque abaixo do máximo)
LSL-1 fechado (nível do tanque no mínimo)
TR-1 fechado (agitação ainda não ligada)
Solenóides A e B se energizam e as válvulas A e B enchem o tanque
3. Tanque atinge nível máximo, LSH tripa
LSH-1 abre, desligando solenóides A e B
LSH-2 fecha, ligando o motor de agitação e energizando o temporizador TR

- A Enche tanque com A
B Enche tanque com B
M Motor do agitador
C Esvazia o tanque

- LSL Nível baixo, fechada
Nível alto, aberta
LSH Nível baixo, aberta
Nível alto, fechada

8.4. Diagrama Ladder



9. Enchimento de Tanque com Duas Bombas Alternadas

9.1. Descrição

A água de alimentação é fornecida de um tanque central. O tanque é pressurizado pela água quando o tanque se enche. Dois poços separados fornecem água para o tanque, cada poço com uma bomba independente. É desejável que a água seja bombeada de cada poço igualmente, mas as duas bombas não devem operar ao mesmo tempo. As bombas devem operar alternadamente, mas uma chave seletora pode forçar a operação de uma bomba quando a outra estiver com falha. Cada motor da bomba contém um relé térmico de sobrecarga.

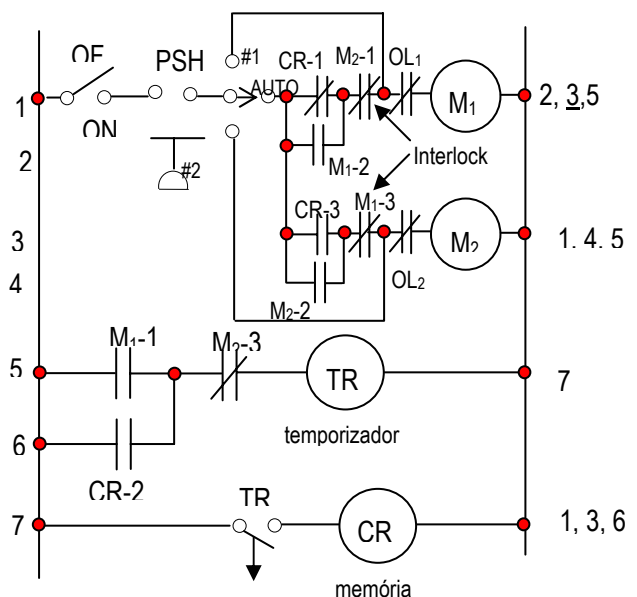
9.2. Solução

Assumindo a chave em AUTO e o pressostato fechado (há pressão de coluna d'água no tanque), apertando a chave ON

- energiza a bobina do starter de M_1
 M_1-1 fecha, energizando CR
 M_1-2 sela a partida do motor M_1
 M_1-3 abre, fazendo o intertravamento com o motor M_2 (M_2 não funciona enquanto M_1 estiver funcionando)
- CR energizado, todos seus contatos mudam:
 CR-1 abre, quebrando o circuito para bobina M_1
 CR-2 fecha, selando o contato M_1-1
 CR-3 fecha para permitir ligação de M_2 , que ainda não pode ser ligado pois M_1-3 está aberto
- Quando o pressostato PS abre, a bobina M_1 desenergizar, permitindo todos os contatos M_1 retornarem às posições normais. Neste momento, o relé CR está energizado.
- Quando o pressostato PS fecha novamente, o contato CR-1 evita que a bobina M_1 seja energizada e CR-3 permite que a bobina M_2 seja energizada. Quando a bobina M_2 é energizada, a bomba 2 parte e todos os contatos M_2 mudam de estado
 - M_2-1 abre e desenergiza CR
 - M_2-2 fecha e mantém M_1 energizada quando CR-3 abrir

- M_2-3 abre para evitar que a bobina M_1 seja energizada quando o contato CR-1 voltar à sua posição normalmente fechada.

- O circuito continua operando assim, até que o pressostato PS abra e desligue M_2 . Quando isso acontecer, todos os contatos de M_2 mudam de estado.
- Uma chave seletora de três posições na saída do pressostato permite ao operador alternar a operação das duas bombas ou operar a desejada (1 ou 2).
- Embora a lógica já esteja completa, há um problema potencial: depois que a bomba 1 completou um ciclo, há a possibilidade do contato CR-3 reabrir antes que o contato M_2-2 feche para selar o circuito. Se isto acontecer, a bobina M_2 será desenergizada e a bobina M_1 será energizada (isto depende da operação dos relés). Para evitar este problema, adiciona-se um temporizador TOFF (off delay – atrasado para desligar). Quando a bobina TR for energizada, o contato TR-1 fecha imediatamente, energizando CR. Quando TR desenergiza, o contato TR-1 permanece fechado por um determinado tempo ajustável antes de reabrir, garantindo que a bobina CR está desenergizada.



10. Sistema de Enchimento de garrafa: controle contínuo e discreto

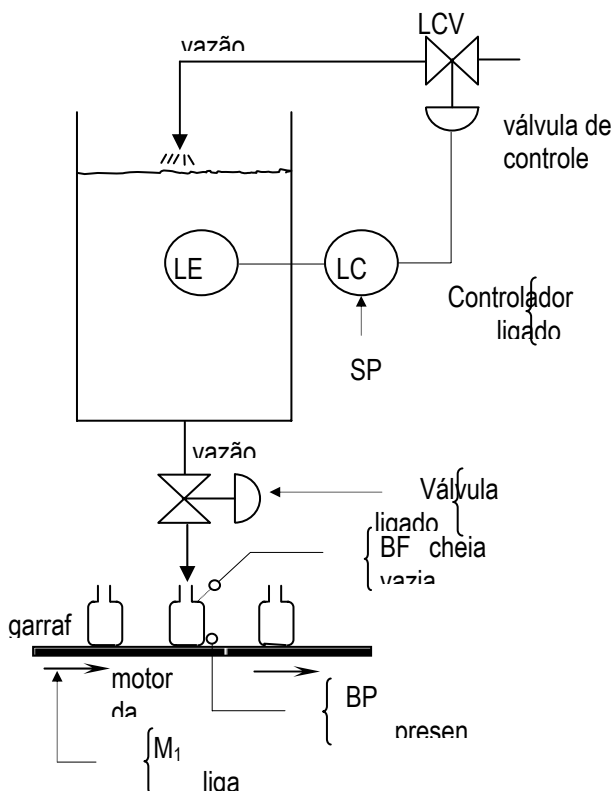
Fazer uma descrição da seqüência do evento para o sistema de enchimento de garrafas se movendo em uma esteira.

10.1. Descrição

Quando se dá um comando para parar o sistema de controle contínuo, a válvula de entrada vai para a posição fechada. A seqüência é a seguinte:

I. Inicialização (pré-enchimento do tanque)

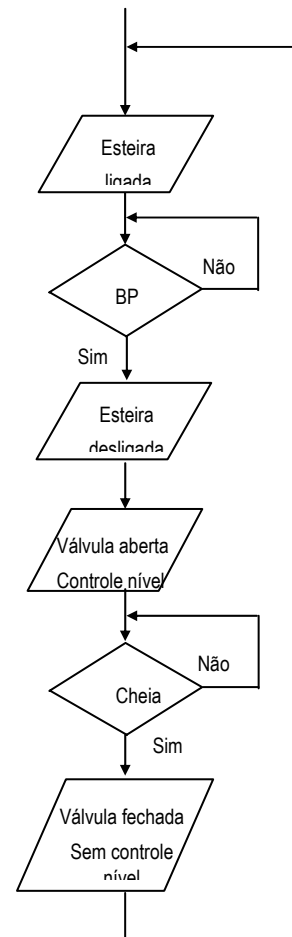
- A. Esteira parada, válvula de saída fechada
- B. Partir o sistema de controle de nível
 1. Operar durante um tempo suficiente para atingir o ponto de ajuste ou
 2. Colocar outro sensor de modo que o sistema saiba quando o ponto de ajuste é atingido
- C. Quando se atingir o nível, parar o controle de nível
- D. Ir para a fase de **Operação**



Esquema do processo

II. Operação

- A. Partir a esteira das garrafas
- B. Quando a garrafa estiver na posição
 1. Parar a esteira
 2. Abrir a válvula de saída
 3. Ligar o sistema de controle de nível para manter o nível constante durante o enchimento da garrafa
- C. Quando a garrafa estiver cheia
 1. Fechar a válvula de saída
 2. Parar o sistema de controle de nível
- D. Ir para a etapa II.A e repetir



Fluxograma (Flowchart)

10.2. Diagrama Ladder

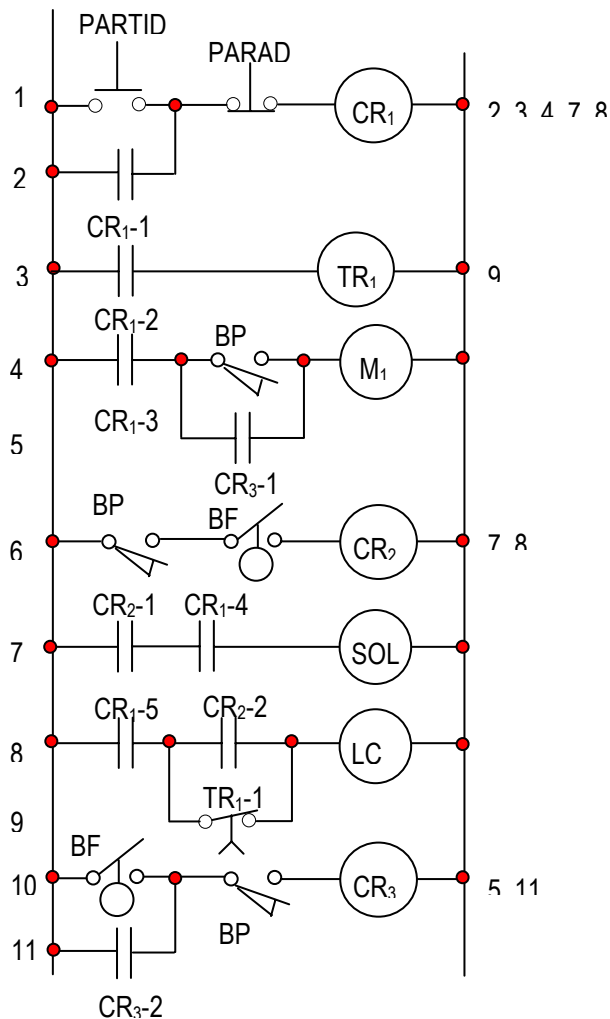


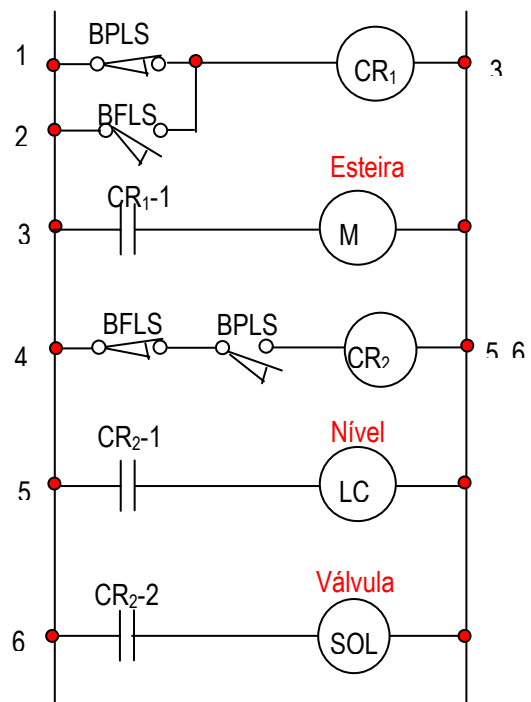
Fig. 1. Diagrama ladder para o sistema de controle de enchimento de garrafas

A inicialização é feita por um temporizador (TR_1) de 60 segundos, que liga o sistema de controle de nível por 1 minuto depois do botão partida. Ele nunca é energizado de novo durante a operação..

O motor M_1 aciona a esteira até uma garrafa ficar na posição correta, como indicado pela abertura da chave de posição (PB1). O relé CR_2 é usado para detectar a condição de cheia da garrafa, energizando CR_2 . Os contatos de CR_2 energizam o solenóide da válvula e o sistema de controle de nível. CR_3 é

necessário para detectar o enchimento da garrafa e para reiniciar a esteira até que a garrafa seja tirada da posição e a chave de presença da garrafa seja aberta. Ocorre uma operação contínua entre as linhas 3 e 11.

10.3. Diagrama Ladder para a Operação



11. Sistema de Esteira

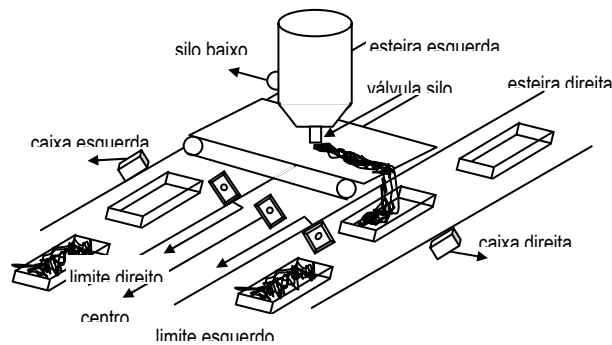


Fig. 1. Representação pictural do equipamento do processo

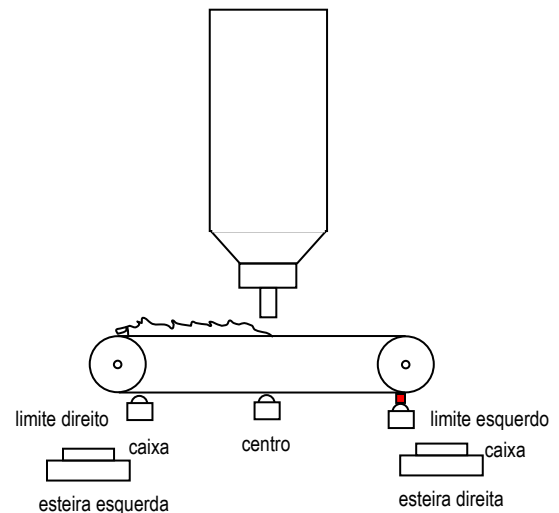


Fig. 2. Fim da fase de inicialização

11.1. Descrição

Fase de Inicialização

- A. Todos os motores desligados, Válvula solenóide desligada
- B. Teste da chave limite direita
 1. Se engajada, ir para C
 2. Se não, ajustar motor alimentação para movimento certo
 3. Ligar motor esteira alimentação
 4. Teste da chave limite direita
 - a. Se engajada, ir para C
 - b. Se não, ir para 4
- C. Estabelecer motor alimentação para movimento esquerdo e iniciar
- D. Teste da chave de centro
 1. Se engajada, ir para E
 2. Se não, ir para D
- E. Abrir válvula alimentação do silo
- F. Teste da chave limite esquerda
 1. Se engajada, ir para G
 2. Se não, ir para F
- G. Todos os motores desligados, chave de alimentação do silo fechada.
- H. Ir para fase de operação.

A finalização desta fase significa que a esteira de alimentação está posicionada no local limite esquerdo e a metade direita da esteira tem sido cheia do silo de alimentação. O sistema está em uma configuração conhecida, como mostrado na Fig. 2.

Fase de operação

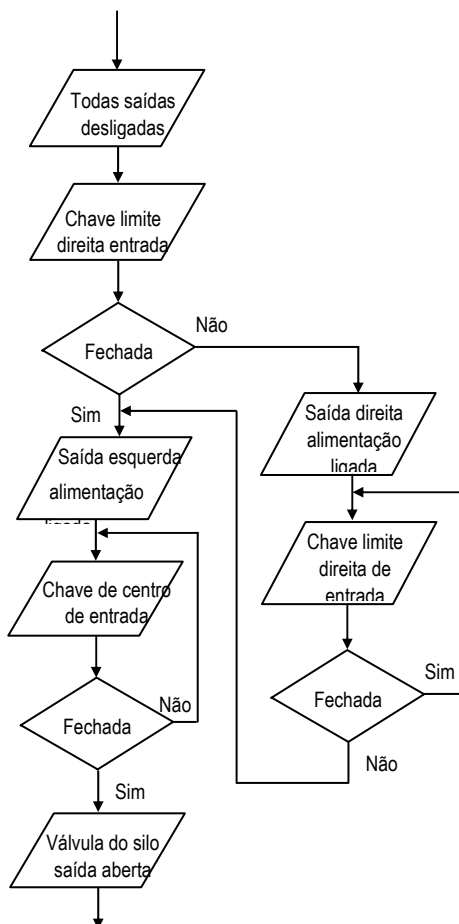
- A. Ligar esteira da caixa direita
- B. Teste chave de presença de caixa direita
 1. Se presente, ir para C
 2. Se não, ir para B
- C. Ligar motor da esteira de alimentação, movimento direito
- D. Testar chave de centro
 1. Se engajada, ir para E
 2. Se não, ir para D
- E. Abrir válvula do silo de alimentação
- F. Testar chave limite direita
 1. Se engajada, ir para E
 2. Se não, ir para D
- G. Fechar válvula do silo de alimentação, parar esteira de alimentação
- H. Ligar esteira da caixa esquerda
- I. Testar chave presença de caixa esquerda
 1. Se engajada, ir para J
 2. Se não, ir para I
- J. Ligar esteira de alimentação, movimento esquerdo
- K. Testar chave de centro
 1. Se engajada, ir para L
 2. Se não, ir para K
- L. Abrir válvula do silo de alimentação
- M. Testar chave limite esquerda
 1. Se engajada, ir para II.A
 2. Se não, ir para M

Notar que o sistema cicla do passo M para o passo A. A descrição é construída pela simples análise de quais eventos ocorrem e qual entrada e

saídas devem ser suportadas por estes eventos.

11.2. Fluxograma (Flowchart) da seqüência de eventos

Geralmente é mais fácil visualizar e construir a seqüência de eventos usando um fluxograma (flowchart) dos eventos. O fluxograma para o processo de enchimento de garrafas é o seguinte



12. Sistema de Elevador

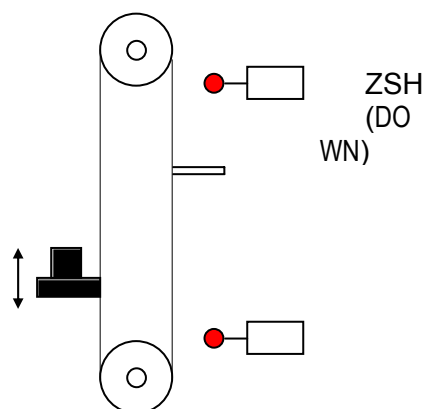
O elevador usa uma plataforma para mover objetivos para cima e para baixo. O principal objetivo é que, quando o botão UP for apertado, a plataforma leva algo para cima e quando o botão DOWN for apertado, a plataforma leva algo para baixo.

12.1. Equipamento

Equipamento de entrada

LS ₁	chave limite NF para indicar posição UP
LS ₂	chave limite NF para indicar posição DOWN
PARTIDA	botão NA para partir
PARADA	botão NA para parar
SUBIDA	botão NA para comando subir
DESCIDA	botão NA para comando descer

Equipamentos de saída



M₁ motor para acionar a plataforma para cima

M₂ motor para acionar a plataforma para baixo

12.2. Descrição narrativa

1. Quando o botão PARTIDA é apertado, a plataforma é acionada para a posição para baixo
2. Quando o botão PARADA é apertado, a plataforma pára, em qualquer posição que estiver naquele momento
3. Quando o botão SUBIDA é apertado, a plataforma é acionada para cima, se ela não estiver descendo
4. Quando o botão DESCIDA é apertado, a plataforma é acionada para baixo, se ela não estiver subindo

12.3. Solução

A solução será feita, dividindo as exigências nas tarefas individuais:

1. mover plataforma para baixo, quando se aperta PARTIDA
2. parar a plataforma
3. seqüências de subir e descer

Partida

Quando se aperta a chave PARTIDA (BP_1), o contato $CR_1 - 1$ sela a bobina CR_1 e $CR_1 - 2$ liga o motor M_2 , que faz a plataforma descer. Quando a plataforma atingir a posição baixa, chave LS_2 abre, desenergizando CR_1 e parando o motor M_2 .

A chave LS_2 fica fechada enquanto a plataforma não estiver na posição baixa. A chave LS_2 abre para indicar que a plataforma atingiu a posição mais baixa. Quando a linha 1 é aberta pela chave LS_2 , o selo $CR_1 - 1$ abre, eliminando o selo.

As três linhas do diagrama ladder só operam quando a botoeira PARTIDA (BP_1) é acionada.

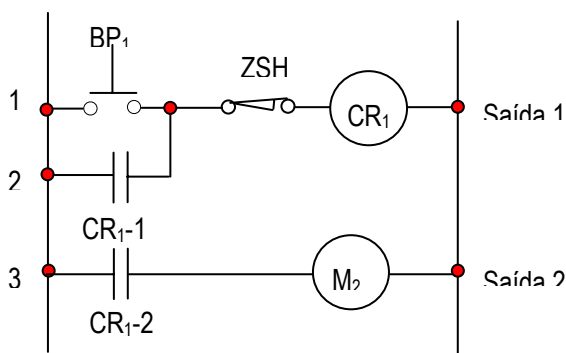


Fig. 2. Inicialização para mover a plataforma para baixo quando se aperta o botão PARTIDA

Parada

Para a seqüência **parada**, tem-se um relé mestre CR_3 para o resto do sistema. Como a chave PARADA é NA, não se pode usá-la para energizar CR_3 , como em circuito com chave NF. Em vez disso, usa-se a chave PARADA para energizar um outro relé CR_2 e usam-se os contatos NF deste relé para desenergizar CR_3 . Assim, quando se aciona a chave PARTIDA, CR_3 é energizado pelo contato de selo CR_1 e pelo contato NF de CR_2 . Quando se aciona PARADA, CR_2 é energizado, causando o contato NF ($CR_2 - 1$) abrir e desenergizar CR_3 .

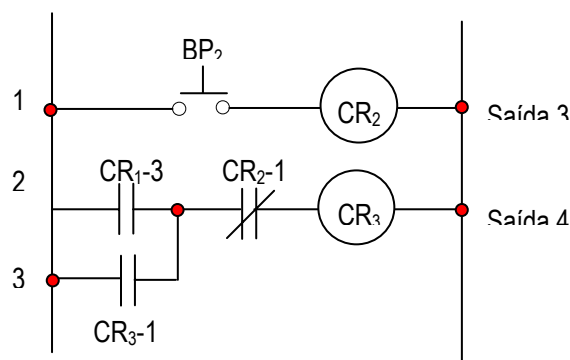


Fig. 3. Inicialização para mover a seqüência PARADA

Seqüências SUBIDA e DESCIDA

Em cada caso, um relé é selado para energizar um motor, se

- CR₃ é energizado,
- o botão apropriado é acionado,
- o limite não foi atingido e
- a outra direção não foi energizada.

Um contato NF de relé é usado para garantir que o motor de subida não é ligado se o motor de descida estiver ligado e vice-versa.

Também é necessário adicionar um contato para garantir que M_2 não seja ligado se houver um movimento para cima e se alguém acionar a botoeira PARTIDA.

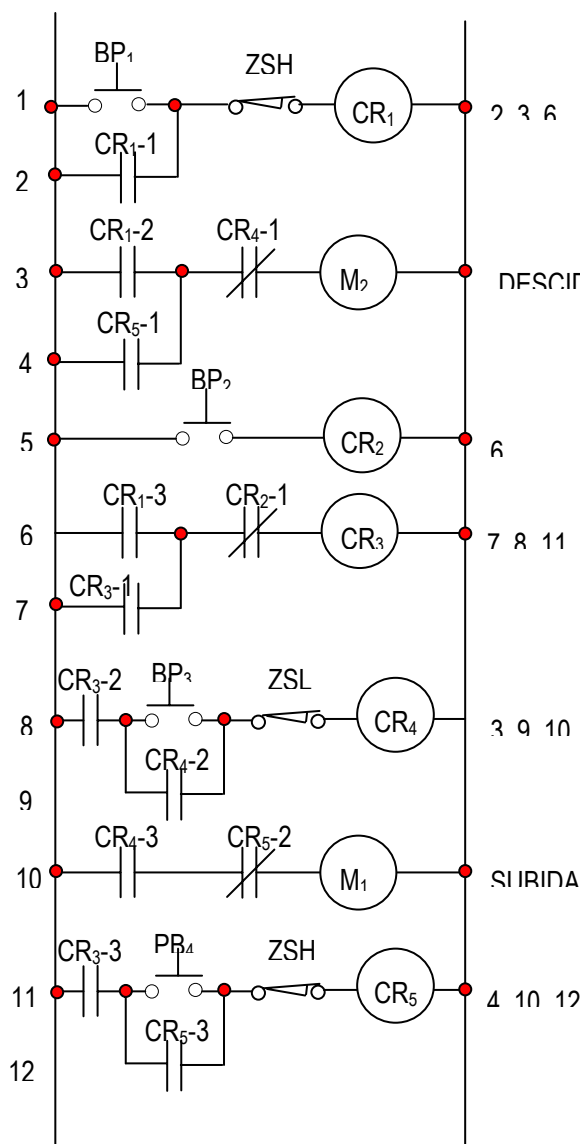


Fig. 3. Diagrama ladder completo

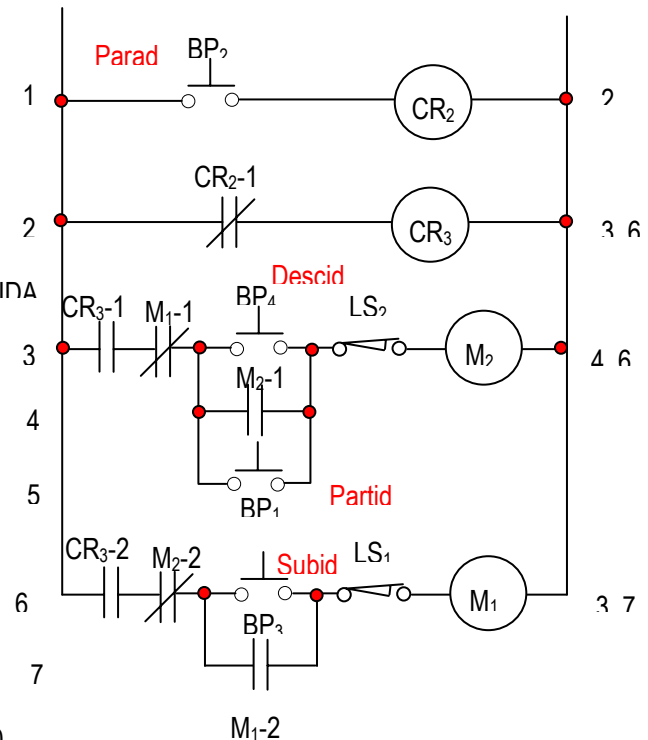


Fig. 1. Diagrama ladder simplificado alternativo

O diagrama ladder pode ser simplificado, considerando-se que M_1 e M_2 podem ser realmente relés usados para ligar os motores via contatos. Se é assumido que estes relés podem ter contatos adicionais para acionar outras operações do diagrama ladder, então alguns dos relés de controle podem ser eliminados. Por exemplo, M_1 e M_2 podem ser considerados relés com os respectivos contatos.

13. Enchimento de tanque

Definir as variáveis de estado para o processo de aquecer um líquido em uma temperatura ajustada e manter esta temperatura por 30 minutos.

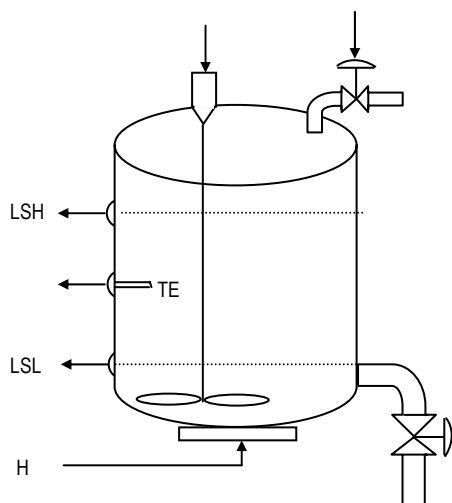


Fig. 9. Processo do tanque

13.1. Equipamentos

1. Botão NA de PARTIDA
2. Botão NF de PARADA
3. Chaves de nível alto e baixo

13.2. Sequência de eventos

1. Encher o tanque
2. Aquecer e agitar o líquido à temperatura de ponto de ajuste e mantê-la por 30 min
3. Esvaziar o tanque
4. Repetir o ciclo

13.3. Explicação do ladder

A linha 3 abre a válvula de entrada, desde que a válvula de saída não esteja aberta, até o nível atingir o valor alto (LSH abre em nível alto). Quando o tanque estiver cheio, a linha 4 liga o motor de agitação, desde que a válvula de saída não esteja aberta. A linha 5 parte um temporizador de 30 minutos. A linha 6 controla o aquecedor. A linha é energizada e desenergizada quando a temperatura fica abaixo e acima do ponto de ajuste. Quando o temporizador expira o tempo, a linha é desenergizada e a linha 7 é

energizada para abrir a válvula de saída. A válvula de saída permanece aberta até que o nível do tanque atinja o valor mínimo. Quando o tanque fica vazio, a chave LSL abre. A válvula de saída não pode ser aberta enquanto a válvula de entrada estiver aberta.

13.4. Diagrama Ladder

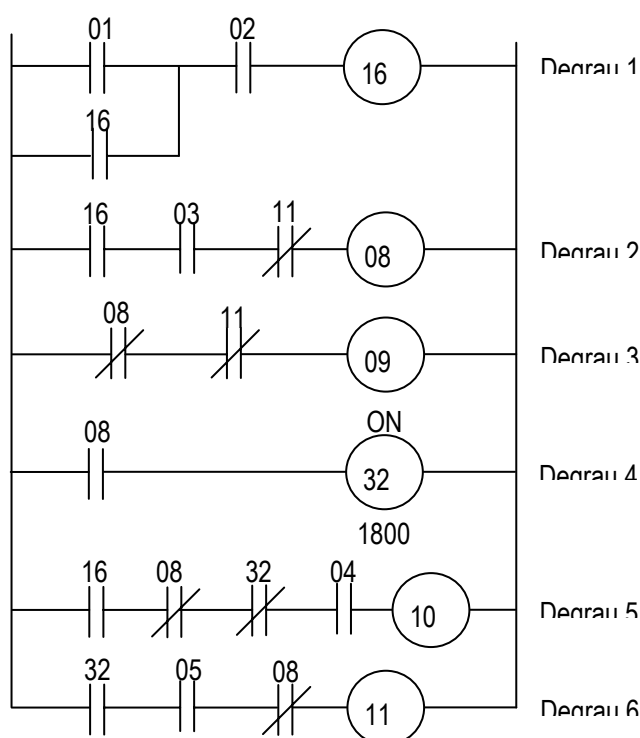
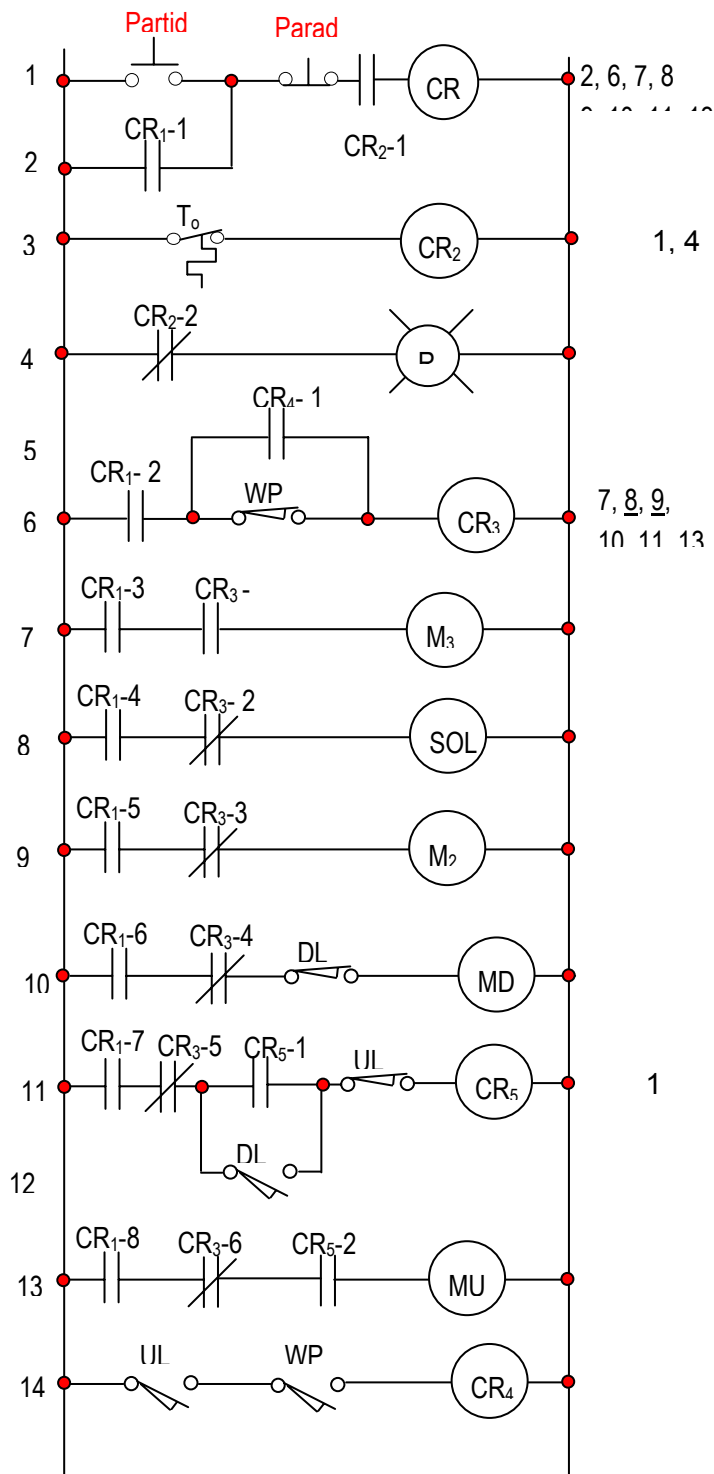
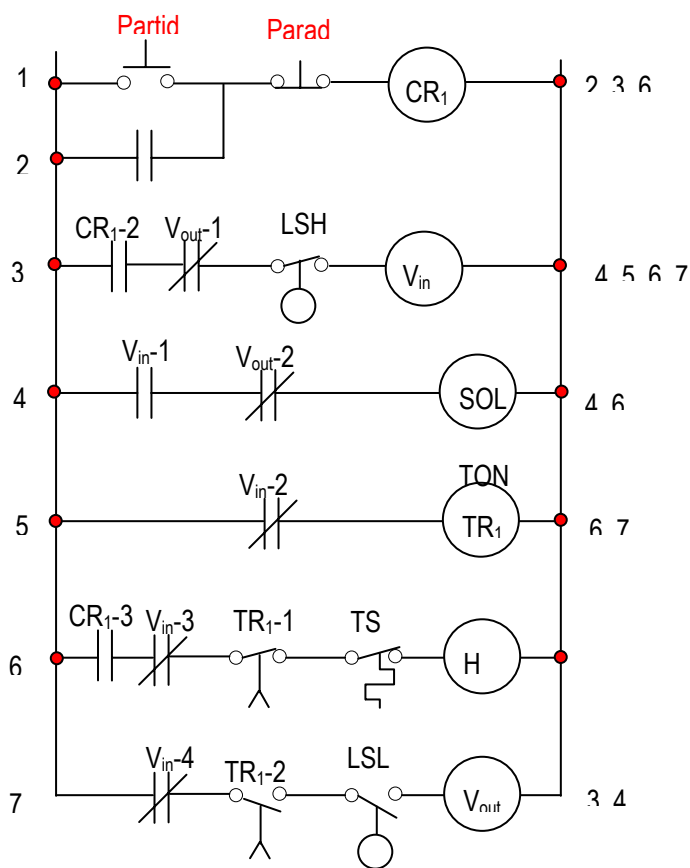


Diagrama ladder programado para CLP



6. Blocos Funcionais

1. Conceitos Básicos

1.1. Geral

A norma IEC-1131-3 define o Diagrama de Bloco de Função, linguagem gráfica para o controlador lógico programável, que é consistente com a norma IEC 617-12: *Graphical symbols for diagrams*, para instrumentos analógicos e digitais.

2.2. Combinação de elementos

Os elementos da linguagem Diagrama de Bloco Funcional (Functional Block Diagram, FBD) devem ser interligados por linhas de fluxo de sinal conforme a norma.

Saídas dos blocos não devem ser ligadas juntas. Em particular, o OR fiado da linguagem do diagrama ladder não é permitido na linguagem FBD; um bloco OR booleano explícito é necessário, em vez disso, como mostrado na **Fig. 6. 24**.

OR fiado fisicamente como em diagrama ladder	Função OR na linguagem FBD

Fig. 6.1. Exemplos de OR booleanos

2.3. Ordem da avaliação do circuito

Dentro de uma unidade de organização de programa, na linguagem FBD, a ordem da avaliação do circuito deve seguir a regra que o circuito deve ser completo antes de começar a avaliação de outro circuito que use uma ou mais saídas do circuito avaliado anterior.

2.4. Bloco de função

Bloco de função é uma unidade de organização de programa que, quando executa, gera um ou mais valores. Pode-se criar várias instancias nomeadas de um bloco de função. Cada instância deve ter um identificador associado (nome da instância) e uma estrutura de dados, contendo sua saída e variáveis internas e, dependendo da implementação, valores de ou referencias para seus parâmetros de entrada. Todos os valores das variáveis de saída e as variáveis internas necessárias desta estrutura de dados devem persistir de uma execução do bloco de função para o próximo, de modo que a invocação do mesmo bloco de função com os mesmos argumentos (parâmetros de entrada) não necessariamente forneçam o mesmo valor de saída.

Somente os parâmetros de entrada e saída devem ser acessíveis do lado de fora de uma instância de um bloco de função, i.e., as variáveis internas do bloco de função devem ser ocultas do usuário do bloco de função.

Qualquer bloco de função que tenha sido declarado pode ser usado na declaração de outro bloco de função ou programa.

O escopo de uma instância de um bloco de função deve ser local à unidade de organização de programa em que ele é instanciado, a não ser que seja declarado global em um bloco VAR_GLOBAL.

O nome de instância de um bloco de função pode ser usado como a entrada para uma função ou bloco de função, se declarado como uma variável de entrada na declaração VAR_INPUT ou como uma variável de entrada/saída de um bloco de função em uma declaração VAR_IN_OUT

Os blocos de função podem ser

1. Padrão
2. Personalizado

Bloco padrão é aquele elementar e seminal, que é usado clonado em aplicações repetitivas, onde ele pode aparecer várias vezes. A partir dos blocos padrão, fabricantes de CLP, usuários e integradores de sistema desenvolveram os blocos personalizados ou compostos, para executar tarefas mais complexas.

Fazendo analogia com a eletrônica, um bloco padrão é análogo e a um componente discreto de circuito. O bloco personalizado é análogo a um circuito integrado, onde vários elementos discretos são combinados. O bloco personalizado é fechado e difícil para o seu usuário entender sua operação, a não ser que ele seja bem documentado.

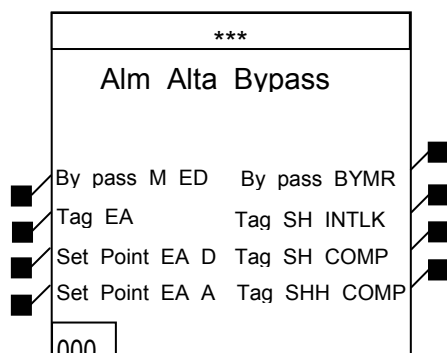


Fig. 6.2. Bloco de função personalizado, para alarme e desarme de alta com bypass

Por exemplo, pode-se criar um bloco de função personalizado para fazer alarme de alta de uma variável analógica com bypass.

As entradas deste bloco são:

By_pass_M_ED – entrada digital

Tag_EA – entrada analógica da variável a ser alarmada

Set_Point_EA_D – valor ajustado para desarme (atuado no ponto muito alto, HH)

Set_Point_EA_A – valor ajustado para alarme (atuado no ponto de alta, H)

As saídas do bloco são:

By_pass_BYMR – retorno do bypass da manutenção

Tag_SH_INTLK – saída de alta do intertravamento

Tag_SH_COMP – comparador do sinal de alarme de alto

Tag_SHH_COMP – comparador do sinal de desarme de muito alto

Para construir este bloco personalizado, foram utilizados:

1. duas portas de seleção GE (maior ou igual)
2. uma porta MOVE, para levar um sinal da entrada para a saída
3. uma porta OR

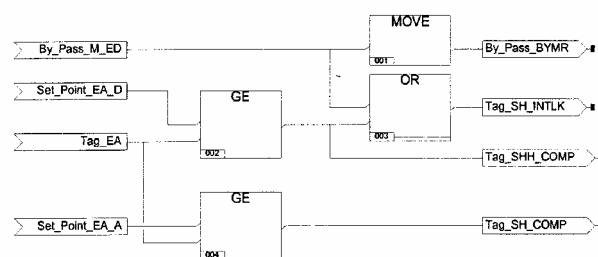


Fig. 6.3. Interior do bloco de função Alm_Alta_Bypass

3. Blocos Funcionais Padrão

AIN

Bloco de entrada analógica. Recebe e transforma os valores das entradas analógicas em contagens de um valor real, limitando-os entre MN e MX.

Parâmetros do bloco:

IN Entrada (DINT)

MX Limite superior (REAL)

MN Limite inferior (REAL)

Saída varia de MN a MX (REAL)

Característica:

Se a entrada está entre 819 e 4095 contagens, Então o valor da saída varia entre MN e MX. Senão (a entrada é menor que 819 ou maior que 4095), a saída é limitada entre MN e MX, respectivamente.

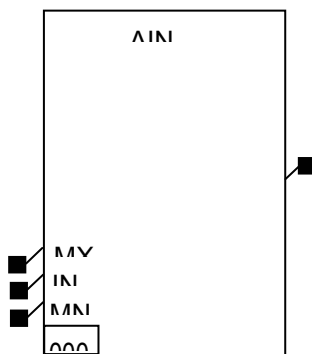


Fig. 6.4. Bloco de função AIN

Aritmética de Adição (ADD)

1. O valor da saída deste bloco de função é igual à soma dos valores de todas as entradas.
2. O bloco de adição é extensível, ou seja, pode ter de 2 a 50 entradas.
3. Ele pode operar com variáveis numéricas, datas, tempos e horas do dia (TOD)

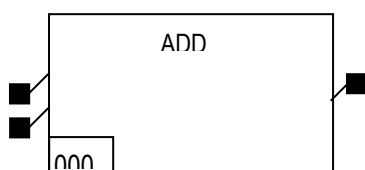


Fig. 6.5. Bloco de função ADD

Aritmética de Subtração (SUB)

1. O valor da saída deste bloco de função é igual à subtração do valor da entrada superior menos o valor da entrada inferior.
2. O bloco de adição só pode ter de duas entradas.

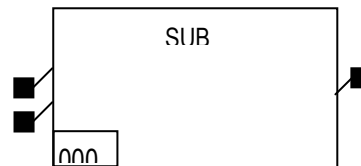


Fig. 6.6. Bloco de função SUB

Aritmética de Divisão (DIV)

1. O valor da saída deste bloco de função é igual à divisão do valor da entrada superior pelo valor da entrada inferior.
2. O bloco de Divisão só pode ter de duas entradas.

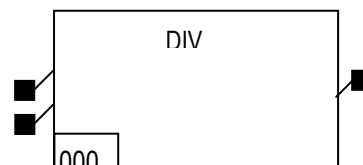


Fig. 6.7. Bloco de função DIV

Aritmética de Multiplicação (MUL)

3. O valor da saída deste bloco de função é igual ao produto dos valores das entradas.
4. O bloco MUL é extensivo, podendo ter de 2 a 50 entradas.

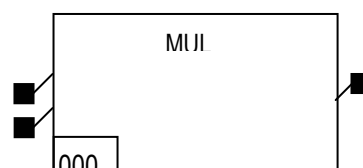


Fig. 6.8. Bloco de função MUL

Comparador Diferente de (NE)

Este bloco compara as duas entradas:
Se elas forem diferentes, Então, a saída é 1, Senão (forem iguais), a saída é 0.

Este bloco é chamado também de **Não Igual (<>)**.

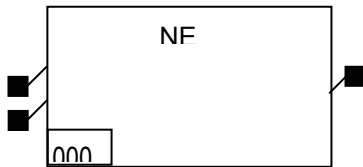


Fig. 6.9. Bloco de função NE

Comparador Maior ou Igual (GE)

1. Se o valor da entrada superior for maior ou igual ao valor da entrada inferior, Então a saída é 1, Senão, a saída vai para 0.

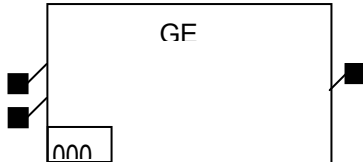


Fig. 6.10. Bloco de função GE

Comparador Menor ou Igual (LE)

1. Se o valor da entrada superior for menor ou igual ao valor da entrada inferior, Então a saída é 1; Senão, a saída passa para 0.

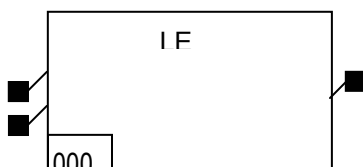


Fig. 6.11. Bloco de função LE

Contador Crescente (CTU)

Este bloco de função faz uma contagem crescente. Seus parâmetros são:

CU – Entrada do pulso de contagem

R – quando R = 1, contador é zerado

PV – é um valor predeterminado

CV – é o valor atual do contador

Q – Saída. Se $CV \geq PV$, Então a saída Q passa para 1, Senão ($CV < PV$), Q permanece em 0.

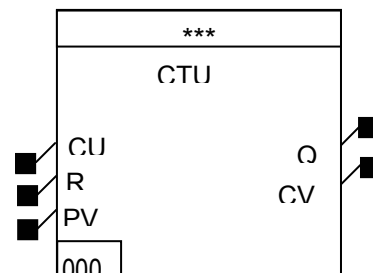


Fig. 6.12. Bloco de função CTU

Contador Decrescente (CTD)

Este bloco de função faz uma contagem decrescente. Seus parâmetros são:

CD – Entrada do pulso de contagem

R – quando R = 1, contador é zerado

PV – é um valor predeterminado, onde contador inicia a contagem

CV – é o valor atual do contador

Q – Saída. Se $CV \leq PV$, Então a saída Q passa para 1, Senão ($CV > PV$), Q permanece em 0.

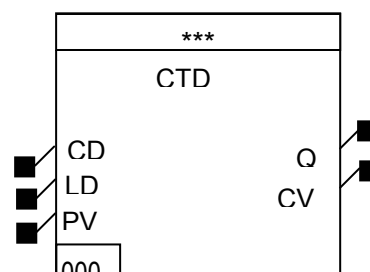


Fig. 6.13. Bloco de função CTD

Contador Crescente e Decrescente (CTDU)

Este bloco de função faz contagens crescente e decrescente. Seus parâmetros são:

CU – Entrada do pulso de contagem crescente

CD – Entrada do pulso de contagem decrescente

R – quando R = 1, contador é zerado

PV – é um valor predeterminado

CV – é o valor atual do contador

QU – Saída do contador crescente. Se $CV \geq PV$, Então a saída Q passa para 1, Senão ($CV < PV$), Q permanece em 0.

QD – Saída do contador decrescente. Se $CV \leq PV$, Então a saída Q passa para 1, Senão ($CV > PV$), Q permanece em 0.

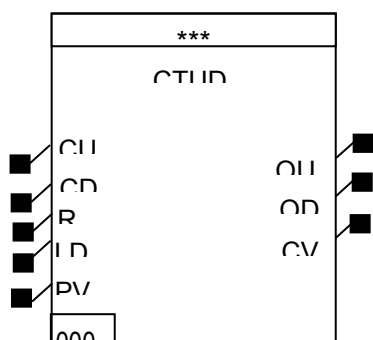


Fig. 6.14. Bloco de função CTUD

Conversor DINT_TO_DWORD

1. Converte o tipo de entrada DINT (Inteiro Duplo) para a saída do tipo DWORD (Palavra dupla, 32 bits, tipicamente usada em comunicação digital ModBus)

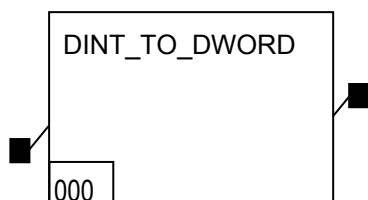


Fig. 6.15. Bloco de função DINT_TO_DWORD

Conversor DWORD_TO_DINT

1. Converte o tipo de entrada DWORD (Palavra Dupla) para a saída do tipo DINT (Inteiro Duplo).

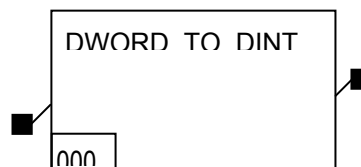


Fig. 6. 16. Bloco de função DWORD_TO_DINT

Conversor DINT_TO_REAL

1. Converte o tipo de entrada DINT (Inteiro Duplo) para a saída do tipo REAL.

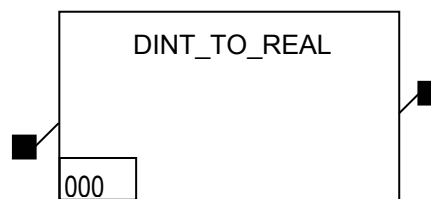


Fig. 6. 17. Bloco de função DINT_TO_REAL

Detector de Borda de Descida (F_TRIG)

Este bloco de função detecta o canto de descida (falling edge) de um pulso, com a seguinte lógica:

1. Se a entrada CLK passa de 1 para 0, Então a saída Q passa para 1 durante um tempo de varredura (Scan)
2. Transcorrido o tempo de varredura, a saída CLK volta para 0.

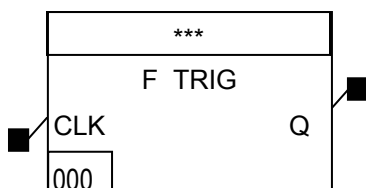


Fig. 6. 18. Bloco de função F_TRIG

Detector de Borda de Subida (R_TRIG)

Este bloco de função detecta o canto de subida (raising edge) de um pulso, com a seguinte lógica:

3. Se a entrada CLK passa de 0 para 1, Então a saída Q passa para 1 durante um tempo de varredura (Scan)
4. Transcorrido o tempo de varredura, a saída CLK volta para 0.

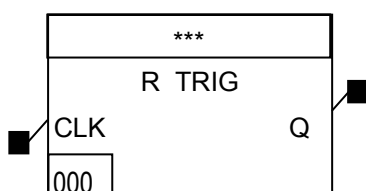


Fig. 6. 19. Bloco de função R_TRIG

Flip Flop RS (R prioritário)

Bloco utilizado como memória ou selo.

1. Se entrada S passa de 0 para 1 (recebe um pulso), Então a saída Q passa de 0 para 1, e mantém-se em 1 até que exista um pulso de 0 para 1 em R₁ (reset).
2. Se a saída Q está em 1 e a entrada R₁ para de 0 para 1, Então a saída Q passa de 1 para 0.

O reset (R₁) é prioritário em relação ao set (S).

Flip Flop SR (S prioritário)

Bloco utilizado como memória ou selo.

1. Se entrada S₁ passa de 0 para 1 (recebe um pulso), Então a saída Q passa de 0 para 1, e mantém-se em 1 até que exista um pulso de 0 para 1 em R (reset).
2. Se a saída Q está em 0 e a entrada S₁ passa de 0 para 1, Então a saída Q passa de 0 para 1.

O set (S₁) é prioritário em relação ao reset (R).

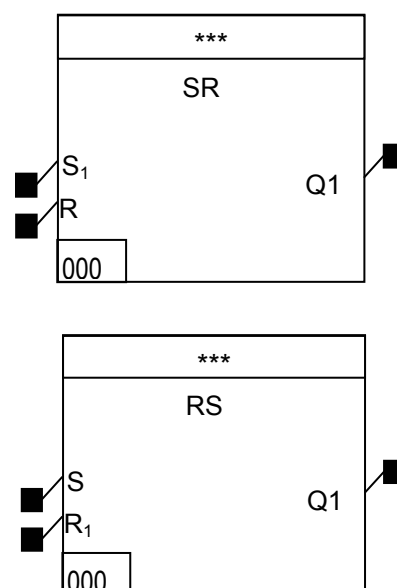


Fig. 6. 20. Blocos de função flip flop RS e SR

Lógica Ou (OR)

Este bloco faz a seguinte lógica booleana:

1. Se uma ou mais de suas entradas são verdadeiras (1), Então a sua saída é verdadeira (1); Senão, a saída é falsa (0). A saída é falsa (0) somente se todas as entradas forem falsas (0).
2. Este bloco é extensível, pois pode ter de 2 a 50 entradas, com uma única saída.

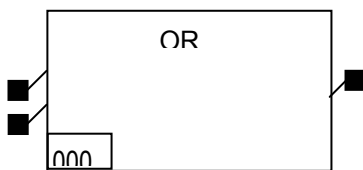


Fig. 6. 21. Bloco de função OR

Lógica E (AND)

Este bloco faz a seguinte lógica booleana:

1. Se uma ou mais de suas entradas são falsas (0), a sua saída é falsa(0). Senão, a saída é verdadeira (1). A saída é verdadeira (1) somente se todas as entradas forem verdadeiras (1).
2. Este bloco é extensível, podendo ter de 2 a 50 entradas, com uma única saída.

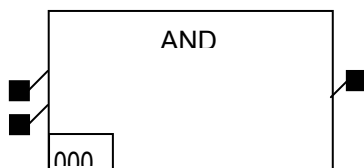


Fig. 6. 22. Bloco de função AND

Lógica Mover (MOVE)

1. O bloco MOVE transfere o valor de sua entrada para a sua saída. Ele tem a função de atribuir valores.
2. Este bloco possui apenas uma entrada e uma saída

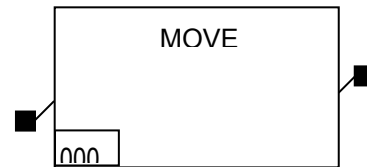


Fig. 6. 23. Bloco de função MOVE

Lógica Não (NOT)

Este é o bloco lógico booleano inversor: a saída é sempre contrária à entrada, ou seja:

1. Entrada 1, Saída 0
2. Entrada 0, Saída 1

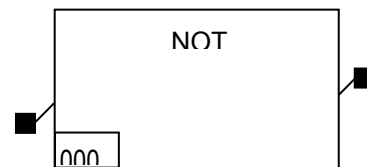


Fig. 6. 24. Bloco de função NOT

Multiplexador (MUX)

1. O valor da saída é igual ao valor da entrada correspondente ao número indicado em K, que pode variar de 0 a 49.
2. O bloco MUX pode selecionar entre 2 e 50 variáveis de entrada.

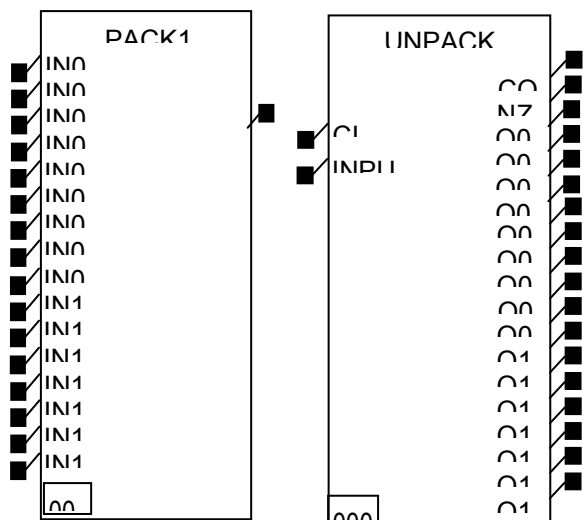
PACK16

Os blocos de função PACK16 e UNPACK16 são usados para compactar e descompactar na comunicação de protocolos digitais, e.g., ModBus.

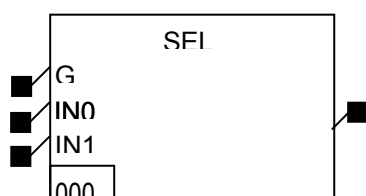
1. Compacta uma série de 16 bits de entrada em uma palavra de saída do tipo WORD, que será enviada pelo CLP para a comunicação ModBus.

UNPACK16

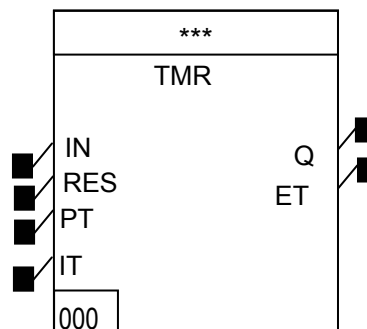
1. Desagrupa uma entrada do tipo WORD, que está sendo recebida pelo CLP, via ModBus, em 16 variáveis de saída do tipo BOOL (booleana, 0 ou 1), para serem usadas na lógica.

Fig. 6. 25. Blocos de função **PACK16** e **UNPACK16****Seletor de Sinais (SEL)**

1. Se o valor da entrada G = 0, Então o valor da saída é igual ao valor da entrada IN0.
2. Se o valor da entrada G = 1, Então o valor da saída é igual ao valor da entrada IN1.

Fig. 6. 26. Bloco de função **SEL****Temporizador (TMR)**

O período de tempo em que a entrada IN estiver em 1 é registrado no acumulador. Quando o tempo atingir o valor pré-ajustado PT, a saída Q passa a 1. Se o RESET ficar igual a 1, Então o acumulador é zerado. IT é o tempo inicial do acumulador.

Fig. 6. 27. Bloco de função **TMR****Temporizador TOF**

Neste temporizador, a temporização é para a desenergização. Seus parâmetros são os seguintes:

IN – entrada
PT – tempo pré-ajustado (TIME)
Q – saída
ET – Tempo transcorrido
Sua lógica é:

1. Se a entrada IN vai de 0 para 1, então a saída vai também de 0 para 1, instantaneamente.
2. Quando a entrada vai de 1 para 0, a saída começa a contagem. Se a entrada voltar para 1 antes de transcorrido o tempo de temporização (ajustado em PT), a saída continua em 1.
3. Se a entrada vai de 1 para 0 e fica desligada por período maior que o PT, então a saída vai para 0 depois de PT.
4. A saída permanece em 0 enquanto a entrada ficar em 0 e só volta a ligar (ficar igual a 1) quando a entrada voltar a ficar igual a 1.

Enfim, o temporizador TOF liga instantaneamente quando a entrada é ligada e desliga depois de um tempo PT depois que a entrada ficar desligada (o tempo em que a entrada fica desligada deve ser maior que PT).

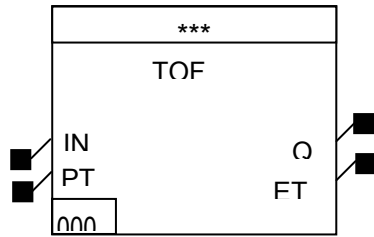
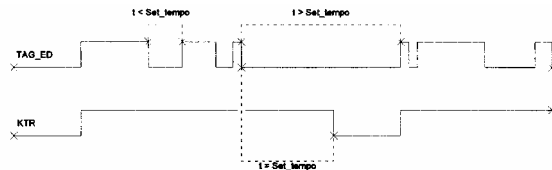


Fig. 6. 28 (a). Bloco de função TOF



Neste temporizador, a temporização é para a energização. Seus parâmetros são os seguintes:

IN – entrada

PT – tempo pré-ajustado (TIME)

Q – saída

ET – Tempo transcorrido

Sua lógica é:

5. Se a entrada IN vai de 1 para 0, então a saída vai também de 1 para 0, instantaneamente.
6. Quando a entrada vai de 0 para 1, a saída começa a contagem. Se a entrada voltar para 0 antes de transcorrido o tempo de temporização (ajustado em PT), a saída continua em 0.
7. Se a entrada vai de 0 para 1 e fica ligada por período maior que o PT, então a saída vai para 1 depois de PT.
8. A saída permanece em 1 enquanto a entrada ficar em 1 e só volta a desligar (ficar igual a 0) quando a entrada voltar a ficar igual a 0.

Enfim, o temporizador TON desliga instantaneamente quando a entrada é desligada e liga depois de um tempo PT depois que a entrada ficar ligada (o tempo em que a entrada fica ligada deve ser maior que PT).

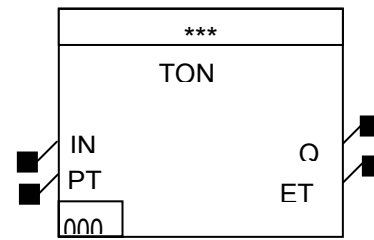


Fig. 6. 29 (a). Bloco de função TON

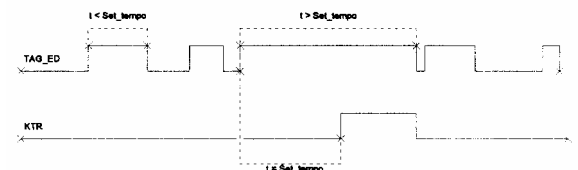
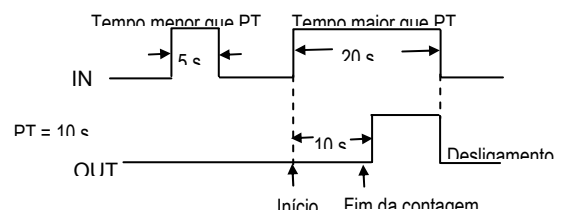
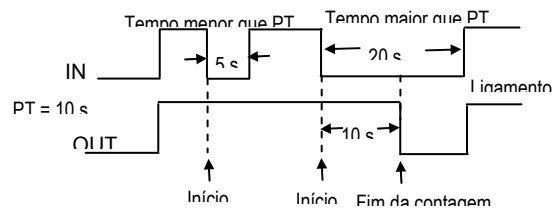


Fig. 6. 29 (b). Diagrama de tempo do TON



(a) Temporizador TON



(b) Temporizador TOF

Fig. 6.30. Diagrama dos tempos do TON e TOF

Temporizador TP

Neste temporizador, a temporização é comandada por pulsos. Seus parâmetros são os seguintes:

IN – entrada

PT – tempo pré-ajustado (TIME)

Q – saída

ET – Tempo transcorrido

Sua lógica é:

1. Se a entrada IN vai de 0 para 1 (recebe um pulso), a saída Q vai para 1 e permanece igual a 1 durante o tempo ajustado PT, independente da entrada IN.
2. Transcorrido o tempo PT, a saída Q vai de 1 para 0.

4. Blocos Personalizados

A partir dos blocos padrão, é possível, desejável e se fazem blocos personalizados, que serão usados de modo repetitivo. Depois de construídos, estes blocos personalizados são armazenados no arquivo Biblioteca para serem usados. Também a partir de blocos personalizados, pode-se construir outros blocos personalizados mais complexos.

Alguns blocos personalizados podem, quando muito utilizados, ser tratados como padrão pelo fabricante de CLP ou desenvolvedor de sistemas.

4.1. Parâmetros dos blocos

Variável INPUT

Entrada. Pode ser um valor físico de equipamento ou ainda um valor de memória.

Variável OUTPUT

Saída. Pode ser um valor físico de equipamento ou ainda um valor de memória. O seu valor pode ser usado como entrada, quando ligado ao terminal de direita.

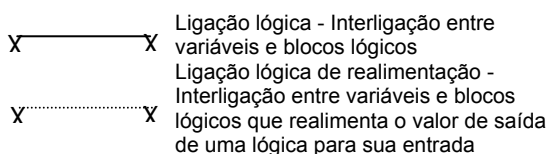
Variável LOCAL

Esta variável é usada apenas quando se têm pontos de transferência de valores, não está associada ao equipamento ou memória, podendo ser utilizada como entrada ou resultado de uma operação lógica.

Constante

Possui valores que são utilizados para execução da lógica. Não possui TAG.

Elos de ligação



Indicações das variáveis

<value>

Utilizado para indicar o valor atual da variável quando ligado ao sistema

CH.SL.PT=>

Indica um Chassi, Slot e Terminal ou se está na memória. Na seqüência, é indicado o Alias (endereço de comunicação ModBus) para a variável, quando houver. Por exemplo: CH.SL.PT=>01.05.14 12023 é o ponto físico no Chassi 01, Slot 05 e ponto 14 com Alias 12023.

99(A99)

Indica a referência de página. O primeiro número indica a página. A letra e número entre parêntesis indicam o quadrante, ou seja, as coordenadas Y (vertical) e X (horizontal) e da variável. Esta indicação é utilizada para variáveis de transferência entre páginas ou quando uma variável é utilizada mais de uma vez na lógica. Por exemplo,

5(A4) – a variável está na página 5, na ordenada X = 4 e Y = A.

Formação de TAG

O hífen (“-”) dos Tags foi trocado por traço de sublinhar (underscore), “_” ou foi retirado.

Os Tags podem ter prefixos nos finais para identificar seus tipos. Por exemplo, tem-se:

ED Entrada digital do Triconex

EA Entrada analógica do Triconex

SD Saída digital do Triconex

Não há nenhuma saída analógica (SA) do Triconex, embora exista o bloco AOU.

As outras variáveis são internas e auxiliares do programa (geralmente sem Alias) ou de comunicação com o supervísório (com Alias).

Variáveis com a indicação C ou _ são de comunicação escrita com o supervísório do Triconex. Quando a variável contém R ou _R, ela é de retorno do comando enviado pelo supervísório, sendo então uma variável de leitura do Triconex para o supervísório.

Alarme/Desarme de ALTA com By Pass

Se Tag_EA for maior ou igual a Set_Point_EA_A,
Então Tag_SH_COMP=0
Senão Tag_SH_COMP=1

Se Tag_EA for maior ou igual a Set_Point_EA_D,
Então Tag_SHH_COMP=0 e Tag_SH_INTLK=0
Senão Tag_SH_COMP=1 e Tag_SH_INTLK=1

Se By_Pass_BYM_ED=1
Então By_Pass_BYMR=1 e Tag_SH_INTLK=1
Senão Tag_SH_INTLK será conforme item 2.

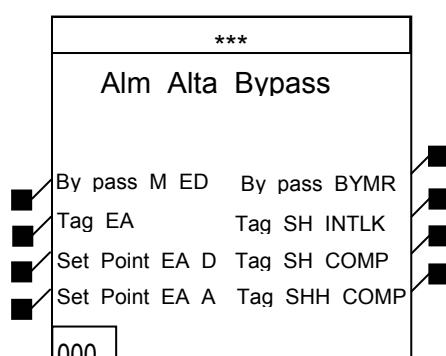


Fig. 6. 32. Bloco de função personalizado Alm_Alta_Bypass

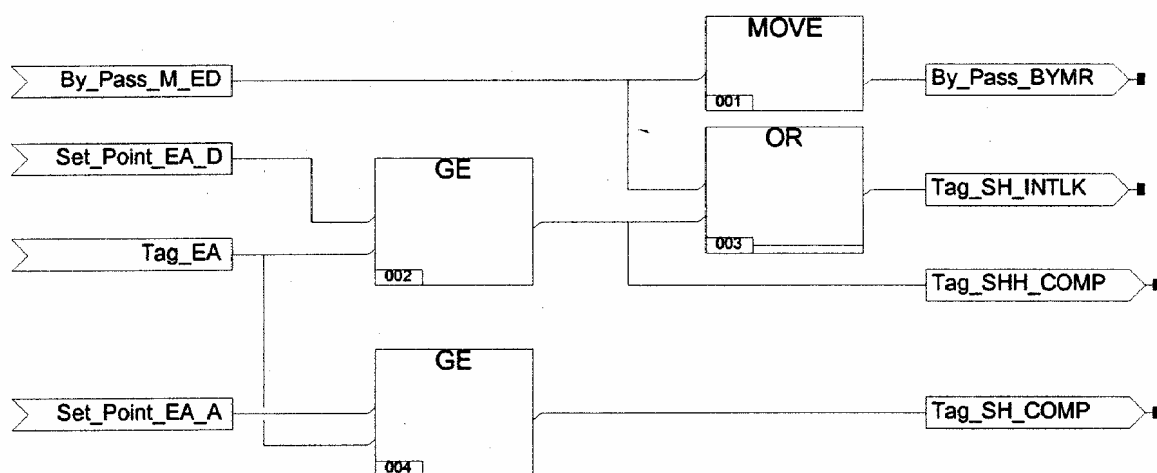


Fig. 6. 33. Bloco de função Alm_Alta_Bypass explodido

Alarme/Desarme de BAIXA com By Pass

1. Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_A,
Então Tag_SL_COMP=0
Senão Tag_SL_COMP=1
2. Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_D,
Então Tag_SLL_COMP=0 e Tag_SL_INTLK=0
Senão Tag_SL_COMP=1 e Tag_SL_INTLK=1
3. Se By_Pass_BYM_ED=1
Então By_Pass_BYMR=1 e Tag_SL_INTLK=1
Senão By_Pass_BYMR=0 e Tag_SL_INTLK será conforme item 2.

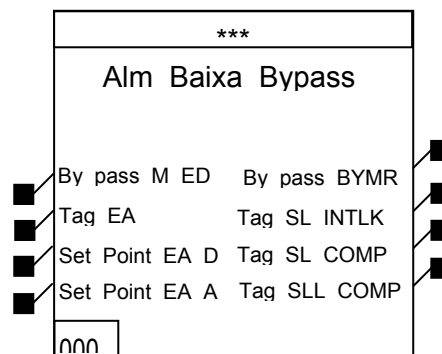


Fig. 6. 34. Bloco de função personalizado Alm_Baixa_Bypass

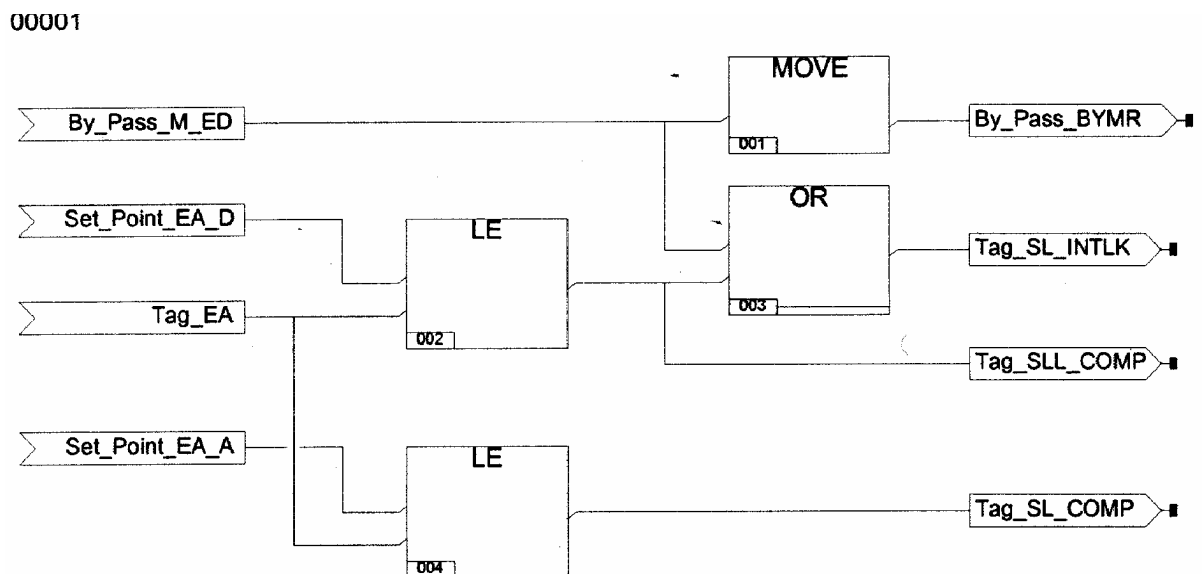


Fig. 6. 35. Bloco de função Alm_Baixa_Bypass explodido

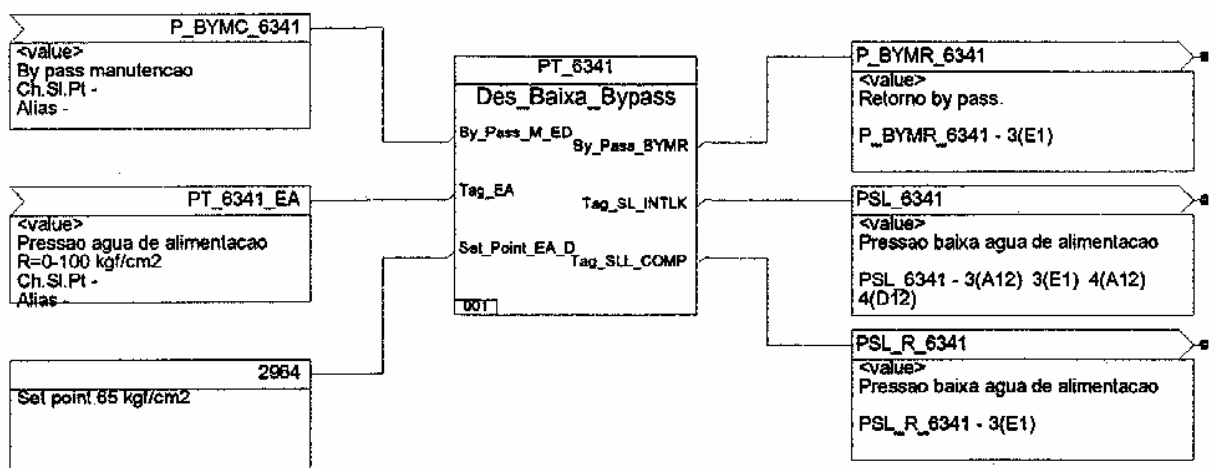


Fig. 6. 36. Aplicação de um bloco de função personalizado

Alarme/Desarme de BAIXA com By Pass de retorno automático

Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_A,
Então Tag_SL_COMP=0
Senão Tag_SL_COMP=1

Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_D,
Então Tag_SLL_COMP=0 e Tag_SL_INTLK=0
Senão Tag_SL_COMP=1 e Tag_SL_INTLK=1

Se By_Pass_BYM_ED=1
Então By_Pass_BYMR=1 e Tag_SL_INTLK=1
Senão Tag_SL_INTLK será conforme item 2.

Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_D e HS_C for acionado,
Então Tag_SL_INTLK=1
Esta condição é auto-resetada quando as condições do processo voltam ao normal e
HS_R=1 enquanto as condições não forem normalizadas.

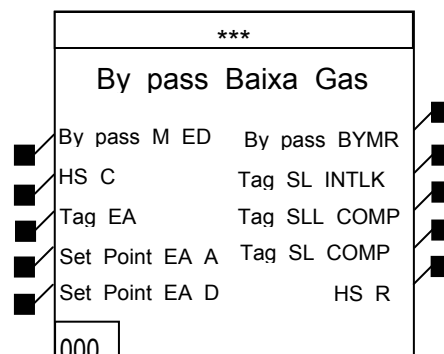


Fig. 6. 37. Bloco de função personalizado **Bypass_Baixa_Gas**

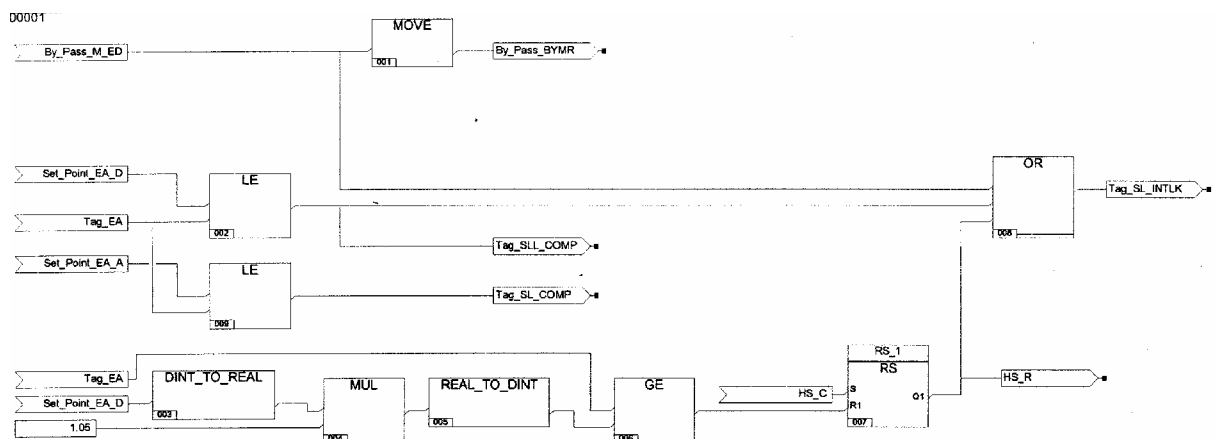


Fig. 6. 38. Bloco de função **Bypass_Baixa_Gas** explodido

Alarme de ALTA para Analisador com Seleção de Set Point

4. Se By_Pass_N_ED=0 :
 - Se Tag_EA for maior que Set_Point_EA_A_N, Então Tag_SH_ALM=0, Senão Tag_SH_ALM=1
 - Se Tag_EA for maior que Set_Point_EA_D_N, Então Tag_SHH_ALM=0, Senão Tag_SHH_ALM=1
5. Se By_Pass_BYM_N_ED=1
 - Se Tag_EA for maior que Set_Point_EA_A_M, Então Tag_SH_ALM=0, Senão Tag_SH_ALM=1.
 - Se Tag_EA for maior que Set_Point_EA_D_M, Então Tag_SHH_ALM=0, Senão Tag_SHH_ALM=1

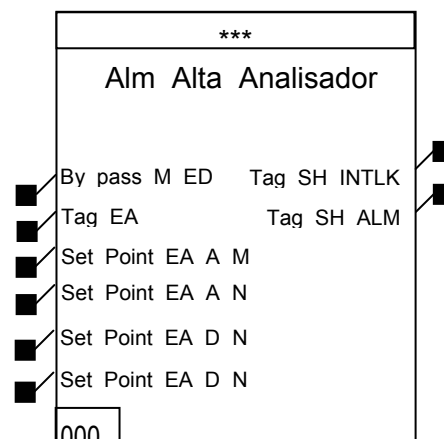


Fig. 6. 39. Bloco de função personalizado Alm_Alta_Analisador

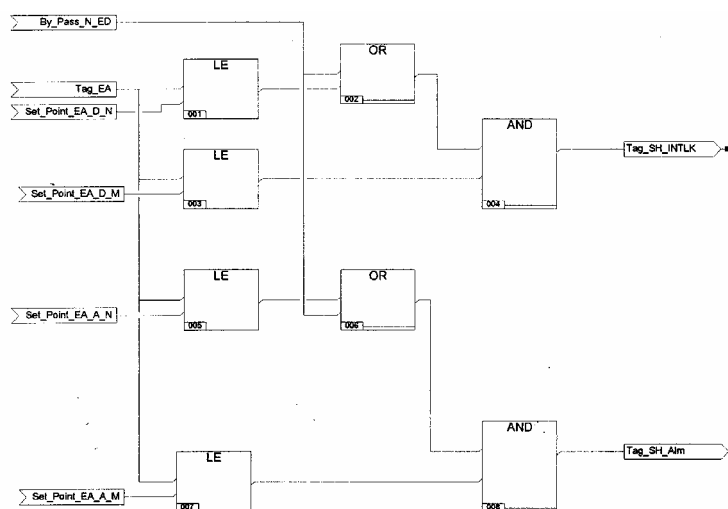


Fig. 6. 40. Bloco de função Alm_Alta_Analisador explodido

Blink (Piscar)

1. Se a entrada IN recebe um sinal verdadeiro (1), Então a saída Q alterna o seu valor entre 0 e 1 segundo o tempo pré-determinado em T_ON (Tempo_Ligado) e T_OFF (Tempo_Desligado).
2. O bloco blink é estável.

Parâmetros do bloco

IN – Entrada (BOOL)

RESET – (BOOL)

T_ON – Tempo da saída Q energizada (TIME)

T_OFF – Tempo da saída Q desenergizada (TIME)

Q – saída (BOOL)

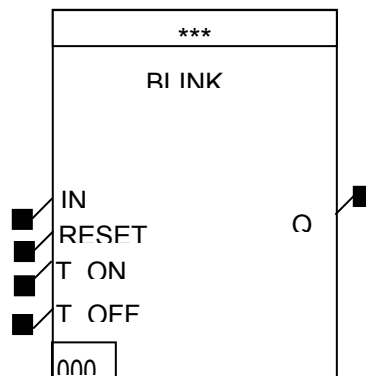


Fig. 6. 41. Bloco de função personalizado **BLINK**

By Pass de Set Point de desarme de 100% das bombas de óleo de Mobiltherm

1. Se By_Pass_M_ED=0 e HS_C=0, o set point para comparar com o valor de entrada é o set point de 100%
 - Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_D_100, Então Tag_SL_INTLK=1,
 - HS_R=0
2. Se By_Pass_M_ED=0 e HS_C=pulso (0->1->0), o set point para comparar com o valor de entrada é o set point de 50%
 - Se Tag_EA for menor ou igual a Set_Point_EA_D_50, Então Tag_SL_INTLK=1,
 - HS_R=1
 - Se a entrada Tag_EA for maior ou igual a 5% do set point de 100%, o set point a ser usado será o de 100% e HS_R=0.
3. Enquanto By_Pass_M_ED=1:
 - Tag_SL_INTLK=1, By_Pass_BYMR-1
4. Tag_SL_COMP_50 e Tag_SL_COMP_100 são as indicações de alarme de 50 e 100%, respectivamente, sem a interferência de By_Pass_M_ED e HS_C.

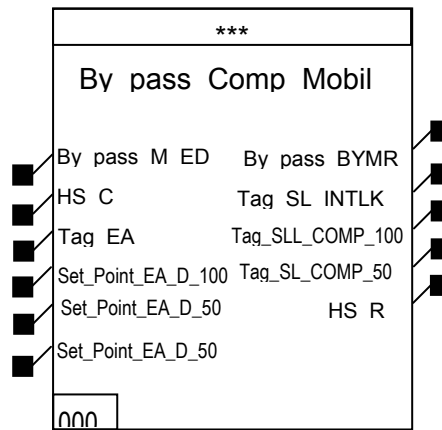


Fig. 6. 42. Bloco de função personalizado **By_Pass_Comp_Mobil**

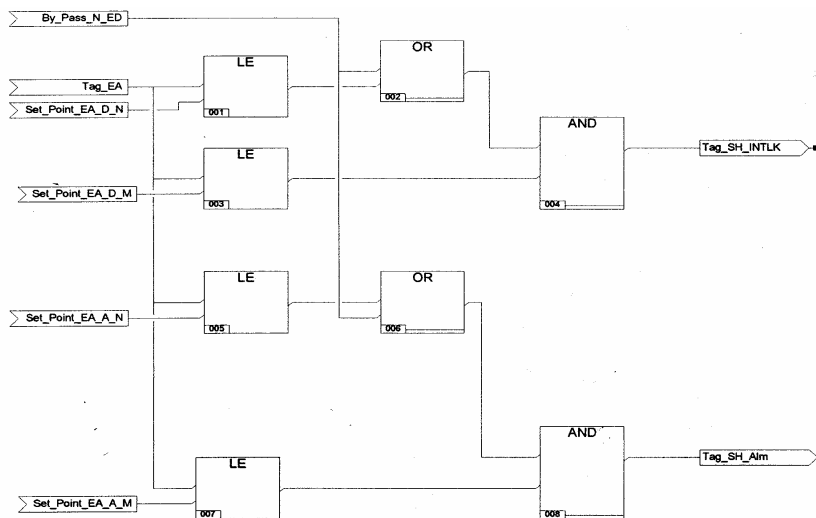


Fig. 6. 43. Bloco de função **By_pass_Comp_Mobil** explodido

Contador

Utilizado para a seleção de amostras.

6. Se Auto_Manual=1 (AUTO), Então gera-se um trem de pulsos, cujo primeiro pulso tem como tempo a entrada Set_Point1 e nos demais pulsos a entrada Set_Point2, repetindo a seqüência quando Contador_1 For igual a N_DCS.
7. Se Auto_Manual=0 (MANUAL), Então a saída PULSO permanece em 0 e o Contador_1 é zerado.

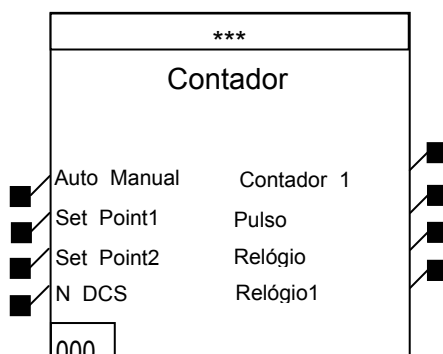


Fig. 6. 44. Bloco de função personalizado **Contador**

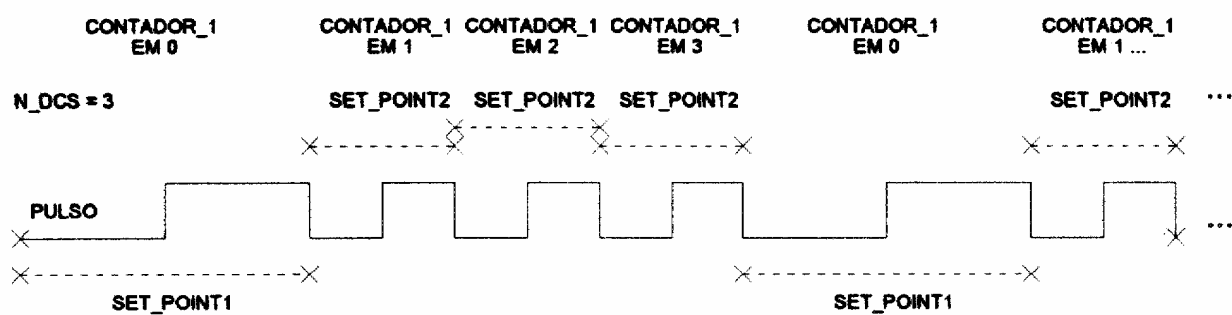


Fig. 6. 45. Saída do controle versus tempo

Controle de Acionamento de MOV

1. Se HS_Abre=0 e HS_Fecha=0:
-Comando_Abre=0, Comando_Fecha=0 e Comando_Para=1
2. Se HS_Abre=1 e HS_Fecha=0:
-Comando_Abre=1, Comando_Fecha=0 e Comando_Para=0
3. Se HS_Abre=0 e HS_Fecha=1:
-Comando_Abre=0, Comando_Fecha=1 e Comando_Para=0

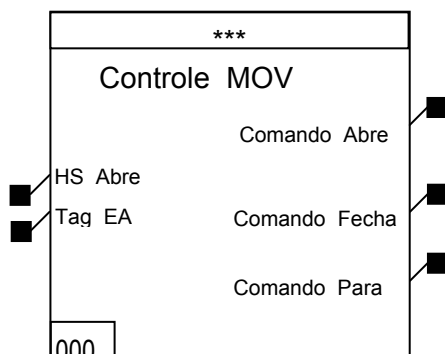


Fig. 6. 46. Bloco de função personalizado **Controle_MOV**

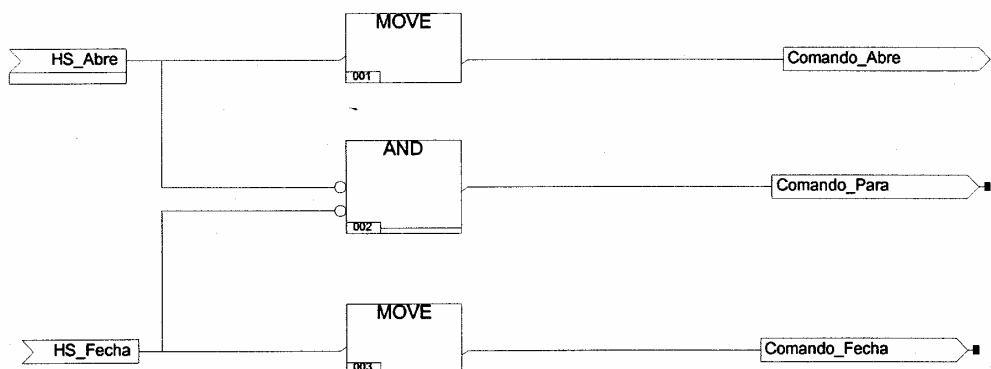


Fig. 6. 47. Bloco de função **Controle_MOV** explodido

Desarme de BAIXA com By Pass

1. Se Tag_EA for menor que Set_Point_EA_D,
Então Tag_SLL_COMP=0 e Tag_SL_INTLK=0
Senão Tag_SL_COMP=1 e Tag_SL_INTLK=1
2. Se By_Pass_M_ED=1,
Então By_Pass_BYMR=1 e Tag SL_INTLK=1,
Senão Tag_SL_INTLK será conforme item 1.

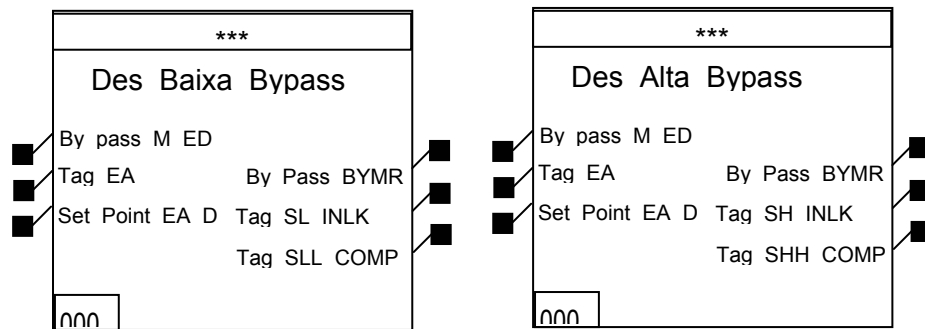


Fig. 6. 48. Blocos de função personalizados: Des_Baixa_Bypass e Des_Alta_Bypass

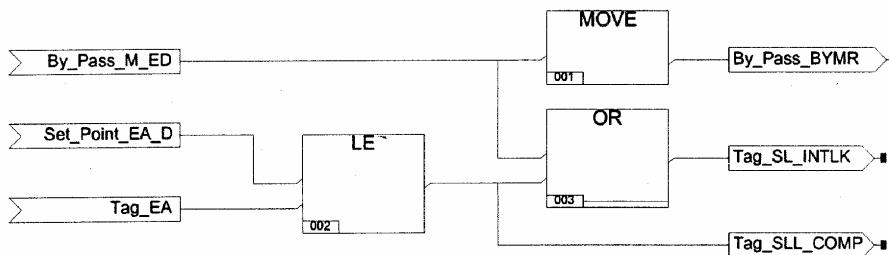


Fig. 6. 49. Bloco de função Des_Baixa_Bypass explodido

Desarme de ALTA com By Pass

1. Se Tag_EA for maior que Set_Point_EA_D,
Então Tag_SHH_COMP=0 e Tag_SH_INTLK=0
Senão Tag_SH_COMP=1 e Tag_SH_INTLK=1
2. Se By_Pass_M_ED=1,
Então By_Pass_BYMR=1 e Tag SH_INTLK=1,
Senão Tag_SH_INTLK será conforme item 1.

Rastreador de Alta

1. Se o valor da entrada Tag_EA decresce, o Set_Point (determinado pela razão de Tag_EA convertida para a escala determinada pela Range_Max e Range_min, multiplicada pelo fator MUL) acompanha a entrada, porém, mantém a razão FATOR_MUL com a entrada.
2. Se o valor da entrada Tag_EA pára de decrescer e começa a crescer, o Set_Point é travado no último valor em que o Tag_EA esta decrescendo. Se By_Pass_HS_C, a razão entre o Set_Point e Tag_EA passa novamente a ser igual ao FATOR_MUL.
3. Se o valor Tag_EA é maior que o valor do set point e By_Pass_BYOC=0
Então, Tag_SDH_INTLK=0 e Tag_SDH_COMP=0
Senão, Tag_SDH_INTLK=1 e Tag_SDH_COMP=1
4. Tag_Pct_Desv_SAR é o desvio entre o valor do Tag_EA e o set point na escala de 810 a 4095 (equivalente a 0 a 100%).
5. Se By_Pass_BYOC=1, Então Tag_SDH_INTLK = 1 sempre e demais condições permanecem como no item anterior.

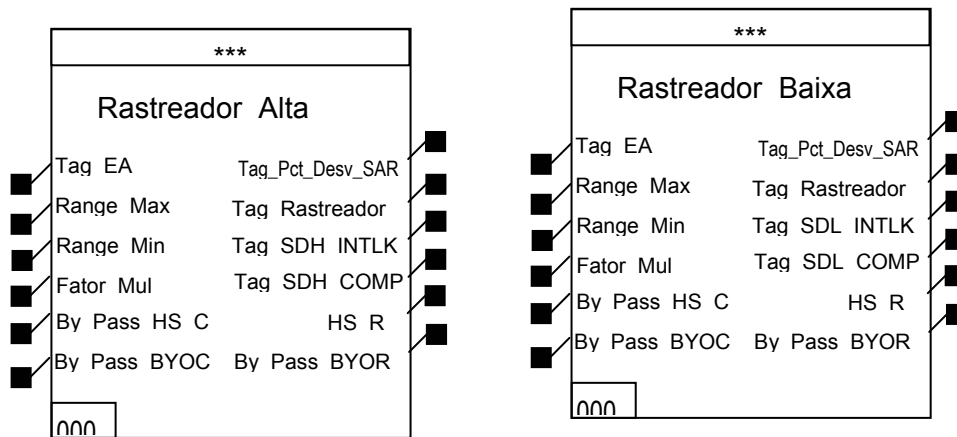


Fig. 6. 50. Blocos de função personalizados: **Rastreador_Alta** e **Rastreador_Baixa**

Rastreador de Baixa

1. Se o valor da entrada Tag_EA cresce, o Set_Point (determinado pela razão de Tag_EA convertida para a escala determinada pela Range_Max e Range_min, multiplicada pelo fator MUL) acompanha a entrada, porém, mantém a razão FATOR_MUL com a entrada.
2. Se o valor da entrada Tag_EA pára de crescer e começa a decrescer, o Set_Point é travado no último valor em que o Tag_EA estava crescendo. Se By_Pass_HS_C, a razão entre o Set_Point e Tag_EA passa novamente a ser igual ao FATOR_MUL.
3. Se o valor Tag_EA é menor que o valor do set point e By_Pass_BYOC=0
Então, Tag_SDH_INTLK=0 e Tag_SDH_COMP=0
senão, Tag_SDH_INTLK=1 e Tag_SDH_COMP=1
4. Tag_Pct_Desv_SAR é o desvio entre o valor do Tag_EA e o set point na escala de 810 a 4095 (equivalente a 0 a 100%).
5. Se By_Pass_BYOC=1, Então Tag_SDH_INTLK = 1 sempre e demais condições permanecem como no item anterior.

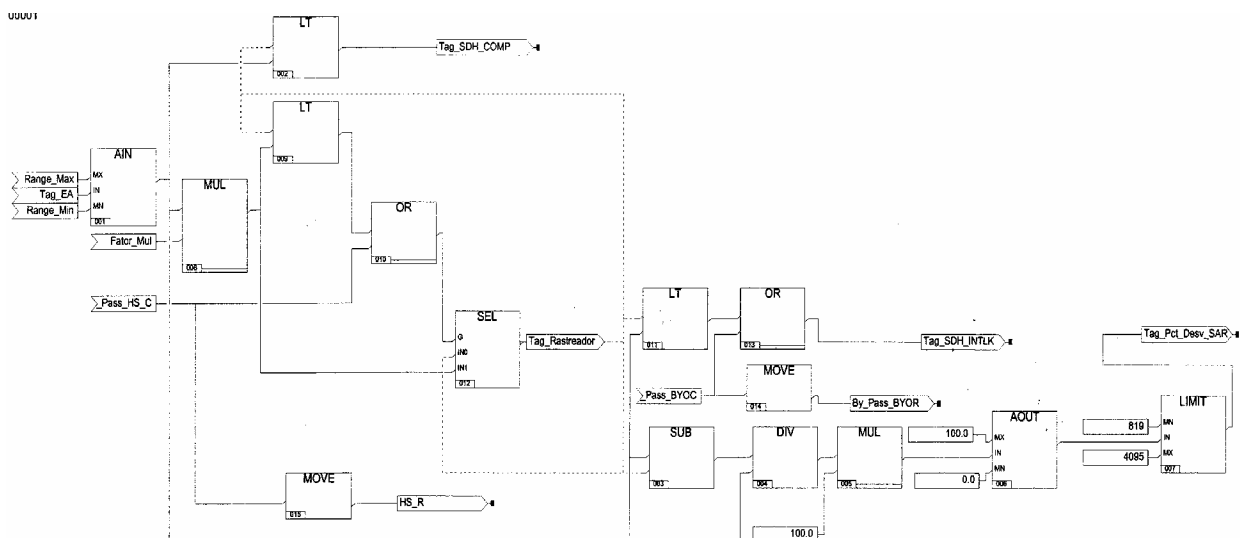


Fig. 6. 51. Bloco de função Rastreador_Baixa explodido

Seletor de By Pass

1. Impede que dois instrumentos sejam bypassados ao mesmo tempo, ou seja, uma vez que BYMC_1 é acionado (1), a saída By_Pass_1 passa para 1, desde que a entrada BYMC_2 não esteja em 1 e vice versa.

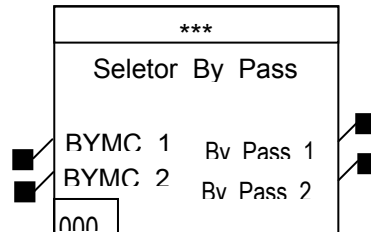


Fig. 6. 52. Bloco de função personalizado **Seletor_By_Pass**

TR_CALENDAR

1. O bloco os dados de ANO, MÊS, DIA, HORA, MINUTO, SEGUNDO, MILISSEGUNDO, DIA DA SEMANA E SEGUNDOS, em relação à data de JAN 01, 1970 00:00:00m quando a entrada CI é igual a 1; Senão (CI=0), os valores ficam congelados.

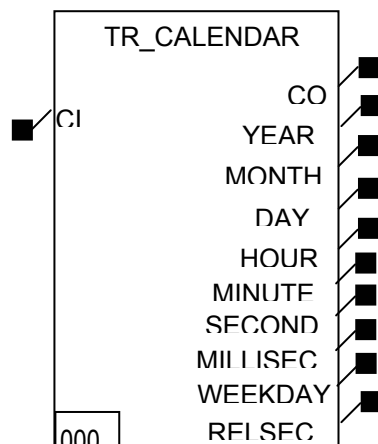


Fig. 6. 53. Bloco de função personalizado **TR_CALENDAR**

D-6340 - SUPERVISÓRIO BOTÕES DE COMANDO / BY - PASS

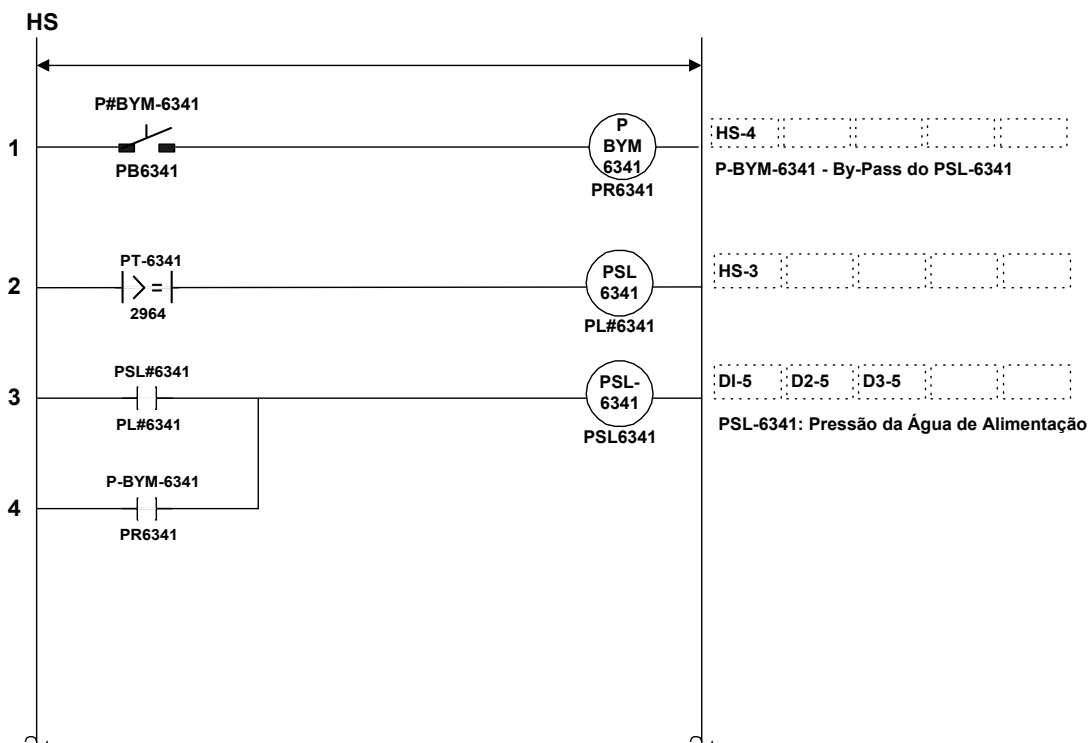


Fig. 6.54. Diagrama ladder dos Botões de Comando e By pass

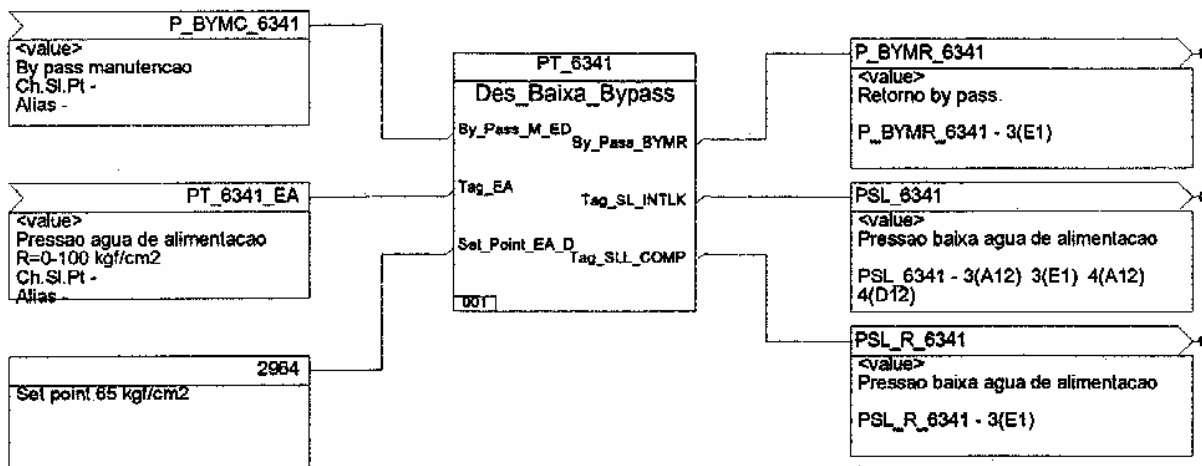


Fig. 6.55. Diagrama com blocos funcionais dos Botões de Comando e By pass

5. Alarme e Intertravamento

Objetivos

1. *Estabelecer de modo uniforme a terminologia relacionada com alarme de processo, para melhorar as comunicações entre as pessoas que especificam, distribuem, fabricam e usam anunciadores de alarme.*
2. *Mostrar as diferentes prioridades do alarme de processo e os meios para realizar os alarmes.*
3. *Apresentar as correlações do alarme do processo e as cores utilizadas.*
4. *Estabelecer regras praticas para garantir a implementação segura, lógica e correta de alarmes e intertravamentos*
5. *Examinar e detalhar os tipos diferentes de falhas possíveis manipuladas pelos sistemas de intertravamento.*
6. *Apresentar os princípios para projetar o intertravamento e os vários tipos de dispositivos de intertravamento, alarme e lógica*
7. *Analisar o fator humano no projeto do intertravamento.*

1. Terminologia

Os seguintes termos e suas definições têm significado especial em relação a sistemas de alarme, intertravamento e anunciadores.

Ação de seqüência

Um sinal que faz a seqüência mudar de um estado de seqüência para outro. Ações de seqüência incluem mudanças da condição do processo e operação manual de botoeiras.

Alarme

1. Condição anormal de processo.

2. Estado da seqüência quando ocorre uma condição anormal de processo.
3. Um dispositivo que chama a atenção para a existência de uma condição anormal de processo.

Alarme falso

Quando o sistema indica um alarme inexistente, ou seja, a condição normal é alarmada como anormal. Também chamado de alarme *espúrio*.

O sistema de alarme também pode falhar, quando ocorre uma condição anormal e ela não é detectada e indicada (ver **perigo em falha**).

Alarme mantido

Um alarme que retorna ao normal após ser conhecido.

Alarme momentâneo

Alarme que retorna ao normal antes de ser conhecido.

Alarme precursor (*early warning*)

O alarme precursor alerta o operador para o fato de que há um perigo potencial tendendo a se desenvolver e dá ao operador tempo para ele tomar decisão para corrigir o problema antes que seja ativado o desligamento automático do processo. Alarme que ocorre (XL ou XH) antes de haver o desligamento da planta (XLL ou XHH), por causa da variável X.

Alarme Tipo 1

Um alarme que apenas dá informação do *status* do processo ou do equipamento, geralmente ligado ou desligado; normal ou anormal.

Alarme Tipo 2

Alarme que chama a atenção do operador da planta para uma leitura anormal de uma variável do processo. O sensor do alarme é compartilhado pela malha de controle ou monitoração.

Alarme Tipo 3

Alarme substitui indicação. Não importa o valor. Alarme sinaliza quando o sistema é desligado automaticamente. Também chamado de **alarme não crítico**.

Alarme Tipo 4

Alarme é reserva (*backup*) da medição principal. Sensor da medição diferente do sensor de alarme (redundância). Também chamado de **alarme menos crítico**.

Alarme Tipo 5

Alarme indica a variável alarmada, atua automaticamente no processo (ligando ou desligando e indica esta atuação. Também chamado de **alarme muito crítico**).

Alerta

Estado do sistema depois que um ponto de alarme é atuado.

Memória de alerta (Alerta Lock) é o estado do sistema, tendo memória e retorno do alerta, depois que um contato sensor da condição voltou para o normal, mas o botão de reset ainda não foi atuado.

Alto-Baixo (High-Low)

Um sistema que pode indicar normal, anormalmente baixo e anormalmente alto.

Anormal

Relativo a condição do processo durante a qual a variável monitorada está fora dos limites de operação especificados. É uma condição não normal ou fora do normal.

Anunciador

Um equipamento ou grupo de equipamento que chama a atenção para mudanças que ocorreram nas condições de processo. Um anunciador usualmente chama atenção para condições anormais do processo, mas pode também ser usado para mostrar as condições normais do processo. Usualmente constituído de: circuitos lógicos de seqüência, displays visuais etiquetados, dispositivos de áudio e botoeiras operadas manualmente.

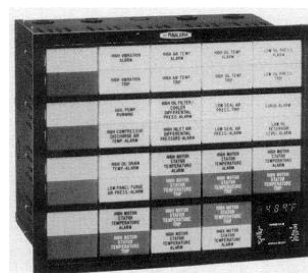


Fig. 12.1. Anunciador de alarme

Botoeira (*Push button*)

Uma chave manual momentânea que causa uma mudança de um estado de seqüência para outro. As ações da botoeira no anunciador incluem: *silêncio*, *conhecimento*, *rearme (reset)*, *rearme first-out* e *teste (funcional e de lâmpadas)*.

Chave

Dispositivo, geralmente elétrico, que muda o contato de saída quando acionada manualmente ou automaticamente.

Chave de intertravamento

Chave projetada para ser montada em porta, tampa ou outro dispositivo móvel, para se mudar de status automaticamente quando a porta, tampa ou peça móvel for aberta ou movida. Também chamada de chave limite ou de posição.

Chave automática

Chave que muda os contatos elétricos de saída quando a variável detecta atinge algum valor predeterminado. As chaves mais comuns são o pressostato (pressão), termostato (temperatura), de nível, vazão ou posição. .



Fig. 12.2. Chave limite ou de intertravamento

Condição do processo

Estado da variável monitorada. A condição do processo pode ser ou normal ou anormal.

Conhecimento

Conhecimento (Acknowledgment) é a ação da seqüência que indica que o operador tomou conhecimento da existência de um novo alarme.

É o conhecimento de uma mudança na operação feito pelo operador, através de uma botoeira. Quando o operador aperta este botão, demonstra que está consciente de que há uma condição anormal na planta. Geralmente, o botão de conhecimento desliga a parte sonora do alarme. Depois que o operador conhece a existência do alarme e aperta o botão correspondente, o alarme se torna *conhecido*.

Contato de campo

O contato de campo é também chamado de contato de sinal, contato de falha ou contato de problema. É o contato elétrico do equipamento que sente a condição de um evento ou o valor da variável analógica do processo. Os contatos de campo do anunciador são identificados em relação às condições de processo e a operação do anunciador, não à posição desligada dos equipamentos.

Desligamento (trip, shutdown, shut-off)

Arranjo automático para desligar automaticamente um equipamento, quando ocorrer algum evento que comprometa a segurança do pessoal e equipamento associado a ele. Sistema eletrônico, elétrico ou pneumático projetado para desligar ou fechar um equipamento do sistema, em situação de rotina (programado) ou de emergência (aparecimento de condição insegura).

Diagrama de seqüência

Uma representação gráfica que descreve ações e estados de seqüência.

Display visual

Parte do anunciador ou painel de lâmpadas que indica o estado da

seqüência. Usualmente consiste de um painel contendo lâmpadas atrás de janelas translúcidas. As lâmpadas podem estar desligadas, piscando (*flashing*) ou ligadas (com tensão total ou parcial).

Equipamento sonoro ou audível

Um equipamento que chama atenção pelo som para a ocorrência de condições anormais do processo. Um equipamento audível também pode chamar atenção para o retorno às condições normais. Exemplos: buzina, sirene, alto falante, sino e campainha.

Estação

A unidade do sistema anunciador necessária para causar a operação do sistema provocada pela mudança do contato sensor da condição. Uma sistema de anunciador pode ter estações ativas, reservas ou futuras.

Estado de seqüência

A condição do display visual e dispositivo audível fornecida por um anunciador para indicar a condição do processo ou ações de botoeira ou ambas. Estados de seqüência incluem normal, alarme (alerta), silenciado, conhecido e ringback.

Etiqueta (nameplate)

Uma plaqueta translúcida iluminada na parte de trás e marcada com a identificação do ponto de alarme.

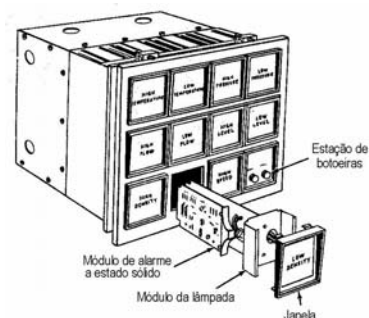


Fig.12.3. Janela com etiqueta (nameplate)

Falha

Falha é uma condição causada pelo colapso, quebra, queima, amassamento, entortamento ou desgaste de uma

estrutura que não mais desempenha sua função pretendida.

As falhas ocorrem de diferentes modos:

1. Infantis, quando ocorre no início da vida útil do instrumento.
2. Casuais, quando ocorrem sem causa constante, aleatoriamente.
3. Desgaste, quando ocorre devido ao funcionamento do instrumento.
4. Marginais, aquela que não afeta materialmente o funcionamento.
5. Catastróficas, quando o seu resultado são danos a equipamentos e ferimentos e mortes a operadores.

Falha, Operar em

Sistema que não tem um estado seguro em operação e que deve continuar operando para se manter seguro, em caso de falha. Por exemplo, quando há uma falha em um avião em vôo, continuar voando é temporariamente a situação mais segura.

Falha, Perigo em (Fail-dangerous)

Sistema que vai para uma condição perigosa, em caso de falha. O sistema não é desligado mesmo havendo uma condição insegura (o sistema de alarme deixou de alarmar ou desligar o sistema em caso de falha).

Falha, Seguro em (Fail-safe)

Sistema que possui um estado definido de segurança e, em caso de falha, vai natural e automaticamente para este estado. Por exemplo, quando há uma falha em um trem, o maquinista puxa o freio e o trem pára (estado parado é sua condição segura).

Erro de seguro em falha é quando o sistema é desligado embora não exista falha.

Falha, Tolerante à

Um sistema é chamado de tolerante à falha quando tem a capacidade de operar de acordo com as especificações de projeto, mesmo quando ocorrem determinados tipos de falhas em sua estrutura interna ou no ambiente externo.

Flasher

Uma subunidade do sistema de anunciador usada para causar um

indicador visual anormal ligar ou desligar durante porções particulares da sequência do sistema.

Filtragem de alarme

Filtrar alarmes é reduzir a quantidade de alarmes, atribuindo-lhe prioridades e eliminando os menos importantes ou descartáveis por alguma lógica.

Alarme ação requerida

O alarme A é uma ação requerida de B, quando as condições que causam B requerem a ocorrência de A.

Alarme Bloqueio

O alarme A bloqueia B quando a condição que causa A torna B sem significado

Alarme precursor direto

O alarme A é um precursor direto de B quando A é uma possível causa de B.

Alarme precursor de valor

O alarme A é um precursor de valor de B quando o alarme A é esperado acontecer antes do alarme B e o alarme A é menos importante que B.

First-out (First alert)

Uma característica da sequência que indica qual o ponto de um grupo de pontos de alarme que operou primeiro.

Intertravamento (interlock)

É um mecanismo implementado em equipamento (hardware) ou programa (software), para coordenar as atividades de dois ou mais processos dentro de um sistema e para garantir que um processo tenha atingido um nível adequado para que outro processo possa operar.

Intertravamento pode ser também uma chave ou outro dispositivo que impeça a ativação de uma parte do equipamento quando algum dispositivo de proteção for acionado ou existir um perigo.

Janela (nameplate)

Um componente de um display visual feito de um material translúcido que é iluminado por lâmpadas colocadas no seu interior e com gravações ou etiquetas para identificar a variável monitorada.

Limpar (Clear)

Permitir que uma nova série de seqüência seja monitorada, mesmo que os pontos na série original ainda estejam em condição de operação anormal.

Local Perigoso

Local onde existem ou estão presentes misturas de gases, vapores, pós ou fibras inflamáveis com ar e que podem entrar em combustão ou explosão, quando encontrar uma fonte de energia termal ou elétrica, apresentada por algum equipamento ou pelo homem.

Memória (Lock in)

Um componente elétrico do sistema do anunciador que mantém o sinal anormal até o conhecimento, mesmo que os contatos detectores da condição retornem ao seu estado normal, durante o intervalo de tempo envolvido.

Uma característica da seqüência que retém o estado do alarme até ser conhecido quando a condição anormal do processo é momentânea.

Módulo de alarme

Uma placa de circuito impresso com conexão ao sistema tipo plug in, contendo o circuito lógico de seqüência. Alguns módulos de alarme podem também conter lâmpadas de display visual ou lâmpadas e janelas.

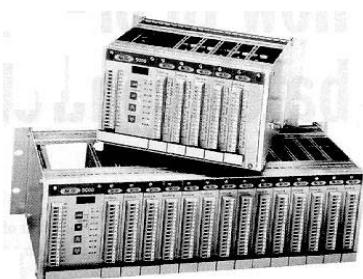


Fig.12.4. Módulos de alarme

Normal

Relativa a uma condição de operação durante a qual o processo está dentro dos limites especificados.

Normalmente aberto

Na operação normal do anunciador, os contatos dos sensores de campo que

estão na posição aberta em condição normal do processo.

No relé, é o contato que está na posição aberta, quando o relé está na prateleira.

Normalmente fechado

Na operação normal do anunciador, os contatos dos sensores de campo que estão na posição fechada em condição normal do processo.

No relé, é o contato que está na posição fechada, quando o relé está na prateleira.

Olho de boi

Uma lente montada na frente de uma fonte luminosa.

Piscamento (Flasher)

Um dispositivo que causa um display visual ligar e desligar repetidamente ou piscar. Tipos de piscamento incluem piscamento rápido, piscamento lento, piscamento intermitente,

Plug in

Tipo de conexão em que o cartão ou placa do circuito elétrico é encaixado diretamente na base, geralmente sem auxílio de qualquer ferramenta.

Ponto de alarme

O circuito lógico da seqüência, display visual, equipamentos auxiliares e fiação interna relacionada com um display visual. Os tipos de ponto de alarme incluem:

Ponto ativo

Um ponto de alarme que é fiado internamente e completamente equipado. A janela tem etiqueta para identificar uma variável monitorada específica.

Ponto reserva

Um ponto de alarme que é fiado internamente e completamente equipado. A janela não tem etiqueta para identificar uma variável monitorada específica.

Ponto futuro (em branco)

Um ponto de alarme que é fiado internamente e equipado exceto para o módulo de alarme plugueado. A janela não tem etiqueta para identificar uma variável monitorada específica.

Ponto de entrada analógico

Um ponto de alarme para uso com um sinal de variável monitorada analógica, usualmente corrente ou tensão. O circuito lógico inicializa um alarme quando o sinal analógico está acima ou abaixo do ponto de ajuste (set point).

Pulso

Uma energia elétrica com curta duração. O pulso espúrio (indesejável e aleatório) é o principal responsável por alarme falso.

Rearme (reset)

A ação de sequência que retorna a sequência para o estado normal. Tipos de rearme incluem:

Rearme automático

Rearme ocorre após o conhecimento quando a condição do processo retorna ao normal.

Rearme manual

Rearme ocorre após o conhecimento quando a condição do processo retorna ao normal e a botoeira de rearme é apertada.

Rearme first out

Rearme da indicação de first out ocorre quando o botão de rearme do conhecimento ou do first out é operado, com a condição do processo retornando ao normal ou não, dependendo da sequência.

Relé de intertravamento

É o relé composto de duas ou mais bobinas, cada qual com sua própria armadura e contatos associados, arranjadas de tal modo que o movimento de uma armadura ou a energização de sua bobina seja dependente da posição da outra armadura.

Reset

Processo de retornar o sistema do anunciador ao seu estado normal após o conhecimento de uma condição anormal e após a condição do processo voltar ao normal. Em português, é **rearme**.

Ringback (alerta de retorno)

Uma característica da sequência que fornece uma indicação visual ou audível ou

ambas, diferentes da condição anormal, quando a condição do processo retorna ao normal. O operador deve tomar conhecimento desta condição, desligando a janela acesa.

Saída auxiliar (Contato auxiliar)

Um sinal de saída operado por um único ponto de alarme ou grupo de pontos para uso com um equipamento remoto. Tipos de saídas auxiliares incluem:

Seguidor de contato de campo

Uma saída auxiliar que opera enquanto o contato de campo indica uma condição anormal de processo.

Seguidor de lâmpada

Uma saída auxiliar que opera enquanto as lâmpadas de display visual indicam um alarme, estado silenciado ou conhecido.

Seguidor de equipamento audível

Uma saída auxiliar que opera enquanto o equipamento audível de alarme comum opera.

Reflash

Um circuito lógico auxiliar que permite duas ou mais condições anormais inicializar ou reinicializar o estado de alarme de um ponto de alarme em qualquer momento. O ponto de alarme não pode retornar ao normal até que todas as condições do processo associadas retornam ao normal.

Segurança Intrínseca

Operação segura obtida por um sistema projetado e construído, que garante um baixo nível de energia em todo tempo, de modo que nenhum dispositivo é capaz de causar ignição ou explosão de qualquer mistura perigosa presente.

Selado (hermeticamente)

Condição permanente de um invólucro em que nenhum gás ou líquido pode escapar dele ou entrar nele.

Sensor de campo

Dispositivo que detecta o valor da variável analógica ou o status de um evento e envia o sinal de saída para inicializar uma sequência de alerta do anunciador.

Seqüência

Vários estados de operação do sistema do anunciador.

Uma série cronológica de ações e estados de um anunciador depois da ocorrência de uma condição anormal de processo ou de um início de teste manual.

Tabela de seqüência

Uma representação que descreve ações e estados de seqüência por linhas de comandos arranjados em colunas.

Silêncio

Ação de seqüência que desliga o som de um dispositivo audível.

Sinal de alarme

É o sinal transmitido para atuar um dispositivo automático que soa um alarme indicando a ocorrência de um evento. O evento pode ser uma condição normal ou anormal.

Sistema de alarme

É o que opera um dispositivo de aviso ou advertência após a ocorrência de uma condição determinada, indesejável ou perigosa.

Tempo de resposta

O período de tempo entre o momento que ocorre uma condição anormal do processo e a inicialização do estado de alarme. A duração mínima de um alarme momentâneo necessária para a operação do anunciador.

Teste

Uma verificação da operação do sistema, que pode ser manualmente simulada.

Uma seqüência do anunciador inicializada pelo acionamento do botão de teste para revelar falha da lâmpada ou circuito.

Teste operacional (funcional)

Teste de seqüência, lâmpadas de display visual, dispositivos audíveis e botoeiras.

Teste de lâmpadas

Apenas verifica o status das lâmpadas do display visual.

2. Segurança da Planta

2.1. Projeto da planta

Toda planta deve ser projetada usando-se princípios de segurança baseados em praticas de engenharia estabelecidas. Procedimentos como Perigo e Operabilidade - Hazard and Operability (HAZOP), Análise de Perigo - Hazard Analysis (HAZAN) e Análise de Arvore de Falha – Fault Tree Analysis (FTA) podem revelar problemas potenciais de segurança e operação relacionados com o projeto.

Depois de projetada, instalada e dada a partida (start up) a planta entra em operação de regime. Há vários sistemas automáticos associados à planta, para garantir sua operação correta e eficiente e a segurança dos equipamentos envolvidos e dos operadores presentes. Pode-se perceber quatro níveis distintos de atividade da planta:

1. medição e controle regulatório do processo
2. alarme do processo
3. desligamento de emergência
4. monitoração e controle do fogo

2.2. Medição e Controle do processo

Os sistemas de medição e controle regulam os processamentos e fluxos de materiais e de energia. O desempenho dinâmico correto destes sistemas torna as falhas internas raras. Quando acontece uma falha, sua ocorrência é facilmente evidenciada para o operador, através das indicadores e registradores.

Quando o controle automático é insuficiente de fornecer o resultado desejado, (por falha da estação automática, má sintonia, carga diferente do processo), o operador transfere a operação de automática para manual. Isto não causa nenhum problema particular ao processo, que continua operando com produtos dentro das especificações. Geralmente, o sistema de controle possui um sistema suplementar de alarme, que chama a atenção do operador para a perda do controle automático ou para a tendência do produto sair fora das especificações.

Porém, em condições mais graves, em que nem o controle manual consegue regular corretamente o sistema, e o

produto final está fora das especificações, entra o sistema de alarme.

2.3. Alarme do processo

O ideal é que a planta trabalhe em automático todo o tempo. Os distúrbios normais do processo são eliminados pelo controle automático. Quando houver uma anormalidade além da faixa de controle automático, o processo deve ser passado para a condição de manual. Para isso, deve haver sistema de alarme para chamar a atenção do operador, pois ele não está todo o tempo olhando os controladores e atualmente há tantas informações concentradas em tão pouco espaço que é impossível o operador perceber prontamente quando o controle automático é perdido.

Na maioria dos casos, a atuação manual do operador no processo é suficiente para trazer o processo para as condições ideais. Porém, em uma minoria dos casos, a atuação manual não consegue retornar a variável de processo para o ponto de ajuste e o processo tende para condições de perda de produto ou inseguras.

2.4. Desligamento de emergência

Quando os operadores podem entrar em pânico ou serem incapazes de tomar a decisão certa no momento certo, com o excesso de informações disponíveis, o sistema procura eliminar o julgamento humano das funções críticas de segurança. O sistema atua automaticamente no processo, desligando-o ordenadamente.

A proteção da planta independente da ação humana é implementada pelo sistema de desligamento, com suas entradas e saídas dedicadas e completamente separadas do sistema de controle do processo. Este sistema monitora as operações em uma condição estática, até ser ativado ou disparado por uma condição anormal prevista. O sistema requer um alto nível de diagnose, geralmente não existente nos equipamentos de controle do processo, para detectar falhas internas que podem não ser facilmente evidentes.

2.4. Monitoração do fogo e gás

Mesmo com o sistema de regulação, alarme e desligamento, ainda é possível haver fogo ou explosão no processo. Pode haver falhas no sistema de alarme e desligamento, que deixa de atuar em condição de perigo ou pode haver fogo provocados por outras fontes diferentes.

Os perigos devidos a gases combustíveis e tóxicos são manipulados por outro sistema. Este sistema além de detectar a presença de gases no local também pode ter condição de desligar equipamento do processo, ou seja, o sistema de detecção de gases pode inicializar o sistema de desligamento. Em plantas grandes e complexas, hoje a tendência é de integrar o projeto e suprimento do gás e fogo com o sistema de desligamento, ambos agrupados em um mesmo sistema de segurança.

3. Tecnologias do Sistema

3.1. Tecnologias disponíveis

Há três tecnologias principais para implementar sistema de segurança e desligamento na planta de processo:

1. relé eletromecânico
2. eletrônica a semicondutor fiada fisicamente (hard wired)
3. microprocessador.

Relé eletromecânico

Embora existam alguns poucos sistemas pneumáticos em uso, eles podem ser classificados com de relés, pois seus princípios operacionais são semelhantes.

O sistema de segurança baseado em relé eletromecânico tem sido muito usado, ainda, por causa de sua confiabilidade. Eles são inerentemente seguro em falha, imune a maioria das interferências elétricas, podem ser projetados para atender a maioria das exigências de tensão e possuem baixo custo inicial de aquisição.

Como desvantagens, tem-se:

1. grande peso e tamanho
2. pouco flexível para fazer alterações na programação ou adições, que requerem mudança na fiação física e revisão na documentação.

3. não oferecem capacidade de comunicação digital (serial ou paralela) para uso integrado com SDCD ou CLP, ou SCADA.

Sistema Eletrônico a semi condutor

Sistema a estado sólido fiado fisicamente pode ser projetado para superar muitas das desvantagens associadas com relés, como:

1. apresentam teste on line de todos os canais ativos, incluindo módulos I/O, por meio automático ou manual
2. falhas são facilmente identificadas
3. substituição e adição são prontamente feitas
4. possibilidade de sistema redundante para melhorar desempenho e aumentar a tolerância a falha.

O sistema com circuito eletrônico faz sua lógica através de circuitos a estado sólido que estão fiados fisicamente na configuração desejada. Qualquer modificação lógica necessita de alteração na fiação, mas painéis com matriz de pinos pode simplificar as alterações.

Microprocessador

Sistemas com microprocessador são poderosos e flexíveis, através de hardware, software e firmware. Os sistemas com microprocessadores podem ser subdivididos em computadores pessoais (CP) e controladores lógico programáveis (CLP). O sistema com CP é considerado integral e o CLP é um sistema distribuído.

3.2. Escolha do Sistema

Parâmetros de escolha

Quando se projeta um sistema de segurança de alto risco, sempre se consideram os seguintes parâmetros:

1. filosofia do alarme:
 - a) individual em cada instrumento,
 - b) agrupada em anunciador,
 - c) feita por computador dedicado
 - d) feita no sistema de controle digital (SDCD, CLP com supervisório, SCADA)
1. tecnologia usada:
 - a) relés eletromecânicos,
 - b) lógica eletrônica
 - c) microprocessador?
2. nível de redundância:

- a) simples,
- b) dual
- c) tripla?
3. administração de alarmes falsos:
 - a) lógica supervisória
 - b) sistema de votação
4. períodos de teste:
 - a) mensalmente,
 - b) anualmente
 - c) somente quando há desligamento?
2. custo de propriedade
 - a) custo de aquisição
 - b) custo de engenharia
 - c) custo de operação
 - d) custo de modificações futuras
3. exigências do local
 - a) área interna ou externa
 - b) área classificada ou segura

Roteiro de seleção

Os passos necessários para selecionar o melhor sistema incluem:

1. Obter as estimativas de custo das soluções técnicas disponíveis incluindo custos futuros de operação durante a vida útil do sistema
2. Analisar a possibilidade de falha do equipamento e da planta devido a falha do sistema, considerando os cenários de falha em segurança ou perigo em falha.
3. Estimar o custo da planta parada como resultado da falha do sistema de segurança.
4. Baseado neste procedimento e na análise da árvore de decisão, selecionar o melhor entre todos os candidatos.

Uma solução não pode ser ótima para todas as situações.

Ponto fraco do sistema

Muitas pessoas pensam em triplicar sistemas lógicos, pensando que *se um é bom, dois é melhor e três o máximo*. Mas, muitas instalações com sistemas lógicos dual ou triplo tem dispositivos de campo (sensores e válvulas) simplex, não redundantes.

A legislação exige que empregadores *determinem e documentem* que o equipamento do sistema de segurança seja *conveniente* para determinada aplicação e que a operação segura seja *garantida*. Normas para dispositivos

elétricos, eletrônicos e de controle programável (ISA SP84 e IEC 65) estabelecem níveis de risco e fornecem números de desempenho requeridos para sistemas de segurança.

Estudos mostram que o gargalo do sistema ou o elo mais fraco da cadeia ou ainda, a menor confiabilidade do sistema está nos sensores e nos elementos finais de atuação (válvulas, solenóides, motores). Por isso, às vezes, é mais importante focalizar os dispositivos de campo do que os componentes do sistema de segurança.

Software

A confiabilidade dos sistemas envolvendo CP e CLP depende também da confiabilidade do programa associado. E ainda não há meios de avaliar a confiabilidade de programa de computador.

Há dois tipos de software:

1. software embutido que consiste do sistema operacional e de funções de sistema como programação de tarefas,

comunicação entre tarefas e manipulação de interrupções

2. software de aplicação que executa as funções lógicas específicas de acordo com as exigências do usuário.

Diferente do hardware, a principal fonte de falha em software é erro de projeto.

Assim que um defeito de software é corrigido, ele permanece corrigido. A falha ocorre somente quando o software embutido é usado em um ambiente diferente daquele para o qual ele é projetado. Depois que um software é testado e carregado no hardware, o software tem uma altíssima confiabilidade. O software aplicativo, porém, depende muito da experiência do projetista, documentação de auditoria, desenvolvimento do sistema e procedimentos de teste.

Sistema	Confiabilidade	Custo	Flexibilidade
Relé	Muito alta	Barato, com lógica simples Custo operacional muito baixo	Não flexível
Eletrônica a estado sólido	Moderada	Caro para lógica simples Custo operacional alto	Tem alguma flexibilidade
Único CLP	Moderado	Caro para lógica simples Custo operacional maior que relé	Flexível
Dual CLP Redundância I/O	Alta	Caro para lógica simples Aceitável para lógica complexa Custo operacional alto	Muito flexível
CLP com stand by	Alta	Caro para lógica simples Aceitável para lógica complexa	Muito flexível
CLP Tolerante a falha	Muito alta Diminui falha para perigo e reduz alarme falso	Muito caro Aceitável para lógica muito complexa e para exigência de alta segurança	Muito flexível

4. Alarme do Processo

4.1. Introdução

Uma das aplicações mais comuns no controle de processo é a implementação de circuitos simples de alarme. O sistema de alarme é binário, pois o interesse é apenas se a variável está abaixo ou acima de determinado valor preestabelecido. Em processo de manufatura industrial, há muitas aplicações com variáveis acima e abaixo da variável controlada, que devem ser monitoradas.

Um sistema pode operar sem malha de controle de pressão, mas se a pressão exceder determinado limite predeterminado, pode-se gerar um alarme e prover uma atuação corretiva, para manter o sistema seguro ou dentro de limites de controle. As ações mais fáceis de implementar são as de ligar e desligar. Neste sentido, o alarme é similar ao controle liga-desliga ou de duas posições.

Os sistemas de alarme vivem no mundo digital. Eles sofrem do engano, pelos projetistas, que como eles são relativamente simples e não requerem qualquer teoria de controle, então eles não precisam de nenhuma base para serem especificados ou projetados. De fato, há muitos aspectos de sistemas de alarme que devem ser considerados, se eles devem fazer o trabalho que o projetista e usuário querem que eles façam.

Os sistemas de alarme desempenham uma importante função no processo e por isso não devem ser especificados indiscriminadamente. Muitos alarmes em um painel ou console de instrumentos inevitavelmente leva-os a serem ignorados. Uma fraqueza dos sistemas digitais atuais é que a grande facilidade para gerar alarmes.

4.2. Componentes

Os sistemas de alarme de processo geralmente consistem de três componentes:

1. uma chave automática de variável de processo, que detecta o valor da variável, compara este valor com um ajuste e muda a sua saída quando o valor ultrapassa o ponto de ajuste. O sinal digital da saída da chave está

associado a Liga-Desliga, Seguro-Inseguro, Pronto-Não pronto.

2. Um circuito lógico que recebe o sinal de saída de uma ou mais chaves de alarmes e então decide, baseado em uma lógica preestabelecida, qual a saída que deve ser enviada ao anunciador e qual o elemento final que deve ser automaticamente ligado ou desligado.
3. Um anunciador de alarme, possivelmente com um dispositivo final que irá produzir a ação apropriada em resposta às saídas da lógica. O anunciador de alarme geralmente tem lâmpadas atrás de placas gravadas, mensagens em uma tela de vídeo (terminal de display de vídeo ou TRC – tubo de raios catódicos). Usam-se alarmes de áudio associados, como sirene, buzina e campainha.

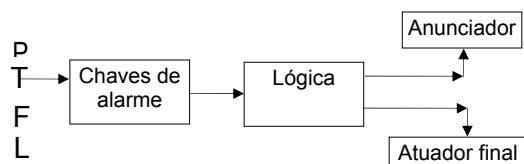


Fig. 12.7. Diagrama de blocos do sistema de alarme

Um dispositivo final causa um desligamento automático do equipamento sob operação. Tipos comuns de dispositivo final incluem:

1. Relé elétrico agindo como um segundo botão de Liga-Desliga no circuito de controle da partida de um motor.
2. Válvula de emergência operada por solenóide
3. Válvula piloto operada por solenóide, que pode ligar ou desligar um atuador pneumático com mola e diafragma em uma válvula de emergência. A válvula piloto geralmente é de três vias e pequena; a válvula de emergência pode ter qualquer tamanho.
4. Válvula motorizada, *damp*er ou porta. Estes dispositivos não são tão práticos como o relé e a válvula

solenóide pois eles não tem posição segura em caso de falha. É necessária potência para acioná-los para seu estado seguro.



Fig. 12.8. Tela de controle supervisorio com alarmes

4.3. Prioridade de alarmes

Há cinco tipos de importância de alarmes incluídos em um sistema de monitoração e alarme da planta:

1. muito crítico
2. pouco crítico
3. não crítico
4. informação de status
5. análise de desligamento

Alarme mais crítico

Alarme que requer ação imediata do operador para manter a unidade operando, devido a condições que resultam em uma perda completa de carga, para a proteção de grandes equipamentos ou para segurança de pessoal

Alarme menos crítico

Alarme que requer ação imediata do operador para manter a carga da unidade, devido a condições resultando em perda parcial da carga ou para proteger equipamento.

Alarme não crítico

Alarme que requer ação corretiva mas não diretamente pelo operador.

Informação de Status

Display que inicia o status de eventos e que não requer ação corretiva.

Informação de Análise de Desligamento

Condição diretamente relacionada com o desligamento ou que pode levar ao desligamento da unidade. Esta categoria também inclui informação de desligamento prévio especial ou pós desligamento para determinar a condição real da unidade mais facilmente antes de uma novo ligamento.

É recomendável que as diferentes categorias sejam mostradas em diferentes equipamentos. Os alarmes mais críticos (vermelhos) e menos críticos (brancos) sejam mostrados em anunciadores visuais. A informação não crítica possivelmente mostrada em TRC. Status de informação seria disponível em impressora ou em outro TRC. Análise de desligamento seria também impresso.

As observações adicionais de um sistema de alarme otimizado incluem:

1. Visual com lâmpadas piscando associado com sonoro para mostrar os alarmes de urgência ou críticos.
2. Os operadores requerem muito mais dados sobre eventos que indicam o status da planta do que os que podem ser mostrados no display com alarmes críticos.
3. Os alarmes e dados de eventos podem ser permanentemente coletados com o tempo exato e a sequência para uma análise de evento de operações e revisão de segurança.

4.4. Realização do Alarme

O projeto e realização do alarme dependem principalmente de sua importância ou criticidade e por isso são disponíveis várias configurações, com diferentes graus de complexidade.

Os sistemas de alarme de processo podem ser de cinco tipos diferentes.

Alarme tipo 1

Estes não são alarmes no sentido estrito da palavra. O alarme do tipo 1 é realmente um indicador de *status* do processo ou do equipamento. As combinações de status podem ser: Ligado ou Desligado, Aberto ou Fechado, Normal ou Anormal, Operando ou Parado, Pronto ou Não-pronto ou qualquer outra variedade binária.

Se este tipo de alarme é especificado, deve-se atribuir uma indicação positiva para cada estado. Uma lâmpada deve ser atribuída ao estado Ligado e outra para o estado Desligado. É perigoso atribuir uma única lâmpada para indicar ambos os estados, por exemplo, ligada para o estado Ligado e apagada para o estado Desligado. A lâmpada apagada poderia estar indicando a condição de processo desligada (informação correta) ou poderia estar queimada (informação errada).



Fig. 12.9. Controlador lógico programável com alarmes de indicação de status

Alarme tipo 2

Um alarme tipo 2 é que chama a atenção do operador da planta para uma leitura anormal de um medidor acessível ao operador. O sensor (e transmissor) do alarme tipo 2 é o mesmo sensor da malha de controle. O alarme é inicializado por uma chave de alarme atuada pelo sinal, provavelmente localizada na sala de controle. A chave de alarme é colocada no sinal de medição que vai para o instrumento do painel.

A Fig. 12.10 mostra um alarme do tipo 2: um transmissor de nível (LT) mede o nível do tanque e envia um sinal de medição para um indicador, registrador ou controlador de nível. Este sinal de medição do nível é tomado e enviado para uma chave de alarme (LSL) que ativa um anunciador (LAL) se um ponto de nível baixo é atingido.

Quando se usam lâmpadas para sinalização do anunciador, o código de cor lógico usado pode ser:

- amarelo = muito baixo
- vermelho = muito alto

Evita-se o uso da cor verde, que é geralmente associada com uma situação segura ou normal. O código lógico de cores pode variar entre a Instrumentação e a Elétrica ou mesmo dentro da Instrumentação. Por exemplo, uma lâmpada vermelha ligada usualmente significa um equipamento elétrico ligado e com problema, por exemplo, com alta temperatura e nunca em operação normal.

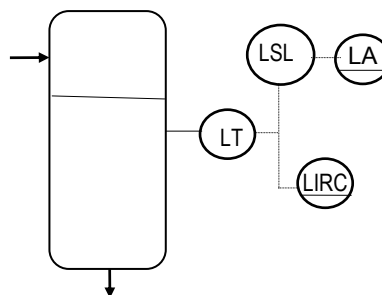


Fig. 12.10. Sistema de alarme tipo 2

A grande limitação do alarme do tipo 1, muito usado em sistemas de controle digital distribuído, é que ele não fornece backup para uma falha da medição a qual ele está associado. Mesmo assim, ele é muito usado porque é fácil de ser implementado.

Alarme tipo 3

O alarme tipo 3 é utilizado em vez de um indicador da variável do processo. A justificativa é que não se precisa conhecer o valor real da variável, desde que ela permaneça entro dos limites seguros. Se a variável de processo cruza os limites de segurança, inferior ou superior, um sinal de alarme é enviado. Muitos alarmes de painel de automóvel são deste tipo. Quando a pressão de óleo do motor cai abaixo de um valor limite, acende-se uma lâmpada vermelha do painel.

Um alarme do tipo 3 é o mais simples. Ele requer uma chave de alarme operada diretamente pela condição do processo e localizada no ponto de medição. A saída liga-desliga da chave de alarme ativa o anunciador diretamente. Nenhuma outra lógica é usada (**Fig. 13.11**).

Também se inclui nesta categoria o alarme que sinaliza quando um sistema é desligado automaticamente. A chave de alarme de desligamento (SS) e o alarme

de desligamento (SA) são exemplos de alarme do tipo 3. O alarme não inicializa o desligamento; ele apenas sinaliza que o desligamento ocorreu. A chave de alarme é ligada na linha de alimentação elétrica ou pneumática do equipamento de desligamento automático e não na linha de sinal da medição.

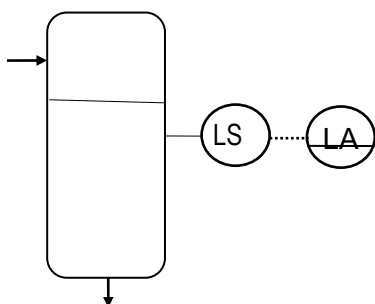


Fig. 12.11. Alarme do tipo 3

Alarme tipo 4

Estes alarmes servem como um backup no caso de uma falha de um instrumento que mede a mesma variável de processo (Fig.13.12). O transmissor de nível (LT) fornece o sinal de medição para um controlador, indicador ou registrador. Um outro sensor de nível atua em uma chave de nível (LSL) que envia a sua saída digital para um alarme de nível (LAL) do anunciador. O sistema de medição é independente do sistema de alarme. Especificamente isto significa:

1. A chave de alarme (LSL) deve ter seu próprio sensor e não pode ser uma chave de alarme acionada pelo sinal como do tipo 2
2. A chave de alarme deve ser operada diretamente pela condição do processo
3. Como uma possível razão da falha de um instrumento é a sua conexão, a chave de alarme deve ser sua própria conexão no processo.

Alarme Tipo 5

O projeto de um sistema de alarme que automaticamente faz as coisas acontecerem é mostrado na Fig. 12.13. A chave de alarme de baixa pressão (PSL) detecta a condição de baixa pressão e envia o sinal para a lógica. A saída da

lógica estabelece um alarme de baixa pressão (PAL). Uma segunda saída lógica é um sinal para o dispositivo final ser ativado, neste caso, uma válvula de desligamento que fecha. Um segundo alarme (SS e SA) avisa ao operador que o sinal de desligamento foi enviado para o equipamento final.

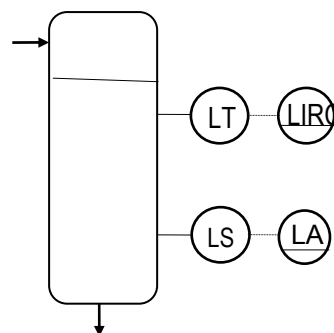


Fig. 12.12. Sistema de alarme tipo 4

Um sistema de alarme do tipo 5 envolve vários fatores cujas importâncias devem ser entendidas. Em muitos casos, ação automática significa desligamento automático. Se uma máquina perdeu sua pressão de óleo lubrificante ou um reator está operando muito quente, é necessário um desligamento automático. Porém, há casos em que a ação apropriada deve estar na partida automática. Por exemplo, a partida de um gerador de emergência no caso de perda da energia elétrica principal ou partida de uma bomba reserva se a bomba principal falhar. Mesmo assim, desde que o tipo de sistema de alarme descrito como tipo 5 é referido como desligamento automático, o nome também é usado quando se tem ligamento automático.

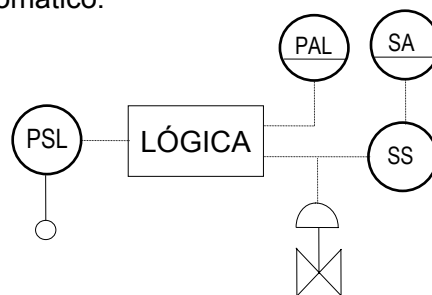


Fig. 12.13. Sistema de alarme e desligamento tipo 5

5. Intertravamento do Processo

5.1. Conceito

Hoje os processos químicos são mais complexos, maiores e operados mais próximos dos limites de segurança. Como resultado, há uma maior probabilidade de estas plantas se tornarem inseguras, tendo assim um maior potencial de causar grandes estragos, prejudicando ou matando pessoas e resultando em paradas custosas.

Quando algo de errado acontece com o processo, o sistema deve se desligar rapidamente para proteger o pessoal, a planta e o processo e o operador deve ter informação suficiente para tomar uma decisão inteligente acerca do que fazer imediatamente.

É extremamente importante projetar o sistema de segurança com os alarmes associados para proteger pessoal e equipamentos da planta de processo. Este sistema deve funcionar de modo que as condições de permissão existam antes da partida e a operação global permaneça segura, quando aparecerem condições anormais e perigosas. Além disso, o sistema de alarme e de segurança deve servir para minimizar os erros de operação do pessoal em situações de emergência.

Um sistema de intertravamento consiste de entradas (chaves liga-desliga, botoeiras, chaves limite, chaves do processo e outros contatos externos) e saídas (motores, bobinas de solenóides) que estão relacionadas e interligadas para desempenhar uma função definida, tal como ligamento ou desligamento de um equipamento, através de uma sequência lógica de eventos, como os determinados por certos dispositivos (tais como arranjos de contatos de relés em série, paralelo ou combinação de ambos) ou programa de microcomputador.

O objetivo do sistema de intertravamento é o de automática ou manualmente causar um conjunto previsível de operações, quando os limites do processo forem excedidos, os equipamentos mecânicos e elétricos falharem, a energia faltar ou os componentes falharem, individualmente ou em combinação.

O sistema deve operar de modo a garantir a segurança da planta. O sistema de intertravamento e segurança não irá evitar os desvios perigosos do processo ou os acidentes catastróficos, mas irá reduzir os riscos de tais ocorrências a um nível aceitável. Como há sempre um elemento de riscos envolvido e deve ser definido *um nível aceitável*, deve se tratar da probabilidade de ocorrência de variáveis aleatórias e indeterminadas e distúrbios externos ao sistema. Todos estes fatores contribuem para diminuir a confiabilidade das condições de operação.

Mesmo com o mais completo sistema de intertravamento, mais cedo ou mais tarde algum ou todos dos seguintes fatos irão acontecer:

1. o processo estará fora dos limites de segurança (os limites de inflamabilidade serão excedidos ou ocorrerão emissões tóxicas ou decomposições).
2. o equipamento irá falhar (o compressor entrará em surge ou o motor da bomba queimarão).
3. o desempenho do equipamento irá decair (o trocador de calor entupirá ou a serpentina criará incrustação).
4. as utilidades serão interrompidas (faltarão energia elétrica ou vapor).
5. o controle de processo e o sistema de intertravamento falharão ou ficarão sem confiabilidade.

Assim, deve-se estar seguro que, se tudo o mais falhar, a planta permanecerá no modo de operação mais seguro ou como última opção, a planta será desligada.

5.2. Tipos de Falhas

Falha é uma condição causada pelo colapso, quebra, queima, amassamento, entortamento ou desgaste de uma estrutura que não mais desempenha sua função pretendida. Exemplo: queima de fusível de instrumento elétrico, entupimento de tubo em instrumento pneumático, quebra de peça de instrumento mecânico.

Falha pode ser ainda a falta de fornecimento de energia ou matéria prima a um sistema. Exemplos: falta de 24 V cc para o transmissor de campo ou falta de água na entrada de uma bomba.

A confiabilidade do sistema é inversamente proporcional à taxa de frequência de falhas. Uma das dificuldades na determinação da confiabilidade do sistema é a definição de falha. A natureza da falha depende do efeito que ela causa no sistema e na sua saída. Por exemplo, se uma fonte de alimentação falhar e isso provocar um distúrbio inaceitável na saída, o sistema falha. Entretanto, se um componente falhar mas se a saída não for afetada então o sistema não falhou.

As falhas ocorrem de diferentes modos:

1. Infantis
2. Casuais
3. Desgaste
4. Marginais
5. Catastróficas

Falhas infantis

As falhas infantis são assim chamadas porque elas acontecem durante a primeira fase da vida do componente e são usualmente devidas a defeitos de fabricação ou de projeto. Tais falhas ocorrem principalmente em equipamentos e componentes eletrônicos e podem ser detectadas e eliminadas por inspeção ou por melhor controle de qualidade dos componente (*burn in*).

Falhas casuais

As falhas casuais aparecem durante a vida de trabalho do componente. Elas são distribuídas aleatoriamente, segundo as leis da probabilidade.

Falhas de desgaste

As falhas de desgaste ou uso são devidas ao envelhecimento progressivo e à deterioração do componente. Elas ocorrem principalmente em equipamentos mecânicos, principalmente em peças móveis ou aquecidas. As falhas de desgaste determinam a vida útil do sistema. Uma vez que o limite de falha seja atingido, há um aumento considerável na taxa de falhas, tornando o sistema inteiramente não econômico. As falhas acima estão relacionadas a um único componente. Porém, quando um componente está integrado a um sistema, sua falha irá afetar a integridade do sistema inteiro. Isto pode resultar em falha marginal ou catastrófica.

Falhas marginais

Falhas marginais são aquelas cujas consequências resultantes nas características mecânica e elétricas não afetam materialmente a operação do sistema.

Falhas catastróficas

Falhas catastróficas são aquelas cujos resultados são a quebra completa, curto circuitos, circuitos abertos ou mau funcionamento que podem causar o desligamento da planta, o estrago do componente ou ferimentos e mortes de pessoas. Elas geralmente são devidas à manutenção imprópria, insuficiente ou inexistente.

Vários métodos foram desenvolvidos, tais como **Análise de Falhas em Árvore** e **Análise do Perigo** para determinar os eventos isolados ou combinados, que podem causar uma condição potencialmente insegura. Uma probabilidade é atribuída a cada falha e o efeito cumulativo é calculado para determinar o risco final. Uma análise global das falhas possíveis determina estatisticamente a possibilidade de ocorrência, mas não torna o sistema mais confiável ou mais seguro, pois estas análises usualmente incluem somente as falhas mais prováveis e não consideram as menos prováveis.

As *falhas menos prováveis* obviamente ocorrem menos freqüentemente e usualmente residem fora do sistema, por exemplo, *blackout* da planta por causa de raios, dispositivos de desligamento (trip) imprópriamente ajustados, desligamento acidental devido à manutenção, má operação do processo, falha de correção ou mau julgamento do operador

Estes eventos são menos previsíveis, Porém são tão devastadores quanto os outros prováveis.

5.3. Análise do Intertravamento

A ação do intertravamento é determinada considerando a interdependência dos equipamentos, utilidades e sistemas de controle do processo. As exigências de intertravamento devem ser analisadas para determinar sua necessidade e também os efeitos subseqüentes de suas ações e falhas.

Falhas de processo

A análise das falhas do processo depende das causas dos distúrbios (p.ex., variáveis fora dos limites de segurança) e as ações a serem tomadas (p.ex., interrupção da alimentação do produto, redução da entrada da energia, introdução de meios de resfriamento, parada de equipamentos mecânicos) Quando as causas e os efeitos tenham sido identificados devem ser tomadas as seguintes providências:

1. proteger o equipamento mecânico. Tais itens devem ser desligados em uma maneira ordenada para evitar danos.
2. evitar o religamento da planta ou do equipamento, até que a condição insegura tenha sido esclarecida.
3. rearmar os contatores automáticos do processo em seus pontos de partida, evitando que os elementos finais tendam para os limites, que poderão causar condição insegura do processo.
4. evitar que o pessoal contorne os sistemas de segurança e intertravamento (p. ex., fazendo bypass e colocando jumpers) que possam resultar em partida ou desligamento inseguro.

Falhas de utilidades

A perda possível de qualquer uma das utilidades (vapor, água, gás ou ar comprimido), local ou geral na planta, deve ser considerada. Se esta falta não pode ser tolerada ou se é necessário ativar um intertravamento crítico, deve-se providenciar utilidades de reserva ou de espera (stand by). Elas podem ser fornecidas por cilindros de ar de instrumento, fonte de alimentação

ininterruptível, bombas ou águas de emergência

Falhas de componentes de intertravamento

No projeto, deve ser assumido que todos os componentes do intertravamento poderão falhar em algum momento, isoladamente ou em conjunto. Deste modo, a necessidade de redundância deve ser estudada, particularmente em instalações críticas, onde mesmo uma falha parcial pode comprometer toda a eficiência do sistema de intertravamento. Em particular, o projetista deve:

1. prover circuitos redundantes do intertravamento com contatos ligados em série para iniciar o desligamento.
2. monitorar condições de alarme diferentes mas relacionadas no mesmo sistema. Por exemplo, monitorar a baixa vazão do resfriador e a alta temperatura, em vez de ter dois alarmes de vazão, para evitar a falha de modo comum de chaves semelhantes e a perda potencial de ambos os intertravamentos.
3. prover contatos de inicialização redundantes com um meio de chavear sem causar um desligamento, de modo que o sistema passa receber manutenção. Uma indicação conveniente deve ser instalada para indicar quem está ativo.

5.4. Segurança da malha de controle

O desenvolvimento da lógica do intertravamento e das malhas de controle do processo deve ser consistente com um sistema de referência de modo que uma dada seqüência de eventos tenha a mesma direção. O sistema de referência é estabelecido de acordo com o modo de falha segura do processo, elemento final de controle, malha de controle e contato de alarme.

As malhas de controle de processo devem ser projetadas para satisfazer dois critérios:

1. corrigir o processo quando a medição se desviar do ponto de ajuste e
2. evitar que o processo saia do controle, quando houver falha de um componente.

Cada componente (transmissor, controlador e elemento final de controle) deve ser especificado de modo que sua falha não provoque uma situação insegura de processo. A definição da ação de cada componente e a direção do sinal devem ambas satisfazer os critérios acima para cada malha de controle.

É possível e aceitável haver sinais contraditórios do controlador e do sistema de intertravamento. Por exemplo, o aumento do sinal de saída de controle pode aumentar a abertura da válvula de controle e o sistema de intertravamento pode fechar a válvula de controle. Na emergência, o intertravamento se sobrepõe ao controle, garantindo a segurança global do sistema.

Transmissor

Como regra geral, a saída do transmissor é diretamente proporcional à variável medida, ou seja, o aumento da variável produz aumento na saída do transmissor. A falha do transmissor, portanto, deve implicar em baixa medição. Se uma medição de processo elevado, p. ex., alta pressão, está em seu limite, então a falha do transmissor agravaria a situação perigosa. Instrumentos redundantes devem ser usados, um para o controle e o outro, preferivelmente com ação reversa, ligado aos alarmes ou intertravamentos, de modo que o sinal de controle e o intertravamento possam estar diretamente de acordo.

Uma exceção possível é o transmissor de temperatura, usando um termopar. Este instrumento pode ser especificado com a saída indo para o fim ou início da escala, quando o termopar falhar, se rompendo. Assim, o sinal de saída pode ser projetado para aumentar ou diminuir, dependendo da direção da falha requerida.

Os transmissores de temperatura com elemento de enchimento termal não devem ser usados para a medição de temperaturas críticas. A falha do elemento termal indicará uma temperatura baixa, mesmo quando a temperatura estiver subindo.

Controlador

A ação do controlador pode ser direta ou inversa. Ação direta significa: aumento da medição, aumento da saída.

Analogamente, ação inversa significa: aumento da medição, diminuição da saída.

A ação do controlador é definida a partir da ação da válvula requerida para controlar o processo e da lógica de controle. A perda da energia elétrica ou pneumática irá causar inerentemente um sinal de saída baixo, levando a válvula para a condição segura. Portanto, a saída do controlador deve ser consistente com a lógica de controle e com a exigência de segurança.

Elemento final de controle

Os elementos finais de controle são usados para controlar o processo pela regulação da vazão. Estes elementos finais podem ser válvula de controle, bomba e compressor. Eles podem falhar pelo bloqueio da vazão ou aumentando a vazão além do seu limite máximo.

Os atuadores da válvula de controle são usualmente do tipo diafragma e mola. Eles são pneumaticamente atuados e podem ser especificados para falhar no estado aberto ou fechado no caso da falta do sinal pneumático.

As duas ações mais usadas para os atuadores pneumáticos das válvulas são: ar-para-abrir (falha fechada) e ar-para-fechar (falha aberta). A ação da válvula escolhida depende de sua função: ou seja, se ela é para controlar ou para desligar o processo. É possível alterar a ação da válvula, através da mudança da posição do atuador, de posicionador, solenóide e relés de sinal reverso.

No projeto, a primeira definição é da ação da válvula, considerando a sua condição segura: se totalmente aberta ou fechada. O elemento final de controle deve operar de modo que o processo vai para uma condição segura quando o sinal de controle falhar ou o intertravamento for acionado, na falta da alimentação. Se isto não é possível por causa das exigências do controle do processo, deve ser providenciada alimentação elétrica ou pneumática reserva.

5.5. Projeto do Intertravamento

Os sistemas de intertravamento devem seguir os seguintes princípios:

Primeiro princípio

Cada sistema deve falhar em seu nível de energia mais baixo ou em um ponto distante de seu limite crítico de operação.

Cada processo e cada parte dele, devem ser analisados para se determinar a principal fonte de energia de operação. As fontes de energia podem ser:

1. vapor para reboilers,
2. água de resfriamento para trocador de calor
3. a reação em si, se exotérmica
4. a mistura líquido/vapor, se inflamável
5. qualquer outra fonte de energia que pode levar o processo para fora de seus limites de segurança.

A diminuição da quantidade de energia reduz o risco do equipamento exceder os limites de projeto, ou no mínimo, diminui o perigo potencial se estes limites forem excedidos. Em outras palavras: **remover o óleo do fogo.**

Segundo princípio

Os sistemas de intertravamento e de segurança devem ser independentes de todos controles do processo e da planta

É perigoso associar e acoplar os sistemas de intertravamento com os de controle de processo e da planta. Os intertravamentos são usualmente projetados para superpor ao controle do processo. Quando eles são dependentes um do outro, através de fontes de alimentação, elementos sensores ou saídas dos transmissores comuns e o controle do processo falha, o sistema de intertravamento também falha.

Assim, é essencial que o sistema de segurança permaneça isolado, com toda a redundância, reserva e diversidade que ele requeira para aumentar a confiabilidade.

Terceiro princípio

As falhas do sinal de controle de processo devem levar o atuador final para a condição de segurança (failsafe)

A condição segura (failsafe) do sistema atuador final é determinada das considerações do processo, para remover ou limitar a quantidade de energia do processo. A direção dos sinais de controle deve ser consistente, considerando transmissor, controlador e elemento final de controle, de modo que se houver

qualquer falha, resultante da perda do sinal, o sistema de controle levará o processo para a situação segura. Sempre que possível, a perda do controle do processo deve fazer o sistema falhar na mesma direção que o intertravamento.

Quarto princípio

Todos componentes elétricos que compõem um circuito de intertravamento devem ser alimentados da mesma fonte de alimentação.

Quando acontecer uma falha, todos os componentes devem ser desenergizados ao mesmo tempo, indo para a condição segura. Os intertravamentos que requerem fonte reserva (bateria) para evitar a perda da potência de alimentação, devem ser separados daqueles alimentados convencionalmente, sem reserva.

Quinto princípio

Os circuitos de intertravamento e seus componentes devem ser projetados para atuar o elemento final na direção requerida para fazer o processo falhar na condição segura, com perda de potência.

Um alarme ou trip, causado por relé ou bobina de solenóide, deve ser desenergizado e os contatos devem **abrir**. Isso garante que o sistema irá falhar na posição segura, quando houver perda da alimentação ou qualquer falha de componente.

Sexto princípio

Anunciadores, alarmes, lâmpadas de sinalização e instrumentos elétricos, exceto aqueles associados com o intertravamento, devem ser alimentados independente do sistema de intertravamento.

Cada serviço tendo um intertravamento de desligamento deve ter dois alarmes:

1. um alarme precursor ou adiantado (*early warning*) que é ativado antes que o intertravamento entre em operação (lâmpada **ALTA PRESSÃO** acendendo, piscando depois do conhecimento, buzina acionada e desligada depois do conhecimento)
2. um alarme de trip ajustável que deve ser ajustado para ativar o intertravamento, desligando o processo, depois do alarme precursor.

Sétimo princípio

Os sistemas de trip e intertravamento para cada seção da planta e seus equipamentos corretos devem ser projetados de modo que a falha de um sistema não afete os outros.

A interação entre os sistemas individuais de intertravamento é usualmente feita através do processo. Por exemplo, um compressor que fornece ar para o processo pode tripar devido a uma operação incorreta. O desligamento do compressor pode fazer o processo atingir seu limite explosivo, requerendo que a alimentação do produto seja desligada. Um sistema de intertravamento na alimentação do produto não pode ser afetado pela falha do sistema do compressor.

Os intertravamentos devem ser projetados de um ponto de vista global, para garantir que a falha do intertravamento não prejudique os sistemas de processo relacionados.

5.6. Filtrando os alarmes

Como qualquer operador de processo pode testemunhar, o problema de um sistema com muitos alarmes é que há alarmes demais para administrar. O filtro de alarmes pode reduzir a sobrecarga de informação nos sistemas anunciadores, permitindo que o operador se concentre nos mais importantes. Há aplicativos de CP que tem uma metodologia para filtrar alarmes, reduzindo para até 10% a quantidade de alarmes.

O método se baseia em sistema expert para priorizar e reduzir o número de alarmes apresentados para o operador. A idéia básica da tecnologia é usar o conhecimento de um estado corrente do processo para priorizar e filtrar o conjunto de alarmes gerados pelo processo. Mentalmente, isto é como o operador filtra os alarmes: ele olha os alarmes na tela e os associa com o seu conhecimento do processo e com a situação naquele momento. O estado corrente do processo pode ser representado de vários modos. Um exemplo pode ser centrar em torno de um modelo quantitativo que descreve parâmetros que estão aumentando ou diminuindo.

Para filtrar alarmes, o objetivo é reduzir o excesso de informação, eliminando ou priorizando os sinais de alarme. Para conseguir isso, representa-se o estado do processo pelo conjunto de alarmes ativados que foi considerado suficiente. Assim, quando um alarme é ativado, pode se conseguir a priorização comparando este alarme com outros alarmes presentemente ativos. Não é necessário calcular tendências de parâmetros ou manter longas histórias de variações do processo.

Uma aplicação de filtrar alarmes usa a informação do sistema de alarme para produzir alarmes priorizados para mostrar para o operador. No aplicativo, cada alarme é representado por um objeto independente com vários atributos, estáticos e dinâmicos. Por exemplo, o nome do alarme é estático (nunca se altera) e o status do alarme é dinâmico (ativado ou desativado). Cada alarme tem uma relação com o outro:

Precursor de valor

A é um precursor de valor de B quando o alarme A é esperado acontecer antes do alarme B e o alarme A é menos importante que B. Por exemplo, dois alarmes podem existir para alta pressão de um instrumento. Alarme A ocorre em 600 kPa e alarme B ocorre em 1000 kPa. Se os dois alarmes são ativados, A será desenfocado pois B é mais importante que A. (Fig. 12.14)

Precursor direto

A é um precursor direto de B quando A é uma possível causa de B. Por exemplo, uma falha elétrica, A, pode desligar uma bomba causando um alarme de vazão baixa, B. A falha elétrica A será enfatizada com relação a vazão baixa B, para focalizar a atenção na causa possível. (Fig. 12.15)

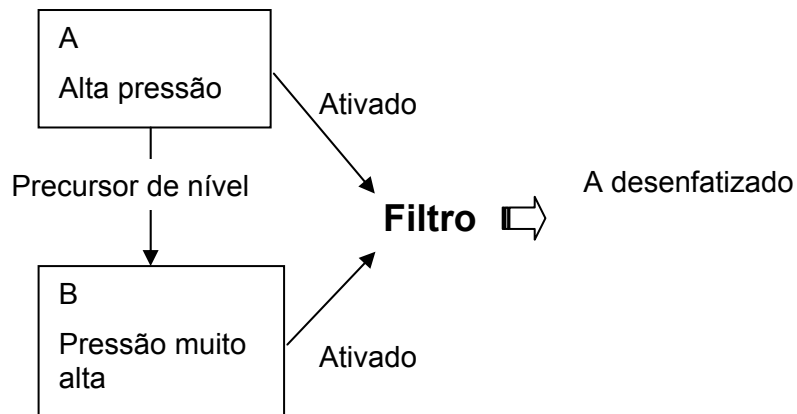


Fig. 9.14 Prioridades baseada na ativação do precursor de nível normal

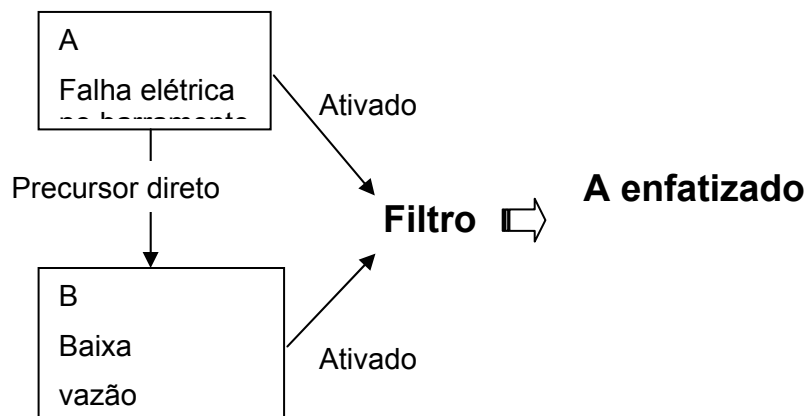


Fig. 12.15. Prioridades baseadas em ativação do precursor direto normal

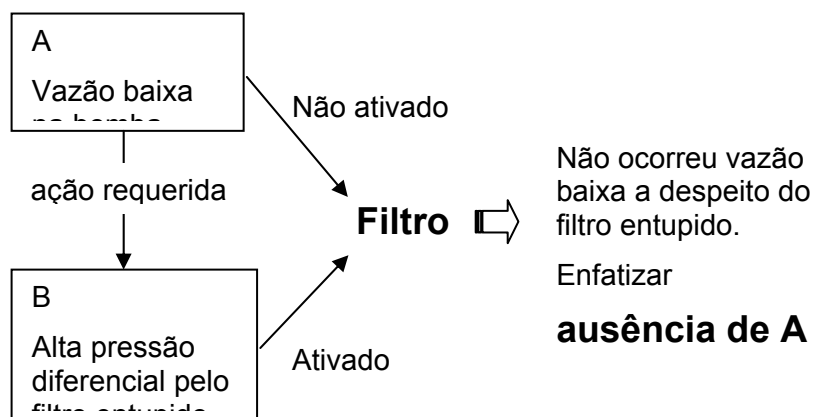


Fig. 12.16 A falta de alarme pode ser uma informação muito crítica

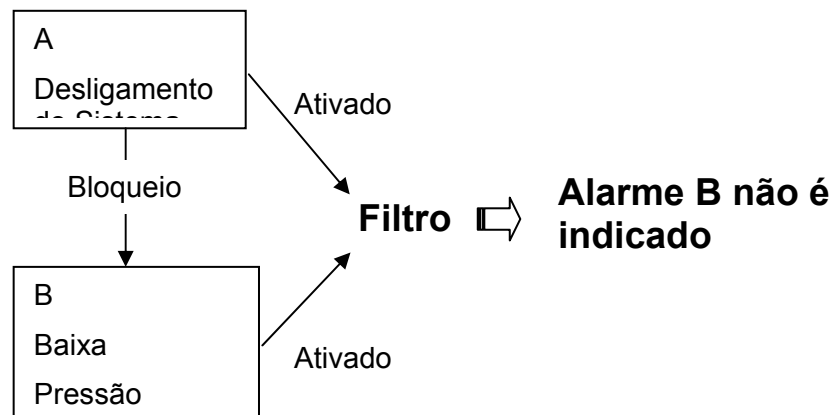


Fig. 13.17. Condições dinâmicas do processo podem tornar um alarme sem significado

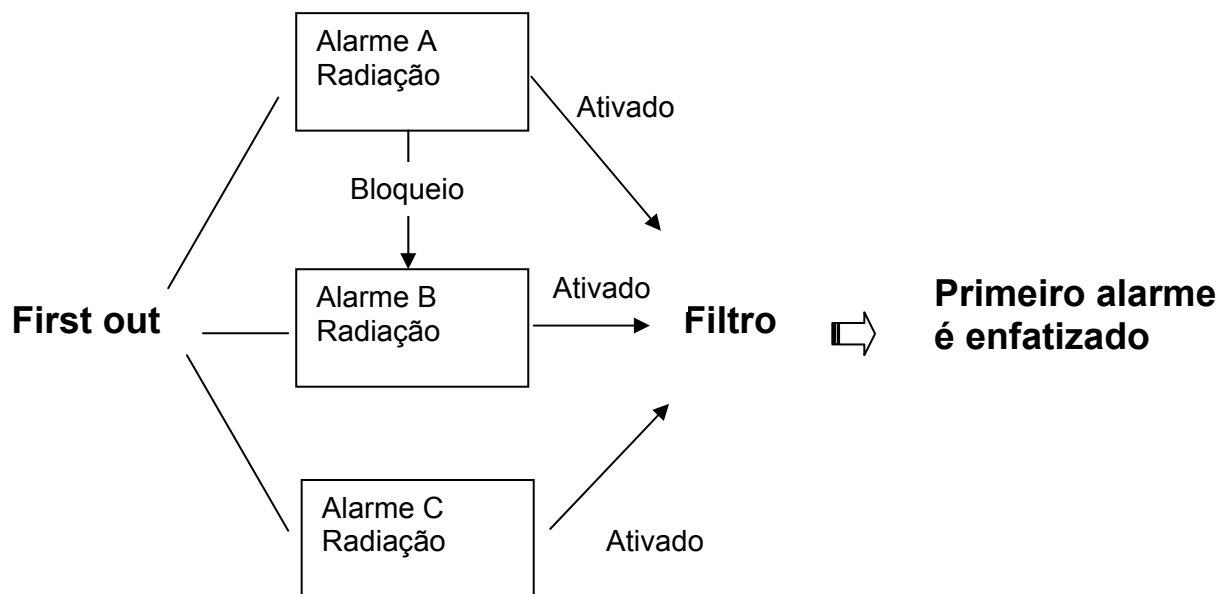


Fig. 12.18. Conceito do alarme first out.

Ação requerida

A é uma ação requerida de B, quando as condições que causam B requerem a ocorrência de A. Por exemplo, um filtro entupido pode ser alarmado por alta pressão diferencial, alarme B. Esta alta pressão diferencial desliga uma bomba para proteger o filtro e a bomba, causando vazão baixa, alarme A. Neste caso, A, a ação requerida, é desenfaturada com relação a causa, indicada pelo alarme B. Se B pudesse ocorrer sem A, (Fig. 13.16), ou seja, o filtro entupido sem o desligamento da bomba, o alarme A (vazão baixa) estaria presente em uma alta prioridade para o operador.

Bloqueio

A bloqueia B quando a condição que causa A torna B sem significado. Por exemplo, A é uma combinação de alarmes que indicam que um sistema é desligado e despressurizado. B pode ser um dos muitos alarmes de baixa pressão que perdem o significado quando o sistema é desligado. O alarme B pode ocorrer (baixa pressão), mas sua indicação será totalmente bloqueada. Porém, B ainda existe e pode afetar outros alarmes através de outras relações, mesmo que o operador não as perceba.

First out

Existe uma relação de first out entre A, B e C quando o primeiro deles que ocorrer é enfatizado. Por exemplo, pode ocorrer um conjunto de alarmes de radiação, mas o primeiro está provavelmente no local onde há vazamento e os outros representam um espalhamento do problema. Neste caso, o primeiro alarme é enfatizado.

Classes de Objetos

Duas outras classes de objetos no sistema são similares à classe de alarme: contato e status.

O contato é uma classe de sinais que não tem uma indicação. Por exemplo, uma chave de posição da válvula pode ser disponível para um computador e pode ser útil no filtro de alarmes mesmo se ela normalmente não afeta o display.

Um estado é ativado quando ocorre uma combinação específica de alarmes, contatos e outros estados. Um estado

poderia ser usado quando uma combinação de dois de três alarmes é ativado. Este estado ativado de dois de três alarmes poderia causar alguma ação automática que geraria mais alarmes.

5.7. Circuitos de Intertravamentos

Os intertravamentos podem ser projetados de dois modos: ligando ou desligando. Geralmente, o sistema de referência básico assume que o processo é desligado, indo para o mínimo nível de energia, com os intertravamentos desenergizados. Os circuitos são assim projetados, usando a convenção da lógica positiva: contato fechado, lâmpada ligada e contato aberto, lâmpada desligada. Os contatos de relé de ligamento são mostrados em seu estado normal desenergizado e os de desligamento em seu estado normal energizado. Os circuitos são projetados para operar durante a partida do processo.

A lógica complementar é desenvolvida quando o processo é assumido estar operando em seu nível de energia mais elevado. Os circuitos de intertravamento são então projetados para operar enquanto o processo estiver desligado. Os sistemas de intertravamento podem ser projetados de ambos os modos.

Os circuitos de intertravamento são usualmente arranjados em três partes:

1. Entrada - consistindo de chaves no campo, chaves no painel, botoeiras, chaves seletoras.
2. Lógica - arranjo de contato de relé ou programas de controlador lógico programado que estabelecem a relação entre as entradas e as saídas.
3. Saída - dispositivos de atuação, válvulas solenóides, motores de partida, lâmpadas indicadoras e alarmes.

Os sistemas de intertravamentos são programados através de diagramas tipo ladder (escada), onde em cada degrau da escada tem-se contato normalmente aberto, contato normalmente fechado, contador e temporizador ligando ou desligando bobinas de relés ou de solenóides.

Intertravamento auto-cancelante

Este circuito se limpa quando a condição anormal volta para normal. Por exemplo, na Fig. 12.19, a válvula solenóide no circuito do controle de nível é energizada através de uma chave de nível ligada a linha fase L1 e ao neutro L2. Suponha que o solenóide energizada mantenha a válvula de entrada ar para fechar (falha aberta) fechada. Um nível baixo abre o contato da chave de nível. O solenóide é desenergizada e a válvula de vazão abre. O nível da vazão se corrige por si e o contato da chave de nível fecha. O solenóide é reenergizada e a entrada é fechada.

Este intertravamento é simples e pode não ser apropriado, por exemplo, se o nível está oscilando em torno do ajuste da chave de nível. Isto pode causar uma oscilação indevida do processo e um dano possível ao equipamento.

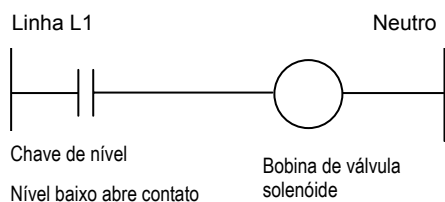


Fig. 12.19. Intertravamento autocancelante

Intertravamento de reset manual.

Para evitar o problema associado com o intertravamento auto cancelante, que volta automaticamente ao normal quando desaparece a condição insegura, foi desenvolvido um circuito que requerer ação positiva do operador para cancelar o intertravamento, assim que as condições retornem ao normal.

Por exemplo, na Fig. 12.20, suponha que o solenóide normalmente energizada mantenha a válvula de alimentação aberta. Um sinal de alta pressão irá abrir a chave de alta pressão, desenergizando o relé de controle CR1. O contato CR1-2, mostrado no segundo nível, irá abrir, desenergizando o solenóide, fechando a válvula de alimentação e aliviando a pressão. Quando o operador verificar que tudo voltou

normal, pressiona o botão de rearme momentâneo. A bobina do relé é energizada, fechando assim CR1-1 e CR1-2. O solenóide é reativada e a válvula de alimentação é reaberta. CR1-1 é um contato de selo, para manter o circuito quando o botão de reset é solto.

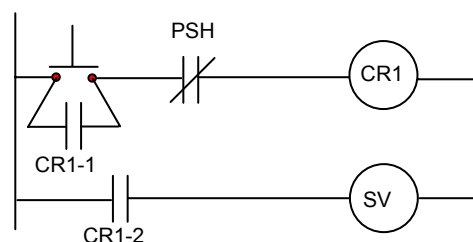


Fig. 12.20. Após o desligamento, o operador rearma o intertravamento manualmente, quando as condições voltarem às condições normais

Um procedimento rigoroso deve ser seguido quando um operador rearma manualmente um intertravamento. Seja um *reboiler* com uma válvula de controle do vapor de entrada comandada pelo controlador do processo e com um intertravamento de desligamento de alta temperatura. Durante a operação normal, considere que houve um desligamento por causa da alta temperatura. Quando a temperatura cair, voltando para a faixa segura, o operador deve rearmar manualmente o intertravamento. Mas como a temperatura agora está baixa, o controlador de temperatura irá solicitar muito vapor e isto pode ser perigoso. Deve haver um modo seguro de partida, onde o vapor aumente gradualmente.

Neste caso, uma característica de *lockout* deve ser incorporada para evitar o rearme do intertravamento até que a saída do controlador satisfaça uma condição predeterminada. O operador rearma o controlador para manual, reduz a saída do controlador a algum valor baixo, manualmente rearma o intertravamento e o sistema está pronto para a partida.

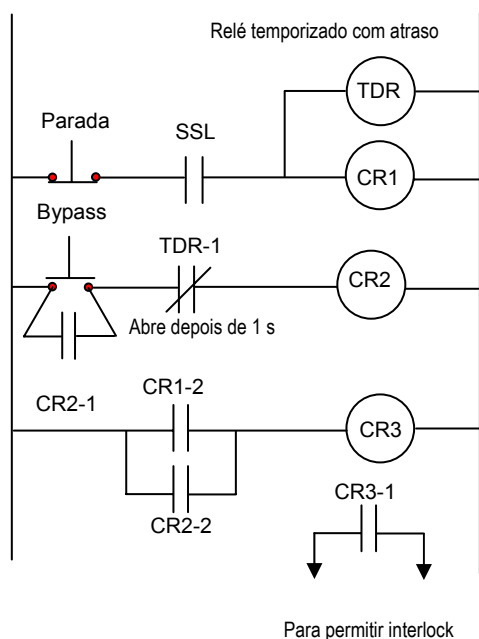


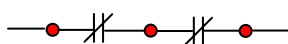
Fig. 12.22. Relé com tempo de atraso pode ser usado no lugar do relé ligar-antes-de-desligar

Cadeias de intertravamento

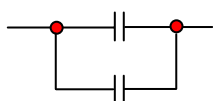
As cadeias de intertravamento podem ser de dois tipos: série ou paralelo.

Quando se tem muitos intertravamentos de segurança, qualquer um dos vários contatos de inicialização pode desligar o mesmo circuito (Fig. 12.23). Os intertravamentos são colocados em configuração série (AND). Os contatos são também arranjados em série onde a redundância de desligamento é requerida, de modo que um contato atua o intertravamento se um outro falhar.

Quando se quer que mais de um contato possa atuar no circuito, eles são arranjados em redundância série para desligar (AND) ou redundância paralela para ligar (OR)(Fig. 12.23).

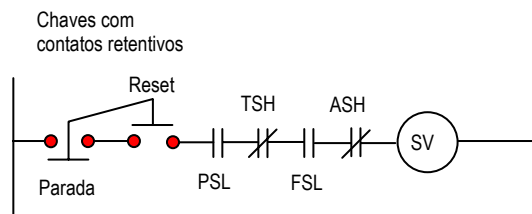


(a) Redundância série para desligar



(b) Redundância paralela para ligar

Fig. 12.24. Circuitos redundantes



Legenda

- PSL – Baixa pressão de N_2
- TSH – Alta temperatura do resfriamento
- FSL – Baixa vazão do O_2
- ASH – Alta concentração de CO_2
- SV – Bobina da válvula solenóide

Fig. 12.23. Contatos em série: qualquer um pode desligar o circuito, fornecendo redundância

5.8. Sistema de Votação

Quando um instrumento de processo falha, o produto fica fora de especificação, a produção pára e os engenheiros escrevem relatórios de investigação. Isto acontece principalmente durante as fases de partida e parada, quando os incidentes são anormalmente mais freqüentes.

Os sistemas de segurança tem progredido muito em confiabilidade, através de conceitos de Controlador Lógico Programável simples até os sistemas com tripla redundância. Porém, os sensores e instrumentos de campo não acompanharam o ritmo. Os instrumentos críticos de campo ainda são os controladores single loop e os pontos de desligamento. Os sistemas de desligamento de emergência aumentam a confiabilidade usando sensores independentes do sistema de medição e controle. Porém, a adição de mais componentes no sistema aumentam a probabilidade de ocorrência de alarmes falsos.

Peças e equipamentos falham. Por Murphy, geralmente falham nos piores momentos. Sempre há custos associados com desligamentos falsos ou verdadeiros, devidos a tais falhas. Porém, é fácil reduzir os custos associados aos desligamentos provocados por alarmes falsos, colocando redundância e circuitos de votação no sistema.

Um sistema de segurança pode ter dois tipos de falhas:

1. O processo é desligado pelo sistema de emergência, quando não há nenhuma causa válida
2. O processo não é desligado, quando há uma causa válida para ser desligado.

No sistema de segurança, 90% das falhas falsas são provocadas pelos dispositivos de campo (sensores de entrada e válvulas de saída).

Há quase uma infinidade de circuitos de votação, porém serão vistos apenas os mais úteis como:

1. um de um
2. um de dois
3. dois de dois
4. dois de três

Os esquemas de um de três, um de quatro, um de cinco e um de x, não interessam pois a probabilidade de alarme falso sempre aumenta de 100%, de um esquema para outro. Somente aumentar o número de dispositivo aumenta a confiabilidade mas também aumenta a probabilidade de alarme falso.

Nos exemplos, cada um dos quatro sistemas de votação é descrito usando transmissores de 4 a 20 mA cc e um sensor de pressão com uma faixa de 1 a 100 kPa, desligando acima de 50 kPa. As chaves não são recomendadas para sistemas de desligamento, pois não existem diagnósticos. Transmissores trabalham melhor porque um CLP ou SDCD pode ser programado para detectar a operação anormal do transmissor e alarmar o operador para reparar o transmissor.

Sistema um de um

O sistema de votação um de um só atua quando o transmissor vota para desligar.

A votação um de um é o mais simples de instalar. Não são necessárias tomadas múltiplas, a programação é mais simples e a instalação de cabos e fios é mais barata. Ele pode ser programado para ser falha segura: para uma configuração de transmissor, se o sinal é abaixo de 3 mA ou acima de 21 mA, o sistema de desligamento de emergência deve ser programado para reconhecer isto como

uma falha e votar um desligamento. Se o transmissor excede estes valores em uma entrada para um CLP, o CLP pode grampear a saída de qualquer malha de controle (não a malha do sistema de desligamento) que usa este sinal e alarmar a condição para o operador.

A desvantagem deste esquema, a longo prazo, é que o custo e perdas de produção são altos, pois ele não diminui a probabilidade de alarme falso.

Sistema um de dois

O sistema de votação um de dois só desliga quando um ou os dois transmissores votam para desligar o sistema.

O sistema de votação um de dois aumenta a flexibilidade. Ele usa dois transmissores, e como consequência há um aumento de módulos de entrada, carga do sistema, maior quantidade de cabos. Os dois transmissores devem ser ligados a dois módulos de entrada separados do CLP.

No sistema de votação um de dois, o CLP deve ser programado para votar para um desligamento na falha de um transmissor ser seguro em falha. Porém, alguns sistemas requerem uma falha de sinal baixo nos dois transmissores ou uma única falha de sinal alto para um desligamento.

Em um sistema de controle com SDCD, o segundo transmissor adiciona uma ferramenta de detecção valiosa. Agora o SDCD pode detectar falha de um transmissor dentro da faixa de sinal de 4 a 20 mA, comparando as duas entradas e alarmando se elas se desviam de, por exemplo, mais de 5%. Quando o sistema de desligamento possui dois transmissores e o SDCD um transmissor dedicado, os dois transmissores do desligamento podem se comunicar com o SDCD e os três transmissores podem ser comparados.

No exemplo de um transmissor com um ponto de desligamento em 50 kPa, o instrumentista pode zerar o transmissor em linha sem afetar o sistema. Porém, o instrumentista não pode abrir a malha de 4 a 20 mA para calibrar o sinal de corrente, pois se o sinal vai para zero, é detectado como falha e desliga o processo.

Dois de dois

O sistema de votação dois de dois só desliga quando os dois transmissores votam para desligar o sistema. Quando apenas um vota, ele considera alarme falso e não desliga.

Neste esquema, os dois sensores devem reportar uma condição de desligamento, para haver desligamento. O esquema dois de dois não é considerado seguro em falha porque há muitas condições em que um transmissor pode estar fora de serviço e incapaz de desligar. Assim, mesmo que o transmissor transmita um voto para desligar, não ocorre o desligamento.

No exemplo do transmissor de pressão, há vários cenários em que não ocorre um desligamento quando deveria ocorrer. Se um transmissor é aberto para a atmosfera e lê 0 kPa G, ele envia um sinal de 4 mA para o sistema de desligamento e o outro transmissor está monitorando o processo, o desligamento nunca será possível, porque o primeiro transmissor nunca irá votar para desligar.

Em outro caso, se um instrumentista está fazendo o ajuste de zero do transmissor, em linha, este transmissor está efetivamente bypassado e incapaz de votar para o desligamento, e portanto nunca haverá desligamento.

O sistema de votação dois de dois normalmente não é usado em processo ou segurança pessoal. Ele é muito usado em sistema de monitoração de equipamento rotativo (vibração e deslocamento axial), onde há problema de espaço para montar três sensores.

Dois de três

O sistema de votação dois de três só desliga quando dois transmissores ou os três transmissores votam para desligar o sistema. Quando apenas um vota, ele considera alarme falso e não desliga.

O esquema de votação dois de três é o mais caro de instalar e adquirir, mas é o mais fácil de manter e monitorar e provê o mais alto nível de confiabilidade para a operação correta da planta.

As duas primeiras linhas olham o sinal real do processo e votam para desligar se a pressão de 50 kPa é excedida. As duas linhas de baixo detectam falha na saída

baixa do transmissor (i.e., abaixo de 3 mA). Neste exemplo, a falha de saída alta não é usada; em vez disso, qualquer sinal acima de 21 mA é detectado como desligamento pelo sinal do processo votante maior que 50 kPa. Se isto não aconteceu, mais linhas são necessárias para detectar falha de alta saída. Uma mensagem na impressora é parte da saída, de modo que o operador entende a causa da ocorrência do desligamento. Neste caso, o desligamento foi provocado por sobrepressão.

Alguns esquemas usam o meio de três para determinar um valor de processo e depois votar somente este valor. Esta é uma técnica válida, mas deve-se monitorar a falha dos transmissores.

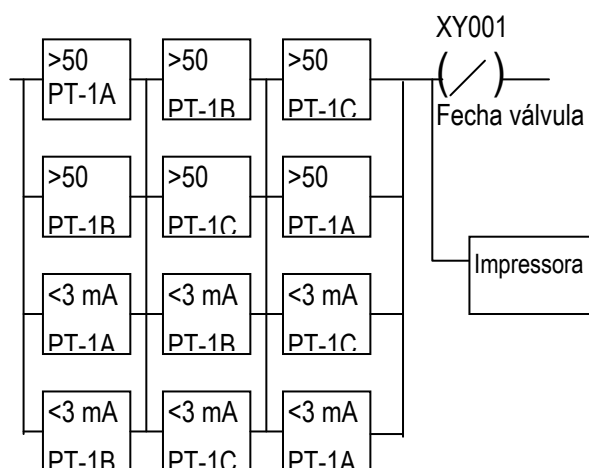


Fig. 12.25. Lógica para votação de dois de três

Comunicando os valores do sistema de desligamento para o sistema de controle (SDCD) ou outro sistema digital para monitorar, comparar valores e alarmar quando houver discrepâncias entre eles maiores que 5%, permite o operador efetuar reparos no transmissor de campo. Para isso, as saídas dos três transmissores devem entrar em módulos de entrada separados, de modo que, se o instrumentista induz falha no módulo A, os módulos com os transmissores B e C continuam em linha e votando. Se os três transmissores estão montados no mesmo módulo de entrada, a falha deste módulo de entrada causa um desligamento.

Aplicação prática

Por exemplo, os termopares são pouco confiáveis quando se queimam freqüentemente, provocando desligamentos falsos, se cada termopar estiver ligado a um único intertravamento. Para garantir que foi um distúrbio do processo (elevação da temperatura) que iniciou o desligamento, e não apenas outra queima do termopar, um circuito de votação é usado, em que mais de um sensor medindo a mesma variável (p. ex., dois de três) sejam requeridos para detectar uma condição de alarme que irá acionar o desligamento.

Na Fig. 12.26, três termopares medem a mesma temperatura e são ligados através da bobina do relé ao sistema de intertravamento com sistema de votação de dois em três elementos: o sistema só é desligando quando dois de três termopares atuarem.

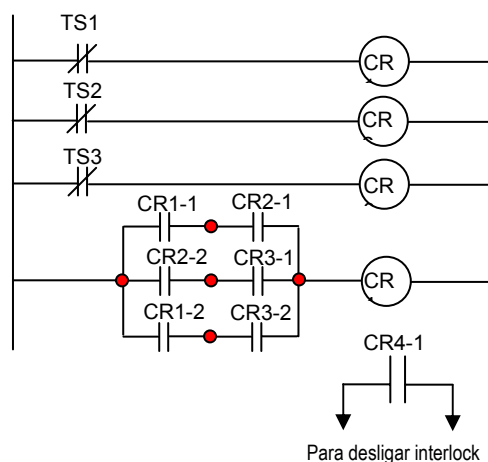


Fig. 12.26. Circuito de votação onde dois de três termopares devem atuar ou falhar para causar um desligamento

Quando apenas um termopar atua, não há desligamento. Por exemplo, quando TS1 abre, CR1 é desativada, abrindo CR1-1 e CR1-2, mas CR4 não é desativa.

Quando dois termopares atuarem, há desligamento. Por exemplo, quando TS1 e TS2 abrem no mesmo período de tempo e

o terceiro TS3 permanece operando, CR1 e CR2 são desativadas, abrindo CR1-1, CR1-2, CR2-2 e CR2-1. Agora, todos os três circuitos paralelos são desligados, embora TS3 esteja ainda operando. CR4 está desativada e o intertravamento de desligamento funciona.

Falha da fonte de alimentação

Embora a fonte de alimentação não faça parte do sistema de votação, ela tem um grande impacto na confiabilidade de um sistema de desligamento ou no CLP. Deve haver redundância de fonte, de modo que quando há falha em uma, a outra suporta a alimentação do sistema e não há desligamento do sistema. As fontes redundantes devem ser alimentadas de linhas independentes, de modo que a falta de alimentação de uma fonte não desliga também a outra.

5.9. Falhas do Intertravamento

Regras e recomendações

Quando se projeta um sistema com ação automática de emergência, há várias regras que devem ser seguidas quando o sistema é crítico ou quando se quer aumentar a segurança do sistema:

1. O sistema deve ser projetado de modo que o operador da planta possa fazer manualmente o que o sistema faz automaticamente
2. A ação automática, desligamento ou partida, deve ser alarmada. A ação automática nunca deve ser tomada sem que o operador da planta fique sem saber do que está ocorrendo.
3. A ação automática deve ser bloqueada. O equipamento que foi desligamento automaticamente não deve ser automaticamente religado simplesmente por que a condição que causou o desligamento já voltou ao normal. Uma vez que ocorreu uma ação automática, ela deve ser mantida em seu status de desligamento até que o operador do processo saiba que a situação que causou o desligamento tenha sido corrigida. O operador pode, então, em sua decisão própria, religar o equipamento usando o procedimento apropriado.
4. Se o sistema tem mais do que uma entrada, geralmente chamada de

permissão e qualquer entrada pode levar o equipamento ao desligamento ou evitar que ele seja partido, então esta entrada deve ser claramente identificada pelo sistema.

- Caldeiras e esteiras são dois exemplos de equipamentos que podem ter várias permissões, sendo qualquer uma delas capaz de evitar a partida do equipamento ou desligá-lo, em caso de alguma condição insegura. A pessoa que tem de fazer a pesquisa de defeito e corrigir a falha deve ser capaz de determinar imediatamente onde está a falha. Quando se gasta muito tempo para tentar localizar a permissão que evita a operação, a tendência do operador da planta é modificar o sistema para contornar as estas causas de modo que a produção retorne logo.
5. Se as condições da planta são tais que o operador tenha perdido o controle da situação, então todos os dispositivos finais do tipo 5 devem ir para o status de emergência por sua conta. A perda do controle geralmente implica em perda completa da potência, elétrica e pneumática.
 6. Se as conseqüências de um desligamento não planejado, em perdas de produção ou perigo para o equipamento, são sérias, então se deve incluir um alarme precursor, que seja disparado pela mesma variável de processo que provocou o desligamento de emergência mas em um valor mais anterior. A idéia atrás do alarme precursor é alertar o operador para o fato de que há um perigo potencial tendendo a se desenvolver e para dar ao operador tempo para ele tomar decisão para corrigir o problema antes que seja ativado o desligamento automático do processo.
 7. Um item que não é considerado no projeto é a capacidade do operador da planta anular um sistema de desligamento automático. Há casos onde isto é desejável e seguro e outros casos onde não é. Este aspecto certamente deve ser considerado no estágio de projeto, mas com o devido cuidado dos problemas potenciais. Há casos registrados onde um sistema de emergência foi contornado por boa razão, talvez para fazer uma pequena emergência, mas ninguém se lembrou que o contorno não foi removido até que aconteceu uma emergência real e o sistema estava sem proteção.
 8. Desde que qualquer permissão pode causar um desligamento, cada permissão que é adicionada aumenta a chance de ocorrência de um desligamento automático. Quando os projetistas consideram todas as circunstâncias desfavoráveis, algumas plantas acabam tão bem protegidas que elas são protegidas até contra a operação.
 9. O desempenho dos operadores de processo geralmente é relacionado com a produção. Se a produção está sendo interrompida por circuitos eletrônicos automáticos, então a tentação é a de desligá-los. Melhor é correr o risco de operar sem proteção do que não operar de modo nenhum. O ponto é, o projetista do sistema deve ter a responsabilidade de se envolver nesta situação. A situação é realmente séria ou somente desagradável? A ação automática é realmente necessária ou o operador da planta pode ser capaz de administrá-la ao seu critério. É realmente necessário ter um desligamento automático ou um simples alarme de pre-emergência é adequado?
 10. Logo após a partida, partes da planta ficam tão quentes que as juntas flangeadas começam a fumar. Uma rápida investigação encontrou que o *trip* de segurança de alta temperatura e o controlador de temperatura (um instrumento combinado) tinham sido desligados de sua alimentação.
 11. Uma das primeiras regras do projeto do sistema de *trip* é que deve ser impossível desarmar um *trip* através de seu desligamento (unplugging). O desarme deve ser feito com uma chave somente após uma autorização adequada. Também, o desarme deve ser devidamente notada por uma lâmpada ou algum outro indicador no painel do operador.
 12. A maioria dos sistemas de *trip* deve operar (i.e., fechar uma válvula ou desligar uma bomba) se a energia é

perdida. Se o trip não é previsto operar na falha da potência, então um alarme deve soar para indicar a perda da potência do sistema de trip.

13. As chaves de trip e controladores devem ser independentes entre si. As falhas mais comuns ocorrem na malha de controle, que incluem o sensor, transmissor, controlador, atuador, válvula. Os trips devem ser independentes destes componentes.
14. Finalmente, todos os sistemas de trip devem ser testados na partida, principalmente se eles atuaram durante o desligamento da planta. Em fornos e compressores, eles devem ser testados após todos os grandes desligamentos.

Ignorando as leis da física

Algumas malhas de instrumentos não podem funcionar porque elas violam as leis da física. Outras não podem funcionar porque o engenheiro de instrumentação esqueceu informações básicas. Aqui estão três exemplos:

1. Uma faixa limitada de um visor de vidro - Um visor de vidro foi montado em um vaso. O vidro mede 1,20 m de comprimento e está conectado aos braços das tubulações que estão 60 cm afastados.

Do modo que a tubulação está arranjada, este visor irá indicar o nível apropriado em apenas uma faixa muito limitada. De fato, o visor nunca irá mostrar o nível abaixo da tomada inferior e nunca irá indicar que o tanque está cheio totalmente.

Se o nível do líquido cair abaixo da tomada inferior, o líquido no visor ficará represado. Seu nível não pode cair abaixo da tomada. Se o nível do tanque subir acima da tomada superior, o vapor será represado na tomada superior do visor. Se qualquer gás não condensável estiver presente no vapor, a pressão irá manter o nível no visor abaixo de seu valor verdadeiro.

2. Confundindo vapores e gases - O exemplo anterior mencionou *gás não condensável*. Há uma grande diferença entre vapores e gases não condensáveis. E a diferença pode tornar uma malha segura ou insegura.

Em um vaso que normalmente está com meio nível de líquido, Um controlador

mantém o nível sob as condições normais, e uma chave de nível desliga a válvula de entrada se o nível fica muito alto.

Se o controlador de nível e a chave de nível falham simultaneamente, uma chave de pressão age como reserva. Quando o nível aumentar no tanque, o gás será comprimido. Quando a pressão atingir um determinado ponto, a chave de alta pressão irá acionar e desligar a válvula de entrada. Mas, quando o espaço acima do líquido tiver ar, nitrogênio ou outro gás não condensável, este sistema não irá funcionar.

Infelizmente, este vaso contém gás liquefeito. Quando o nível sobe, o vapor condensa de volta para o líquido. A pressão não aumenta o suficiente para acionar a chave de alta pressão. Enquanto a chave não funcionar, o gás será jogado fora através da válvula de alívio. O projetista deste sistema não compreendeu e não levou em consideração a diferença entre um vapor e um gás não condensável.

3. Esquecendo o spray - Em uma planta de ácido nítrico, a amônia é vaporizada, misturada com o ar e passada através de um catalisador. As vazões de amônia e de ar são medidas e controladas, de modo que, a concentração de amônia está sempre abaixo do nível explosivo. Infelizmente o engenheiro de instrumentação desprezou os efeitos do *spray* e a planta explodiu.

Quando o controlador de nível do vaporizador falhou, a malha foi colocada em controle manual. O nível ficou tão elevado no vaporizador, permitindo que o *spray* da amônia fosse carregado para frente. Por causa do *spray*, o transmissor de vazão leu baixo, a concentração de amônia aumentou e assim, ocorreu a explosão.

Todas as medições de vazão são imprecisas quando está presente o *spray*. Se o *spray* aumenta a densidade do gás por 50%, a vazão de vapor e líquido pode ser 25% maior que a indicação do medidor.

Projeto errado torna os intertravamentos inúteis

Os sistemas de intertravamento de segurança devem ser acionados (*take over*) quando ocorrer as condições de perigo. Aqui estão dois exemplos de *trips*

que não funcionaram por causa de seu projeto errado.

Protegendo o equipamento errado.

Neste exemplo, o trip é reserva da unidade que é a menos provável de falhar. A pressão no vaso é medida por um transmissor de pressão (PT). Um controlador de pressão (PIC) ajusta a válvula de controle para manter a pressão no ponto de ajuste.

Se o sistema de controle falhar e a pressão subir acima do ponto de ajuste, uma chave de alta pressão (PSH) irá atuar e fechar a válvula de controle. A chave opera também um alarme de alta de pressão (PAH).

Este sistema de intertravamento é quase inútil. As causas mais prováveis de falha são:

1. o transmissor de pressão falha. Se isso ocorre o sistema de trip da pressão não pode operar,
2. a válvula de controle trava. Embora a chave de pressão seja acionada e tente fechar a válvula, a válvula não irá responder.
3. o controlador de pressão falha. Neste caso, o trip irá funcionar. Entretanto, o controlador está dentro da sala de controle, que supostamente é um lugar limpo e protegido e o controlador é mantido facilmente. Assim, o controlador é o equipamento menos provável de falhar ou o mais confiável do sistema.

Este sistema de proteção funciona somente um terço do tempo. Tal sistema é melhor nem ter. Ele faz mais mal do que bem, porque se você espera ele funcionar você descuida de observar a pressão com pressão.

Um sistema melhor: O trip de alta pressão (PSHH) tem uma linha independente para o vaso e opera uma válvula de controle separada. Um pré alarme desliga uma chave de alta pressão ligado ao transmissor de pressão. O pré alarme permite ao operador saber que a pressão está próxima do limite máximo de trip. Isto permite ao operador tomar alguma providência antes do desligamento (shutdown).

O pré alarme irá operar 2/3 do tempo, durante as falhas da válvula e do controlador mas o trip irá operar praticamente em todas as condições.

O indicador pode mentir. Em uma planta de oxido de etileno, o processo se desligou automaticamente e uma lâmpada do painel disse ao operador que a válvula de oxigênio estava fechada. Como a planta deveria ser religada imediatamente, o operador não fechou a válvula manual de reserva do oxigênio. Antes que a planta fosse religada, ela explodiu. A explosão ocorreu porque a válvula de oxigênio não estava realmente fechada, e assim, o oxigênio continuou a entrar na planta.

A válvula de oxigênio fecha quando seu ar venta para a atmosfera através de uma válvula solenóide. A lâmpada do painel simplesmente indica que a válvula solenóide esta desenergizada, isto é, ela não esta mais usando a energia elétrica. Mesmo que o solenóide esteja desenergizada, o oxigênio pode continuar fluindo, devido a alguma das seguintes razoes:

1. a válvula solenóide não abre,
2. o ar não venta da válvula de oxigênio,
3. a válvula de oxigênio não se move,
4. a válvula de oxigênio se move, mas não fecha. Em alguns projetos, mesmo quando a agulha se move, a válvula pode não fechar.

Neste caso, aconteceu a hipótese 2: a linha de vent estava estrangulada por um ninho de mosca e a pressão do ar não podia ser liberada.

Se esta situação parece familiar, ela é. O mesmo tipo de erro do indicador aconteceu em Three Mile Island, em 1979. Lá, uma válvula de alivio no sistema de resfriamento primário abriu e falhou de resetar. Como a lâmpada indicadora dizia que a válvula estava fechada, o operador não entendeu o que estava acontecendo no reator e tomou todas as decisões erradas.

Como relatado, *a posição da válvula principal não era sentida diretamente, em vez disso, uma luz indicadora no painel de controle principal assinalou que a válvula solenóide tinha sido atuada e a posição do*

solenóide foi considerada como a indicativa da posição da válvula.

Monitoração da variável certa

Em muitos casos - como aqueles mencionados anteriormente - a variável errada é monitorizada. Por exemplo, em vez de verificar se a válvula está aberta, o sistema olha o estado do solenóide ou um sinal de controle e age como se a válvula estivesse aberta. Isto pode causar problemas.

Assumindo a vazão. Uma caldeira tem um trip que desliga a vazão de óleo se o suprimento de ar falha. A vazão de ar é detectada pela medição da tensão do motor elétrico que aciona o ventilador de ar. Aqui o sistema diz que o ar está consumindo energia. Ele pode não estar girando. Este sistema de trip irá funcionar somente se o motor falha ou a energia é interrompida.

Mas, se a vazão de ar falha por causa da quebra ou desprendimento da correia, de um impeller quebrado ou frouxo, ou um bloqueio no duto de ar, o sistema de trip não irá funcionar. A vazão de deve ser medida diretamente para que o sistema de trip opere seguramente.

Assumindo a vazão. Este é um exemplo similar, envolvendo a vazão de um fluido. A linha de ar para a válvula quebra, fazendo a válvula fechar e desligar a vazão de diluente para um reator. A perda de diluente faz o reator superaquecer.

Em condições normais, a perda da vazão do diluente faz um alarme soar. Porém, o desligamento da vazão é detectado pela monitoração da unidade elétrica que controla o suprimento de ar da válvula. Desde que isso fosse normal, o sistema pensaria que a válvula estivesse aberta. Para este sistema funcionar corretamente, a vazão do diluente deve ser medida diretamente.

Flashing do óleo da fornalha - Em mais de uma ocasião, a atmosfera na fornalha tem sido testada com um detector de gás combustível justo antes da explosão. Embora o detector indicar que nenhum gás combustível esta presente, uma explosão ocorre quando um lighted poker ou spark ignitor é usado para religar a fornalha.

Na maioria dos casos, a fornalha esta quente e contem vapores de óleo quando ele é verificado. Muitos detectores de gases combustíveis, Porém, não podem detectar vapores de óleo combustível. Isto porque o vapor condensa de volta para óleo líquido durante o procedimento de amostragem. Isto é especialmente verdadeiro com dispositivos que usam disco de metal sinterizado para proteger a cabeça do detector. O vapor do óleo aquecido condensa no disco metálico.

O mesmo problema ocorre durante a solda. Embora o detector forneça uma leitura segura, traços de óleo pesado ou polímeros são vaporizados pelo chama da solda e assim queimados.

Fornos contendo vapore de óleo pesado deveriam ser purgados por tempos suficientes para remover todos os traços de vapor antes de serem religados. Justo porque não se pode medir o vapor, não significa que o vapor não esteja presente.

A lição a ser aprendida destes três exemplos é simples: sempre medir diretamente a variável que é crítica para o sistema de segurança - não medir alguma outra propriedade e fazer hipóteses inseguras.

Controle remoto, sistemas manuais

Há um tipo de sistema que pode ser considerado para qualificar como um sistema de emergência, embora ele não funcione automaticamente. Ele funciona pela atuação do operador. Neste sistema, válvulas, dampers, portas, motores e outros dispositivos são operados por controle remoto da sala de controle. Se há um incêndio, por exemplo, ele pode ser necessário para fechar uma válvula crítica de um local remoto. Fechar a válvula manualmente pode ser demorado ou pode ser impossível por causa do incêndio.

Este sistema pode ser implementado facilmente, o equipamento já está prontamente disponível. O que geralmente acontece, porém, é que depois que o sistema foi instalado, decidiu-se fazer modificações para operar a válvula remotamente. Esta modificação parece razoável, porém, além dos controles locais também são necessários os controles remotos e um sistema de seleção remoto-local. Aí começam os problemas. Se a

chave seletora é para ser localizada na sala de controle, então outro conjunto de fios deve correr do processo para a sala de controle. Isto é trabalhoso e caro e decide-se colocar a chave seletora no processo. O problema potencial é previsível e já aconteceu várias vezes. A chave seletora está na área do processo e quando há uma emergência, o operador que está na sala de controle é incapaz de atuar na válvula. Os controles foram bloqueados na estação seletora do campo.

Obviamente, para evitar esta situação a estação de controle deve ser projetada para operar em paralelo, ou na chave da sala de controle ou na chave do local do processo. Este arranjo requer mais fios e tempo para instalação, mas mesmo estes custos são menores que o custo potencial resultante da impossibilidade do operador operar uma válvula crítica em emergência.

Sistemas energizados e desenergizados

Uma questão básica é se um sistema automático de desligamento deve ser projetado para operar normalmente energizado ou normalmente desenergizado. Aqui o termo *normalmente* significa quando as condições do processo ou da planta estão normais. Esta interpretação sem sempre está de acordo com o significado de normalmente que o pessoal da instrumentação e elétrica aceitam.

As opiniões parecem ir em três direções:

1. Aqueles que estão totalmente convencidos de que os sistemas de emergência devam funcionar normalmente energizados
2. Aqueles que estão totalmente convencidos de que os sistemas de emergência devam funcionar normalmente desenergizados
3. Aqueles que não estão convencidos de que seja necessário ou mesmo desejável padronizar alguma das práticas acima.

Tentar provar que qualquer uma das três posições acima é correta é totalmente inútil. Uma explicação dos fatores envolvidos é suficiente

Em um sistema normalmente energizado, a corrente elétrica flui na entrada do circuito entre a chave de alarme

e a lógica e na saída do circuito entre a lógica e o equipamento final quando as condições do processo são normais e seguras. Se uma condição anormal aciona a chave de alarme, ela abre o circuito de entrada para quebrar a corrente elétrica. Isto alerta a lógica para a condição anormal. A lógica então quebra a corrente do equipamento final, que o leva para o status de emergência. Se o sistema de energia opera com potência pneumática em vez de elétrica, o fluxo de corrente é substituído por pressão de ar.

Um sistema normalmente desenergizado funciona do modo inverso. Quando as condições do processo estão normais, não há corrente fluindo ou há pressão pneumática zero, nos circuitos de entrada e de saída do sistema. Se for detectada uma condição anormal, aparece corrente elétrica ou pressão pneumática no circuito de entrada para alertar a lógica e então o circuito de saída é ligado para colocar o equipamento final em status de emergência.

Os benefícios de uma filosofia são as fraquezas do outro. No sistema que opera normalmente energizado, os sinais de entrada e saída (ligado para normal, desligado para anormal) são transmitidos através de fios elétricos ou tubos pneumáticos. Às vezes, as linhas de sinais são quebradas. Como o sistema normalmente energizado reage a isto?

No lado da entrada, um fio aberto ou um tubo quebrado tem o mesmo efeito que a abertura da chave de alarme. O fluxo de corrente é interrompido e o sistema *tripa* para emergência. No lado da saída, um fio aberto pára o fluxo de corrente e desliga o equipamento final. De novo, o sistema vai para emergência. Assim, um sistema normalmente energizado responde não somente a uma condição insegura do processo, como determinado pelos contatos da chave de alarme, mas também responde imediatamente à falha nas linhas de sinal de entrada e de saída. Um sistema energizado monitora não somente o status da chave de alarme mas também o status de suas linhas de comunicação.

Para um sistema desenergizado, em que não há corrente ou pressão de ar quando as condições estão normais, uma linha de sinal pode ser interrompida, o

sistema fica inoperante e ninguém toma conhecimento disto até que haja uma emergência real e sistema de proteção não responde.

Além disso, em um sistema energizado, desenergizar o equipamento final o leva para um status de emergência. Se há um problema maior que desliga toda a alimentação elétrica e pneumática, então todos os equipamentos finais vão para emergência, como deviam. Neste aspecto, o sistema energizado segue a regra de segurança (em caso de falha, todos os equipamentos finais vão para o status de emergência por conta própria).

O sistema normalmente desenergizado não segue esta regra por que é necessário energizar os equipamento finais para tripá-los no status de emergência. Se uma catástrofe desliga as fontes de alimentação, isto não pode acontecer. O sistema de emergência não faz nada para ajudar a situação e, às vezes, pode até piorar.

Sendo assim, porque há ainda muitos sistemas de desligamento normalmente desenergizados? A resposta continua, ainda, na produção. Como é necessária a potência para sustentar um sistema energizado em seu estado normal, qualquer interrupção de potência, mesmo de curta duração, irá causar um trip para emergência. Como todos sabem, falta de energia pode ocorrer por razões que não tem nada a ver com a operação, como raio de tempestade, partida de grande máquina na planta vizinha, erros humanos de abrir ou fechar a chave errada e tudo isso pode fazer um sistema normalmente energizado desligar automaticamente uma planta, sem necessidade.

O desligamento do processo por qualquer uma destas razões é chamado de *desligamento falso (nuisance shutdown)*. Eles são muito prejudiciais, pelos problemas de operação e perda de produção que provocam. Por causa disso, muitas pessoas vetam a instalação de sistema de emergência que opera normalmente energizado.

O problema real com sistema normalmente energizado não é tanto a causa de desligamentos sem sentido, mas o fato dele não perdoar as falhas que podem ocorrer por razões naturais,

operacionais ou impostas. Sob o ponto de vista global da planta, o sistema normalmente energizado é mais seguro porque ele está de conformidade com a regra de segurança que estabelece que todos os equipamentos finais devem ir para o status de emergência em caso de perda de controle da situação.

Deve-se usar o sistema normalmente energizado e atacar os problemas associados a ele. Falhas que sejam naturais ou superpostas podem ser virtualmente eliminadas pela seleção de uma fonte de alimentação 100% confiável, usando-se backup de bateria e sistema de *no-break*. Problemas devidos a falha humana podem ser minimizados através de melhor treinamento, melhor sinalização e tomando-se mais cuidado.

Finalmente, quando se vai decidir entre um sistema de desligamento automático normalmente energizado ou desenergizado, deve-se preferir o energizado ou pensar cuidadosamente para optar pelo sistema normalmente desenergizado, prevendo as consequências da decisão.

Equipamento

O equipamento a ser usado no sistema de desligamento de emergência deve ser cuidadosamente selecionado. Se qualquer equipamento é localizado em área externa e é mantido em um estado energizado por um ano ou mais, pode-se ficar surpreso se ele operar quando for chamado para. Vários fatores podem impedir a operação normal do equipamento, como corrosão, sujeira, magnetismo residual, umidade, variações de temperatura e as intempéries do ambiente. Estes problemas podem ser diminuídos através de

1. Uso de chaves de alarme, válvulas solenóides e outros componentes de altíssima qualidade
2. Teste do sistema em uma base regular. Para testar completamente o sistema pode ser necessário instalar um *bypass* em torno do equipamento final. Se isto é realmente feito, deve-se instalar um alarme do tipo 1 no *bypass* para alertar o operador para o fato que o há um *bypass* e o equipamento final está sem proteção.

Dispositivos Lógicos

O equipamento usado para desenvolver a lógica entre os contatos de inicialização e os operadores finais podem ser com relés ou com microprocessadores.

Os relés e seus contatos associados são fiados fisicamente, ponto a ponto, de acordo com o circuito do diagrama ladder correspondente. Geralmente é muito difícil fazer mudanças no campo, especialmente onde os relés adicionais são usados ou os contatos são de operação reversa (de normalmente abertos para normalmente fechados).

Os controladores programáveis são geralmente preferidos quando se quer velocidade e confiabilidade. Por exemplo, o relé eletromecânico opera em 6 a 8 ms, enquanto o microprocessador requer somente 2 a 3 ms. A decisão de usar relés ou microprocessadores depende da complexidade do sistema e do número de entradas e saídas. O custo inicial dos controladores programáveis é muito maior do que dos relés, desde que um sistema de referência básico, programa e fonte de alimentação sejam requeridos, independente do número de módulos de entrada/saída. O ponto de *crossover* do custo instalado é aproximadamente de 75 relés.

A lógica do controlador programável é gerada usando rotinas de programação fixas programada para estar de conformidade com a lógica de intertravamento requerida. Os teclados são fornecidos com o controlador e a programação pode ser feita usando diagramas ladder. O sistema completo consiste de circuitos e entrada, módulos lógicos e circuitos de saída.

Os circuitos de entrada condicionam o sinal dos contatos externos do campo (p. ex., termopares) para o módulo lógico. Os circuitos de saída condicionam o sinal dos módulos lógicos para o controlador final (p. ex. bobinas de relés, válvulas solenóides). Os módulos lógicos são feitos com componentes de estado sólido em cartões de circuito impresso. Eles geram as funções lógicas (OR, AND) que são equivalentes a contatos paralelos ou série em uma matriz de relés.

As funções lógicas (OR, AND) operam de um modo binário (0, 1); assim, pulsos externos indesejáveis podem afetar o status. Desde que o estado da lógica é determinado por um pulso (mudança no status do contato), os efeitos do *contact bounce* quando as chaves externas são ativadas devem ser minimizados. Isto pode ser eliminado garantindo que um pulso deve ser mantido por um tempo mínimo antes que seu estado seja reconhecido pelo circuito lógico.

Os módulos de entrada/saída podem ser isolados ou não isolados. Os módulos isolados requerem uma fonte de alimentação externa, cada um com seus fusíveis próprios, para acionar os componentes de entrada ou saída. Os módulos não isolados usam um barra ônibus comum, de modo que todos os componentes são alimentados da mesma fonte.

Os circuitos a estado sólido falham em segurança quando desenergizados, como os relés. Assim, no caso de falta de alimentação, as saídas lógicas retornam a lógica 0.

Os módulos de saída que são usados para acionar componentes de corrente alternada usam triacs como chaves de estado sólido, para abrir ou fechar circuitos eletronicamente. Estas unidades podem falhar em curto, i.e., com os contatos mantidos fechados. Se isso acontece, quando a lógica solicita que eles desliguem e desenergize o elemento final, eles podem falhar de faze-lo. Para evitar isso, pode ser necessário monitorizar a saída do módulo e usar a lógica interna para desligar a fonte externa, deste modo desenergizando efetivamente o elemento final de controle.

A confiabilidade é medida pelo Tempo Médio Entre Falhas (MTBF). Já foi determinado que, depois da mortalidade infantil (falhas prematuras) o MTBF dos circuitos a estado sólido muito maior que o MTBF dos relés eletromecânicos. Para diminuir a mortalidade infantil os componentes eletrônicos são submetidos a tratamentos de queima (burn in) antes de serem usados. A vida útil dos relés (cerca de 20 000 ciclos) é afetada por sua frequência de atuação.

Os circuitos a estado sólido requerem muito menor manutenção que os relés. A falha do componente é mínima quando não há partes mecânicas e os componentes são projetados de modo conservativo. Usam-se dissipadores de calor e circuitos protetores de sobre-tensão. Por outro lado, os relés requerem muito mais manutenção, desde que as bobinas falham, os contatos oxidam e as molas perdem sua tensão. Em sistemas que são estáticos por longos períodos, os relés podem se tornar inoperantes. Deste modo, deve-se usar relés redundantes para aumentar a confiabilidade.

Distribuição de potência

A falha de alimentação pode ser resultante da perda da alimentação na planta inteira, em painéis de distribuição ou no instrumento individual. Cada tipo de falha deve ser prevista para determinar o efeito no intertravamento do processo e do sistema.

A distribuição de alimentação do instrumento deve ser dividida de modo que a falta de energia no painel de distribuição inicialize um desligamento. Isto deve ser consistente com o conceito estabelecido anteriormente, onde todos os componentes devem desenergizar quando o trip do intertravamento é ativado. Quando um circuito de alimentação pode ser sobrecarregado devido ao número de componentes em um sistema de intertravamento, outro circuito deve ser usado. Neste caso, um meio de monitorar a fonte de alimentação para cada um dos dois circuitos deve ser fornecido, de modo que a falta de alimentação de qualquer um dos sistemas irá tripolar o outro, garantindo que o sistema total irá falhar em segurança.

As fontes de alimentação sem interrupção devem ser usadas para estes intertravamentos onde as falhas de alimentação que causam os trips indesejáveis sejam inaceitáveis. As fontes sem interrupção podem ser tão simples como uma reserva de bateria para circuitos e componentes selecionados ou, para cargas mais pesadas, como conjuntos complicados de motor/gerador com baterias flutuantes, inversores e chaves de transferência.

Adicionalmente, fontes de alimentação redundantes ou reserva de bateria devem ser consideradas para instrumentação eletrônica de controle de processo. A instrumentação eletrônica é usualmente alimentada por fontes que alimentam todas as malhas de controle. A falta de alimentação prejudica todas as malhas e portanto deve ser usada bateria de reserva, que será automaticamente selecionada quando houver falha na fonte principal.

Falhas do operador

Os sistemas de desligamento automático não tiram a importância e necessidade da operação manual. A tarefa do operador de processo, nas condições normais de operação, é garantir principalmente que o processo esteja operando na condição econômica e segura.

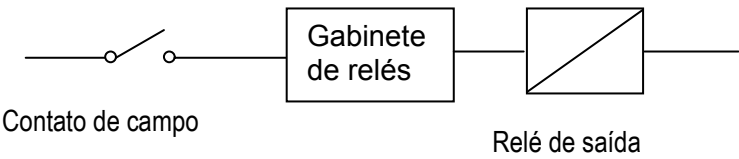
Porém, quando ocorre uma falha, há um grande grau de interação entre o operador e o sistema de instrumentação. Neste momento, o operador deve estar preparado para analisar a situação e decidir se deve ou não tomar uma ação. Mesmo quando há desligamentos automáticos no intertravamento, o operador deve ser informado do status da planta e dos distúrbios que podem ocorrer quando os intertravamentos são ativados.

O operador desempenha as seguintes tarefas quando acontece uma condição anormal:

1. detecção da falha,
2. identificação,
3. ação corretiva.

A instrumentação fornece a *janela* para o status do processo e relaciona os instrumentos e os equipamentos. Os operadores humanos tendem a ser flexíveis, mas são lentos, quando aparece uma emergência. O operador pode tomar vários tipos de ação que podem ser satisfatórias ou não, na ocorrência de uma anormalidade.

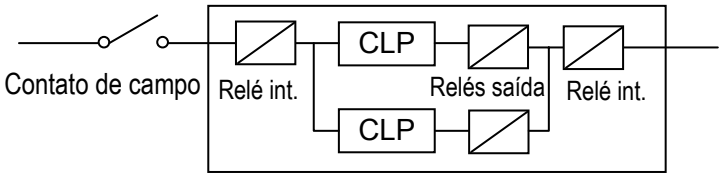
Sistema com relés



Causas de desligamento falso	Causas de falha para perigo
------------------------------	-----------------------------

Falha do relé de entrada	Falha do relé de entrada
Falha da alimentação elétrica	Falhas do relé de saída
Falha do relé de lógica	Erro humano
Falha do relé de saída	Falha de relés de lógica
Falha de fusíveis	
Erro humano	

Sistema com CLP



Causas de desligamento falso	Causas de falha para perigo
------------------------------	-----------------------------

Falha do relé interno	Falha dos 2 CLPs
Falha da fonte de 24 V cc	Falha de um CLP enquanto outro em teste ou fora
Falha de um CLP (hw ou sw)	Falha dos 2 relés de saída
Falha do relé de saída	Falhas do transistor de saída em certos casos (antes do teste)
Falha de fusíveis da fonte	Falha do contato do relé de saída
Erro humano	Erro humano
Queima do fusível interno	
Queima do transistor de saída	

Os intertravamentos são fiados fisicamente ou preprogramados de uma maneira fixa e tomarão um conjunto de ações acionadas por um conjunto predeterminado de condições; assim, eles são inflexíveis. Sua vantagem é a resposta mais rápida e a habilidade de repetir a mesma ação quando acontece um dado conjunto de condições.

É responsabilidade do projetista prover informação e dados de um modo significativo (layout do painel, tipo de displays, arranjo dos instrumentos, malha de alarme) para possibilitar ao operador a determinação do status da planta, de modo rápido e preciso.

Não há regras fixas e rápidas para projetar um intertravamento; as melhores regras que podem ser oferecidas somente servem como sugestão e devem ser aplicadas com discricção. O engenheiro que especifica as exigências e o projetista que as implementa devem manter um ponto de vista consistente. A interação de partes relacionadas do processo com relação a seus respectivos intertravamentos deve ser considerada no total, de acordo com a reação do operador, quem, depois de tudo, é o arbitro final na complexa cadeia de eventos.

A lei de Murphy se aplica como vingança quando as malhas de instrumentos violam o bom senso e as leis da física.

A lei de Murphy, de um modo simplista, diz que se alguma coisa pode acontecer de errado, ele irá acontecer de errado, e quando acontecer, ela será no pior momento possível e com as piores consequências possíveis.

Em uma planta de processo, se alguma coisa acontece errado em uma malha de controle, as consequências podem ser desastrosas: reatores, colunas, caldeiras e outras unidades do processo podem explodir, as máquinas podem superaquecer e se destruir por si e os operadores podem ser mortos.

5.10. Sistema de Falha Segura

Quem falha em planejar, planeja para falhar. Sempre é necessário identificar e analisar as falhas passadas para desenvolver um plano para evitar ou minimizar as falhas futuras ou para estabelecer um plano que deve decidir primeiro que tipos e níveis de risco são aceitáveis ou inaceitáveis.

Um sistema é chamado de tolerante à falha quando tem a capacidade de operar de acordo com as especificações de projeto, mesmo quando ocorrem determinados tipos de falhas em sua estrutura interna ou no ambiente externo.

Projeto de sistema de shutdown

Há três razões para implementar um sistema de segurança altamente confiável:

1. salvar vidas humanas próximas do processo
2. evitar poluição do ambiente
3. proteger investimento da instalação física contra interrupções custosas

No projeto de um sistema de alarme e desligamento, há dois conceitos distintos de segurança:

1. seguro em falha ou estado parado
2. operacional em falha ou estado de não parado.

No estado de seguro em falha, um sistema de segurança cai em uma condição segura predefinida (desenergizado para desligar) segundo uma falha. No estado de operacional em falha, um sistema de controle de segurança continua a executar suas funções de controle sem qualquer atraso (tempo real) em vista da falha do componente. Há ainda um terceiro estado que combina operacional em falha com seguro em falha, em que o processo total permanece energizado enquanto alguma sub-unidade do processo é desligada ou desenergizada.

Exemplo

Seja um sistema de controle de pressão, como mostrado na Fig. 12.28, com:

1. transmissor de pressão, PT
2. controlador de pressão, PIC
3. válvula de controle de pressão, PCV

O aumento da pressão causa aumento no sinal de saída do transmissor de pressão, que é enviada para o controlador de pressão. O controlador irá comparar o valor da medição com o ponto de ajuste e irá atuar na válvula para diminuir a pressão. Entre o controlador eletrônico e o atuador pneumático da válvula deve haver um transdutor corrente para ar comprimido, para compatibilizar as naturezas dos sinais.

Há uma chave de alarme de alta pressão (PSH) atuando em conjunto e superpondo a ação do controlador, no caso de falha da malha de controle de pressão. A condição de alta pressão abre a chave para desenergizar o solenóide e fechar a válvula.

O sistema é projetado para ser seguro no caso de falha, de modo que qualquer falha em algum componente dentro da malha irá causar a válvula de vazão fechar, evitando sobrepressão no vaso.

1. A válvula PCV tem ação ar para abrir ou segura fechada: em caso de falta de ar comprimido, ele fecha completamente.
2. A saída do PIC é inversa: quando a pressão do processo aumentar, sua saída diminui, fechando a válvula PCV e reduzindo a pressão.
3. A análise de falha segura da malha de controle é tal que, se a alimentação elétrica do PIC ou do PSH falhar, a válvula PCV irá fechar. Também, se a PCV falhar, ela irá fechar em virtude da ação da mola.
4. O contato de alarme do PSH abre em alta pressão, desenergizando o solenóide e abrindo para a atmosfera o atuador da válvula, fechando a válvula na falta de ar. Falha da alimentação do intertravamento também faz o sistema falhar em segurança.

Deste modo, a falha de qualquer componente da malha de alimentação ou

perda do sinal de controle faz o sistema falhar em segurança.

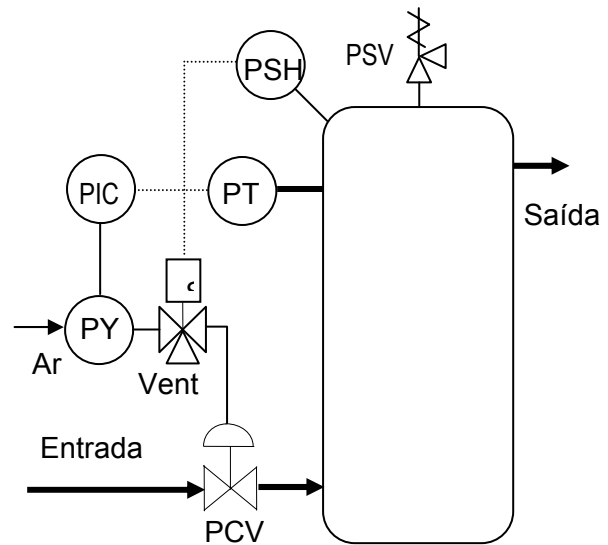


Fig. 12.28. Sistema de Controle de Pressão

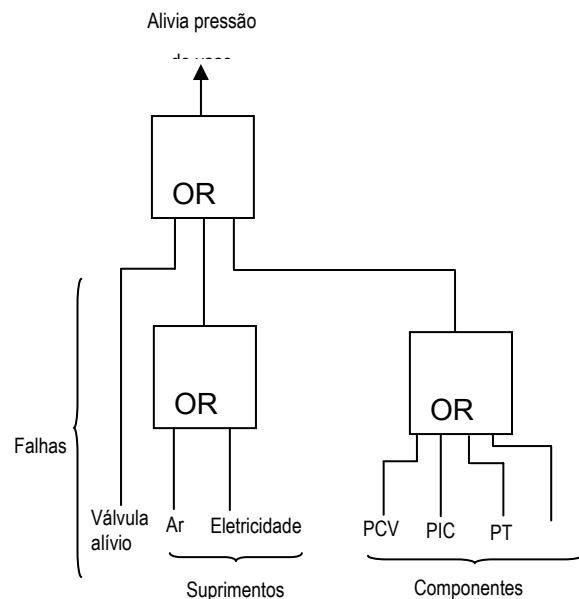


Fig. 12.29. Árvore da Análise de Falhas

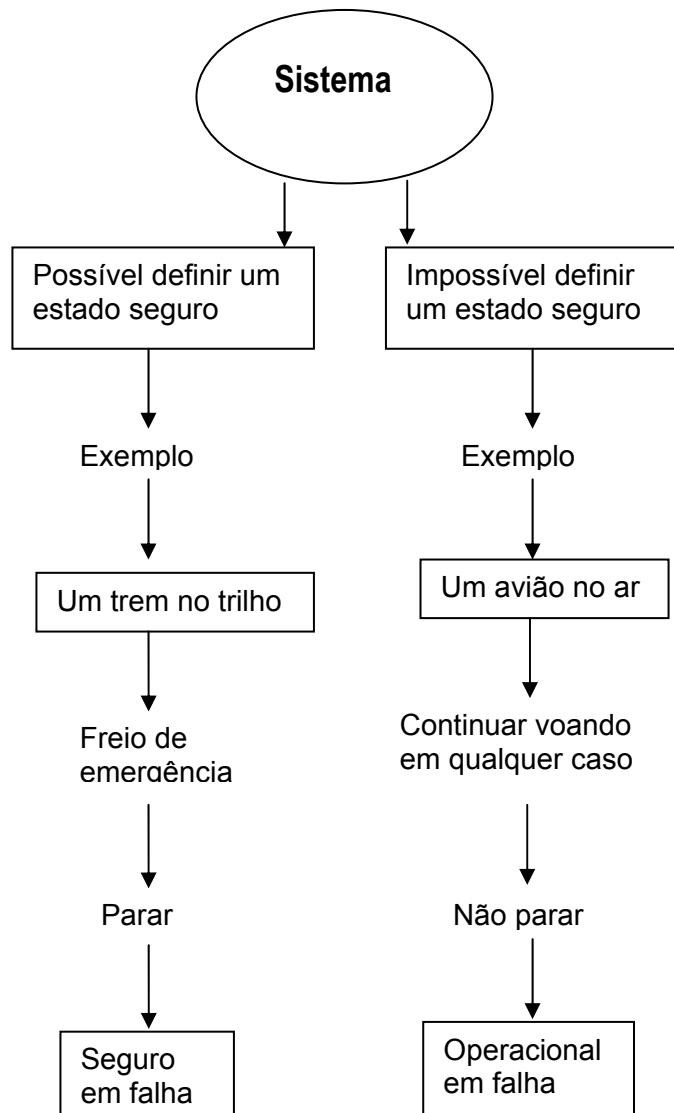


Fig. 12.27. Árvores de decisão da segurança

6. Alarme e Cores

6.1. Introdução

A cor é uma experiência psicológica e por isso a preferência por determinada cor é totalmente subjetiva. Assim, a seleção de cores para uma interface de controle e alarme e para os componentes em si deve ser feita por um especialista versado em cores e relações de respostas. A escolha de cores afeta a aparência, visibilidade e clareza do equipamento, bem como a segurança, velocidade, eficiência e moral do operador. Para longa permanência em um local, os esquemas de cores devem ser cuidadosamente coordenados com o ambiente, para a máxima eficiência. Relações compatíveis de cores evitam ofuscamento, aberração, desconforto para o operador. Certos pares de cores (geralmente azul e vermelho) parecem vibrar ou dançar quando vistas juntas.

A refletância e absorção seletivas da luz determinam a cor de um objeto. Em geral, cores claras são mais fáceis de ver porque elas não absorvem muito a luz ambiente como fazem as cores escuras. Através do controle da textura da superfície, pode-se aumentar o grau de refletividade e a fidelidade da cor e diminuir o luminosidade.

Não existem nada absoluto no uso de cores. Muitas fabricantes empregam sistemas de controle de cores elaborados para garantir resultados finais fieis e consistentes. Na análise final, o olho humano pode distinguir uma grande quantidade de diferentes matizes e é a melhor ferramenta para resolver as questões de fidelidade de cores.

6.2. Código de cores

O código de cores dos componentes da interface com o operador (lâmpadas, chaves, alarmes, letras gravadas) devem ser consistentes com fatores humanos e paradigmas aceitos. Algumas cores já possuem relações definidas. Por exemplo, no trânsito, é universal que

1. verde é para ir, prosseguir, continuar
2. amarelo é para esperar, ter cuidado, ter mais atenção

3. vermelho é para parar, não continuar.

Um código possível para combinações de estados em interface homem-máquina é:

Cor	Código
Vermelha	Incompatível ou condição perigosa. Requer ação corretiva. No-go, Erro, Falha, Parar, Dano, Estragado, Cuidado, Perigo. Existe condição marginal
Amarela	Proceder com cuidado, dupla verificação Pressão abaixo do nível normal Ver nível do tanque. Inspeccionar abertura do vaso Condição dentro da tolerância Operação normal
Verde	Continuar, situação pronta, segura, ligado (*) Condição ou situação que não tem implicação de certo – errado.
Branca	Neutro.
Azul	Valor limitado como elemento codificado. Azul tem intensidade muito baixo e é pouco estimulante

O paradigma é usar a cor vermelha para desligado e verde para ligado. Porém, em eletricidade e casa de força, usa-se verde como desligado e vermelho como ligado (associado com a condição elétrica quente).

Em monitores é comum se ter a cor amarela, branca, laranja ou verde contrastada sobre um fundo preto. Qualquer cor da imagem é satisfatória, desde que não caia nos extremos do espectro. As cores vermelho e violeta (azul) devem ser evitadas em telas e placas gravadas, por serem menos percebidas pelo olho.

Cerca de 4% dos adultos, principalmente homens, pode confundir as cores, não distinguindo entre vermelho e amarelo ou entre azul e verde.

6.3. Transmissão e projeção de cores

A escolha das cores pode se relacionar com o seu uso: transmitido ou projetado.

A cor transmitida se refere o uso de lentes coloridas em aplicações onde a cor deve ser visível mesmo quando o display estiver apagado. Isto se aplica em botoeiras com lentes ou olho de boi e a janelas de anunciador de alarme.

A cor projetada é conseguida com uma lente branca e um filtro colorido sobre a lâmpada. Quando a lâmpada está apagada, o display é branco, ela fica colorida quando o display é iluminado. Displays de cores projetadas são efetivas em salas escuras ou com pouca luz, mas elas tem a desvantagem de diluir a luz em ambiente muito iluminado. Isto ocorre porque o sinal do display é de uma cor e a lente branca

reflete uma grande quantidade da luz ambiente incidente que tende a enfraquecer a luz do sinal. Isto explica porque monitores de vídeo são difíceis de ver em ambiente com muita iluminação, como ao ar livre com a luz solar.

Outro parâmetro importante é a cor do segundo plano ou de *background*. O display deve aparecer preto (morto) quando a lâmpada estiver apagada. Quando iluminado, a cor e a legenda devem aparecer. O display com frente morta permite o controle por exceção, isto é, o display pode conter uma grande quantidade de informação potencial, porém, poucas informações são mostradas ao mesmo tempo. Quando não iluminado, o display não mostra nada. Esta técnica é usada para limitar os sinais enviados ao operador até que apareça na tela alguma condição específica, que requeira a atenção e atuação do operador, reduzindo a probabilidade de erro do operador.

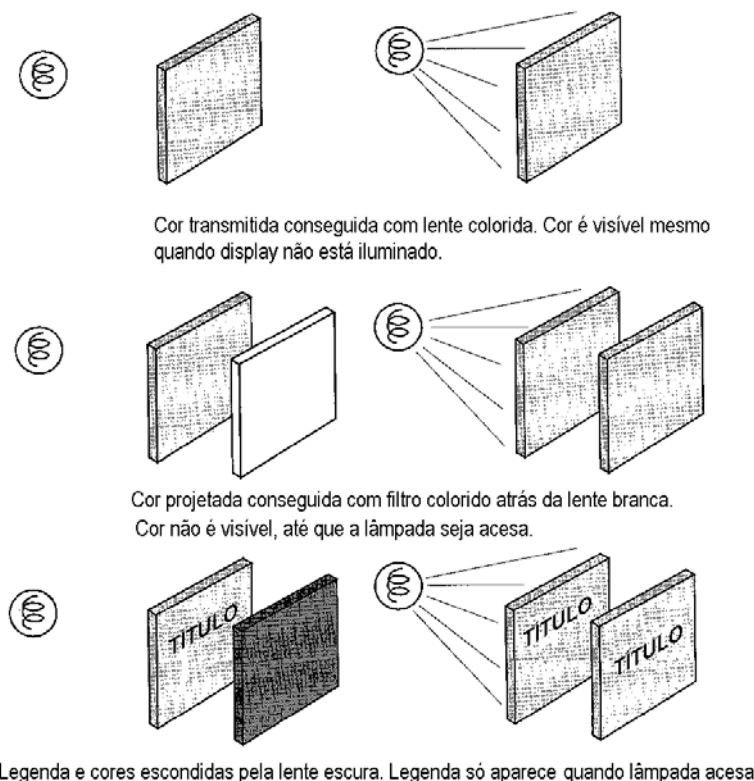


Fig.13.30. Display com cor transmitida, projetada e com frente morta.

6. Operação do Processo

1. Introdução

Embora os sistemas de controle modernos tenham atingido um alto grau de automação, o operador de processo ainda é imprescindível e tem a responsabilidade imediata e total pela produção segura e econômica do processo. Há diferentes filosofias relacionadas com a função de segurança de intertravamento, se o processo deve ser desligado manualmente pelo operador ou automaticamente pelo sistema de *trip* (*shut down, shut off*). Em geral, quanto maior o perigo, mais forte é o argumento para haver instrumentação protetora. Qualquer que seja o enfoque adotado, o operador ainda tem a função vital de operar a planta de modo normal, evitando as condições de desligamento. E quando houver o desligamento, ele deve ser feito de modo ordenado e seguro.

A função do operador de processo é crucial, embora a operação apresente ao operador tipos de problemas que ele não está acostumado a tratar. O estudo dos trabalhos industriais e as situações de trabalho são o campo da ergonomia ou a engenharia dos fatores humanos equivalentes. É portanto apropriado considerar a contribuição que esta disciplina presta aos problemas associados com o trabalho do operador de processo.

Comparada com outras industriais, a indústria química faz pouco uso dos fatores humanos na área de operação do processo.

2. Fatores Humanos no Projeto

O caminho percorrido pela tecnologia e a escala dos sistemas atuais tornaram impossível acreditar no método de tentativa e erro para conseguir a melhor adaptação das tarefas do homem. Hoje, é necessário encarar e superar os problemas através da ergonomia.

Ergonomia é o estudo da capacidade e da psicologia humana em relação ao ambiente de trabalho e o equipamento operado pelo homem. É a parte da engenharia que trata dos fatores humanos. O seu desenvolvimento foi muito influenciado pelos problemas encontrados nos complexos sistemas homem-máquina, aplicados principalmente nos campos da defesa militar, aeroespacial e de computação. O rápido e grande desenvolvimento tecnológico não mais permitem confiar no método de tentativa e erro para se adaptar e desenvolver as tarefas humanas.

Uma área importante de estudo nos primeiros trabalhos sobre fatores humanos era a compatibilidade entre o homem e a máquina, com ênfase em botões e escalas (*knobs* e *dials*). Atualmente, os fatores humanos são vistos como engenharia de sistemas.

2.1. Temas em fatores humanos

Uma lista das atividades dos fatores humanos no projeto de um sistema está mostrada na Tab. 6.1 onde dois pontos podem ser notados:

1. os fatores humanos estão incluídos em todos os estágios do projeto e
2. as decisões tomadas nos primeiros estágios, como alocação de função, são muito importantes e o processo de projeto é altamente interativo e iterativo.

Tab. 6.1 - Tópicos Seleccionados em Fatores Humanos

- Amostragem e processamento da informação
- Aprendizado
- Habilidade
- Fadiga, stress, sobrecarga
- Tomada de decisão
- Tarefa de diagnóstico
- Motivação
- Avaliação do desempenho
- Análise da tarefa
- Sistemas homem-máquina
- Controle manual e rastreamento
- Confiabilidade do sistema homem-máquina
- Erro humano
- Situações de emergência
- Sistemas homem/computador
- Displays
- Vigilância e detecção do sinal
- Tarefas de inspeção
- Controles
- Relações entre controle e display
- Painéis de controle, consoles de computador
- Seleção do pessoal
- Treinamento
- Fatores de organização
- Trabalho repetitivo, pausas de descanso
- Trabalho de turno

Os primeiros trabalhos sobre fatores humanos eram relacionados com as tarefas físicas, mas atualmente, o ênfase é colocado nas tarefas mentais; o que é mais

relevante, pois o operador de processo está essencialmente tomando decisões.

O modelo do homem como um processador de informação é útil; embora a aplicação da teoria da informação para o problema não seja bem sucedida. O trabalho nesta área tem enfatizado:

1. a habilidade do homem aceitar as informações provenientes dos muitos canais sensores e codificados de vários modos diferentes,
2. as diferenças nas quantidades de informação que podem ser manipuladas pelos vários canais,
3. a amostragem da informação e a atualização de seu modelo mental do ambiente;
4. o efeito do excesso de informação, resultando na omissão seletiva de partes da tarefa,
5. a característica da memória, particularmente da memória imediata, como a exercida na lembrança de um numero de telefone para fazer uma chamada.



Fig. 6.1. Operador do processo

O enfoque do fator humano para um trabalho particular tende a ser a questão da habilidade envolvida, incluindo a natureza da habilidade, sua aquisição através do processo da aprendizagem e sua desintegração sob stress. As habilidades diferem grandemente em sua facilidade para estudar. Algumas aptidões do operador de processo podem ser inacessíveis. Mesmo assim, o

desempenho habilitado exibe certas características comuns. A habilidade se baseia no sentimento do tempo (timing) e na coordenação das atividades, para resultar em um desempenho suave e sem esforço. É altamente aprendido e vagamente acessível à consciência, como indicado pelo fato que a tentativa de descrevê-lo, quando em treinar um novato, muitas vezes leva a real degradação do desempenho.

Os efeitos na habilidade das várias formas de stress, tais como fadiga, carga de trabalho, ansiedade, indicam que o desempenho da habilidade tende a melhorar com stress moderado, mas além de um limite, varia grandemente com o indivíduo e se deteriora rapidamente

A característica humana é contrária ao modelo matemático de tomar decisões. Estudos mostram que a tendência humana é tomar decisões baseando-se em pequenas amostras, pulando para as conclusões e tomando decisão dirigidas para o otimismo, apostando que no fim tudo dá certo.

Um tipo de tomada de decisão muito importante é a diagnose. Estudos indicam que o homem não segue a árvore de decisão das probabilidades dos vários caminhos, mas se move através da árvore, testando primeiro os caminhos de alta probabilidade e somente indo para os de baixa probabilidade quando os primeiros foram esgotados.

O desempenho humano das tarefas de controle manual foi muito estudado, associado com as não linearidades e com os dados amostrados. Trabalhos mostram a dificuldade crescente do operador humano para controlar processos com um grande número de atrasos de transferência ou integrações ou tempos mortos.

Certos sistemas são virtualmente incontroláveis pelo operador, a não ser que lhe seja fornecida informação especialmente processada. Em particular, sistemas com mais de três integrações em série tendem a ficar além dos limites do controle manual.

Outra característica do homem como controlador é sua habilidade de exercer as funções do controle preditivo antecipatório

Muito trabalho foi feito sobre displays, em termos de projeto detalhado de escalas e o *lay out* do display e provavelmente estes são os aspectos que o engenheiro mais facilmente identifica como fatores humanos. A classificação dos usos dos displays é:

1. **Indicação de status**, onde o operador recebe a informação discreta de um estado entre dois possíveis: motor ligado-desligado, operação normal-anormal, nível baixo-alto, luz acesa-apagada.
2. **Indicação quantitativa**, onde o operador lê um valor numérico preciso. Por exemplo, temperatura de 24 °C, pressão manométrica de 2000 kPa.
3. **Leitura de verificação**: o operador requer a confirmação de que o valor está dentro de uma faixa aceitável. Por exemplo, nível não está nem baixo e nem alto.
4. **Ajuste**, o operador manipula seu controle do instrumento para conseguir um estado predeterminado do display. Exemplo: estabelecimento do ponto de ajuste do controlador, ajuste do valor predeterminado do totalizador.
5. **Rastreamento**, o operador executa uma tarefa de controle para conseguir certas condições do display que podem variar com o tempo. Exemplo: o operador atua manualmente na válvula para encher um tanque.

A relação controle e display é importante. Em uma determinada cultura, há um paradigma acerca de determinados movimentos de controle e de indicação na escala. Por exemplo, pode-se ter um paradigma típico de relação de controle e display como o mostrado na **Fig. 12.2**. Mesmo que o operador tenha sido treinado a usar o equipamento de determinado modo, em alguma situação, principalmente quando sujeito a stress, ele pode inverter a relação esperada. A violação do paradigma pode ter resultados catastróficos.

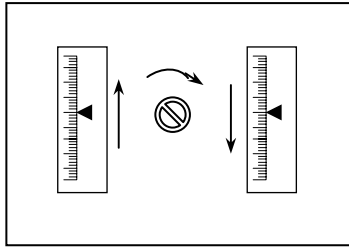


Fig. 6.2. Relação esperada entre controle e display

A monitoração, detecção de sinal e vigilância são outras áreas relacionadas e importantes em que há muita pesquisa. Um tema interessante é a perda da atenção durante um período de observação, ou seja, o efeito vigilância. Há uma relação bem estabelecida entre a frequência de um sinal e a probabilidade de sua detecção: a probabilidade de detecção de um sinal raro é muito pequena.

Os problemas de sistemas com homem e computador foram extensivamente estudados, incluindo a alocação de função entre o homem e a máquina, a interação entre o homem e o computador e a solução de problema do homem e computador. A recomendação é fazer a automação completa com o computador e deixar o operador tomar a decisão assistido pelo computador.

Este resumo rápido serve apenas para mostrar que os problemas relacionados com os fatores humanos são muito relevantes para o controle do processo pelo operador humano.

2.2. Fatores humanos na operação

Antigamente (1940-60), os painéis de instrumentos eram simplesmente uma estrutura em que os instrumentos eram alojados, geralmente com algum grau de lógica e bom senso. Isto era feito de acordo com o caso individual e sem um enfoque sistemático para melhorar o desempenho da combinação homem-máquina. Depois (1960-1980), apareceram

as salas de controle centralizadas com uma enorme quantidade de informações para um operador supervisionar. Finalmente (1980-1995), as informações, diagramas, gráficos apareceram em telas de vídeo ou monitores de sistemas digitais e de computadores.

As indústrias de processo se tornaram mais envolvidas em uma disciplina conhecida por vários nomes, incluindo *engenharia dos fatores humanos*, *engenharia humana*, *ergonomia* e *biotecnologia*. As indústrias se tornaram capazes de usar os princípios desenvolvidos pela indústria militar, usando grandes quantidades de equipamentos técnicos e mão de obra de modo mais efetivo e eficiente.

A engenharia dos fatores humanos se aplica a algo tão simples como o tamanho e formato de uma chave de fenda que possibilite o seu uso para apertar um parafuso de modo mais firme, confortável e seguro.

A engenharia dos fatores humanos também se aplica a algo complexo como o projeto de uma sala de controle, habitat natural do operador de processo. O trabalho do operador na sala de controle envolve muitos fatores, incluindo os seguintes:

Projeto da Interface

As principais características do operador em projetar uma interface são:

1. parâmetros físicos
2. experiência, incluindo treinamento
3. hábitos adquiridos no passado.

As pessoas, como resultado da experiência passada, esperam que os controles se movam de certos modos. Estas expectativas são chamadas de estereótipos ou paradigmas porque elas são universalmente aceitas. Quando possível, a seleção dos componentes para uma interface de controle industrial deve ser uma extensão dos estereótipos ou padrões habituais. Por exemplo,

1. As chaves elétricas montadas em parede encontradas nas casas tem estabelecido um padrão de hábito para ligar-desligar lâmpadas.
2. O movimento de deslizar para cima e para baixo está associado com ligar e desligar e também pode ser transferido de um hábito aprendido previamente.
3. O movimento horário ou anti-horário de uma chave rotatória é comumente usado em eletrodomésticos, como liquidificador, televisão, geladeira e forno de microondas.
4. A escala em um chave deslizante ou potenciômetro mostra um aumento quando a chave é movida para acima ou para a direita. Estas ações de controle requerem o mínimo esforço consciente para aprender e são bem estabelecidos na vida diária.

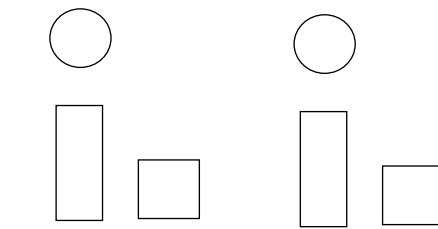
Quando se usam controles e arranjos de displays já consagrados pelo hábito, geralmente tem-se as seguintes vantagens:

1. O tempo de resposta é menor.
2. O primeiro movimento de controle do operador é geralmente correto.
3. Um operador pode fazer tarefas mais rapidamente e com maior precisão.
4. Um operador pode aprender os procedimentos mais rapidamente.

Uso do corpo humano

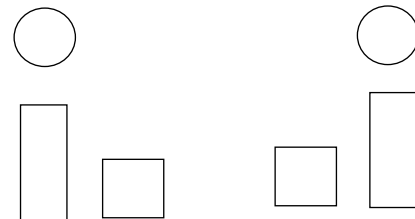
O uso do corpo humano é um assunto coberto pela *antropometria*, que é o estudo das medidas do corpo humano, sua habilidade para ver e escutar, sua tendência à fadiga e a probabilidade de se cometer erros. Esta informação é baseada em extensa pesquisa e teste.

Estas características do corpo humano mais a natureza, frequência e dificuldade das tarefas físicas e mentais que o operador deve executar, a posição de seu corpo e suas necessidades de mobilidade são importantes no projeto de painéis de instrumentos. Eles afetam as dimensões e disposição (layout) dos instrumentos no painel e até a aparência dos instrumentos.



Recomendada

(a) Mesma mão ou imagem repetida



Não recomendada

(a) Mão oposta ou imagem espelho

Fig. 6.3. Arranjo de grupos de instrumentos semelhantes

Pequenos detalhes podem afetar o desempenho do operador durante as suas oito (ou seis) horas de trabalho. Por exemplo, para uma tela de monitor: a resolução das figuras, a altura de sua posição, a iluminação externa, luminosidade e contraste.

Outros fatores antropométricos incluem:

Ambiente físico

Como ambiente físico consideram-se a temperatura e umidade ambiente, luminosidade, ruído e a quantidade de tráfego na sala.

Arranjo dos instrumentos

Princípios para arrumar os instrumentos no painel para beneficiar e facilitar o operador incluem os seguintes:

1. Os instrumentos devem ser agrupados de modo lógico para mostrar suas relações com o processo.
2. Os controladores e estações manuais de controle e suas indicações associadas devem ser próximos entre si, o mais prático possível.

3. Grupos semelhantes de instrumentos devem ser arrumados do mesmo modo, como ilustrado na Fig. 12.3.
4. Não devem ser colocados mais do que cinco instrumentos semelhantes em uma linha com espaçamento uniforme a não ser que haja um código de cor ou outra diferenciação chocante entre os grupos vizinhos de instrumentos.

Apresentação da informação

Em plantas muito grandes e complexas, é conveniente apresentar a informação por exceção, para tornar a vida do operador mais fácil. Informação que seja rotineiramente apresentada ao operador deve ser limitada ao que ele necessita para suas tarefas de rotina; mais do que isso é uma distração. Se aparece problema, então um segundo nível de informação deve estar disponível para a área com problema. A hierarquia de displays de vídeo - visão geral, grupo e detalhe - que pode ser apresentada em sistema de controle distribuído é útil pois permite ao operador focalizar o que é importante em determinado momento.

Vermelho é a cor padrão para problema; verde é a cor padrão a normalidade. No trânsito, vermelho significa **parar** ou **perigo**. Tinta vermelha na base de um gráfico de lucros e perdas para um negócio é má notícia. Dizer que uma firma está operando no vermelho significa que ela está tendo prejuízo.

Por analogia, um painel de instrumento nunca deve mostrar qualquer lâmpada vermelha quando tudo estiver operando normalmente. Por exemplo, o vermelho não deve ser usada para uma lâmpada piloto para **ligado** como condição normal; deve-se usar outra cor, de preferência verde. Quando aparecer uma luz vermelha, ela deve ter somente um significado: **problema** e deve requerer uma ação corretiva imediata do operador.

Outra ilustração de engenharia de fatores humanos em apresentar a informação é o uso de diferentes sons de alarme para diferentes grupos de processo. Por exemplo, usar uma sirene para um grupo de sistemas, uma buzina para um segundo grupo; som repicado para um terceiro grupo.

Há recomendações da ISA e militares para fornecer informação mais detalhada sobre a engenharia de fatores humanos.

Padronização de equipamento

Quando se especificam os instrumentos para compra, é conveniente limitar os tipos de instrumentos e seus fornecedores, para padronizar os equipamentos dentro da planta. Neste contexto, padronizar pode significar as seguintes coisas:

1. Quando for tecnicamente razoável, deve-se manipular situações semelhantes em uma planta do mesmo modo. Onde apropriado, medir as várias vazões da planta com o mesmo tipo de instrumento, por exemplo, placa de orifício. Porém, outros fatores como custo, disponibilidade comercial, desempenho, características do fluido podem impedir a padronização e justificar a compra de instrumentos diferentes.
2. Quando for prático, deve-se especificar somente determinada marca de instrumento. Ter instrumentos de um único fabricante oferece as seguintes vantagens:
 - a) o estoque de peças reservas fica menor, economizando dinheiro e espaço de almoxarifado.
 - b) Muitos instrumentos são intercambiáveis de modo que a necessidade imediata de substituição pode ser satisfeita por um instrumento já existente.
 - c) o pessoal de instalação e manutenção trabalha com equipamentos já conhecidos, tendo menos necessidade de manuais e fazendo mais rapidamente o trabalho.

3. Funções do operador de processo

As tarefas envolvem mais habilidade de conhecimento do que de manipulação. Elas são basicamente funções de tomada de decisão, envolvendo displays simbólicos. O conteúdo de trabalho físico é muito pequeno.

O operador do processo é parte do sistema de controle. As principais funções do sistema de controle e, portanto, do operador, dependem da natureza do processo: pode ser de monitorar as condições de alarme de um sistema simples, até conduzir as operações sequenciais de um controle de batelada.

Uma operação sem erro garante uma produção máxima, aumento de segurança e uma diminuição de paradas do processo e manutenção dos equipamentos.

Há um consenso de que o operador exerce cinco tarefas principais, onde quatro são cognitivas (requerem alguns forma de tomada de decisão). As tarefas são: monitorar, rastrear, interpretar, planejar e diagnosticar

Monitorar

A varredura contínua de sinais de várias espécies e graus de importância e em vários locais da sala de controle e no campo. Os engenheiros dos fatores humanos classificam monitorar como uma tarefa de percepção motora, requerendo alerta, agilidade e imunidade à fadiga e ao tédio. A monitoração não envolve tomada de decisão, mas mesmo assim, esta tarefa é a mais fraca em termos de habilidades humanas. Muito pode e tem sido feito em termos de painel, tela, console e estação de trabalho, layout de equipamentos para melhorar o desempenho da monitoração do processo pelo operador

Rastrear

A verificação contínua dos valores das variáveis de processo, anotando mentalmente as leituras levemente fora dos valores normais e outras informações que chegam e que podem estar diferentes das normais. Estas informações, quando persistentes levam à interpretação.

Interpretar

Qualificar, estimar, pesar, classificar e filtrar a informação de entrada com o objetivo de separar flutuações aleatórias das tendências definidas. Identificar os valores verdadeiros dos ruídos, entre outros fatores, que não se enquadrem imediatamente bem com a operação normal do processo.

Planejar

Aplicar dados históricos (heurísticos) para estabelecer objetivos e ajustar as estratégias de controle que irão favorecer a segurança da planta, o uso eficiente dos recursos e sequenciar as tarefas em termos de prioridades, entre outros fatores, que possivelmente podem indicar problemas e alguma condição insegura no futuro.

Diagnosticar

Identificar imediatamente a fonte de problema quando ocorrer um falha e desenvolver apropriadamente as ações corretivas efetivas, contornando o problema, se possível, todos acoplados com um profundo sentido de timing.

Em relação à interpretação, planejamento e diagnose, pode-se ter combinações e permutações que o operador deve avaliar antes de tomar ações. Estes são os fatores que essencialmente diferenciam a pessoa treinada e experiente do novato. As funções do operador também dependem do status do processo. Se a condição está normal, ele apenas monitora e observa. Se as condições do processo são anormais, o operador deve administrar as falhas, que implica em:

1. detectar a falha,
2. diagnosticar a falha,
3. corrigir a falha.

Quando o sistema de controle se torna muito automatizado, a função de administração de falhas tende a ficar mais importante e é crucial para evitar perdas e de produção e acidentes.

4. Atributos Mentais do Operador

Um operador eficiente deve ter alguns atributos mentais inerentes. Estes atributos indicam por que alguns operadores são melhores que outros, assim como jogadores de futebol ou pilotos de automobilismo e porque algumas pessoas não são treináveis.

4.1. Automatização

Com a prática, uma determinada tarefa requer cada vez menos atenção do operador, de modo que ela se torna automatizada. A automatização pode ocorrer em vários níveis. As tarefas de monitorar, controlar e interpretar são as mais prováveis de ser automatizadas com a prática, enquanto o planejamento e a diagnose são se tornam automatizadas (Automatização aqui se refere ao operador e não deve ser confundido com automação de processo ou de máquina).

Do ponto de vista da neurologia, a automatização do operador é similar ao processo de decorar, como se decoram as tabelas de multiplicação. Automatizar as tarefas menos simples, como controlar e interpretar, embora difícil, deve ser o objetivo, permitindo que o operador dê atenção às importantes tarefas de planejar e diagnosticar.

Por causa de sua habilidade inerente de automatizar certas tarefas, o operador experiente desenvolve a habilidade de compartilhar tarefas e processar automaticamente partes das tarefas.

4.2. Modelo mental do operador

O operador de processo desenvolve naturalmente o modelo mental ou interno do processo e controle do processo. Isto é um atributo inerentemente mental possuído por toda pessoa normal e é particularmente importante para o operador de processo. O modelo mental é difícil de explicar em termos de engenharia.

Por exemplo, uma pessoa normal pode visualizar sua casa, a disposição do móveis da sala onde trabalha, de locais visitados no passado, caras de pessoas amigas vistas há vários anos atrás, e com

prática, estas cenas podem ser preenchidas com muitos detalhes.

Trabalhando com um processo e seu sistema de controle na maioria dos dias do ano, o operador desenvolve sua imagem interna quase sem esforço. O operador pode projetar esta imagem em sua mente instantaneamente. Esta é a imagem na qual operador confia.

A importância do modelo mental interno é inegável, em termos de ações e confiança do operador. Há uma associação entre o modelo interno e a habilidade do operador prever mudanças e operações anormais. O operador que tem um modelo interno exato e efetivo é capaz de prever como o sistema irá funcionar. Quando os eventos ocorrem, eles podem ser comparados com esta previsão para ver se algo errado ocorreu. Esta habilidade é chamada de *modelo da rotina* e o operador a usa quando o processo está operando em condição normal. O operador eficiente atualiza continuamente em sua cabeça o estado corrente do sistema e onde o sistema está operando. Sem um modelo interno, o operador deveria se referir a tabelas e outras dados de suporte, requerendo tempo para fixar e absorver estes dados, quando avaliando a operação corrente do sistema.

4.3. Representação espacial

Além do modelo mental, o operador tem uma representação espacial do sistema. Para diferenciar estes dois tipos de representação, seja um processo onde o operador sabe que o nível do tanque está caindo. Se o operador armazenou um valor ou regra, ele mentalmente varre suas regras e escolhe aquela que diz: se o nível da água está caindo, a válvula de saída está aberta. Para um modelo espacial, o operador representaria a tarefa espacialmente como um sistema físico com locais e movimentos entre locais. Para achar a fonte de um problema como este, o operador iria mentalmente rodar uma simulação do processo até achar a solução. No exemplo, o operador iria imaginar um quadro com a água saindo do tanque através de uma válvula de saída.

Uma representação espacial de uma tarefa é um modo efetivo de armazenar informação. Representando espacialmente

uma tarefa de controle de processo, o operador deve representar locais físicos e deve saber como os sistemas podem interagir entre si. Assim, com conhecido e pensando de modo versátil, ele pode usar estratégias de resolver problemas para fazer inferências acerca do processo. Por exemplo, quando se pergunta a alguém, quantas janelas há em seu apartamento, este número é obtido mentalmente percorrendo o apartamento, como se estivesse no apartamento.

Fazer a representação espacial de um processo ou de uma informação é mais eficiente que armazenar e memorizar 10 000 regras.

5. Estudos do Operador

A lista dos itens relacionados diretamente com a operação do processo, incluídos os trabalhos de vigilância e controle manual, contam mais de 140 itens.

Estudos mostram que é particularmente difícil o controle de processos onde:

1. muitos displays e variáveis de processo são interdependentes,
2. a constante de tempo do processo é muito grande,
3. as variáveis importantes devem ser estimadas pelo operador, em vez de serem medidas por instrumentos,
4. as leituras dos instrumentos estão em pontos distantes entre si e devem ser associadas, obrigando o operador lembrar de uma medição enquanto vai ler a outra (memória de curto prazo).
5. operador tem um conhecimento imperfeito dos resultados de seu desempenho ou quando o conhecimento chega tarde,
6. processo básico é difícil de visualizar (e.g., reações químicas) ou contradiz hipóteses de bom senso ou é muito complicado para ser mantido na mente de uma vez.

Um aspecto da habilidade do controle de processo muito investigado é a amostragem da informação. Deve haver uma taxa mínima de amostragem, desde que seja usada uma largura de faixa do sistema modificado pela tolerância do erro (teorema de Shannon-Wiener). Mas, muitos fatores tendem a aumentar a taxa

de amostragem. O comportamento da amostragem depende da incerteza do operador, do seu aumento com o tempo e do custo da amostragem. Ele não pode ser separado do problema de controle que resulta em questões da precisão requerida do controle, da penalidade do erro, do entendimento do operador do sistema, da natureza e previsibilidade dos distúrbios e os atrasos do processo.

Cinco fatores foram identificados como governando a taxa de amostragem:

1. banda de passagem
2. ruído
3. tolerância
4. previsibilidade

A banda de passagem é uma função da máxima taxa possível de variação do sinal. O ruído faz o sinal excursionar até próximo aos limites das tolerância. Os limites de tolerância dependem da importância da variável, sua possível taxa de variação e o ruído do sinal. A previsibilidade do sinal permite a extrapolação e reduz a necessidade de amostragem. A calibração do controle, que dá a relação entre a relação da variável manipulada e a variável controlada, ajuda a previsibilidade.

Não é recomendável o uso do display do controlador que mostra somente um desvio entre o ponto de ajuste e a variável medida. Tal display reduz grandemente a habilidade do operador aprender a características do sinal, tais como ruído, previsibilidade e calibração do controle.

O controle manual também foi muito estudado. Geralmente o operador deve monitorar o ponto de ajuste, alterando-o quando julgar necessário. A resposta da malha aberta (controle manual) é diferente da resposta da malha fechada (automático), mas com o tempo e experiência o operador aprende a imitar a ação automática.

A carga mental do operador foi estudada e foi analisada a tomada de decisão sob situações diferentes, tais como:

1. número de fatores na situação,
2. complexidade da compreensão de cada fator
3. memória
4. interdependência dos fatores
5. características de atraso da situação.

Um aspecto importante destes estudos é a luz que eles lançam no modo em que o operador rastreia o estado do processo e depois atualiza seu modelo baseado nele. Em geral, o operador tende a prever o futuro do estado do processo e depois faz apenas as leituras necessárias para confirmar que sua previsão estava certa.

Estes trabalhos tem importantes implicações nos displays. Um bom display permite ao operador conhecer o estado do processo como um todo, rapidamente e com um mínimo esforço.

O aparecimento e uso do computador no controle de processo provocou grandes mudanças no trabalho do operador. A alocação das funções para o computador e para o operador variam continuamente com o progresso da tecnologia.

Fatores sociais e de organização também foram investigados. Trabalhos revelam que o operador tende a operar muito no isolamento e seus resultados não são muito satisfatórios quando há envolvimento de sistemas. Procura-se encorajar a comunicação, tratando a sala de controle como um centro de controle e informação, que deve usar tudo em conjunto e projetando trabalhos que resultem em uma maior variedade, responsabilidade, oportunidade de aprender e completude. Há muito prejuízo quando comunicação é pobre entre os operadores controlando o processo em pontos diferentes.

6. Alocação de função

O enfoque clássico para a alocação de função é listar as funções que serão feitas pela máquina e pelo operador e usar a lista como guia. Porém, este enfoque requer alguma qualificação. O critério para atribuir funções para o operador é a conveniência do sistema e não a eficiência do operador, o que é levemente diferente. Outros fatores importantes incluem: motivação do operador, administração de falha, diagnose de falha, desligamento da planta e detecção do mau funcionamento.

7. Análise da tarefa

A análise da tarefa a ser feita precede logicamente outros estágios do projeto, como a escolha da interface ou o treinamento do operador.

Para escrever as instruções de operação da planta, é recomendável quebrar a tarefa em uma hierarquia de subtarefas.

Uma das dificuldades em qualquer análise de tarefa é conhecer quando parar de reescrever a atividade. A regra usada é parar de reescrever quando o produto da probabilidade p vezes o custo c da falha é aceitavelmente baixo. Quando uma ação é simples, ele requer pouco ou nenhum treinamento. Uma tarefa complexa requer muito treinamento. Este método é baseado na identificação do perigo, considerando sua magnitude e sua probabilidade.

A análise da **tarefa** quebra a tarefa em **operações** que são feitas de acordo com um **plano**. O plano mais simples é uma seqüência fixa, mas seqüências variáveis podem ser manipuladas e o treinamento pode ser muito importante para elas.

Um problema que os estudos da análise da tarefa revelam é a identificação do equipamento, como válvulas de bypass e de isolação em torno das válvulas de controle.

8. Display da informação

Assim que a tarefa é definida, é possível considerar o projeto dos displays. O display da informação é um problema importante, que é intensificado pelo aumento da densidade de informação nas salas de controle modernas.

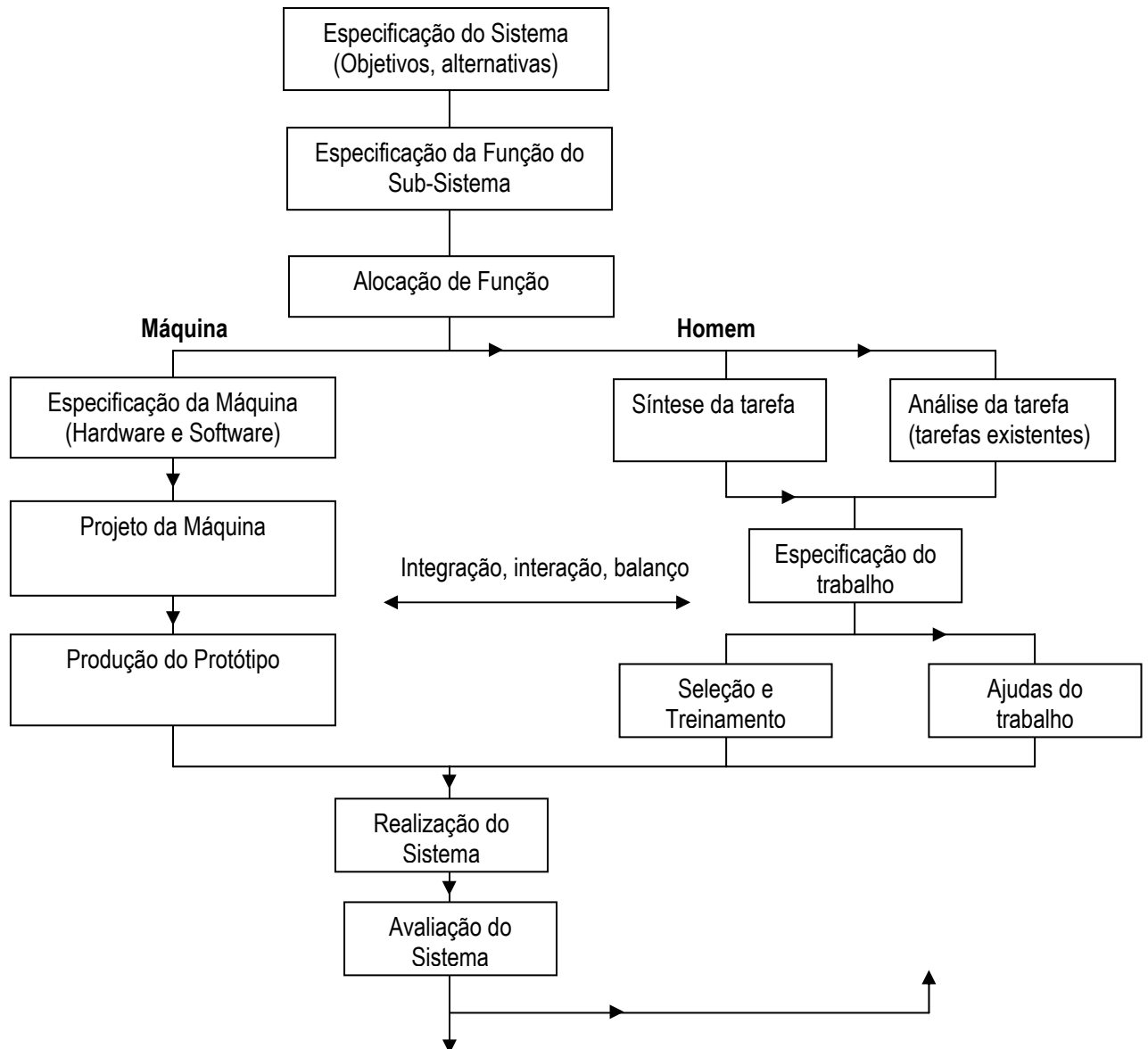


Fig. 6.4. Atividades dos fatores humanos no projeto do sistema

Tab. 6.2. Alguns displays para o operador de processo:

- Display de diagramas de fluxo e mímicos
- Display da medição corrente, outras variáveis e estados (medições indiretas e posições de válvulas)
- Display de tendências de medições, outras variáveis, estados
- Display dos parâmetros da malha de controle
- Display de alarmes
- Display de dados reduzidos (p. ex.,, histogramas, gráficos de controle de qualidade, parâmetros estatísticos)
- Display do estado do sistema (p. ex.,, diagramas mímicos, matriz de status, gráficos de superfície e polares)
- Display para o controle manual (preditivos)
- Display para análise de alarmes
- Display para controle seqüencial
- Display para planejamento
- Display para seqüencial de válvulas
- Display para verificação do sistema de proteção
- Display para operação anormal
- Display para detecção de falhas
- Display de comandos

O display tradicional é o painel de controle convencional. Monitores de computador agora apresentam ao engenheiro uma facilidade mas versátil, com gráficos coloridos de tendências e de valores históricos, listas codificadas em cores de alarmes, desenhos de diagramas de instrumentos e tubulações do processo, mensagens de autodiagnose dos instrumentos e dos equipamentos.

A primeira coisa que deve ser enfatizada é que o display é somente um meio para um fim, o fim sendo a melhoria do desempenho do operador em executar alguma função de controle. O projeto adequado desta função em seus aspectos dos fatores humanos é mais importante que os detalhes do display em si.

É importante também que o sistema de display tenha características de adquirir a informação rapidamente e ter capacidade de redundância de informação.

Há uma necessidade para o desenvolvimento de displays que permitam o operador ter uma noção do estado do sistema, de modo rápido e sem fazer esforço. O operador atualiza seu conhecimento do estado do sistema e faz uma previsão e antecipação de tarefas, usando um modelo mental do processo e amostrando leituras chave para verificar se ele está correto. Ele necessita de um display completo para permitir que ele faça isso.

São necessárias outras facilidades, como um sistema de alarme, baseados no enfoque de gerenciamento por exceção, que é essencial, quando a quantidade de informação é muito grande. Quando a condição excepcional é detectada, o operador deve tratá-la e para isso necessita de conhecer o estado do processo, que um display fornece. Um sistema de display deve também permitir ao operador usar sua habilidade de reconhecer padrões.

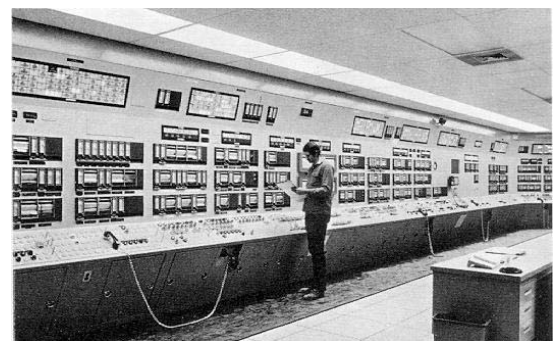


Fig. 6.5. Painel convencional com o operador em sua solidão característica

Instrumentos Convencionais

O painel convencional constitui um display global, em que os instrumentos tem um código espacial, do qual o operador pode obter informação em uma vista e em que ele pode reconhecer padrões. Estas vantagens são importantes e não devem ser descartadas.

Isto ocorre, porém, somente quando a densidade de instrumentos no painel não é muito grande. As vantagens desaparecem quando se torna necessário usar blocos

densos de instrumentos que são difíceis de serem distinguidos individualmente.

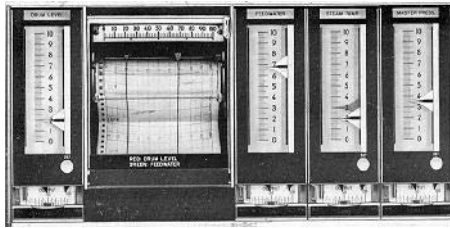


Fig. 6.6. Vista parcial de um painel convencional

Um display individual importante é o registrador com gráfico. Um registrador de tendência tem muitas vantagens sobre o indicador instantâneo. O registrador facilita o operador aprender as características do sinal e facilita sua amostragem da informação. O registrador é útil para o operador fazer ajustes grossos do ponto de operação, observar as condições de falha no processo.

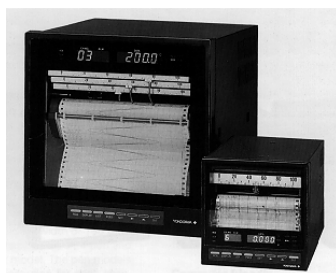


Fig. 6.7. Registrador convencional

Consoles de Computador

O console de computador apresenta um contraste marcante com a instrumentação convencional.

Algumas das características ergométricas importantes no display digital são:

1. deve haver uma ação específica para obter o display,
2. não há código espacial e o código da informação requerido deve ser lembrado ou guardado,
3. somente uma tela é mostrada por vez,

4. somente o valor instantâneo da variável é mostrado.

Há uma mudança revolucionária na interface do operador. Atualmente os consoles de computadores apresentam gráficos, símbolos do processo, registros de tendências etc.

As telas de computadores podem apresentar os seguintes tipos de display:

1. Planta
2. Grupo de malhas
3. Malhas
4. Único instrumento
5. Tendências da variável

Comparando o painel convencional com o console do computador, chega-se às seguintes conclusões:

1. o painel convencional é caro e perde muitas vantagens se a densidade da informação se torna muito alta.
2. o computador oferece facilidades adicionais.



Fig. 6.8. Console de computador de um sistema digital de controle distribuído

Sistemas de Alarme

Mesmo quando o processo com controle automático está nas suas condições normais, a atenção é focalizada na monitoração e manipulação das condições anormais e de falhas.

É função do sistema de controle evitar, sempre que possível, o desenvolvimento de condições que levarão ao desligamento (*shut down*) da planta e também, executar o desligamento, se necessário. A responsabilidade de evitar as condições de desligamento é também do operador. O principal auxílio automático que ele dispõe é o sistema de alarme. Os sistemas de alarme são um aspecto do controle de

processo extremamente importante mas curiosamente ignorado e freqüentemente insatisfatório.

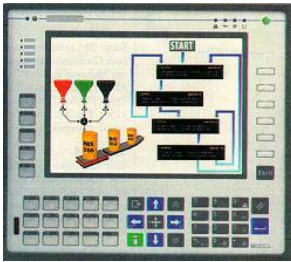


Fig. 6.9. Monitor de vídeo do computador

Um sistema de alarme é uma característica normal dos sistemas convencionais de controle. Se uma variável de processo excede os limites especificados ou se um equipamento não está no estado determinado, uma alarme é assinalado. Podem ser usados sinais audíveis e visuais. O sinal audível é dado por uma buzina ou sirene e o sinal visual aparece em um painel especial, consistindo de numerosos pequenos painéis de vidro retangulares, com mensagens de alarme gravadas. Quando ocorre um novo alarme, a buzina soa e a luz fica piscando até que o operador tome conhecimento e pressione um botão. O painel permanece luminoso até que a condição de alarme seja eliminada pela ação do operador ou por outra alternativa.

Nos sistemas com computador de processo, o sistema de alarme é também uma característica normal. A varredura de grande numero de variáveis do processo para condições de alarme é uma função muito conveniente para o computador. Os limites especificados das variáveis do processo e dos estados do equipamento são varridas e os alarmes resultantes são indicados usualmente em ordem cronológica, na impressora ou na tela do monitor.

O computador de processo tem enorme potencial para o desenvolvimento de sistemas melhorados de alarme.

Há a escolha das variáveis que devem ser alarmadas. Não é mais necessário que

elas sejam confinadas às variáveis do processo medidas pelos sensores. O computador pode fazer cálculos de uma ou mais medições e inferir os valores de outras variáveis, aumentando consideravelmente a capacidade do sistema.

Há ainda um numero de diferentes tipos de alarme que podem ser usados. Eles incluem o alarme absoluto, alarme de desvio, alarme de diferença, alarme de instrumentos, alarme de taxa de variação.

O nível em que os limites do alarme são ajustados é outro fator importante. Vários ajustes de limites de alarme podem ser feitos em uma única variável para dar diferentes graus de alarme, tais como de advertência, ação, perigo. Os alarmes assim gerados podem ser ordenados e mostrados de vários modos, principalmente em relação à importância da variável e o grau de alarme.

O sistema de alarme convencional é muito limitado pelas considerações de equipamento e é relativamente inflexível. O tipo de alarme é usualmente restrito ao alarme absoluto. O sistema de alarme através do computador é muito mais versátil.

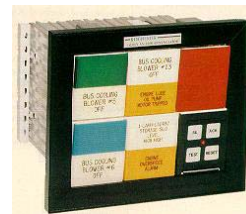


Fig. 6.10. Anunciador de alarme

O sistema de alarme, porém, é freqüentemente uma das menos satisfatórias características do sistema de controle. O defeito mais comum é que há muitos alarmes e eles permanecem ativos por longos períodos. Como resultado, o sistema tende a ficar desacreditado pelo operador. Ele começa a não ligar para muitos sinais de alarme e pode mesmo desligar o dispositivo que assinala o alarme.

Os sistemas de alarme a computador também possuem falhas peculiares. É fatalmente fácil com um computador ter uma proliferação de tipos e graus de

alarme. Mais ainda, os displays mais facilmente usados, como os alarmes cronológicos na impressora ou na tela, são inferiores aos painéis convencionais, com relação ao padrão de reconhecimento.

O principal problema nos sistemas de alarme é a falta de uma clara filosofia de projeto. Idealmente, o sistema de alarme deveria ser projetado na base do fluxo de informação na planta e os instrumentos de alarme selecionados e localizados para maximizar a informação disponível para controle, considerando a confiabilidade da instrumentação. De fato, um sistema de alarme é uma coleção de subsistemas especificados por projetistas de equipamentos particulares com a adição de alguns alarmes.

Um sistema de alarme é uma ajuda para o operador. Uma questão importante, embora ignorada, é a ação requerida pelo operador quando ocorre o alarme.



Fig. 6.12. Alarme individual no instrumento

Um problema similar é a relação dos alarmes com o estado do processo. O processo tem um numero de diferentes estados e um sinal que é um alarme em um estado, p. ex.,, operação normal, e não é um alarme genuíno em outro, p. ex.,, partida ou manutenção. Pode ser desejável suprir certos alarmes durante estados particulares. Isto pode ser relativamente fácil com um computador mas é difícil com um sistema convencional. Em processos batelada, geralmente há controle seqüencial. Enquanto não ocorrer falha, o controle da seqüência é usualmente direto e ininterrupto, mas a necessidade de permitir falhas em cada estágio da seqüência pode tornar o controle seqüencial complexo. Com operação seqüencial, portanto, o controle seqüencial e o alarme são quase inseparáveis.

SISTEMA DE SUPERVISÃO DA UNIDADE DE MVC - ÁREA 94									
14/04/94 09:26:01	ACK HI	Nível EF-9401B MVC	LI-9424	ALARMESTEL	9.5				
14/04/94 09:26:01	ACK HI	Pressão EF-9401A	PI-9429	ALARMESTEL	8.7				
14/04/94 09:26:01	ACK LO	Nível TU-9404A EDC S	LI-9418	ALARMESTEL	0.25				
14/04/94 09:26:01	ACK HI	Nível TU-9402 EDC IM	LI-9437	ALARMESTEL	9.7				
14/04/94 09:26:01	ACK LO	Nível TU-9403 REC	LI-9404	ALARMESTEL	0.3				
14/04/94 09:26:01	ACK HI	Nível TU9406 HCU	LI-9443	ALARMESTEL	9.93				
14/04/94 09:26:01	ACK HI	Nível TU-9411 AF	LI-9453	ALARMESTEL	9.95				
14/04/94 09:26:01	ACK HI	Nível TU-9407 SO	LI-9430	ALARMESTEL	9.99				
14/04/94 09:29:13	EVT OPR	Varão HCS p/ CETREL	FI-9416.Alar	ALARMESTEL	ON				
14/04/94 09:31:15	EVT SYS	Operator	\$Operator	\$System	Ivan				
14/04/94 09:31:15	EVT SYS	AccessLevel	\$AccessLevel	\$System	9999				
14/04/94 09:31:22	EVT SYS	Operator	\$Operator	\$System	None				
14/04/94 09:31:22	EVT SYS	AccessLevel	\$AccessLevel	\$System	0				
14/04/94 09:31:45	EVT SYS	Operator	\$Operator	\$System	Ivan				
14/04/94 09:31:45	EVT SYS	AccessLevel	\$AccessLevel	\$System	9999				
14/04/94 09:32:10	EVT OPR	ChangePassword	\$ChangePassw	\$System	ON				
14/04/94 09:32:32	EVT SYS	ChangePassword	\$ChangePassw	\$System	OFF				
14/04/94 09:32:34	EVT OPR	ConfigureUsers	\$ConfigureUs	\$System	ON				
14/04/94 09:33:14	EVT SYS	ConfigureUsers	\$ConfigureUs	\$System	OFF				

Fig. 6.11. Tela de alarmes no controle supervisorío

Há também problemas específicos que fazem os alarmes serem numerosos e persistentes. Um é a confusão de alarme e estado. Um estado simplesmente indica que um equipamento está ligado ou desligado. Um alarme, de modo diferente, indica que um equipamento está em um estado particular e deveria estar diferente, ou seja, o equipamento está desligado mas deveria estar ligado. Em muitas plantas, há numerosos estados que necessitam ser indicados, mas freqüentemente, não existem displays separados para os estados e são usados os displays de alarmes. Este problema pode ser solucionado, pelo uso de tipos separados de displays, por exemplo, amarelo para alarmes, branco para estados.

9. Falhas do Processo

9.1. Sistema de Controle

A operação da planta de acordo com condições específicas é um aspecto importante na prevenção de perdas. O sistema deve ser mantido sob controle e deve-se evitar o aparecimento de desvios. O sistema de controle, que inclui a instrumentação e o operador de processo, tem uma participação crucial a executar.

A maioria dos sistemas de controle tendem a crescer quando aumenta o número de funções a serem executadas. Assim que os objetivos são definidos, as funções do subsistema podem ser especificadas. Os subsistemas estão relacionadas com a medição, detecção de alarme, controle de malhas, ação de desligamento (trip) e o que é tratado aqui, a alocação de funções entre o homem e a máquina ou entre o operador e a instrumentação.

O sistema de controle deve executar as seguintes funções distintas:

1. coleta de informações e dados do processo
2. controle normal
3. administração de falhas.

As informações coletadas e transmitidas pelo sistema podem ser usadas imediatamente ou a longo prazo para o controle normal do processo. A administração de falhas é diferente do controle normal pois trata de distúrbios mais severos do que os manipulados pelas malhas de controle.

Tipicamente em uma malha de controle tem-se

1. o ponto de ajuste estabelecido pelo operador, em torno do qual há uma banda proporcional ou uma região onde há controle automático;
2. nos limites desta banda há os pontos de alarme de baixa (L) e de alta (H), que chamam a atenção do operador para que ele assuma o controle manual do processo, fazendo a variável controlada retornar à banda de controle automático;
3. na maioria dos casos, o operador retorna o controle para automático, na minoria dos casos a variável controlada tende a se afastar mais ainda da

normalidade, atingindo os pontos de desligamento automático (trip) da planta.

9.2. Características do Processo

O sistema de controle depende principalmente das características do processo que incluem os distúrbios, mas malhas de controle a realimentação negativa e o controle seqüencial.

Os processos estão sujeitos a distúrbios por causa das flutuações inevitáveis e às decisões de operação. Os distúrbios incluem:

1. disponibilidade e qualidade de matérias primas
2. disponibilidade e qualidade da operação
3. quantidade e qualidade do produto final
4. disponibilidade do equipamento da planta
5. condições ambientais.

Os distúrbios são devidos a:

1. ligações com outras plantas
2. fatores de desvio e de degradação
3. comportamento dos materiais do processo
4. defeitos dos equipamentos da planta
5. defeitos do sistema de controle.

A qualidade está relacionada com qualquer parâmetro relevante, como composição ou tamanho de partícula de um material, o nível de tensão de uma fonte de alimentação ou a especificação de um produto. O equipamento da planta pode ser desligado ou ligado. Ligações com outras plantas podem requerer mudanças na operação do processo. Fatores de desvio e de degradação podem ser entupimento de trocador de calor, decaimento do catalisador. Os materiais do processo introduzem distúrbios através de esteiras que se arrebatam, tubulações que entopem ou vazam. Defeitos do sistema de controle incluem falhas de instrumentos, ruído na medição, oscilação na malha de controle e erros do operador.

Certas tendências nas plantas modernas tendem a intensificar os distúrbios do processo, como aumento dos tamanhos da planta, existência de reciclas, eliminação de armazenamento e interligação de unidades.

Algumas características do processo tendem a tornar o controle da malha mais difícil, como:

1. problemas na medição
2. tempo morto
3. constantes de tempo muito pequenas ou grandes
4. reciclo
5. não linearidades
6. instabilidade inerente
7. fortes interações
8. alta sensibilidade (ganho)
9. altas penalidades
10. mudanças de parâmetros
11. mudanças de limites.

A medição é sempre um dos maiores problemas no controle de processo. A medição pode ser difícil de se fazer, pode ser inexata, conter ruído, ser inconfiável e pode ser disponível somente em forma de amostragem. Mesmo que a medição seja satisfatória em si, ela pode não ser a quantidade mais importante. O controle a realimentação negativa depende totalmente da medição da variável controlada.

O tempo morto ou tempo de atraso aumenta de vários modos no processo. Ele pode ser introduzido pelo tempo morto (atraso distância/velocidade) ou pelo tempo de se obter uma amostra e analisar no laboratório. O tempo morto torna o controle com realimentação negativa mais difícil e nenhum ajuste de controlador elimina o tempo morto. O tempo morto só pode ser diminuído através da reconfiguração do layout do processo.

Processos com constantes de tempo muito pequenas são difíceis de serem controlados, por que a velocidade de resposta requerida para as decisões e ações de controle é muito rápida. Porém, processos com constantes de tempo muito grandes também são difíceis de serem controlados, por causa da grande probabilidade de aparecer distúrbios e outras interações e da dificuldade de lembrar todos os fatores relevantes.

Os reciclos podem ser numerosos e diferentes, como o reciclo de um fluxo do processo no início do processo ou o reciclo interno dentro de um vaso.

Se um processo é não linear, seu comportamento tende a variar em função

da carga do processo (quantidade de produto fabricado), suas respostas aos distúrbios e as ações corretivas diferem e se torna difícil sintonizar corretamente o controlador para toda a faixa de operação.

Certos processos, principalmente certos reatores químicos, são instáveis por si (runaway) ao longo de uma certa faixa de operação. Se o processo entra na região instável, as variáveis como pressão e temperatura aumentam exponencialmente, levando à explosão. Em outros casos, o processo entra em um ciclo limite e oscila entre limites definidos.

As relações entre as variáveis de entrada e saída de um processo são geralmente complexas e pode haver fortes interações. Uma entrada pode variar várias saídas e uma saída pode ser variada por várias entradas. Quando as variáveis de saída são controladas por malhas de controle isoladas, pode ocorrer severa interação entre estas malhas.

Alguns processos são muito sensíveis ou possuem ganhos muito elevados, aumentando a dificuldade de controle ou tornando muito altas as penalidades por sair fora dos limites de controle.

Mudanças dos parâmetros do processo tendem a reduzir a eficiência da sintonia do controlador e podem tornar o processo mais difícil de ser controlado.

As características do controle seqüencial de um processo incluem:

1. partida da planta
2. desligamento da planta
3. operação de batelada
4. mudanças de equipamentos
5. variações na qualidade do produto
6. variações na quantidade do produto
7. variações na disponibilidade do equipamento
8. operações de manipulação mecânica.

A seqüência na partida e desligamento de processos contínuos e de bateladas é óbvia, mas há outras operações com características seqüenciais. Os processos contínuos podem conter equipamentos semicontínuos, principalmente quando há regeneração. As alterações deliberadas na qualidade ou quantidade do produto ou no estado do equipamento envolvem operações seqüenciais. Em geral, uma seqüência consiste de uma série de

estágios, alguns inicializados por eventos que ocorrem no processo e outros após um intervalo de tempo determinado.

Algumas outras características de processo que podem ser importantes incluem exigências para:

1. monitorar
2. controlar por realimentação negativa
3. otimizar o controle
4. programar
5. investigar o processo
6. comissionar a planta.

Monitorar é usualmente uma função muito importante do sistema de controle. A monitoração varia muito mas em processos com múltiplas unidades iguais repetidas ou em operações de batelada, ela pode ser muito grande.

O controle a realimentação pode ser inadequado se há dificuldades devidas à medição da variável controlada ou aos atrasos do problema e nestes casos pode-se usar o controle preditivo antecipatório. O controle preditivo antecipatório é aplicável quando os distúrbios não podem ser eliminados mas podem ser medidos e quando existe um modelo do processo que permite a previsão do efeito da variável manipulada e dos distúrbios na variável controlada.

Quando o processo em um ponto de operação ótimo variável com o tempo, a otimização contínua pode ser apropriada. Embora a otimização seja feita por razões econômicas, ela é caracterizada pela aderência a um conjunto de restrições. A operação dentro de um envelope de restrições ajuda a segurança do processo. Alguns processos possuem uma programação estabelecida, principalmente quando há bateladas.

Normalmente há uma novidade no processo ou no equipamento e ela requer uma investigação e uma coleta de dados.

A investigação é importante principalmente no comissionamento da planta.

9.3. Características do Sistema

As características do sistema de controle de processo incluem três estágios óbvios:

1. controle manual
2. controle analógico e

3. controle por computador ou digital.

Tal classificação pode ser insuficiente, pois ela não mostra a importância da instrumentação de medição e os displays e por que nem o controle analógico ou através de computador é um estágio homogêneo e por que ele não diz acerca da qualidade da engenharia de controle e de confiabilidade e dos fatores humanos envolvidos.

A sofisticação da instrumentação de medição afeta muito a natureza do sistema de controle, mesmo no estágio de controle manual.

Os displays disponíveis também variam muito.

O controle analógico implica o uso de controladores analógicos discretos ou isolados mas também pode envolver o uso de equipamentos especiais multipropósito. A maioria dos equipamentos deve servir para facilitar uma ou a combinação das seguintes funções:

1. medição
2. redução da informação
3. controle seqüencial.

A medição e a redução da informação melhora a informação disponível ao operador e ajuda-o a interpretá-la mas deixa o controle para o operador. O equipamento tipicamente inclui sistema de aquisição de dados e de varredura de alarmes. O controle seqüencial retira do operador a função de controle. Outra diferença crucial está na implantação de um sistema de trip ou de proteção. Em alguns casos a função de segurança de desligamento é atribuída exclusivamente ao sistema automática; em outras é deixada para o operador.

O controle de computador não é um estágio de desenvolvimento homogêneo. Em alguns sistemas, a função do computador é limitada ao controle direto digital (DDC). O controle real da planta é executado pelo operador e o computador é simplesmente uma ferramenta poderosa adicional à sua disposição. Em outros casos, o computador tem um programa supervisor que toma a maioria das decisões de controle e altera os pontos de ajuste e o operador apenas monitora o sistema. Os dois tipos de sistemas são muito diferentes.

A qualidade da engenharia de controle teórico é outro fator que distingue um sistema e determina sua eficiência em tratar dos problemas de variação de carga, tempo morto e interações de malhas.

Igualmente importante é a engenharia da confiabilidade. Quando não se tem uma boa confiabilidade, as funções nominais automáticas se degradam e devem ser feitas manualmente ou não são feitas. Malhas de controle em atuação manual são consequência de sistema de controle automático pouco confiável.

A tendência atual em sistemas de controle é aumentar o grau de automação e deixar para o operador a importante função de monitorar o controle automático.

9.4. Projeto da Instrumentação

O projeto do sistema de instrumentação do processo se baseia muito na experiência anterior. A instrumentação do painel de controle e os sistemas de controle de operação de unidades como caldeira, compressor e coluna de destilação tendem a se padronizar.

Princípios básicos

Há alguns princípios básicos relacionados com os sistemas de controle, tais como:

Deve haver uma filosofia clara de projeto e especificações de desempenho e confiabilidade para o controle e a instrumentação. A filosofia deve tratar principalmente das

- características do processo e
- tipos de distúrbios que afetam o processo
- limites de operação da planta,
- definição das funções a serem executadas,
- alocação destas funções com os equipamentos e com o operador do processo
- administração das condições de falha.

A filosofia e as especificações devem cobrir

- medições
- displays
- alarmes
- malhas de controle
- sistemas de proteção
- intertravamentos

- válvulas especiais (e.g., alívio de pressão, bloqueio, retenção, isolamento de emergência)
- equipamentos especiais
- computadores do processo.

O processo deve ser sujeito a análise crítica como o estudo dos riscos e operabilidade para descobrir perigos potenciais e dificuldades de operação.

Se um processo contém sérios perigos e requer um sistema de instrumentação complexo, ele deve ser reexaminado para determinar se os perigos podem ser eliminados na fonte.

Se o processo continua contendo sérios perigos, eles devem ser estabelecidos e deve ser usado sistemas de proteção adequados e de alta integridade.

Para os sistemas de pressão, é necessário usar proteção não apenas contra sobrepressão mas também contra outras condições, como subpressão, excesso de temperatura, derramamento de vaso.

As medições devem ser, sempre que possível, da variável de interesse direto. Se esta variável é inferida de outra medição, este fato deve ser conhecido. É importante que a medição seja feita no local correto.

Se a variável é crítica para a segurança do processo, a mesma medição não deve ser usada para controle e para alarme ou trip.

Se a variável é crítica para a compreensão do operador, é recomendável ter uma integridade adicional.

O sistema de alarme deve ter uma filosofia clara, que relaciona as variáveis alarmadas, número, tipos e graus de alarme, displays e prioridades de alarme com a falha do instrumento e a confiança do operador, a diferença entre alarme e status e a ação que o operador deve tomar.

As malhas de controle devem ter ação segura em falha, principalmente na perda da alimentação do instrumento e da válvula de controle.

As malhas de controle que adicionam material ou energia ao processo são críticas e é recomendável que tenham integridade adicional.

O sistema de controle como um todo e os instrumentos individuais devem ter a rangeabilidade necessária para manter medição e controle adequados em baixa produção.

O sistema de controle deve ser projetado para as condições normais, bem como para as condições desligadas, como partida, desligamento.

As operações de partida depois de problema ou depois de desligamento tendem a ser perigosas.

O sistema deve possuir estações manuais de controle que permitam ao operador manipular válvulas em situações de falha do controle automático.

A falha do instrumento deve ser totalmente considerada. A confiabilidade de instrumentos críticos deve ser estabelecida quantitativamente, sempre que possível.

Os modos em que pode ocorrer falha de causa comum e os modos em que as intenções do projetista do instrumento podem ser frustradas devem ser considerados cuidadosamente.

Os instrumentos que tratam das falhas não podem deixar de operar por causa da falha em si. Se o operador de processo deve manipular a instrumentação durante a falha, ele não pode ser atrapalhado pelas condições resultantes da falha.

Os serviços (energia elétrica, ar comprimido, gás inerte) dos quais a instrumentação depende devem ter um grau de integridade adequado.

O sistema de instrumentação deve ser verificado regularmente e as falhas encontradas devem ser reparadas imediatamente. Ele pode se deteriorar, mesmo que o operador compense esta degradação. O operador de processo deve ser treinado para não aceitar instrumentação sem reparo por longos períodos.

A facilidade de detecção de falhas de instrumento deve ser um objetivo no projeto do sistema. O operador de processo deve ser treinado para detectar o mau funcionamento dos instrumentos como uma parte integral de seu trabalho.

Os instrumentos que devem operar apenas em condições de falha do processo e que podem ter uma falha invisível, requer consideração especial e recomendam-se testes periódicos de funcionamento.

Os instrumentos importantes devem ser verificados regularmente. Os intervalos dos testes devem ser estabelecidos a partir da análise de risco. Os testes não devem ser limitados aos sistemas de proteção e válvulas de alívio de pressão mas devem incluir válvulas de retenção, válvulas de isolamento de emergência, medições, alarmes e malhas de controle.

Os testes devem corresponder às condições esperadas da operação. Deve-se considerar que um instrumento que passa em um teste ainda pode não operar satisfatoriamente na planta.

Válvulas de controle não são de vedação e mesmo as válvulas de isolamento deixam passar algum fluido quando fechadas. Válvulas de controle com característica de igual percentagem não vedam, por teoria matemática. O posicionador da válvula também pode impedir que ela feche totalmente. Quando se quer isolamento completo no processo, devem ser usadas válvulas de bloqueio ou especiais.

A válvula de controle pode colar na posição fechada ou emperrar na posição aberta e isso deve ser detectado e corrigido.

As práticas que os operadores tendem a desenvolver durante o uso da instrumentação devem ser consideradas, de modo que estas práticas não invalidem as hipóteses feitas no estabelecimento da confiabilidade.

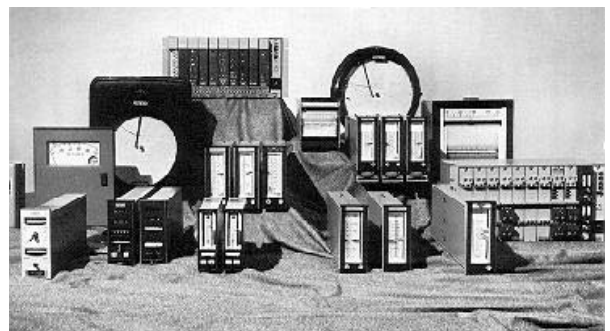


Fig. 6.13. Instrumentos convencionais de painéis

O fato do erro humano do operador deve ser considerado. A confiabilidade do operador de processo deve ser estabelecida quantitativamente, quando

possível. Os princípios dos fatores humanos devem ser aplicados para reduzir o erro humano, sempre que possível.

Instrumentos individuais

É necessário também prestar atenção aos detalhes dos instrumentos individuais usados. Algumas características importantes são as seguintes:

O instrumento é uma fonte potencial de falha, através de uma falha funcional, falta de alimentação.

O uso de materiais de construção inadequados pode também provocar falha no instrumento. Os materiais devem ser escolhidos de conformidade com os fluidos do processo em contato. Os fabricantes de instrumentos tem somente uma idéia geral de suas aplicações.

Instrumentos contendo vidro ou plástico (visores de nível ou rotâmetros de vazão) podem se quebrar, provocando sérios vazamentos.

Instrumentos podem necessitar de proteção contra a corrosão ou erosão do fluido do processo e por isso devem ser usados selos.

As linhas de amostragem e de tomada de processo devem ter cuidados especiais, e quando necessário, devem ser usados sistemas de purga ou injeção de vapor.

- pó
- exposição à intempérie
- vibração
- impacto

5. Fatores operacionais

- movimento
- ciclagem

6. Práticas de manutenção

Os sensores de temperatura deveriam ser instalados pelados, para se ter uma resposta mais rápida, porém por proteção e comodidade, eles são protegidos por bulbos que são inseridos dentro de poços.

Vazão pulsante é um problema sério para os medidores e provoca grandes erros. Este é um exemplo para mostrar que a replicação de instrumentos de medição não é a solução de alguns problemas que estão no próprio processo.



Fig. 6.14. Instrumentos de campo

Transmissores e reguladores de pressão podem ser danificados por sobrefaixa e isso precisa ser considerado.

Instrumentos complexos como analisador, controlador de velocidade, transmissor de densidade, monitores de vibração e balanças de sólidos são geralmente menos confiáveis que os instrumentos convencionais de pressão, temperatura, vazão e nível. Isto requer maior atenção para estes instrumentos e um cuidado especial para as consequências de suas falhas, que são mais prováveis e freqüentes.

Tab. 6.3. Fatores que afetam a falha do instrumento

1. Contexto do sistema:
 - aplicação (display, controle)
 - especificação (precisão, resposta)
 - definição de falha
2. Práticas de instalação
3. Fatores ambientais - materiais do processo
 - grau de contato (sala de controle, área)
 - fase do material (gás, líquido, sólido)
 - limpeza
 - temperatura
 - pressão
 - corrosão
 - erosão
4. Fatores ambientais
 - temperatura
 - umidade

Diferentes tipos de instrumentos são confundidos e aplicados incorretamente. Por exemplo, válvula reguladora de pressão sendo usada como válvula de retenção ou vice-versa; válvula de controle usada como válvula de bloqueio. O instrumento certo deve ser usado na aplicação certa, na posição certa.

A seleção da válvula de controle é muito importante. Há uma tendência de se privilegiar a instrumentação da sala de controle e dar pouca importância aos instrumentos do campo, principalmente a válvula de controle, que nem é considerada como instrumento (os estagiários que o digam!)

Uma válvula de controle deve ter os seguintes parâmetros corretos:

- tipo (gaveta, globo, esfera, borboleta, diafragma),
- capacidade nominal (C_v),
- rangeabilidade (relação da máxima sobre a mínima vazão),
- característica inerente (relação entre vazão e abertura, ambas em percentagem).

A válvula deve ter não apenas a ação correta (falha segura aberta ou fechada ou ar-para-fechar ou ar-para-abrir) mas também pode ter limites de abertura adequados. Na válvula devem ser consideradas a pressão e temperatura do processo.

Os instrumentos devem sobreviver e operar no local onde ele está instalado e por isso deve ter uma classificação mecânica de invólucro adequada.

Os instrumentos elétricos não podem ser uma fonte potencial de ignição ou explosão e por isso deve ter uma classificação elétrica compatível com a classificação do local onde ele está instalado.

9.5. Falhas de Instrumentos

As plantas de processo dependem de sistemas de controle complexos e as falhas de instrumentos tem sérios efeitos.

Os instrumentos de medição podem ser analógicos ou digitais. A malha típica medição envolve

1. o sensor, que depende basicamente da variável medida

2. instrumentos de condicionamento de sinal, como transmissor, filtro, amplificador, linearizador
3. instrumentos de display como indicador, registrador, totalizador
4. alarmes opcionais e indicadores de status
5. desligamento automático opcional
6. instrumento de decisão, como controlador ou chave
7. elemento final de atuação, como válvula, motor, damper, cilindro.

A maioria das falhas não resulta em sério problema para a planta.

A maioria das falha é detectada pelo operador, que chama o instrumentista para consertar o instrumento.

A falha de instrumento mais caro, com proteções adicionais, é menos provável. Instrumentos complexos e especiais, diferentes do padrão do fabricante, geralmente é menos confiável e há maior probabilidade de falha.

O meio ambiente é um fator que influi na probabilidade de falha.

Há dois tipos de dados de falhas de instrumentos: falhas observadas durante (a) testes e (b) durante operação real na planta.

Com relação ao fator de estar ou não em contato com o fluido do processo, os estudos mostram que os instrumentos que estão em contato com o fluido do processo tem uma maior taxa de falha, com exceção da válvula de controle e transmissor de temperatura.

Outro enfoque, é considerar o fluido do processo limpo e sujo. Os estudos mostram que os instrumentos em contato com fluido sujo e hostil tem uma taxa de falha de 4 a 5 vezes maior que aqueles em contato com fluido limpo.

Tab. 6.4. Modos de Falhas de alguns instrumentos

Modo de Falha do Instrumento	Nº falhas
Válvula de Controle	
Vazamento	54
Movimento errado:	
Colando (mas movendo)	28
Superdimensionada	7
Não abrindo	5
Não sentando plug na sede	3
Entupida	27
Falha para bloquear vazão	14
Plug apertado	12
Falha no diafragma do atuador	6
Válvula engraxada	5
Falhas genéricas	27
Termopar	
Falha do elemento	24
Falha no poço	11
Falha genérica	20

(Fonte: Less, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, p. 346)

Modos de Falha

A taxa de falha geral do instrumento dá somente uma informação limitada. Às vezes, é necessário saber de seu modo de falha, que pode ser classificado de vários modos, sendo os mais importantes:

1. condição,
2. desempenho
3. segurança
4. detecção

A falha de condição enfatiza a causa da falha. Exemplo de falha de condição: falha de foles em um medidor de vazão ou um diafragma quebrado em uma válvula de controle.

A classificação de desempenho enfatiza o efeito da causa. Exemplo de desempenho: erro de zero em um medidor de vazão ou a passagem de fluido através de uma válvula fechada.

Às vezes, não há distinção nítida de falha de condição e de desempenho: por exemplo, o bloqueio de uma válvula de controle pode ser considerada

indistintamente como de condição e de desempenho.

Tab. 6.5. Taxas de falha de malhas de controle

Falhas de malhas (por tipo)	Falhas/ano
PIC	1,15
PRC	1,29
FIC	1,51
FRC	2,14
LIC	2,37
LRC	2,25
TIC	0,94
TRC	1,99
Falhas de malhas (por elemento)	% falhas
Sensor/amostragem	21
Transmissor	20
Linha de transmissão	10
Indicador ou Registrador	18
Controlador	7
Válvula de controle	7
Outros	17

(Fonte: Less, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, p. 349)

Tab. 6.6. Efeito do ambiente na confiabilidade do instrumento: instrumento em contato ou não com o fluido do processo (Less, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, p. 345)

Instrumento	Número em Risco	No Falhas	Falhas/ano
Instrumento em contato com o fluido do processo	2285	1252	1,15
Medição de pressão	193	89	0,97
Medição de nível	316	233	1,55
Medição de vazão	1733	902	1,09
Detector de falha de chama	43	28	1,37
Instrumento não em contato com o fluido do processo	2179	317	0,31
Posicionador de válvula	320	62	0,41
Válvula solenóide	168	24	0,30
Transdutor corrente para pressão	89	23	0,54
Controlador	1083	133	0,26
Chave de pressão (pressostato)	519	75	0,30
Válvula de controle	1330	359	0,57
Medição de temperatura	2391	326	0,29

Tab. 6.7. Efeito do ambiente na confiabilidade do instrumento: instrumento em contato com fluido limpo ou sujo. (Less, F.P., Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 1, p. 345)

Instrumento	Número em Risco	Número Falhas	Taxa falha falhas/ano
Válvula de Controle			
Fluidos limpos	214	17	0,17
Fluidos sujos	167	71	0,89
Transmissor de pressão diferencial			
Fluidos limpos	27	5	0,39
Fluidos sujos	90	82	1,91

Tab. 6.8. Estimativas de probabilidade de erro usada na segurança do reator da Comissão de Energia Atômica EUA

P	Atividade
10^{-4}	Seleção de uma chave vital em vez de uma chave não-vital (este valor não inclui o erro de decisão, onde o operador interpreta errado a situação e acredita que a chave vital é a escolha correta)
10^{-3}	Seleção de uma chave (ou par de chaves) diferentes na forma ou local para a chave desejada (ou par de chaves), assumindo nenhum erro de decisão. Por exemplo, o operador atua uma grande chave em vez de uma pequena chave
3×10^{-3}	Erro humano genérico de administração, p. ex., lendo errado a etiqueta e selecionado a chave errada
10^{-2}	Erro humano genérico de omissão, onde não há indicação na sala de controle do estado do item omitido, p. ex., falha de voltar manualmente uma válvula de teste manualmente operada para a configuração certa após a manutenção
3×10^{-3}	Erros de omissão, onde os itens sendo omitidos são agrupados em um procedimento em vez de um fim, como acima
3×10^{-2}	Erros aritméticos simples com auto-verificação mas sem repetir o calculo refazendo-o em outro pedaço de papel
$1/x$	Dado que um operador está acessando uma chave incorreta, ele seleciona uma chave de aparência similar, onde x é o número de chaves incorretas adjacentes à chave desejada
10^{-1}	Dado que um operador está acessando uma chave de válvula operada por motor, ele falha de notar que a lâmpada indicadora já está no estado desejado e simplesmente muda o estado da chave sem reconhecer que ele tinha selecionado a chave errada.
$\sim 1,0$	Se um operador falha de operar corretamente uma de duas chaves ou válvulas intimamente acopladas em um passo de procedimento, ele também falha de operar corretamente a outra
$\sim 1,0$	O inspetor ou encarregado falha de reconhecer o erro inicial do operador, sem realimentação do erro no painel anunciador
10^{-1}	Pessoal de turno diferente falha em verificar a condição de verificação do equipamento, sem instrução escrita ou sem checklist.
5×10^{-1}	Monitor falha de detectar a posição indesejada de válvulas, durante a inspeção de rotina, assumindo que não é usada checklist
0,2 a 0,3	Erro genérico dado em nível de stress muito alto onde as atividades perigosas estão ocorrendo rapidamente
$2^{(n-1)}x$	Dado um stress de tempo, como em tentar compensar um erro feito em uma situação de emergência, a taxa de erro inicial, x, para uma atividade dobra para cada tentativa, n, após uma tentativa anterior incorreta, até a condição limite de um a taxa de erro de 1,0 é atingida ou até expirar o tempo. Esta condição limite corresponde ao indivíduo ficar completamente desorganizado e ineficiente.
$\sim 1,0$	Operador falha de agir corretamente nos primeiros 60 segundos após um distúrbio em uma condição de extremamente alto stress
9×10^{-1}	Operador falha de agir corretamente após os primeiros 5 minutos após um distúrbio em uma condição de extremamente alto stress
10^{-1}	Operador falha de agir corretamente após os primeiros 30 minutos após um distúrbio em uma condição de extremo stress
10^{-2}	Operador falha de agir corretamente após as primeiras horas após um distúrbio em uma condição de alto stress
x	Após 7 dias após um grande distúrbio, há uma recuperação completa para a taxa normal de erro, x, para qualquer tarefa (x)

A classificação de segurança divide as falhas em falha segura e falha perigosa

Tipicamente, 33% das falhas são de modo falha perigosa e 66% são de modo falha segura.

A falha de detecção distingue entre falha revelada e não revelada. Uma falha revelada indicava sua presença e por isso é detectável. Uma falha não revelada não é imediatamente detectável mas é usualmente detectada por um teste de prova (proof check). Estatística mostra que 50% das falhas perigosas são não reveladas.

As falhas de condição e de desempenho são os principais tipos; os modos de segurança e de detecção podem ser obtidos dos outros e do contexto do instrumento no sistema.

As falhas podem ser descritas por um código alfanumérico com 4 letras e números.

A primeira letra indica se a falha é falha segura (S) ou perigosa (D) ou um desvio de calibração na direção perigosa (C).

A segunda letra é o número de equipamentos afetados pela falha de modo adverso. Os números variam de 1 a 5:

1. trip principal
2. alarme de máximo
3. alarme de mínimo
4. indicador
5. lâmpada piloto

A terceira letra indica se a falha é revelada (r) ou não revelada (u - unrevealed).

O quarto é o número do equipamento que revela a falha e tem a mesma filosofia que o número de equipamentos afetados pela falha.

Taxas de falhas de malhas

As taxas de falhas de malhas podem ser calculadas das taxas de falhas dos instrumentos constituintes.

Também aqui, somente uma pequena proporção de falhas de malhas resultam em sérios problemas para a planta ou para provocar trip. Estatísticas mostram que em uma grande planta química, somente três falhas de malha de controle resultam em trip e que a frequência de falhas era uma falha em cada 20 anos por malha.

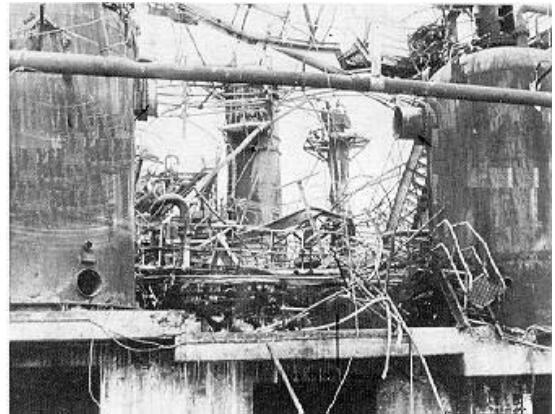


Fig. 6.15. Resultado de acidente (Flixborough, U.K.)

Detecção de falha

Se ocorrer uma falha do instrumento, é importante que ela seja detectada. A facilidade de detecção de uma falha de instrumento depende muito se a falha é revelada ou não revelada. Falha não revelada é detectada geralmente somente por teste de prova.

Uma falha de instrumento que seja revelada é usualmente detectada pelo operador de processo, ou pelo comportamento do instrumento em si ou pelo efeito da falha no sistema de controle. Foram desenvolvidos sistemas para detectar a falha, pelo operador ou pelo computador de processo.

A detecção de falha de instrumento com saída binária, como de chave que só pode estar ligada ou desligada, é difícil por que a falha é não revelada mas é importante por que tais instrumentos freqüentemente fazem parte do sistema de trip ou de alarme.

Uma solução é usar instrumento com saída analógica no lugar da chave, quando a falha ficaria revelada. Foram também desenvolvidas outras técnicas de auto verificação, incluindo saída binária múltipla e verificação do sensor elétrico.

Por exemplo, em um sistema de medição de nível com 10 pontos, tem-se uma série de saídas binárias. Neste sistema, quando o nível do líquido estiver em 5, esta saída dá positivo e se a saída do ponto 4 estiver desligada, há falha neste ponto.

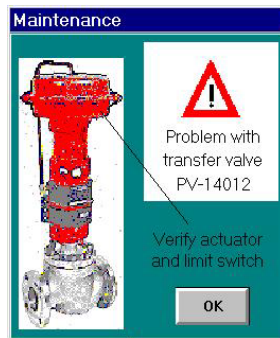


Fig. 6.16. Sistema supervisório com autodiagnose

A falha de um termopar é não revelada, pois quando ele se rompe, ele continuando captando uma militesmo que pode ser confundida com a gerada pela diferença de temperatura. Assim, na medição de termopar, se usa um circuito extra que revela o rompimento do termopar, levando a indicação de temperatura para o início ou o fim da escala.

O grande potencial da instrumentação com microprocessador é o desenvolvimento de técnicas de autodiagnose e autoteste.

9.6. Administração de Falhas

A administração de falhas pode ser dividida em três estágios:

1. detecção,
2. diagnose
3. correção ou desligamento

Para a detecção, o operador tem a ajuda do sistema de alarme, enquanto a correção da falha, na forma de desligamento, pode ser automática, mas a diagnose e a correção da falha são funções do operador.

Detecção de falha

O sistema de alarme representa uma automação parcial da detecção da falha. O operador ainda tem muito a fazer para detectar as falhas.

Isto é parcialmente um assunto das entradas sensores adicionais, tais como a visão, audição do operador. Mas é também parcialmente devido a sua habilidade de interpretar a informação, de reconhecer padrões e de detectar erros de instrumentos.

Diagnose de falha

Uma vez que a falha é detectada, o próximo passo é diagnosticar a sua causa. Isto é usualmente deixado para o operador. O tamanho do problema da diagnose pode variar consideravelmente com o tipo da unidade.

Há vários modos em que o operador pode enfocar a diagnose de falha. Vários trabalhadores observaram que um operador parece responde somente ao primeiro alarme que aparece. Ele associa isso com uma falha particular e responde usando alguma regra pronta. Isto é uma estratégia incompleta, embora seja bem sucedida na maioria dos casos, especialmente quando a falha que ocorre é repetitiva.

Um enfoque alternativo é o reconhecimento de padrão do display do painel de controle. o padrão pode ser estático ou dinâmico. O padrão estático é obtido pela observação instantânea dos displays, como uma fotografia. O operador então tenta casar este padrão com os padrões do modelo para falhas diferentes.

O reconhecimento do padrão dinâmico é uma alternativa mais complexa, envolvendo o casamento do desenvolvimento da falha durante um período de tempo.

Outro enfoque é usar algum tipo de árvore de decisão mental em que o operador considera as trajetórias da árvore, tomando ramos particulares em função das leituras dos instrumentos.

Outro método é a manipulação ativa dos controles e a observação dos displays para determinar a reação da planta a certos sinais.

Parecido com isso é a situação onde nenhuma falha foi detectada mas o operador está pronto para controlar o processo quando ele observa alguma característica diferente e continua sua manipulação para explorar esta condição.

Qualquer que seja o enfoque escolhido pelo operador, a diagnose da falha na sala de controle depende muito das leituras dos instrumentos. Por isso, é necessário o operador verificar se os instrumentos estão corretos. O problema de verificação da detecção de mau funcionamento é

importante, pois está associado com a diagnose de falhas.

Os diferentes métodos de diagnose de falha em implicações importantes relacionadas com os displays e o treinamento do operador. O painel convencional ajuda o reconhecimento de padrões estáticos, enquanto o console de computador não. Os registradores de gráfico ajudam o reconhecimento dos padrões dinâmicos e das falhas dos instrumentos.

A diagnose das falhas não é uma tarefa fácil para o operador.

Correção da falha e desligamento

Quando uma falha é diagnosticada, é usualmente possível tomar alguma ação corretiva que não envolva o desligamento total da planta.

Em alguns casos a correção da falha é trivial, mas em outros, como a operação de uma seqüência complexa de válvulas, é difícil. As instruções de operação são escritas para estas atividades, mas as vezes isto é uma área inexplorada.

A correção de falha pode ser feita pelos sistemas de intertravamento, que podem ser desenvolvidos em programas de computador.



Fig. 6.17. Operador atuando no processo

Algumas condições de falha, porém, requerem o desligamento da planta. Embora a administração da falha tenha sido descrita em termos de estágios sucessivos de detecção, diagnose e correção, no desligamento de emergência usualmente pouca diagnose é envolvida. O desligamento é feito diretamente, quando é detectado que um limite crítico do processo foi ultrapassado.

Há filosofias diferentes no problema de alocação de responsabilidade de desligamento da planta sob condições anormais. Em algumas plantas, o operador cuida das condições de falha com pouca ajuda automática, e ele deve garantir a operação segura e econômica. Em outros sistemas, os sistemas automáticos de proteção desligam a planta, quando ela se aproxima de alguma condição insegura e o operador tem a tarefa econômica de evitar o desenvolvimento de condições que exijam o desligamento.

Em uma planta sem sistemas de proteção, o operador é efetivamente responsável de manter a planta rodando, se possível, mas deve desligar a planta, se necessário. Isto tende a criar no operador um conflito de prioridades. Usualmente, ele tentará manter a planta rodando se ele possivelmente pode e pode tender a desligá-la muito tarde. Há uma tendência humana de ser otimista e de apostar que sempre dá certo. Há muitas situações praticas comprovando este fato.



Fig. 6.18. Operador atuando no processo

O enfoque alternativo é usar sistemas de proteção automáticos para proteger a planta contra perigos sérios. A escolha é feita na base da avaliação quantitativa do perigo. Esta filosofia transfere para o operador a tarefa essencialmente econômica de manter a planta rodando.

Embora o uso de sistemas de proteção esteja aumentando, o operador de processo usualmente retém alguma responsabilidade pelo desligamento seguro da planta. Há várias razões para isso. O principal motivo é que a integridade dos sistemas de proteção não é ideal.

Os sistemas de proteção possuem limitações, mesmo os de alta integridade. É muito difícil prever e projetar todas as falhas possíveis, particularmente as falhas resultantes de combinação de eventos. É verdade que mesmo se uma condição do processo ocorre de uma fonte inesperada, o sistema de proteção ainda manipula esta falha de modo seguro. Mas, existem eventos residuais, usualmente de baixa probabilidade, contra os quais não há proteção, ou porque não foram previstos ou porque a sua probabilidade foi estimada menor que o nível limite estabelecido pelo projetista.

Outro problema é que o sistema protetor é somente parcialmente efetivo contra certos tipos de falhas, principalmente falhas incorporadas. Neste evento, a instrumentação pode iniciar as seqüências de *blow down*, *shut off* e *shut down*, mas enquanto isso pode reduzir o escape perigoso de material, não o elimina.

Outra dificuldade é que muitos perigos ocorrem durante as condições transitórias de partida e desligamento e não acontecem durante as condições normais. Um sistema de proteção bem projetado considera os regimes transitórios e as operações contínuas.

Mesmo com sistemas de proteção automáticos, portanto, o operador de processo tende a reter uma função residual de segurança.

Deteção de Mau Funcionamento

Outro aspecto da administração de falha pelo sistema de controle é a deteção de defeitos, principalmente os defeitos iniciais nos equipamentos e nos instrumentos da planta. Estes defeitos são diferentes dos alarmes, pois embora eles constituam uma condição de falha de algum tipo, eles não são um alarme formal.

Os sistemas de controle não monitoram os defeitos; isto é uma função exclusiva do operador. Em geral, os defeitos podem ser detectados da condição de um instrumento ou de seu desempenho. A deteção da condição é feita, por exemplo, pela observação de vazamentos nas linhas de tomada de pressão diferencial do transmissor ou pelo travamento de uma válvula de controle. A deteção pelo

desempenho é exemplificada pela observação na sala de controle de um sinal excessivamente sem ruído do transdutor ou de uma inconsistência entre a posição da válvula e a vazão medida pela válvula. A maioria das verificações na condição do instrumento requer a ida do operador próximo ao instrumento e usar um de seus sentidos para detectar o defeito. A maioria das verificações no desempenho do instrumento pode ser feita da sala de controle, usando os displays e baseando-se na informação redundante.

O registrador com gráfico é uma ferramenta muito útil para fornecer informações ao operador acerca de defeitos de instrumentos ou de equipamentos.

Alguns tipos de informação redundante:

1. expectativa *a priori*
2. sinais passados de instrumentos
3. instrumentos duplicados
4. outros instrumentos
5. posição da válvula de controle.

Assim, pode-se esperar, *a priori*, que a leitura de um instrumento não esteja em zero ou no fundo de escala, que haja um zero *vivo* em vez de um zero *morto*, que haja um certo nível de ruído, que a velocidade de variação não exceda certo valor e que seja possível se mover dentro de toda a escala do instrumento. Em base destas expectativas, o operador poderia diagnosticar defeitos nos sinais.

Os gráficos dos registradores podem apresentar: leitura normal, leitura de zero, leitura constante, leitura errática, leitura deslocada repentinamente, leitura limitada abaixo do fundo de escala, desvio da leitura, leitura oscilante, leitura com características diferentes.

Pode não ser possível ao operador decidir *a priori* o que constitui uma expectativa razoável. Neste caso, ele deve usar seu conhecimento da faixa de variação da medição do instrumento no passado. A comparação dos dois comportamentos pode indicar um defeito.

Se há um instrumento duplicado, a deteção de que um dos instrumentos está defeituoso é direta e simples, embora possa não ser possível dizer qual é o correto. Porém, a duplicação de instrumentos não é comum em instrumentação. É mais comum a

duplicação indireta; por exemplo, pode-se medir as vazões de dois fluidos que se misturam e a vazão da mistura. A comparação das vazões pode indicar defeito em algum dos medidores.

Alguns tipos de variação no sinal são fáceis de serem detectados automaticamente; outros são difíceis. Aqui o operador humano com sua habilidade e experiência de reconhecer padrões visuais tem sua vantagem.

Há um grande número de modos em que as leituras de instrumentos servem como verificação. Alguns deles são a duplicação indireta, os balanços de massa e de calor, as relações de vazão e queda de pressão e os estados consistentes (certas variáveis estão relacionadas com outras e em um dado estado de operação devem permanecer dentro de certas faixas de valores).

A posição das válvulas de controle também fornecem um meio de verificação das medições. Isto é mais obvio para medições de vazão, mas não significa que só se aplica a elas.

Outro tipo de informação que o operador também usa na verificação de instrumentos é o seu conhecimento das probabilidades de falha de instrumentos diferentes. Ele usualmente sabe dos problemas passados, causados pelas condições adversas do processo, da qualidade do instrumento.

A detecção dos defeitos dos instrumentos pelo operador é importante, porque os defeitos tendem a degradar os sistemas de alarme e introduzir dificuldades nas malhas de controle e nos diagnósticos de falhas. A detecção de defeitos dos instrumentos é deixada para o operador e é essencial que ele tenha as facilidades para fazer isso. Isto inclui displays convenientes e pode estender ao uso de computadores digitais.

Projeto da Operação

O projeto do trabalho envolve o arranjo das tarefas individuais que o homem tem de fazer dentro do que ele é capaz de fazer e que gosta de fazer.

Quando o sistema de controle se torna mais automático, o trabalho ativo de controle do operador é reduzido e sua função se resume na monitoração. Porém,

a monitoração passiva não é função bem feita pelo homem.

Há, pois, um problema potencial do projeto do trabalho. Uma entrada deste problema é a considerar porque o homem é parte do sistema de controle global. O operador normalmente é considerado como o componente usado para fazer os reparos do sistema de controle. Ou seja, ele deve ter funções relacionadas com a manutenção da planta rodando, administrando as falhas e detectando os defeitos, que são tarefas que requerem habilidade e motivação do homem.

Este enfoque requer mais atenção do operador e ele deve receber treinamento e auxílio necessários. O treinamento deve enfatizar a importância de rodar a planta, sem tolerar a degradação dos equipamentos. O auxílio do trabalho inclui o uso de computador digital e deve assistilo na administração das falhas e na detecção dos defeitos.

Diagnose de Falha

A diagnose de falha é uma atividade especialmente importante do operador do processo. A diagnose é feita usualmente pelo operador no painel de controle. A nível de treinamento isso pode ser feito usando-se um simulador de processo.

Há várias estratégias para diagnosticar falhas, como

1. o reconhecimento de padrão de falha, olhando primeiro nos alarmes e então considerando as possíveis falhas consistentes com eles,
2. a leitura de instrumento e o uso da heurística baseada nas funções da planta.
3. uso de árvores de decisão e a matriz de falhas e sintomas.

A diagnose de falha se baseia fortemente nas leituras dos instrumentos e por isso estas leituras devem ser precisas e confiáveis. Deve haver treinamento para verificação e leitura de instrumentos. Deve ser dada ênfase na determinação do valor verdadeiro do parâmetro mais que na decisão de falha do instrumento. Os seguintes princípios estão envolvidos na verificação:

1. observação direta - representa a verdade.

2. um relatório externo, tal como a leitura de um visor de nível é uma observação direta se o procedimento correto para a leitura é seguido.
3. dois instrumentos de controle que coincidem representam a verdade.
4. os custos (tempo, esforço, perigo) devem ser considerados e a rota mais barata para a verdade deve ser tomada.
5. somente indicadores independentes de um mesmo parâmetro podem ser usados para verificação.
6. onde somente dois indicadores de um parâmetro são disponíveis, o mais confiável dos dois é o assumido.
7. um instrumento individual pode se mostrar como defeituoso pelo comportamento anormal.

10. Erro Humano

A aplicação da engenharia da confiabilidade para o projeto e operação da planta de processo, em geral e o sistema de controle, em particular tem conduzido inevitavelmente para métodos de estabelecimento da confiabilidade do operador de processo. Esta necessidade é reforçada pelo fato que em análises de acidentes com grandes proporções, a causa é freqüente atribuída a falhas humanas.

Em relação as funções de controle a não confiabilidade humana é aproximadamente sinônimo de erro humano, mas a morte repentina ou incapacidade, tal como ataque cardíaco, pode ocorrer e isso deve ser considerado em relação às funções cruciais.

O erro humano freqüentemente figura como um grande fator em análises de incidentes. Quando uma falha ocorre, há freqüentemente um inquérito administrativo para determinar a causa e a atribuição de erro humano é notória. De fato, o incidente ocorreu em um conjunto específico de circunstâncias envolvendo homens, máquinas, sistemas e procedimentos, fatores físicos e sociais e suas interações. Usualmente, o erro é mais verificável do que outra associação que é responsável por algum aspecto da situação do trabalho.

O relatório de erros nos sistemas homem-máquina é normalmente deficiente, porque os sistemas de relatório são projetados essencialmente para dar informação sobre falha do equipamento. Estudos mostram que o homem está envolvido entre 20 e 53% de todos os defeitos dos sistemas estudados.

A contribuição de erro humano em grandes acidentes aparece ser maior (50 a 80%) do que em pequenas falhas (10%).

Há uma distinção entre projeto e avaliação. O projeto procura melhorar a situação do trabalho e não aceita facilmente a inevitabilidade do erro humano. A avaliação aceita a situação como ela é e procura avaliar o erro humano. Muito progresso foi feito na redução do erro humano pelo melhor do projeto mas a situação com relação a avaliação da taxa de erro humano é menos satisfatória.

O homem exibe um alto grau de variabilidade. Ele se adapta em seus objetivos e nos métodos usados para atingi-los. Ele executa uma tarefa usando vários mecanismos internos e como consequência, de vários modos diferentes. Ele executa várias tarefas ao mesmo tempo e pode estar preocupado. O operador é um processador holístico (baseado no princípio em que o todo representa mais do que o conjunto de todas as partes) da informação e trata uma tarefa como um todo. Ele é capaz de monitorar a si mesmo e de achar e mostrar seus erros. Assim, o erro humano não contribui significativamente para o risco total e o erro humano é detectável e reversível.

Atividades do Operador

O problema do erro do operador no controle de processo pode ser enfocado tentando identificar os tipos gerais de atividades que o operador desempenha e assim descobrir se a confiabilidade de seu desempenho nestas atividades pode ser avaliada.

As atividades podem ser divididas em três categorias diferentes:

1. tarefa simples
2. tarefa de vigilância
3. comportamento na emergência.

Adicionalmente, outros aspectos do controle de processo incluem:

4. tarefas complexas
5. tarefas de controle

Uma tarefa simples é uma sequência de operações relativamente simples, envolvendo pouca tomada de decisão.

Uma tarefa complexa é uma sequência de operações razoavelmente definida e que envolve um grau de tomadas de decisão. Um exemplo típico seria a alteração do ponto de operação da planta que envolveria mais do que a execução de uma sequência fixa. Uma tarefa complexa é caracterizada por uma maior variabilidade na sequência a ser executada.

Há também a tarefa de controle global. As atividades do operador não completamente definidas por tarefas discretas específicas e tarefas de vigilância. Há também um resíduo que permanece e consiste da responsabilidade genérica de determinar se uma intervenção de controle é necessária e, se for, de fazê-la.

Tarefas Simples

Uma tarefa simples é uma sequência pequena e clara de operações envolvendo pouca tomada de decisão e há um grande corpo de trabalho na execução das tarefas simples.

O enfoque normal é quebrar a tarefa em seus elementos constituintes e assim estimar a confiabilidade da tarefa, usando a teoria da probabilidade e diagramas em árvore.

As probabilidades de erros humanos depende de fatores tais como:

1. nível do stress psicológico do operador
2. qualidade de engenharia humana de controles e displays
3. qualidade do treinamento e da experiência
4. presença e qualidade de instruções escritas e métodos de uso
5. acoplamento das ações humanas
6. redundância pessoal.

Tarefas de Vigilância

Uma tarefa de vigilância envolve a detecção de sinais e também há um grande corpo de trabalho do desempenho dela. Alguns fatores são:

1. modalidade do sentido
2. natureza do sinal
3. potência do sinal
4. frequência do sinal
5. expectativa do sinal
6. comprimento da escala de leitura
7. motivação
8. ação requerida.

A visão e a audição são os dois principais canais para receber o sinal. O sinal em si pode ser um simples liga-desliga ou um padrão complexo. No ultimo caso, a condição fora de limite pode não ser bem definida a priori mas pode ser avaliada no decorrer do tempo. O sinal pode ser forte e livre de ruído ou pode ser fraco e com ruído; ele pode ser freqüente ou raro e pode ser do tipo esperado ou não esperado.

Em geral o sinal sonoro é mais perceptível do que o visual, principalmente referente a alarme. A probabilidade de detecção de um sinal varia grandemente com a frequência do sinal; a detecção é muito mais provável para sinais freqüentes do que para raros. Existe um efeito de vigilância, de modo que o desempenho tende a falhar com o tempo.

Outro tipo de tarefa de vigilância está é a inspeção. Em geral, há uma maior probabilidade de erro em uma tarefa de inspeção onde

1. ela é passiva,
2. a discriminação requerida é simples,
3. a taxa de defeito é baixa
4. a inspeção é rotineira e continua.

Quando há características ativas, como anotar medições para detectar o defeito, a taxa de defeito é alta e a inspeção é alternada com outra tarefa, a probabilidade de erro é diminuída.

Comportamento na Emergência

Uma tarefa de emergência não é tão bem definida como uma tarefa simples ou de vigilância e sua complexidade é variável. O fator comum nas tarefas de emergência é a stress. Há muito menos experiência

disponível relacionada com tarefa de emergência.

É interessante como a probabilidade de erro diminui quase exponencialmente com o tempo decorrido após uma emergência.

t	60 s	5 min	30 min	n horas
q	1	0,9	10 ⁻¹	10 ⁻²

11. Treinamento

O treinamento dos operadores de processo é uma área em que se pode conseguir muito e, em geral, as indústrias devotam grande esforço.

Seleção de Pessoal

Não há roteiros disponíveis para selecionar os operadores de processo, principalmente, por causa da dificuldade de definir os critérios para seu desempenho. Os testes de seleção normalmente serve apenas para eliminar os indivíduos totalmente inconvenientes.

O ponto de partida da escolha é o conhecimento das habilidades necessárias para o operador. Elas incluem a detecção do sinal, o filtro do sinal, estimação de probabilidade, avaliação do estado do sistema, o controle manual e o diagnóstico da falha. Os testes podem ser úteis para medir estas habilidades, usando inclusive simuladores a computador. É também importante considerar as qualidades pessoais do operador, que deveria ser

1. **responsável**, capaz de fazer o julgamento satisfatório em matéria de descrição, de modo que seu trabalho não necessite de verificação freqüente pelos superiores.
2. **consciente**, pronto para tomar decisão e cuidado extras, sem instruções diretas, quando a situação o exigir.
3. **confiável**, nunca cometendo erros, esquecendo instruções, ignorando indicações importantes etc. ou falhando em suas tarefas determinadas.
4. **íntegro**, capaz de relatar a verdade aos superiores, não escondendo os fatos quando suas próprias ações possam ter efeitos adversos.

Outros fatores importantes são o temperamento, motivação e habilidades sociais. O temperamento inclui a resposta à monotonia e à stress. A motivação é parcialmente um assunto individual, mas é também influenciado pelo projeto do trabalho. As habilidades sociais cobrem a larga faixa de comunicação com os outros envolvidos no trabalho.

O trabalho do operador requer um alto grau de inteligência, particularmente em grandes plantas, mas não é necessário procurar um QI elevado ou um grau universitário. O título acadêmico as vezes piora o operador.

Treinamento e Educação

Há uma distinção entre treinamento e educação; treinamento é específico a uma tarefa ou trabalho particular; a educação é mais geral.

A diferença pode ser vista claramente na evolução da formação de técnicos de manutenção eletrônicos. Inicialmente, há uma educação geral em eletrônica, mas isso não garante que o pessoal já possa reparar os equipamentos. Depois, há um treinamento específico para as tarefas de diagnóstico envolvidas.

Princípios de Treinamento

O trabalho do instrutor é o de observar, analisar e fornecer a quantidade certa, do tipo certo, no tempo certo de informação ao treinando. Sua tarefa é encontrar quais os fatores afetam o aprendizado da habilidade com que ele está envolvido, observar os efeitos de sua alteração e tentar arranjar as melhores combinações.

O conteúdo do treinamento deve ser apropriado, o que significa estar relacionado com as dificuldades da operação. O treinamento deve ser feito numa cadência apropriada. Ele deve prover realimentação do resultados, desde que isso é essencial ao aprendizado.

A motivação é outro fator importante e isso pode ser reforçado, reconhecendo o desempenho bem sucedido e adaptando as falhas objetivamente pela explicação da causa e não de um modo condenatório.

Há um numero de problemas clássicos no treinamento. Os períodos devem ser espaçados ou associados juntos. A tarefa pode ser aprendida por inteiro ou por

partes. A tarefa pode ter de ser feita sob algum tipo de stress.

Uma questão particularmente importante é a transferência de habilidade de uma tarefa para outra. É possível, por exemplo, conseguir bom desempenho em uma tarefa particular usando métodos tais como árvores de decisão que deixam pouco para o operador, mas a penalidade tende a ser que não se pode transferir a habilidade para outras tarefas.

Treinamento do Operador

Alguns aspectos do treinamento do operador de processo são mostrados abaixo. Em geral, é errado fornecer várias aulas sobre áreas como detalhes do projeto do processo ou dos programas de computador do processo; é melhor tocar diretamente nos problemas próprios do operador.

Ainda, o operador precisa entender o diagrama de fluxo do processo, as operações unitárias que compõem o processo e o sistema de controle. Em adição, ele deve conhecer basicamente os objetivos e os limites de operação da planta e as possíveis alterações das prioridades que podem ocorrer.

O operador também requer conhecimentos do equipamento da planta e a instrumentação. Em particular, ele deve ser capaz de identificar os itens e saber fazer as manipulações das quais ele é o responsável.

Há numerosos procedimentos de operação que devem ser conhecidos, como partida (*start up*), desligamento (*shut-down*), processo batelada e todas as outras rotinas sequenciais. O operador precisa aprender a administrar falhas e em particular, a interpretar o sistema de alarme, diagnosticar falhas e detectar defeitos incipientes e informado dos procedimentos de emergência.

O sistema de ordem-de-serviço em uma planta é muito importante e o operador deve conhecer corretamente o sistema usado.

O treinamento em combate ao fogo é um importante aspecto de trabalho de emergência. O melhor treinamento é fornecido por exercícios realísticos de

combate ao fogo, em local especialmente dedicado.

Vícios e más práticas operacionais se desenvolvem na maioria das plantas; exemplo típico é a operação de fornos em temperaturas que reduzem drasticamente a sua vida.

O operador tem uma importante tarefa em comunicar a informação acerca da operação da planta para outras pessoas, como instrumentistas, eletricitas, pessoal de segurança.

Tab. 6.9. Aspectos do Treinamento

1. Objetivos, economia, limites, prioridades do processo
2. Diagrama de fluxo do processo
3. Operações unitárias
4. Rações do processo, efeitos térmicos
5. Sistemas de controle
6. Qualidade dos materiais e produtos do processo
7. Efluentes e resíduos do processo
8. Equipamento da planta
9. Instrumentação
10. Identificação dos equipamentos
11. Manipulação dos equipamentos
12. Procedimentos de operação
13. Manutenção e limpeza dos equipamentos
14. Uso de ferramentas
15. Sistemas de permissão
16. Falha do equipamento e dos serviços
17. Administração de falhas
 - a) monitoração do alarme
 - b) Diagnose de falha
 - c) Detecção de defeitos
18. Procedimentos de emergência
19. Combate ao fogo
20. Vícios de operação
21. Comunicação, relatórios, registros.

Tab. 6.10. Tópicos de Treinamento de Segurança

1. Responsabilidade dos trabalhadores pela segurança
2. Ambiente legal, referente a Saúde Ocupacional e Segurança do trabalho
3. Política de segurança da companhia, organização e arranjos, em particular, regras gerais de segurança, pessoal de segurança, comitês de segurança, CIPA
4. Perigos específicos de produtos e processos
5. Incêndio/explosão, perigo (mistura inflamável, fonte de energia). Fontes de ignição e precauções, incluindo classificação elétrica de área, eletricidade estática, solda, fumar. Propagação do fogo, portas corta chama. Ação na descoberta de fogo ou vazamento não inflamável.
6. Perigo tóxico. Ação em descoberta de vazamento tóxico.
7. Arranjos de emergência, incluindo sinais de alarme, caminhos de fuga, pontos de reunião.
8. Roupas protetoras, uso e local do equipamento.
9. Métodos de combate ao fogo, uso e local do equipamento.
10. Métodos de salvamento, uso e local do equipamento.
11. Métodos de primeiros socorros, uso e local do equipamento.
12. Elevação e manipulação
13. Sistemas de permissão
14. Segurança, áreas restritas
15. Almoxarifado
16. Relatórios de acidente
17. Aspectos médicos e de saúde
18. Historias de casos.

Tab. 6.11. Tópicos do Treinamento Para Gerentes

1. Responsabilidade gerencial pela segurança e prevenção de perdas
2. Exigências legais, principalmente relacionadas com Saúde e Segurança no trabalho.
3. Princípios de segurança e prevenção de perdas
4. Sistema de gerenciamento da companhia em relação a segurança e prevenção de perdas.
5. Política, organização e arranjos de segurança da companhia, incluindo pessoal de segurança, CIPA.
6. Perigos de produtos químicos e processos específicos
7. Sistemas de pressão
8. Sistemas de trip
9. Princípios de avaliação independente
10. Procedimentos de manutenção e modificação da planta, incluindo permissão de trabalho e autorização de modificações
11. Prevenção e proteção contra fogo
12. Planejamento de emergência
13. Treinamento de pessoal
14. Realimentação da informação
15. Armazenamento correto
16. Fontes de informação sobre segurança e prevenção de perdas, incluindo pessoal e literatura
17. Historias de casos

12. Display para o Operador

12.1. Introdução

As medições do processo são feitas no equipamento em operação e em materiais sólidos, líquidos ou gasosos que o equipamento do processo manipula. As medições quantitativas podem ser divididas em duas categorias:

1. Medição da condição do material ou do equipamento. Exemplos são nível em vaso, pressão em tubulação, vazão em tubulação e dutos e temperatura de materiais ou equipamentos em operação.
2. Medição de propriedades físicas dos materiais manipulados. Estas medições incluem a medição de densidade, viscosidade, pH ou percentagem de um componente em uma mistura.

As medições do processo, para terem utilidade prática e uso imediato, devem ser feitas em tempo real, isto é, as medições devem ser contínuas e atualizadas. A medição exata da informação deve estar disponível no momento que ela pode ser solicitada. Quando se toma uma amostra para fazer medição e análise no laboratório tem-se um método que não pode ser chamado de tempo real.

O tipo de medição necessária determina o projeto do sensor a ser usado. O sensor deve produzir um sinal de saída que se relaciona de modo previsível com os valores medidos da variável sendo medida. A complexidade do sensor para desempenhar sua função terá um efeito em seu custo e seu desempenho quando usado no ambiente hostil da indústria. A saída do sensor será tomada por um instrumento de leitura (*display* ou *readout*) que pode interpretá-la e apresentar a medição em termos do valor da variável sendo medida. Normalmente, o sinal que sai do sensor e vai para o instrumento de display é condicionado ou modificado para facilitar sua apresentação. Geralmente, os condicionadores de sinal são instrumentos cegos, pois não apresentam nenhuma indicação do valor do sinal manipulado.

A primeira das leis fundamentais do controle de processo diz:

Todo controle de processo começa com a medição e a qualidade do controle obtido nunca pode ser melhor que a qualidade da medição na qual ele se baseia.

A partir desta lei, deve-se dar tanta atenção à medição quanto à teoria de controle. Infelizmente, isto não acontece na prática atual. Hoje, os maiores avanços da tecnologia de instrumentação acontece com os instrumentos de controle, montados na sala de controle. Muito pouca coisa muda no desenvolvimento e uso dos sensores e das válvulas de controle.

12.2. Display da Medição

O ser humano possui cinco sentidos: visão, audição, olfato, paladar e tato. No processo de medição, somente a visão é usada realmente. Como consequência, independente do tipo da medição, ela deve ser convertida em uma leitura visível. No processo de alarme, também se usa a audição.

Os métodos mais comuns de apresentar a medição são:

1. Um ponteiro móvel através de uma escala
2. Uma pena desenhando um gráfico em um papel
3. Um medidor apresentando a medição através de um conjunto de números
4. Uma apresentação em uma tela de um terminal de vídeo, em que o valor da medição é mostrado como um número digital ou através de algum método pictorial, como a altura de uma barra gráfica.

O indicador com ponteiro e escala e o registrador com pena e gráfica são ambos instrumentos analógicos. O medidor com leitura através de números e de barra gráfica são digitais. O display digital não é nem mais preciso e nem mais exato que o analógico, mas apenas mais conveniente, pois há menor probabilidade de erro humano na leitura do valor medido.

Em operações de grandes plantas, especialmente aquelas que envolvem processos contínuos, é usual coletar todas as informações importantes da planta em um local centralizado de modo que estas informações possam ser monitoradas juntas pelos operadores de processo. A outra alternativa é ter as indicações e

registros no próprio local do processo, onde se requer operadores andando através da planta para ler os instrumentos. A complexidade e a segurança das plantas atuais não permitem esta configuração de indicadores locais.

A necessidade de uso da informação em locais distantes entre si causou o aparecimento de novos instrumentos. Quando as medições devem ser transmitidas para um local distante, dois instrumentos são necessários além do sensor. O primeiro é o transmissor, que faz a medição necessária e a converte em um sinal padrão, pneumático, eletrônico ou digital, proporcional ao valor da medição, O segundo é um instrumento receptor, que recebe o sinal transmitido e o converte de volta para a leitura real da medição, na unidade de engenharia apropriada.

Mesmo que a maioria dos medidores meça a variável de modo contínuo, os sistemas digitais atuais podem fazer a leitura dos sinais de modo periódico e não contínuo. Estes sistemas fazem a amostragem da medição em intervalos predeterminados. Se estas indicações possuem melhor ou pior informação acerca da variável sendo medida é assunto de muita discussão.

Faixa de Medição

Qualquer medidor do processo é capaz de medir valores de uma variável de processo somente entre limites fixos, inferior e superior. Estes limites definem a faixa de medição da variável. Exemplos de faixa de medição são:

1. 0 a 5 m de nível de líquido em um vaso
2. 0 a 1000 kPa de pressão
3. 0 a 10 m³/s de vazão
4. 20 a 80 °C.

A habilidade de um instrumento fazer qualquer medição é necessariamente limitada aos valores da faixa medida que caem dentro da faixa de medição. O instrumento não pode medir qualquer valor que seja menor que o limite inferior de sua faixa de medição nem maior que seu limite superior. Como consequência, deve-se ter cuidado razoável quando se seleciona a faixa de medição de um instrumento. As variações que podem ocorrer no valor da

variável do processo a ser medida devem ser considerados.

É comum substituir a palavra a por um hífen, quando se estabelece a faixa de medição. Assim, 0 a 1000 kilopascals se torna 0-1000 kPa e 20 a 80 graus Celsius se torna 20-80 °C. Esta convenção não é satisfatória quando se tem valores limites na faixa de medição e o hífen pode ser confundido com o sinal menos. A melhor prática é escrever a palavra a. Exemplos: a faixa de pressão diferencial de -5 a +5 kPa; a temperatura de -20 a +50 °C.

Toda faixa de medição varia de 0 a 100% mas nem toda faixa começa de zero. É possível e comum se ter uma faixa de temperatura de 20 a 50 °C, que para uma aplicação particular, é mais conveniente que a faixa de 0 a 100 °C.

Largura de faixa

A largura de faixa de um medidor é a diferença algébrica entre o limite superior e o inferior da faixa de medição, tomado sempre em valor absoluto. Como exemplos, tem-se

1. faixa de 0 a 100 °C, largura = 100 °C
2. faixa de 20 a 100 °C, largura = 80 °C
3. faixa de -20 a 100 °C, largura = 120 °C
4. faixa de -40 a 0 °C, largura = 40 °C
5. faixa de -40 a -10 °C, largura = 30 °C

Geralmente vazão e nível são grandezas cujas faixas começam de zero; temperatura geralmente tem faixa com zero suprimido (por exemplo, 20 a 100 °C)

A unidade da largura de faixa é a mesma da faixa.

A precisão do instrumento geralmente é expressa em percentagem da largura de faixa e por isso é importante escolher corretamente a largura de faixa de medição do instrumento.

Elevação e Supressão de Zero

A precisão de um instrumento geralmente é expressa em percentagem da largura de faixa. Quanto menor a largura de faixa, melhor é a precisão do instrumento. Faixas de medição de nível e vazão inevitavelmente começam em zero, de modo que há pouca oportunidade de diminuir a largura de faixa pela diminuição do limite inferior da faixa.

Pressão e temperatura podem normalmente ter o limite inferior diferente de zero. Por exemplo, quando se quer medir uma temperatura de 110 °C, não é conveniente especificar uma faixa de 0 a 200 °C. A faixa mais adequada é de 50 a 150 °C, que encurta a largura de faixa para 100 °C e melhora a precisão de um fator 2.

Ajustando a faixa de medição de modo que 0% não seja 0, obtém-se uma faixa com supressão ou elevação de zero. A faixa onde o 0% é maior que 0, como 50 a 150 °C é chamada de faixa com *zero suprimido*. A faixa onde o 0% é negativo, como -20 a 100 °C, é chamada de faixa com *zero elevado*.

Quando se diminui a largura de faixa pela supressão ou elevação do zero deve-se tomar o cuidado de

1. garantir que todos os valores antecipados da variável medida ainda estarão entre os limites inferior e superior da faixa.
2. garantir que o medidor selecionado para a aplicação é realmente capaz de ter o zero deslocado.

12.3. Desempenho do instrumento

Embora o operador não seja especialista de instrumentação (a não ser que tenha sido um instrumentista que mudou de função por causa do maior salário de turno), ele precisa ter uma noções básicas de instrumentação, para poder se comunicar de modo eficiente com o instrumentista e para entender as capacidades e limitações do instrumento.

O objetivo de usar instrumentação para monitorar e controlar o processo é justamente para assistir e ajudar o operador em seu trabalho de rotina. Os instrumentos são lidos e atuados pelo operador. Assim, é fundamental que o

operador entenda alguns conceitos de instrumentação.

Sensitividade

Sensitividade é a capacidade de um instrumento detectar pequenos sinais.

Nenhum medidor industrial possui sensibilidade infinita. Quando a alteração da variável do processo sendo medida se torna cada vez menor, atinge-se um ponto onde o medidor se recusa a responder. A sensibilidade do medidor é a menor alteração na variável de processo para a qual o medidor irá responder alterando sua saída. A sensibilidade é usualmente expressa como uma percentagem da largura de faixa.

A maioria dos medidores industriais possuem uma sensibilidade da ordem de 0,2% da largura de faixa. Assim, para um medidor cuja faixa é de 100 a 300 °C, a sensibilidade seria de 0,2% de 200 °C, que vale 0,4 °C. Isto significa que se a variação da temperatura medida for menor que 0,4 °C, o medidor não irá responder.

Se a faixa acima pudesse ser diminuída para 150 a 250 °C, a sensibilidade da medição seria melhorada para 0,2 °C ($0,2\% \times 100 \text{ °C} = 0,2 \text{ °C}$). A sensibilidade da medição é importante para o controle automático. Se o sistema de medição do controlador não reage às alterações na variável controlada, então o controlador não gerará nenhuma ação de controle.

Resolução

Resolução é um parâmetro associado principalmente ao indicador analógico. Quando o ponteiro está entre duas graduações, qual é o valor correto? Sempre há um limite prático de número de graduações que podem ser marcadas em uma dada escala ou gráfico, por exemplo, 100. Um medidor com uma faixa de 0 a 300 °C normalmente tem uma escala com 100 divisões, com cada divisão representando 3 °C. Os valores aceitáveis para as divisões da escala são 1, 2 e 5 unidades ou algum fator de 10 destes valores. Deste modo, um indicador com faixa de 0-300 °C provavelmente tem 60 divisões na escala, com cada divisão representando 5 °C.

Se a faixa pudesse ser diminuída para 100 a 200 °C, seriam usadas 100 divisões

e cada divisão seria de 1 °C, que melhora a resolução de cinco vezes, de 5 para 1 °C. Esta melhoria é devida parcialmente a uma largura de faixa menor e parcialmente ao fato de se usar divisão de 1 °C em vez de divisão de 5 °C.

Erros de leitura são pouco prováveis em displays digitais, que são mais convenientes. A resolução de displays digitais depende do número de dígitos do conversor analógico para digital e freqüentemente está além da precisão da medição.

Não se deve pensar que há uma correlação entre a resolução e precisão. Qualquer instrumento pode ser feito com maior resolução, simplesmente expandindo sua escala e colocando mais graduações ou mais dígitos. Isto não melhora sua precisão. Um indicador coerente é aquele em que a resolução é compatível com a precisão. O indicador de nível de combustível de um automóvel é usualmente graduado em pontos de 25%. Como tal, ele é um bom exemplo de um instrumento coerente, desde que sua precisão provável é também de cerca de $\pm 25\%$.

Seja um indicador compartilhado de temperatura, com um indicador compartilhado por dezenas de termopares. Este indicador tem uma longa escala circular com um grande número de graduações, gerando uma grande confiança na precisão do instrumento. Se digital, ele teria dois dígitos depois do ponto decimal. Esta precisão de dois dígitos depois da virgula é justificada?

Os sensores que estão ligados ao indicador multiponto de temperatura são termopares. Assim, o indicador não mede temperatura mas pequenas forças eletromotrizes ou tensões. Cada pequena tensão deve ser convertida para uma leitura de temperatura usando uma correlação entre a saída do termopar e a temperatura. (Nos EUA, esta correlação é produzida pelo *National Institute of Standards and Technoogy* - NIST).

Um indicador de temperatura multiponto numa siderúrgica tem uma faixa de 0 a 1200 °C, com divisões de escala de 2 °C. Isto significa que o indicador pode ler 1 °C, que é a maior resolução sobre uma

faixa de 1200 °C. A precisão da medição da temperatura é tão boa assim?

Como um instrumento para medir militsensão, a precisão do indicador de temperatura é boa; o erro é provavelmente melhor do que 0,2 % da largura de faixa ou dentro de 2,4 °C. Porém, ainda fica a dúvida acerca do comportamento do termopar e a correlação temperatura x militsensão teórica.

Os fabricantes que fazem termopares do modo cuidadoso e sob condições controladas, publicam as especificações de seus termopares como tendo uma precisão de maior entre $\pm 2,2$ °C e $\pm 0,75\%$ do valor medido (tipo J). Assim, o indicador de temperatura tem um erro de ± 7 °C em qualquer temperatura medida.

Quando se consideram também os erros devidos aos fios de extensão de termopar e à junta de compensação, o erro total da malha pode chegar até a 20 °C e por isso não tem nenhum sentido prático usar uma escala com resolução de ± 2 °C.

Quando o indicador multiponto de temperatura é substituído por um display de console de computador a precisão não melhora, por que os sensores continuam sendo os termopares, a correlação continua sendo a da NIST, os fios de extensão continuam sendo usados.

Como conclusão, sempre deve se considerar a incerteza de toda a malha. É inútil e desperdício de dinheiro, usar um instrumento de display de painel com grande resolução (alto custo) quando se tem associado a ele uma malha com sensor e condicionador de sinal com incerteza muito maior que a do indicador. E quem faz a leitura do display deve saber o que está gerando e trazendo esta informação para o display.

Precisão

A precisão de uma medição existe em duas formas: estática e dinâmica. Ambos os tipos da precisão são importantes no controle e medição do processo, embora de modos diferentes. A precisão estática é geralmente requerida em situações de balanço, como em custódia, balanço de materiais e otimização de processo. A precisão dinâmica é importante em controle automático, desde que o desempenho do controle depende da

velocidade com que os componentes reagem.

A precisão estática é o status de como as indicações se agrupam em torno do valor verdadeiro da variável de processo senso medida sob condições estáticas ou de regime permanente. A precisão estática é uma característica saída versus entrada, a entrada sendo o valor verdadeiro da variável medida e a saída sendo a leitura do medidor.

O tempo não entra na determinação da precisão estática. Quando o valor de uma variável medida se altera, o medidor tem todo o tempo que ele precisa para assumir sua nova leitura. A precisão estática é usualmente expressa em termos do erro que se pode esperar. O erro potencial pode ser estabelecido em unidades de engenharia da variável do processo sendo medida ou em percentagem da largura de faixa medida.

A especificação da precisão do instrumento geralmente é feita de modo ambíguo, incompleto ou confuso. Por exemplo, *a precisão da medição de vazão com placa de orifício é de $\pm 3\%$* . Há várias coisas erradas nesta especificação; por exemplo:

1. precisão de $\pm 3\%$ tecnicamente significa que o erro é de $\pm 3\%$ e a precisão é de $\pm 97\%$.
2. independe do valor da medição, o erro é de $\pm 3\%$. O correto é dizer que o erro é, no máximo, igual a $\pm 3\%$ ou a incerteza está dentro dos limites de $\pm 3\%$.
3. a percentagem do erro deve estar relacionada com o valor medido ou com a largura de faixa. É incompleto e inútil somente escrever $\pm 3\%$; o correto é dizer $\pm 3\%$ do fundo de escala. Quando se conhece a faixa calibrada, imediatamente se tem o erro em unidade de engenharia.

Valor verdadeiro

Um erro somente pode ser detectado pela comparação do valor medido com um valor verdadeiro da variável medida. Isto levanta a questão interessante de como se sabe qual é realmente o valor verdadeiro. O valor verdadeiro é o valor teórico, nominal, *default*.

Na prática, o valor verdadeiro é aquele dado por um instrumento padrão, com precisão melhor que a do instrumento de medição e rastreado contra outros padrões superiores. Neste caso, este valor é chamado de verdadeiro convencional.

Muitos padrões podem fornecer o valor verdadeiro, porém, na prática industrial, tem-se restrições de seu uso, porque ele é muito caro, pouco robusto, eletricamente não seguro para uma área classificada ou incapaz de ser usado nas intempéries do ambiente que cerca o instrumento de medição.

A diferença entre o valor medido pelo instrumento e o valor verdadeiro é chamado de erro sistemático. Esta diferença também expressa a **exatidão** do instrumento.

Resposta Dinâmica

A resposta dinâmica se refere à habilidade do medidor seguir as variações no valor da variável medida. Em um teste de resposta dinâmica, o medidor recebe na entrada um sinal função do tempo; o degrau é a forma mais popular para o teste dinâmico. Registram-se o sinal de entrada aplicado e o sinal de saída do medidor.

Um medidor que tenha uma boa resposta dinâmica seguirá a variação da entrada sem atraso significativo. Se a resposta dinâmica é ruim, a saída será muito atrasada da entrada. Enquanto a saída estiver variando para atingir seu valor final ela está muito diferente da entrada; esta diferença é chamada de erro dinâmico. Qualquer diferença entre a saída real e a saída ideal depois de estabilizada, é chamada de erro estático.

A resposta dinâmica, também chamada de precisão dinâmica, do instrumento é um parâmetro importante em controle automático, desde que a velocidade com que cada um dos componentes do sistema de controle responde a uma variação da

entrada tem um efeito significativo no desempenho do sistema de controle. A precisão dinâmica do medidor de temperatura é geralmente ruim por causa da instalação do sensor dentro de um bulbo que é colocado dentro de um poço termal. A transferência de calor entre as paredes do bulbo e do poço é demorada. Como o sensor de temperatura mede realmente a temperatura dele, deve haver um atraso para ele atingir a temperatura que ele está medindo.

Reprodutibilidade

Reprodutibilidade é a habilidade de um instrumento ter a mesma saída toda vez que ele recebe a mesma entrada. A reprodutibilidade é um parâmetro da precisão. A relação entrada-saída de um medidor pode ser não-linear e as leituras do instrumento podem ser não precisas mas se ele tem uma boa reprodutibilidade, o medidor pode ser confiável para produzir a mesma leitura cada vez que ele mede o mesmo valor da variável do processo.

A reprodutibilidade é uma qualidade importante de qualquer instrumento. Um medidor que deu diferentes leituras em diferentes épocas quando ele media o mesmo valor da variável do processo não é muito útil.

Seletividade

Seletividade é a habilidade de um medidor responder somente às alterações da variável que ele mede e ser imune às outras alterações e influências.

Uma medição pode ser alterada por modificação ou por influência.

Modificação é quando a medição é afetada no elemento sensor, ou seja, na origem da medição. Por exemplo, quando se mede nível baseando-se na pressão diferencial da coluna líquida, a variação da densidade do líquido é um erro de modificação. Em vez de detectar apenas a altura do líquido (nível), o sensor de pressão diferencial também a densidade do líquido.

O erro de modificação pode ser eliminado ou diminuído, colocando uma malha de compensação. No exemplo acima, pode-se colocar um transmissor de densidade e dividir o sinal de saída do transmissor de nível pelo sinal de saída do

transmissor de densidade. A saída do divisor (compensador de densidade) depende apenas do nível do líquido do tanque.

Influência é quando a medição é afetada depois do sinal ser gerado pelo elemento sensor. Por exemplo, quando se mede nível com um transmissor eletrônico de pressão diferencial, o sinal de saída do transmissor pode ser afetado por ruído gerado por um transformador. O ruído afeta a medição, modificando o sinal de saída do transmissor e é exemplo de um erro de influência. Para ser eliminado ou diminuído, pode-se:

1. mudar o local de passagem dos fios do transmissor,
2. blindar os fios do transmissor
3. colocar um filtro no instrumento receptor do sinal do transmissor

Confiabilidade

Confiabilidade implica na habilidade de um instrumento se manter em operação, em um nível desejado de desempenho, sob condições ambientais determinadas, durante um determinado período de tempo e com um mínimo de atenção. A confiabilidade de um instrumento depende do cuidado com que ele é instalado. Para um instrumento ser bem sucedido na sua operação, ele deve ser bem selecionado, montado no lugar apropriado e ser usado corretamente.

A confiabilidade é importante por que um instrumento que necessita de manutenção freqüente para se manter em funcionamento, se torna mais caro do que um instrumento melhor que tem um maior custo inicial e um menor custo de manutenção. O modo correto de usar qualquer instrumento deve ser aprendido. Por isso, o pessoal de manutenção prefere usar uma mesma marca de instrumento. Marca que seja desconhecida geralmente é menos confiável, durante um determinado período de tempo.

12.4. Instrumentos Inteligentes

Nos anos 1980s apareceram os instrumentos chamados de *inteligentes*. Este é outro de muitos exemplos de nomes escolhidos estupidamente para instrumentos de processo. Não há nada particularmente inteligente nos medidores

inteligentes. Porém, eles possuem características acima e além das de seus predecessores e estas capacidades devem ser entendidas.

A capacidade adicional tornou-se possível pelo desenvolvimento da microeletrônica e a inclusão destes componentes admiráveis nos instrumentos de medição. Isto significa que um transmissor inteligente possui um pequeno computador em seu interior que geralmente lhe dá a habilidade de fazer duas coisas:

1. modificar sua saída para compensar os efeitos de erros
2. ser interrogado pelo instrumento receptor da malha.

As capacidades peculiares dos instrumentos inteligentes são:

1. habilidade de transmitir medições do processo, usando um sinal digital que é inerentemente um método mais preciso do que o sinal analógico. O principal obstáculo é a falta de padronização deste sinal digital e seu respectivo protocolo. Algum dia isto será resolvido.
2. Todos os instrumentos de medição industriais contêm componentes como foles, diafragmas e elos que exibem comportamento não linear ou cujo comportamento pode ser alterado por variações de temperatura, umidade, pressão, vibração, alimentação ou outros efeitos externos. Em outros casos, os efeitos não lineares aparecem por causa dos princípios de medição, como a medição de vazão com placa de orifício. A estratégia, até hoje, era usar outros instrumentos para compensar estes efeitos. Como os instrumentos inteligentes possuem uma grande capacidade computacional, estas compensações, correções e linearizações são mais facilmente conseguidas através de circuitos embutidos no microprocessador.
3. Além de transmitir a informação, o transmissor inteligente pode também *ouvir*. Um benefício prático disto é em verificação de pré-partida. Da sala de controle, o instrumentista pode perguntar ao transmissor que

está no campo qual é o seu número de identificação.

4. Um transmissor inteligente pode ter sua faixa de calibração facilmente alterada através de comandos de reprogramação em vez de ter ajustes mecânicos locais. Na medição de vazão com placa de orifício, as verificações de zero do instrumento requerem a abertura e fechamento das válvulas do distribuidor no transmissor.

12.5. Analógico e Digital

Antes de se tomar qualquer decisão com relação à filosofia de operação de uma planta, principalmente com relação à escolha dos painéis e consoles de instrumentos de controle, há um ponto fundamental que deve ser considerado. Mesmo havendo controladores PID *single-loop* que operam digitalmente, os painéis de instrumento usualmente tem controladores automáticos que operam no modo analógico usando o sinal de 4 a 20 mA cc. Assim, os méritos de operar de modo digital em vez de analógico pode ser um fator na decisão de painéis de instrumentos versus consoles.

Quem acredita ainda que o último sistema é aquele que opera totalmente digital é um sonhador, por isto nunca acontece. A maioria dos sensores usados para as medições de processo é analógica e na pode ser feito para mudar isto. As tentativas de se construir válvulas que operem digitalmente tem sido sem sucesso até agora. As válvulas de controle que funcionem de modo analógico, com atuadores a diafragma e mola ainda continuarão a ser usadas por longo tempo.

No mundo físico, há mais coisas acontecendo de modo analógico que de modo digital. Os planetas executam órbitas analógicas e não por degraus. Tudo que cresce, cresce de modo analógico. O tempo avança para frente de modo analógico. A temperatura de fervura da água varia de modo analógico entre a temperatura ambiente e 100 °C, à pressão atmosférica normal. O crescimento de uma pessoa se dá de uma forma analógica, atingindo 50% da altura final aos dois anos de idade.

As virtudes dos equipamentos analógicos são evidenciadas claramente nas medições. Uma medição feita de modo analógico é uma medição contínua. Nunca há qualquer perda de informação de medição. Às vezes, há um fator significativo na qualidade do controle. Um sistema digital, por sua vez, faz uma amostragem da medição em um intervalo programado. A informação da medição que acontece durante os pontos de medição nunca é considerada.

Os defensores dos sistemas digitais podem argumentar que os intervalos entre as amostras são muito curtos, possivelmente da ordem de 10^{-1} segundo e que o método digital efetivamente duplica uma medição analógica. A hipótese aqui é que não exista processo industrial que mude mais rápido que 10^{-1} segundo. Entendidos de controle de processo, que já viram alguns equipamentos operando de modo rápido, provavelmente não concordam com isto.

Há ainda pessoas que dizem que a amostragem digital dos dados de medição é realmente melhor que a analógica por que o método digital filtra os ruídos espúrios que podem aparecer na medição real. Quando se pensa assim, a resposta é que se a informação da medição que é rejeitada por que ela está entre os pontos de amostragem é má informação, então a medição é melhorada. Se a informação que é rejeitada é uma boa informação, então a medição fica pior.

O problema real com os componentes analógicos é que eles requerem calibrações periódicas para terem suas exatidões asseguradas em determinados intervalos. Se esta calibração não é feita como devia, então os erros aumentam. Sistemas digitais para processar e transmitir dados retêm melhor sua exatidão e neste aspecto, eles são definitivamente melhores. Além disso, quando uma medição é apresentada em forma digital (display de números) em vez da forma analógica (ponteiro e escala), a chance de erro humano é reduzida, quando se faz uma leitura.

12.6. Aspectos Psicológicos

Os vários efeitos do corpo humano de sentar várias horas em frente de um

monitor de vídeo, diferente de andar em frente de um painel de instrumentos analógicos, hoje já são totalmente estudados. Há estudos publicados acerca de cansaço de vista, dor de cabeça, problemas de coluna e de braços e outras desordens de saúde associadas com tão pouca atividade física e de permanecer longos períodos olhando monitores de vídeo. Hoje já existem bicicletas ergométricas e esteira para correr em grandes salas de controle.

12.7. Computador de Processo

Os computadores que estão agora operando plantas tem recebido sua dose de publicidade; isto está certo. Já, os projetos que tem sido escritos e que tem sido descritos em seminários técnicos parecem ser aqueles que são novos e têm já provado seu valor, melhor que aqueles que partiram, foram debugados e estão operando. Pouca publicidade ou nenhuma recebem os projetos que nunca satisfizeram suas expectativas e que foram abandonados, depois de muita perda de tempo e dinheiro.

Antes de entrar em um projeto de computador de controle de processo, é prudente considerar algumas dicas que outros já encontraram e agiram, para a proteção do projeto e do projetista. Projetos de computador de processo podem falhar para alguma das seguintes razões:

1. Falta de estabelecer os objetivos claros e específicos do projeto desde o início e depois apontá-los.
2. Falta de realizar o que os especialistas da companhia do sistema de computador, para quem o projetista foi apresentado quando o projeto estava ainda no estágio de cotação. O pessoal do computador deve conhecer o projeto para o qual o computador vai ser aplicado e o pessoal do processo deve conhecer as funções de operação do sistema do computador.
3. Falha de reconhecer o fornecedor que não pode satisfazer suas especificações pelo preço que ele cotou o sistema.
4. Falha de reconhecer que em muitas plantas a qualidade das medições

críticas do processo devem ser consideravelmente atualizadas se o computador deve usá-las efetivamente.

5. Falha de entender, em seu entusiasmo, que ninguém irá amar o computador. Computadores em linha com o processo geralmente aumentam muito o trabalho do pessoal de manutenção de instrumentos. Alguns operadores podem se sentir desafiados. O ponto de referência é que pode haver aqueles que realmente esperam que o projeto não dê certo.

Perigo Desconhecido

Os instrumentistas já detectaram uma correlação entre a adoção de sistemas baseados em computador de controle de processo e um aumento do número de grandes acidentes nas plantas. Percebe-se que há uma fraqueza inesperada na monitoração da planta por computador, em que as condições inseguras não estão sendo reconhecidas tão rapidamente como eram sob monitoração humana.

Esta observação, se verdadeira, contradiz o conceito que, como o computador pode processar os dados mais rapidamente que uma pessoa e ele nunca cansa, então ele pode monitorar as condições da planta mais efetivamente do que uma pessoa pode. É possível, portanto, que quando funções de monitoração importantes que eram feitas por pessoas são transferidas para o computador, as pessoas se tornam mais complacentes? Já foram relatados em relatórios de investigações de certos acidentes de plantas que um computador gerou um aviso de perigo que o operador não considerou como importante. Se os novos relatórios forem corretos, as plantas em Three Mile Island e Chernobyl foram monitoradas por computadores em linha com o processo.

Se esta tendência continuar, então mais e maiores desastres de plantas acontecerão. Precisa-se saber mais acerca dos efeitos psicológicos de passar todo o controle para o computador. A divisão das responsabilidades entre as pessoas e as máquinas necessita ser cuidadosamente pensada.

Controle centralizado

Recentemente, enquanto preparava um artigo sobre segurança em instrumentação de plantas de processo, foi descoberto algo curioso. Da informação encontrada nas estantes da biblioteca, foram construídas tabelas de número e escala de incidentes em plantas que ocorreram durante os anos. Embora os dados não sejam completos, os números indicavam um padrão coerente.

Antes de 1940, o número e escala dos incidentes de planta eram aproximadamente o mesmo, cada ano. Durante os anos 1950 e 60, o número de incidentes tendeu a diminuir cada ano, com nenhum grande aumento em tamanho do prejuízo. Na década de 1970 a 80 houve um aumento constante no número e tamanho dos incidentes.

A razão para os aumentos, de acordo com a maioria dos sumários dos bombeiros, é que há mais plantas e estas plantas estão usando mais materiais perigosos. Porém, isto tem sido uma tendência constante. Se o crescimento nas plantas fosse a razão completa, o número de incidentes durante os anos 1950 e 60 também teria tido um aumento.

Associando-se estas datas com o desenvolvimento da instrumentação, tem-se conclusões interessantes. Antes de 1940, a instrumentação era basicamente pneumática e mecânica. Os anos 1950 e 60 viram a introdução da instrumentação eletrônica em grande escala. Os anos 1970 e 80 tiveram um crescimento constante em equipamento digital centralizado.

O fato que as duas curvas parecem ter uma mesma correspondência não é surpreendente.

A introdução da instrumentação eletrônica trouxe mais, melhor e diferente informação para a sala de controle, que ajudou o operador. Mas desde que a sala de controle ainda estava dentro da planta, o operador ainda ia na área industrial, para acordar e esticar as pernas. Andando em torno de uma bomba, ele podia entender o seu ruído, batendo um martelo em uma tubulação fazia o lembrar de um registro anormal no gráfico e ele podia mandar alguém engraxar uma válvula. Um bom

operador tem um sentimento (*feelling*) por sua planta, que é cada vez menos considerado hoje.

Dilema da Visão Janela

A tendência atual em separar a planta da sala de controle elimina a capacidade do operador entender seu processo. Não há dúvida que, quando uma planta está operando normalmente, há vantagens óbvias com o controle com computador, com otimização, facilidade de balanço, controle total, computação. Meu ponto é que, com a visão de janela do homem de controle e nenhum contato direto com a planta, um pequeno incidente pode rapidamente se tornar mais sério. Se uma vazão aumenta muito, o homem de controle não pode saber imediatamente que o operador local bloqueou a válvula de controle por causa de vazamento no engaxetamento e está tentando estabelecer um bypass para evitar um desligamento total do processo. Tomar uma ação corretiva do teclado do computador pode tornar isto mais difícil para o operador local. Se o operador espera para informar o homem do controle deste problema, o vazamento pode flaquear e causar um incêndio.

Mesmo na sala de controle, um problema pode aumentar e não ser percebido na visão da janela. Uma malha pode se tornar instável, mas ainda não alarmar até que a oscilação atinja o nível de alarme. Se o operador está navegando entre vários displays para rastrear todas as malhas, uma oscilação lenta não será observável. Porém, em um painel convencional, o operador teria esta indicação. Também, uma variação lenta pode não ser observada rapidamente, mas pode ser um aviso prévio de um problema.

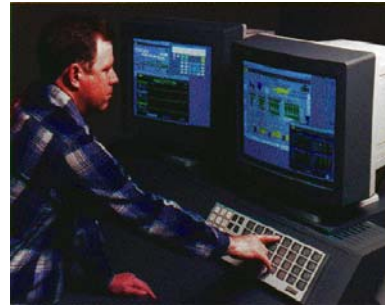


Fig. 6.19. Operador e a janela do processo

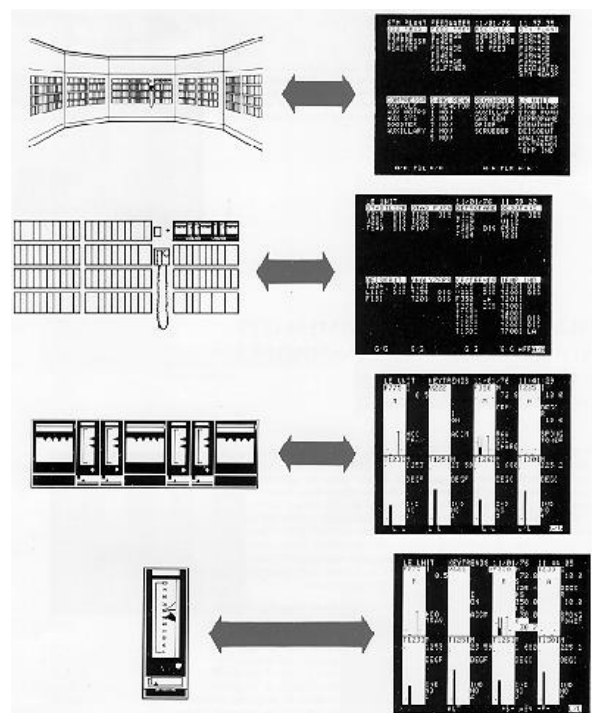


Fig. 6.20. Painel convencional e monitor de vídeo

Deve ser enfatizado que estão sendo consideradas situações anormais raras. Mas os incidentes da planta são, em geral, o resultado de circunstâncias raras e não operações rotineiras do dia a dia. Árvores de falha de alarme, programas de inteligência artificial e equipamentos semelhantes tratam de variações de operações normais, e não com o imprevisível. Sistemas de controle digital centralizados certamente melhoram as operações normais mas introduzem um grande fator de perigo. Para resolver isto, ainda é uma boa prática de engenharia de controle, garantir que as malhas críticas tenham seus registradores, alarmes e chaves de desligamento separados do Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) e Controlador Lógico Programável (CLP).

Conclusão

Esta questão inteira é um exemplo gráfico do axioma básico, quando se muda para um novo sistema para se livrar dos velhos problemas, inevitavelmente descobre-se que o novo sistema não eliminou de fato todos os velhos problemas, mas trouxe consigo um conjunto de novos problemas que devem ser resolvidos. Assim, de novo aparece a questão: estamos melhor com o novo modo que nos livra dos velhos problemas mas traz com ele uma batelada inteira de novos ou teria sido melhor com o velho sistema com seus problemas que já eram entendidos e a gente sabia como conviver com eles?



7. Referências Bibliográficas

(Todos estes livros pertencem à Biblioteca do autor e todos os livros, exceto os que os amigos tomaram emprestados e esqueceram de devolver, foram e são continuamente consultados para a elaboração e atualização de seus trabalhos.)

1. **Ahson, S.I.**, Microprocessors with Applications in Process Control, New Delhi, Tata Mc Graw-Hill, 1984.
2. **Allocca, J. A. & Stuart, A.**, Transducers: Theory & Applications, Reston, Prentice Hall, 1984.
3. **Barney, G.C.**, Intelligent Instrumentation, Hempstead, Prentice Hall, 2ª ed, 1988.
4. **Bennett, S.**, Real-Time Computer Control: an Introduction, Cambridge, Prentice-Hall, 1988.
5. **Bentley, J.P.**, Principles of Measurement Systems, 3ª ed., Singapore, Longman, 1995.
6. **Berk, A.A.**, Microcontrollers in Process and Product Control, New York, McGraw-Hill, 1986.
7. **Blaschke, W.S. & McGill J.**, Control of Industrial Processes by Digital Techniques, Amsterdam, Elsevier, 1976.
8. **Bollinger, J.G. & Duffie, N.A.**, Computer Control of Machines and Processes, Reading, Addison-Wesley, 1988.
9. **Bolton, W.**, Instrumentação & Controle, São Paulo, Hemus, ©? (sic).
10. **Bolton, W.**, Control Engineering, Malaysia, Longman Group, 1992.
11. **Bolton, W.**, Instrumentation & Process Measurements, Hong Kong, Longman Group, 1991.
12. **Bouwens, A.J.**, Digital Instrumentation, Singapore, McGraw-Hill, 1986.
13. **Boyce, J.C.**, Digital Logic - Operation and Analysis, 2ª ed., Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1982.
14. **Braccio, M.**, Basic Electrical and Electronic Tests and Measurements, Reston, Prentice Hall, 1978.
15. **Ceaglske, N.H.**, Automatic Process Control for Chemical Engineers, Tokyo, John Wiley - Topoan, 1956.
16. **Connell, B.**, Process Instrumentation Applications Manual, New York, McGraw-Hill, 1996.
17. **Considine, D.M.**, Chemical and Process Technology Encyclopaedia, New York, McGraw-Hill, 1974.
18. **Considine, D.M.**, Process Instruments and Controls Handbook, 2ª. ed., New York, McGraw-Hill, 1985.
19. **Considine, D.M.**, Process Instruments and Controls Handbook, 3ª. ed., New York, McGraw-Hill, 1993.
20. **Considine, D.M. & Ross, S.D.**, Handbook of Applied Instrumentation, New York, McGraw-Hill, 1964.
21. **D'Angelo, H.**, Microcomputer Structures, North Quincy, Byte Books, 1981.
22. **Deboo, G.J. & Burrous, C.N.**, Integrated Circuits and Semiconductor Devices, Tokyo, Kogakusha Mc Graw Hill, 1977.
23. **Dennis, W.H.**, Electronic Components and Systems, London, Butterworths, 1982.
24. **Doebelin, E.O.**, Measurement Systems - Application and Design, 4ª ed., Singapore, McGraw-Hill, 1990.
25. **Fink, D.G.**, Electronics Engineers' Handbook, New York, McGraw-Hill, 1975.
26. **Fisher, T.G.**, Alarm and Interlock Systems, Research Triangle Park, ISA, 1984.

27. **Fletcher, W.I.**, Engineering Approach to Digital Design, Singapore, Prentice Hall, 1980.
28. **Frederiksen, T.M.** Intuitive IC Electronics, New York, McGraw-Hill, 1982.
29. **Frenzel, L.E., Jr.**, Crash Course in Microcomputers, 2^a ed., Indianapolis, Howard W. Sams, 1984.
30. **Gayakwad, R. & Sikoloff, L.**, Analog and Digital Control Systems, Singapore, Prentice-Hall, 1988.
31. **Greenfield, J.D.**, Practical Digital Design Using ICs, 2^a.ed., New York, John Wiley, 1983.
32. **Harrison, T.J.**, Minicomputers in Industrial Control, Englewood Cliffs, ISA/Prentice Hall, 1983.
33. **Heffer, D.E., King, G.A. & Keith, D.C.**, Basic Principles and Practice of Microprocessors, London, Macmillan, 1981.
34. **Helfrick, A.D. & Cooper, W.D.**, Instrumentação Eletrônica Moderna, Rio de Janeiro, Prentice-Hall do Brasil, 1994.
35. **Herman, S.L. & Alerich, W.N.**, Industrial Motor Control, 2^a ed., New York, Delmar, 1990.
36. **Holland, R.C.**, Microcomputers for Process Control, Oxford, Pergamon Press, 1983.
37. **Hordeski, M.**, Computer Integrated Manufacturing, Blue Ridge Summit, TAB, 1988.
38. **Horowitz, P. & Hill, W.**, Art of Electronics, 2^a ed., New York, Cambridge, 1989.
39. **Hougen, J.O.**, Measurements and Control Applications, Boston, Cahners Book, 1972.
40. **Houpis, C.H. & Lamont, G.B.**, Digital Control Systems: Theory, Hardware, Software, Singapore, McGraw-Hill, 1983.
41. **Hughes, T.A.**, Programmable Controllers, Research Triangle Park, 1989.
42. **Hunter, R.P.**, Automated Process Control Systems - Concepts and Hardware, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1978.
43. **Instrument Society of America**, Standards and Practices for Instrumentation, Research Triangle Park, 1986
44. **Jacob, J.M.**, Industrial Control Electronics, Singapore, Prentice Hall, 1989
45. **Johnson, C.D.**, Process Control Instrumentation Technology, 4^a ed., Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1993.
46. **Jones, L.D. & Chin A.F.**, Electronic Instruments and Measurements, 2^a ed., Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1991.
47. **Kalani, G.**, Microprocessor Based Distributed Control Systems, London, Prentice Hall, 1988.
48. **Kelley, C.R.**, Manual and Automatic Control, New York, John Wiley, 1968.
49. **Kissell, T. E.**, Understanding and Using Programmable Controllers, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1986.
50. **Kletz, T. C.**, What Went Wrong?, 2^a ed., Houston, Gulf Pub. Co, 1988.
51. **Koren, Y.**, Computer Control of Manufacturing Systems, Tokyo, McGraw-Hill, 1983.
52. **Lees, F. P.**, Loss Prevention in the Process Industries, 2 vol, London, Butterworths, 1986.
53. **Leigh, J.R.**, Applied Digital Controle, 2^a. ed., London, Prentice-Hall, 1992.
54. **Lewis, E.E.**, Introduction to Reliability Engineering, Singapore, John Wiley, 1987.
55. **Lipták, B.G.**, Instrument Engineer's Handbook: Vol. 1 - Process Measurement, Philadelphia, Chilton, 1969.
56. **Lipták, B.G.**, Instrument Engineer's Handbook: Vol. 2 - Process Control, Philadelphia, Chilton, 1970.
57. **Lipták, B.G.**, Instrument Engineer's Handbook: Vol. 3 - Supplement 1, Philadelphia, Chilton, 1972.
58. **Lipták, B.G.**, Instrument Engineer's Handbook: Process Control, 3^a ed., Oxford, Butterworth-Heinemann, 1995.

59. **Lipták, B.G.**, Instrument Engineer's Handbook: Process Measurement, 3^a ed., Oxford, Butterworth-Heinemann, 1995.
60. **Lipták, B.G.**, Instrument Processing in the Industries, Philadelphia, Chilton, 1973.
61. **Lipták, B.G.**, Optimization of Unit Operations, Philadelphia, Chilton, 1987.
62. **Ludwig, R.H.**, Illustrated Handbook of Electronic Tables, Symbols, and Measurements, New York, Parker Pub., 1977
63. **Luyben, W.L. & Wenzel, L.A.**, Chemical Process Analysis, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1988.
64. **Madhava Rao, T.S.**, Power System Protection - Static Relays, New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1984.
65. **Magison, E. E.**, Electrical Instruments in Hazardous Locations, 3^a ed., 1978, Pittsburg, ISA.
66. **Malvino, A.**, Microcomputadores e Microprocessadores, Sao Paulo, McGraw-Hill, 1985.
67. **McDaniel, G.**, IBM dictionary of Computing, New York, McGraw-Hill, 13^a. ed., 1994.
68. **McNeill, D. & Freiburger, P.**, Fuzzy Logic, New York, Simon & Schuster, 1993.
69. **Mirsky, G.**, Microprocessors and Instrumentation, Moscow, MIR Publishers, 1987.
70. **Mollenkamp, R.A.**, Introduction to Automatic Process Control, Englewood Cliffs, ISA, 1984.
71. **Morris, A.S.**, Principles of Measurement and Instrumentation, 2^a ed., Hertfordshire, Prentice-Hall, 1993.
72. **Morris, S. B.**, Programmable Logic Controllers, Upper Saddle River, Prentice-Hall, 2000.
73. **Nachtigal, C.L.**, Instrumentation & Control, New York, John Wiley, 1990.
74. **Nagrath, I.J. & Gopal, M.**, Control Systems Engineering, 2^a ed., New Delhi, Wiley Eastern, 1982.
75. **Noltingk, B.E.**, Instrumentation - Reference Book, 2^a. ed., Oxford, Butterworth Heinemann, 1995.
76. **Norton, H. N.**, Sensor and Analyzer Handbook, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1982.
77. **O'Higgins, P.J.**, Basic Instrumentation Industrial Measurement, New York, McGraw-Hill, 1966.
78. **Osborne, A.**, Introduction to Microcomputers, Berkeley, Osborne/McGraw-Hill, 1980.
79. **Padmanabhan, T.R.**, Digital Systems and Microprocessors, New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1983.
80. **Parker, S.P., editor**, McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms, 5^a ed., New York, McGraw-Hill, 1994.
81. **Pasahow, E.**, Digital Integrated Circuits for Electronics Technicians, New York, McGraw-Hill, 1979.
82. **Patranabis, D.**, Principles for Process Control, New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1981.
83. **Patranabis, D.**, Principles of Industrial Instrumentation, New Delhi, Tata McGraw-Hill, 1984.
84. **Patrick, D.R. & Fardo, S.W.**, Industrial Process Control Systems, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1985.
85. **Platt, G.**, Process Control, Research Triangle Park, ISA, 1988.
86. **Prentice, G.**, Electrochemical Engineering Principles, Singapore, Prentice-Hall, 1991.
87. **Ravindranath, B. & Chandler, M.**, Power System Protection and Switchgear, New Delhi, Wiley Eastern, 1986.
88. **Rolston, D.W.**, Principles of Artificial Intelligence and Expert Systems Development, Singapore, McGraw-Hill, 1988.
89. **Sam Wilson, J.A.**, Control Electronics with an Introduction to Robotics, Chicago, SRA, 1986.
90. **Sandori, P.**, Logic of Machines and Structures, New York, John Wiley, 1982.
91. **Savas, E.S.**, Computer Control of Industrial Processes, Ljubljana, McGraw-Hill Mladinskaknjiga, 1965.

92. **Schmitt, N.M. & Farwell R.F.**, Understanding Automation Systems, Dallas, Texas Instruments, 1984.
93. **Scholls-Council/Loughborough**, Electronics, Systems and Analogues, London, Macmillan, 1975.
94. **Schram, P. J. & Earley, M. W.**, Electrical Installations in Hazardous Locations, Quincy, NFPA, 1988.
95. **Schuller C.A.**, Electronics - Principles and Applications, 2^a ed., Singapore, Mc Graw Hill, 1987.
96. **Segallis, W.**, Guide to Electronic Components, Boston, Cahner Bookds, 1975.
97. **Sianiko, H.W.** (editor), Human Factors in the Design and Use of Control Systems, New York, Dover, 1961.
98. **Simpson, C.D.**, Programmable Logic Controllers, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1994.
99. **Smith, C.A. & Corripio, A.B.**, Principles and Practice of Automatic Process Control, New York, John Wiley, 1985.
100. **Smith, R.J.**, Electronics: Circuits and Devices, New York, John Wiley, 1973.
101. **Sydenham, P.H.**, Measuring Instruments: Tools of Knowledge and Control, London, Peter Peregrinus, 1979.
102. **Tanenbaum, A.S.**, Computer Networks, 2^a ed., Upper Saddle River, Prentice Hall, 1995.
103. **Tokheim, R.L.**, Principios Digitais, Sao Paulo, Schaum/McGraw-Hill, 1983.
104. **Tuve, R. L.**, Principles of Fire Protection Chemistry, Boston, NFPA, 1976.
105. **Warnock, I.G.**, Programmable Controllers: Operation and Application, Cambridge, Prentice Hall, 1988.
106. **Webb, J.**, Programmable Logic Controllers, 2a. ed., Maxwell-Macmillan, 1992.
107. **Webb, J. & Greshock, K.**, Industrial Control Electronics, Singapore, Maxwell-Macmillan, 1992.
108. **Weiss, M.D.**, Microprocessors in Industrial Measurement and Control, Blue Ridge Summit, Tab Books, 1987.
109. **White, D.H.**, Elementary Electronics, New York, Harper & Row, 1966.
110. **Wilhelm, R.E., Jr.**, Programmable Controller Handbook, Hasbrouck Heights, Hayden, 1985.
111. **Wolf, S.**, Guide to Electronic Measurements and Laboratory Practice, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1973.
112. **Wong, Y.J. & Ott, W.E.**, Function Circuits: Design and Applications, New York, Mc Graw Hill, 1976.
113. **Zaks, R.**, From Chips to Systems: An Introduction to Microprocessors, Berkeley, Sybex, 1981.