



*ESCOLA TÉCNICA FEDERAL DE PALMAS
COORDENAÇÃO DA ÁREA INDÚSTRIA
CURSO DE ELETRO-ELETRÔNICA*

APOSTILA DE COMANDOS ELÉTRICOS

Prof. M.Sc. Valcí Ferreira Victor

Capítulo 1 – COMANDOS ELÉTRICOS

1.1 Introdução

Por comandos elétricos se entende a ação executada com o fim de ligar, desligar ou alterar a alimentação de energia elétrica de toda ou de parte uma instalação. Para isto se utilizam diversos componentes associados que permitem a um circuito de comandos elétricos além das funções básicas também a ação de proteger, controlar e sinalizar a operação.

Na maioria dos casos os circuitos de comandos elétricos estão associados à ligação de motores elétricos utilizados nos processos produtivos, no entanto, em máquinas de pequeno, médio e grande porte quase sempre se têm circuitos de comandos para aquecimento, iluminação, proteção, sinalização entre outras aplicações.

No estudo de comandos elétricos podemos destacar os seguintes objetivos:

- i. Conhecimento dos componentes e equipamentos utilizados em comandos elétricos;
- ii. Interpretação de diagramas de comandos elétricos;
- iii. Montagem de diagramas de comandos elétricos;
- iv. Elaboração de diagramas de comandos elétricos;
- v. Identificação de defeitos em sistemas de comandos elétricos;
- vi. Dimensionamento e especificação de componentes básicos diagramas de comandos elétricos;
- vii. Projetos de sistemas de comandos elétricos para automação de processos.
- viii. Orçamento de serviços de comandos elétricos.

1.2 Componentes e Equipamentos Utilizados em Comandos Elétricos

Em instalações que utilizam comandos elétricos os componentes e equipamentos utilizados são diversos. Estes são classificados geralmente como componentes, dispositivos ou equipamentos de: carga (motores, máquinas), proteção, acionamento, sinalização, medição e auxiliares.

No geral, os demais componentes de um circuito elétrico de comandos operam de forma que o elemento final (carga) possa ser controlado.

1.3 Interpretação de Diagramas de Comandos Elétricos

Uma parte fundamental no estudo de comandos elétricos é o entendimento do funcionamento dos diagramas de comandos. O conhecimento dos componentes de comandos elétricos é a base para esse entendimento. Desta forma pode-se, combinando os diversos tipos de componentes, obter circuitos que realizem as mais diversas funções.

1.4 Montagem de Diagramas de Comandos Elétricos

A montagem de diagramas de comandos elétricos é realizada com o fim de implementar circuitos elaborados quer pelo eletricitista montador, quer pelo projetista de comandos elétricos.

Nesta etapa pode-se observar que diferentes diagramas elaborados produzem um mesmo resultado em termos da operação do elemento a ser comandado, no entanto, para estes mesmos diagramas há diferenciação quanto ao tempo para montagem, quantidade e qualidade de material utilizada, confiabilidade do sistema, custo do investimento inicial, custo de operação, etc.

1.5 Elaboração de Diagramas de Comandos Elétricos

A elaboração de diagramas de comandos elétricos antecede a etapa de projetos e geralmente é uma das etapas mais sensíveis deste estudo visto que nela se observam aspectos decisivos quanto à maneira, quantidade, disposição, forma de utilização dos componentes para comando.

1.6 Dimensionamento de Componentes de Comandos Elétricos

O dimensionamento dos componentes utilizados deve ser realizado observando-se o binômio custo x benefício. Deve-se observar que esta etapa não está isolada, dela dependem aspectos do circuito como custo e confiabilidade do sistema de comandos. A especificação de componentes com capacidade inadequada à operação de cargas, para citar um exemplo prático, pode conduzir ao desperdício por super ou sub-dimensionamento.

1.7 Projetos de Sistemas de Comandos Elétricos

Esta etapa se constitui em um refinamento das duas etapas anteriores onde se observa não somente o circuito de comandos em si, mas também a inserção deste nas instalações elétricas na qual o mesmo será instalado.

Um bom projeto de comandos deve apresentar diversos desenhos que apresentem: o diagrama de comandos; o quadro de comandos internamente; o quadro de comandos externamente; a instalação do quadro; a instalação do elemento a ser comandado; os detalhes que facilitem a execução das instalações, e listas de materiais.

1.8 Identificação de Defeitos em Sistemas de Comandos Elétricos

O controle e manutenção de um sistema de comandos geralmente estão associados a sistemas em operação.

O projetista de um sistema de comando deve ter como um dos elementos norteadores a operação do mesmo no que dizem respeito ao controle e manutenção. A escolha dos componentes, a disposição dos mesmos, a manutenção preventiva, são alguns dos aspectos, entre outros, a serem considerados.

Nesta etapa também se observa a identificação de defeitos relacionados à operação do sistema.

1.9 Orçamento de Serviços de Comandos Elétricos

O orçamento de serviços de comandos elétricos pode ser considerado como a etapa final do estudo. Dependendo do tipo de comando ou atividade solicitada, projeto, adequação, instalação, manutenção, correção, controle, operação, consultoria, todas as etapas anteriores estarão relacionadas.

Desta etapa depende o êxito da execução de serviços junto aos clientes.

Capítulo 2 – MOTORES ELÉTRICOS

2.1. Introdução

Motores elétricos são máquinas que transformam energia elétrica em energia mecânica.

O universo dos motores elétricos apresenta diversos tipos de motores que se diferenciam segundo várias características, figura 2.1.

- Corrente de alimentação;
- Número de fases;
- Tipo de rotor;
- Tipo de excitação.

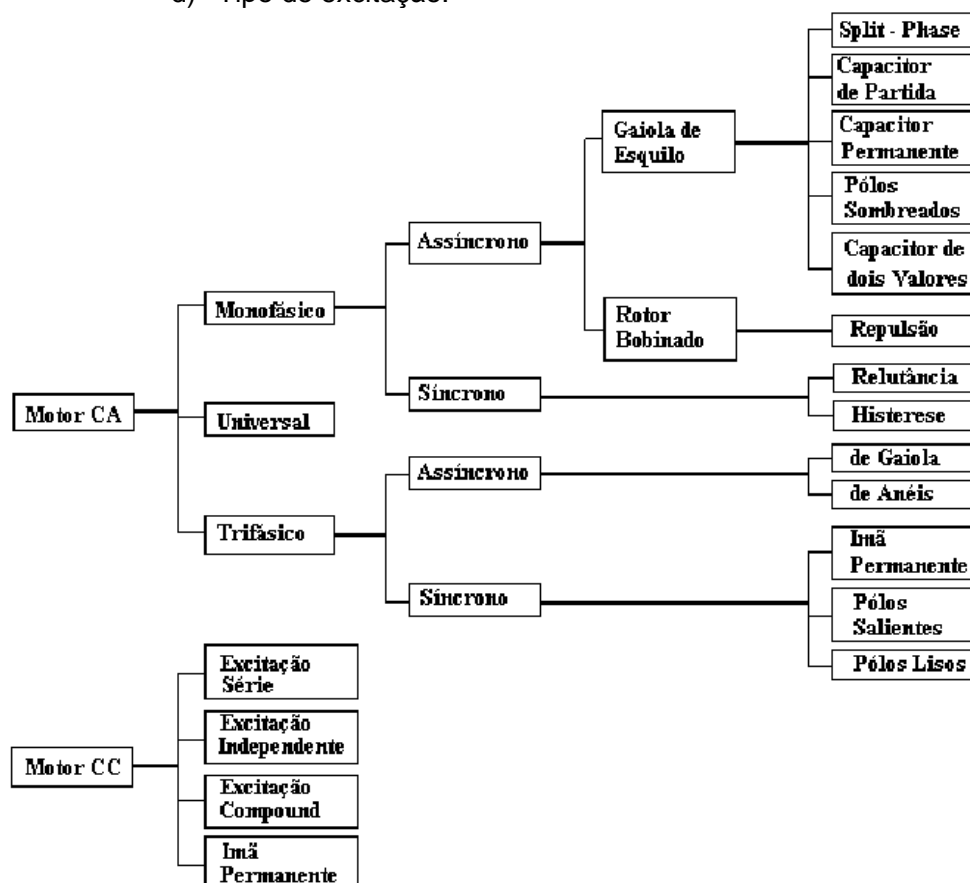


Figura 2.1 – Tipos de Motores Elétricos segundo a ABNT.

Além dos motores apresentados na figura 2.1 podemos encontrar outros como é o caso do motor de passo.

Devido às características robustez e baixo custo os motores mais utilizados são alimentados por corrente alternada, tipo indução, rotor em curto-circuito monofásicos ou trifásicos.

2.2. Redes de Alimentação

As tensões nominais de baixa tensão usuais no Brasil são 220/127V, 380/220V e 440/254V.

Os equipamentos monofásicos devem ser ligados utilizando-se uma das fases e o condutor neutro do sistema, neste caso a tensão no equipamento será igual tensão de linha dividida pelo fator $\sqrt{3}$.

2.3. Diagramas de Ligação de Motores Elétricos

Os motores elétricos possuem um conjunto de terminais que podem ser disponibilizados de forma que possam ser ligados para diferentes tensões de alimentação conforme o fechamento desses terminais.

O motor trifásico padrão tem os grupos de bobinas projetados para tensão nominal de 220V; no motor monofásico padrão os grupos de bobinas são projetados para tensão nominal de 110V.

A inversão do sentido de rotação no motor trifásico é realizada permutando-se duas fases quaisquer. Na maioria dos motores monofásicos a inversão é realizada quando se invertem os terminais do grupo de bobina de partida em relação ao grupo de trabalho; geralmente os terminais de maior numeração pertencem ao grupo de partida.

2.3.1. Motores Monofásicos de Fase Dividida

a) Motor de 2 terminais

Os motores monofásicos de dois terminais permitem a ligação numa tensão somente (110 / 220V) e somente em um sentido de rotação (horário / anti-horário).

b) Motor de 4 terminais

Estes podem ser de dois tipos:

- i. Permitem a ligação em uma só tensão e funcionam em qualquer um dos dois sentidos de rotação;
- ii. Permitem a ligação em duas tensões, mas funcionam em somente um sentido de rotação.

c) Motor de 6 terminais

Os motores monofásicos de seis terminais permitem a ligação em qualquer das duas tensões (110 / 220V) e também em qualquer dos sentidos de rotação (horário / anti-horário). Figura 2.2.

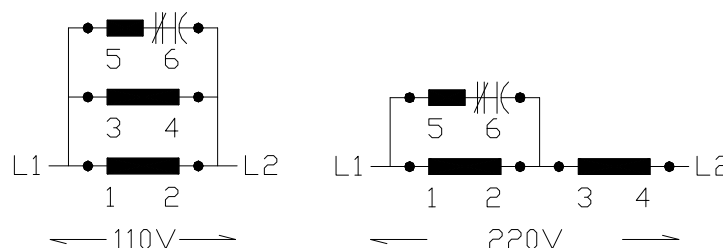


Figura 2.2 – Diagrama de ligação do motor de 6 terminais.

2.3.2. Motores Trifásicos

a) Motor Trifásico de 3 Terminais

Podem ser ligados em somente uma tensão: 220V ou 380V.

Não necessitam de fechamento na caixa de ligação do motor, bastando conectar os três terminais às três fases do sistema.

b) Motor Trifásico de 6 Terminais

Motor de 6 terminais – podem ser ligados em duas diferentes tensões: 220V e 380V. Figura 2.3.

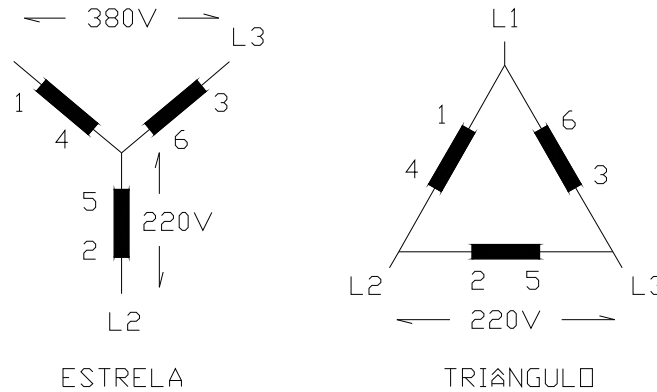


Figura 2.3 – Diagrama de ligação do motor de 6 terminais.

c) Motor Trifásico de 12 Terminais

Motor de 12 terminais – podem ser ligados em três diferentes tensões: 220V, 380V e 440V. Figura 2.4.

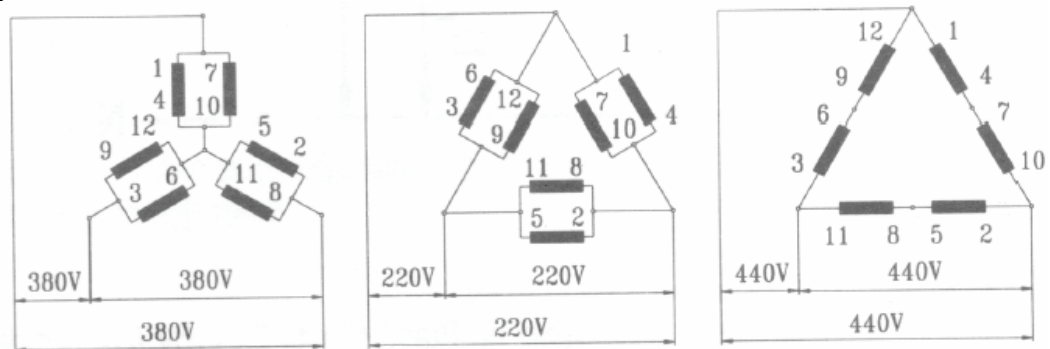


Figura 2.4 – Diagrama de ligação do motor de 12 terminais.

d) Motor Trifásico de 9 Terminais

Podem ser ligados em duas diferentes tensões: 220/440V ou 380/760V.

A Figura 2.5 o diagrama de ligação de um motor de 9 terminais para ligação em 220/440V.

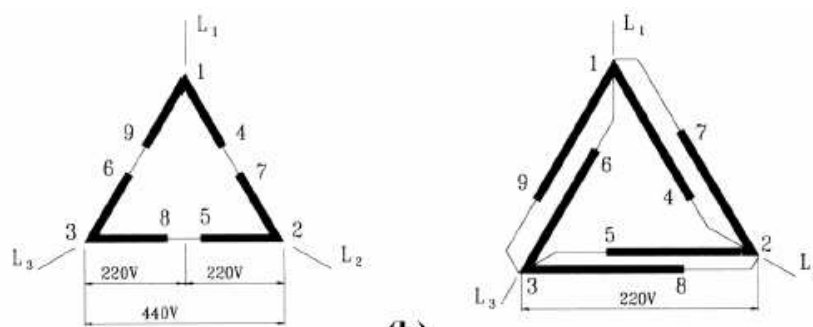


Figura 2.5 – Diagrama de ligação do motor de 9 terminais.

2.3.3. Identificação de Terminais de Motores Trifásicos de 6 Terminais

O motor elétrico, eletricamente falando, é constituído de duas partes principais: estator e rotor. O estator se constitui em vários grupos de bobinas enroladas em chapas de material ferromagnético.

Para fins de identificação dos terminais devemos considerar o motor como sendo um transformador de energia elétrica, figura 2.6.

Procedimento para identificação:

- i. Identificar com um instrumento cada um dos grupos de bobinas;
- ii. Numerar um grupo qualquer como sendo 1 – 4;
- iii. Ligar o segundo grupo em série com o primeiro;
- iv. Ligar a ambos uma fonte de tensão variável;
- v. Ligar um voltímetro aos terminais do terceiro grupo de bobinas;
- vi. Aplicar tensão de baixo valor e observar se há indicação de tensão no voltímetro.
- vii. Se há indicação de tensão então numerar o grupo como sendo 2 – 5 (o terminal 2 será aquele ligado ao 4);
- viii. Se não há indicação de tensão então numerar o grupo como sendo 5 – 2 (o terminal 2 será aquele ligado à fonte);
- ix. Trocar a posição do terceiro grupo com o grupo 2 – 5;
- x. Repetir o passo vi;
- xi. Se há indicação de tensão então numerar o grupo como sendo 3 – 6 (o terminal 3 será aquele ligado ao 4);
- xii. Se não há indicação de tensão então numerar o grupo como sendo 6 – 3 (o terminal 3 será aquele ligado à fonte).

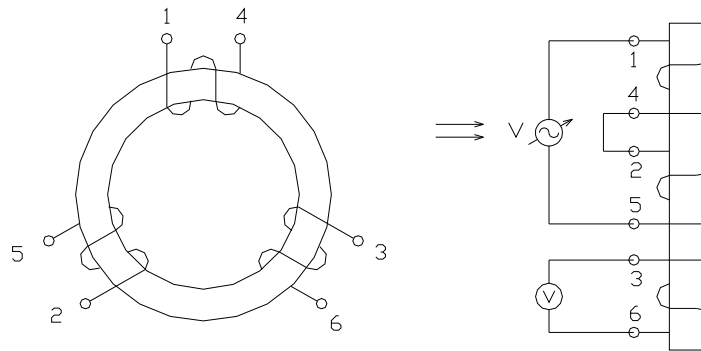


Figura 2.6 – Diagrama de identificação de terminais do motor.

Em alguns motores o teste pode ser realizado utilizando-se duas lâmpadas uma em série para identificação e alimentação dos grupos de bobinas do motor, e uma segunda lâmpada para identificação da ligação em série aditiva ou subtrativa ligada diretamente ao terceiro grupo de bobinas. Figura 2.7.

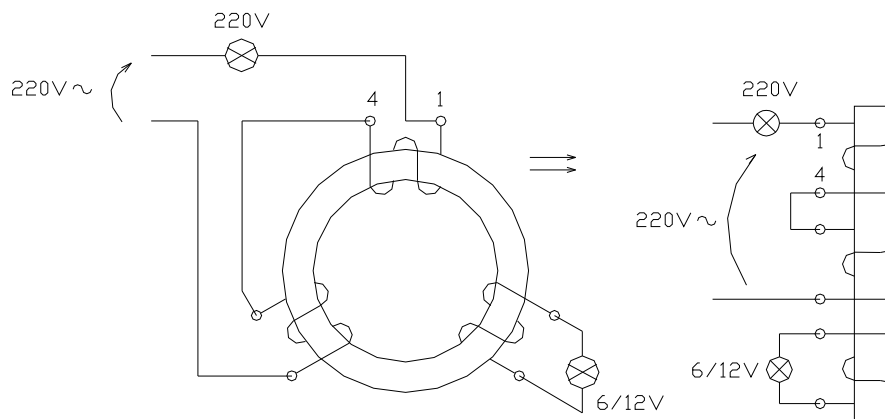


Figura 2.7 – Identificação de terminais do motor utilizando-se lâmpadas.

Capítulo 3 – DISPOSITIVOS UTILIZADOS EM COMANDOS ELÉTRICOS

3.1. Introdução

Os dispositivos utilizados em comandos elétricos são classificados em dispositivos de proteção, acionamento, sinalização, medição e auxiliares.

3.2. Dispositivo de Proteção

3.2.1. Fusíveis

Os fusíveis são dispositivos de proteção contra sobrecorrente (curto-circuito) que operam segundo curvas do tipo tempo x corrente. A Figura 3.1 apresenta fusíveis do tipo NH e Diazed.

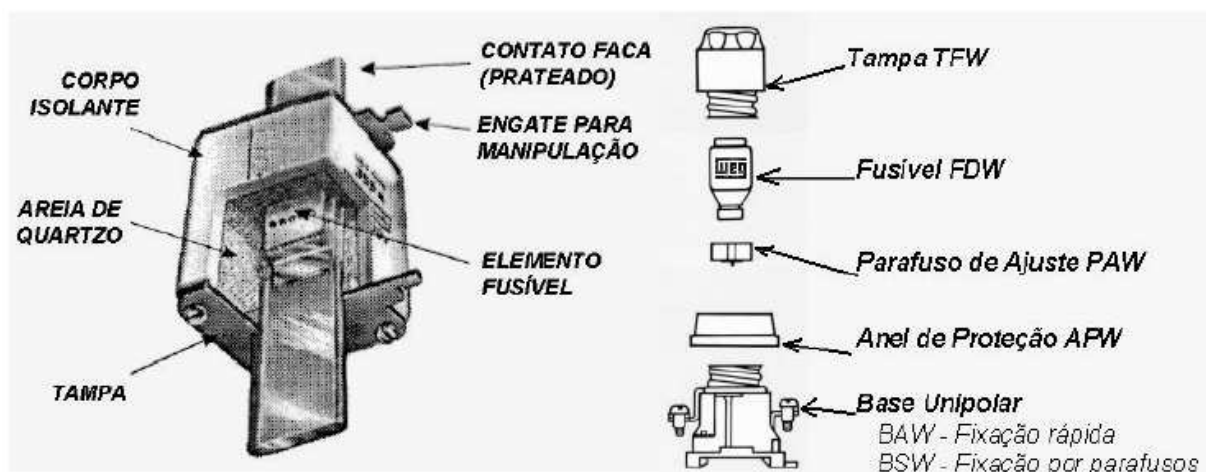


Figura 3.1 – Fusíveis NH e Diazed.

Ocorrendo elevação na corrente do circuito de forma que o elemento fusível que está no interior do fusível se funde ocorrerá a interrupção do circuito elétrico ao qual está ligado.

Os fusíveis utilizados para comando de motores elétricos são do tipo com retardo. Para o comando de cargas resistivas como lâmpadas incandescentes e banco de resistência utilizam-se fusíveis de ação rápida.

3.2.2. Relés Térmicos de Sobrecarga

Os relés térmicos de sobrecarga são componentes utilizados para proteção contra sobrecarga de circuitos ou motores elétricos.

O funcionamento do relé está baseado na dilatação de lâminas composta por dois metais de coeficientes de dilatação diferentes. Quando ocorre a sobrecarga a corrente que percorre o relé é suficiente para sobreaquecer as lâminas que se curvam operando a atuação de um contato elétrico que inserido em série com a bobina do contator desliga o circuito de comandos, que indiretamente desliga o motor elétrico. Figura 3.2.

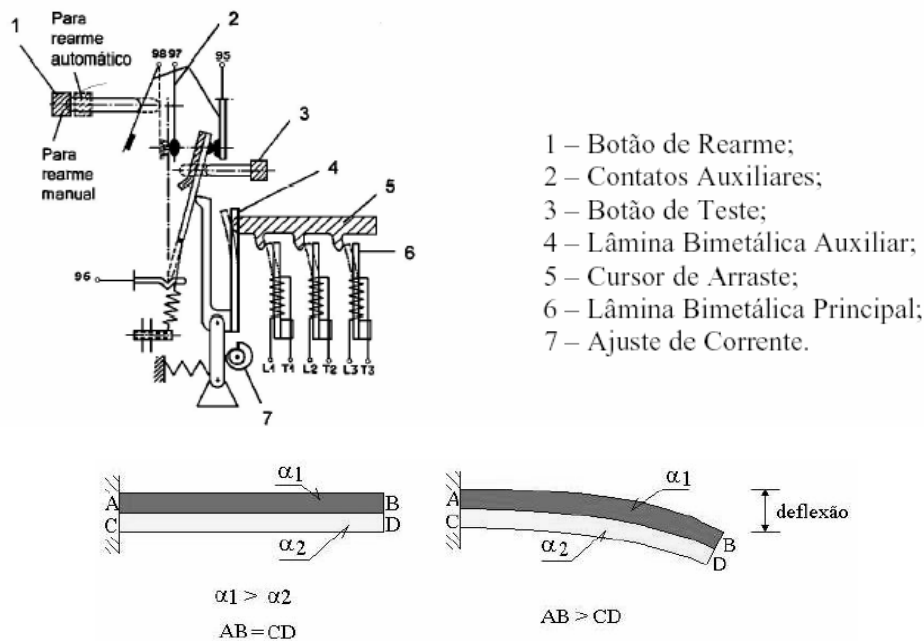


Figura 3.2 – Componentes do relé térmico de sobrecarga.

A Figura 3.3 apresenta alguns botões de comandos de um relé típico.

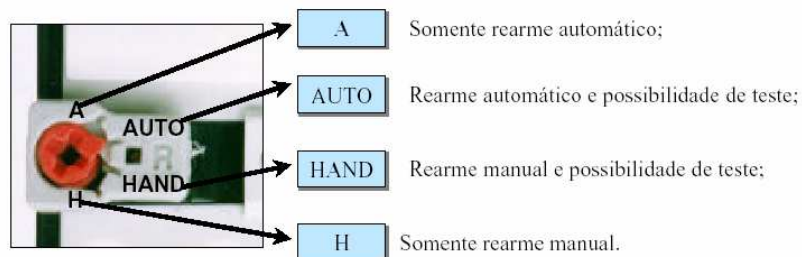


Figura 3.3 – Vista Superior de um Relé de sobrecarga.

O diagrama de ligação dos contatos de potência de um relé térmico de sobrecarga para um motor monofásico e bifásico respectivamente pode ser observado na Figura 3.4.

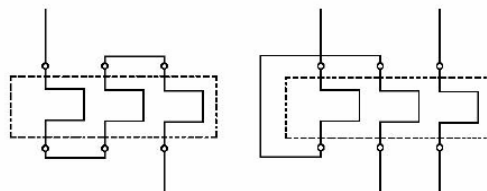


Figura 3.4 – Ligação do relé térmico para motor monofásico e bifásico.

O diagrama de ligação dos contatos de comandos de relés de sobrecarga pode ser observado na Figura 3.5.

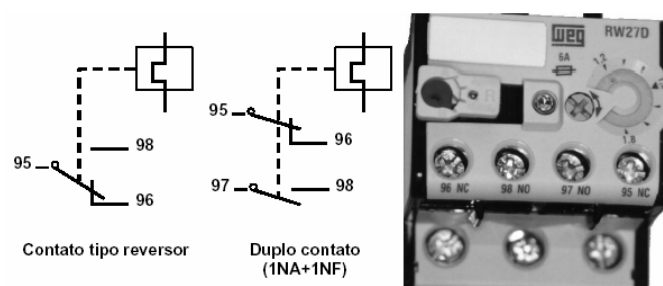


Figura 3.5 – Diagrama de contatos de comandos do relé térmico de sobrecarga.

3.2.3. Relé de Falta de Fase

Os relés de falta de fase são componentes eletrônicos que operam a abertura e/ou fechamento de contatos quando da ocorrência de falta de uma ou mais fases, também do neutro nos modelos que operam com neutro. Alguns modelos incorporam outras funções de monitoramento das fases se constituindo em relés de supervisão de linha. Figura 3.6.

Os contatos do relé de falta de fase operam de imediato quando em condições normais de operação e desligam com um pequeno retardo. Devem ser ligados em série no circuito da bobina do contator que se pretende comandar.

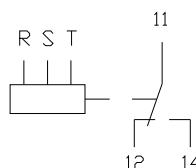


Figura 3.6 – Diagrama de contatos do relé de falta de fase.

3.3. Dispositivo de Acionamentos

Os dispositivos de acionamento são utilizados para interromper ou conectar um circuito elétrico. Em si tratando de comandos elétricos os dispositivos de acionamento realizam esta operação através de elementos conhecidos como contatos.

Os contatos são parte de um dispositivo de manobra, através do qual um circuito é ligado ou desligado. Por definição, os contatos são os elementos propriamente utilizados para comandar componentes de um circuito elétrico em condições normais de operação.

Quando se observa um diagrama elétrico devemos entender que os contatos não se atuam a si mesmos, são atuados pelos dispositivos aos quais pertencem.

Existe uma gama bastante grande e diversificada de dispositivos que operam segundo o monitoramento de alguma grandeza física, ou por alguma outra ação, para ocasionar o acionamento de contatos, no entanto, não é necessário o estudo de todos eles para ter a compreensão de diagramas de comandos elétricos. No quadro 3.1 podemos observar como o acionamento é realizado em alguns dispositivos para operação dos respectivos contatos.

COMPONENTE	ACIONAMENTO
Botão / Botoeira	Manual
Chave Fim de Curso	Mecânico
Contator / Relé	Eletromagnético
Controladores de Nível	Nível de um fluido
Pressostato	Pressão
Relé foto-elétrico	Luz
Relé de Tempo / Temporizador	Temporização do circuito eletrônico
Relé Supervisor de Fase	Variação de parâmetros nas fases
Relé Térmico de Sobrecarga	Dilatação de metais
Termostato	Variação de temperatura

Quadro 3.1 – Componente x Acionamento.

Os contatos podem ser classificados quanto ao tipo e quanto à capacidade de condução de corrente.

i. Tipo

Observa-se dois estados distintos de um contato: estado normal (ou de repouso) e o estado quando da operação do contato. Em um diagrama de comandos elétricos qualquer os contatos estão desenhados sempre na posição de repouso. Considera-se que o contato está no estado normal quando o dispositivo que o contém não atuou, ou seja, um contato normalmente fechado está fechado enquanto o dispositivo não operar.

Exemplo: o contato de uma botoeira permanece no estado normal enquanto a botoeira não for pressionada.

A Figura 3.7 apresenta três tipos de contatos utilizados: reversor, NF e NA

a) Normalmente Fechado (NF / NC)

É aquele que em condições normais de funcionamento está fechado, ou seja, ambos os terminais do mesmo se encontram eletricamente conectados enquanto o dispositivo ao qual pertence não está acionado, mudando esta condição para aberto quando da operação do dispositivo.

b) Normalmente Aberto (NA / NO)

É aquele que em condições normais de funcionamento está aberto, ou seja, ambos os terminais do mesmo se encontram eletricamente não conectados, enquanto o dispositivo ao qual pertencem não está acionado, mudando esta condição para fechado quando da operação do dispositivo.

c) Comutador / Reversor

É aquele que conecta eletricamente o terminal central do contato, que possui três terminais, a um dos outros dois terminais enquanto o dispositivo ao qual pertence não está acionado e desconecta este mesmo terminal central do terminal conectado anteriormente conectando-o ao outro terminal durante o tempo em que o dispositivo estiver acionado.

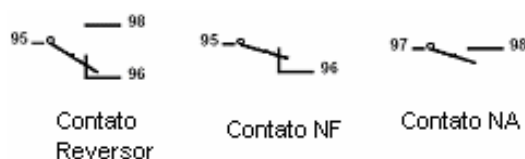


Figura 3.7 – Tipos de contatos.

ii. Capacidade

Quanto à capacidade de condução de corrente podem ser do tipo principal (de potência) ou auxiliar (de comando).

a) Contato Principal

Contato no circuito principal de um dispositivo de manobra. Este tipo de contato se caracteriza pela capacidade de condução de corrente adequada à operação de cargas. São contatos do tipo NA utilizados para conduzir e interromper correntes mais elevadas.

b) Contato Auxiliar

Contato localizado no circuito auxiliar de um dispositivo de manobra. Este tipo de contato se caracteriza pela baixa capacidade de condução de corrente, da ordem de 5A, adequada à operação com bobinas, lâmpadas de sinalização e componentes eletro-eletrônicos de baixa potência utilizados no circuito de comando. Podem ser do tipo NA, NF, ou reversor.

Alguns dispositivos de acionamentos utilizados em comandos elétricos são apresentados nos itens 3.3.1 a 3.3.4.

3.3.1. Botão de Comando / Botoeira

Dispositivo de comando que possibilita o acionamento ou interrupção da corrente de comando quando é pressionado através da ação de um operador. Há dois tipos básicos de botões: pulsante ou com retenção.

- a) Pulsante: o elemento de acionamento da botoeira (botão) retorna a posição normal, de repouso, quando o mesmo é despressionado, Figura 3.8. Os contatos da botoeira que durante a operação do botão foram movimentados retornam também a posição de repouso, ou seja, um contato NF que estava aberto quando a botoeira estava pressionada voltará a sua posição inicial (de repouso) fechando o contato.

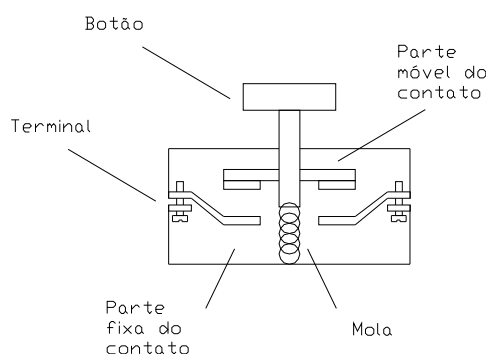


Figura 3.8 – Botoeira com contato normalmente aberto.

- b) Com retenção: o elemento de acionamento da botoeira (botão) somente retorna a posição normal, de repouso, quando o mesmo for pressionado novamente. Os contatos da botoeira que durante a operação do botão foram movimentados permanecem nesta posição até que o botão seja novamente pressionado.

Os botões de comandos podem acionar um ou mais contatos que podem ser do tipo NF ou NA ou mesmo de ambos.

A cor de um botão de comando quando corretamente utilizado especifica a função para a qual o botão está sendo utilizado. A identificação de botões, segundo a IEC 73 pode ser observada no quadro 3.2.

CORES	SIGNIFICADO	APLICAÇÃO
Vermelho	Desligar, parar ou imergência	Parada de máquinas, parada em caso de emergência
Amarelo	Intervenção, retrocesso	Valor de uma grandeza aproxime-se do valor limite
Verde / Preto	Partir, ligar, pulsar	Partir, energizar por pulsos, ligar
Azul / Branco	Qualquer função, exceto as anteriores	Reset de relés térmicos, comandos de funções auxiliares não relacionadas com a operação da máquina

Quadro 3.2 – Identificação de botões.

3.3.2. Chave Fim de Curso / Interruptor Fim de Curso

São dispositivos de acionamento retilíneo ou angular, com retorno automático ou por acionamento utilizados principalmente para sinalização, detecção de objetos e limitação de curso. São compostos de duas partes as quais denominamos de cabeçote e corpo.

O funcionamento deste dispositivo se baseia no acionamento do atuador da chave ocasionado pelo contato físico de um objeto que se movimenta em relação a este atuador movimentando-o o suficiente para que a(s) posição do(s) contato(s) seja(m) modificada(s). Assim como as botoeiras estas chaves podem acionar mais de um contato dos tipos NA, NF ou reversor.

As chaves fim de curso podem possuir diversos tipos de elementos de acionamento (haste, pistão alavanca, etc) na figura 3.9 são apresentados dois tipos alavanca e haste respectivamente.

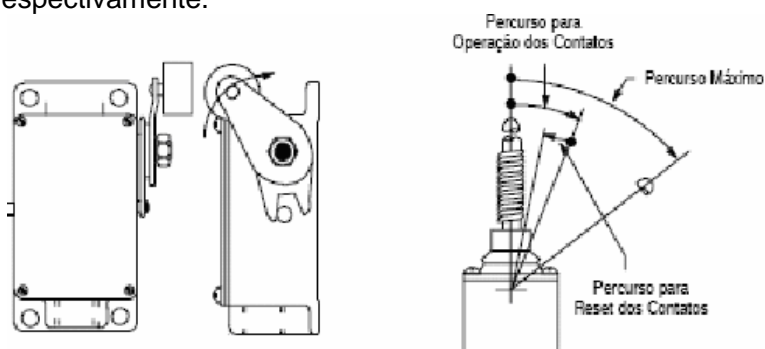


Figura 3.9 – Chaves fim-de-curso.

3.3.3. Contator / Relé

Dispositivo de manobra (mecânico) de operação não manual, que tem uma única posição de repouso e é capaz de estabelecer (ligar), conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito, inclusive sobrecargas de funcionamento previstas.

Os principais elementos de um contator são: contatos, bobina, molas, núcleo, e carcaça.

Um diagrama simplificado de contator é apresentado na Figura 3.10.

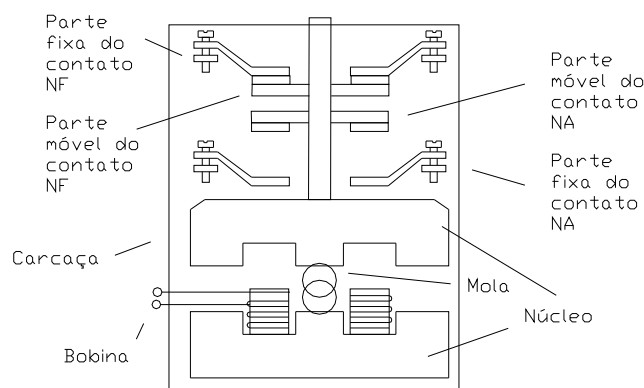


Figura 3.10 – Contator.

O funcionamento do contator se baseia na ação operada através da atração sob um núcleo magnético, constituído de uma parte móvel e uma parte fixa, produzida por uma bobina quando energizada que faz com que as partes do núcleo se juntem. Quando a parte móvel se desloca em direção à parte fixa do núcleo carrega consigo as partes móveis dos conjuntos de contatos fazendo com que os contatos modifiquem sua condição de repouso. Os contatos NF se abrem e os contatos NA se fecham e permanecem neste estado enquanto o núcleo do contator permanecer fechado. Quando desenergizada a bobina, o núcleo do contator é separado pela ação de uma mola fazendo com que os contatos retornem a posição de repouso.

Energizando-se a bobina do contator, o mesmo é acionado, abrem-se os contatos NF e fecham-se os contatos NA (exatamente nesta ordem para contatos terminados de comandos terminados em 1-2 e 3-4).

Os contatores podem ser classificados em dois tipos: Potência (força, principal) ou de comandos (auxiliar).

a) Contatores principais (potência)

Os contatores principais são fabricados para operação de cargas. Possuem também alguns contatos com menor capacidade de condução de corrente que são utilizados para funções especificamente de comandos como: retenção, intertravamento, sinalização, etc. Figura 3.11.

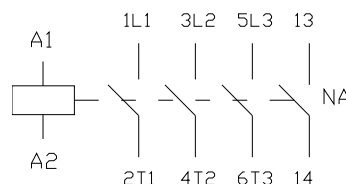


Figura 3.11 – Diagrama de um Contator (bobina e contatos).

b) Contatores auxiliares

Os contatores auxiliares são projetados para executar comandos e sinalização de sistemas. São geralmente utilizados em grandes sistemas, ou quando o circuito de comandos necessita de um número maior de contatos NA e/ou NF. A capacidade de condução de corrente dos contatos é em geral 5A.

3.3.3.1. Nomenclatura dos Contatos Segundo a IEC 947 – 4.

a) Terminais dos contatos principais

Os terminais dos contatos principais devem ser identificados por números unitários e por um sistema alfanumérico. Figura 3.12.

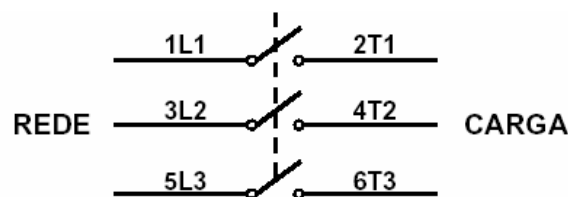


Figura 3.12 – Nomenclatura de contatos.

b) Terminais dos contatos auxiliares

Devem ser identificados por dois números. Figura 3.13.

- O algarismo da unidade corresponde ao tipo do contato.
- O algarismo da dezena corresponde à ordem do contato no dispositivo – 1º, 2º contato, etc.

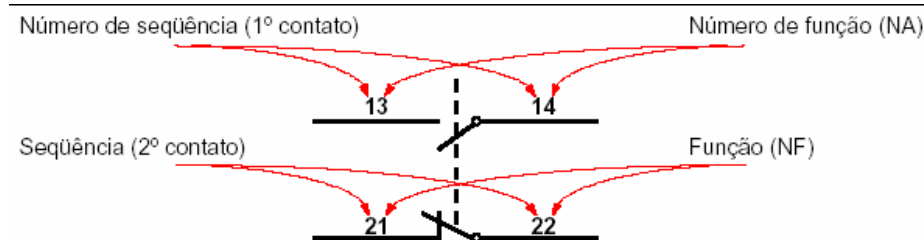


Figura 3.13 – Nomenclatura de contatos.

Os números 1 – 2 são utilizados para contatos NF sem retardo na abertura; os números 3 – 4 são utilizados para contatos NA.

Os números 5 – 6 são utilizados para contatos NF retardados na abertura; os números 7 – 8 são utilizados para contatos NA adiantados no fechamento.

Na operação de contatos NF e NA em um mesmo contator um contato NF terminado em 1 – 2 abre antes do fechamento de um contato NA terminado em 3 – 4. No caso de uso de contato NF terminado em 5 – 6 em conjunto com contato NA terminado em 7 – 8 em um mesmo dispositivo fecha-se primeiro o contato NA e logo após abre-se o contato NF.

3.3.4. Relé de Tempo / Temporizador

Os relés temporizadores, também conhecidos como relés de tempo, são dispositivos que permitem o controle de tempo em processos.

Os tipos mais utilizados são o eletrônico e o pneumático, existindo também os eletromecânicos e mecânicos.

3.3.4.1. Relé de Tempo eletrônico

Os relés de tempo eletrônicos possuem terminais correspondentes à alimentação e aos contatos e um seletor de tempo. O circuito eletrônico de controle é alojado em caixa padrão para fixação por parafusos ou em trilho DIN 35 mm ou através de parafusos. Os contatos geralmente são do tipo reversíveis. Podem ser encontrados para alimentação em corrente contínua (12, 24, 48, 125 Vcc) ou em corrente alternada (12, 24, 42, 48, 110, 125, 220, 380, 440 Vca).

Um diagrama de ligação de relés de tempo é apresentado na Figura 3.14.

- Diagrama de ligação e simbologia:

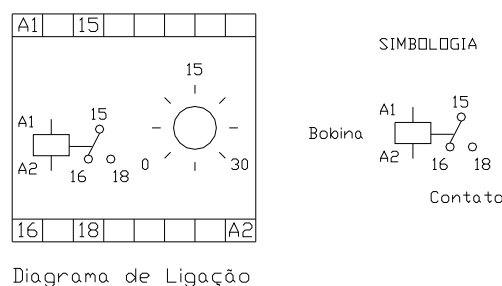


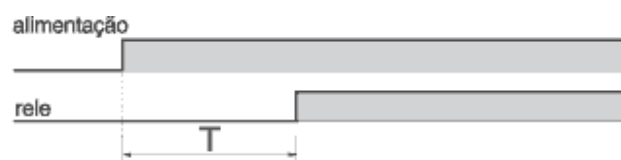
Figura 3.14 – Diagrama de contatos do relé de tempo.

Funcionamento: A comutação do(s) contato(s) ocorre após o tempo ajustado no seletor, conforme o tipo de relé.

Tipos: Os diversos tipos de relés eletrônicos, com algumas variações, podem ser entendidos como combinação de três tipos básicos que são: retardo na energização, retardo na desenergização e cíclico.

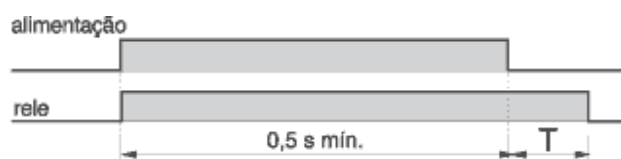
a) Retardo na energização

A comutação do(s) contato(s) ocorre(m) após a contagem do tempo T ajustada no seletor, contada a partir da alimentação do relé.



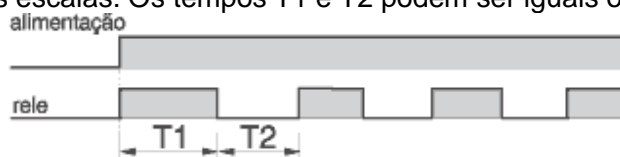
b) Retardo na Desenergização

Retardo na desenergização: a comutação do(s) contato(s) ocorre(m) no momento em que o relé é acionado permanecendo neste estado até o tempo T após o desligamento do relé, quando o contato comutador volta à posição inicial.



c) Cíclico

Cíclico: a comutação do(s) contato(s) ocorre(m) ciclicamente durante tempos T1 e T2 selecionados nas escalas. Os tempos T1 e T2 podem ser iguais ou diferentes.



3.3.4.2. Relé de Tempo Pneumático

São blocos acoplados diretamente ao contator. Assim como os relés de tempo eletrônico podem possuir mais de um contato.

Funcionamento:

A temporização se dá através do deslocamento de uma membrana interna ao bloco de acordo com o tempo pré-ajustado.

Os tipos de relés pneumáticos encontrados são com retardo na energização e com retardo na desenergização.

3.4. Dispositivo de Sinalização

A sinalização utilizada em comandos elétricos é geralmente de dois tipos: visual e sonora.

3.4.1. Sinalização Visual

A sinalização visual é realizada através de lâmpadas alojadas em dispositivos conhecidos como sinaleiros. Cada sinaleiro possui uma cor específica que é utilizada para identificar uma atividade.

A identificação dos sinaleiros, segundo a IEC 73 é apresentada no quadro 3.3.

CORES	SIGNIFICADO	APLICAÇÃO
Vermelho	Condições normais, perigo ou alarme	Temperatura alta, aviso de paralisação
Amarelo	Atenção, cuidado	Valor de uma grandeza aproxima-se do valor limite
Verde	Condição de serviço segura	Indicação normal para operação
Branco	Circuito sob tensão, funcionamento normal	Máquina em movimento
Azul	Informações especiais, exceto as anteriores	Sinalização de comando remoto, sinalização de preparação de máquina

Quadro 3.3 – Identificação de sinaleiros.

3.4.2. Sinalização Sonora

A sinalização sonora é utilizada em comandos elétricos geralmente para indicar condições de operação perigosa, alarme, pane ou desligamento não programado ou não intencional de máquinas ocasionada por problemas, desligamento por atuação de proteções do sistema entre outras.

Para a sinalização são utilizadas sirenes, buzinas, cigarras com frequência, timbre e potência adequados aos ambientes.

3.5. Dispositivo de Medição e Auxiliares

Os dispositivos de medição utilizados na maioria dos comandos elétricos são amperímetros, voltímetros, freqüencímetros, horímetros, entre outros.

Os voltímetros e amperímetros dependendo da magnitude dos valores de tensão e corrente a serem medidos utilizam dispositivos auxiliares conhecidos como transformadores de potencial – TP e transformador de corrente – TC respectivamente.

Os Transformadores de corrente são utilizados para redução da corrente elétrica que deverá ser medida pelo amperímetro. O TP é utilizado para redução da tensão elétrica que deverá ser medida pelo voltímetro. Em alguns casos também se utilizam transformadores com o fim de reduzir a tensão de alimentação do circuito de comandos. A figura 3.15 apresenta um diagrama de comandos com TC, TP, amperímetro e voltímetro.

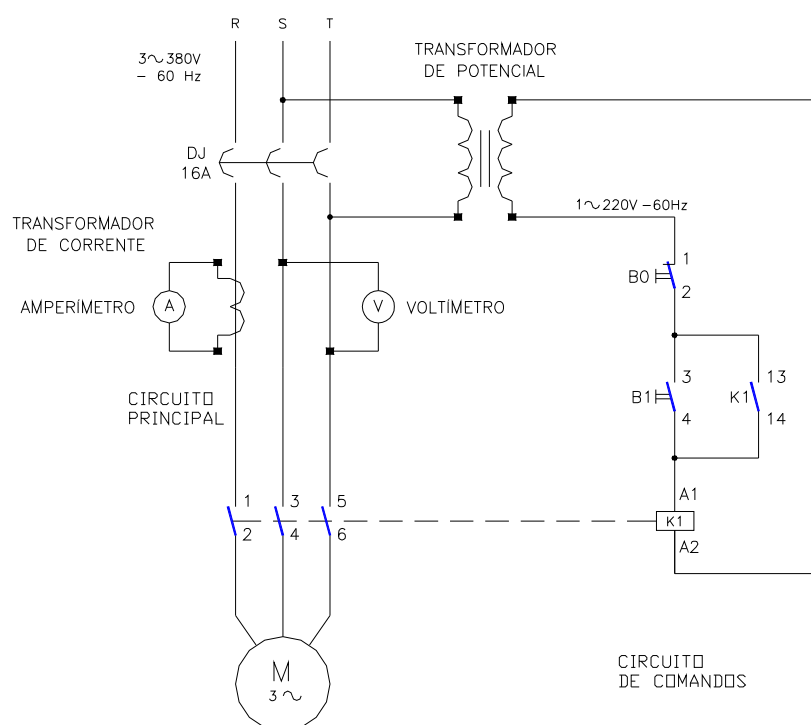


Figura 3.15 – Diagrama de comandos.

Capítulo 4 – OPERAÇÃO DE CIRCUITOS BÁSICOS DE COMANDOS

4.1. Introdução

Entendendo-se o funcionamento do contator e dos demais componentes utilizados em comandos elétricos podemos projetar circuitos de comandos que realizem as mais diversas funções.

Os circuitos são projetados utilizando-se símbolos previamente desenhados para representação de componentes, dispositivos, máquinas, equipamentos, etc.

Usualmente na elaboração de diagramas de comandos elétricos separam-se dois circuitos: circuito principal (onde os contatos principais são desenhados) e circuito auxiliar, ou de comandos (onde os contatos de comandos são desenhados).

Os circuitos principais apresentam a parte de potência onde o elemento principal do sistema aparece (motores, máquinas, etc), ver Figura 4.1. O circuito principal pode ainda ser desenhado através de um diagrama trifilar ou unifilar.

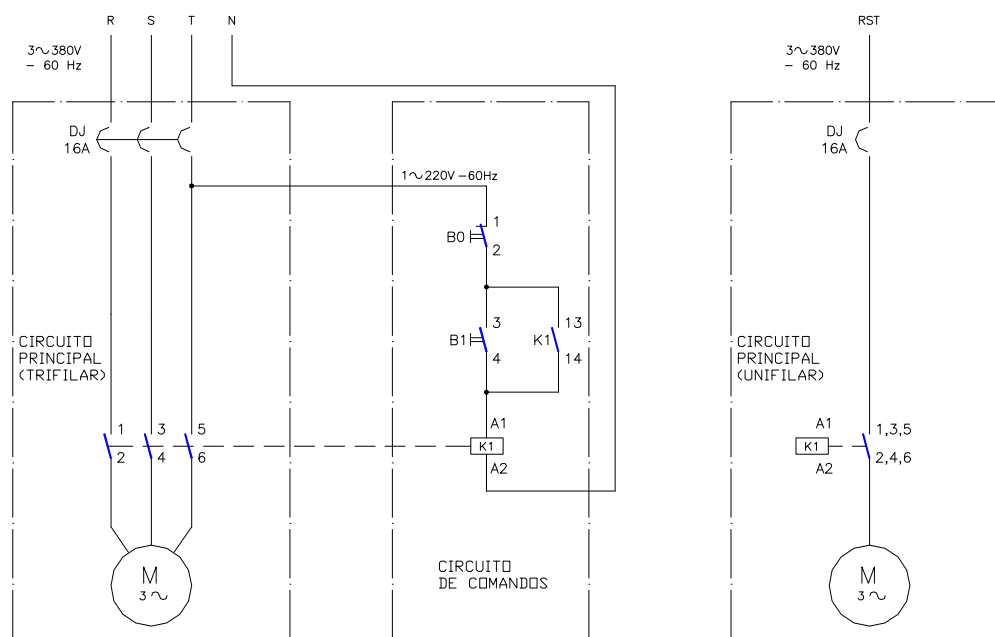


Figura 4.1 – Circuito principal e circuito de comandos.

Os componentes representados por símbolos nos circuitos de comandos e de potência (contatos NA, contatos NF, bobinas, motor, etc) são desenhados no estado normal de funcionamento, ou seja, sem que o componente tenha sido atuado.

Esta representação é utilizada de forma que somente um circuito de comandos e um circuito de potência sejam utilizados quer o sistema esteja em operação (em seus vários estágios) ou mesmo desligado.

No circuito de comandos da Figura 4.1 temos: o contato NF da botoeira B0 (1-2), o contato NA da botoeira B1 (3-4), o contato NA do contator K1 (13-14) e a bobina do contator K1(A1-A2). Em condições normais, ou seja, sem atuar nenhum dos componentes o contato NF da botoeira B0 (1-2) está fechado (abre quando a botoeira é pressionada); o

contato NA da botoeira B1 (3-4) está aberto (fecha quando a botoeira é pressionada); o contato NA do contator K1 (13-14) está aberto (fecha quando o contator é acionado); a bobina do contator K1 (A1-A2) está desenergizada (é energizada quando se fecha o circuito através da botoeira B1). As botoeiras são do tipo sem retenção.

Atuar os componentes deste circuito significa pressionar uma das botoeiras através de um operador (pessoa) ou energizar a bobina através dos contatos da botoeira ou do contator.

Os circuitos de comandos elétricos são circuitos comuns como os que são observados quando se liga uma lâmpada, uma bobina ou mesmo um capacitor a uma fonte de energia elétrica, Figura 4.2.

Quando se estudam os circuitos elétricos típicos o interesse é, na maioria das vezes, o valor das grandezas elétricas corrente, tensão, potência, etc. Em si tratando de circuitos de comando elétrico o interesse é a operação dos diversos dispositivos. Como, quando, quem opera, para que opera, que ação é realizada, etc.

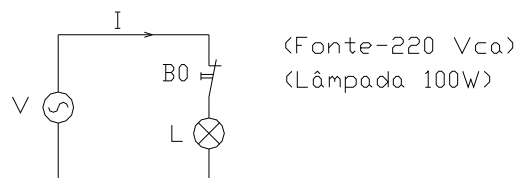


Figura 4.2 – Circuito elétrico.

4.2. Análise do Circuito Elétrico

Qual o valor da corrente elétrica no circuito da Figura 4.2?

$$I = \frac{P}{V} = \frac{100}{220} = 0,45A$$

4.3. Análise do Circuito de Comandos

O que acontece quando a chave (Botoeira B0) é acionada no circuito da Figura 4.2.?

A lâmpada é desligada.

O circuito da Figura 4.2 por simplicidade e melhor compreensão do funcionamento é redesenhado conforme a Figura 4.3.

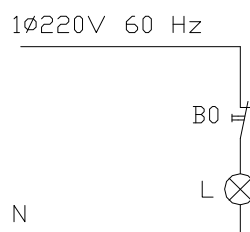


Figura 4.3 – Diagrama / circuito de comandos elétricos.

Na Figura 4.3 a expressão “1Ø 220V 60Hz” significa que o circuito está sendo energizado por uma fonte de alimentação com 1 fase em 220V com frequência 60 Hz; o “N” significa o terminal neutro da fonte.

4.4. Análises de circuitos elementares de comandos elétricos

Para a compreensão do funcionamento de um diagrama de comandos é necessário que entendamos funcionamento de circuitos de comandos elementares.

O circuito mais básico apresenta uma fonte de energia elétrica e uma carga conforme a Figura 4.4.

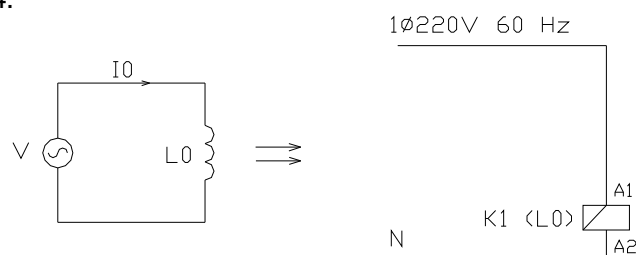


Figura 4.4 – Diagrama / circuito de comandos elétricos.

Onde: L0 é um indutor no circuito à esquerda; no circuito à direita representa a bobina do contator K1; (A1-A2) são os terminais da bobina.

Nos diagramas de comandos elétricos elementares 1, 2, 3, 4 e 5 a parte à esquerda representa o contator onde estão representados o núcleo, a bobina, o contato NF (11-12) e o contato NA (13-14); em alguns destes diagramas aparecem uma ou mais botoeiras B0(1-2) e B1(3-4). No circuito à direita estão representados somente os elementos que estão eletricamente ligados.

4.4.1. Diagrama 1

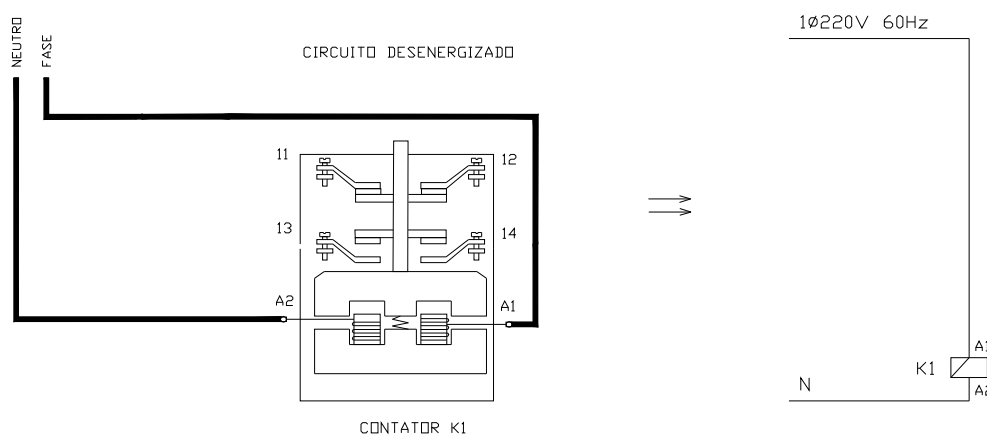


Figura 4.5 – Circuito de comando elementar com fonte de alimentação desligada.

Este diagrama de comandos apresenta um contator ligado a uma fonte de energia elétrica. No contator estão representados a bobina com o núcleo, um contato NF e um contato NA; os contatos de potência não estão representados. No circuito à direita está representada somente a bobina do contator.

4.4.1.1. Funcionamento do Circuito

- Com a fonte de energia elétrica desligada a bobina do contator K1(A1-A2) está desenergizada e o contator K1 desligado, Figura 4.5.
- Ligando-se a fonte de energia elétrica a bobina do contator K1(A1-A2) é energizada ligando o contator K1, Figura 4.6;

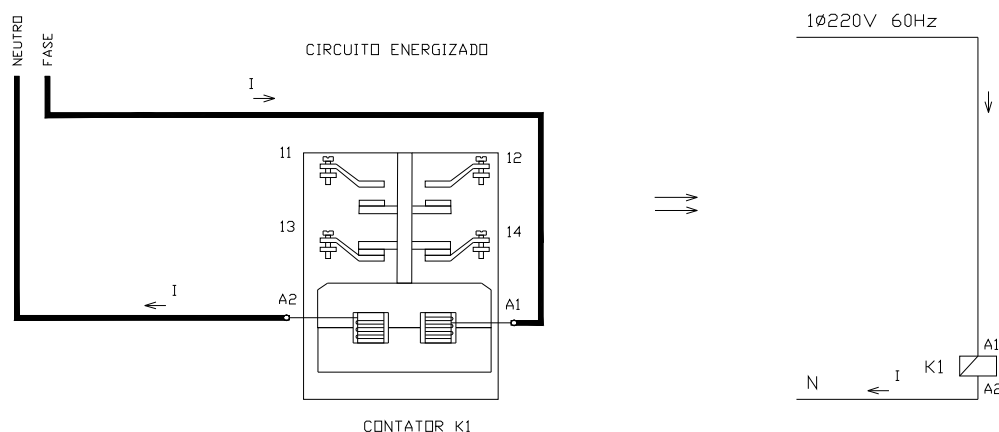


Figura 4.6 – Circuito de comando elementar com fonte de alimentação ligada.

- Desligando-se a fonte de energia elétrica a bobina do contator K1 é desenergizada desligando o contator, Figura 4.5.

No lado esquerdo das figuras 4.5 e 4.6 o contato NF (superior) e o contato NA (inferior) mudam de estado quando o contator é acionado e retornam ao estado inicial quando o contator é desligado.

Neste circuito de comando o controle da operação do contator é condicionado a presença ou falta de energia elétrica da fonte.

4.4.2. Diagrama 2

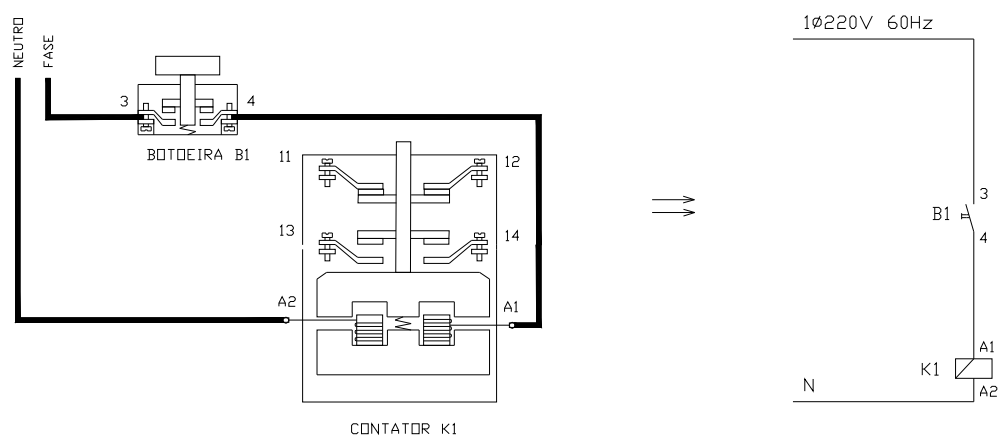


Figura 4.7 – Circuito de comando com botoeira não pressionada.

Este diagrama difere do Diagrama 2 pela ligação do contato K1(13-14) em paralelo com o contato da botoeira B1(3-4).

4.4.3.1. Funcionamento

- Ligando-se a fonte de energia elétrica o contator K1 permanece desligado, Figura 4.10;
- Pressionando-se a botoeira B1 fecha-se o contato B1(3-4) da mesma energizando a bobina do contator K1(A1-A2);
- Energizando-se a bobina do contator K1(A1-A2) o mesmo é ligado;
- Ligando-se o contator K1 abre-se o contato normalmente fechado e logo após fecha-se o contato normalmente aberto K1(13-14).

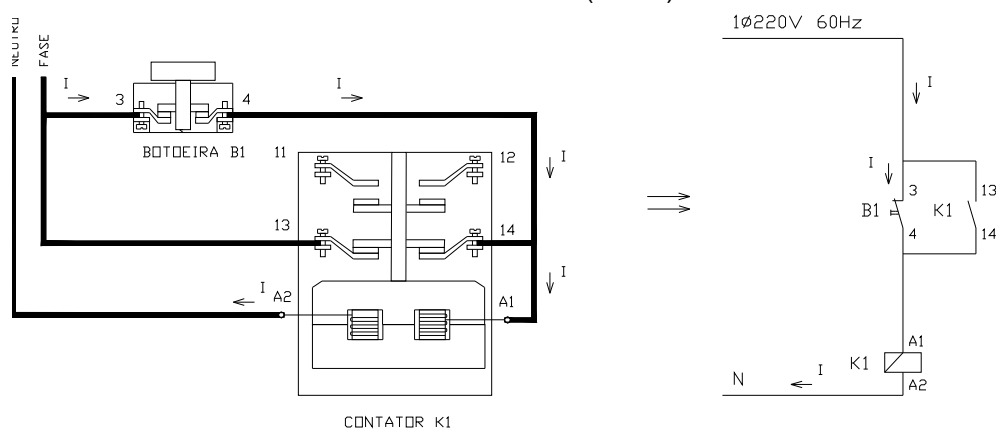


Figura 4.10 – Circuito de comando com botoeira B1 pressionada.

- Fechando-se o contato K1(13-14) do contator o mesmo mantém a alimentação da bobina mantendo o contator ligado após a botoeira ser despressionada.

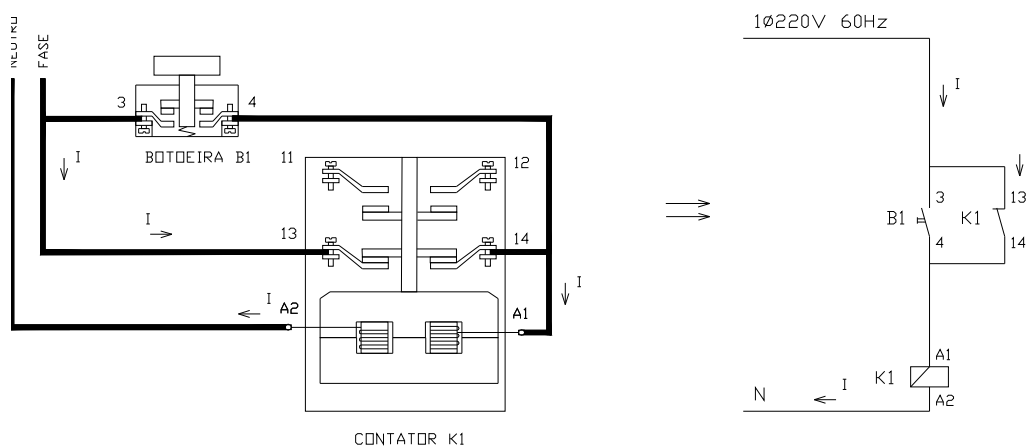


Figura 4.11 – Circuito de comando com contato de selo acionado.

- Havendo falta de energia elétrica o contator será desligado voltando à posição inicial abrindo o contato K1(13-14) e voltando a fechar o contato NF, Figura 4.9.

O contato K1(13-14), que é um contato normalmente aberto do próprio contator, devido a função de manter a bobina do contator energizada após o mesmo ser acionado recebe o nome de “contato de selo” ou “contato de retenção”.

Neste circuito de comando o controle da operação do contator é realizado por um operador ao pressionar a botoeira B1. Após pressionar a botoeira o contator permanece em operação até que haja falta de energia elétrica.

4.4.4. Diagrama 4

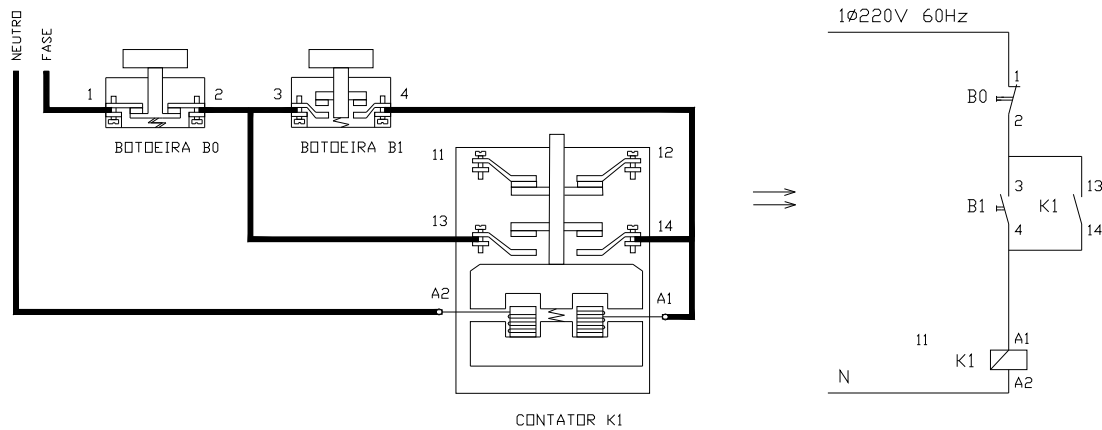


Figura 4.12 – Circuito de comando com botoeiras e contato de selo não acionado.

Este diagrama difere do Diagrama 3 pela inserção de uma botoeira abridora em série com o circuito.

4.3.4.1 Funcionamento do Circuito

- Ligando-se a fonte de energia elétrica o contator K1 permanece desligado, Figura 4.12;
- Pressionando-se a botoeira B1 fecha-se o contato B1(3-4) da mesma energizando a bobina do contator K1(A1-A2);
- Energizando-se a bobina do contator K1(A1-A2) o mesmo é ligado;
- Ligando-se o contator K1 fecha-se o contato K1(13-14).

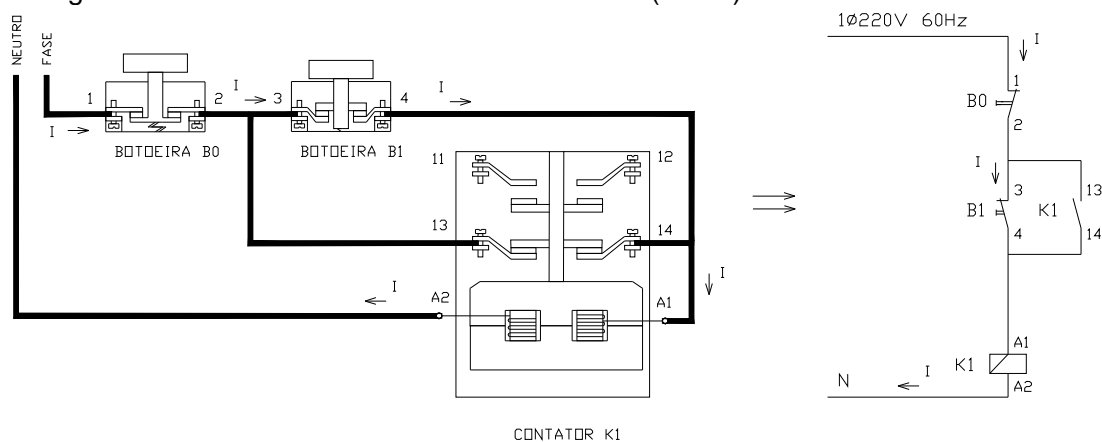


Figura 4.13 – Circuito de comando com botoeira liga pressionada.

- Fechando-se o contato K1(13-14) do contator o mesmo mantém a alimentação da bobina mantendo o contator ligado após a botoeira B1 ser despressionada.

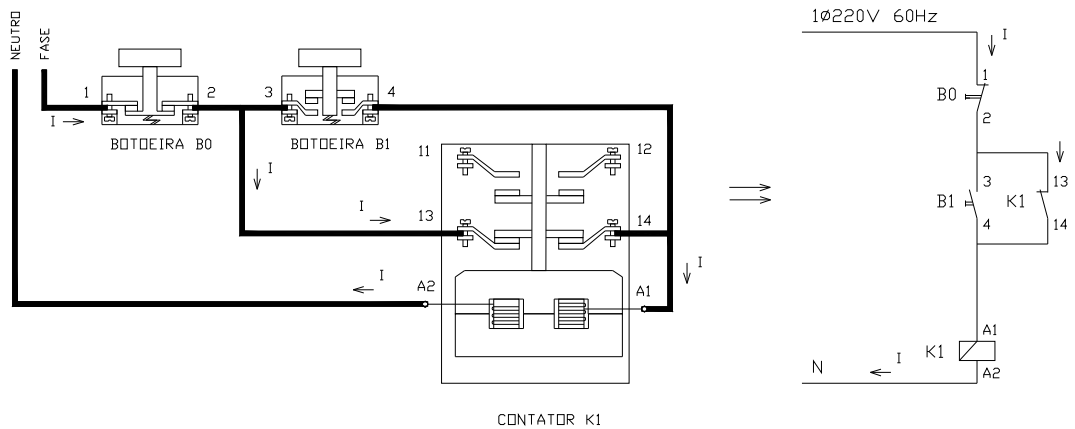


Figura 4.14 – Circuito de comando com o contato de selo acionado.

- Pressionando-se a botoeira B0 abre-se o contato NF B0(1-2) da mesma desenergizando o circuito, desligando a bobina do contator K1(A1-A2);
- Desligando-se a bobina o contator é desligado voltando o circuito à condição inicial, Figura 4.12.

Neste circuito de comando o controle da operação do contator é realizado por um operador ao pressionar as botoeiras B1 e B0. Observa-se que o controle quanto à operação do contator é realizado tanto para ligar quanto para desligar.

4.4.5. Diagrama 5

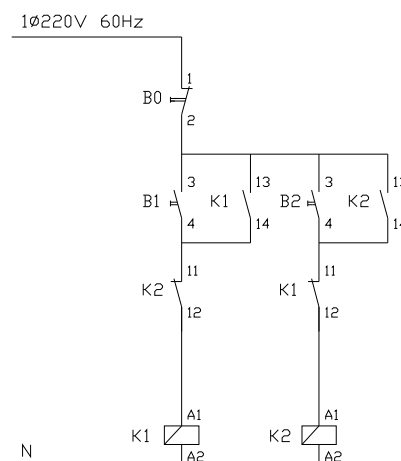


Figura 4.15 – Circuito de comando com operação não simultânea de contadores

A Figura 4.15 mostra um diagrama de comandos onde dois contadores nunca operam simultaneamente. O diagrama, assim como os anteriores, é uma ampliação de diagramas já apresentados. Exceto pela inserção do contato NF K1(11-12) a primeira linha do circuito seria exatamente igual à linha do circuito da Figura 4.12; além disso, em relação ao diagrama anterior este tem duas linhas de comandos onde se pode observar

que os elementos foram duplicados. B1-B2 (botoeiras), K1(13-14) - K2(13-14) (contatos NA), K1(11-12) - K2(11-12) (contatos NF), K1(A1-A2) - K2(A1-A2) (bobinas dos contatores).

4.4.5.1. Funcionamento do Circuito

- Inicialmente estando todas as botoeiras não pressionadas os contatores K1 e K2 estarão ambos desligados, Figura 4.16;

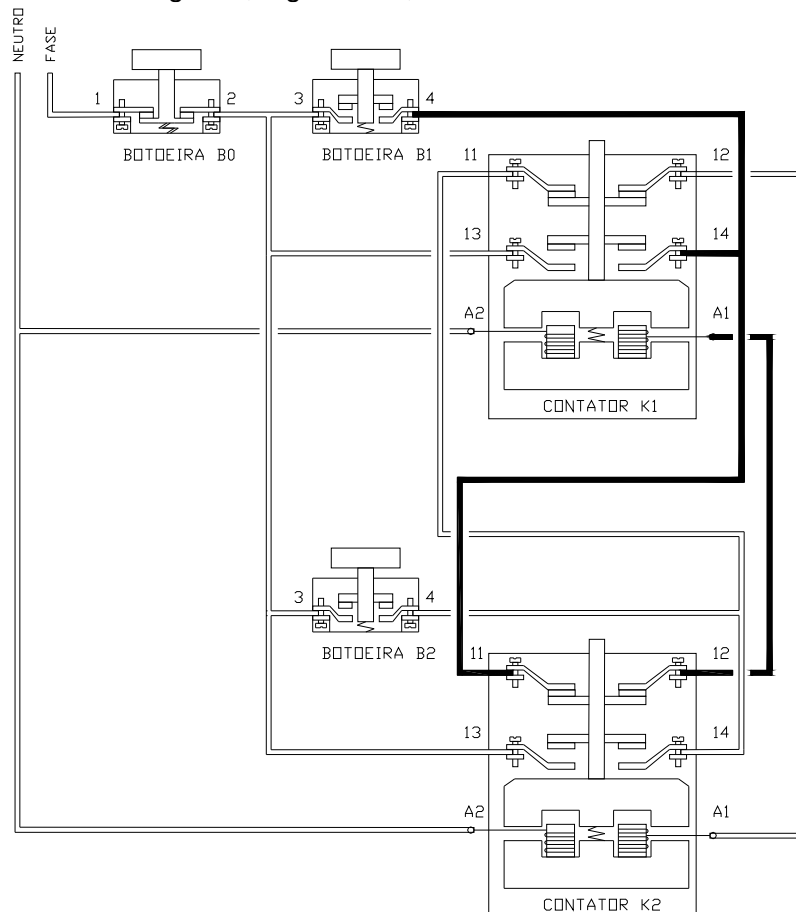


Figura 4.16 – Configuração inicial do circuito.

- Pressionando-se a botoeira B1 fecha-se o contato B1(3-4) energizando a bobina do contator K1(A1-A2);
- Energizando-se a bobina do contator K1(A1-A2)
 - Abre-se o contato K1(11-12) inserido no circuito da bobina do contator K2(A1-A2), não permitindo que a bobina do contator K2 seja energizada mesmo que se pressione a botoeira B2, Figura 4.17;
 - Fecha-se o contato K1(13-14) mantendo a bobina do contator K1(A1-A2) energizada após despressionar-se B1, Figura 4.18;

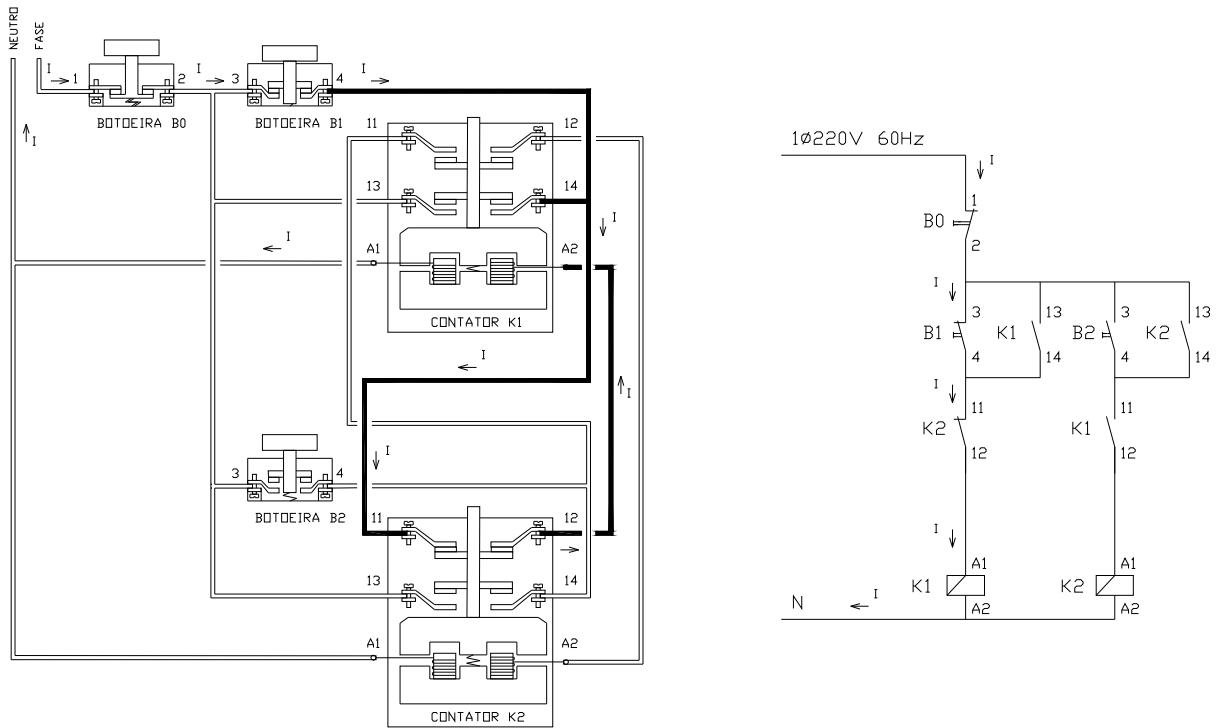


Figura 4.17 – Circuito de comando ao pressionar-se a botoeira B1.

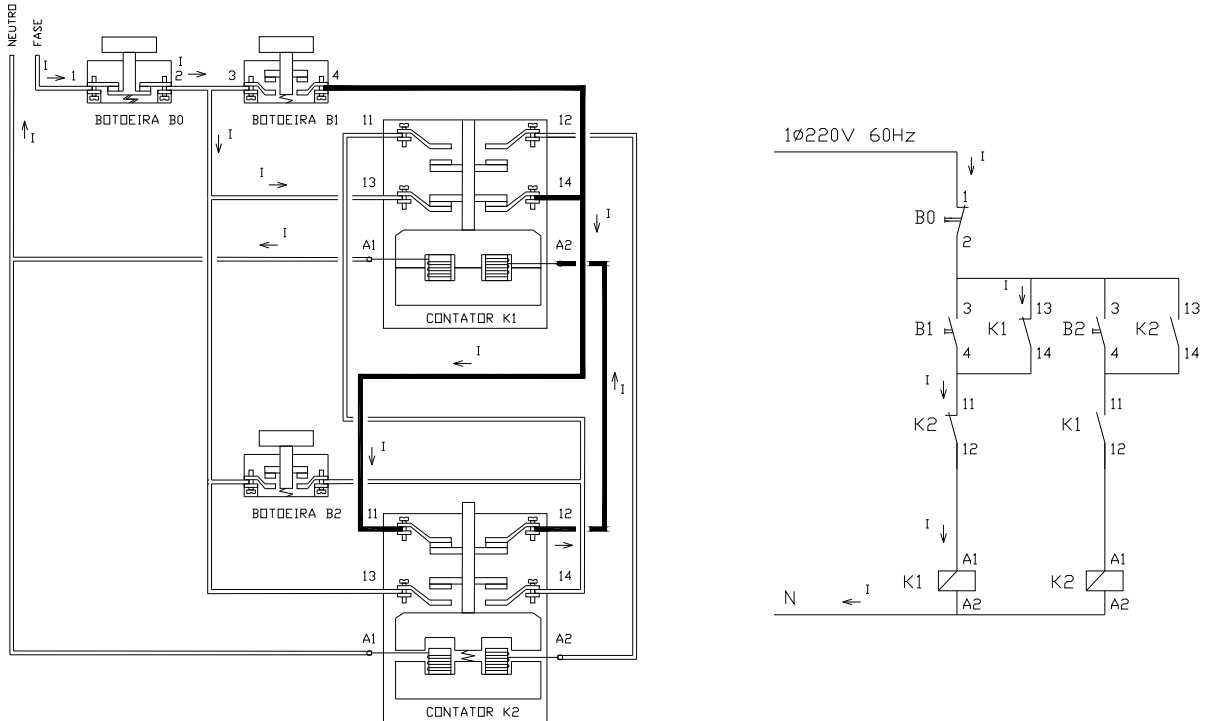


Figura 4.18 – Circuito de comando com o contato de selo K1(13-14) acionado.

- Pressionando-se a botoeira B0 abre-se o contato B0(1-2) desenergizando a bobina do contator K1(A1-A2);
- Desenergizando-se a bobina do contator K1(A1-A2)
 - Abre-se o contato K1(13-14) que estava fechado desenergizando a bobina do contator K1 desligando-o, Figura 4.19;
 - Fecha-se o contato K1(11-12) que estava aberto permitindo que a bobina do contator K2(A1-A2) possa ser energizada ao pressionar-se a botoeira B2, Figura 4.20.

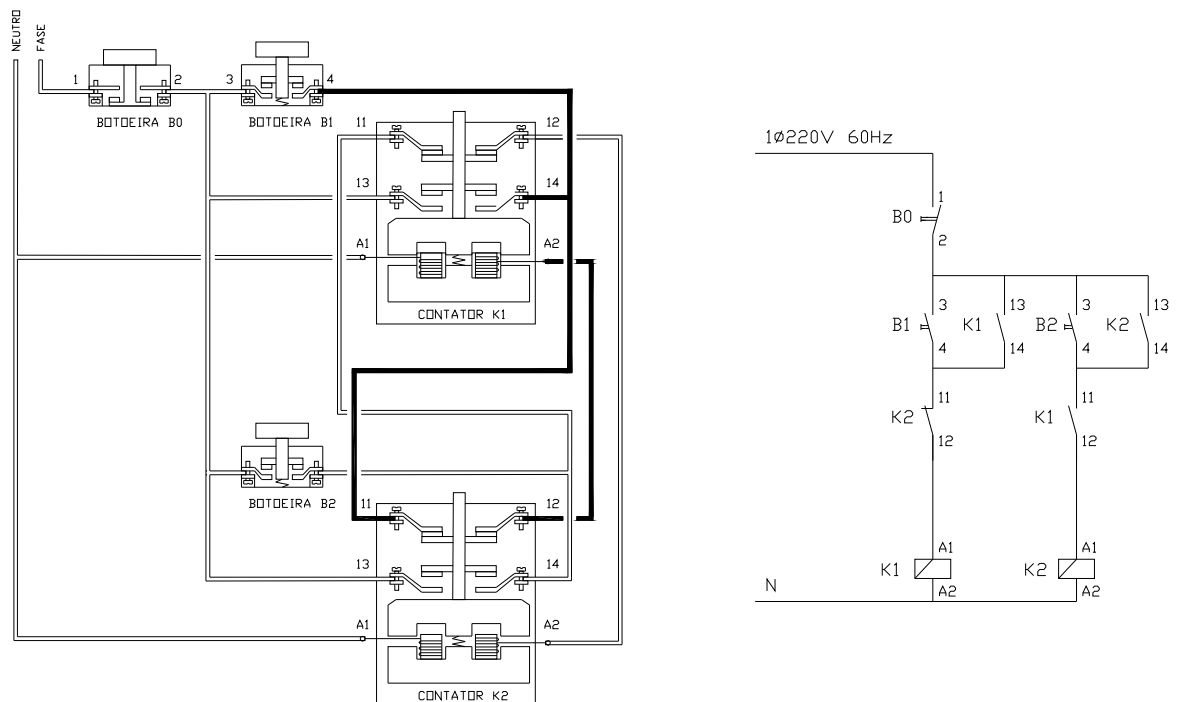


Figura 4.19 – Circuito de comando ao pressionar-se a botoeira B0.

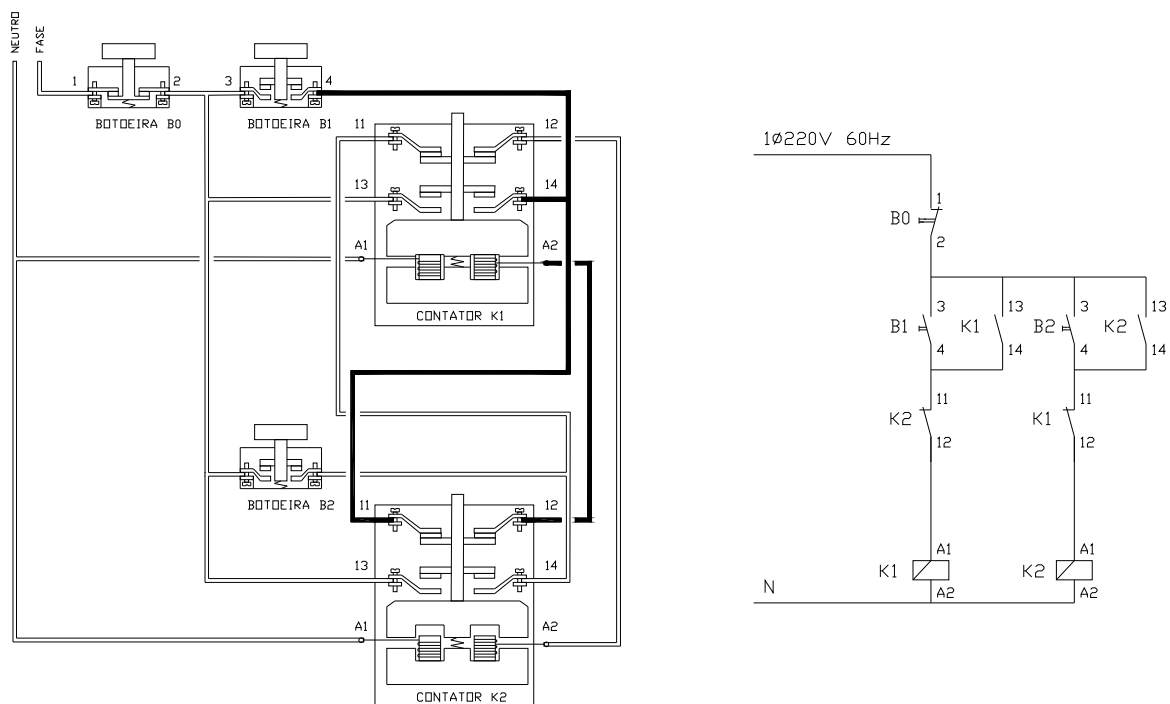


Figura 4.20 – Circuito de comandos após despressionar a botoeira B0.

- Pressionando-se a botoeira B2 fecha-se o contato B2(3-4) energizando a bobina do contator K2(A1-A2);
- Energizando-se a bobina do contator K2(A1-A2)
 - Abre-se o contato K2(11-12) inserido no circuito da bobina do contator K1(A1-A2), não permitindo que a bobina do contator K1 seja energizada mesmo que se pressione a botoeira B1, Figura 4.21;
 - Fecha-se o contato K2(13-14) mantendo a bobina do contator K2(A1-A2) energizada, mantendo o contator ligado após despressionar-se B2, Figura 4.22;

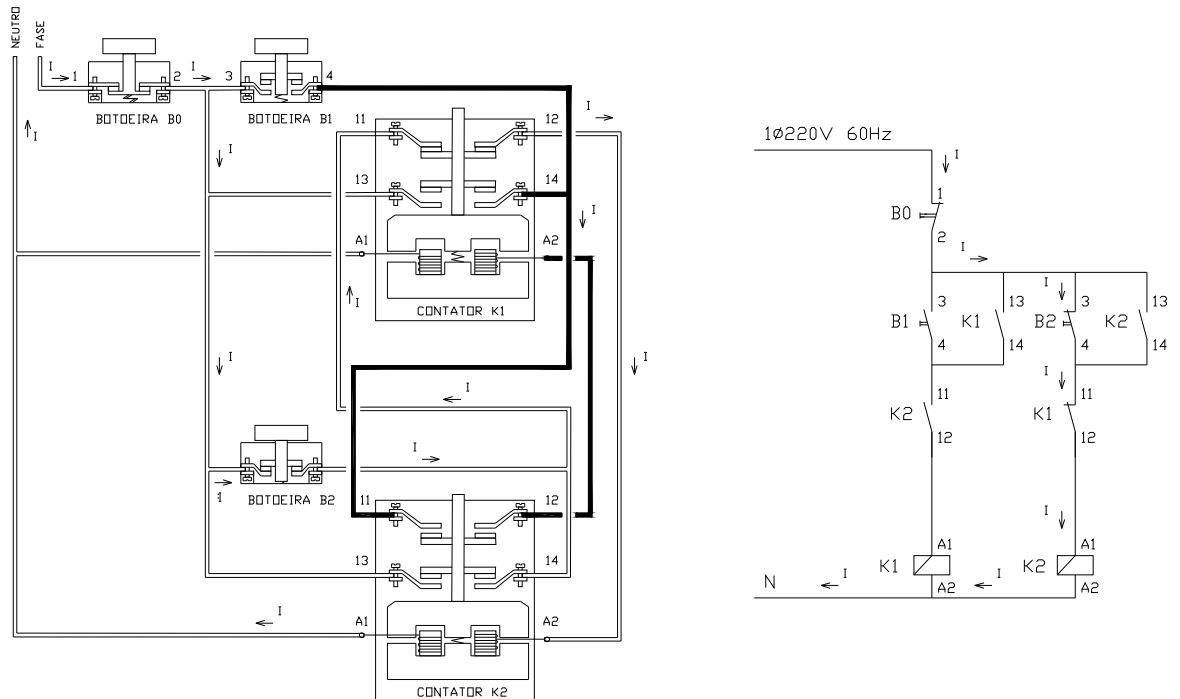


Figura 4.21 – Circuito de comandos ao pressionar-se a botoeira B2 pressionada.

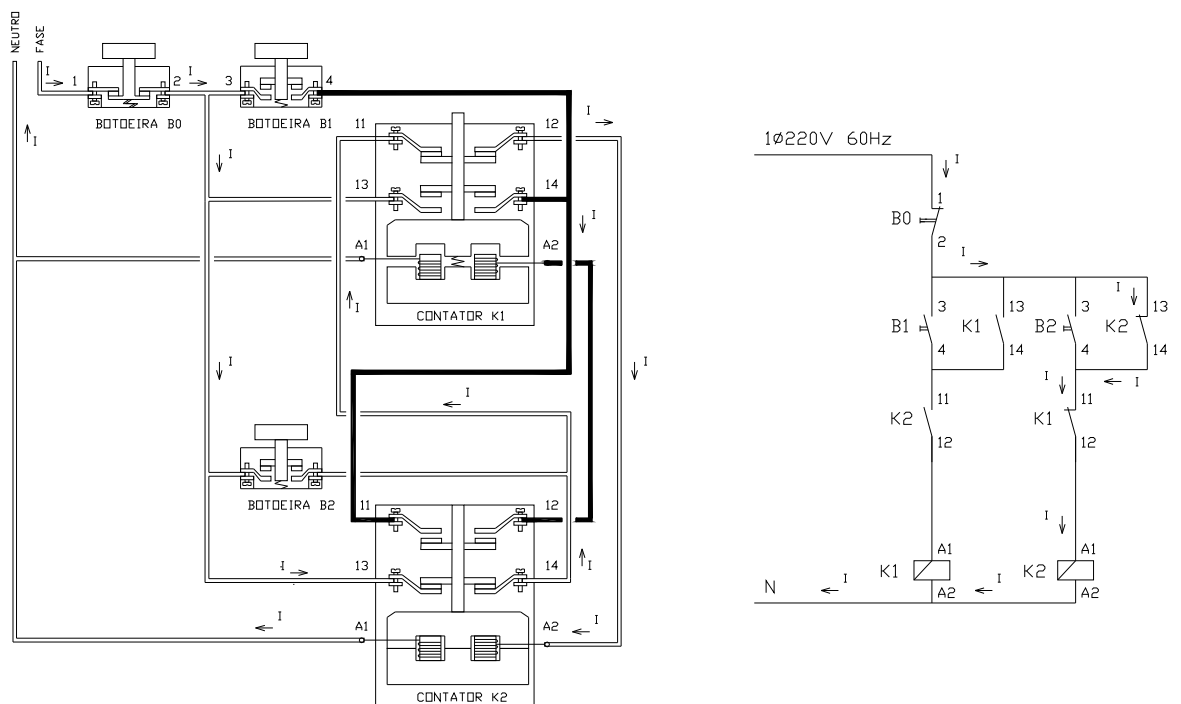


Figura 4.22 – Circuito de comandos com o contato de selo K2(13-14) atuado.

- Pressionando-se a botoeira B0 abre-se o contato B0(1-2) desenergizando a bobina do contatores K2(A1-A2) desligando-o;

- Desenergizada a bobina do contator K2(A1-A2)
 - Abre-se o contato K2(13-14) que estava fechado impedindo que o contator K2 permaneça ligado;
 - Fecha-se o contato K2(11-12) que estava aberto permitindo que a bobina do contator K1(A1-A2) possa ser energizada ao pressionar-se a botoeira B1.

A seqüência de operação do circuito pode também começar ligando-se o contator K2 desde que se pressione primeiro a botoeira B2.

Neste diagrama em relação aos anteriores temos a utilização do contato NA, bem como do contato NF do contator.

4.5. Contatos de Selo e contatos de Intertravamento

Na operação de contatos NF terminados em 1-2, e de contatos NA terminados em 3-4 de um mesmo contator, abre-se primeiro o contato NF e logo após fecha-se o contato NA.

Nos diagramas 3, 4 e 5 pode-se observar nos circuitos o contato NA Kx(13-14) que é classificado como contato de selo ou retenção. A função deste contato é manter a bobina do contator energizada após o contator entrar em operação.

Pode-se dizer que o contator necessita de um contato de um outro dispositivo para ser acionado, mas não necessita do mesmo para permanecer em operação quando utiliza o contato de selo ou retenção. O contato de selo é um contato do próprio contator cuja terminação numérica é 3-4 (13-14, 23-24...).

No diagrama 5 pode-se observar nos circuitos a utilização dos contatos NF K1(11-12) e K2(11-12) que são classificados como contatos de intertravamento. A função desse conjunto de contatos, quando usados desta forma, é não permitir a operação simultânea dos contadores. Em outras palavras quando o contator K1 é acionado o contato K1(11-12) abre o circuito para a bobina do contator K2, analogamente quando K2 é acionado abre o circuito para a bobina do contator K1.

Capítulo 5 – MONTAGEM DE DIAGRAMAS DE COMANDOS ELÉTRICOS

5.1 Introdução

A montagem de diagramas de comandos elétricos parte do conhecimento dos componentes e da simbologia para representação de cada um dos componentes utilizados em cada um dos circuitos.

Alguns passos devem ser observados para a correta montagem dos circuitos.

- i. Desligar a(s) fonte(s) de energia que alimentam os circuitos;
- ii. Disponibilizar os componentes para montagem de forma que a execução da mesma possa ser facilitada;
- iii. Identificar através da simbologia cada um dos componentes dos circuitos de comandos e de potência;
- iv. Identificar cada um dos terminais dos componentes através da numeração grafada nos mesmos;
- v. Observar a tensão de alimentação dos circuitos de comandos e de potência;
- vi. Convencionar como entrada os terminais superiores e os terminais à esquerda dos componentes;
- vii. Executar a montagem do circuito de comandos;
- viii. Efetuar os ajustes necessários para operação do circuito;
- ix. Testar circuito de comandos;
- x. Executar a montagem do circuito de potência;
- xi. Efetuar os ajustes necessários para operação do circuito;
- xii. Testar circuito de potência operando-o através do circuito de comandos.

5.2 Montagem de Diagramas

5.2.1 Diagrama 1 – Comando de motor elétrico por contator. Figura 5.1.

Os componentes serão apresentados através da vista frontal dos mesmos (parte direita do desenho).

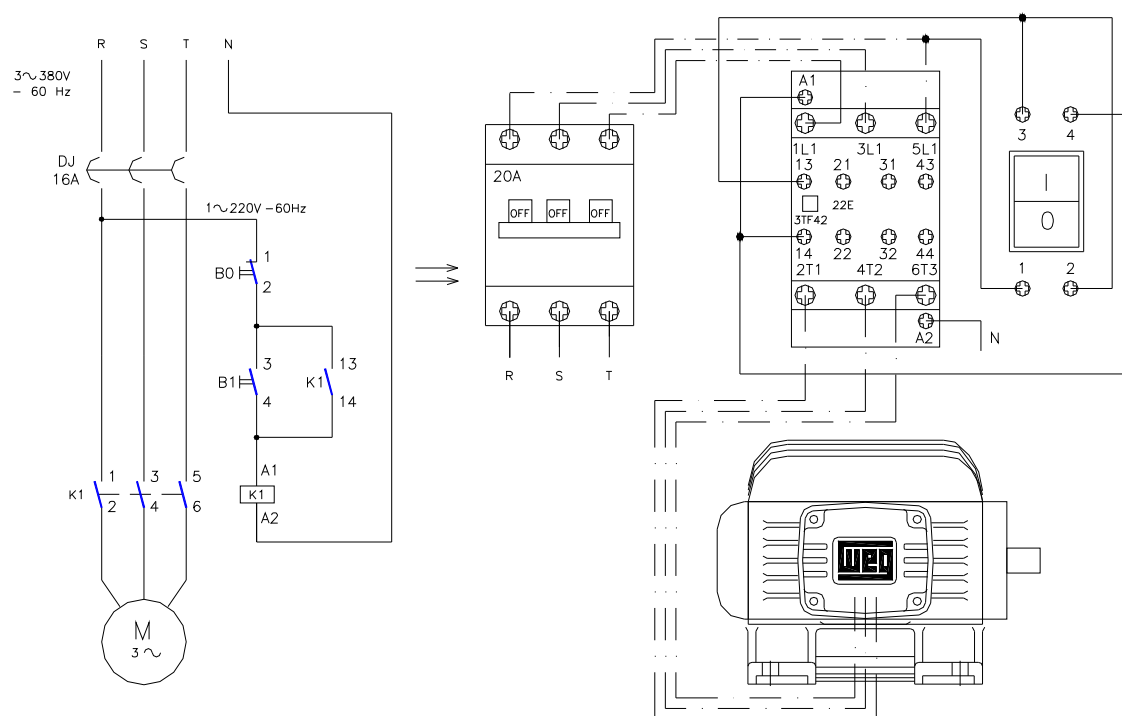


Figura 5.1 – Comando de motor elétrico através de contator.

- i. Desligar a(s) fonte(s) de energia que alimentam os circuitos;
- ii. Disponibilizar os componentes para montagem de forma que a execução da mesma possa ser facilitada;
- iii. Identificação dos componentes dos circuitos:
 - DJ 16A – Disjuntor de proteção;
 - K1 – Contator;
 - M3 – Motor elétrico trifásico;
 - B0 – Botaieira desliga (abridora);
 - B1 – Botaieira liga (fehadora);
- iv. Identificar cada um dos terminais dos componentes:
 - Terminais do disjuntor: o disjuntor possui seis terminais, três de entrada e três de saída;
 - Terminais do contator: 1-3, 2-4, 5-6 terminais dos contator de potência; A1-A2 terminais da bobina; 13-14 terminais do contato NA. O contator pode possuir outros contatos que não foram utilizados na montagem do diagrama;
 - Terminais do motor elétrico: o motor apresenta três terminais não numerados que devem ser conectados ao contator;
 - Terminais da botaieira B0: 1-2;
 - Terminais da botaieira B1: 3-4;
- v. Tensão de alimentação dos circuitos de comandos e de potência
 - Comandos: 220 Vca;
 - Potência: 380 Vca;
- vi. Convencionar como entrada os terminais superiores e os terminais à esquerda dos respectivos componentes;
- vii. Executar a montagem do circuito de comandos;

- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal neutro da fonte e conectar a outra extremidade ao terminal A2 da bobina do contator K1, figura 5.2;

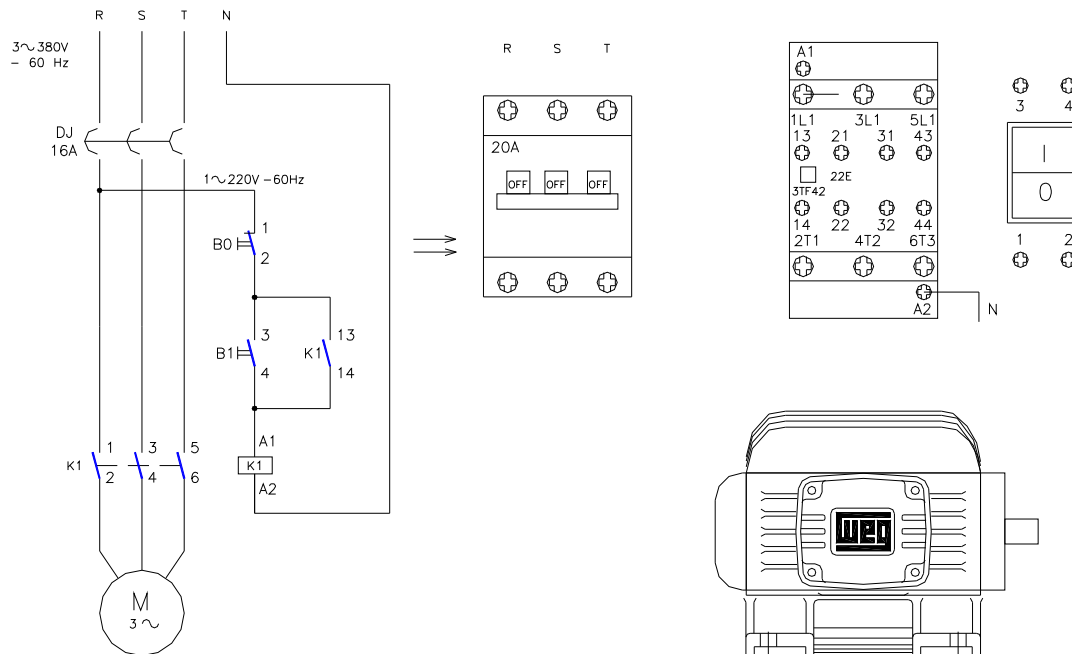


Figura 5.2 – Conexão do condutor neutro ao sistema.

- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal da fase R da fonte e conectar a outra extremidade ao terminal inferior esquerdo do pólo do disjuntor, figura 5.3;

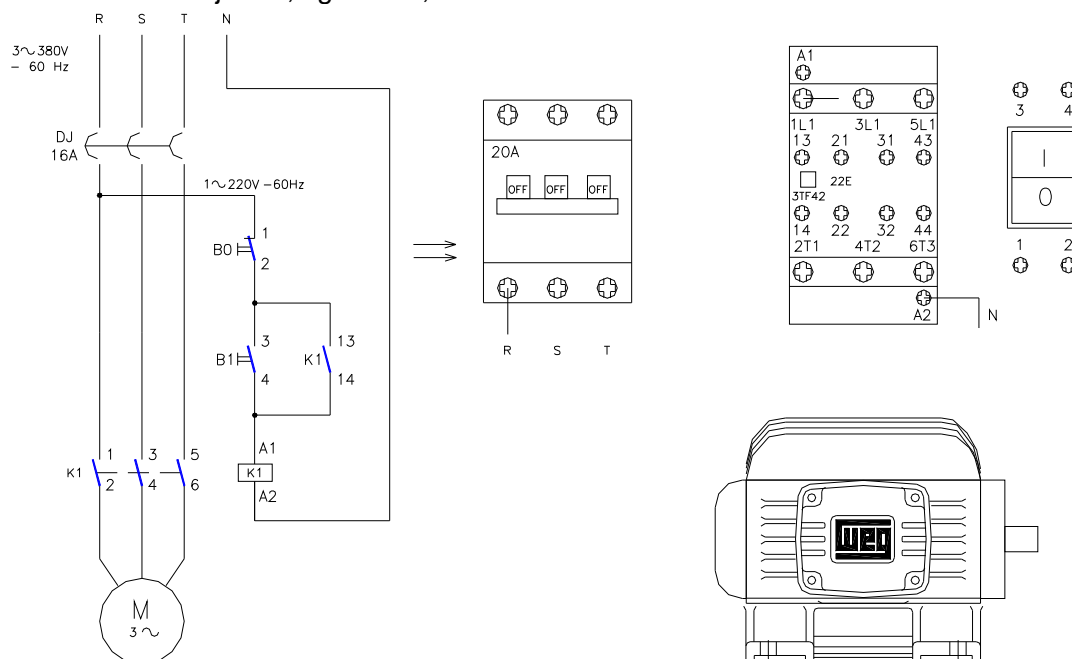


Figura 5.3 – Conexão do condutor fase ao disjuntor.

- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal superior esquerdo do pólo do disjuntor e a outra extremidade ao terminal 1 da botoeira B0, figura 5.4;

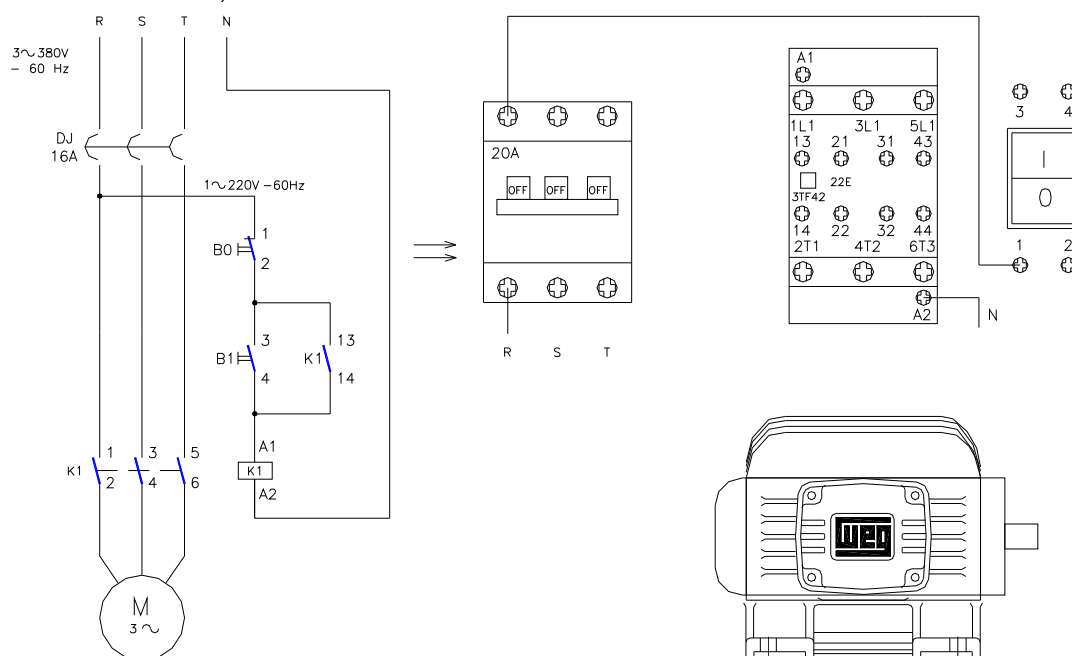


Figura 5.4 – Conexão do condutor fase do disjuntor ao terminal da botoeira 1 B0.

- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal 2 da botoeira B0 e a outra extremidade ao terminal 3 da botoeira B1;

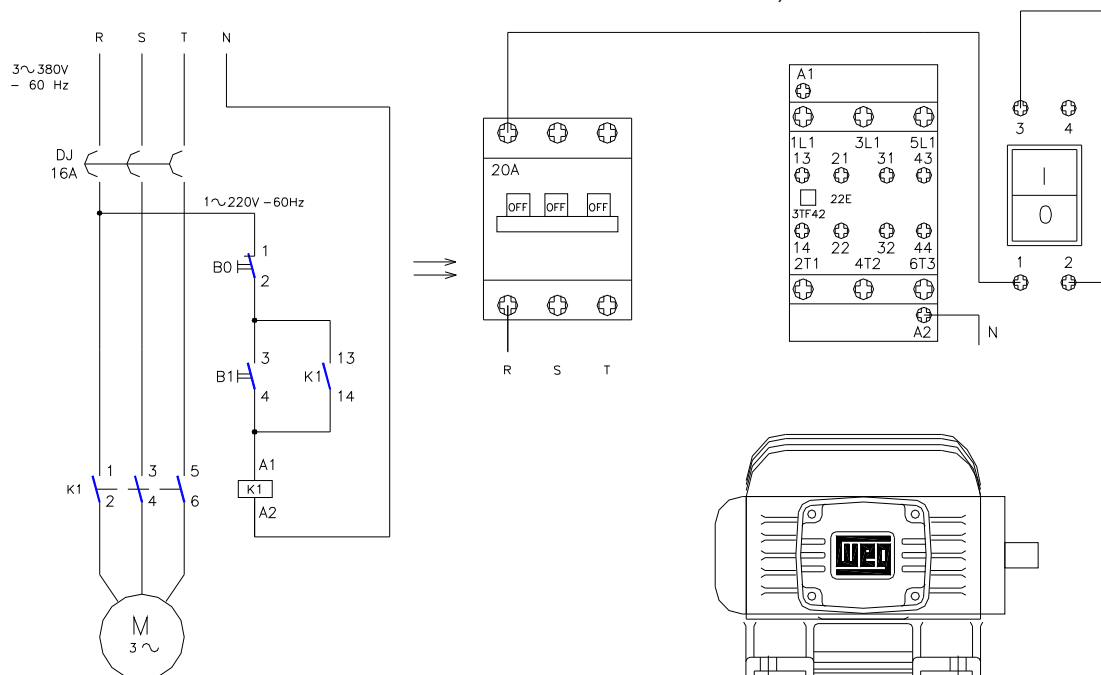


Figura 5.5 – Conexão do terminal 2 da botoeira B0 ao terminal 3 da botoeira B1.

- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal 3 da botoeira B1 e a outra extremidade ao terminal 13 do contator K1, figura 5.6;

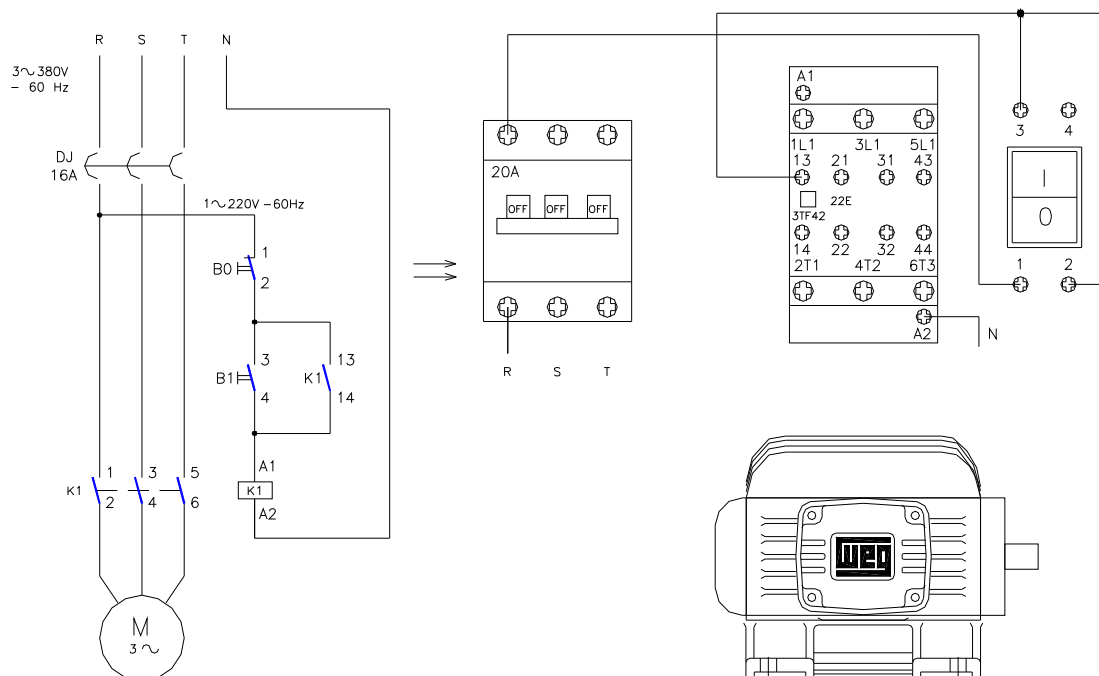


Figura 5.6 – Conexão do terminal 3 da botoeira B1 ao terminal 13 do contator K1.

- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal 4 da botoeira B1 e a outra extremidade ao terminal 14 do contator K1, figura 5.7;

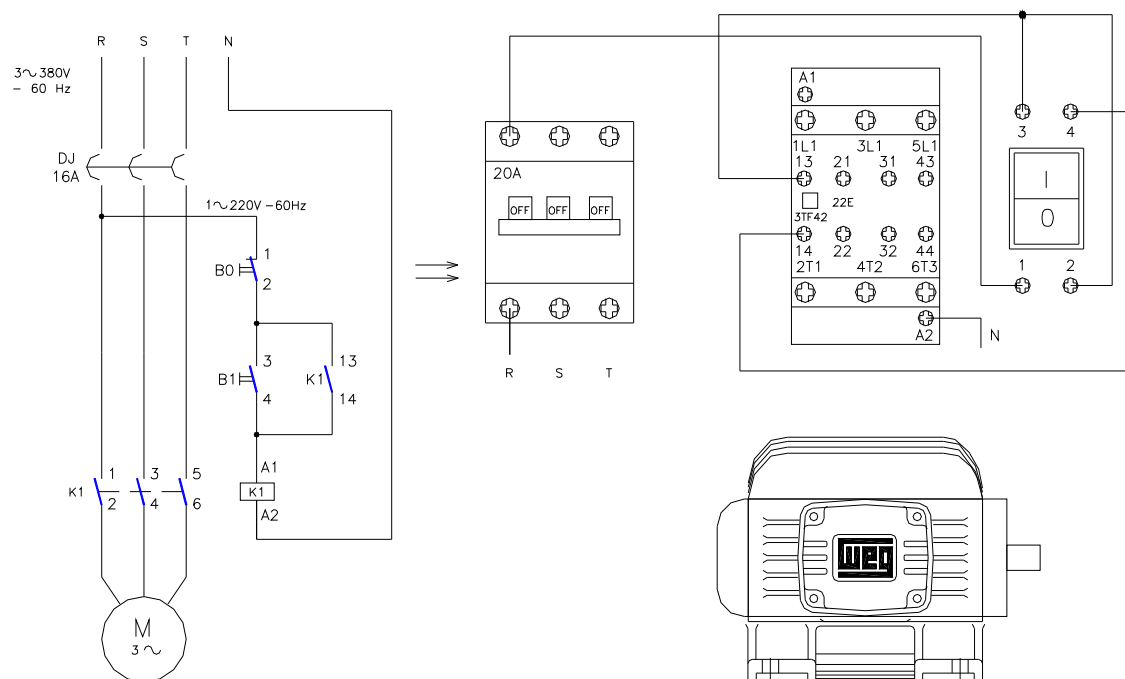


Figura 5.7 – Conexão do 4 da botoeira B1 ao terminal 14 do contator K1.

- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal 14 do contator K1 e a outra extremidade ao terminal A1 do contator, figura 5.8;

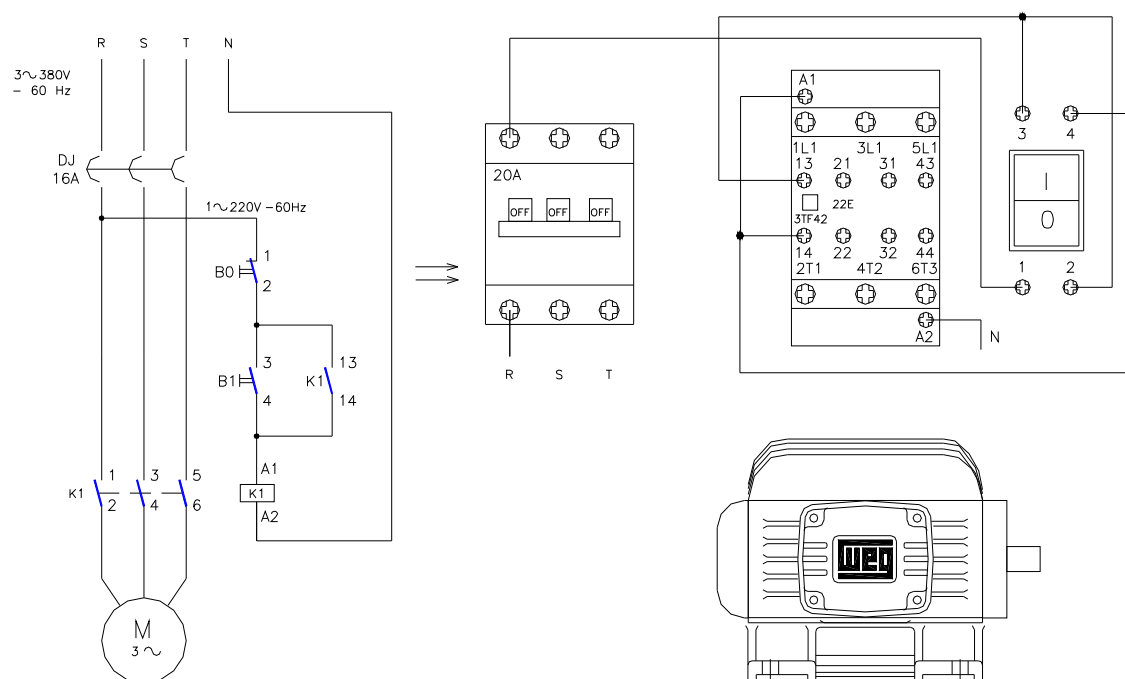


Figura 5.8 – Conexão do terminal 14 do contator K1 ao terminal A1 do mesmo contator.

- viii. Efetuar os ajustes necessários para operação do circuito;
 - Ligar disjuntor;
- ix. Testar circuito de comandos;
 - Ao pressionar a botoeira B1 o contator K1 deve entrar em operação;
 - Ao depressionar o botão B1 o contator deve permanecer em operação;
 - Ao pressionar a botoeira B0 o contator deve sair de operação.
- x. Executar a montagem do circuito de potência;
 - Desligar o disjuntor;
 - Conectar a extremidade de um condutor ao terminal da fase S da fonte e conectar a outra extremidade ao terminal inferior central do pólo do disjuntor, figura 5.9;
 - Conectar a extremidade de um condutor ao terminal da fase T da fonte e conectar a outra extremidade ao terminal inferior direito do pólo do disjuntor, figura 5.9;

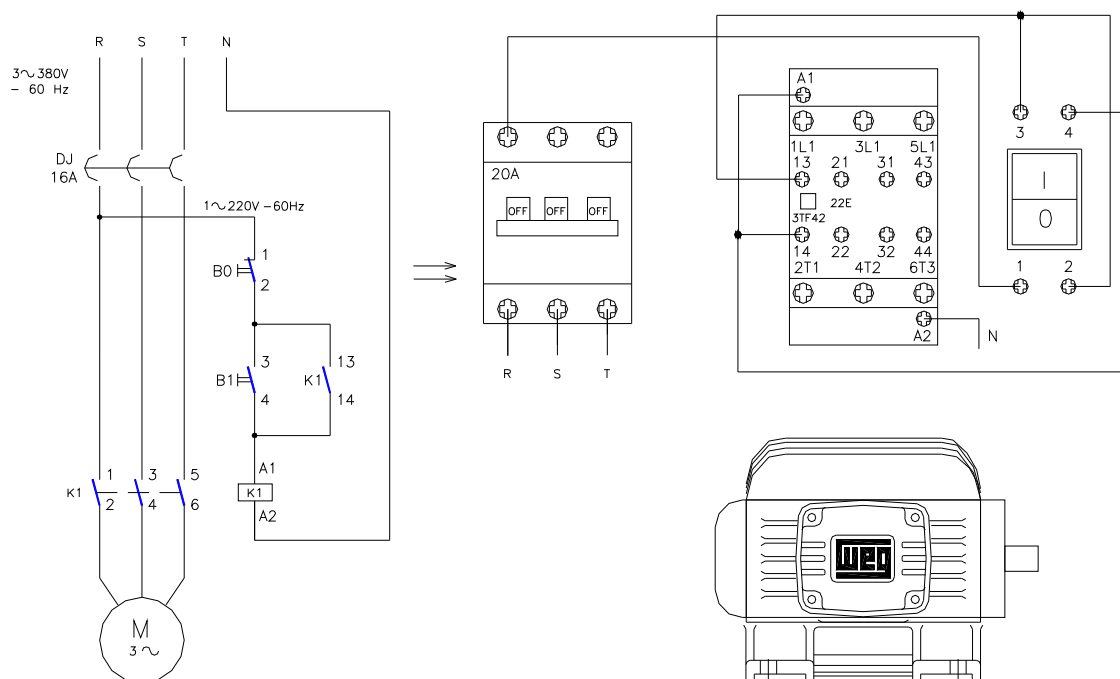


Figura 5.9 – Conexão das fases S e T ao disjuntor.

- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal superior esquerdo do pólo do disjuntor e a outra extremidade ao terminal 1L1, figura 5.10;
- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal superior central do pólo do disjuntor e a outra extremidade ao terminal 3L1, figura 5.10;
- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal superior direito do pólo do disjuntor e a outra extremidade ao terminal 5L1, figura 5.10;

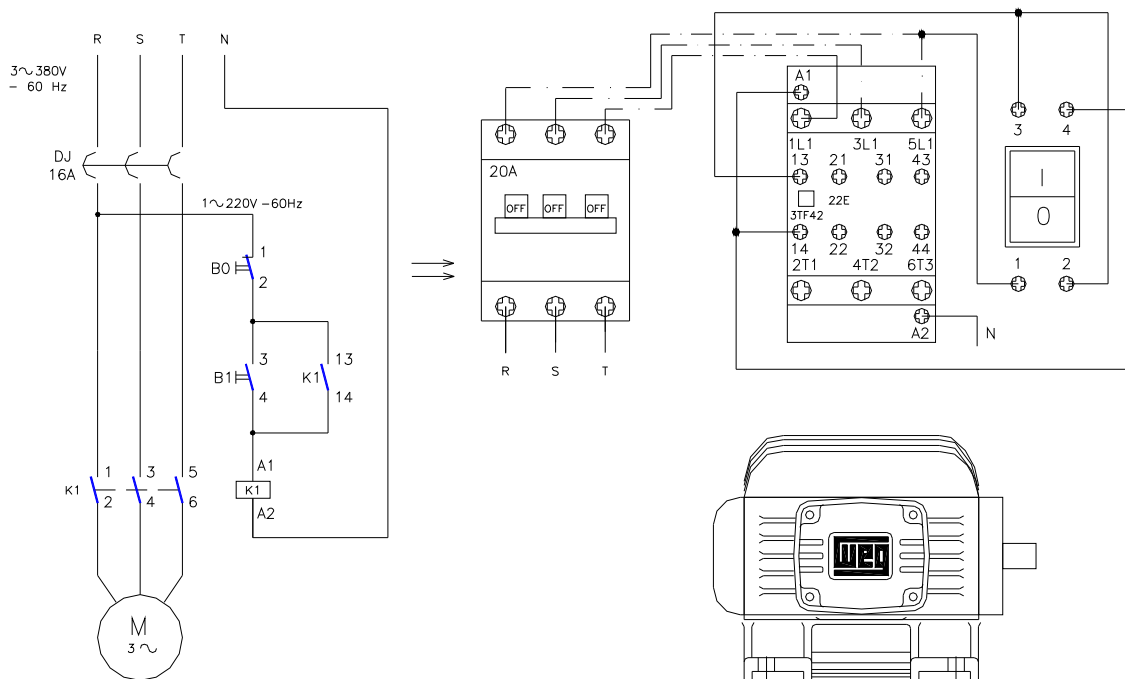


Figura 5.10 – Conexão das fases disjuntor ao circuito de potência do contator K1.

- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal 2T1 do contator e a outra extremidade ao motor elétrico, figura 5.11;
- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal 4T2 do contator e a outra extremidade a um dos terminais do motor elétrico, figura 5.11;
- Conectar a extremidade de um condutor ao terminal 6T2 do contator e a outra extremidade a um dos terminais do motor elétrico, figura 5.11;

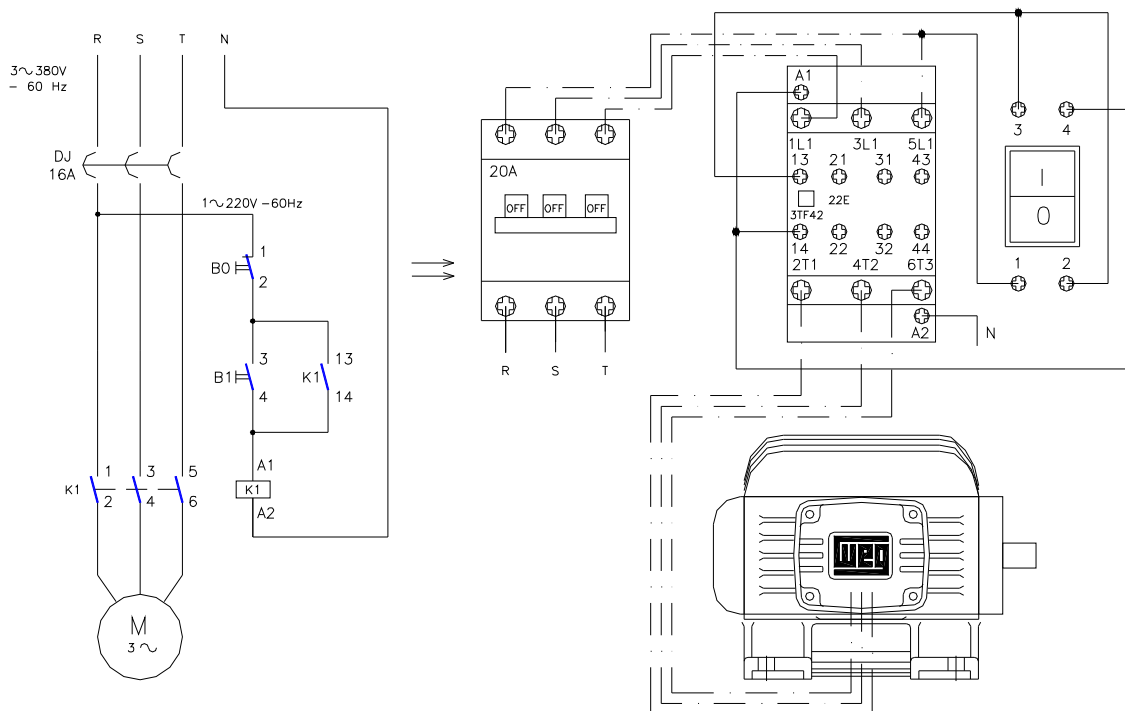


Figura 5.11 – Conexão do circuito de potência do contator K1 aos terminais do motor elétrico.

- xi. Efetuar os ajustes necessários para operação do circuito;
- Ligar disjuntor;
 - Testar circuito de potência operando-o através do circuito de comandos;
 - Operando o contator o motor será ligado;
 - Desligando o contator o motor será desligado.

Capítulo 6 – INTERPRETAÇÃO DE DIAGRAMAS DE COMANDOS ELÉTRICOS

6.1 Introdução

A análise de um diagrama de comandos elétricos parte da interpretação do funcionamento de cada um dos componentes do circuito. Para isso é necessário conhecer os componentes utilizados.

Para analisar um circuito de comandos elétricos devemos inicialmente seguir alguns passos:

- i. Observar no diagrama se o circuito está fechado para algum componente de acionamento ou sinalização;
- ii. Observar a numeração dos contatos dos relés e/ou contatores para analisar o diagrama de acordo com a ordem de atuação dos contatos quando estes componentes forem atuados;
- iii. Atuar, ou observar se quando o circuito for energizado algum dos componentes do circuito atua, observando se esta ação fecha o circuito para algum componente do tipo bobina do contator, relé ou algum elemento de sinalização, lâmpada, sirene, etc;
- iv. Observar se a ação anterior ocasiona a atuação de outros componentes até que todos os componentes sejam acionados.

Observar os diagramas e descrever o funcionamento dos diagramas conforme os passos anteriores.

6.2 Interpretação de Diagramas

6.2.1 Diagrama 1 – Comando de contatores por botoeira com intertravamento, figura 6.1

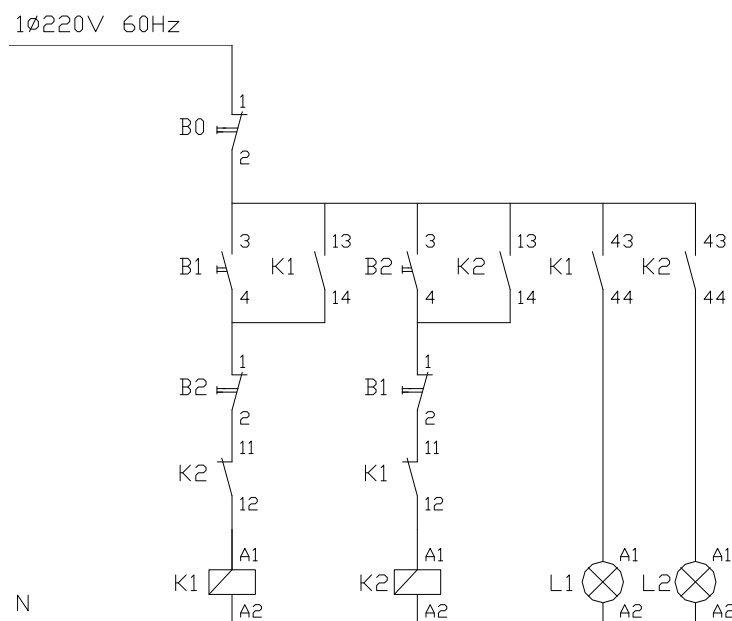


Figura 6.1 - Comando de contatores por botoeira com intertravamento.

6.2.1.1 Funcionamento do circuito

- Observando-se o diagrama de comandos acima percorrendo o circuito elétrico percebe-se que os elementos finais de operação são as bobinas dos contatores K1(A1-A2) e K2(A1-A2) e que os elementos de sinalização são as lâmpadas L1 e L2 e todos eles se encontram desligados;
- A bobina do contator K1 pode ser energizada através dos contatos da botoeira B1(3-4) e do contato do contator K1(13-14); identicamente para o contator K2 em relação à botoeira B2(3-4) e o contato do contator K2(13-14);
- A lâmpada L1 pode ser energizada através do contato K1(43-44), a lâmpada L2 pode ser energizada através do contato K2(43-44);
- Para que o circuito seja fechado para a bobina do contator K1(A1-A2) deve-se inicialmente pressionar a botoeira B1, para a bobina do contator K2 deve-se pressionar a botoeira B2;
- Os contatos K1(13-14) e K1(43-44), assim como os contatos K2(13-14) e K2(43-44) só fecham, em condições normais de operação, se as bobinas dos respectivos contatores forem energizadas.
- Pressionando-se a botoeira B1
 - Abre-se o contato B1(1-2) abrindo o circuito para a bobina do contator K2(A1-A2);
 - Fecha-se o contato B1(3-4) energizando a bobina do contator K1(A1-A2);
- Energizando-se a bobina do contator K1(A1-A2):
 - Abre-se o contato K1(11-12) impedindo que a bobina do contator K2 (A1-A2) seja energizada;
 - Fecha-se o contato K1(13-14) mantendo a bobina do contator K1 energizada após despressionarmos a botoeira B1;
 - Fecha-se o contato K1(43-44) energizando a lâmpada de sinalização L1.
- Pressionando-se a botoeira B0 abre-se o contato B0(1-2) desenergizando a bobina do contator K1(A1-A2) desligando-o;
- Desenergizando-se a bobina do contator K1(A1-A2)
 - Abre-se o contato K1(43-44) desenergizando a lâmpada L1(A1-A2);
 - Abre-se o contato K1(13-14) desenergizando a bobina do contator K1(A1-A2) desligando-o;
 - Fecha-se o contato K1(11-12) permitindo que o circuito da bobina do contator K2(A1-A2) seja energizado ao pressionar a botoeira B2.
- Pressionando-se a botoeira B2
 - Abre-se o contato B2(1-2) abrindo o circuito para a bobina do contator K1(A1-A2);
 - Fecha-se o contato B2(3-4) energizando a bobina do contator K2(A1-A2);
- Energizando-se a bobina do contator K2(A1-A2):
 - Abre-se o contato K1(11-12) impedindo que a bobina do contator K1 (A1-A2) seja energizada;
 - Fecha-se o contato K2(13-14) mantendo a bobina do contator K2 energizada após despressionarmos a botoeira B2;
 - Fecha-se o contato K2(43-44) energizando a lâmpada de sinalização L2.
- Pressionando-se a botoeira B0 abre-se o contato B0(1-2) desenergizando a bobina do contator K2(A1-A2) desligando-o;
- Desenergizando-se a bobina do contator K2(A1-A2)
 - Abre-se o contato K2(43-44) desenergizando a lâmpada L2(A1-A2);
 - Abre-se o contato K2(13-14) desenergizando a bobina do contator K2(A1-A2) desligando-o;

- Fecha-se o contato K2(11-12) permitindo que o circuito da bobina do contator K1(A1-A2) seja energizado ao pressionar a botoeira B1.
- A operação também pode ser iniciada pela botoeira B2.

6.2.2 Diagrama 2 – Comando de contatores por botoeira e relé de tempo, figura 6.2

Neste diagrama de comandos o relé de tempo é do tipo com retardo na energização o contato D1(15-18) é um contato comutador (reversor) onde somente estão sendo utilizados os terminais 15 e 18.

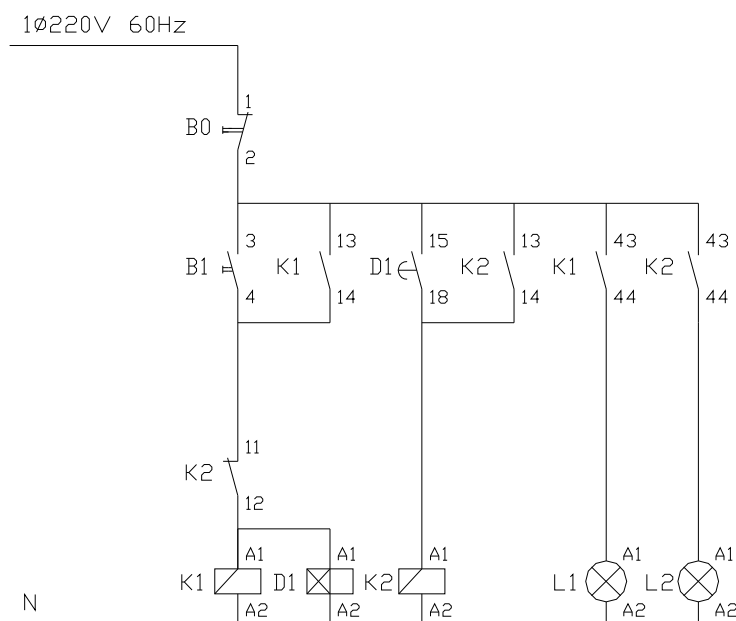


Figura 6.2 – Comando de contatores por botoeira e relé de tempo.

6.2.2.1 Funcionamento do circuito

- Pressionando-se a botoeira B1 fecha-se o contato B1(3-4) energizando a bobina do contator K1(A1-A2) e o relé de tempo D1(A1-A2);
- Energizando-se a bobina do contator K1(A1-A2):
 - Fecha-se o contato K1(13-14) mantendo a bobina do contator K1(A1-A2) e o relé de tempo energizados após despressionarmos a botoeira B1;
 - Fecha-se o contato K1(43-44) energizando a lâmpada de sinalização L1;
- Energizando-se o relé de tempo D1(A1-A2), o mesmo conta o tempo previamente ajustado e após o decurso deste tempo fecha o contato D1(15-18);
- Fechando-se o contato D1(15-18) energiza-se a bobina do contator do contator K2(A1-A2);
- Energizando-se a bobina do contator K2(A1-A2)
 - Abre-se o contato K2(11-12) desenergizando a bobina do contator K1(A1-A2) desligando-o desligando também o relé de tempo D1(A1-A2);
 - Fecha-se o contato K2(13-14) mantendo a bobina do contator K2(A1-A2) energizado após a abertura do contato do relé de tempo D1(15-18);
 - Fecha-se o contato K2(43-44) energizando a lâmpada de sinalização L2.

- Desenergizando-se a bobina do contator K1(A1-A2)
 - Abre-se o contato K1(43-44) desenergizando a lâmpada L1(A1-A2);
 - Abre-se o contato K1(13-14) abrindo o circuito para a bobina do contator K1(A1-A2) e o relé de tempo D1(A1-A2);
- Pressionando-se a botoeira B0 abre-se o contato B0(1-2) desenergizando a bobina do contator K2(A1-A2) desligando-o;
- Desenergizando-se a bobina do contator K2(A1-A2)
 - Abre-se o contato K2(43-44) desenergizando a lâmpada L2(A1-A2);
 - Abre-se o contato K2(13-14) desenergizando a bobina do contator K2(A1-A2) desligando-o;
 - Fecha-se o contato K2(11-12) permitindo que o circuito da bobina do contator K1(A1-A2) seja energizado ao pressionar a botoeira B1.
- Pressionando-se a botoeira B0 em qualquer instante haverá o desligamento de todo o circuito.

6.2.3 Diagrama 3 – Comando de contatores por botoeiras e relés de tempo, figura 6.3

Neste diagrama de comandos o relé de tempo D1 é do tipo com retardo na energização, o contato D1(15-18) é um contato comutador (reversor) onde somente estão sendo utilizados os terminais 15 e 18; o relé D2 é do tipo com retardo na energização, no contato comutador D2(15-16) estão sendo utilizados somente os terminais 15 e 16.

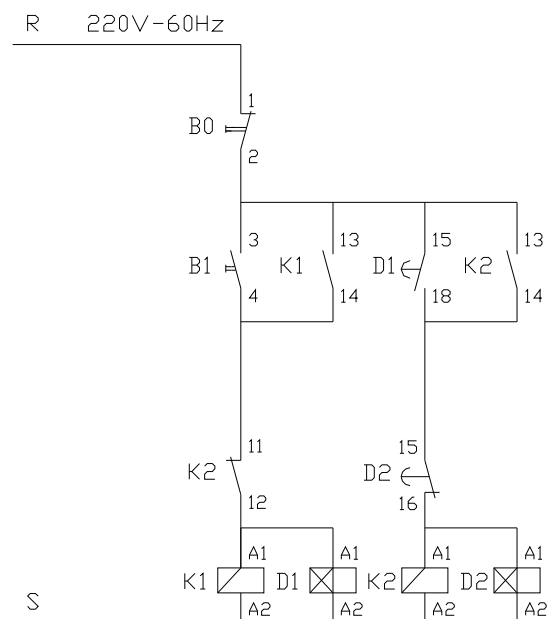


Figura 6.3 – Comando de contatores por botoeiras e relés de tempo.

6.2.3.1 Funcionamento do circuito

- Pressionando-se a botoeira B1 fecha-se o contato B1(3-4) energizando a bobina do contator K1(A1-A2) e o relé de tempo D1(A1-A2);

- Energizando-se a bobina do contator K1(A1-A2) fecha-se o contato K1(13-14) mantendo a bobina do contator K1(A1-A2) e o relé de tempo D1(A1-A2) energizados após despressionarmos a botoeira B1;
- Energizando-se o relé de tempo D1(A1-A2), o mesmo conta o tempo previamente ajustado e após o decurso deste tempo fecha o contato D1(15-18);
- Fechando-se o contato D1(15-18) energiza-se a bobina do contator K2(A1-A2) e o relé de tempo D2(A1-A2);
- Energizando-se a bobina do contator K2(A1-A2)
 - Abre-se o contato K2(11-12) desenergizando a bobina do contator K1(A1-A2) desligando-o e desligando também o relé de tempo D1(A1-A2);
 - Fecha-se o contato K2(13-14) mantendo a bobina do contator K2(A1-A2) e o relé de tempo D2(A1-A2) energizados após a abertura do contato do relé de tempo D1(15-18);
- Desenergizando-se o relé de tempo D1(A1-A2) abre-se o contato D1(15-18);
- Energizando-se o relé de tempo D2(A1-A2), o mesmo conta o tempo previamente ajustado e após o decurso deste tempo abre o contato D2(15-16);
- Abrindo-se o contato D2(15-16) desenergiza-se a bobina do contator K2(A1-A2) e o relé de tempo D2;
- Desenergizando-se a bobina do contator K2(A1-A2)
 - Abre-se o contato K2(13-14) desenergizando a bobina do contator K2(A1-A2) desligando-o e o relé de tempo D2(A1-A2);
 - Fecha-se o contato K2(11-12) permitindo que o circuito da bobina do contator K1(A1-A2) seja energizado ao pressionar a botoeira B1.
- Pressionando-se a botoeira B0 em qualquer instante haverá o desligamento de todo o circuito.

6.2.4 Diagrama 4 – Comando de motor elétrico através de contadores, figura 6.4

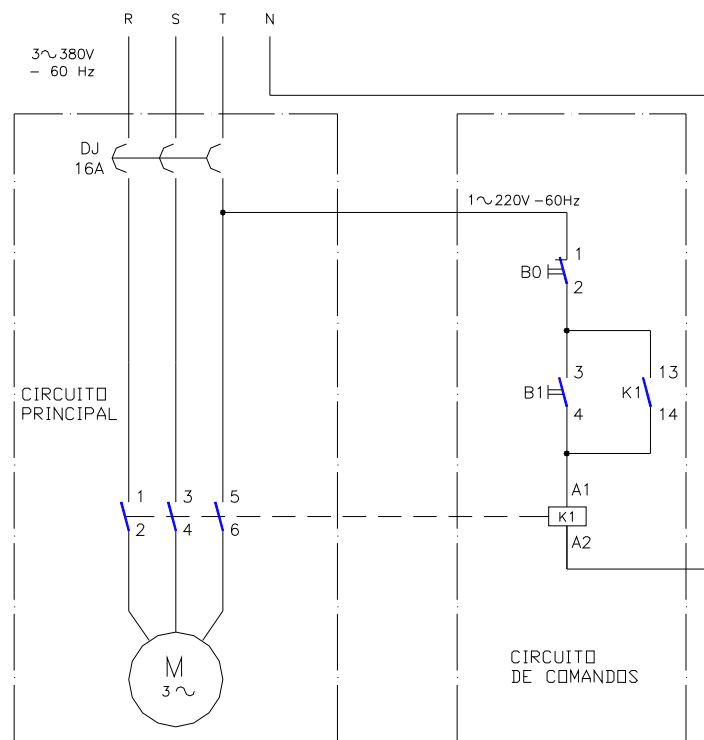


Figura 6.4 - Comando de motor elétrico através de contatores.

6.2.4.1 Funcionamento dos circuitos

- Circuito de comandos
 - Pressionando-se a botoeira B1 fecha-se o contato B1(3-4) energizando a bobina do contator K1(A1-A2);
 - Energizando-se a bobina do contator K1(A1-A2) fecha-se o contato K1(13-14) mantendo a bobina do contator K1(A1-A2) após despressionarmos a botoeira B1;
 - Pressionando-se a botoeira B0(1-2) abre-se o contato B0(1-2) desenergizando a bobina do contator K1(A1-A2) desligando-o.
- Circuito Principal
 - Energizando-se a bobina do contator K1 fecham-se os contatos principais 1-2, 3-4 e 5-6 alimentando o motor com a tensão da rede de energia elétrica, 380V;
 - Desenergizando-se a bobina do contator K1 abrem-se os contatos principais 1-2, 3-4 e 5-6 desligando a alimentação do motor desligando-o.

Em qualquer diagrama de comandos a operação do circuito principal é realizada através do circuito de comandos, desta forma entende-se que qualquer operação que energize a bobina do contator implica no fechamento dos contatos principais ligando a carga à fonte de energia elétrica e qualquer desenergização da bobina implica à abertura dos contatos principais desligando a carga da fonte de energia elétrica.

6.3 Exercícios

Interpretar os diagramas das figuras 6.5, 6.6 e 6.7.

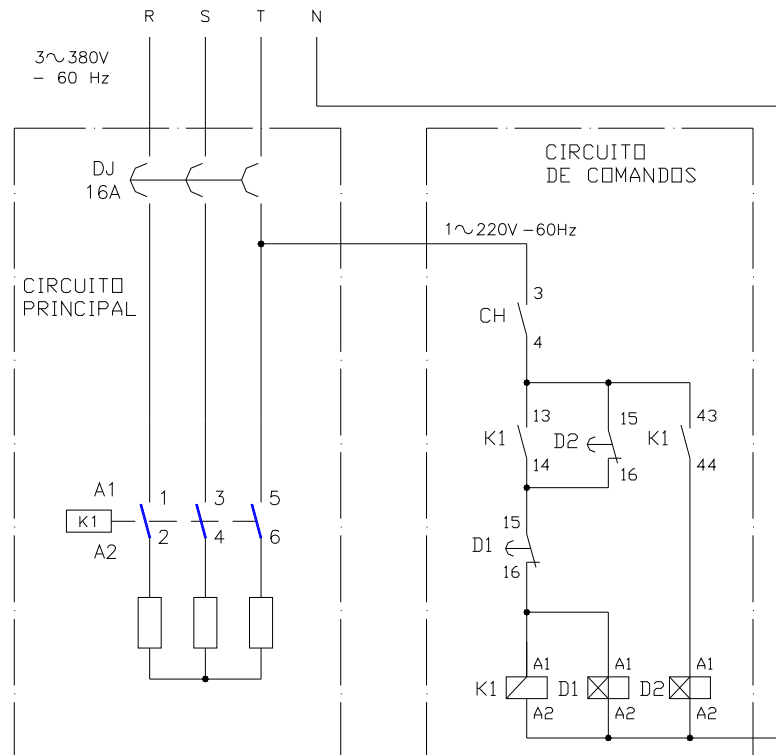


Figura 6.5 – Comando de banco de resistência através de contadores.

No diagrama da figura 6.5 o relé de tempo D1 é do tipo com retardo na energização ajustado para 4 minutos e o relé de tempo D2 é do tipo com retardo na desenergização ajustado para 2 minutos. Considere que a chave CH é do tipo com retenção e que o contator alimenta um banco de resistência ligado em Y.

Capítulo 7 – CHAVES DE PARTIDA PARA MOTORES ELÉTRICOS

7.1. Introdução

As chaves de partida para motores elétricos se constituem num conjunto de componentes instalados de forma que tanto a operação, quanto à proteção do motor possa ser realizada. Algumas destas chaves associam a estas funções a propriedade de redução na corrente de partida do motor visando à minimização da perturbação no sistema elétrico no qual o motor está ligado.

A maioria das chaves trabalha pelo menos com proteção contra curto – circuito (fusíveis ou disjuntores) e proteção contra sobrecarga (relés térmicos, protetores térmicos).

7.2. Chave de Partida Direta

Denomina-se Chave de Partida Direta o circuito de comandos elétricos utilizado para ligar e desligar o motor elétrico associando a esta função a proteção do motor elétrico quanto a curto – circuito e sobrecarga. Estas chaves são assim conhecidas devido ao fato de alimentar o motor com tensão plena.

7.2.1. Características Principais

- Tensão nominal durante e após a partida do motor;
- Conjugado de partida (torque) pleno (sem redução);
- Corrente de partida plena (sem redução).

As chaves de partida direta sempre que possível devem ser utilizadas, quando isto não for possível devido às perturbações ocasionadas pela alta corrente de partida, principalmente no caso de motores de grande potência, deve-se escolher uma chave que possibilite a redução desta corrente.

Dentre as principais perturbações ocasionadas pela alta corrente de partida de motores elétricos pode-se citar a acentuada queda de tensão no sistema durante a partida do motor. Devido a este inconveniente as concessionárias de energia elétrica limitam a potência máxima de motores elétricos que podem ser acionados através de chaves do tipo partida direta a cerca de 5CV.

Não sendo possível a utilização da chave de partida direta utiliza-se a chave, ou o método, de redução de corrente de partida mais adequado.

- Chave de Partida Estrela – Triângulo;
- Chave Compensadora;
- Chave Série – Paralelo;
- Soft – Starter.

A figura 7.1 apresenta o diagrama de uma chave de partida direta.

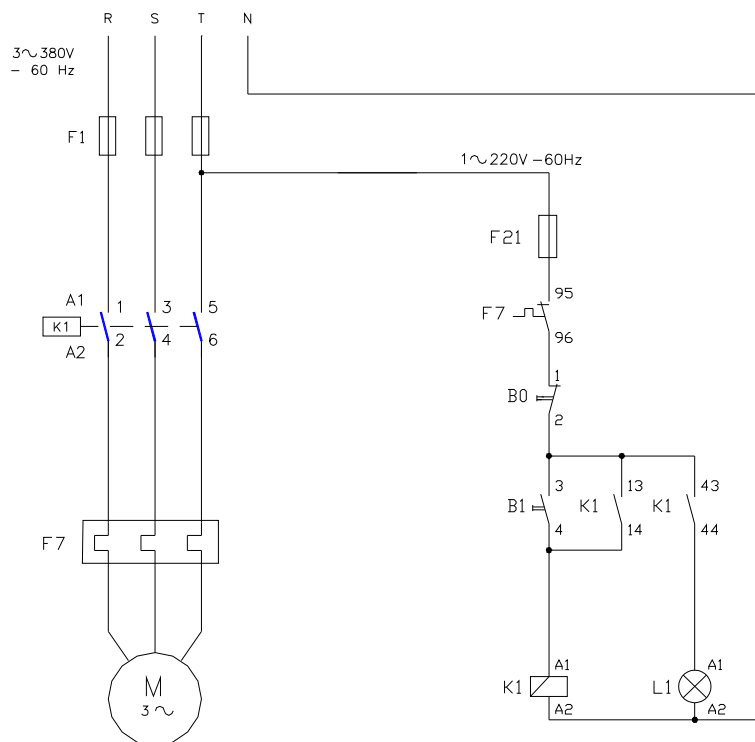


Figura 7.1 – Diagrama de uma Chave de Partida Direta.

7.2.2. Seqüência Operacional

A seqüência de operação do motor pode se descrita pela operação do contator K1.

K1 → Motor em operação.

Pressionando-se a botoeira B1 aciona-se o contator K1 ligando o motor com tensão nominal 380V fazendo-o funcionar em um dos sentidos de rotação permitido;

Ao ser acionado o contator K1 fecha o contato K1(13-14) que mantém a própria bobina energizada mantendo o contator em operação;

Pressionando-se a botoeira B0 desliga-se o contator K1 desligando o motor;

No caso de sobrecarga ou curto-circuito no circuito do motor abre-se o contato F7(95-96) ou fusível F1 respectivamente desligando o contator K1 desenergizando o motor;

7.3. Chave de Partida Direta com Reversão

A Chave de Partida Direta com Reversão é uma ampliação dos circuitos de comandos elétricos utilizados para ligar e desligar o motor elétrico associando a esta além das funções anteriores (partida direta) a possibilidade de realizar a reversão no sentido de rotação do motor elétrico. Em alguns diagramas pode-se optar por fazer a reversão no sentido de rotação sem que o motor seja inicialmente desligado.

7.3.1. Características

As características quanto à tensão de alimentação durante a partida, conjugado de partida e corrente nominal são as mesmas de uma chave de partida direta.

A figura 7.2 apresenta o diagrama de uma chave de partida direta com reversão.

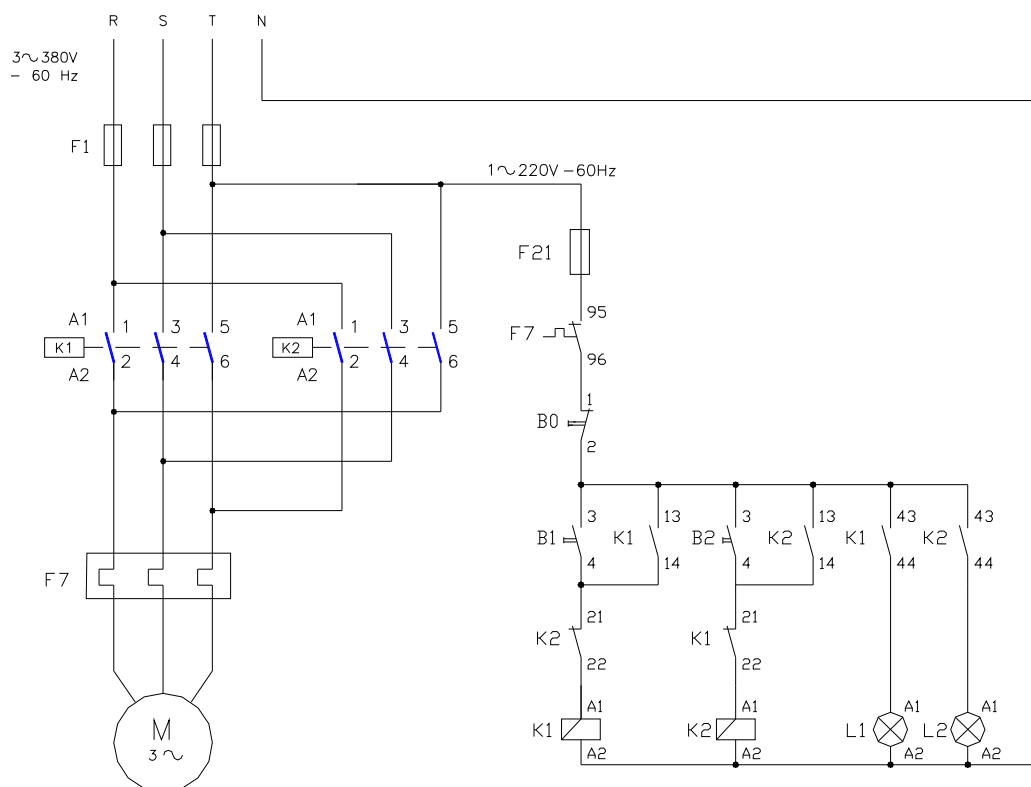


Figura 7.2 – Diagrama de uma Chave de Partida Direta com Reversão.

7.3.2. Seqüência operacional

O funcionamento do circuito de comandos é basicamente o mesmo do circuito apresentado para o Diagrama 5, item 4.45. A exceção é quanto à sinalização do funcionamento do motor que neste diagrama é realizada pelas lâmpadas L1 e L2.

Os circuitos de comandos e principal se assemelham a uma dupla partida direta. No circuito principal a diferença fundamental é a permutação de duas fases do sistema (R e T) na saída do contator K2 (terminais 2-4-6) em relação à saída do contator K1.

A seqüência de operação do motor pode se descrita pela operação dos contadores K1 e K2.

K1 → Motor em operação no sentido de rotação horário, por exemplo;

K2 → Motor em operação no sentido de rotação anti-horário, por exemplo.

Pressionando-se a botoeira B1 aciona-se o contator K1 ligando o motor com tensão nominal 380V na seqüência de fase R-S-T fazendo-o funcionar no sentido de rotação horário e liga-se a lâmpada L1 sinalizando a operação;

Ao ser acionado o contator K1 abre o contato K1(21-22) impedindo o funcionamento do contator K2 e fecha o contato K1(13-14) que mantém a própria bobina energizada mantendo o contator K1 em operação;

Pressionando-se a botoeira B0 desliga-se o contator K1 desligando o motor e a lâmpada L1;

Pressionando-se a botoeira B2 aciona-se o contator K2 ligando o motor com tensão nominal 380V na seqüência de fase T-S-R fazendo-o funcionar no sentido de rotação anti-horário e liga-se a lâmpada L2 sinalizando a operação;

Ao ser acionado o contator K2 abre o contato K2(21-22) impedindo o funcionamento do contator K1 e fecha o contato K2(13-14) que mantém a própria bobina energizada mantendo o contator K2 em operação;

Pressionando-se a botoeira B0 desliga-se o contator K2 desligando o motor e a lâmpada L2;

No caso de sobrecarga ou curto-circuito no circuito do motor abre-se o contato F7(95-96) ou fusível F1 respectivamente desligando o contator K1 desenergizando o motor;

Para realizar uma nova partida é necessário desligar o motor através da botoeira B0.

7.4. Chave de Partida Estrela – Triângulo

A Chave de Partida Estrela – Triângulo é um dos tipos de chaves de partida com tensão reduzida utilizada para operação de motores elétricos trifásicos de rotor em curto-circuito com 6 ou 12 terminais acessíveis. Esta chave é adequada para a partida motores elétricos que são acionados em vazio (ou com pequena carga). Somente após o motor atingir a rotação nominal a carga nominal do motor deve ser aplicada.

O princípio de funcionamento desta chave se baseia no fechamento dos terminais do motor em estrela, alimentando-o com tensão referente ao fechamento do motor com a tensão triângulo; desta forma o motor parte com tensão reduzida. Após o motor acelerar até cerca de 90% da velocidade nominal a chave deve comutar o motor para a ligação triângulo sendo o motor alimentado com tensão nominal.

O conjugado resistente da carga deve ser inferior ao conjugado de partida do motor utilizando-se a chave. A corrente na comutação estrela para triângulo não deve assumir valores muito altos, pois inviabilizaria a utilização da chave.

7.4.1. Características

- Partida do motor com tensão reduzida a 58% da tensão nominal;
- A tensão da rede elétrica deve coincidir com a tensão do motor na ligação em triângulo;
- Corrente de partida reduzida a 1/3 do valor da corrente de partida direta;
- Conjugado de partida reduzido para 1/3 do conjugado na ligação triângulo;

Deve-se observar para o motor e a carga, através das curvas de corrente e conjugado do motor e conjugado resistente da carga a ser acionada, se este tipo de chave pode ser utilizada. A figura 7.3 apresenta curvas genéricas para partida de um motor com chave estrela – triângulo.

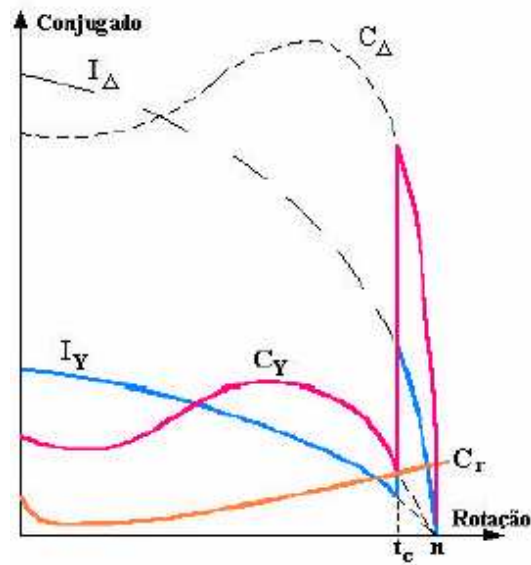


Figura 7.3 – Corrente e Conjugado para Partida Estrela – Triângulo.

Onde:

- I_{Δ} : Corrente em triângulo;
- C_{Δ} : Conjugado em triângulo;
- I_Y : Corrente em estrela;
- C_Y : Conjugado em estrela;
- C_r : Conjugado resistente da carga;
- t_c : tempo de comutação.

Deve-se observar quanto se a tensão da rede de energia elétrica a qual o motor deverá ser ligado é compatível com a tensão nominal do motor para o fechamento em triângulo.

Rede	Motor
220V	220/380V
380V	380/660V
440V	440/760V

As figuras 7.4 e 7.5 apresentam os diagramas de potência e de comandos de uma chave de partida estrela triângulo.

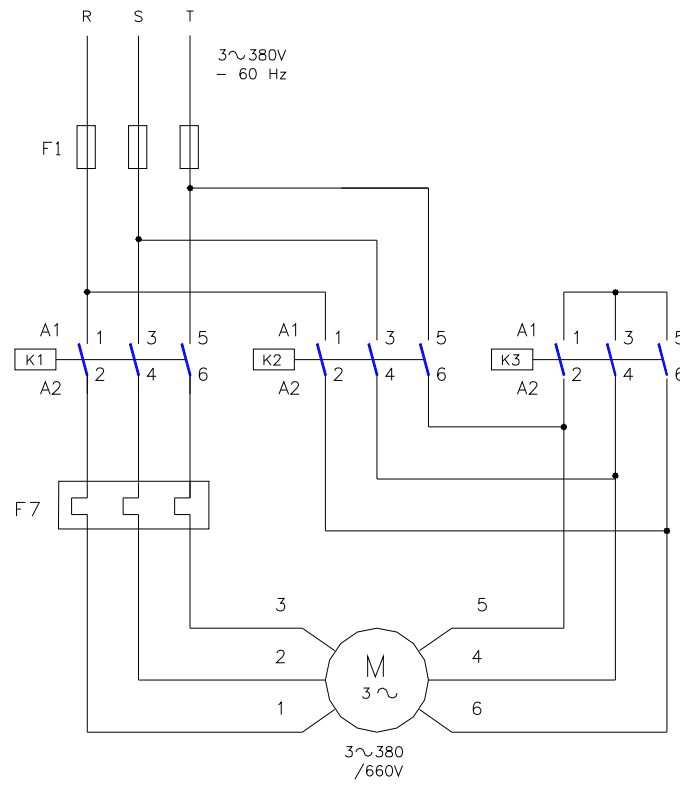


Figura 7.4 – Diagrama de Potência de uma Chave de Partida Estrela - Triângulo.

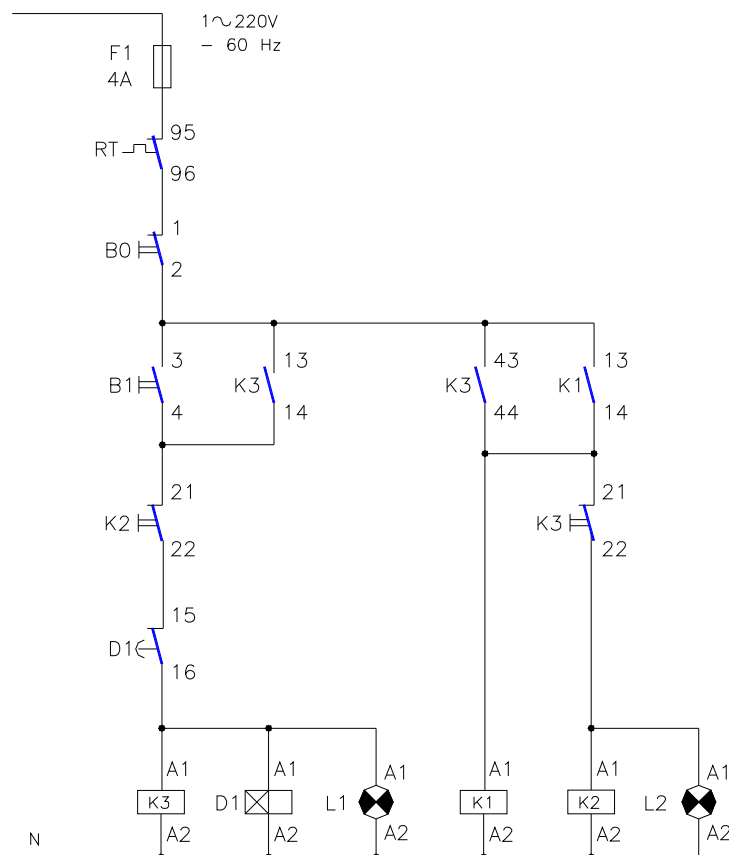


Figura 7.5 – Diagrama de Comandos de uma Chave de Partida Estrela - Triângulo.

7.4.2. Seqüência Operacional

A seqüência de operação do motor pode ser descrita pela operação dos contatores K1, K2 e K3.

K3 + K1 → Motor operando em estrela;

K1+ K2 → Motor operando em triângulo.

Pressionando-se a botoeira B1 aciona-se o contator K3 que fecha os terminais 4-5-6 do motor. O contator K3 abre o contato K3(21-22) impedindo que o contator K2 seja acionado e fecha os contatos K3(13-14) que o mantém em operação e alimenta o relé de tempo, e fecha K3(43-44) acionando o contator K1.

K1 fecha o contato K1(13-14) mantendo-se em operação, após o desligamento do contator K3, e fecha os terminais do motor 1-2-3 às fases R-S-T completando o fechamento do motor em estrela. O motor permanece em estrela alimentado com a tensão 380V até que o relé de tempo comute o contato D(15-16) desligando o contator K3;

Decorrida a temporização abre-se o contato D1(15-16) desligando o contator K3 que abre os contatos K3(13-14) e K3(43-44) e fecha o contato K3(21-22). O fechamento do contato K3(21-22) aciona o contator K2 fechando o motor em triângulo na tensão 380V;

O religamento de K3 é impedido pelo contato K2(21-22) enquanto o contator K2 permanecer em operação;

Para realizar uma nova partida é necessário desligar o motor através da botoeira B0.

7.5. Chave Compensadora

A Chave de Partida Compensadora utiliza um autotransformador para a redução da corrente de partida do motor. Desta forma qualquer motor trifásico de rotor em curto-circuito, independente do número de terminais, pode utilizá-la. Este tipo de chave, diferentemente da chave estrela – triângulo pode acionar tanto motores que partem a vazio como com carga.

O princípio de funcionamento desta chave se baseia na utilização do autotransformador em série com os grupos de bobinas do motor alimentando-os com tensão reduzida, geralmente 50 ou 60 ou 85% da tensão nominal do fechamento do motor, até que o motor acelere até próximo da rotação nominal. Depois que o motor acelerar o mesmo passa a receber a tensão nominal da rede a qual está ligado.

7.5.1. Características

- Partida do motor com tensão reduzida através do autotransformador;
- A tensão da rede elétrica deve coincidir com a tensão do autotransformador;
- Corrente de partida reduzida dependente do tap utilizado;
- Conjugado de partida reduzido dependente do tap utilizado;

O conjugado resistente de partida da carga deve ser inferior a metade do conjugado de partida do motor.

A redução na corrente de partida e no conjugado de partida do motor depende do tap utilizado.

Tap	% I_p	% C_p
50%	25	25
65%	42	42
80%	64	64

As figuras 7.6 e 7.7 apresentam os diagramas de potência e de comandos de uma chave de partida compensadora.

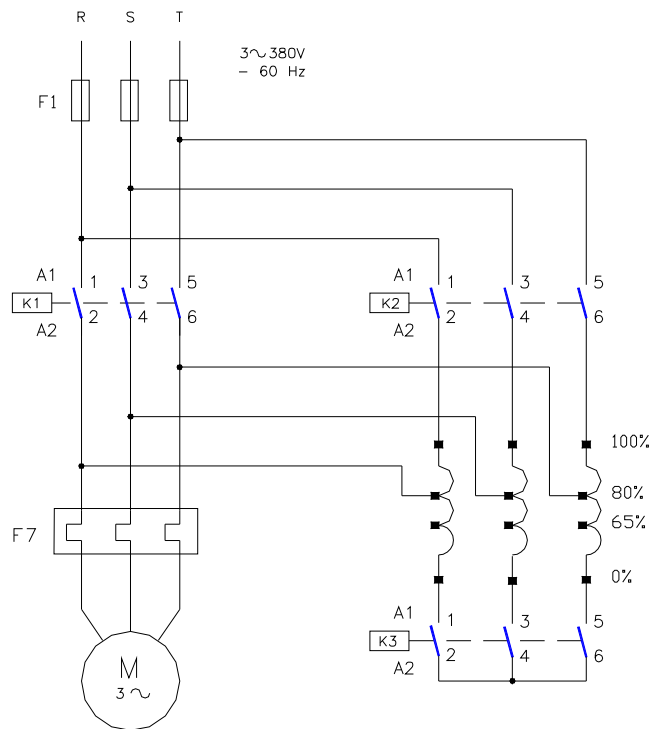


Figura 7.6 – Diagrama de Potência de uma Chave de Partida Compensadora.

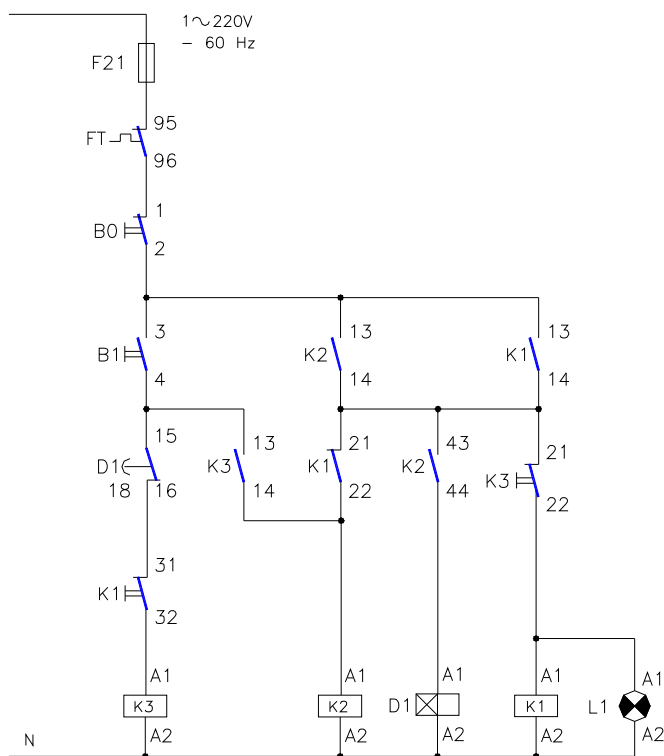


Figura 7.7 – Diagrama de Comandos de uma Chave de Partida Compensadora.
7.5.2. Seqüência Operacional

A seqüência de operação do motor pode ser descrita pela operação dos contatores K1, K2 e K3.

K3 + K2 → Motor operando com tensão reduzida através do autotrafo;

K1 → Motor operando a tensão plena.

Pressionando-se a botoeira B1 aciona-se o contator K3 fechando-se o secundário do autotransformador (estrela). O contator K3 abre o contato K3(21-22) impedindo que o contator K1 seja acionado e fecha o contato K3(13-14) acionando o contator K2. K3 e K2 alimentam o autotransformador e o motor parte com tensão reduzida conforme o tap escolhido até que o motor acelere;

O contato K1(13-14) aciona o contator K2 que se mantém através do contato K2(13-14). O contato K2(43-44) alimenta o relé de tempo.

Decorrido o tempo ajustado no relé o contator K3 é desligado através de D1(15-16). Desligando-se K3, o fechamento do contato K3(21-22) aciona o contator K1 que abre os contatos K1(21-22) e K1(31-32) desligando o contator K2 e impedindo que K3 seja energizado respectivamente. K1 se mantém em operação através de K1(13-14) mantendo o motor em operação com tensão nominal;

Para realizar uma nova partida é necessário desligar o motor através da botoeira B0.

7.6. Chave Série – Paralelo

A Chave de Partida Série – Paralelo é um dos tipos de chaves de partida com tensão reduzida utilizada para operação de motores elétricos trifásicos de rotor em curto-circuito de 9 ou 12 terminais acessíveis. Esta chave é adequada para a partida motores elétricos que são acionados sem carga.

Os motores que podem ser utilizados com esta chave devem permitir o fechamento pelo menos em duas tensões diferentes onde uma delas deve ser o dobro da outra. O princípio de funcionamento desta chave se baseia no fechamento do motor para maior tensão, energizando-o com a tensão do fechamento para menor tensão (metade). Desta forma o motor parte com a tensão reduzida à metade em cada um dos grupos proporcionando uma redução da corrente de partida para $\frac{1}{4}$ da corrente de partida direta.

Tipos de chave Série – Paralelo:

- Triângulo Série – Paralelo

A chave Triângulo Série – Paralelo é adequada para motores com fechamento possíveis para 220/380/440/760V ou 220/440V onde a tensão da rede deve ser 220V.

Na partida efetua-se o fechamento em Triângulo – Série, cuja tensão de alimentação deveria ser 440V, e alimenta-se com a tensão 220V (tensão para o fechamento Triângulo – Paralelo).

- Estrela Série – Paralelo

A chave Estrela Série – Paralelo é adequada para motores com fechamento possíveis para 220/380/440/760V ou 380/760V onde a tensão da rede deve ser 220V.

Na partida efetua-se o fechamento em Estrela – Série, cuja tensão de alimentação deveria ser 760V, e alimenta-se com a tensão 380V (tensão para o fechamento Estrela – Paralelo).

7.6.1. Características

- Partida do motor com tensão reduzida a 50% da tensão nominal;
- A tensão da rede elétrica deve coincidir com a tensão do motor na ligação para menor tensão da chave;
- Corrente de partida reduzida a 1/4 do valor da corrente de partida direta;
- Conjugado de partida reduzido para 1/4 do conjugado na partida direta.

As figuras 7.8 e 7.9 apresentam os diagramas de potência e de comandos de uma chave de partida Estrela Série – Paralelo.

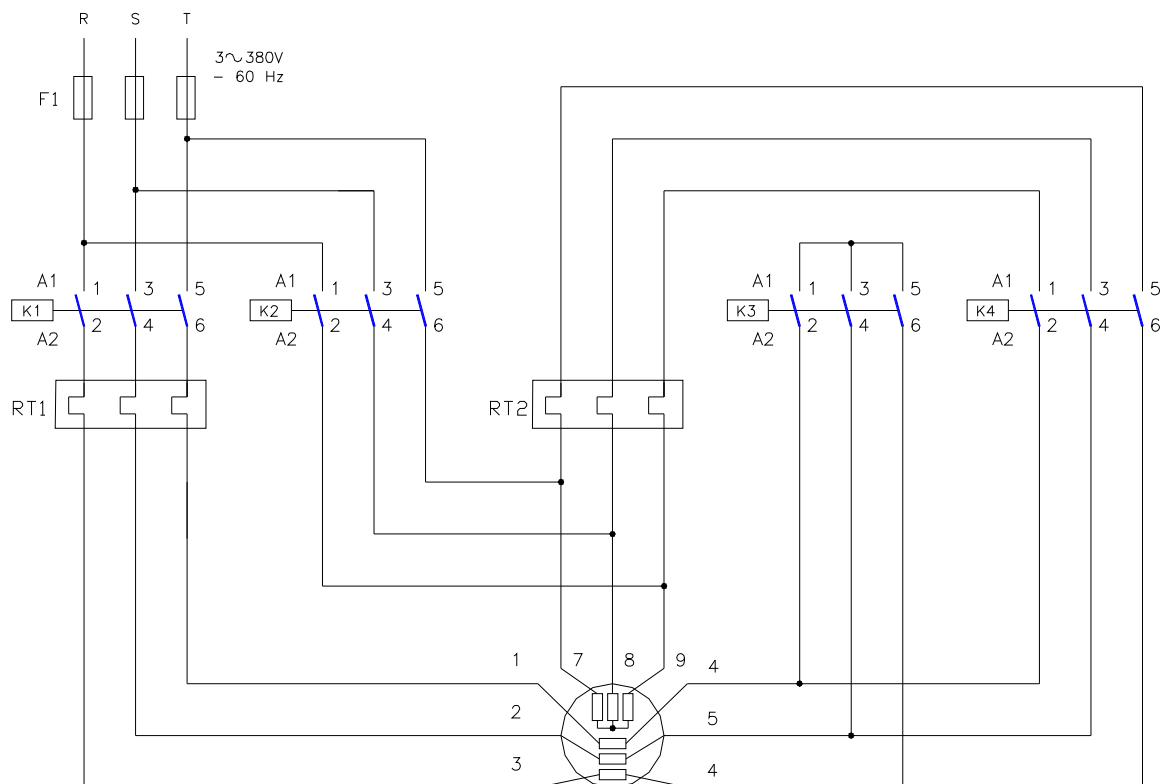


Figura 7.8 – Diagrama de Potência de uma Chave de Partida Estrela Série – Paralelo.

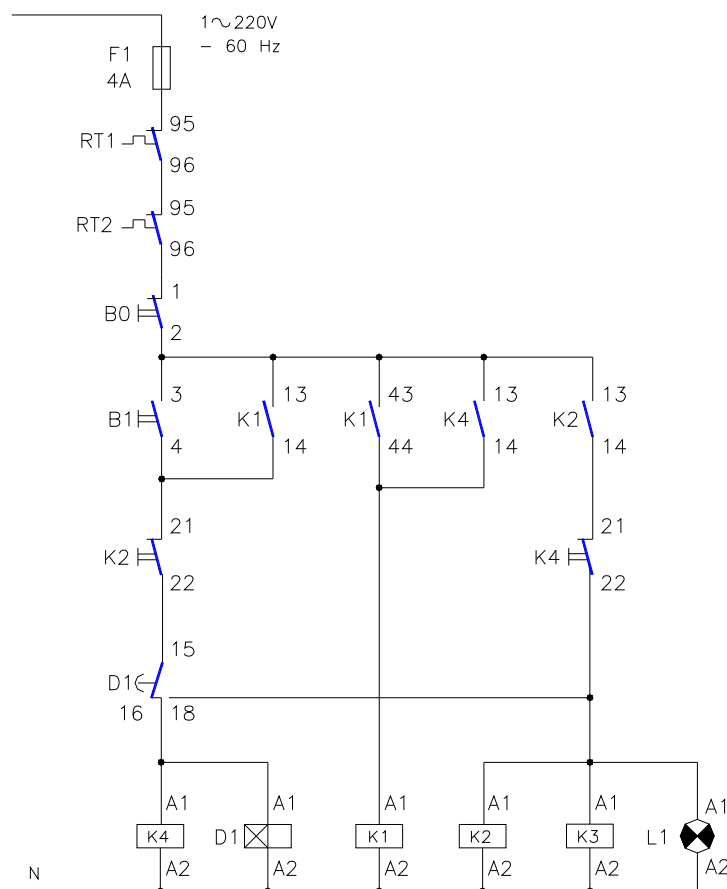


Figura 7.9 – Diagrama de Comandos de uma Chave de Partida Estrela Série – Paralelo.

7.6.2. Seqüência Operacional

A seqüência de operação do motor pode ser descrita pela operação dos contatores K1, K2, K3 e K4.

K1 + K4 → Motor operando com tensão reduzida, fechamento em Estrela – Série;

K1+ K2+ K3 → Motor operando com tensão plena, 380V, fechamento em Estrela – Paralelo.

Pressionando-se a botoeira B1 energiza-se o relé de tempo e aciona-se o contator K4 que abre o contato K4(21-22) impedindo a operação dos contatores K2 e K3, e aciona-se o contator K1 através do contato K4(13-14). K1 e K4 acionados o motor é acionado no fechamento Estrela – Série sendo alimentado com 380V;

K1 acionado mantém-se através do contato de selo K1(43-44) e mantém K4 e o relé de tempo em operação através do contato K1(13-14). Decorrido o tempo ajustado no relé de tempo D1, K4 e D1 são desenergizados pela abertura do contato D1(15-16) sendo o contator K2 energizado através de D1(15-18);

K2 energizado impede, pela abertura de K2(21-22), que K4 e D1 voltem a operar e mantém-se em operação juntamente com o contator K3 através do contato K2(13-14);

K1, K2 e K3 realizam o fechamento do motor em Estrela – Paralelo sendo alimentados com a tensão 380V;

Para realizar uma nova partida é necessário desligar o motor através da botoeira B0.

7.7. Exercício

- 7.7.1. Construir os diagramas de potência e comandos para uma chave de partida com motor Dahlander. Explicar o funcionamento.
- 7.7.2. Construir os diagramas de potência e comandos para uma chave de partida triângulo série – paralelo. Explicar o funcionamento.
- 7.7.3. Construir os diagramas para uma partida seqüencial de 05 motores elétricos com partida compensada utilizando para isso 01 autotransformador. Explicar o funcionamento.
- 7.7.4. Construir os diagramas para uma chave estrela – triângulo de maneira que o diagrama possibilite a reversão do sentido de rotação do motor. Explicar o funcionamento.

7.8. Chave de Partida Soft Start

7.9. Inversores de Freqüência

Capítulo 8 – PROTEÇÃO DE MOTORES ELÉTRICOS

8.1 Introdução

Os motores elétricos são os elementos mais importantes dentro do processo produtivo das indústrias. O funcionamento destas máquinas como de outras está sujeito a problemas e por isso devem ser protegidas contra uma série de defeitos que ocorrem por motivos diversos.

8.2 Proteção de motores elétricos

Tipos de proteção:

a) Sobrecarga contínua: Aquecimento observado após horas de funcionamento contínuo do motor.

Problemas ocasionados: elevação de temperatura no motor.

b) Sobrecarga intermitente: Aquecimento ocasionado por observado em alguns motores elétricos em partidas e frenagens freqüentes ou por reversão no sentido de rotação com o motor em marcha.

Problemas ocasionados: elevação de temperatura no motor.

c) Redução de tensão na alimentação: Variação da tensão nominal para valores inferiores à tensão de alimentação do motor elétrico quando o mesmo está em operação.

Problemas ocasionados: diminuição do conjugado de partida, aumento da corrente de plena carga do motor, aumento das perdas, diminuição da velocidade e da ventilação do motor.

d) Tensão de alimentação elevada: Variação da tensão nominal para valores superiores à tensão de alimentação do motor elétrico quando o mesmo está em operação.

Problemas ocasionados: aumento do conjugado, diminuição da corrente de plena carga, aumento do conjugado máximo, diminuição do fator de potência.

e) Rotor bloqueado: Travamento do rotor na partida ou durante o funcionamento do motor.

Problemas ocasionados: aumento excessivo e repentino da temperatura do motor.

f) Temperatura ambiente elevada: Elevação de temperatura observada no ambiente de instalação do motor quando o mesmo está em operação.

Problemas ocasionados: aumento das perdas, aumento excessivo da temperatura do enrolamento do motor.

g) Circulação deficiente do meio refrigerante: falta de ventilação do ambiente onde o motor está instalado.

Problema ocasionado: aumento da temperatura do motor.

h) Variação de frequência da rede: alteração da frequência nominal da rede de alimentação onde o motor está instalado. Este problema é problema pouco comum.

Problema ocasionado: variação do conjugado e das perdas inversamente com a variação de frequência

i) Funcionamento com ausência de uma fase: falta de uma das fases quaisquer da rede de alimentação do motor elétrico.

Problemas ocasionados: aumento de corrente nos enrolamentos cuja falta de fase não foi observada.

j) Curto-circuito no sistema de alimentação do motor elétrico: sobrelevação de corrente observada no funcionamento de um circuito elétrico. Os circuitos que possuem instalação de motores elétricos geralmente têm pelo menos esta proteção associada.

Problemas ocasionados: geralmente há o desligamento do motor por ação da proteção de componentes como fusíveis, disjuntores ou relés de sobrecorrente associados a disjuntores.

Diagramas de proteção para motores elétricos¹

8.3

A proteção de motores elétricos está associada ao grau de importância do motor no processo no qual está instalado, ao investimento para a aquisição do motor e custo da proteção pretendida entre outros fatores, devendo ser analisado numa relação de custo benefício.

De maneira geral a maioria dos motores elétricos está protegida pelo menos contra curtos-circuitos e sobrecargas.

Alguns diagramas de proteção são propostos para proteção de motores elétricos utilizando-se fusíveis, disjuntores, relés térmicos bimetálicos, e elementos de atuação através de variação de temperatura entre outros que podem ser associados com estes para proteção do motor contra um ou mais tipos de defeitos. Na figura 8.1 são apresentados oito diagramas de proteção que podem ser utilizado para os diversos tipos de proteções pretendidas.

¹ Mamede, João Filho – Instalações Elétricas Industriais , 2ª edição 1997. Editora LTC.

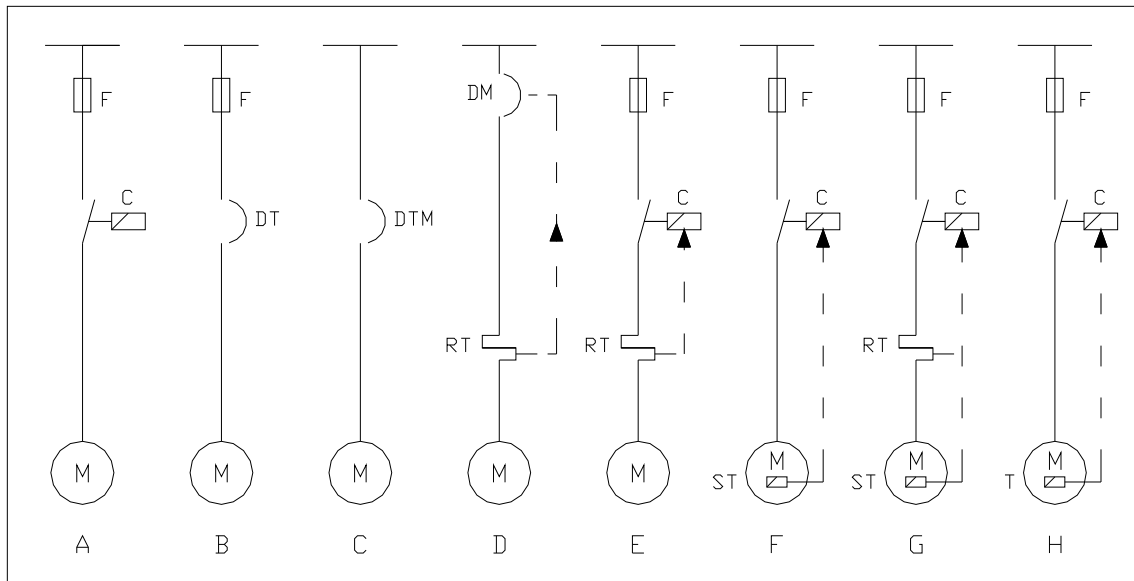


Figura 8.1 – Diagramas de proteção de motores elétricos.

Onde:

F – Fusíveis;

C – Contator;

DT – Disjuntor térmico;

DT – Disjuntor térmico;

DTM – Disjuntor térmico magnético;

RT – Relé térmico;

ST – Sonda térmica;

T – Termistor;

M – Motor.

No quadro a seguir os diagramas apresentados são associados, sendo um ou mais deles adequados a um ou mais tipos de proteção para os motores.

PROTEÇÃO	ESQUEMA DE PROTEÇÃO							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Sobrecarga contínua	0	1	1	1	1	2	2	2
Sobrecarga intermitente	0	1	1	1	1	2	2	2
Redução da tensão de alimentação	0	1	1	1	1	2	2	2
Elevação da tensão de alimentação	0	0	0	0	0	0	0	0
Rotor bloqueado	0	1	1	1	2	2	2	2
Temperatura ambiente elevada	0	1	1	1	1	2	2	2
Circulação deficiente de meio refrigerante	0	0	0	0	0	2	2	2
Variação de frequência da rede	0	0	0	0	0	1	1	1
Falta de fase	0	1	1	1	1	2	2	2
Curto-circuito	2	2	2	2	2	2	2	2

Legenda:

0 – Não há garantia de proteção com o esquema se adotado.

1 – Eficiência de proteção condicionada às características do motor e equipamentos de proteção;

2 – Eficiência de proteção garantida.

As proteções com eficiência condicionadas devem ser analisadas no binômio motor x equipamentos de proteção para ver se os mesmos atendem.

Cada uma destas proteções podem ser também realizadas utilizando-se de componentes eletrônicos como é o caso de relés diversos que supervisionam os diversos sistemas elétricos. Nestes casos os motores devem está ligados através de chaves magnéticas (contatores, relés) e estes com a bobina de acionamento ligada em série com algum contato do tipo normalmente fechado destes relés. É o que se pode observar no caso da proteção realizada para Falta de Fase e elevação de tensão de alimentação do motor quando se instala relé de supervisão de fases no sistema conforme trecho do diagrama da figura 8.2.

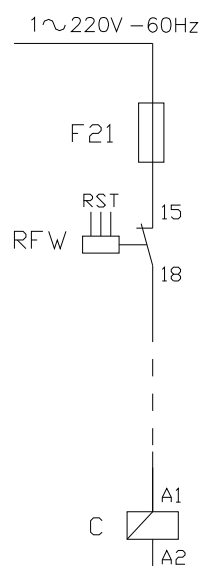


Figura 8.2 – Diagrama de comandos com relé de supervisão de fases

Capítulo 9 – DIMENSIONAMENTO DE COMPONENTES BÁSICOS DE COMANDOS ELÉTRICOS

9.1 Introdução

No projeto de um sistema de comandos elétricos é necessário que sejam utilizados os conhecimentos relacionados ao motor, rede de energia elétrica, bem como ao funcionamento do circuito de comandos. Neste caso é necessário levar em consideração as características de funcionamento do motor que deve ser acionado. Algumas dessas características são relacionadas ao ambiente (temperatura, altitude, ventilação, atmosfera ambiente); rede de alimentação do motor (tensão, frequência); regime de trabalho (contínuo, intermitente); dados elétricos do motor (potência, velocidade, etc) entre outras.

Nos itens que se seguem é apresentada a metodologia de cálculo de alguns dos principais componentes dos projetos de sistemas de comandos elétricos e também alguns exemplo de cálculos para algumas chaves de partida utilizadas para motores elétricos.

9.2 Cálculo para Dimensionamento dos Principais Componentes de Comandos

a) Contator

$$I_e \geq I_N$$

- I_e – corrente do contator (de acordo com a categoria empregada);
 I_N – corrente nominal do motor.

b) Relés de sobrecarga

$$I_{RT} = I_N$$

- I_{RT} – corrente do relé térmico.

c) Fusíveis de potência

I_F é determinada através de I_p e I_N e a curva do fusível (diazed ou NH);

$$I_F = 1,20 \cdot I_N;$$

- $I_F \leq I_{FMÁS}$ (contator e relé térmico);

I_F – corrente nominal do fusível;

$I_{FMÁS}$ – corrente nominal do fusível dos componentes contator e fusível.

d) Fusíveis de comandos

$$I_F \geq I_R;$$

$$I_F = \frac{S_R}{V_C};$$

$$I_P = \frac{S_P}{V_C};$$

- I_R – corrente de regime dos contadores ligados ao fusível no circuito de comandos;
 I_P – corrente de pico dos contadores ligados ao fusível no circuito de comandos;
 S_R – soma das potências aparentes dos contadores ligados (em regime);
 S_P – soma das potências aparentes dos contadores ligados (valores de pico).

9.3 Chave de Partida Direta

Para este trabalho é necessário especificar cada um dos componentes de comandos que serão utilizados no acionamento da chave.

Exemplo: Dimensionar os componentes para proteger o motor WEG de 5CV – 380V / 60Hz, IV pólos, corrente nominal igual a 8,0A. Supondo um tempo de partida igual a 5 segundos (partida direta).

Considerando-se que este seja um motor cuja instalação não requer grandes cuidados na instalação o diagrama de proteção utilizado garantirá a proteção do motor contra curto-circuito e sobrecarga. Adotando-se o diagrama de proteção baseado em fusíveis e relé térmico de sobrecarga.

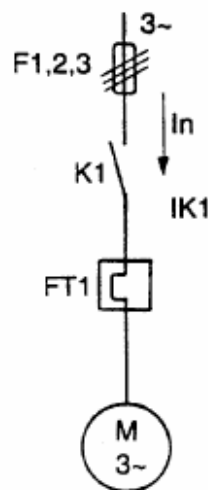


Figura 9.1 – Diagrama unifilar de uma chave de partida direta.

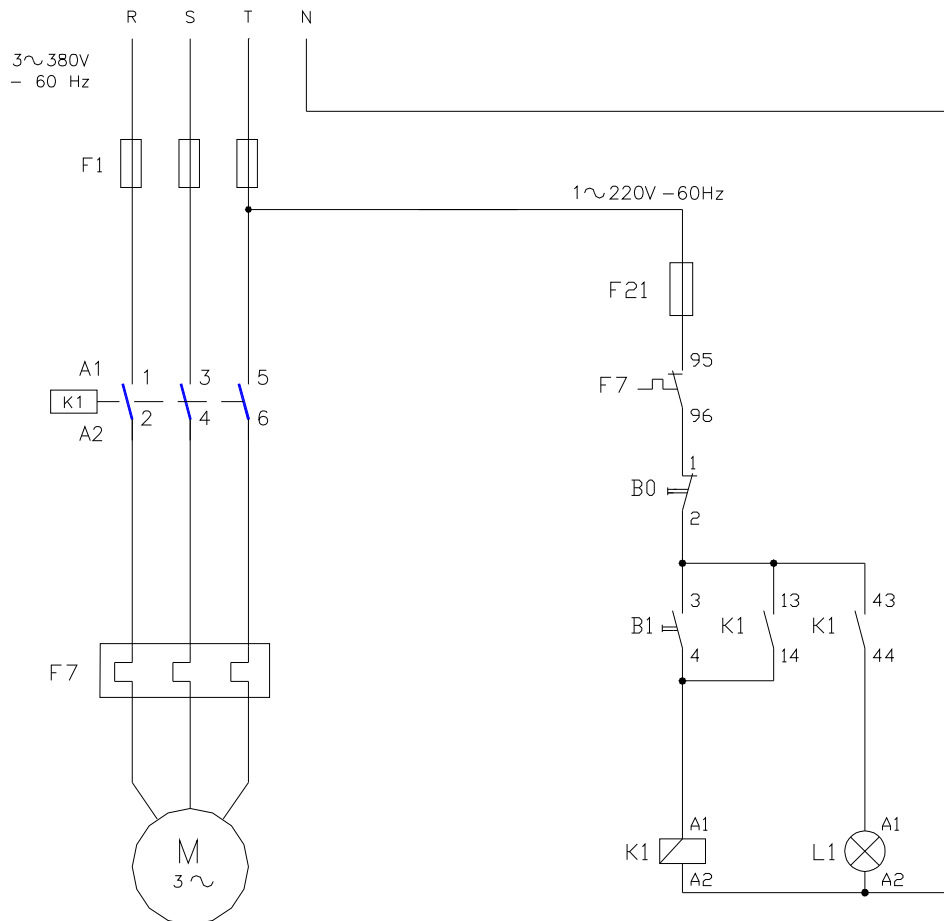


Figura 9.2 – Diagrama de potência e de comandos de uma chave de partida direta.

Resolução:

9.4 Chave de Partida Estrela – Triângulo

Dimensionar os componentes para de uma chave de partida estrela – triângulo para acionar um motor trifásico de 30 CV, IV pólos (380/660V), em uma rede de 380V/60Hz (trifásica com neutro).

$$I_p = 42,08A;$$

Dados do motor obtidos através de catálogos WEG: $\frac{I_p}{I_n} = 7,5$

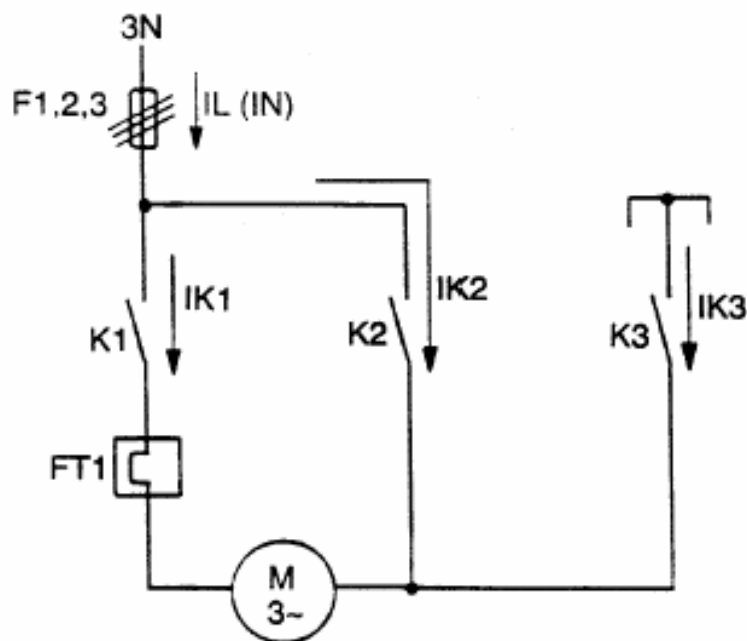


Figura 9.3 – Diagrama unifilar da chave de partida estrela – triângulo.

Resolução:

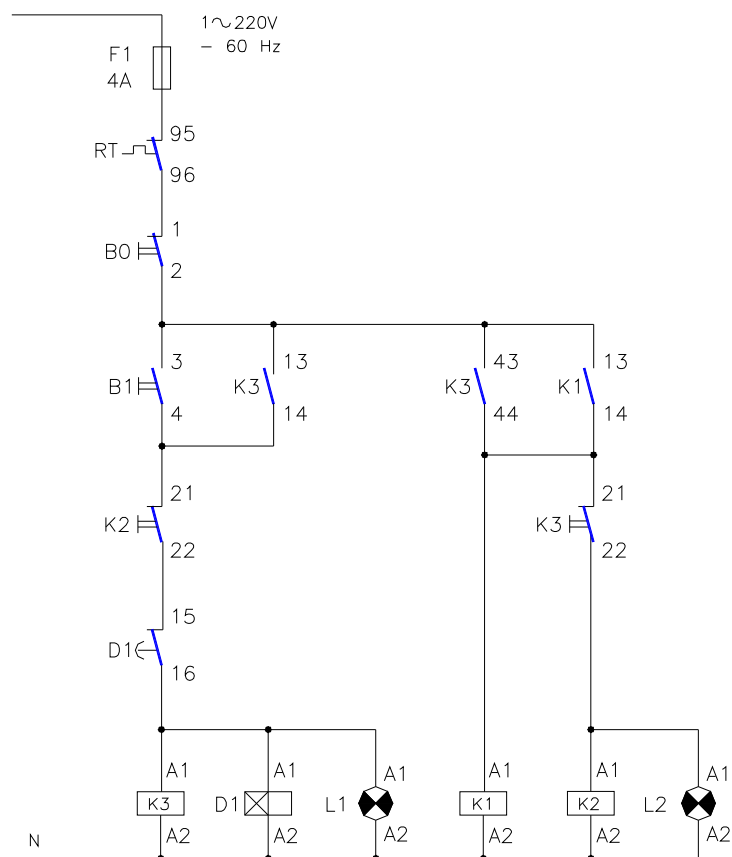


Figura 9.4 – Diagrama de comandos da chave de partida estrela – triângulo.

9.5 Chave de Partida Compensadora

Dimensionar os componentes básicos de uma chave de partida compensada para o motor descrito no item 9.4.

9.6 Chave de Partida para Motor de duas Velocidades

Dimensionar os componentes básicos de uma chave de partida estrela série – paralelo para acionar um motor trifásico de 30 CV, 220/380/660/Y, IV pólos, em rede de 380/60Hz (trifásica com neutro).

Capítulo 10 – IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS EM SISTEMAS DE COMANDOS ELÉTRICOS

10.1 Introdução

Os sistemas que utilizam comandos elétricos assim como tudo na natureza apresentam defeitos que devem ser solucionados para o bom funcionamento das instalações as quais estão ligados. Neste sentido se faz necessário um estudo não somente da operação dos componentes mais também do sistema como um todo para que o funcionamento seja o mais adequado possível.

Neste capítulo serão apresentadas algumas orientações para a identificação e posterior correção de defeitos básicos em diagramas de comandos e também nos circuitos de potência para comandos de motores elétricos já apresentados nos capítulos anteriores.

10.2 Análise de defeitos no sistema de partida direta de motores elétricos

Por simplificação na construção de um sistema de comandos, e também para análise de defeitos elétricos, o circuito completo é dividido em dois circuitos que são o circuito principal (figura 10.1), ou de potência, e o circuito de comandos (figura 10.2) ou auxiliar. No circuito auxiliar são observadas as características operacionais quanto aos elementos auxiliares; no circuito de potência observam-se às características relacionadas ao funcionamento do motor elétrico.

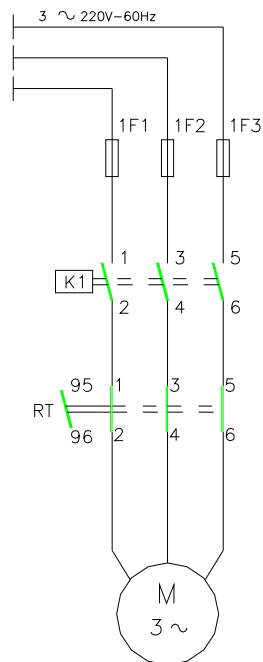


FIGURA 10.1 - DIAGRAMA DO CIRCUITO DE POTÊNCIA

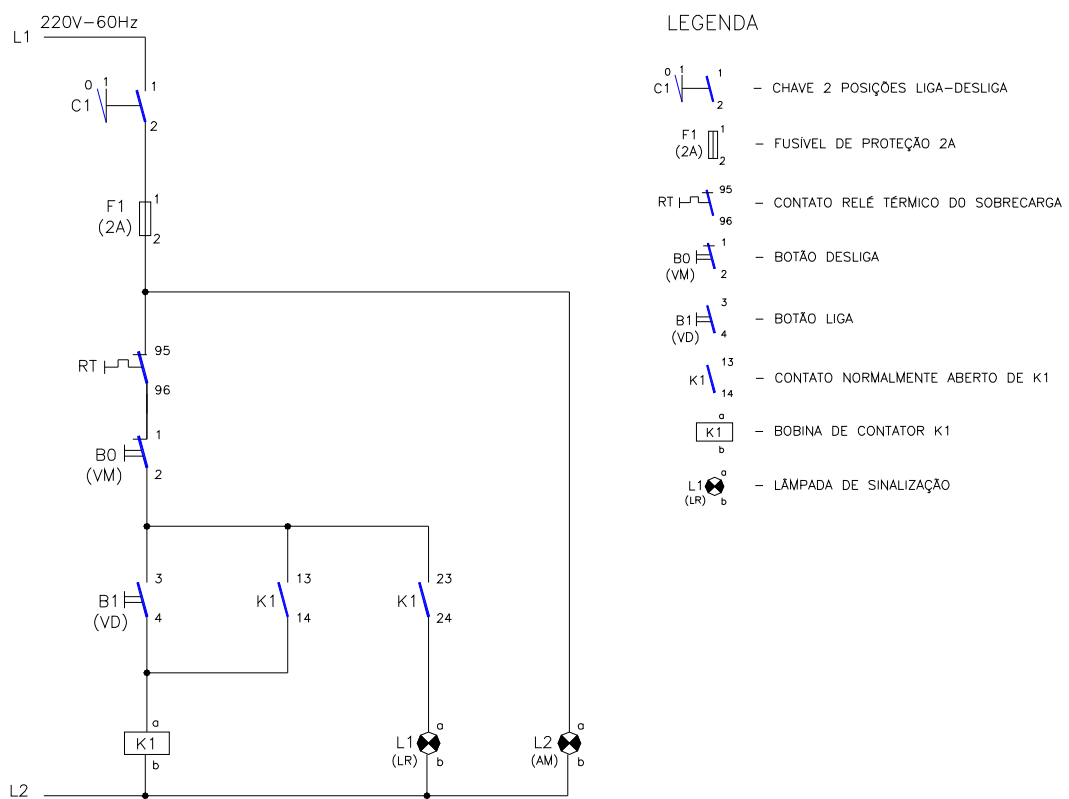


FIGURA 10.2 - DIAGRAMA DO CIRCUITO DE COMANDOS.

O circuito de comandos de um Sistema de Partida Direta de Motor Elétrico é composto de elementos que operam em estado normal de forma discreta. Um contato do diagrama está aberto ou fechado, uma bobina está acionada ou não acionada, uma lâmpada está ligada ou desligada.

10.3 Defeitos em componentes do sistema associados ao circuito de comandos

Em sistemas de comandos e acionamentos elétricos os componentes são bastante distintos e a probabilidade de falhas na maioria dos componentes estão associadas geralmente ao número de operações e não simplesmente ao tempo, exceção aos elementos de sinalização (lâmpadas). Outro fator que deve ser considerado são as condições nas quais se encontram os componentes. Qual o ambiente no qual estão instalados? Todos estão em idênticas condições? Com relação ao número de operações a contagem pode ser generalizada?.

Nos componentes utilizados para interrupção – ligação (contatos) e nas cargas que são os componentes utilizados para acionamento – sinalização (contatores, relés, lâmpadas) pode-se identificar três tipos de defeito possíveis de acontecer.

- Mau – contato: alternância entre o estado conectado e não conectado em um componente (contato / carga);
- Curto – circuito: permanência no estado conectado (contato) ou baixa impedância (carga);
- Circuito – aberto: permanência no estado não conectado (contato) ou alta impedância (carga).

Os defeitos em contatos dos componentes ou nas cargas do circuito de comandos têm características um pouco distintas, em um mesmo dispositivo.

O defeito de curto-circuito em uma bobina é caracterizado por uma baixa impedância na mesma, o defeito de curto-circuito em um contato é caracterizado pela não abertura do contato. Como um contato aberto apresenta impedância elevada e um contato fechado baixa impedância, então se admite que um contato que apresente o defeito de curto-circuito é um contato que permanece no estado conectado, ou seja, não abre.

A identificação de defeito apresentado pelo componente do sistema não determina as razões pelas quais o sistema se apresenta com falhas, ou seja não se determina com isso as causas básicas que ocasionaram o defeito no componente. Por exemplo o defeito do tipo circuito-aberto em uma lâmpada pode ter como causa a não fixação correta da lâmpada ou mesmo a queima da lâmpada onde ambas as causas são caracterizadas por alta impedância.

Os defeitos podem surgir devido às conexões entre os componentes e entre componentes de um mesmo dispositivo ou ainda por outras causas não tão facilmente identificáveis. As más conexões são frequentemente causadoras de não funcionamento do sistema. No parágrafo seguinte são apresentados alguns aspectos e tipos de conexões que são utilizados em instalações elétricas em geral.

Por conexão elétrica, segundo Morán¹, se entende “a união de dois condutores de tal forma que possa circular corrente elétrica entre eles”.

Tipos de conexão:

- Conexão por manguito: ligação dos condutores através de solda, ou à compressão;
- Conexão por conectores: ligação de condutores através de conectores a pressão (parafusos);
- Conexão por contatos: ligações comutáveis onde se juntam parte fixa e parte móvel de um contato em componentes como relés, contactores, disjuntores, etc.

Em sistemas de comandos elétricos de motores as ligações entre condutores são realizadas pelos três tipos de conexões, figura 10.3.

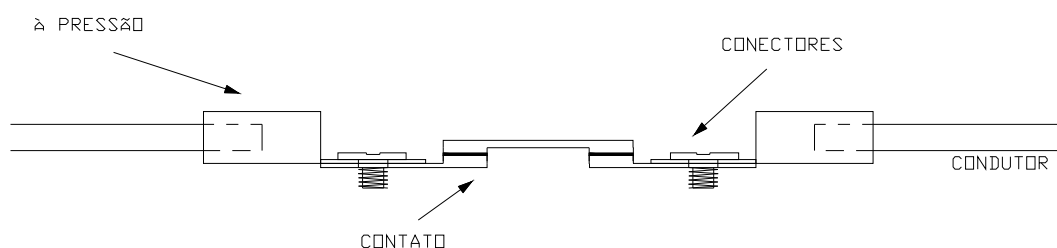


FIGURA 10.3 - CONEXÕES EM COMPONENTES DE COMANDOS ELÉTRICOS

10.4 Caracterização de defeitos em componentes dos sistemas de comandos

O defeito do tipo mau-contato caracteriza-se por uma impedância variável, baixo valor para pequenas solicitações de correntes, e alto valor para grandes solicitações de corrente. A dificuldade em tratar este tipo de defeito é que não se tem como mensurar com precisão o valor dessa impedância. Em termos de sintomas apresentados pelos componentes este tipo de defeito caracteriza-se por uma alternância entre o estado ligado e desligado, acionado e não acionado. Dependendo das condições de instalação dos componentes a alternância destes estados pode ter maior ou menor frequência o que dificulta a identificação pois o contato pode se apresentar como estando conectado ou não conectado. Este tipo de defeito pode surgir devido a vibrações, desgastes de superfícies de contato, torque inadequado nos parafusos de conexões, pressão inadequada de molas no acionamento das partes móveis dos contatos entre outros.

O defeito do tipo curto-circuito em contatos caracteriza-se pela conexão física (soldagem, colagem dos contatos), ou de alguma forma o travamento dos mesmos impossibilitando a abertura, de forma que a conexão por contato passa a ser uma conexão por solda; neste caso a impedância (resistência de contato) para fins de sistema de comandos é baixa. Em termos de sintomas apresentados caracteriza-se pelo não desligamento, não abertura do contato. O surgimento deste defeito está associado a altas temperaturas provocadas por elevações de correntes na superfície de contato das partes fixas e móveis de um contato, pode ainda ser ocasionadas por elevações de correntes advindas de um curto-circuito no sistema, ou por travamento de partes móveis ou fixas do contato, entre outras causas.

O defeito do tipo circuito-aberto caracteriza-se por uma alta impedância. O contato do componente (botoeira, contator, chave) não consegue estabelecer a condução de corrente através do circuito. Em termos de sintomas apresentados caracteriza-se pela não ligação, não fechamento do contato. O surgimento deste tipo de defeito está também associado a fatores tais quais os observado para o

defeito do tipo curto-circuito, além disso, problemas mecânicos internos no componente (mecanismo de acionamento) também podem ocasionar.

Admite-se que um contato, ou componente, por exclusão pode observar no tempo um único tipo de defeito.

As cargas do circuito de comandos de um sistema de partida direta, lâmpadas e contatores, podem observar os três tipos de modos de defeitos apresentados pelos componentes de ligação – interrupção com algumas poucas distinções. O defeito do tipo mau-contato observa-se em maior escala como sendo advindo de torque inadequado nos parafusos e também como má fixação de componentes como é o caso de lâmpadas de sinalização. O defeito do tipo curto-circuito ocasiona a atuação do fusível do circuito sendo caracterizado como uma falha de natureza catastrófica. O defeito do tipo circuito-aberto é originado tanto pela má fixação do componente, como pela expiração do prazo de vida útil, no segundo caso o componente não mais funcionará sendo necessário substituí-lo e não simplesmente repará-lo.

Os fusíveis são elementos distintos dos contatos e cargas de um sistema e podem apresentar os seguintes tipos de defeitos mau-contato e circuito-aberto. O defeito do tipo mau-contato tem origem semelhante às cargas; o defeito do tipo curto-circuito é inexistente neste elemento pois um fusível em curto-circuito significa um fusível em circuito-aberto pela ação protetora do componente. O defeito do tipo circuito-aberto ocorre quando o elemento fusível do componente se rompe. A ruptura pode ocorrer por defeito em outro componente, o que não caracteriza defeito no fusível, ou por ruptura casual apresentando neste caso o defeito do tipo circuito-aberto. A segunda hipótese tem menor probabilidade de ocorrer.

O número de componentes que podem apresentar defeitos em um sistema de partida direta de motor como o sistema representado na figura 10.2 é igual ao número de componentes que o sistema possui. Como o número de tipos de defeitos possíveis de ocorrer é igual a três, pode-se ter um número bastante elevado de combinações de defeitos considerando-se todos os componentes do sistema, no entanto é pouco provável que mais de dois componentes apresentem

defeitos simultâneos. Neste caso o número máximo de combinações em se tratando de um e dois componentes apresentando qualquer dos tipos de defeitos é igual a 29 e 378 respectivamente.

Combinação de tipos de defeitos em 1 componente:

$$3 \times C_{9,1} = \frac{9!}{(9-1)!} + 2 = 29$$

Combinação de tipos de defeito em 2 componentes:

$$3^2 \times C_{10,2} - 3 \times C_{9,1} = 9 \times \frac{10!}{(10-2)!} - 3 \times \frac{9!}{(9-1)!} = 378$$

10.5 Tipos de falhas em circuitos de comandos

No quadro 10.1 estão alguns exemplos de tipos de falhas no sistema ocasionadas por defeito nos componentes. As falhas podem ser de vários tipos ocasionando defeitos diversos nos componentes.

Tipo de Falha	Defeito no Componente
Total	Circuito – aberto no contato da Chave C1 (1-2)
Parcial	Circuito – aberto no contato K1 (23-24)
Catastrófica	Curto – circuito na bobina do contator K1 (a-b)
Paramétrica	Curto – circuito no contato do relé RT (95-96)
Dependente	Circuito – aberto no fusível de F1 (1-2)
Independente	Curto – circuito na lâmpada L1 (a-b)
Repentina	Circuito – aberto no fusível de F1 (1-2)
Gradual	Circuito – aberto no fusível de F1 (1-2)
Permanente	Ruptura da bobina do contator K1 (a-b)
Temporária	Mau contato no Botão B1 (3-4)
Intermitente	Mau – contato no Fusível F1 (1-2)
Operacional	Operação incorreta do Botão B0 (1-2)

QUADRO 10.1 – TIPOS DE FALHAS NOS COMPONENTES

10.6 Detecção de defeitos / falhas em circuitos de comandos

Um detector de falhas pode ser um sistema que permita observar a ocorrência de anomalia em todo o sistema ou em partes do mesmo de maneira que a ocorrência verificada possa ser sinalizada.

O monitoramento da tensão componente a componente no sistema permite avaliar a condição de cada elemento. Para isso define-se o a priori o estado dos componentes do sistema em condições normais de funcionamento e realiza-se a busca por esse estado. Para verificação do estado de um componente, para alguns tipos de defeitos, é necessário não somente observar o próprio componente, mas também dos componentes precedentes. Desse modo à análise do estado do n-ésimo componente deve ser feita analisando-se inicialmente os (n-1)-ésimos componentes que se encontram associados em cascata.

Quando um sistema não possui sensoriamento a detecção de defeitos é realizada através da ação de um operador.

Segundo Rasmussen² seis etapas principais podem ser distinguidas na ação de um operador:

1. Detecção: O operador toma conhecimento de uma anormalidade de um incidente, de um desvio em relação à situação "estabilizada", considerada normal;
2. Discriminação: Fase de aquisição seletiva de informações. O operador focaliza sua atenção sobre os valores assumidos por certos parâmetros e sobre sua evolução;
3. Diagnóstico: O operador tenta atribuir um significado aos dados da situação que ele julga pertinente e interpreta o estado do processo;
4. Resolução de problemas: Quando o diagnóstico foi estabelecido, o operador examina, em função dos objetivos preestabelecidos e de um certo número de outros critérios (características da situação, avaliação do custo de alternativas, etc.) as estratégias a serem desenvolvidas;
5. Tomada de decisão: O operador escolhe uma estratégia de ação e planifica sua atividade de maneira a atingir o objetivo que ele fixou;

6. Ação: O operador executa seu plano de ação e controla o resultado de sua atividade.

Estas etapas podem ser realizadas simultaneamente. No entanto, todas elas não necessariamente são ativadas, elas dependem da experiência do operador.

Para detecção de defeitos em um Sistema de partida direta, o operador efetua medições de tensão no sentido da fonte à carga em relação a um ponto de referência, geralmente o condutor neutro, ou uma das fases no caso do comando ser alimentado por duas fases, componente por componente até que o elemento defeituoso seja encontrado. Esta verificação é realizada sempre com o sistema energizado. Alternativamente pode-se observar o estado do sistema, inferir conclusões sobre o possível componente com problema, desligar o sistema inspecionar visualmente e medir a impedância do componente para identificar anomalias. Para ambos os procedimentos se devem observar que os componentes de ligação – interrupção têm seu estado normalmente aberto (adiante NA) ou normalmente fechados (adiante NF) tendo como referência o estado dos mesmos quando do repouso (não operação). Daí, em condições normais – ausência de defeito, um contato NA está aberto quando em repouso e fechado quando é acionado; analogamente um contato NF.

O método de detecção efetuado através de medição de tensões nos componentes possibilita a verificação de defeitos de natureza permanente, mas se torna pouco eficaz para defeitos intermitentes do tipo mau contato, pois este se caracteriza por uma pequena impedância em função de uma baixa solicitação de carga do sistema e por uma alta impedância diante de uma alta solicitação de carga, neste caso é necessário que o operador inspecione e reaperte todas as conexões do sistema antes de realizar a detecção.

A detecção de falhas pode ser sistematizada em regras de tal forma que facilite a elaboração de um conjunto de procedimentos para solucionar problemas no sistema de forma modulada.

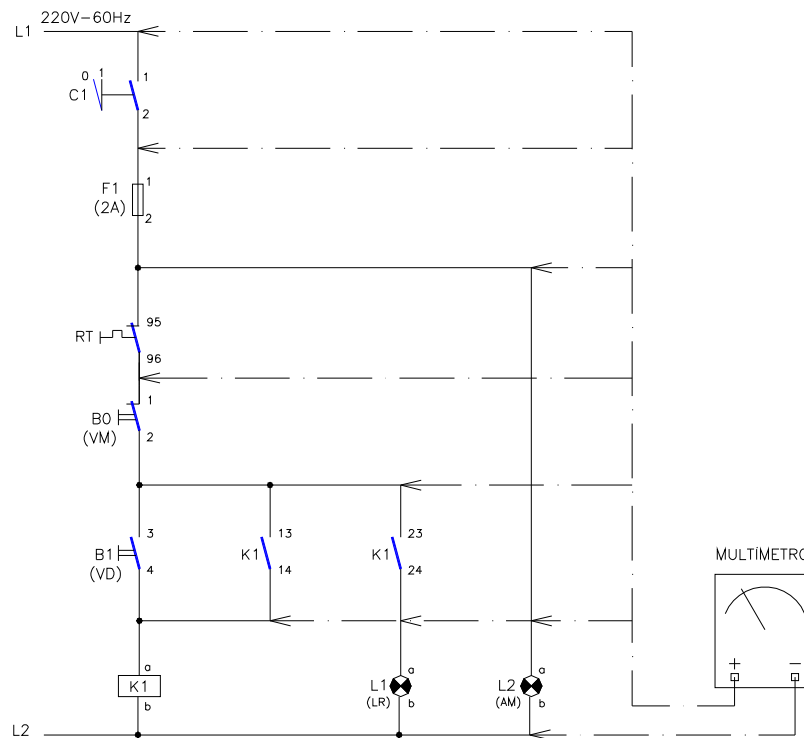


FIGURA 10.4 - DIAGRAMA DO CIRCUITO DE COMANDOS.

10.7 Observação de sintomas para identificação de defeitos em diagramas de comandos

Os sintomas devem ser averiguados analisando o funcionamento considerando-se para isso a operação do sistema em condições normais, ou seja sistema sem defeito.

No diagrama de comandos para partida direta de motor elétrico apresentado na figura 10.2 pode-se apontar pelo menos 16 estados (sintomas). A maioria deles são falhas ocasionada por algum tipo de defeito em um ou mais componentes.

- Lâmpada L2 liga e desliga intermitentemente;
- Lâmpada L2 não desliga;
- Lâmpada L2 não liga;
- Lâmpada L2 ligada;

- Contator K1 liga, mas desliga involuntariamente;
- Contator K1 não desliga;
- Contator K1 não desliga pelo botão reset do relé térmico;
- Contator K1 ligado;
- Contator K1 não liga;
- Contator K1 liga involuntariamente;
- Contator K1 desligado;
- Lâmpada L1 liga e desliga intermitentemente;
- Lâmpada L1 não desliga;
- Lâmpada L1 desligada.

Para cada estado (sintoma) que represente um defeito deve-se tentar concluir qual(is) a(s) possível(is) causa(s) e por conseguinte para solução, a possível falha que ocasionou o defeito no componente e mau funcionamento, ou não funcionamento do sistema em suas partes ou no todo. O grau de certeza que atribuímos a uma ou outra causa pode ser determinante quanto ao tempo para solução do problema apresentado pelo sistema.

A análise pode ser efetuada como se trabalhássemos com regras do tipo “SE – ENTÃO”.

SE Lâmpada L2 não desliga

ENTÃO defeito = curto-circuito na chave C1

Análise:

- i. Fato / Estado do sistema: “Lâmpada L2 não desliga;
- ii. Quais os componentes que estão associados em cascata com a lâmpada L2? Chave C1 e fusível F1.;
- iii. Quais as possíveis causas que podem ocasionar este estado? Curto-circuito em um dos contatos antes da lâmpada L2;
- iv. Causas / conclusões: curto-circuito na Chave C1.

10.8 Exercícios

Para cada uma das questões apresente cada um dos itens abaixo:

- Prognóstico: suposição, hipótese sobre as causas prováveis para o sintoma observado;
- Diagnóstico: determinação do defeito pela observação dos sintomas ou parecer sobre a causa do defeito no sistema;
- Ação a ser realizada para a correção do defeito

- 1) No diagrama Partida Direta estudado neste capítulo o motor não liga.
- 2) Para o diagrama Partida Direta estudado neste capítulo o motor liga, mas desliga ao despressionarmos a botoeira B1.
- 3) Para o diagrama partida direta com reversão no sentido de rotação do motor, figuras 7.2, o mesmo liga com o motor funcionando no sentido de rotação horário, mas não se consegue fazer a inversão no sentido de rotação ao pressionar a botoeira B2.
- 4) Para o diagrama Estrela – Triângulo, figuras 7.4 e 7.5, o motor parte em estrela mas não comuta para triângulo, permanecendo em estrela durante o tempo em que o motor permanecer funcionando.

10.9 Detecção de falhas / defeitos em circuitos de potência de sistemas de comandos elétricos

As orientações para detecção de falhas / defeitos em circuitos de comandos podem ser utilizadas para detecção em circuitos de potência, admitindo-se as particularidades onde nestes os problemas estão bastante relacionados a defeitos que em sua origem envolvem o motor elétrico.

Alguns fabricantes de motores elétricos³ apresentam tabelas que sugerem DEFEITOS – CAUSAS POSSÍVEIS e que servem de orientação para o estudo de defeitos em diagramas de potência. Deve-se observar que muitos dos sintomas apresentados em motores refletem em problemas no diagrama de potência. Na tabela abaixo estão alguns dos defeitos (sintomas apresentados), causas prováveis, e sugestão de forma de verificação.

DEFEITOS	CAUSAS	VERIFICAÇÃO
Motor não consegue partir	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de tensão nos bornes do motor; • Baixa tensão de alimentação; • Conexão errada; • Numeração de cabos trocada; • Carga excessiva; • Platinado aberto; • Capacitor danificado; • Bobina auxiliar interrompida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medir tensão no motor; • Verificar conexões; • Verificar numeração de cabos; • Analisar carga aplicada ao motor; • Verificar platinado do motor; • Testar capacitor do motor; • Testar continuidade da bobina auxiliar do motor.
Baixo torque de partida	<ul style="list-style-type: none"> • Ligação interna errada; • Rotor falhado; • Rotor descentralizado; • Tensão abaixo da nominal; • Frequência abaixo da nominal; • Frequência acima da nominal; • Capacitância abaixo da especificada; • Capacitores ligados de forma errada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar ligações internas; • Abrir motor e verificar o rotor; • Medir tensão no motor; • Medir a frequência da tensão do motor; • Verificar ligação dos capacitores.
Conjugado máximo baixo	<ul style="list-style-type: none"> • Rotor falhado; • Rotor com inclinação de barras acima do especificado; • Rotor descentralizado; • Tensão abaixo da nominal; • Capacitor permanente abaixo do especificado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Abrir motor e verificar rotor; • Medir tensão no motor; • Verificar tensão e capacitância do capacitor e conferir com o valor especificado pelo fabricante.
Corrente alta a vazio	<ul style="list-style-type: none"> • Entreferro acima do especificado; • Tensão acima do especificado; • Frequência abaixo do especificado; • Ligação interna errada; • Rotor descentralizado; • Rotor arrastando; • Rolamentos com defeito; • Tampas com muita pressão ou mal encaixadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medir entreferro do motor; • Medir tensão no motor; • Medir frequência no motor; • Abrir motor e verificar rotor; • Verificar tampas do motor.
Corrente alta em carga	<ul style="list-style-type: none"> • Tensão fora da nominal; • Sobrecarga; • Frequência fora da nominal; • Correias muito esticadas; • Rotor arrastando no estator. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medir tensão no motor; • Medir corrente do motor e comparar com dados de placa; • Medir frequência da tensão aplicada ao motor; • Verificar tensão das correias; • Abrir motor e verificar o rotor.

DEFEITOS	CAUSAS	VERIFICAÇÃO
Resistência de isolamento baixa	<ul style="list-style-type: none"> • Isolantes de ranhura danificados; • Cabinhos cortados; • Cabeça de bobina encostada na carcaça; • Presença de umidade ou agentes químicos; • Presença de pó sobre o bobinado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medir resistência de isolamento com o megômetro, abrir o motor verificar ranhuras; • Abrir o motor e verificar o bobinamento do mesmo; • Abrir o motor e fazer inspeção visual no bobinado.
Sobreaquecimento do motor	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilação obstruída; • Ventilador menor; • Tensão ou frequência fora do especificado; • Rotor arrastando; • Rotor falhado; • Estator sem impregnação; • Sobrecarga; • Rolamento com defeito; • Partidas consecutivas; • Entreferro abaixo do especificado; • Capacitor permanente inadequado; • Ligações erradas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar ventilador do motor; • Medir tensão e frequência do motor; • Abrir o motor e verificar o rotor; • Verificar a isolamento do estator; • Medir corrente do motor e comparar dados de placa; • Observar se o motor está partindo a intervalos muito curtos; • Abrir motor e verificar o entreferro do mesmo; • Verificar tensão e capacitância do capacitor; • Verificar as ligações dos terminais do motor.
Alto nível de ruído	<ul style="list-style-type: none"> • Desbalanceamento; • Eixo torto; • Alinhamento incorreto; • Rotor fora de centro; • Ligações erradas; • Corpos estranhos no entreferro; • Objetos presos entre o ventilador e defletora; • Rolamentos gastos; • Combinação de ranhuras inadequadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar o rotor do motor; • Verificar alinhamento; • Verificar ligações na caixa de ligação do motor; • Abrir motor e fazer inspeção visual.
Vibração excessiva	<ul style="list-style-type: none"> • Rotor fora de centro; • Desbalanceamento na tensão da rede; • Rotor falhado; • Ligações erradas; • Mancais com folga; • Rotor arrastando; • Eixo torto; • Folga nas chapas do estator; • Uso de grupos fracionários em bobinagem de motor monofásico de capacitor permanente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Abrir motor e verificar o rotor; • Monitorar a tensão da rede para observar possíveis desbalanceamento; • Abrir motor e fazer inspeção visual; • Verificar fechamento dos terminais do motor na caixa de ligação.

Existem ainda outros defeitos associados aos diagramas de comandos que podem não estarem diretamente relacionados ao motor, mas que afetam o funcionamento deste, como por exemplo: mau contato, falta de fase, curto-circuito, fuga de corrente para a massa, entre outros. Estes defeitos podem ser identificados através dos sintomas assim como no caso dos circuitos de comandos elétricos utilizando-se estratégias e regras do tipo “SE sintoma... ENTÃO causas...”.

Exemplo: Se o motor liga, mas não consegue partir uma das causas possíveis pode ser a falta de uma das fases na alimentação do motor.

REFERÊNCIAS

¹ Morã, Angel Vázquez: 1996, Manutenção Elétrica Industrial, Editora Ícone, 2ª Edição.

² Rasmussen, J.: The Human Operator as a System Component: Byte and Pieces of A Model. Lab Riso – M-1 922, Jun – 1974.

³ CD CURSOS, Treinamento de Clientes WEG, Módulo 1 – Comando e Proteção. 2006.