

Unidade Operacional - Senai “Alvimar Carneiro de Rezende”

# ***Circuitos de Comando e Automação - CCA***

## **Volume II**

### **Circuitos e Diagramas Elétricos**

SENAI-CFP “Alvimar Carneiro de Rezende”  
Via Sócrates Marianni Bittencourt, 711 – CINCO  
CONTAGEM – MG – Cep. 32010-010  
Tel. 31-3352-2384 – E-mail: [cfp-acr@fiemg.com.br](mailto:cfp-acr@fiemg.com.br)

FIEMG

CIEMG

SESI

**SENAI**

IEL

**Presidente da FIEMG**

Robson Braga de Andrade

**Gestor do SENAI**

Petrônio Machado Zica

**Diretor Regional do SENAI e**

**Superintendente de Conhecimento e Tecnologia**

Alexandre Magno Leão dos Santos

**Gerente de Educação e Tecnologia**

Edmar Fernando de Alcântara

**Digitalizado e Modificado Por:**

Prof. Sérgio Goulart Alves Pereira

**Edição**

2ª Edição – 1/2005

**Unidade Operacional**

Centro de Formação profissional “Alvimar Carneiro de Rezende”

# Sumário

<b>LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS</b>	4
<b>APRESENTAÇÃO</b>	5
<b>INTRODUÇÃO</b>	6
<b>1. CIRCUITOS E DIAGRAMAS ELÉTRICOS</b>	7
Tipos de diagramas	7
Identificação de componentes do diagrama funcional	9
Identificação literal de elementos – Normas VDE	12
Principais Siglas das principais normas nacionais e internacionais	18
Motores elétricos	19
Tipos de Motores Elétricos	20
Ligação de cargas a um sistema monofásico	21
Sistema trifásico de corrente alternada	22
Características de ligações elétricas de sistemas trifásicos	23
Características importantes dos motores elétricos	26
Corrente de partida dos motores de indução	31
Sistema de partida dos motores elétricos	32
Esquemas de fechamento externo de terminais de motores	33
Sistema de partida direta de motores trifásicos	34
Sistema de partida direta com reversão de motores trifásicos	41
Sistema de partida estrela-triângulo de motores trifásicos	45
Sistema de partida com autotransformador (compensadora) de motores trifásicos	52
Comparação entre chaves estrela-triângulo e compensadoras automáticas	60
Comutação polar de motores trifásicos	61
Sistemas de frenagem de motores trifásicos	65
Frenagem de motores trifásicos por contracorrente	66
Frenagem de motores trifásicos por corrente retificada	68
Sistema de localização de contatos	71
Partida consecutiva automática de motores trifásicos	72
Partida com aceleração retórica automática	74
<b>2. EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO</b>	78
<b>3. EXERCÍCIOS DE RACIOCÍNIO</b>	88
<b>4. EXERCÍCIOS DE DESAFIO</b>	93
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	95

# Lista de figuras e gráficos

Fig. 1.1 - Diagrama multifilar completo	7
Fig. 1.2 - Diagrama funcional	8
Fig. 1.3 - Diagrama de disposição ou layout	9
Fig. 1.4 - Identificação de componentes – letras e números	9
Fig. 1.5 - Identificação de componentes – símbolos gráficos	10
Fig. 1.6 - Identificação de relés e contatores auxiliares	10
Fig. 1.7a - Identificação numérica de funções	11
Fig. 1.7b - Principais simbologias utilizadas em comandos elétricos	18
Fig. 1.8 - Exemplo ilustrativo de motor elétrico	20
Fig. 1.9 - Ligação de cargas num sistema monofásico – série	22
Fig. 1.10 - Ligação de cargas num sistema monofásico – paralelo	22
Fig. 1.11 - Gráfico de sistema trifásico CA	23
Fig. 1.12 - Ligação triângulo ou $\Delta$	23
Fig. 1.13 - Triângulo das impedâncias, ligação triângulo	24
Fig. 1.14 - Ligação estrela ou Y	25
Fig. 1.15 - Triângulo das impedâncias, ligação estrela	25
Fig. 1.16 - Caixa de ligação de bornes de motor trifásico	32
Fig. 1.17 - Esquema de fechamento externo de terminais – 6 terminais	33
Fig. 1.18 - Esquema de fechamento externo de terminais – 12 terminais	33
Fig. 1.19 - Partida direta de motores - diagrama de força	34
Fig. 1.20 - Partida direta de motores - diagrama de comando parcial	35
Fig. 1.21 - Partida direta de motores - diagrama de comando parcial	36
Fig. 1.22 - Partida direta de motores - diagrama de comando parcial	36
Fig. 1.23 - Partida direta de motores - diagrama de comando parcial	38
Fig. 1.24 - Partida direta de motores - diagrama de comando completo	38
Fig. 1.25 - Chave de partida direta Siemens - GSP00 e GSP0 - $P \leq 15$ CV em 440V	39
Fig. 1.26 - Chave de partida direta Siemens - GSP1 e GSP2 - $P \leq 20$ CV em 440V	39
Fig. 1.27 - Chave de partida direta Siemens - CPD - $P \leq 500$ CV em 440 V	40
Fig. 1.28 - Diagrama de comando local e comando à distância Chave Siemens - CPD	40
Fig. 1.29 - Partida direta com reversão de motores - diagrama de força	42
Fig. 1.30 - Partida direta com reversão de motores - diagrama de comando	43
Fig. 1.31 - Pannel para partida direta com reversão Siemens – 3TD - $P \leq 375$ CV em 440 V	45
Graf. 1 - Curvas de conjugado e de corrente de partida de motores em Y/ $\Delta$	47
Fig. 1.32 - Partida Y/ $\Delta$ de motores - diagrama de força	47
Fig. 1.33 - Partida Y/ $\Delta$ de motores - diagrama de comando	48
Fig. 1.34 - Pannel para partida Y/ $\Delta$ Siemens – 3TE - $P \leq 375$ CV em 440 V	50
Fig. 1.35 - Diagrama F&C - Pannel para partida Y/ $\Delta$ Siemens – 3TE - $P \leq 375$ CV em 440 V	51
Graf. 2 - Curvas de tensão partida de motores com chave compensadora	53
Graf. 3 - Curvas de rotação de um motor de 425 CV, seis pólos, 4160 V	54
Fig. 1.36 - Partida Y/ $\Delta$ de motores - diagrama de força	55
Fig. 1.37 - Partida Y/ $\Delta$ de motores - diagrama de comando	56
Fig. 1.38 - Pannel para partida chave compensadora Siemens – CAT - $P \leq 375$ CV em 440 V	58
Fig. 1.39 - Diagrama F&C - Pannel para chave CAT 1.0Z.0 até 1.Z1.0 e CAT 2.1Z.0 até 14.12.8	59
Fig. 1.40 - Ligações de motor com enrolamento separado, 4/6 pólos, e 1800/1200 rpm	61
Fig. 1.41 - Ligações de motor com ligação dahlander 4/8 pólos, e 1800/900 rpm	61
Fig. 1.42 - Partida de motor com ligação dahlander 4/8 pólos – diagrama de força	62
Fig. 1.43 - Partida de motor com ligação dahlander 4/8 pólos – diagrama de comando	63
Fig. 1.44 - Frenagem de motores trifásicos por contracorrente – diagrama de força	65
Fig. 1.45 - Frenagem de motores trifásicos por contracorrente – diagrama de comando	66
Fig. 1.46 - Frenagem de motores trifásicos por corrente retificada – diagrama de força	68
Fig. 1.47 - Frenagem de motores trifásicos por corrente retificada – diagrama de comando	68
Fig. 1.48 - Sistema de localização de contatos	70
Fig. 1.49 - Partida consecutiva automática de motores trifásicos – diagrama de força	71
Fig. 1.50 - Partida consecutiva automática de motores trifásicos – diagrama de comando	72
Graf. 4 - Curvas torque x velocidade de um motor de anéis partindo com reostato	74
Fig. 1.51 - Partida de motor de rotor bobinado, comutação automática - resistores - força	75
Fig. 1.52 - Partida de motor de rotor bobinado, comutação automática - resistores – comando	75

## Apresentação

**“Muda a forma de trabalhar, agir, sentir, pensar na chamada sociedade do conhecimento.”**  
**Peter Drucker**

O ingresso na sociedade da informação exige mudanças profundas em todos os perfis profissionais, especialmente naqueles diretamente envolvidos na produção, coleta, disseminação e uso da informação.

O **SENAI**, maior rede privada de educação profissional do país, sabe disso, e, consciente do seu papel formativo, educa o trabalhador sob a égide do conceito da competência: *“formar o profissional com responsabilidade no processo produtivo, com iniciativa na resolução de problemas, com conhecimentos técnicos aprofundados, flexibilidade e criatividade, empreendedorismo e consciência da necessidade de educação continuada.”*

Vivemos numa sociedade da informação. O conhecimento, na sua área tecnológica, amplia-se e se multiplica a cada dia. Uma constante atualização se faz necessária. Para o **SENAI**, cuidar do seu acervo bibliográfico, da sua infraestrutura, da conexão de suas escolas à rede mundial de informações – internet – é tão importante quanto zelar pela produção de material didático.

Isto porque, nos embates diários, instrutores e alunos, nas diversas oficinas e laboratórios do **SENAI**, fazem com que as informações, contidas nos materiais didáticos, tomem sentido e se concretizem em múltiplos conhecimentos.

O **SENAI** deseja, por meio dos diversos materiais didáticos, aguçar a sua curiosidade, responder às suas demandas de informações e construir *links* entre os diversos conhecimentos, tão importantes para sua formação continuada !

**Gerência de Educação e Tecnologia**

## Introdução

Os circuitos de acionamento elétrico industrial são compostos de vários dispositivos com funções definidas para proteção, controle, sinalização, conexão, temporização, comutação etc.

Os dispositivos são dimensionados de acordo com as características elétricas das cargas que irão acionar, e também sofrem influência das condições ambientais atuantes.

Seu bom desempenho depende, ainda, de uma série de fatores, como: procedência de fabricação, tempo de uso e, principalmente de sua correta instalação.

O técnico deve estar seguro e ser eficiente ao fazer montagem de circuitos, reparos ou substituição de dispositivos que compõem os circuitos para garantir a eficácia no funcionamento dos mesmos. Sendo assim, é necessário conhecer as principais características destes dispositivos.

O objetivo deste trabalho é fornecer informações tecnológicas sobre os principais dispositivos usados nas instalações elétricas dos circuitos elétricos industriais, a fim de que o técnico alcance um desempenho eficiente na interpretação de diagramas, montagem e manutenção de circuitos de comandos elétricos e possa obter dados necessários nos catálogos de fabricantes e/ou nas placas dos dispositivos, de forma objetiva e rápida.

# CAP. 1 – Circuitos e diagramas Elétricos

## Tipos de diagramas

### Diagrama tradicional ou multifilar completo

É como uma fotografia do circuito elétrico, ou seja, representa a forma com que este é implementado. Sua aplicabilidade se torna inviável para circuitos complexos, devido ao grande número de linhas e símbolos a serem utilizados.

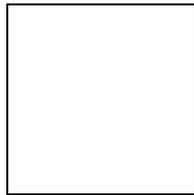
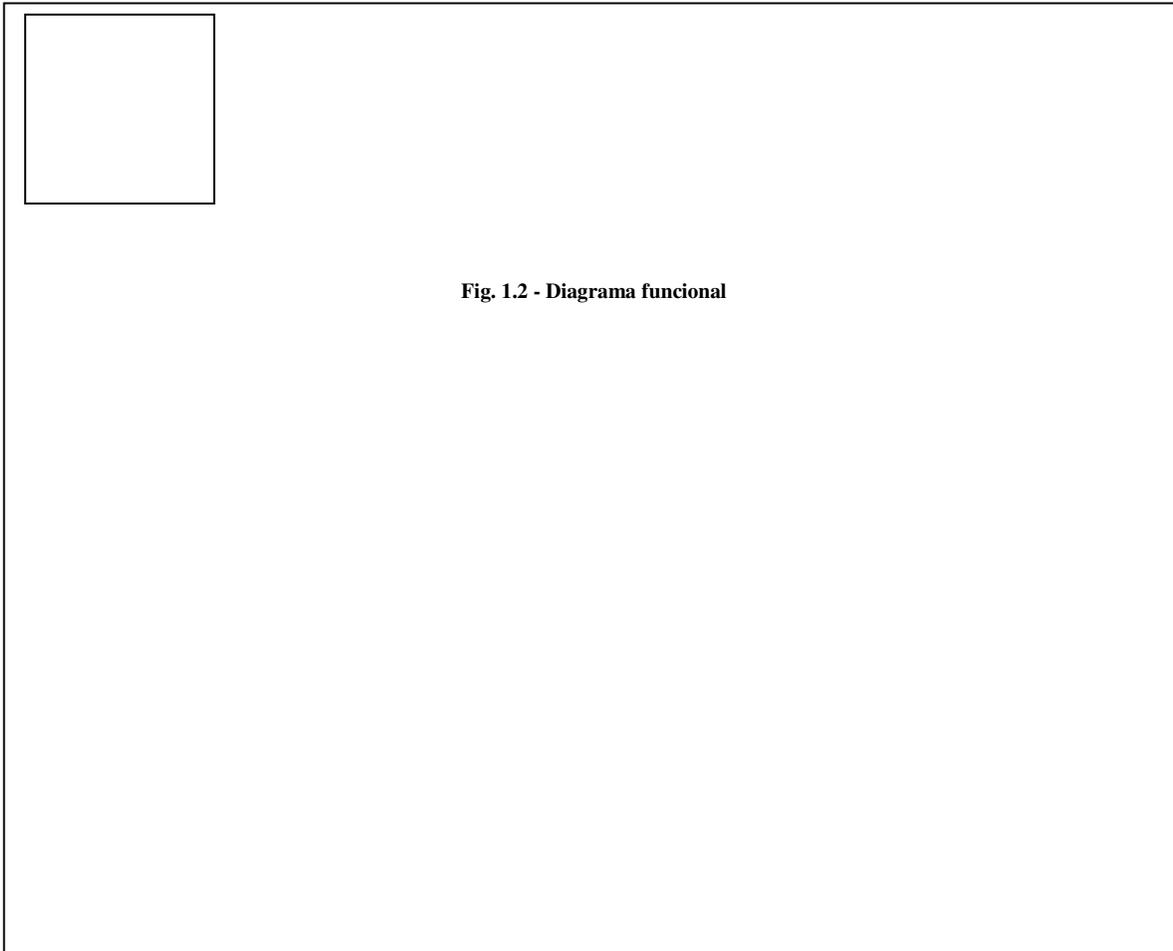


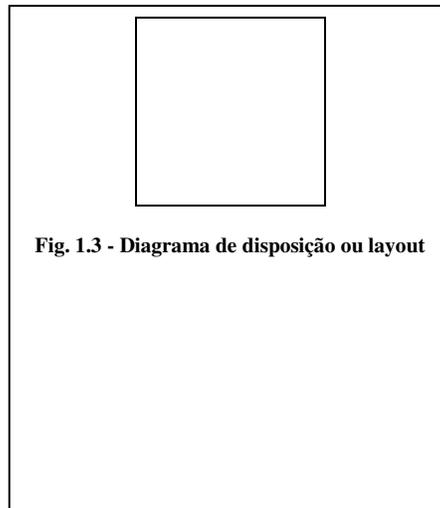
Fig. 1.1 - Diagrama multifilar completo

Representa os caminhos de corrente, os elementos, suas funções, suas interdependências e seqüência funcional, sendo subdividido em dois outros, a saber: circuito principal e circuito de comando, bastante práticos e de fácil compreensão.



## Diagrama de disposição ou layout

Representa, de forma clara e objetiva, o arranjo físico dos dispositivos. A combinação dos diagramas funcional e de layout define, de maneira prática e racional, a melhor forma de elaboração de diagramas para análise, instalação ou manutenção de equipamentos.

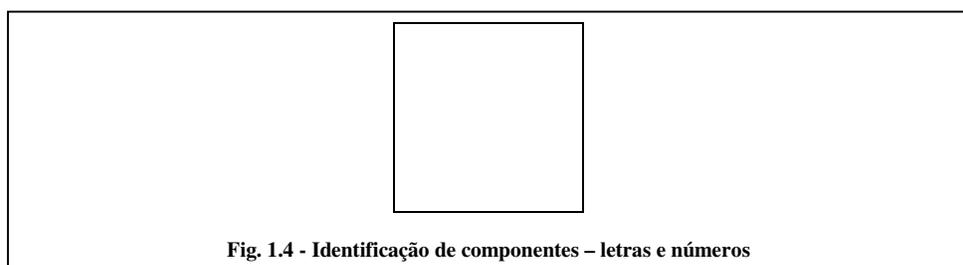


## Identificação dos componentes no diagrama funcional

São representados conforme simbologia adotada e identificados por letras e números ou símbolos gráficos.

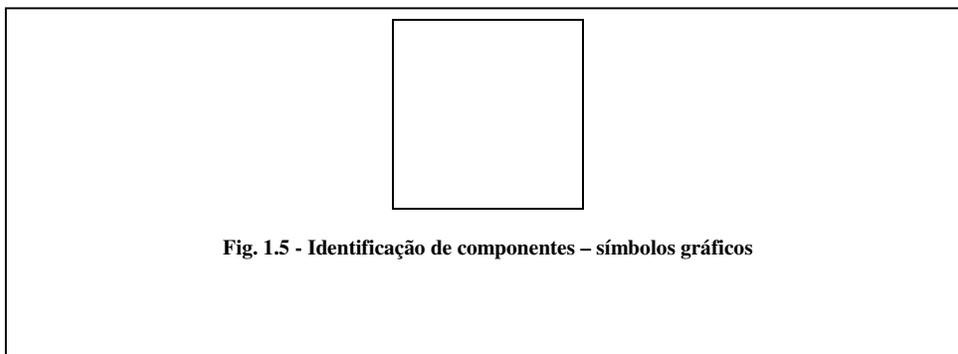
### Exemplos:

a) Identificação por letras e números.



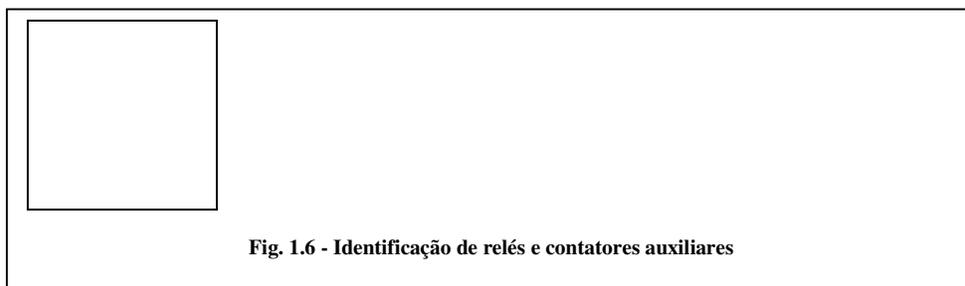


b) Identificação por símbolos gráficos.



**Fig. 1.5 - Identificação de componentes – símbolos gráficos**

c) Relés e contatos auxiliares.



**Fig. 1.6 - Identificação de relés e contadores auxiliares**

**Observação**

Nos dispositivos, contadores ou relés, os contatos são identificados por números, que representam:

- Ordem ou posição – representada pelo primeiro algarismo, indica entrada ou saída e a posição física em que se encontram nos contadores ou relés. Essa indicação nos diagramas é geralmente acompanhada da indicação do contator correspondente ou dispositivo.
- Função – podem ser contatos do tipo abridores NF (normalmente fechado), cujos números utilizados são 1 e 2, ou fechadores NA (normalmente aberto), cujos números utilizados são 3 e 4.

A figura 1.7 mostra um exemplo a fim de ilustrar o que foi descrito.

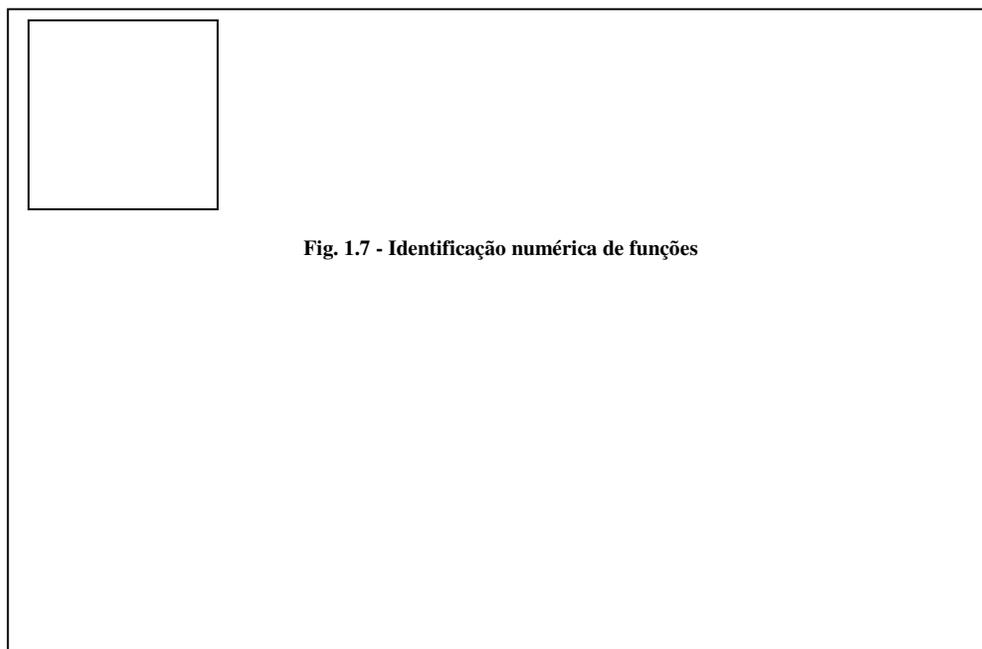


Fig. 1.7 - Identificação numérica de funções

**Identificação literal de elementos – Normas VDE**

Denominação	Aparelho
a <sub>0</sub>	Disjuntor principal.
a <sub>1</sub> , a <sub>2</sub> ,... (a <sub>11</sub> ,a <sub>12</sub> ...)	Seccionadora, seccionadora sob carga, chave comutadora.
a <sub>8</sub>	Seccionadora para terra (MT).
a <sub>9</sub>	Seccionadora de cabo (MT).
a <sub>21</sub> .....	Disjuntor para comando.
b <sub>0</sub> (b <sub>02</sub> .....)	Botão de comando – desliga.
b <sub>1</sub> (b <sub>12</sub> .....)	Botão de comando – liga.
b <sub>2</sub> (b <sub>22</sub> .....)	Botão de comando - esquerda/direita.
b <sub>3</sub>	Botão de comando – desliga buzina.
b <sub>4</sub>	Botão de comando – quitação.
b <sub>5</sub>	Botão de comando – desliga lâmpadas.
b <sub>6</sub>	Botão de comando – teste lâmpadas (teste sistema de alarme).
b <sub>11</sub>	Chave comutadora para voltímetro.
b <sub>21</sub>	Chave comutadora para amperímetro.
b <sub>31</sub>	Chave fim de curso para carrinho (MT).
b <sub>32</sub>	Tomada para carrinho (MT).
b <sub>33</sub>	Chave fim de curso no cubículo (MT).
b <sub>91</sub>	Chave para aquecimento.
c <sub>1</sub> ,c <sub>2</sub> ,c <sub>3</sub>	Contator principal.
d <sub>11</sub> ...(d <sub>11</sub> , d <sub>21</sub> , d <sub>23</sub> ...)	Contator auxiliar, relé de tempo, relé auxiliar.
e <sub>1</sub> , e <sub>2</sub> , e <sub>3</sub>	Fusível principal.
e <sub>4</sub> , e <sub>5</sub> , e <sub>6</sub>	Relé bimetálico.
e <sub>11</sub> ...	Fusível para voltímetro.
e <sub>21</sub> ...	Fusível para comando.
e <sub>71</sub> ...	Relé de proteção.
e <sub>8</sub>	Segurança de sobretensão.
e <sub>91</sub>	Fusível para aquecimento.

Denominação	Aparelho
e <sub>92</sub>	Termostato para aquecimento.
f <sub>1</sub> (f <sub>11</sub> ...)	Transformador potencial.
f <sub>2</sub> (f <sub>21</sub> ...)	Transformador de corrente.
F <sub>25</sub>	Transformador de corrente auxiliar.
g <sub>11</sub> ...g <sub>14</sub>	Voltímetro.
g <sub>15</sub> ...	Frequencímetro.
g <sub>16</sub>	Voltímetro, duplo.
g <sub>17</sub>	Frequencímetro, duplo.
g <sub>18</sub>	Sincronoscópio
g <sub>19</sub>	Contador de horas/ indicador de seqüência de fases.
g <sub>21</sub> ...	Amperímetro.
g <sub>31</sub>	Watímetro.
g <sub>32</sub>	Medidor de potência relativa.
g <sub>33</sub>	Cossifímetro.
g <sub>34</sub>	Contador watt-hora.
g <sub>35</sub>	Contador de potência reativa.
h <sub>0</sub> (h <sub>02</sub> ...)	Armação de sinalização – desliga.
h <sub>1</sub> (h <sub>12</sub> ...)	Armação de sinalização – liga.
h <sub>2</sub> (h <sub>22</sub> ...)	Armação de sinalização – direita/ esquerda.
h <sub>3</sub>	Armação de sinalização – alarme.
h <sub>31</sub>	Buzina.
k <sub>1</sub> ...	Condensador.
m <sub>1</sub>	Motor, transformador principal.
m <sub>2</sub>	Autotransformador.
m <sub>31</sub>	Transformador de comando.
r <sub>91</sub> ...	Aquecedor.
s <sub>1</sub> ...	Travamento eletromagnético.
U <sub>1</sub> ...	Combinação de aparelhos.

Denominação	Aparelho
R <sub>1</sub> , S <sub>1</sub> , T <sub>1</sub> , N	Circuito de comando C.A.
P <sub>1</sub> , N <sub>1</sub>	Circuito de comando C.C.
R <sub>11</sub> , S <sub>11</sub> , T <sub>11</sub> , N <sub>11</sub>	Circuito de medição, tensão, C.A.
R, S, T, N	Circuito de medição, corrente, C.A.
A, B	Fileira de bornes para AT e MT.
C, D	Fileira de bornes para BT.

### Indicação literal de elementos

**Normas UTE** – contadores principais e contadores auxiliares. Utilizaremos uma designação por meio das iniciais que caracterizam sua função:

- S – sobe.
- D – desce.
- F – frente.
- A – atrás.
- L – linha.
- T – translação.
- B – broca etc.

E para outros aparelhos:

- RT – relés de proteção térmica.
- RI – relés instantâneos.
- S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, - selecionadores.
- R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, - resistências.

- $FU_1, FU_2$ , - fusíveis.
- B (seguido de uma letra ou de uma letra e de um número significativo) – botões.

**Exemplo:**

BM (marcha)

Bp<sub>1</sub> (parada 1)

- Sinalizadores –  $V_1, V_2$ .
- Transformadores – Tr.
- Retificadores – Rd.
- Condensadores – Cd.
- Placas de bornes (quando houver várias) –  $B_1, B_2$ .
- Bornes (identificação individual) – 1, 2, 3, 4, etc.

**Siglas das principais normas nacionais e internacionais**

No projeto, construção e instalação de componentes, dispositivos e equipamentos elétricos, são adotadas normas nacionais e internacionais, cujas principais abreviaturas, significado e natureza são apresentados a seguir.

**ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas** – Atua em todas as áreas técnicas do país. Os textos das normas são adotados pelos órgãos governamentais (terminologia), SB (simbologia), EB (método de ensaio) e PB (padronização).

**ANSI – American National Standards Institute** - Instituto de normas dos Estados Unidos, que publica recomendações e normas em praticamente todas as áreas técnicas. Na área dos dispositivos de comando de baixa tensão, tem adotado freqüentemente, especificações UL e da NEMA.

**BS – British Standards** – Normas técnicas da Grã-Bretanha, já em grande parte adaptadas à IEC.

**CEE –International Commission on Rules of the Approval of Electrical Equipment** – Especificações internacionais, destinadas sobretudo ao material de instalação.

**CEMA – Canadian Electrical Manufactures Association** – Associação canadense dos fabricantes de material elétrico.

**CSA – Canadian Standards Association** – Entidade canadense de normas técnicas, que publica as normas para concessão de certificado de conformidade.

**DEMKO – Danmarks Elektriske Materiel Kontrol** – Autoridade dinamarquesa de controle dos materiais elétricos, que publica normas e concede certificados de conformidade.

**DIN – Deutsche Industrie Normen** – Associação de normas industriais alemãs. Suas publicações são devidamente coordenadas com a VDE.

**IEC – International Electrotechnical Commission** – Essa comissão é formada por representantes de todos os países industrializados. Recomendações da IEC, publicadas por esta comissão, são parcialmente adotadas pelos diversos países ou, em outros casos, está se procedendo a uma aproximação ou adaptação das normas nacionais ao texto destas normas internacionais.

**KEMA – Kenring Van Elektrotechnische Materialen** – Associação holandesa de ensaio de materiais elétricos.

**NEMA – National Electrical Manufacturers Association** -Associação nacional dos fabricantes de material elétrico (USA).

**OVE – Osterreichischer Verband fur Elektrotechnik** - Associação austríaca de normas técnicas, cujas determinações, geralmente, coincidem com as da IEC e VDE.

**SEN – Svensk Standar** – Associação sueca de normas técnicas.

**UL – Underwriters Laboratories Inc.** – Entidade nacional de ensaio da área de proteção contra incêndio nos Estados Unidos, que, entre outros, realiza os ensaios de equipamentos elétricos e publica as suas prescrições.

**UTE – Union Technique de Électricité** – Associação francesa de normas técnicas.

**VDE – Verband Deutscher Elektrotechniker** – Associação de normas alemãs, que publica normas e recomendações da área de eletricidade.

## Simbologia para diagramas de comandos elétricos e eletrônicos

A simbologia é aplicada generalizadamente nos campos industrial, didático e outros onde fatos da natureza elétrica necessitam ser esquematizados graficamente. Tem por objetivo estabelecer símbolos gráficos que devem ser usados para, em desenhos técnicos ou diagramas de comandos eletromecânicos, representar componentes e a relação entre estes. A seguir, serão mostrados símbolos e significados de acordo com as normas ABNT, DIN, ANSI, UTE E IEC.

Veja a seguir as principais simbologias utilizadas em comandos elétricos:

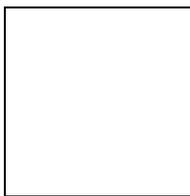


Fig. 1.7b – Principais simbologias utilizadas em comandos elétricos

## MOTORES ELÉTRICOS

Sempre que necessário, necessitamos de um equipamento para realizar um determinado trabalho, utilizamos atuadores, que são dispositivos capazes de converter uma forma de energia em outra. Assim, podemos classificar esses atuadores em dois grandes grupos a saber:

- Atuadores lineares.
- Atuadores rotativos.

### Atuadores lineares

Dispositivos que operam em linha, realizando trabalho com movimentos de ida e de volta.

**Exemplo:** Cilindros pneumáticos e/ou hidráulicos

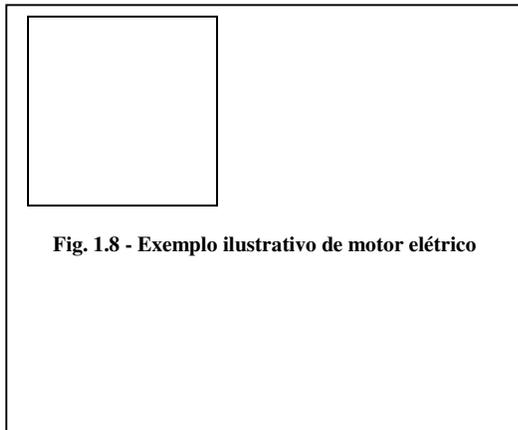
### Atuadores rotativos

Dispositivos que desenvolvem trabalho através do movimento rotativo de um eixo

**Exemplo:** Motores pneumáticos, hidráulicos, a explosão e elétricos.

Embora sejam de total importância todos os tipos de motores citados, centralizaremos nossos estudos nos motores elétricos, que são o objeto principal para o desenvolvimento do conteúdo que estamos tratando.

O motor elétrico tem como função a energia elétrica em mecânica. Por ter custo reduzido, devido a sua simplicidade de construção e grande versatilidade de adaptação as cargas dos mais diversos tipos, é o mais usado de todos os tipos de motores.



## TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS

### Motores de corrente alternada

São os de maior uso, devido ao fato de a energia elétrica ser normalmente distribuída em corrente alternada. Classificam-se em dois grupos principais:

- Motor síncrono
- Motor de indução

**Motor síncrono** - Funciona com velocidade fixa. Seu uso é limitado a grandes potências, devido ao seu alto custo em tamanhos menores, ou quando é necessária uma velocidade invariável.

**Motor de indução** - É usado na grande maioria das máquinas e equipamentos encontrados na prática. É sem dúvida o mais utilizado devido a sua simplicidade, robustez e baixo custo. Sua velocidade sofre ligeiras variações em função da variação da carga mecânica aplicada no eixo.

### **Motor de corrente contínua**

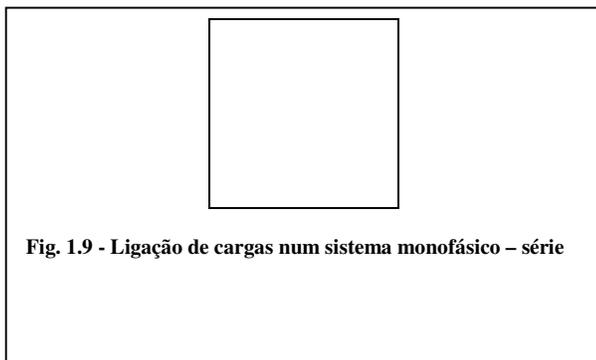
Motor de custo elevado requer alimentação especial, fonte de corrente contínua ou dispositivos capazes de converter a corrente alternada em corrente contínua. Presta-se a controles de grande flexibilidade e precisão, devido à elevada gama de valores de ajuste e velocidade. O uso deste motor é restrito a casos onde tais exigências compensam o elevado custo da instalação.

### **Ligação de cargas a um sistema monofásico**

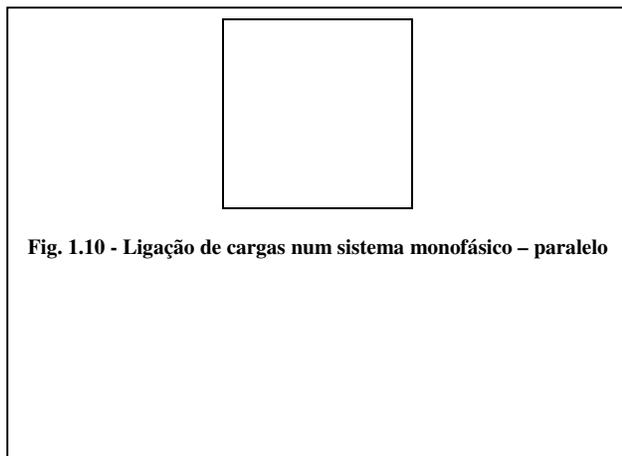
Podemos ligar uma ou mais cargas a um sistema monofásico de duas formas:

- Série.
- Paralelo.

**Série:** As duas cargas são atravessadas pela corrente total ou máxima do circuito. A tensão em cada carga é igual à metade da tensão aplicada ao circuito, caso as cargas sejam iguais.



**Paralelo** - A corrente em cada carga é igual à metade da corrente total do circuito, considerando-se que as cargas são iguais. A tensão em cada carga é igual à tensão aplicada no circuito.



## SISTEMA TRIFÁSICO DE CORRENTE ALTERNADA

Um sistema trifásico é formado por associação de três sistemas monofásicos, de tensões  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ , destacadas entre si, de 120 graus elétricos, assim temos que os atrasos em  $V_1$ ,

em relação a  $V_2$ ,  $V_3$  em relação a vazão iguais a 120 graus considerando um ciclo igual a 360 graus.

Um sistema trifásico equilibrado é o sistema no qual as três tensões  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ , têm o mesmo valor eficaz. Os fatos mencionados são ilustrados figura 1.11

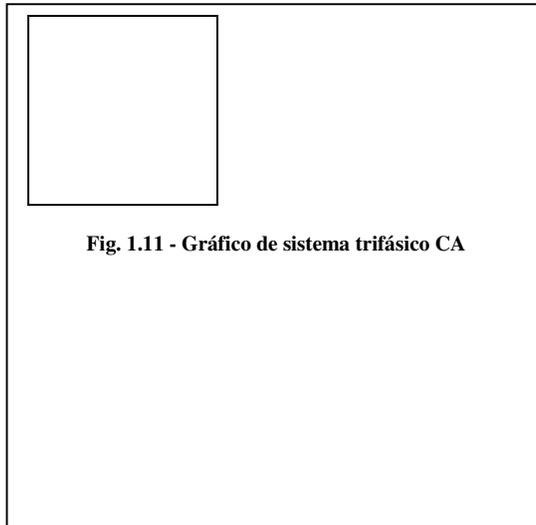


Fig. 1.11 - Gráfico de sistema trifásico CA

## CARACTERÍSTICAS DE LIGAÇÕES ELÉTRICAS DE SISTEMAS TRIFÁSICOS

### Ligação triângulo ou $\Delta$

Se ligarmos três sistemas monofásicos entre si, conforme na figura abaixo, poderemos eliminar três fios, utilizando apenas um em cada ponto de conexão, ficando o sistema reduzido a três fios R, S, T.

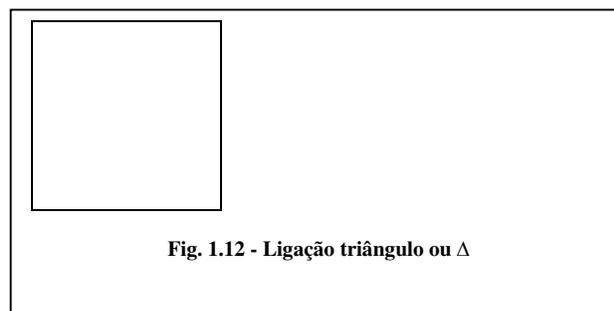


Fig. 1.12 - Ligação triângulo ou  $\Delta$

A tensão entre duas fases quaisquer R, S, T denomina-se a tensão de linha ( $V_L$ ), e a corrente em cada um destes fios, corrente de linha ( $I_L$ ). Analogamente a tensão em cada grupo ou elemento do circuito ( $Z_1$ ,  $Z_2$  e  $Z_3$ ), denomina-se tensão de fase ( $V_F$ ) e a corrente em cada um desses elementos, corrente de fase ( $I_F$ ). Na ligação triângulo a tensão de linha é igual à tensão de fase e a corrente de linha é igual à soma (fasorial) das correntes de fase de dois elementos do circuito. (Fig. 1.13).

$$V_L = V_F \qquad I_L = I_F \cdot 1,732$$

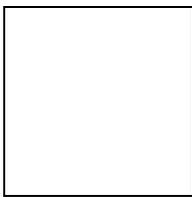


Fig. 1.13 - Triângulo das impedâncias, ligação triângulo

### Exemplo:

Um sistema trifásico equilibrado de tensão nominal igual a 220 V, fornece uma corrente de linha a uma carga trifásica composta por três cargas iguais ligadas em triângulo, igual a 100A. Determine os valores da tensão e da corrente em cada uma das cargas.

### Solução:

$$V_L = V_F = 220 \text{ V}$$

$$I_L = I_F = 1,732 \rightarrow I_F = I_L / 1,732 \rightarrow I_F = 100\text{A} / 1,732 \rightarrow I_F = 0,58 \cdot 100\text{A} \rightarrow I_F = 58\text{A}$$

Assim temos, para cada carga:  $V_F = 220 \text{ V}$  e  $I_F = 58\text{A}$ .

### Ligação estrela ou Y

Se ligarmos um dos fios de cada sistema monofásico a um ponto comum entre os três, os três fios que restam formam um sistema trifásico em estrela.

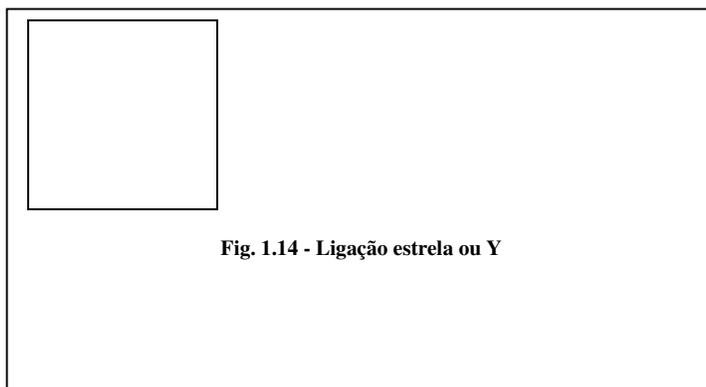
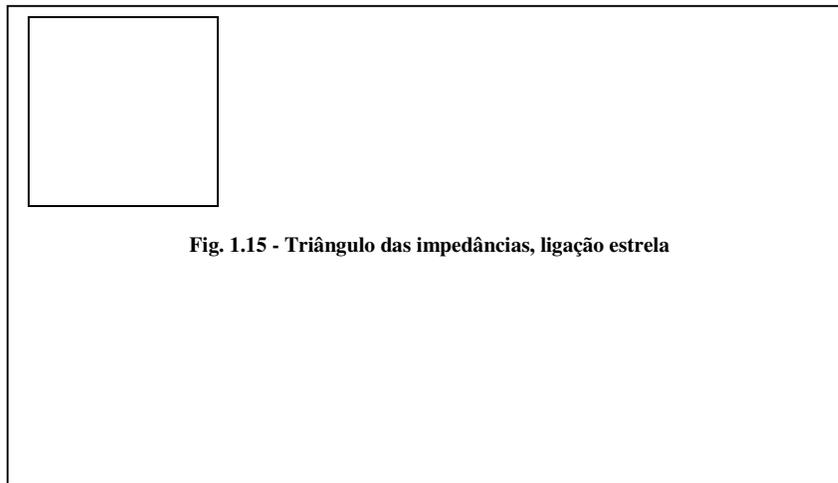


Fig. 1.14 - Ligação estrela ou Y

Esse ponto comum às vezes é aterrado originando um quarto fio denominado neutro, formando o sistema trifásico em estrela em 4 fios.

As tensões e as correntes são definidas do mesmo modo que na ligação em triângulo. Assim a corrente em cada fio denomina-se corrente de linha, é igual a corrente de cada elemento e a tensão entre dois fios denomina-se tensão de linha é igual à soma fatorial das tensões nos elementos ligados a esse fio.

$$V_L = 1,732 \cdot V_F \quad I_L = I_F$$



Os

voltímetros

$V_1, V_2, V_3$  medem tensões de fase, enquanto  $V_4$  e  $V_5$  medem tensão de linha.

Os amperímetros h medem corrente de linha que neste caso é igual a corrente de fase.

### Exemplo:

Tem se uma carga trifásica de cargas igual ligada a uma rede trifásica. Sabendo que a  $V$  em cada carga é 220 V e a  $I = 8$  A determine  $V$  e  $I$  que alimenta a carga trifásica. E da corrente absorvida.

Solução:

$$V_L = V_F \cdot 1,732 \rightarrow V_L = 220V \cdot 1,732 \rightarrow V_L = 381,05V$$

$$I_L = I_F = 8 \text{ A.}$$

Assim a alimentação fornece  $V_L = 381,05V$  e  $I_L = 8 \text{ A}$ .

### Características importantes dos motores elétricos

Denomina-se conjugado (também chamado de torque, movimento ou binário) a medida do esforço necessário para girar um eixo. Esse esforço é igual ao produto da força pela distância radial do eixo, onde esta é aplicada (raio da polia) expresso por:

$$T = F \cdot A$$

**Onde:**

T – conjugado ou torque em kgfm (quilo grama força metro)

F – força aplicada em kgf (quilo grama força)

A – raio da polia (em metros)

**Exemplo:**

Deseja-se mover uma carga de peso igual a 20 kgf usando um motor elétrico com polia de diâmetro igual a 40 cm. Qual é o torque desenvolvido?

Solução:

$$T = F \cdot a \quad \rightarrow \quad T = 20 \text{kgf} \cdot 0,2 \text{m} \quad \rightarrow \quad T = 4 \text{kgfm}$$

**Potencia mecânica**

A potência exprime a rapidez com a qual a energia ou trabalho é aplicado. É determinado dividindo-se o trabalho realizado pelo tempo gasto para fazê-lo. A propósito o trabalho (w) representa o produto da força aplicada (f) pelo deslocamento(d), assim temos:

$$P=W/t \quad e \quad W=F.d$$

**Onde:**

P - potência mecânica em kgfm/s (quilo-grama-força-metro por segundo)

W - trabalho em kgfm (quilo-grama-força-metro)

d - distância em m(metros)

t - tempo em s (segundo)

**Exemplo:**

Um guincho elétrico ergue um peso de 200kgf a uma altura de 15m em 25s. Qual é a potência do motor do guincho?

Solução

$$P = W/t \quad \rightarrow \quad P = F.d/t \quad \rightarrow \quad P = 200kgf.15m/25s \quad \rightarrow \quad P = 120kgfm/s$$

A unidade usual de potência mecânica é o CV (cavalo vapor) e vale 75kgfm/s. Assim, a potência do motor anterior, expressa em CV, será:

$$P \text{ (CV)} = 120\text{kgfm/s} / 75\text{kgfm/s} \rightarrow P \text{ (CV)} = 1,6 \text{ CV}$$

### Potência elétrica

Em um sistema monofásico com carga resistiva, a potência representa o produto de tensão da rede pela corrente, dado por:

$$P = V \cdot I$$

Em se tratando de sistema trifásico, com carga resistiva, a potência em cada fase da carga será:

$$P_F = V_F \cdot I_F$$

A potência total do sistema trifásico será igual à soma das potências das três fases, ou seja,  $P = 3P_F$  ou  $3 \cdot V_F \cdot I_F$ . Sabendo-se que, para a ligação triângulo,  $V_L = V_F \cdot 1,732$  e  $I_L = I_F$ , a equação dec potência para qualquer caso será:

Esse produto exprime o valor da potência aparente em sistemas trifásicos ( $P_a$ ).

Considerando-se cargas reativas, ou seja, onde existe defasagem (atraso ou adiantamento) da tensão em relação à corrente, esta tem que ser levada em consideração. Isso ocorre com os motores de indução, passando a expressão anterior a valer:

A potência elétrica tem como unidade usual o watt (W), com múltiplos e submúltiplos, dentre os quais citamos o quilo watt (kW), cujo valor é 1000W. Essa unidade é válida somente quando se considera a defasagem, caso contrário teremos o valor da potência aparente expresso, cuja unidade de medida usual é o volt-ampère (VA) ou seu múltiplo, o quilo-volt-ampère (kVA).

**Observação:**

$$1 \text{ CV} = 736\text{W} \text{ ou } 0,736\text{kW}.$$

**Rendimento( $\eta$ )** - Representa a eficiência com a qual a energia elétrica absorvida é transformada em energia mecânica disponível no eixo ( $P_u$ ) e a potência elétrica absorvida da rede ( $P_e$ ), o rendimento será a relação entre elas, expresso por:

$$\eta = P_u/P_e \quad \text{ou} \quad \eta\% = (P_u/P_e).100$$

Onde:

$\eta$  - rendimento

$P_u$ - potência mecânica útil em W (736.P (CV))

$P_e$ - potência elétrica em W

**Fator de potência ( $\cos \varphi$ )** - Expressa a relação entre a potência elétrica real ou ativa ( $P_e$ ) e a potência aparente ( $P_a$ ). Assim, tem-se:

$$\cos \varphi = P_e/P_a$$

**Fator de serviços (Fs)** - É o fator que, aplicado à potência nominal, indica a carga permissível que pode ser aplicada continuamente ao motor, sob condições especificadas.

**Velocidade nominal** - É a velocidade (rpm) do motor funcionando à potência nominal, sob tensão e frequências nominais.

**Corrente nominal (A)** - É a corrente que o motor funcionando á potência nominal, sob tensão e frequência nominais.

### **Corrente de partida dos motores de indução**

A partida dos motores trifásicos de indução deverá, sempre que possível, ser direta, por meio de contadores. Porém, há casos em que a corrente de partida dos motores elevada, tendo as seguintes conseqüências prejudiciais:

- Queda de tensão elevada no sistema de alimentação da rede. Isso provoca no sistema de alimentação da rede. Isso provoca perturbações em equipamentos instalados no sistema.
- Elevação no custo da instalação, uma vez que o sistema de proteção e controle (cabos, contadores etc.), deverão ser superdimensionados.
- Imposição da concessionária de energia elétrica, que limita a queda de tensão da rede.

Caso o sistema de partida direta não seja possível, devido às implicações citadas acima, pode-se optar por um sistema de partida indireta, a fim de reduzir a corrente de partida.

Em alguns casos, pode-se necessitar ainda de um alto conjugado de partida, com corrente de partida baixa, devendo-se então utilizar um motor de anéis.

**Importante:**

No caso do motor de anéis a corrente diminui e o torque aumenta.

$$I_p \text{ alta} \gg T_p \text{ baixo}$$

## SISTEMAS DE PARTIDA DE MOTORES ELÉTRICOS

### 1) Partida Direta

É feito o fechamento, na caixa de ligações do motor, compatível com a tensão de alimentação da rede, em estrela ou triângulo.

O sistema de proteção (fusível e relé térmico de sobrecarga) é escolhido e ajustado a partir de curvas características já estudadas e dos valores nominais de corrente e tempo de aceleração da carga (curvas de conjugado).

A corrente de partida direta dos motores de indução varia de aproximadamente seis a sete vezes o valor da corrente nominal do motor.

$$I_p \approx 6 \cdot I_N$$

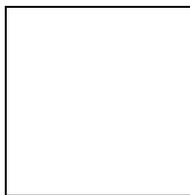


Fig. 1.16 - Caixa de ligação de bornes de motor trifásico



**Esquema de fechamento externo de terminais dos motores**

**a) Seis terminais**

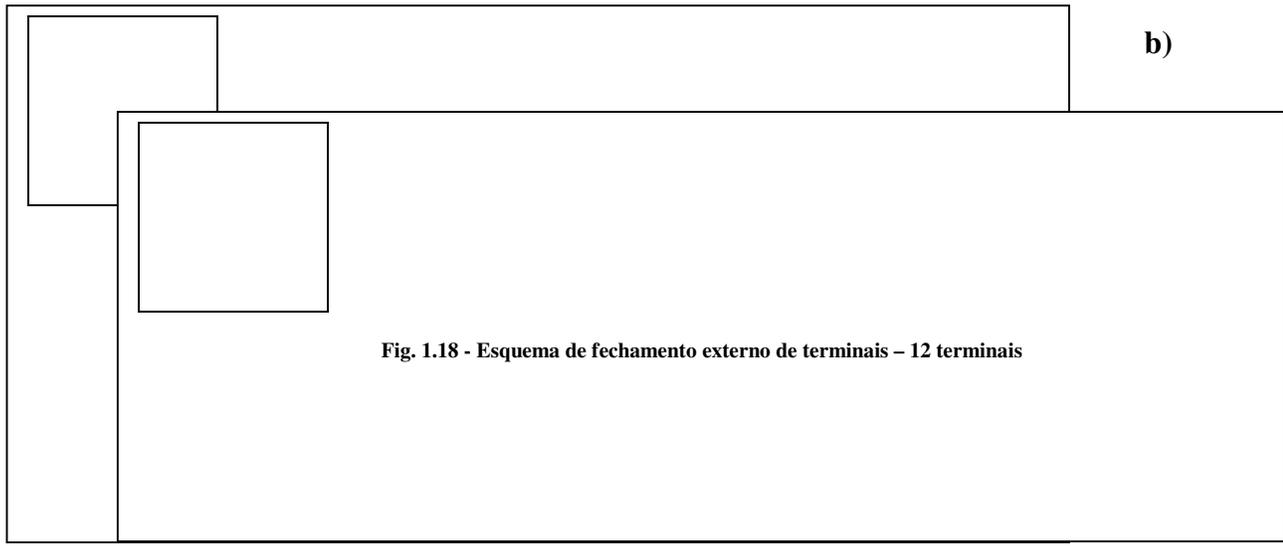


Fig. 1.18 - Esquema de fechamento externo de terminais – 12 terminais

**Doze**

**terminais**



## Sistema de partida direta de motores trifásicos

A figura 1.19 ilustra o diagrama principal (força ou potência).

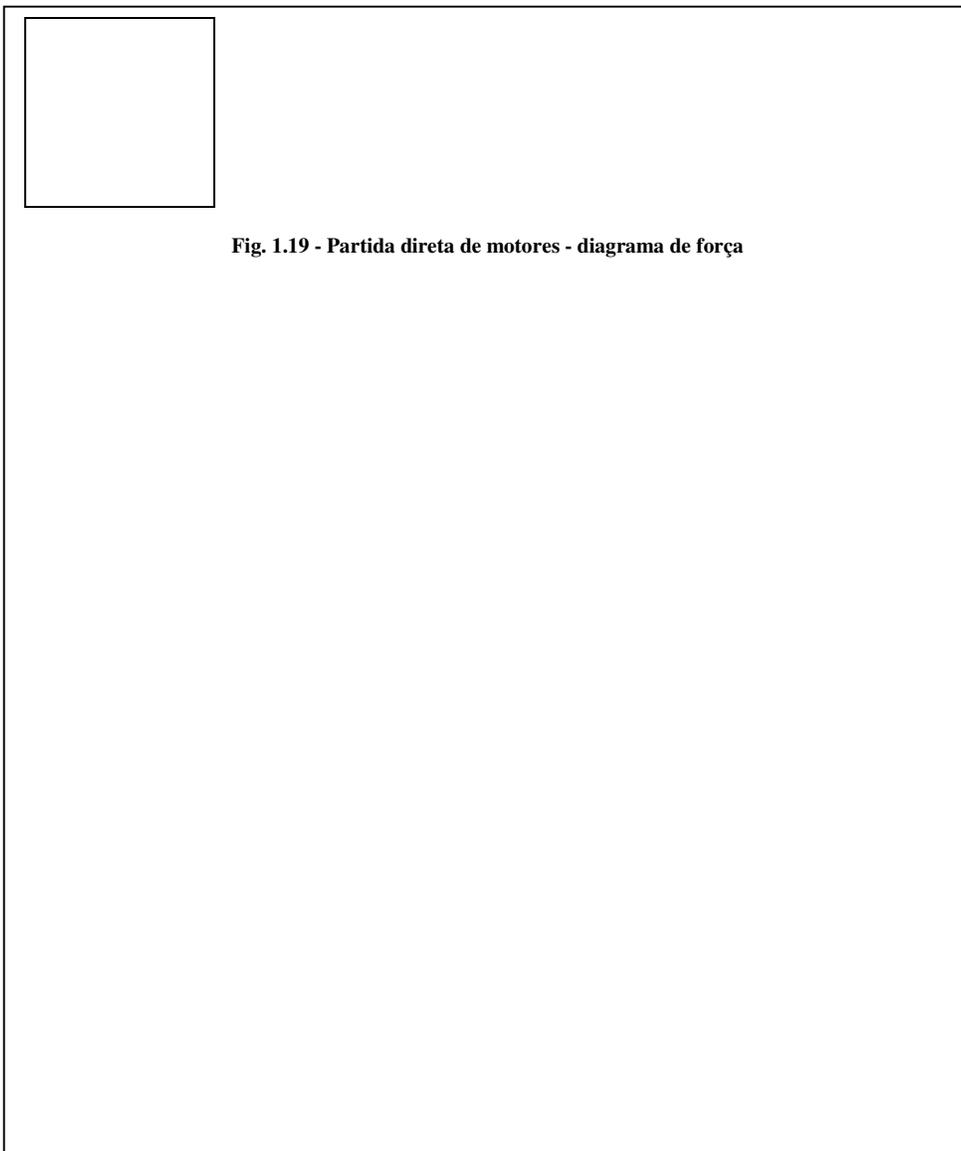


Fig. 1.19 - Partida direta de motores - diagrama de força

A seguir serão apresentadas, em seqüência, as etapas a serem seguidas para elaboração do circuito de comando. É importante ressaltar que o processo descrito para elaboração de circuitos simples é também utilizado para circuitos complexos, ficando claro que, uma vez

entendida a aplicação de tal processo, torna-se extremamente fácil compreendermos de qualquer circuito de comando.

Necessitamos alimentar a bobina do contator  $c_1$  a fim de que ela possa acionar os contatos, colocando em funcionamento o motor. Para isso, é importante observar o valor da tensão de alimentação da bobina. Caso seja do mesmo valor da tensão da rede, podemos obter as linhas de alimentação do circuito de comando a partir da própria rede, conforme mostrado a seguir. Em caso de valor diferente da rede, devemos utilizar um transformador para obter o valor de tensão necessário. Acompanhe os fatos.

A partir de duas linhas de alimentação, protegidas por fusíveis, fazer as conexões dos terminais da bobina.(fig. 1.20).

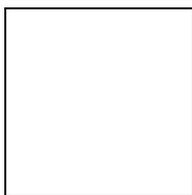
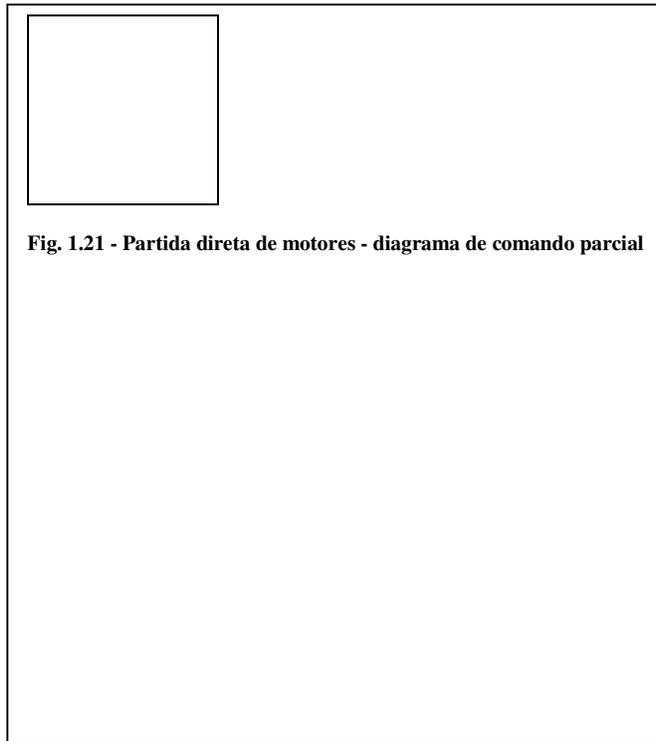


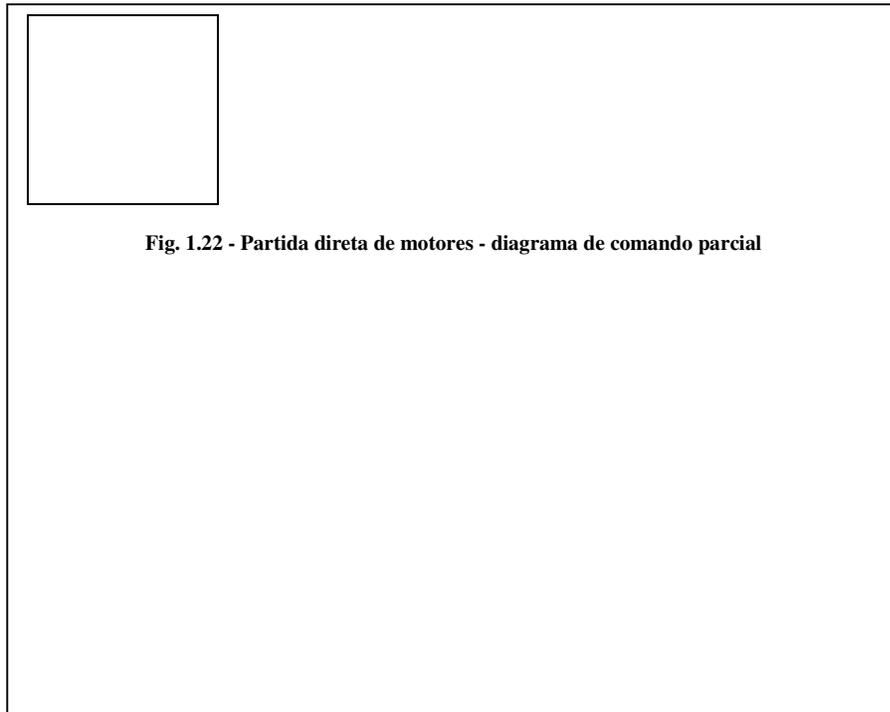
Fig. 1.20 - Partida direta de motores - diagrama de comando parcial

Podemos observar que, ao energizar a rede trifásica (R, S e T), teremos tensão nas linhas de comando (R e S), e através dos fusíveis de proteção ( $e_{21}$  e  $e_{22}$ ) será feita a alimentação instantânea da bobina ( $c_1$ ). A fim de que possamos ter controle sobre os atos de ligar e

desligar o motor, acrescentaremos ao circuito um botão de comando, com trava ligado em serie com a bobina, desencadeando tais efeitos, como é mostrado na figura 1.21.



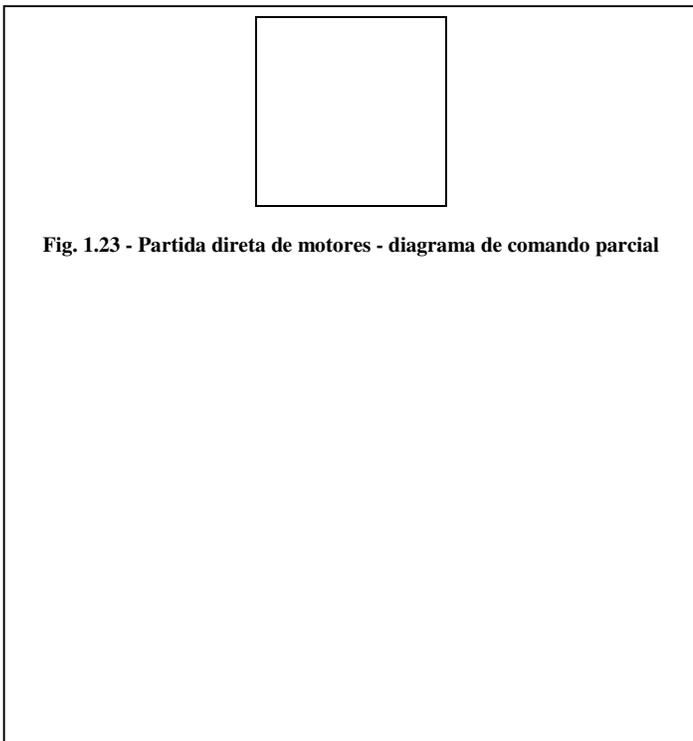
Podemos utilizar, também, botões de comando sem trava, bastando para isso acrescentar dois elementos, que são, um botão para desligar ( $b_0$ ) e um contato NA do contator, o qual terá a função de selo ou retenção, em paralelo com o botão liga ( $b_1$ ), para obtermos a condição de, ao desacionar o botão liga ( $b_1$ ), a bobina permanecer ligada através do selo (contato na de  $c_1$ ). (fig.1.22).

**Descrição****funcional**

Podemos observar que, ao ser energizada a rede trifásica (R, S e T), teremos tensão nas linhas de comando (R e S), e através dos fusíveis de proteção ( $e_{21}$  e  $e_{22}$ ) será feita a alimentação dos pontos superior do botão de comando desliga ( $b_0$ ) e inferior da bobina  $c_1$  (lado b). Estando  $b_0$  no repouso, seu contato está fechado, mantendo energizados os pontos superiores do botão liga ( $b_1$ ), e do contato normalmente aberto de  $c_1$  ao ser acionado o botão liga ( $b_1$ ), seu contato se fecha, energizando o ponto superior da bobina  $c_1$  (lado a). Então, a bobina  $c_1$  fica sujeita á tensão da rede em seus terminais (a e b), acionando seus contatos e fechando-os tanto no circuito de força quanto no de comando. Assim podemos desacionar b, visto que a corrente elétrica, que alimenta a bobina, fluirá através do contato  $c_1$ , agora fechado. Nessas condições, o motor parte e permanece ligado ate que seja acionado o botão desliga ( $b_0$ ). Quando isso acontece, é interrompido o percurso da corrente, que fluía pelo contato  $c_1$ , desenergizando a bobina  $c_1$  e, em consequência disso,

interrompendo a alimentação do motor até a sua paralização. O contato de  $c_1$  aberto de  $b_1$  desacionado recolocam o circuito na condição de ser dada nova partida.

Com a finalidade de proteger o motor contra sobrecargas, inserimos o contato normalmente fechado (NF) do relé térmico de sobrecarga em série com o botão desliga ( $b_0$ ), passando o circuito de comando a ser o ilustrado na figura 1.23.



Finalmente, são numerados os contatos e apresentada a conclusão do circuito de comando, que é ilustrada na figura 1.24.

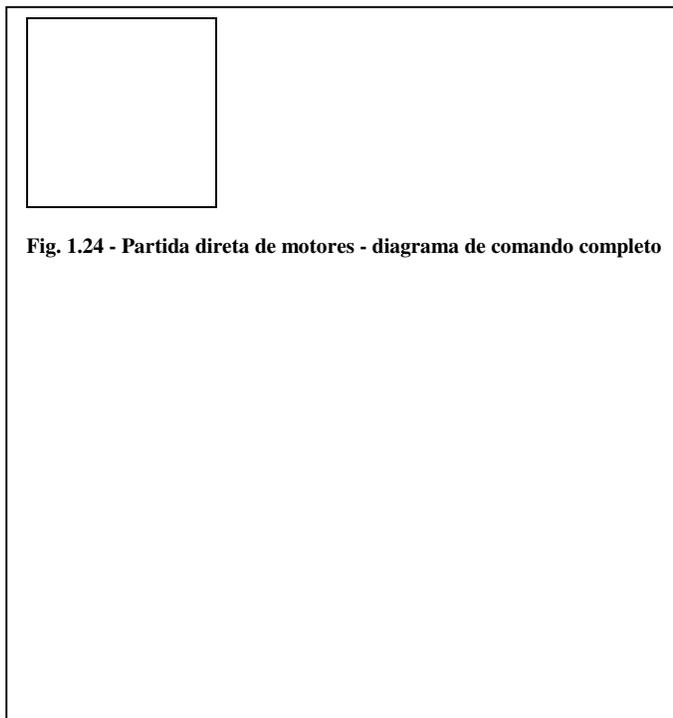


Fig. 1.24 - Partida direta de motores - diagrama de comando completo

**Macete:** 1234

Nas ilustrações a seguir, podemos observar três tipos de chaves de partida direta Siemens, com a indicação de potência máxima a ser acionada e respectivos diagramas e elétricos.

**GSP00 e GSP0** – Destinam-se ao comando e proteção de motores trifásicos de até 11Kw (15 CV) em 440 V(CA), nas categorias de utilização AC2/AC3, podemos, também, manobrar outras cargas. (fig.1.25).

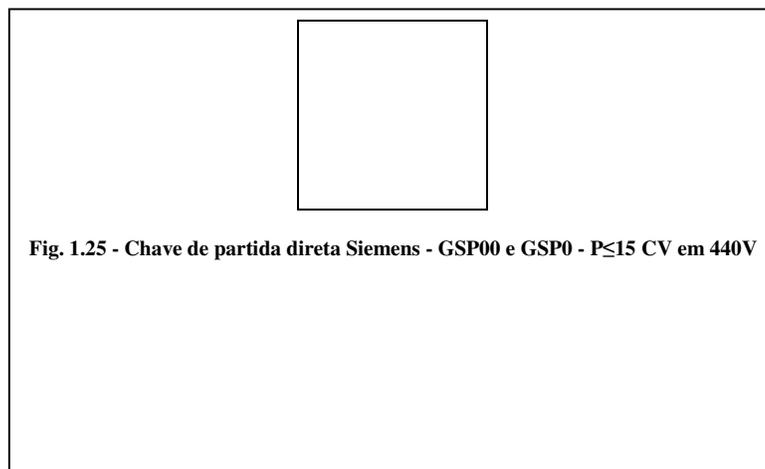
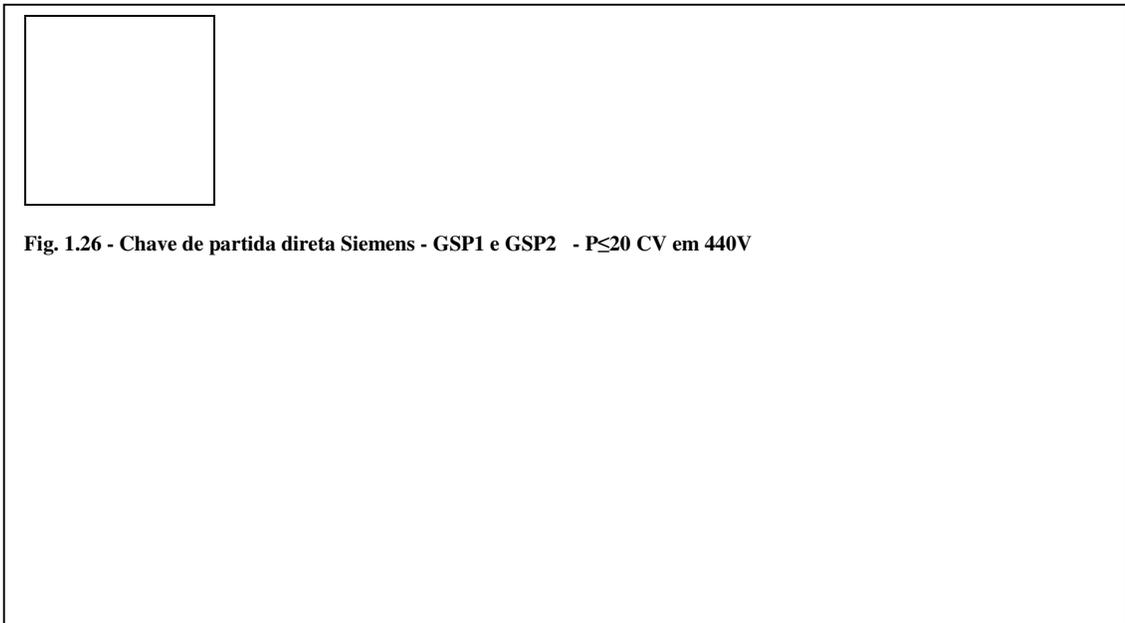
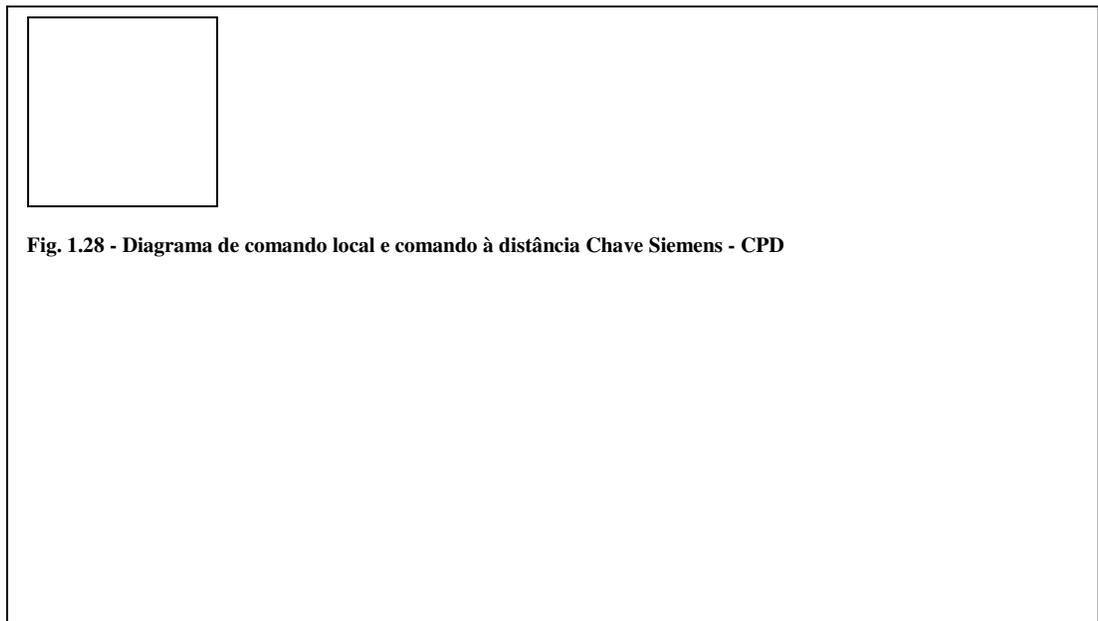
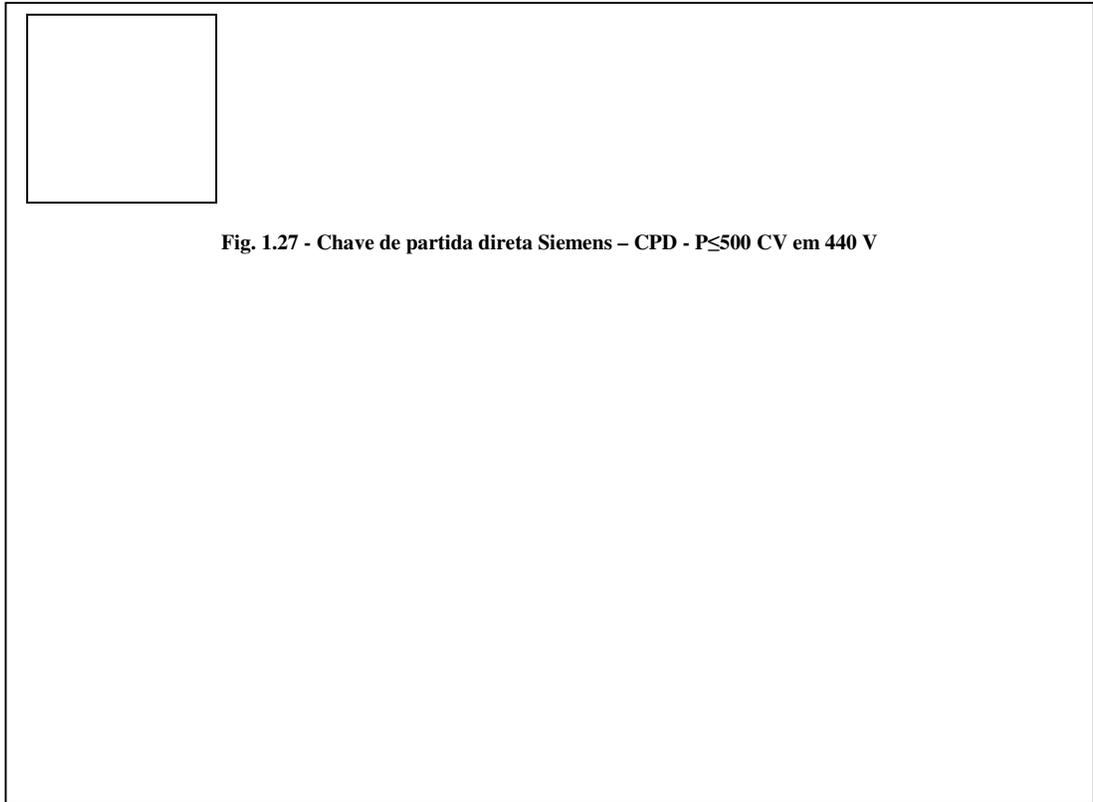


Fig. 1.25 - Chave de partida direta Siemens - GSP00 e GSP0 -  $P \leq 15$  CV em 440V

**GSP1 e GSP2** – destinam-se ao comando e proteção de motores trifásicos de até 15kW (20 CV), nas categorias de utilização AC2/AC3, podendo, também, manobrar outras cargas. (fig.1.26).



**CPD** – destinam-se ao comando e proteção de motores trifásicos de até 375Kw (500 CV) em 440 V(CA), nas categorias de utilização AC2/AC3, podendo, também, manobrar outras cargas.(fig.1.27).



A partir deste ponto, passaremos a analisar outros tipos de diagramas de sistemas de partidas de motor elétrico, sem, no entanto enumerar passos para a confecção do circuito

de comando. Devemos ter em mente o seguinte; sempre que quisermos impor ao circuito uma determinada condição de funcionamento, devemos definir inicialmente qual o tipo de efeito que esperamos obter. Assim, caso queiramos que o efeito seja de acionamento, devemos inserir ao circuito, ou aos pontos onde desejamos que isso ocorra, contatos normalmente abertos (NA) ligados em paralelo a esses pontos ou em série, caso pretendamos introduzir uma seqüência de operações.

Caso o efeito esperado seja de bloqueio (desligamento), devemos inserir contatos normalmente fechados ligados em série com tais pontos.

## **PARTIDA DIRETA COM REVERSÃO**

Sabemos que, para um motor trifásico sofrer inversão no seu sentido de giro, devemos inverter duas de suas fases de alimentação. Isso á vezes é necessário para que uma máquina ou equipamento complete o seu ciclo de funcionamento. Podemos citar como exemplos portões de garagem, plataformas elevatórias de automóveis, tornos mecânicos etc. abaixo são sugeridos os diagramas de forças (fig.1.29) e comando (fig.1.30) , bem como sua análise funcional.

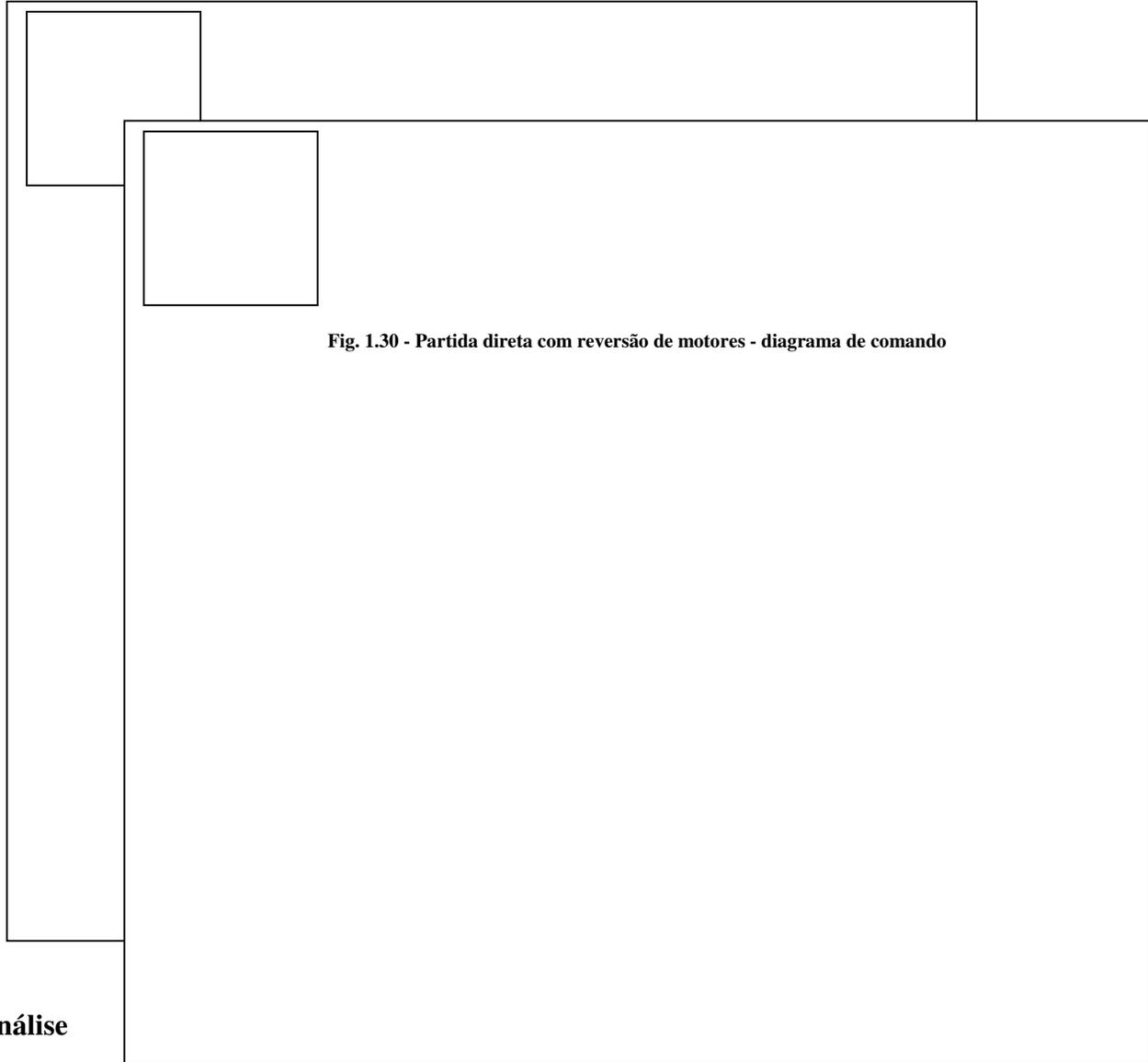


Fig. 1.30 - Partida direta com reversão de motores - diagrama de comando

**Análise****funcional**

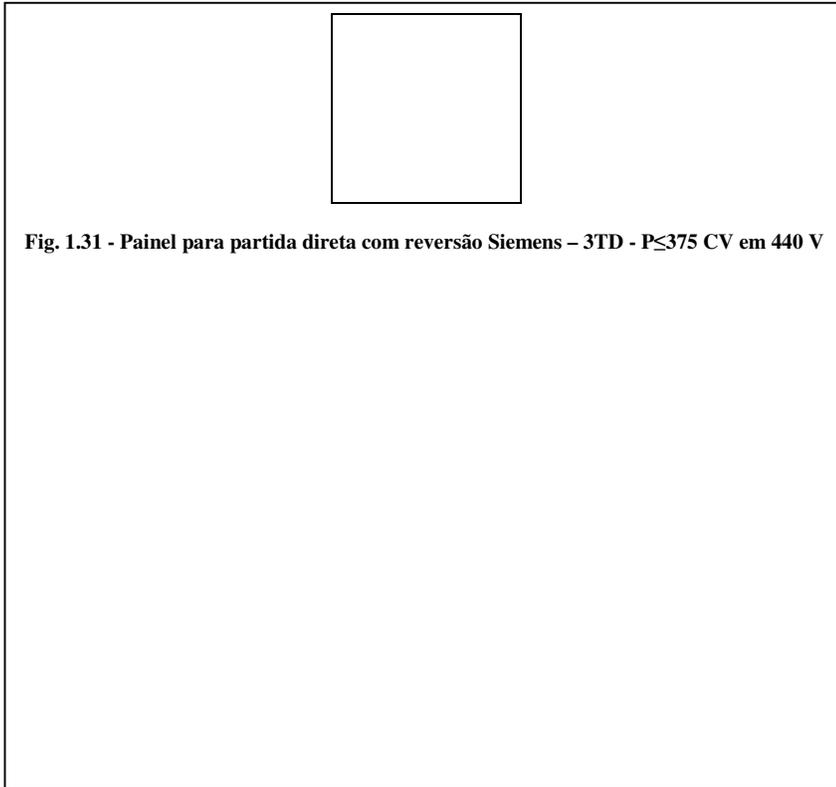
Estando energizada a rede trifásica (r,s e t), estaremos energizando o borne 95 do relé térmico de sobrecarga, e os pontos inferiores (lado b) das bobinas  $c_1$  e  $c_2$ , através dos fusíveis e21 e e22. o contato NF (95.96)do relé térmico de sobrecarga ligado em série como contato NF dos botões conjugados ( $b_1$ e  $b_2$ ). Estes garantem energizados os contatos na de  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $c_1$  e  $c_2$  de números 3-4 e 13-14, respectivamente. Pelo fato de serem conjugados os botões  $b_1$  e  $b_2$ , ao pressionar um deles é desencadeada a ação de abrir o seu

contato NF e em seguida fechar o contato na. Como existe dependência nos dois braços do circuito de tais botões, ao acionar b1, bloqueia-se a bobina c2, através do NF de b1, e pressionando b2, bloqueia-se a bobina c1, através do NF de b2 . a essa dependência denominamos intertravamento elétrico. Os contatos NF (21e22) de c1 e c2 tem função análoga à dos botões (NF de b1 e de b2). Isso é necessário, pois os contatores (c1 e c2) não podem ser ligados simultaneamente sob pena de ocorrer um curto-circuito entre duas fases do sistema, caso isso aconteça. em algumas complicações são usados contatores dotados de uma trava mecânica (pino), que impede a ligação simultânea destes. nesse caso, é denominado intertravamento mecânico.

Assim, acionando b1 é energizada a bobina c, através do NF de c2. o contato NF de c1 (21e22) abre, bloqueando a bobina c2, e o na (c1-13,14) faz o selo da bobina c1. no circuito de força, c1 fecha os contatos na, alimentando os contatos do motor, fazendo-o partir e permanecer ligado em um determinado sentido de giro.

Quando for necessária a mudança no sentido de giro do motor, deve-se acionar b0, desligando a bobina c1. Assim, o contato c1 (13e14) abre, desfazendo o selo da bobina c1 e o contato ÁZ (21,22) fecha, permitindo que a bobina c2 seja ligada. Agora, acionando b2, a bobina c2 é energizada através de contato c1(21,22). O contato c2 (21,22) abre bloqueando a bobina c1, o contato c2 (13, 14) fecha fazendo o selo da bobina c2. No circuito de força, c2 fecha os contatos na, proporcionando a inversão das fases s e t e a mudança no sentido de giro do motor. Caso haja, em algum instante, uma sobrecarga no motor, o rele térmico aciona seu contato NF (95, 96), fazendo-o abrir e desenergizar a bobina que estiver ligada (c1, ou c2).

Na fig. 1.31 é mostrada, a título de ilustração, uma chave de partida direta com reversão semens 3td, que se destina ao comando e proteção de motores trifásicos de até 375kw (500 CV) em 440 V(CA), acoplados a maquinas que partem a vazio ou com a carga, podendo a reversão se dar fora do regime de partida nas categorias de utilização ac2/ac3 ou dentro, na categoria de utilização AC4.



### Sistema de partida estrela-triângulo de motores trifásicos

Condições essenciais:

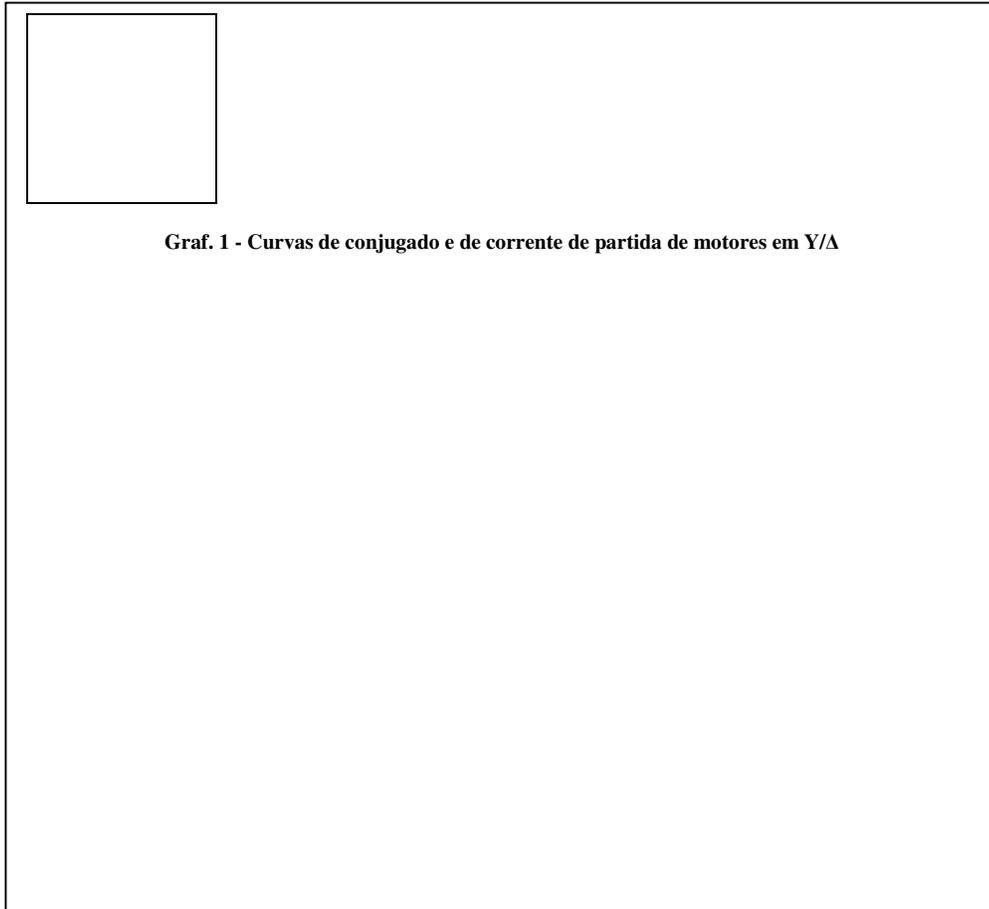
- O motor não pode partir sob carga. Sua partida deve se dar a vazio ou com conjugado resistente baixo e principalmente constante.

- O motor deve possuir, no mínimo, seis (6) terminais e permitir a ligação em dupla tensão, sendo que a tensão da rede deve coincidir com a tensão do motor ligado em triângulo.
- A curva de conjugados do motor deverá ser suficientemente grande para poder garantir a aceleração da máquina de até, aproximadamente, 95% da rotação nominal, com a corrente de partida.

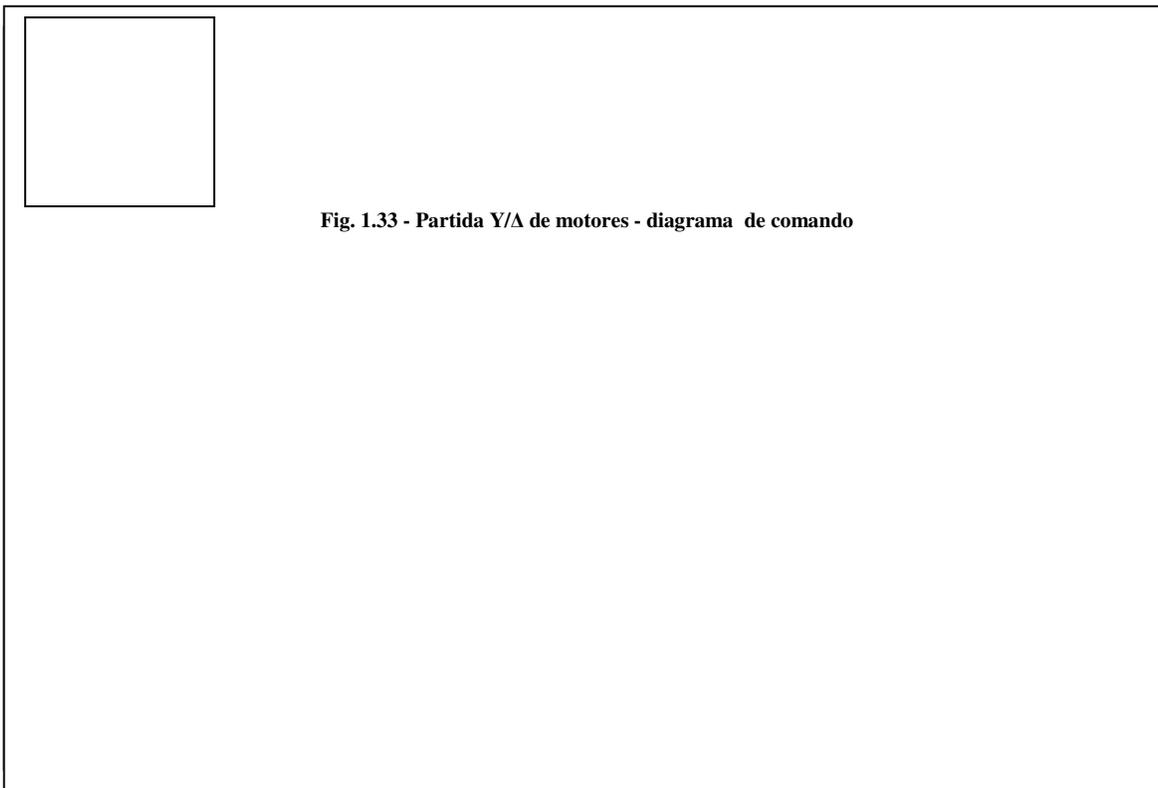
### **Característica fundamental**

Na partida, ligação estrela, a corrente fica reduzida a aproximadamente 33% do valor da corrente de partida direta, reduzindo-se também o conjugado na mesma proporção. Por esta razão, sempre que for necessária uma partida estrela-triângulo, deverá ser usado um motor com curva de conjugado elevado. O conjugado resistente da carga não pode ser maior que o conjugado de partida do motor, nem a corrente no instante de comutação de estrela para triângulo poderá ser de valor inaceitável. Por essa razão, o instante de comutação deve ser criteriosamente determinado, para que esse sistema de partida seja vantajoso nas situações onde o sistema de partida direta não é possível. Na página seguinte, são ilustradas duas situações de partida estrela-triângulo de motor trifásico. Uma, com alto conjugado resistente de carga (situação A), onde o sistema de partida não se mostra eficaz, pois percebe-se que o salto da corrente, no instante da comutação (85% da velocidade), é elevado representando cerca de 320% de aumento no seu valor, que era de aproximadamente 190%, isso não é nenhuma vantagem.

Outra, com conjugado resistente de carga bem menor (situação B), onde o sistema se mostra eficiente, pois o salto de corrente, no instante da comutação (95% da velocidade), não é significativo, passando de aproximadamente 50% para 170%, valor praticamente igual ao da partida. Isso é uma vantagem, se considerarmos que o motor absorveria da rede aproximadamente 600% da corrente nominal, caso a partida fosse direta. (Graf. 1).



A seguir são mostrados os diagramas de força (Fig. 1.32) e comando (Fig 1.33) de um sistema de partida estrela-triângulo, bem como sua análise funcional.



### Análise funcional

Estando energizada a rede trifásica (R, S, e T), estaremos energizando o borne 95 do relé térmico de sobrecarga, e os pontos inferiores (lado b) das bobinas  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $d_1$  através dos fusíveis e21 e e22. O contato NF (95, 96) do relé térmico de sobrecarga, ligado em série com o contato NF (1, 2) do botão desliga ( $b_0$ ), proporciona a energização dos bornes superiores do botão liga ( $b_1$ ) e dos contatos NA e  $C_1$  (13 e 43). Acionando  $b_1$ , são energizadas as bobinas de  $C_2$  e  $d_1$ , através dos contatos NF de  $C_3$  (21, 22) e  $d_1$  (15, 16). O relé de tempo ( $d_1$ ) inicia a contagem, tendo como referência o período pré-ajustado, para operar seu contato NF ( $d_1$  -15, 16).  $C_2$  por sua vez abre o contato NF (21, 22), fechando os contatos NA (13, 14 e 43, 44), cujas respectivas funções são garantir o bloqueio de  $C_3$  enquanto o motor estiver em regime de partida (estrela), fazer o selo da bobina  $C_2$  e

energizar a bobina  $C_1$ . Sendo a bobina  $C_1$  energizada, através do contato NA de  $C_2$  (43, 44), são acionados os contatos NF (21, 22) e NF (13, 14 e 43, 44), cujas respectivas funções são impossibilitar o acionamento de  $C_2$  após a comutação de estrela para triângulo, a menos que seja acionado o botão desliga ( $b_0$ ), selo da bobina  $C_1$ , e condição de acionamento para  $C_3$  logo após a desenergização de  $C_2$  (comutação de estrela para triângulo).

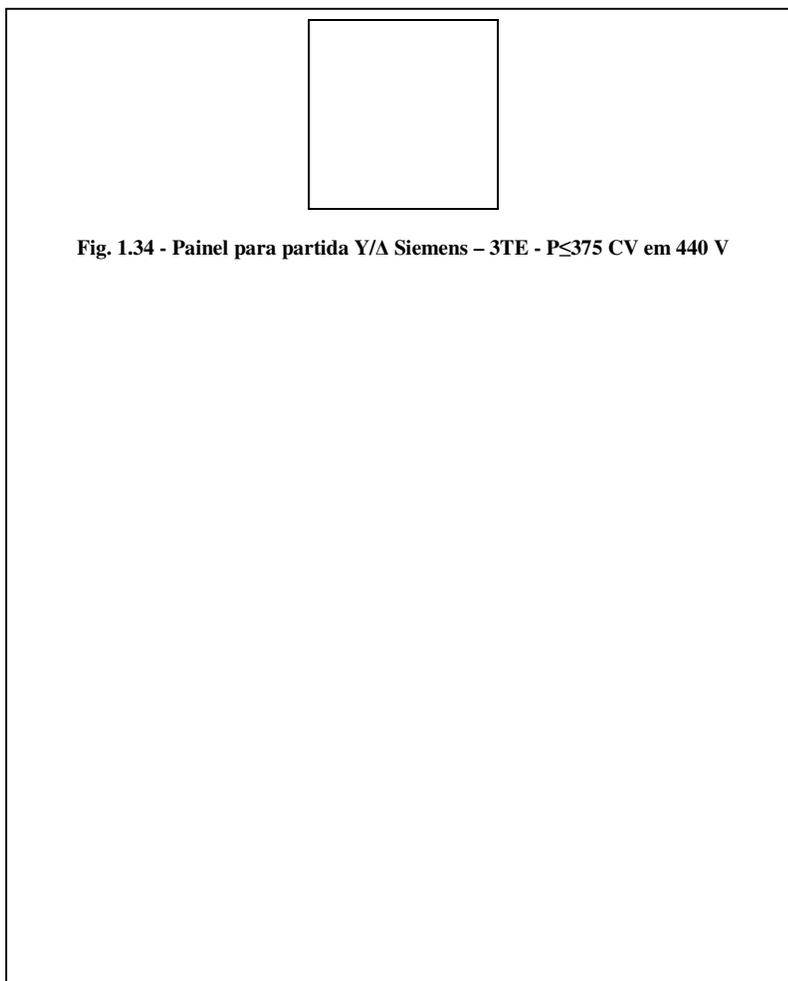
No circuito de força, estando energizados  $C_2$  e  $C_1$ , o motor encontra-se em regime de partida (ligação estrela), recebendo em cada grupo de bobina aproximadamente 58% da tensão da rede. Com a redução no valor da tensão aplicada, a corrente e o conjugado são também reduzidos à mesma proporção.

Decorrido o tempo pré-ajustado em  $d_1$ , seu contato NF (15, 16) é acionado (abre), sendo desenergizadas as bobinas  $C_2$  e  $d_1$ .  $C_2$  abre os contatos NA (13, 14 e 43, 44) e fecha o contato NF (21, 22), oportunidade na qual  $C_3$  é energizado, visto que o contato NA de  $C_1$  (43, 44) permanece fechado. Uma vez desenergizada a bobina  $d_1$ , seu contato NF (15, 16) retorna à posição de repouso (fecha); porém, o contato NF de  $C_3$  (21, 22) impede o seu religamento bem como o de  $C_2$ . Caso ocorra uma sobrecarga, tanto na partida quanto em normal, o relé térmico de sobrecarga aciona seu contato NF (95, 96), desenergizando qualquer bobina que esteja ligada ( $C_1$ ,  $C_2$  ou  $d_1$ ). Se for necessário desligar o motor em qualquer instante, podemos fazê-lo através do botão desliga ( $b_0$ ).

No circuito de força, estando energizados  $C_1$  e  $C_3$ , o motor encontra-se em regime de marcha (triângulo), com os seus grupos de bobina sendo alimentados diretamente pela tensão da rede e os valores de corrente e conjugado próximos do nominal. O ajuste do relé

térmico de sobrecarga é feito a 58% do valor da corrente nominal do motor e do relé de tempo, um valor suficiente para a partida (próximo de 90% da velocidade).

Conforme feito anteriormente, é ilustrada na figura 1. 34, a título de exemplo, a chave estrela-triângulo 3TE, SIEMENS, que se destina ao comando e proteção de motores trifásicos de até 375kW (500CV) em 440V (CA), na categoria de utilização AC3, acoplados a máquinas que partem em vazio ou com conjugado resistente baixo e praticamente constante, tais como máquinas – ferramentas clássicas, para madeira e agrícolas.



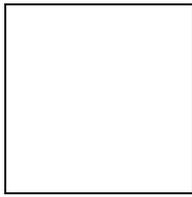
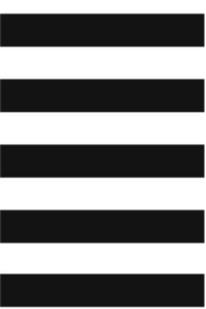
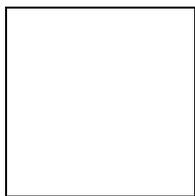


Fig. 1.35 - Diagrama F&C - Pannel para partida Y/ $\Delta$  Siemens - 3TE -  $P \leq 375$  CV em 440 V



### Sistema de partida com autotransformador (compensadora) de motores trifásicos

A chave compensadora pode ser usada para partida de motores sob carga. Com ela, podemos reduzir a corrente de partida, evitando sobrecarga na rede de alimentação, deixando, porém, o motor com um conjugado suficiente para a partida e aceleração. A redução de tensão é conseguida a partir de um autotransformador, que possui normalmente taps de 50%, 65% e 80%. Para os motores que partirem com tensão reduzida, a corrente e o conjugado de partida devem ser multiplicados pelos fatores  $K_1$  (fator de multiplicação da corrente) e  $K_2$  (fator de multiplicação do conjugado) obtidos no gráfico abaixo. (Graf. 2)



Graf. 2 - Curvas de tensão partida de motores com chave compensadora

Ex  
em  
plo  
:

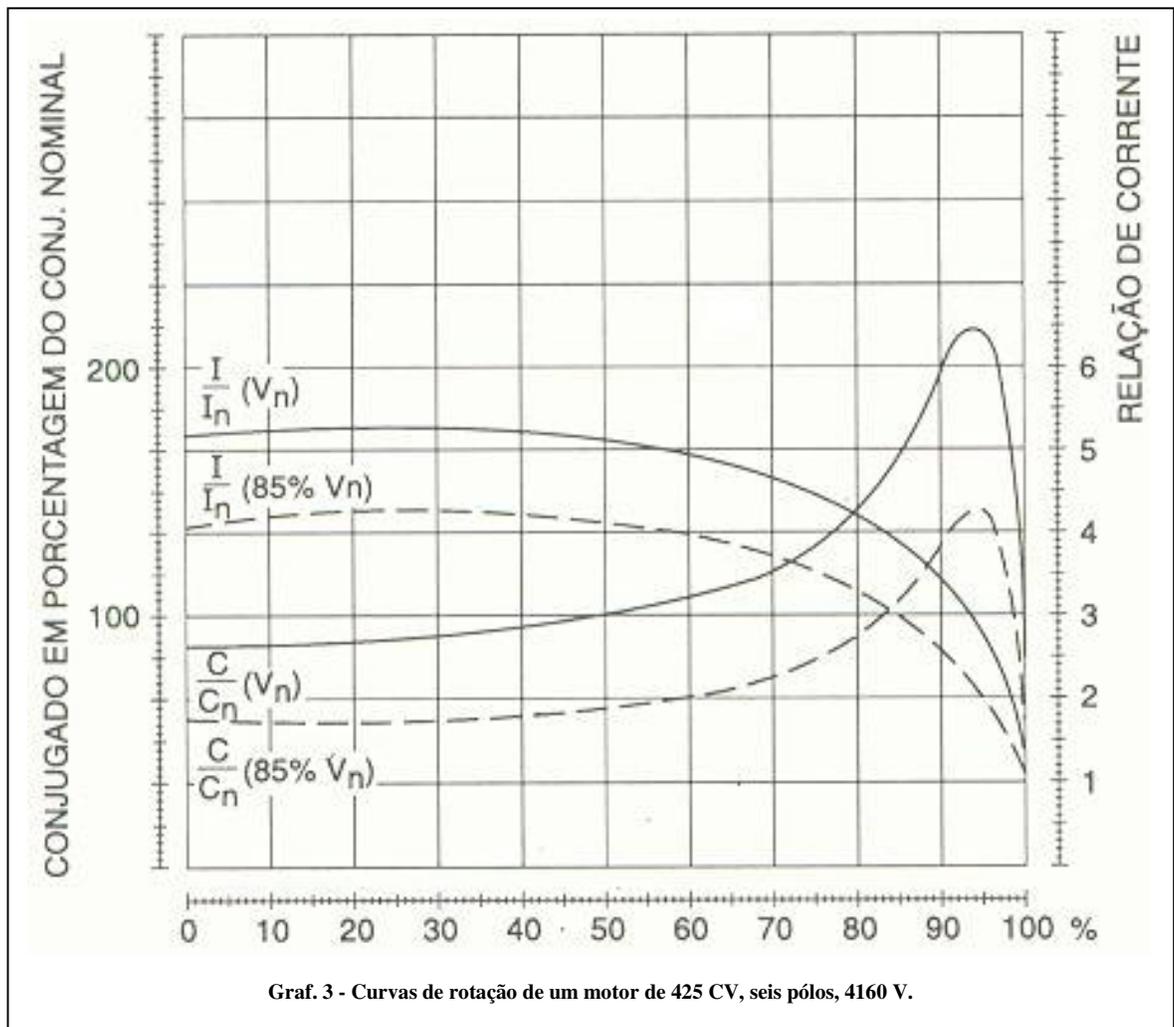


Para 85% da tensão nominal:

$$I_p/I_n * 85\% = K1 * I_p/I_n * 100\% = 0,8 * I_p/I_n * 100\%$$

$$C/C_n * 85\% = K2 * C/C_n * 100\% = 0,64 * C/C_n * 100\%$$

O Gráf. 3 ilustra as características de desempenho de um motor de 425CV, 6 pólos, 4160V, quando parte com 85% da tensão.



A seguir, é apresentado e feita uma análise dos circuitos de força (Fig. 1.36) e comando (Fig. 1.37) para partida compensada automática de um motor trifásico.

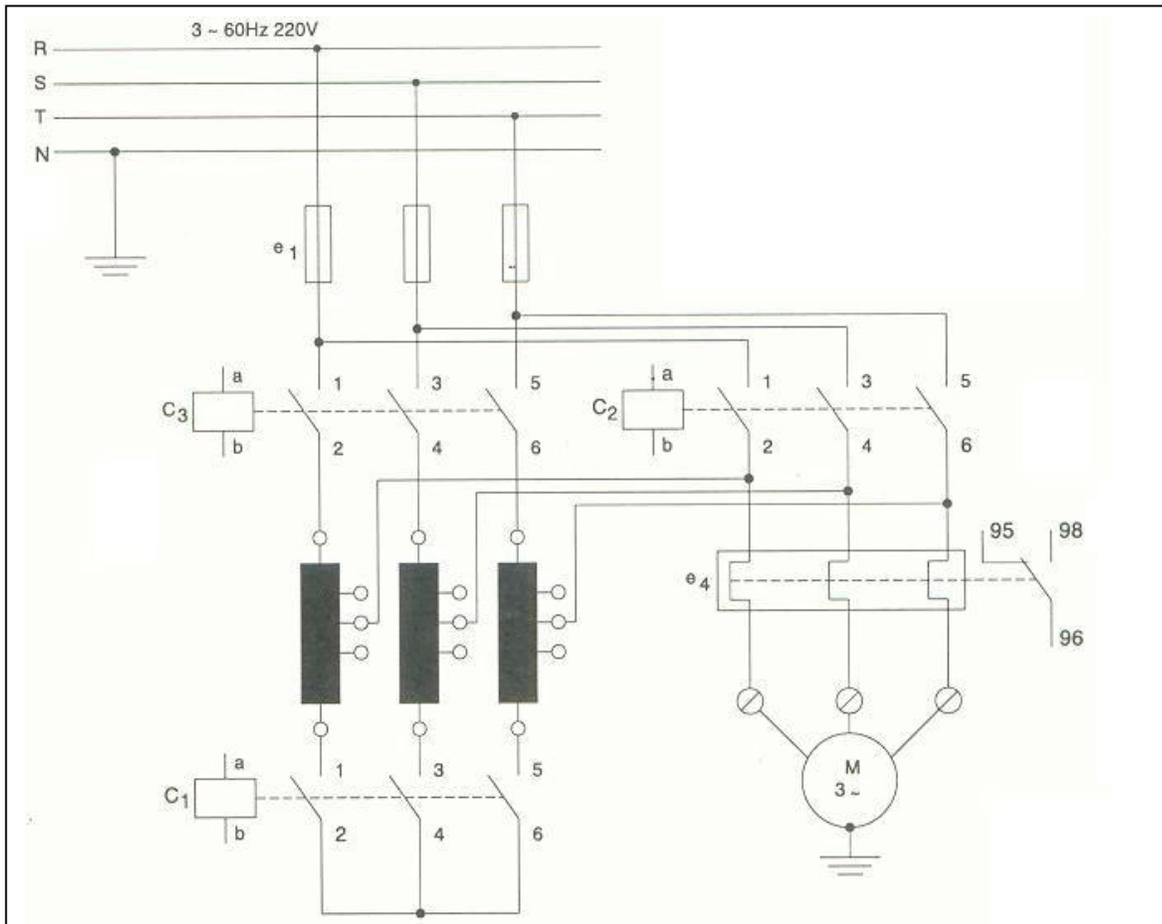
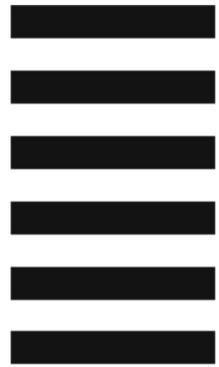
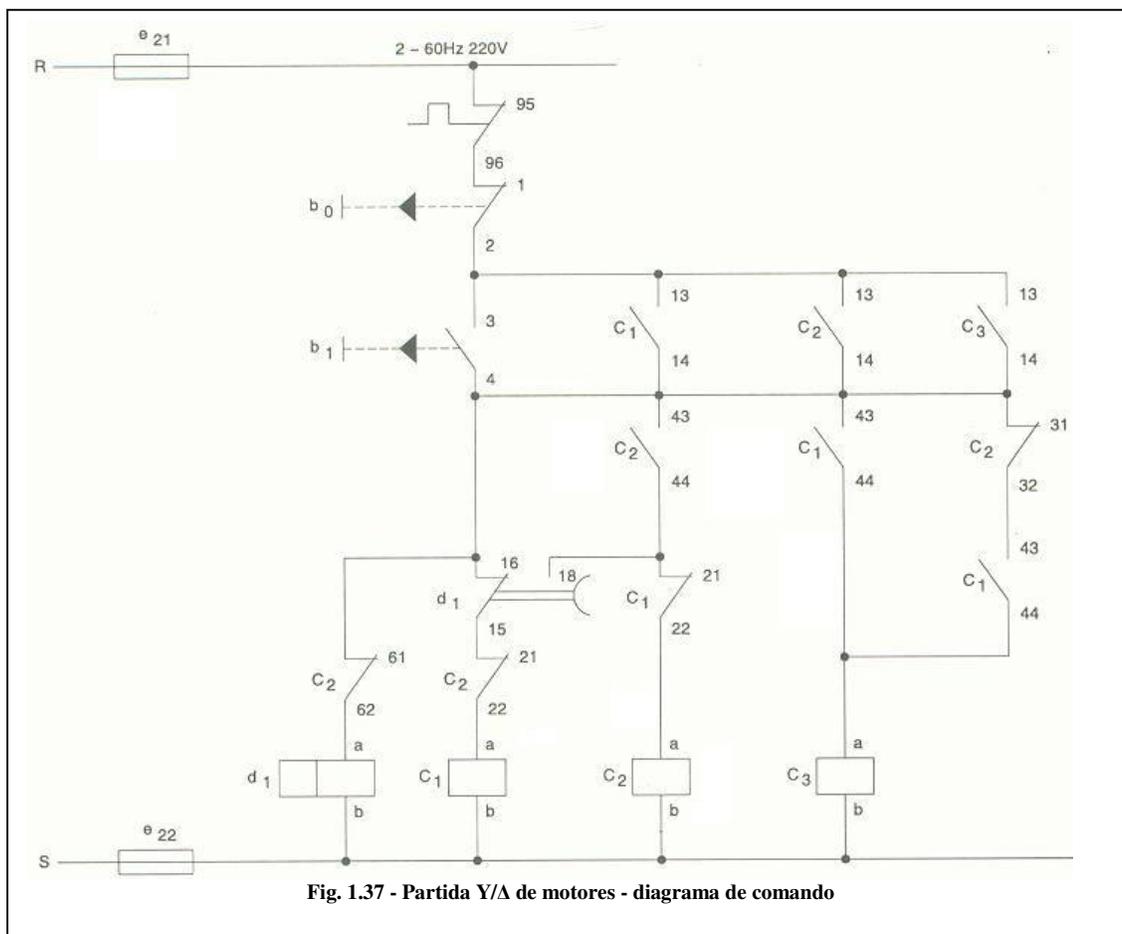


Fig. 1.36 - Partida Y/Δ de motores - diagrama de força



### Análise funcional

Estando energizada a rede trifásica (R, S e T), estaremos energizando o borne 95 do relé térmico de sobrecarga, e os pontos inferiores (lado b) das bobinas  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  e  $d_1$  através dos fusíveis e21 e e22. O contato NF (95, 96) do relé térmico de sobrecarga, ligado em série com o contato NF (1,2) do botão desliga ( $b_0$ ), proporciona a energização dos bornes superiores do botão liga ( $b_1$ ) e dos contatos NA de  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  (13). Acionando  $b_1$ , são energizadas as bobinas de  $d_1$  e  $C_1$ , através dos contatos NF de  $C_2$  (61, 62),  $d_1$  (15, 16) e  $C_2$  (21, 22). O relé de tempo ( $d_1$ ) inicia a contagem, tendo como referência o período pré-ajustado, para operar seu contato NF ( $d_1$ -15, 16).  $C_1$ , por sua vez, abre o contato NF (21, 22), fazendo o bloqueio de  $C_2$ , e fecha os contatos NA (13, 14 e 43, 44), tendo como respectivas funções selo de  $C_1$ ,  $d_1$ , e energização de  $C_3$ . Uma vez ligado  $C_3$  fecha seus contatos NA (13, 14 e 43, 44), que têm ambos a função de selo, isto é, manter  $C_3$  ligado independentemente da desenergização de  $C_1$ .

No circuito de força, com  $C_1$  e  $C_3$  ligados, o motor encontra-se em regime de partida compensada, com  $C_1$  alimentado o autotransformador trifásico, com a tensão da rede, e este fornecendo tensão reduzida ao motor através de seus taps (derivações).

Decorrido o tempo pré-ajustado em  $d_1$ , seu contato reversível (15,16) é acionado (abre), sendo desenergizada a bobina  $C_1$  e fecha (15, 18) energizando a bobina  $C_2$  através do contato NF de  $C_1$  (21, 22).  $C_2$  abre os seus contatos NF (21, 22-31, 32-e 61, 62) fazendo, respectivamente, o bloqueio da bobina  $C_1$ , desligamento da bobina  $C_3$  e desligamento da bobina  $d_1$ , e fecha os contatos NA (13, 14 e 43, 44) que têm a função de selo, ou seja, manter  $C_2$  ligado. Perceba que no instante da comutação, o relé de tempo desliga apenas a bobina  $C_1$ , ficando energizada a bobina  $C_3$ , mantendo assim o motor sob tensão através dos enrolamentos de cada coluna do autotransformador. Isso faz com que seja reduzido o pico de corrente no instante da comutação (inserção da bobina  $C_2$ ), pois o motor não é desligado.

No circuito de força, com  $C_2$  ligado, o motor encontra-se em regime de marcha, isto é com os valores de corrente e conjugado nominais.

O relé térmico de sobrecarga deverá ser ajustado para o valor da corrente nominal do motor, e o relé de tempo para um valor tal que garanta a aceleração do motor até aproximadamente 80% da velocidade.

Mais uma vez, ilustramos o sistema de partida compensada (Fig. 1.38) com uma chave compensadora CAT, Siemens, que se destina ao comando e proteção de motores trifásicos de até 375KW (500CV) em 440V (CA) na categoria de utilização AC3, acoplados a máquinas que partem com aproximadamente metade de sua carga nominal, tais como calandras, compressores, ventiladores bombas e britadores. (Fig 1.38)

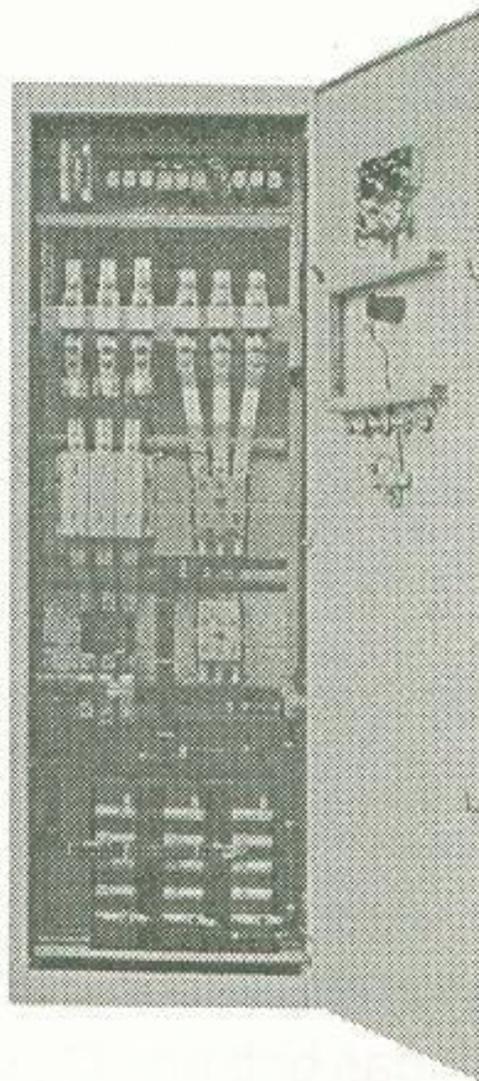
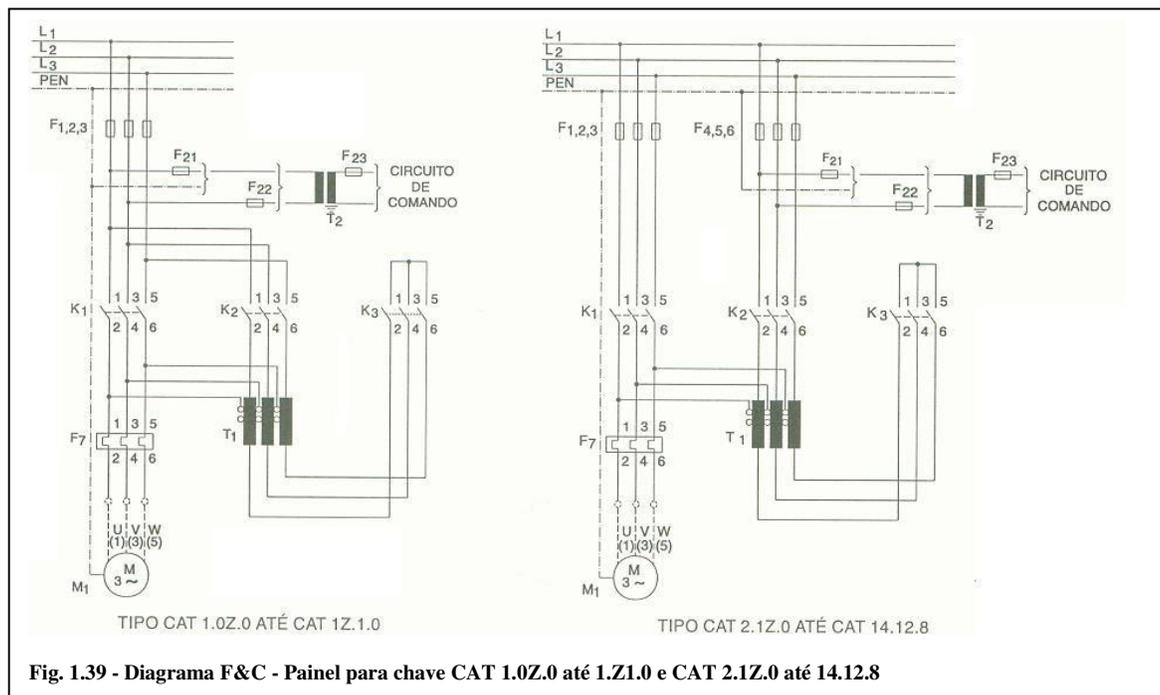


Fig. 1.38 - Painei para partida chave compensadora Siemens – CAT -  $P \leq 375$  CV em 440 V



## Comparação entre chaves estrela-triângulo e compensadoras automáticas

### Estrela-triângulo automática

#### Vantagens:

- É muito utilizada por ter custo reduzido;
- Número ilimitado de manobras;
- Os componentes ocupam pouco espaço;
- Redução da corrente de partida para aproximadamente 33% do valor da corrente de partida direta.

#### Desvantagens:

- Só pode ser aplicado a motores com, no mínimo, seis terminais.
- A tensão da rede deve coincidir com a tensão do motor em triângulo.
- Redução do conjugado de partida para 33%.
- Pico de corrente no instante da comutação de estrela para triângulo, que deve acontecer no mínimo a 90% da velocidade, para que não seja alto.

## Compensadora automática

### Vantagens:

- O motor parte com tensão reduzida e o instante da comutação, ou seja, segundo pico de corrente, é bem reduzido, visto que o autotransformador, por um curto intervalo de tempo, torna-se uma reatância, fazendo com que o motor não seja desligado.
- É possível a variação dos taps do autotransformador, variando o valor da tensão nos terminais do motor, proporcionando assim uma partida satisfatória.

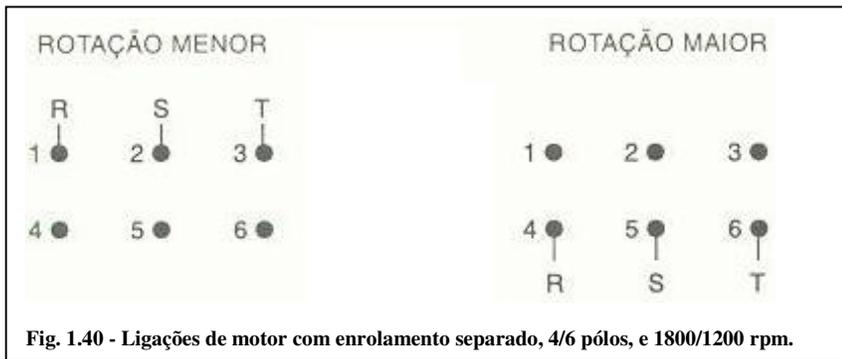
### Desvantagens:

- Número limitado de manobras. O autotransformador é determinado em função da frequência de manobras;
- Custo elevado devido ao autotransformador;
- Construção volumosa devido ao tamanho do autotransformador, necessitando quadros maiores, elevando assim o seu custo.

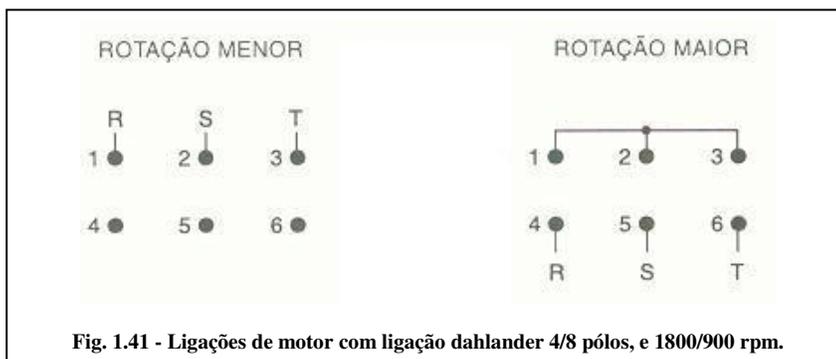
## Comutação polar de motores trifásicos

Existem aplicações em que necessitamos de motores com velocidades diferentes para desenvolver determinados tipos de tarefas. Para essas aplicações podemos utilizar motores diferentes ou, a fim de reduzir o custo da instalação e obter economia de espaço em máquinas, motores únicos; isto é, motores que, dependendo da forma com que são ligados, giram em baixa ou em alta velocidade. Isto pode ser conseguido com os motores que possuem duplo enrolamento, ou com os motores que têm uma característica de fechamento interno diferenciada denominada ligação dahlander.

Para o primeiro grupo citado, ou seja, motores com enrolamentos separados, são mostrados abaixo (Fig. 1.40) as características de ligação externa, a título de exemplo, de um motor trifásico, quatro e seis pólos (4/6), de velocidades próximas de 1800/1200 rpm, respectivamente.



Para o segundo grupo estão ilustradas, na figura 1.41, as ligações externas de um motor trifásico com ligação dahlander, de quatro e oito pólos (4/8), com velocidades próximas de 1800/900 rpm, respectivamente.



**Observação**

A diferença básica entre um motor com enrolamento separado e com ligação dahlander é, que, neste último, as polaridades são uma o dobro da outra, tendo como consequência velocidades com a mesma relação de dobro.

A seguir são mostrados os diagramas de força (Fig. 1.42) e comando (Fig. 1.43) para comutação polar de motores trifásicos, com ligação dahlander, 4/8 pólos, comandado por botões.

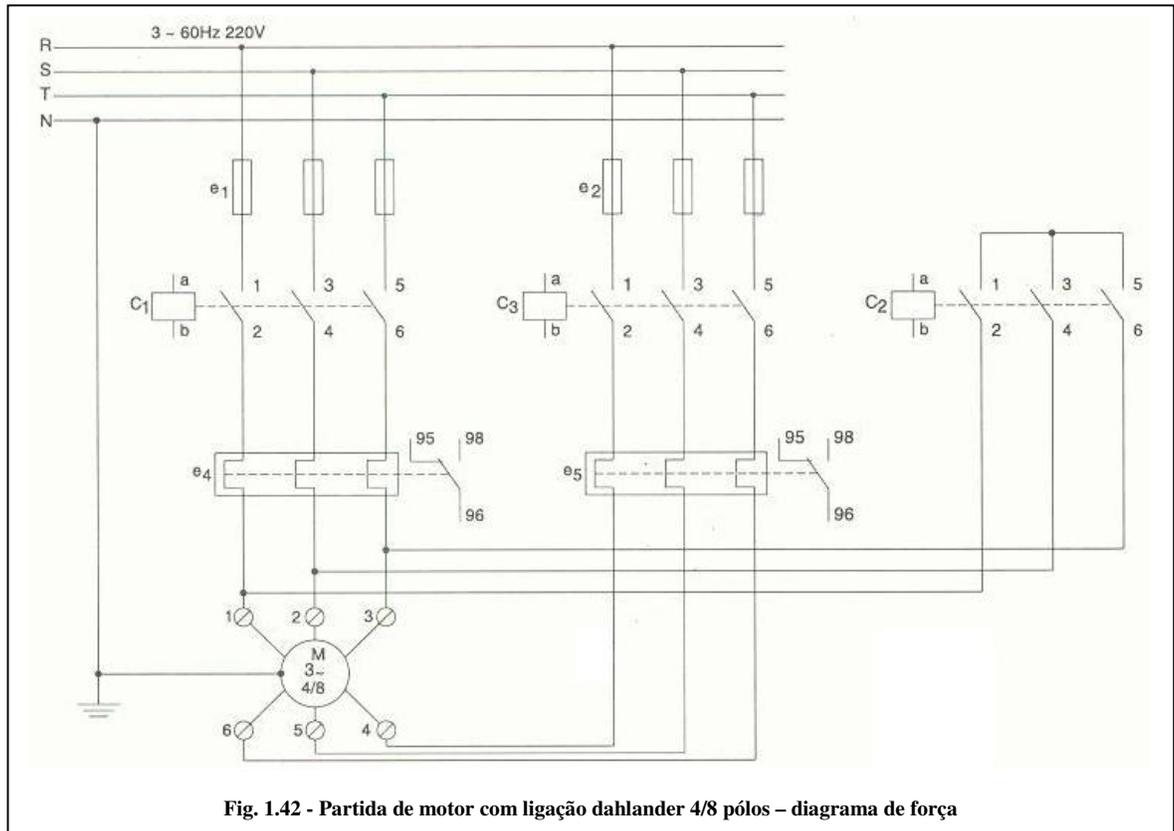


Fig. 1.42 - Partida de motor com ligação dahlander 4/8 pólos – diagrama de força

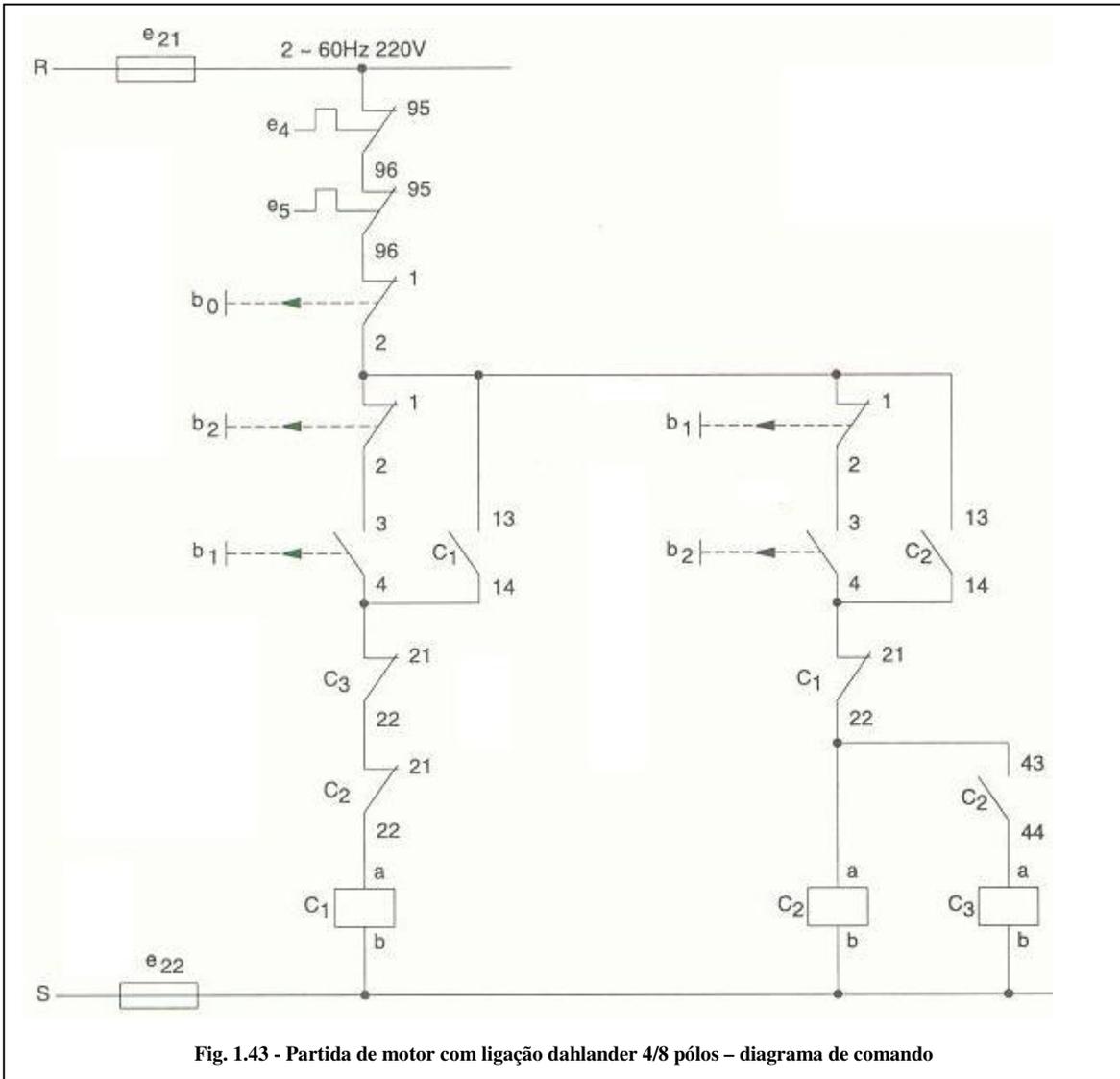


Fig. 1.43 - Partida de motor com ligação dahlander 4/8 pólos – diagrama de comando

**Análise funcional**

Estando energizada a rede trifásica (R,S e T), estaremos energizando o borne 95 do relé térmico de sobrecarga (e<sub>1</sub>) e os pontos inferiores (lado b) das bobinas C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> e C<sub>3</sub> através dos fusíveis e21 e e22. O contato NF (95, 96) do relé térmico de sobrecarga (e<sub>1</sub>), ligado em série com o contato NF (95, 96) do relé térmico de sobrecarga (e<sub>5</sub>) e contato NF (1, 2) do botão desliga (b<sub>0</sub>), proporciona a energização dos bornes superiores dos contatos NF (1,2) dos botões b<sub>1</sub> e b<sub>2</sub> e NA (13, 14) dos contatores C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>. Os contatos NA (3, 4) dos botões liga (b<sub>1</sub> e b<sub>2</sub>) são energizados através dos contatos NF (1, 2) de b<sub>2</sub> e b<sub>1</sub>, respectivamente, criando assim um intertravamento elétrico entre esses pontos. Acionando b<sub>1</sub>, energizamos a bobina C<sub>1</sub>, através dos contatos NF (21, 22) de C<sub>3</sub> e C<sub>2</sub>, cuja função é impedir o acionamento do motor em baixa rotação quando este estiver girando em alta rotação. Uma



vez energizado,  $C_1$  abre seu contato NF (21, 22), fazendo o bloqueio dos contatores de alta rotação, função análoga à descrita para os contatos NF de  $C_3$  e  $C_2$ , e fecha o contato NA (13, 14), fazendo o seu selo.

No circuito de força, estando  $C_1$  energizado, os terminais 1, 2 e 3 do motor recebem alimentação trifásica, através do relé térmico de sobrecarga ( $e_1$ ), e este gira em baixa rotação.

Para que ocorra o acionamento do motor em alta rotação é necessário acionar o botão desliga ( $b_0$ ), e, em seguida, o botão liga ( $b_2$ )

Quando isso é feito,  $C_1$ , é desenergizado, colocando na posição de repouso seus contatos, NA (13, 14) e NF (21, 22). Oportunamente, com  $b_2$  acionado, é energizada a bobina  $C_2$  através do contato NF de  $C_1$  (21, 22).  $C_2$  abre seu contato NF (21, 22), bloqueando  $C_1$ , e fecha seus contatos NA (43, 44) energizando a bobina  $C_3$  e (13, 14), fazendo o selo de ambas.  $C_3$  energizado, abre o seu contato NF (21, 22) de função análoga à do NF de  $C_2$  (21, 22).

No circuito de força,  $C_2$  fecha em curto os terminais 1, 2 e 3 do motor e  $C_3$  alimenta os terminais 4, 5 e 6 com a rede trifásica, através do relé térmico de sobrecarga  $e_5$ . O motor gira em alta rotação.

### Sistemas de frenagem de motores trifásicos

Em determinadas aplicações, necessitamos da parada instantânea do motor que aciona a máquina ou dispositivo, a fim de garantir precisão do trabalho executado. Podemos citar, como exemplo, o processo de usinagem de uma determinada peça, no qual a ferramenta avança usinando até um determinado ponto, quando então, ao alcançá-lo, deve parar. Num sistema comum de parada do motor, a ferramenta ainda avançaria por um determinado intervalo de tempo, necessário para fazer com que a inércia de movimento do eixo seja

vencida pelo conjugado resistente de carga. Podemos obter a parada instantânea do motor por dois métodos: frenagem por contracorrente e por corrente retificada.

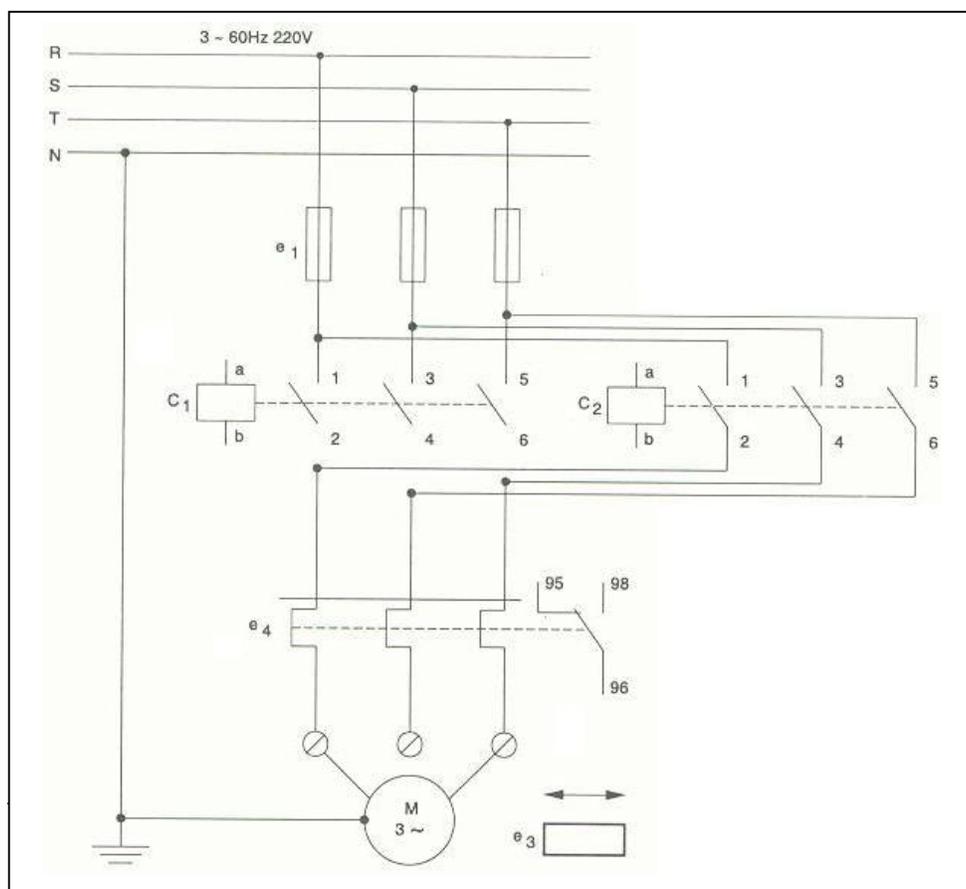
No sistema de frenagem por contracorrente, um dispositivo acoplado ao eixo do motor mantém um contato NA, fechado, por ação de força centrífuga, sendo que o momento de sua abertura pode ser ajustado externamente (força que o mantém aberto).

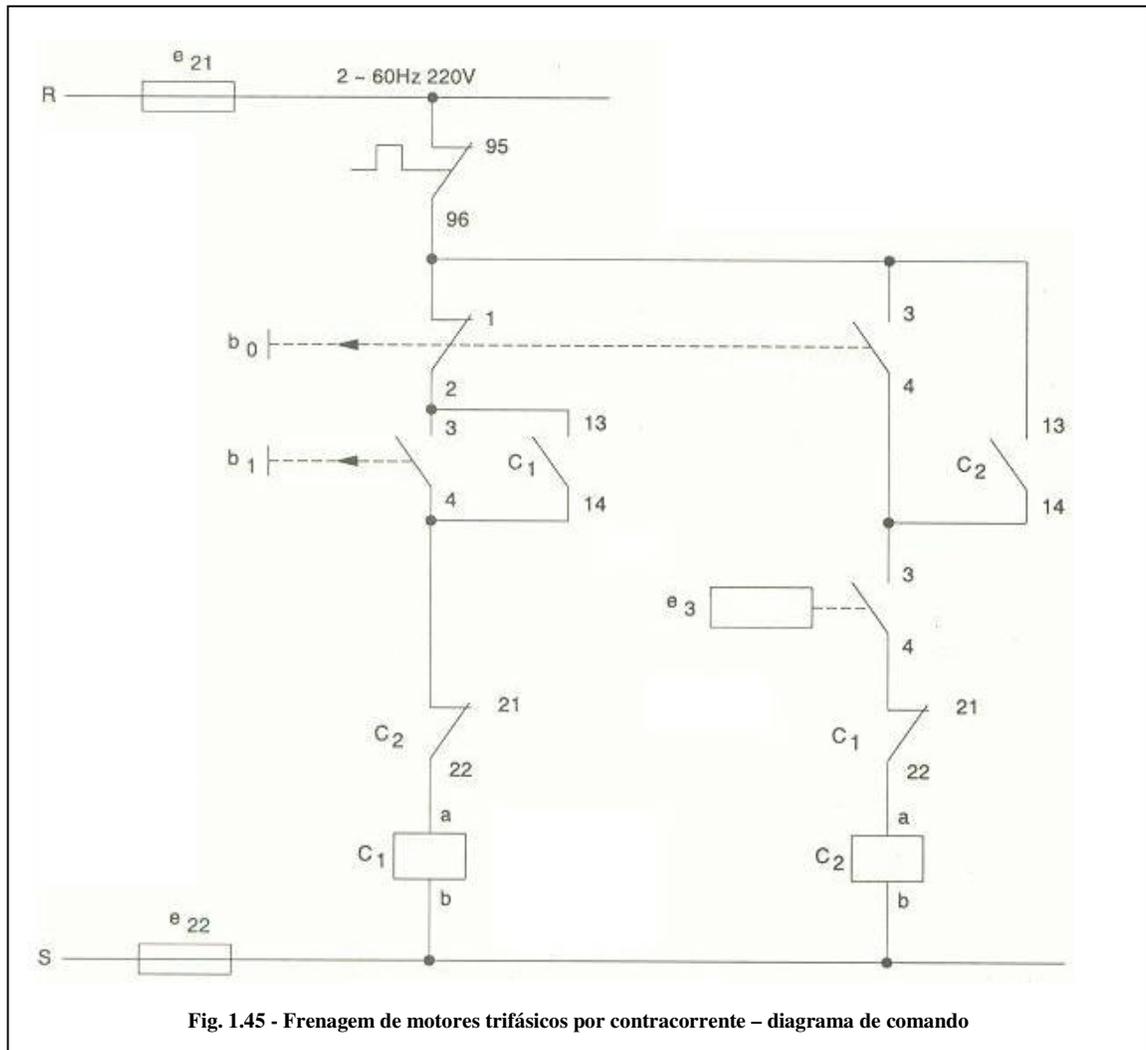
No sistema de frenagem por corrente retificada, aplica-se corrente contínua ao estator do motor trifásico obtendo um campo magnético fixo, fazendo com que o rotor (eixo) pare.

Ambos os sistemas requerem um circuito de comando que identifique o momento da parada e efetive a alimentação do dispositivo de frenagem.

### Frenagem de motores trifásicos por contracorrente

A seguir é apresentado e feita uma análise dos circuitos de força (Fig. 1.44) e comando (Fig. 1.45) para frenagem de motores trifásicos por contracorrente.





### Análise funcional

Ao ser energizada a rede trifásica (R, S e T, 0), teremos tensão nas linhas de comando (R e S), e através dos fusíveis de proteção ( $e_{21}$  e  $e_{22}$ ), será feita a alimentação do ponto superior do botão de comando desliga ( $b_0$ ) e do contato NA de  $C_2$  (13, 14), através do contato NF (95, 96) do relé térmico de sobrecarga, e inferior (lado b) das bobinas  $C_1$  e  $C_2$ . Estando  $b_0$  no repouso, seu contato NF (1, 2) está fechado e o NA (3, 4) aberto, mantendo energizados os pontos superiores do botão liga ( $b_1$ ) e do contato normalmente aberto de  $C_1$  (13, 14). Ao

acionarmos o botão liga ( $b_1$ ) seu contato se fecha, energizando o ponto superior da bobina  $C_1$  (lado a) através do contato NF de  $C_2$  (21, 22).  $C_1$  abre seu contato NF (21, 22) bloqueando  $C_2$  e fecha seu NA (13, 14) fazendo seu selo.

Nessas condições, o motor parte e permanece ligado, fazendo com que o dispositivo de frenagem ( $e_3$ ) feche seu contato NA (3, 4) por ação da força centrífuga. Quando acionamos o botão desliga ( $b_0$ ), provocando a parada do motor, é interrompido o percurso da corrente, que fluía pelo contato NA de  $C_1$  (13, 14), desenergizado a bobina ( $C_1$ ) e energizando o contato NA de  $e_3$  (3, 4), com a abertura do contato NF (1, 2) e fechamento do contato NA (3, 4) de  $b_0$ , respectivamente. Uma vez desligado,  $C_1$  fecha seu contato NF (21, 22), permitindo assim a energização da bobina  $C_2$ . O contato NF de  $C_2$  (21,22) abre, bloqueando  $C_1$ , e o contato NA de  $C_2$  (13, 14) fecha, fazendo o seu selo. Como  $C_2$  inverte o sentido de rotação do motor, a velocidade deste tende a diminuir drasticamente nesse instante. Com a diminuição da velocidade o dispositivo de frenagem  $e_3$  abre seu contato NA (3, 4), desligando  $C_2$  e fazendo com que o motor permaneça parado.

O uso desse sistema de frenagem é limitado pela potência do motor, visto que, no alto da frenagem, é solicitada uma corrente muito alta da rede.

### **Frenagem de motores trifásicos por corrente retificada**

A seguir é feita a apresentação e análise dos circuitos de força (Fig. 1.46) e comando (Fig. 1.47) para frenagem de motores trifásicos por corrente retificada.

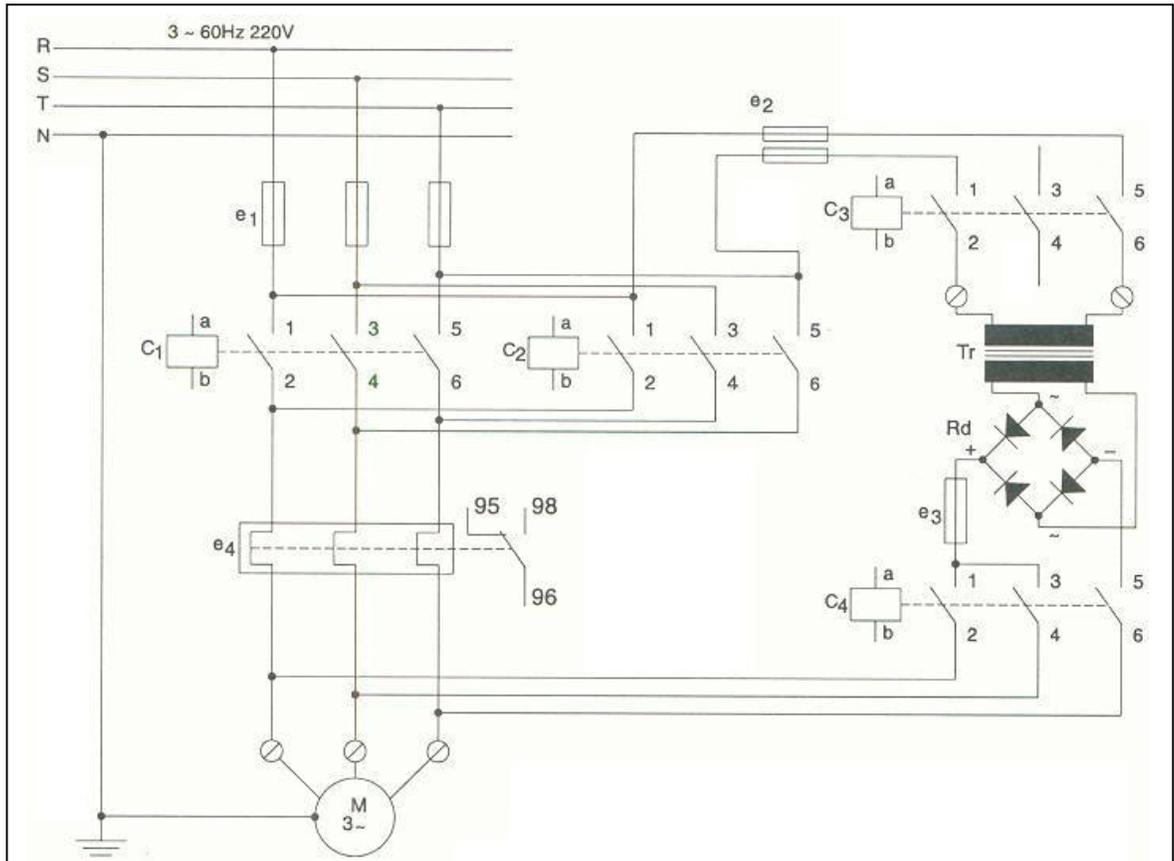


Fig. 1.46 - Frenagem de motores trifásicos por corrente retificada – diagrama de força

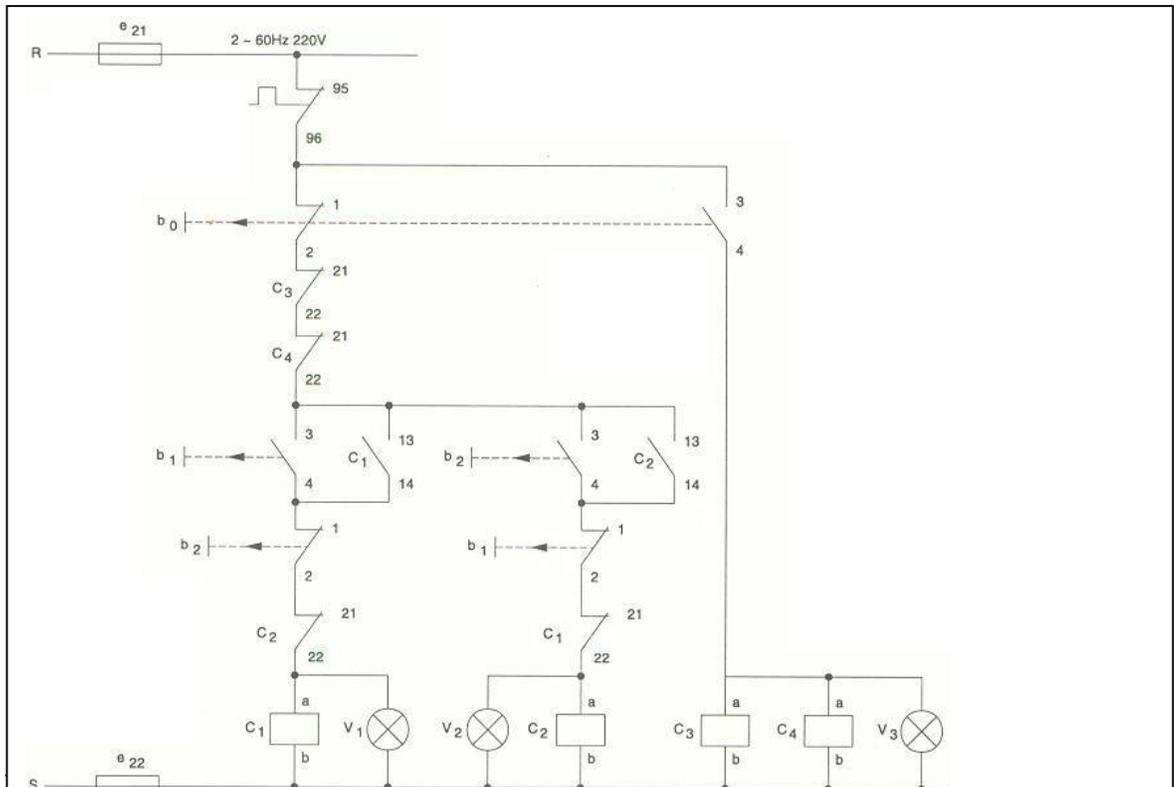


Fig. 1.47 - Frenagem de motores trifásicos por corrente retificada – diagrama de comando

## Análise funcional

Ao ser energizada a rede trifásica (R, S, T), teremos tensão nas linhas de comando (R e S), e através dos fusíveis de proteção ( $e_{21}$  e  $e_{22}$ ), será feita a alimentação do ponto superior do botão de comando desliga ( $b_0$ ), contato NF (1, 2) e NA (3, 4), através do contato NF (95, 95) do relé térmico de sobrecarga, e inferior (lado b) das bobinas  $C_1$   $C_2$   $C_3$   $C_4$ , e bornes dos sinaleiros  $V_1$ ,  $V_2$ , e  $V_3$ . Estando  $b_0$  no repouso, seu contato NF (1, 2) fechado e o NA (3, 4) aberto, mantendo energizado os pontos superiores do botão liga ( $b_1$ ), do botão liga ( $b_2$ ), dos comandos NA de  $C_1$  (13, 14) e de  $C_2$  (13, 14), através dos contatos NF de  $C_3$  (21, 22) e  $C_4$  (21, 22). Ao ser acionado o botão liga, seu contato NF (1, 2) abre, bloqueando  $C_2$  e o sinaleiro  $V_2$  e o NA fecha, energizando  $C_1$  e o sinaleiro  $V_1$ , através do contato NF de  $C_2$  (21,22). Ao ser energizado,  $C_1$  abre seu contato NF (21,22), cuja função é manter o bloqueio de  $C_2$  e  $V_2$  e fecha seu contato NA (13,14), fazendo seu selo.

No circuito de força, energizando  $C_1$ , o motor assume a condição de partida direta e permanece ligado com sentido de giro determinado, por exemplo, sentido horário.

Quando for necessário desligar o motor, deverá ser acionado o botão desliga. Ao ser acionado,  $b_0$  abre seu contato NF (1,2) desligando  $C_1$  e  $V_1$ , e fecha seu contato NA (3,4) energizando as bobinas  $C_3$   $C_4$  e o sinaleiro  $V_3$ . Sendo desenergizado,  $C_1$  volta à posição de repouso, mantendo aberto seu contato NA (13,14) e fechando seu contato NF (21,22).

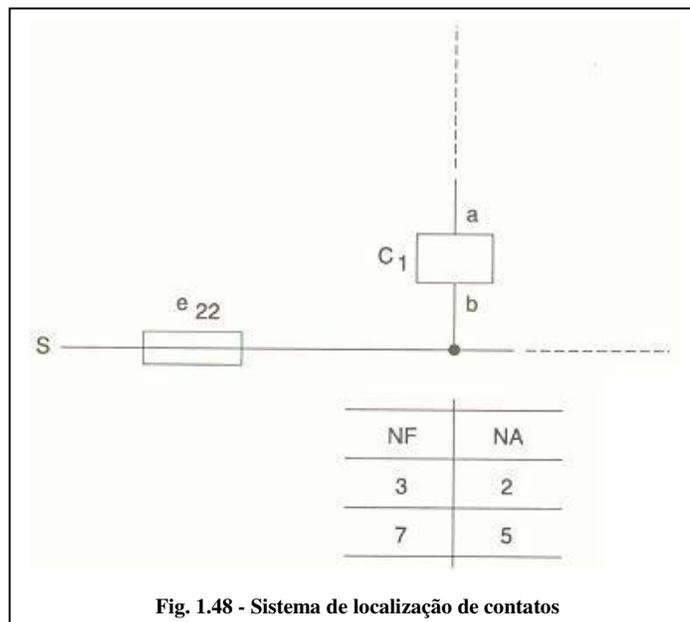
No circuito de força, sendo energizados  $C_3$  e  $C_4$ , alimenta-se o transformador (Tr), cuja função é fornecer tensão reduzida para a ponte retificadora (Rd), que converte essa tensão de entrada alternada em contínua, conectando-a aos terminais do motor através do fusível

$e_3$ , respectivamente. Assim, ao receber corrente contínua no estator, o rotor é desacelerado e o motor para imediatamente.

Acionando-se o botão liga ( $b_2$ ) C2 e energizado, invertendo o sentido de giro do motor. A frenagem ocorre da mesma forma descrita anteriormente, ou seja, aciona-se  $b_0$  desligado o motor e energizando o sistema de freio.

### Sistema de localização de contatos

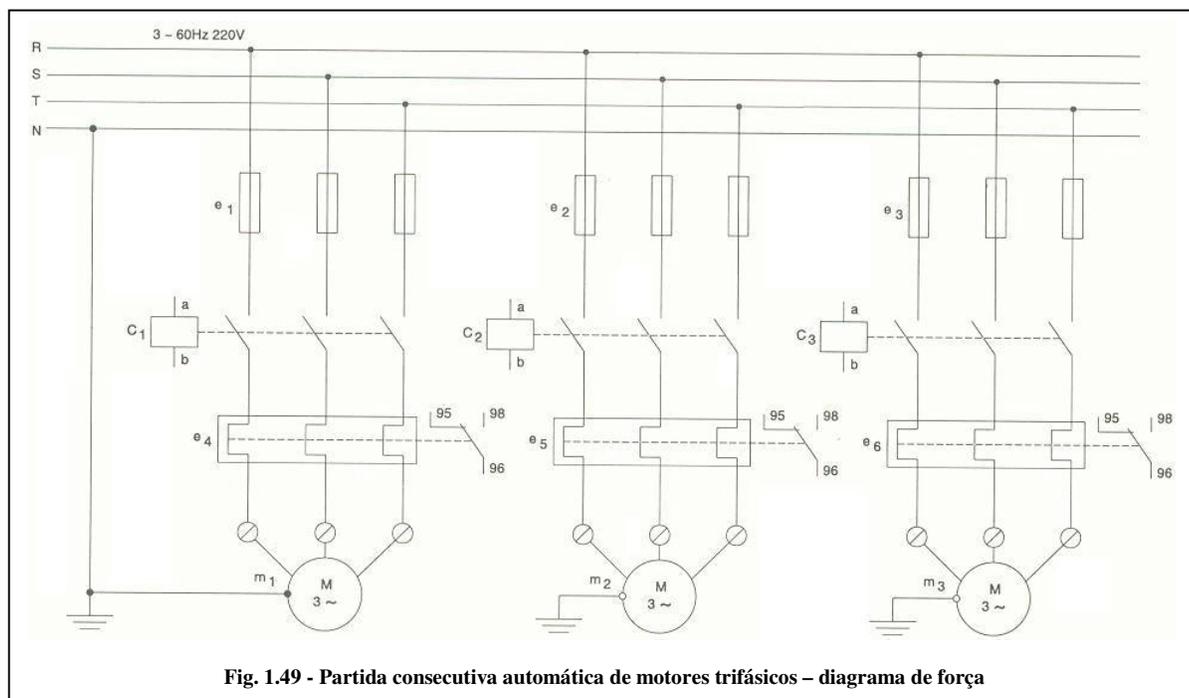
A fim de facilitar a localização dos contatos nos diagramas de comando elétrico, podem ser inseridas tabelas de localização abaixo das bobinas dos contadores, que indicam a linha ou coluna onde o contato NA ou NF se encontra. Poderemos entender isso mais facilmente com o exemplo da figura 1.48.

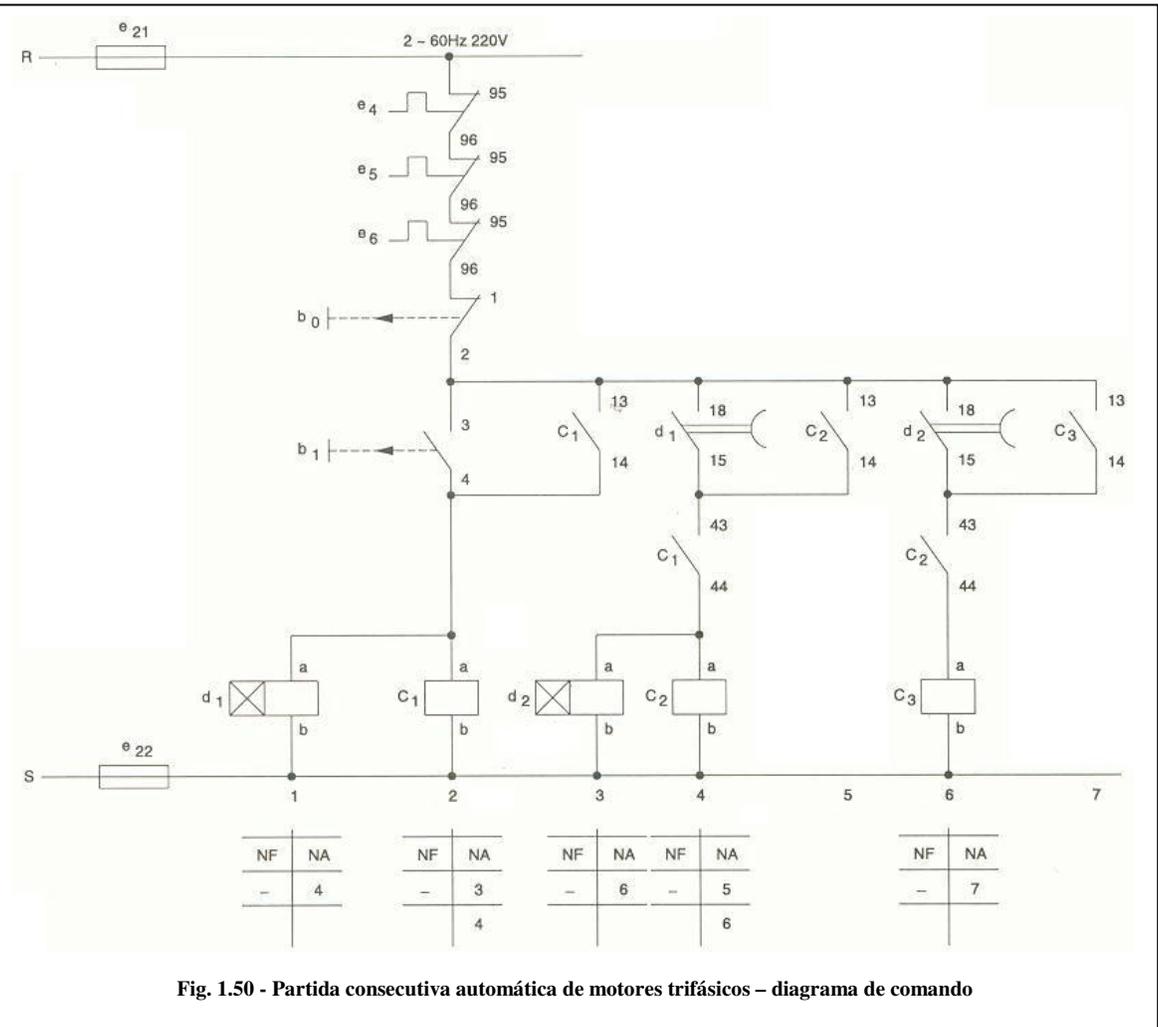


Podemos perceber pelo exemplo que, ao ser energizada a bobina  $C_1$ , serão desencadeadas ações de abertura e fechamento de contatos vistas na tabela abaixo nas linhas 3 e 7 e fecha seus contatos NA nas linhas 2 e 5.

### Partida consecutiva automática de motores trifásicos

A seguir é feita a apresentação e a análise dos circuitos de força (Fig. 1.49) e comando (Fig. 1.50) para partida consecutiva de motores trifásicos.





### Análise simplificada do funcionamento

Os fusíveis ( $e_{21}$  e  $e_{22}$ ) energizam as linhas de comando. O lado (b) das bobinas  $d_1$ ,  $C_1$ ,  $d_2$ ,  $C_2$  e  $C_3$  já se encontram energizados pelo fusível  $e_{22}$ . Acionando o botão liga ( $b_1$ ) energiza-se  $d_1$  e  $C_1$  através dos contatos NF de  $e_4$ ,  $e_5$ ,  $e_6$ , e  $b_0$ , ligados em série. O contator  $C_1$  fecha um contato na linha 3, fazendo seu selo, e outro na linha 4, dando condição de energizar  $C_2$  assim que o relé de tempo  $d_1$  fechar seu contato nessa mesma linha (4). Assim, temos acionado o sistema de partida direta do motor ( $m_1$ ).

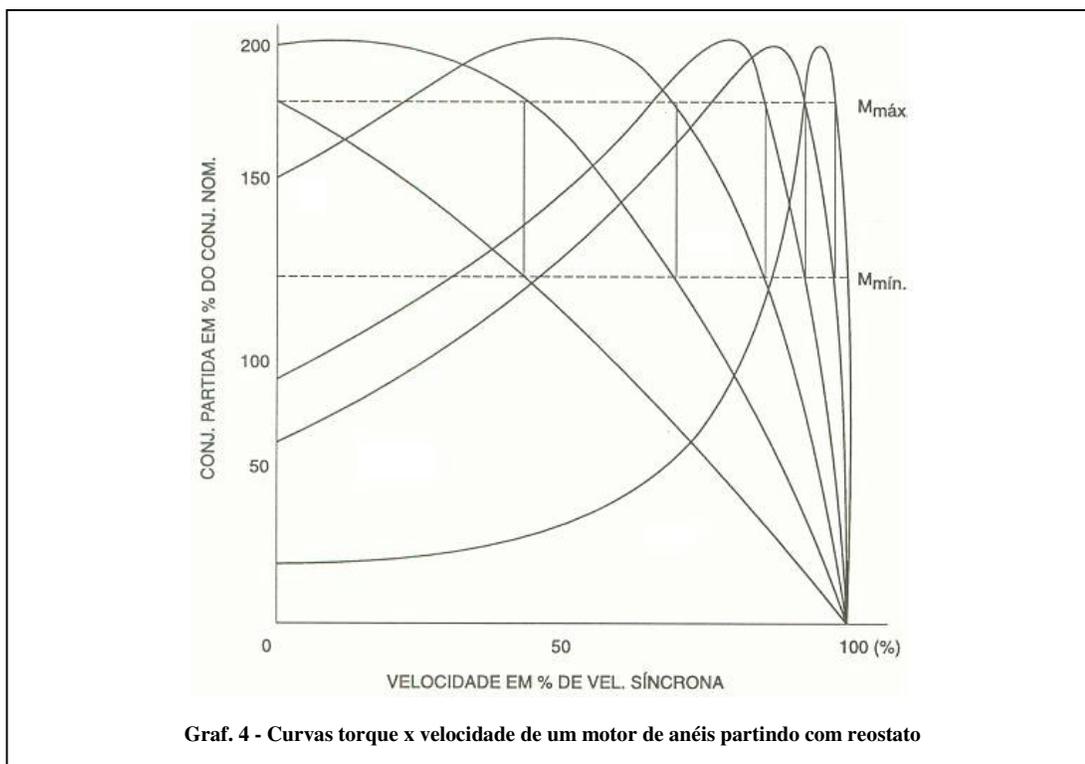
Decorrido o tempo pré-ajustado em  $d_1$ , seu contato na linha 4 se fecha, energizando as bobinas  $C_2$  e  $d_2$ . O relé de tempo  $d_2$  começa a contar o tempo pré-ajustado para fechar seu contato na linha 6, enquanto  $C_2$  fecha um contato na linha 5, fazendo seu selo, e outro na linha 6, dando condição de  $C_3$  ligar assim que  $d_2$  fechar seu contato. Com isso é acionado o motor ( $m_2$ ).

Decorrido o tempo pré-ajustado em  $d_2$  seu contato na linha 6 se fecha, energizando a bobina  $C_3$ . Uma vez energizada,  $C_3$  fecha um contato na linha 7, fazendo o seu selo. Dessa forma, o motor ( $m_3$ ) é acionado.

### **Sistema de partida com aceleração retórica automática**

Caso a partida direta seja inconveniente e o conjugado de aceleração em partida estrela triângulo insuficiente, a seleção do motor pode recair num motor de rotor bobinado. Para partida de um motor de rotor bobinado, um reostato externo ou grupo de resistores externo é conectado ao circuito rotórico através de um conjunto de escovas e anéis deslizantes. Tal resistência retórica adicional é mantida no circuito, durante a partida, para diminuir a corrente de partida e aumentar os conjugados. É possível, ainda regular o valor da resistência externa, de forma a obter o conjugado de partida igual ao próprio conjugado máximo.

Abaixo é ilustrada a curva característica torque x velocidade de um motor de anéis partindo com reostato.

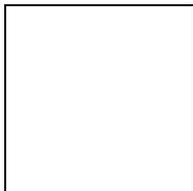


A  
resi  
stê  
nci  
a  
ext  
ern  
a é  
gra  
dua

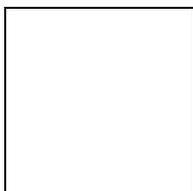
lmente reduzida, durante o período de aceleração, à medida que aumenta a velocidade do motor. Quando o motor atinge sua velocidade nominal, a resistência é totalmente retirada do circuito e o enrolamento rotórico é curto-circuitado, passando o motor a comportar-se como um motor de gaiola. A inserção da resistência adicional pode se dar de três formas:

- Manual através de reostato, podendo ser a resistência sólida ou líquida.
- Semi-automática, através de banco de resistores, curto-circuitados por contadores, comandados por botões.
- Automática, através de banco de resistores, curto-circuitados por contadores, comandados por relés de tempo.

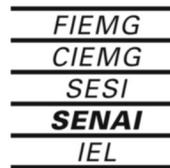
A seguir são mostrados os diagramas de força e comando para partida de motor trifásico de rotor bobinado, com comutação automática de banco de resistores.



**Fig. 1.51 - Partida de motor de rotor bobinado, comutação automática - resistores - força**



**Fig. 1.52 - Partida de motor de rotor bobinado, comutação automática - resistores - comando**



## Análise funcional

Estando energizada a rede trifásica (R, S e T), estaremos energizando o borne 95 do relé térmico de sobrecarga e os pontos inferiores (lado b) das bobinas  $C_1$ ,  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{13}$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ , através dos fusíveis  $e_{21}$  e  $e_{22}$ . O contato NF (95, 96) do relé térmico de sobrecarga, ligado em série com o contato NF (1, 2) do botão desliga ( $b_0$ ), proporciona a energização dos bornes superiores do botão liga ( $b_1$ ) e do contato NA de  $C_1$  (13). Acionando  $b_1$ , energizamos a bobina  $C_1$ , através dos contatos NF (21, 22) de  $C_1$ ,  $C_{12}$ , e  $C_{13}$ .  $C_1$  fecha seu contato NA (13,14), fazendo o selo de sua bobina e energizando os bornes superiores dos contatos NA de  $C_{13}$  (31),  $d_1$  (18),  $C_{11}$ (13),  $C_{12}$ (13),  $d_3$ (43),  $C_{11}$ (43),  $C_{12}$ (43) e NF de  $C_{11}$ (31) através do contato NF de  $C_{13}$ (31,32). Assim, a bobina do relé de tempo  $d_1$  é energizada através do contato NF de  $c_{11}$  (31,32). Passando a contar o tempo ajustado para fechar seu contato NA (15,18). Decorrido o tempo ajustado,  $d_1$  fecha o seu contato, fazendo energização da bobina  $C_{11}$  através do contato NF de  $C_{12}$ (31,32).  $C_{11}$  abre seus contatos NF (21,22 e 31,32), cujas funções são garantir que o motor parta com toda a resistência inserida e desenergizar a bobina de  $d_1$ , respectivamente, e fecha seus contatos NA (13,14) fazendo o selo de sua bobina e (43,44) energizando a bobina do relé de tempo  $d_2$  através do contato NF de  $d_3$  (31,32).

Nessas condições, no circuito de potência, temos que o motor é alimentado com as três fases da rede, começa a partir com toda a resistência inserida e, logo em seguida, é acelerado com a entrada de  $c_{11}$  que curto-circuita parte da resistência.

O relé de tempo  $d_2$  depois de decorrido o tempo ajustado, fecha seu contato NA (15,18), energizando a bobina  $c_{12}$  que absorve seus contatos NF (21,22 e 31,32), cujas respectivas

funções são garantir a partida do motor com toda resistência inserida e bloquear a alimentação do contato NA de  $d_3$  (13,14), evitando a energização da bobina  $C_{13}$ .  $C_{12}$  também fecha seus contatos NA (13,14 e 43,44) com as respectivas funções de fazer o selo de sua bobina e energizar a bobina de  $d_3$ .

No circuito de potência, com a entrada de  $C_{12}$ , sofre nova aceleração pelo fato de ser curto-circuitada mais uma parte da resistência.

Uma vez energizado,  $d_3$  abre seu contato NF (31,32), desenergizando a bobina de  $d_2$ , e fecha seus contatos NA (13, 14 e 23, 24), energizando novamente a bobina do relé de tempo  $d_1$  e dando condição de alimentar a bobina  $C_{13}$ , assim que  $d_1$  contar o tempo ajustado, respectivamente. Quando isso acontece,  $d_1$  fecha seu contato NA (15, 18), alimentando a bobina  $C_{13}$  através do contato NA de  $d_3$  (13, 14). Uma vez energizada,  $C_{13}$  abre seus contatos NF (21, 22 e 31, 32), cujas respectivas funções são garantir que o motor parta com toda a resistência inserida e desenergizar as bobinas  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $d_1$  e  $d_3$ . A bobina  $C_{13}$  também fecha seu contato NA (13, 14), fazendo o seu selo.

## 2. Exercícios de Fixação

1. Para que serve o intertravamento mecânico num contator?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

2. Quais são os números de entrada e de saída de um contator?

Entrada:

---

Saída

---

3. Preencha o quadro comparativo entre os diversos tipos de partidas de motores como se segue:

DISCRIMINAÇÃO	PARTIDA DIRETA	PARTIDA DIRETA COM REVERSÃO	PARTIDA ESTRELA TRIÂNGULO	PARTIDA COM CHAVE COMPENSADORA
Quantidade de Disjuntores Tripolares				
Quantidade de Disjuntores Bipolares				
Quantidade de Botões				
Quantidade de Contatos 1NA				
Quantidade de Contatos 1NF				
Quantidade de Contatos 1NA+1NF				
Quantidade de Contatos				
Quantidade de Contatos Auxiliares				
Quantidade de Relés de Sobrecarga				
Quantidade de Relés de Tempo				
Outros dispositivos				
Aplicação em motores de até (cv)				
Principais diferenças				









7. Defina o que é corrente de fase e corrente de Linha:

$I_F$

$I_L$

8. Nos motores monofásicos, qual é a função do enrolamento de partida?

9. Qual é a fórmula que usamos para calcular a tensão de linha no:

a) fechamento estrela.

b) fechamento triângulo.

10. Calcule a potência elétrica de um motor trifásico que consome 3,8A por linha quando ligado em uma rede de 380V é:

a) fechado em triângulo.

b) fechado em estrela.

11. Calcule a potência elétrica de um motor trifásico que consome 2,2A por fase quando estiver ligado em uma rede de 380V é:

a) fechado em estrela.

b) fechado em triângulo.

12. Represente usando os símbolos de enrolamentos (bobinas), o fechamento estrela e o fechamento em triângulo.

13. Desenhe os fechamentos de 110V e 220V dos motores monofásicos e coloque também a numeração dos fechamentos.



14. Desenhe a chave de partida direta, usando uma lâmpada para indicar quando o motor esta ligado.

15. No circuito da questão anterior quando apertamos a botoeira NA, o motor começa a girar. Sabemos que a botoeira esta circuito de comando, com isso qual a explicação para o fato de um elemento de comando acionar o motor que esta no circuito de carga.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

16. Explique como fazemos a inversão de rotação de motor.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

17. Qual o problema da chave de partida direta com relação ao início da partida do motor.

---



---



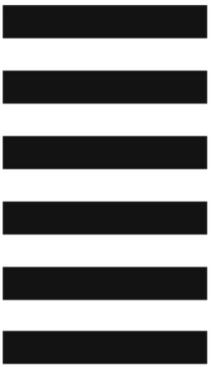
---



---



---



16. Preencha o quadro abaixo (exercício de transformadores):

EX	N1	N2	ALFA	V1	V2	I1	I2	P1	P2
1	150	50	3,0	-	-	-	-	-	-
2	-	-	2,0		110	3	6		660
3	500		0,5	13800		100			1380000
4		200	0,5	110		10			
5	200	100		220		5			
6	500	1000			220		8		
7	367	100	3,67	110	30	2	7,33		220
8	N1	10.N1		220			0,5		1100

### 3. Exercícios de Raciocínio

- Desenhe um circuito elétrico onde uma botoeira b1(NA) acione duas lâmpadas (L1, L2) ligadas em paralelo, e outra botoeira b2(NA) acione outra lâmpada (L3), considere a rede de alimentação e todas as lâmpadas de 220V.
- Em uma rede de 220V, desenhe um circuito usando três botoeiras onde a botoeira b1(NA) acione a lâmpada (L1) e a botoeira b2(NA) acione a lâmpada (L2) e a botoeira b3(NA) acione a lâmpada (L3). Desenhe o circuito de forma que a lâmpada (L1) nunca acenda junto com a lâmpada (L2), mesmo que todas as botoeiras sejam acionadas ao mesmo tempo.
- Elabore um circuito elétrico onde uma botoeira b1 quando acionada faça acender uma lâmpada (L1) e ao mesmo tempo faça apagar uma lâmpada (L2). L2 deve estar normalmente acesa. Quando acionarmos a botoeira (b2), uma lâmpada (L3) deverá acender e ao mesmo tempo a lâmpada (L2) deverá se apagar.
- Elabore um circuito onde uma lâmpada (L1) seja acionada por uma botoeira b1(NA) ou por uma botoeira b2, e duas lâmpadas L2 e L3 ligadas em paralelo sejam acionadas por uma botoeira b3(NA). Quando L1 estiver acesa L2 e L3 não poderão acender-se.
- Desenhe um circuito com três lâmpadas de forma que duas sejam acionadas juntas por uma chave e a outra seja acionada por outra chave.
- Desenhe um circuito com quatro lâmpadas de forma que duas sejam acionadas juntas por uma chave e as outras duas sejam ligadas em série e acionadas por outra chave.
- Elabore circuitos elétricos usando lâmpadas e botoeiras de forma que obedeça a seguinte ordem de operação:

A)

b1	b2	L1
N	N	D
N	A	D
A	N	D
A	A	L

B)

b1	b2	L1
N	N	D
N	A	L
A	N	L
A	A	L

C)

b1	b2	L1
N	N	L
N	A	D
A	N	D
A	A	D

D)

b1	b2	L1
N	N	L
N	A	L
A	N	L
A	A	D

E)

b1	b2	L1
N	N	D
N	A	L
A	N	L
A	A	D

F)

b1	b2	L1
N	N	L
N	A	D
A	N	D
A	A	L

botoeira 1  
b2 - botoeira 2

A - acionada  
N - normal

D - desligada

L1 - lâmpada 1 L - ligada

8. Elaborar um circuito elétrico onde uma botoeira (b1) quando acionada irá ligar uma lâmpada (L1) e uma botoeira (b2) ao ser acionada ligará uma lâmpada (L2), e ao mesmo tempo desligará outra lâmpada (L3). Construa o circuito de tal forma que quando se acionar as duas botoeiras juntas todas as lâmpadas se apaguem.
9. Desenhe um circuito que uma lâmpada (L1) seja ligada quando tivermos somente b1 acionada ou somente b2 acionada. E outra lâmpada (L2) esteja normalmente acesa e só se desligue quando for pressionado b1 e b2 ao mesmo tempo.
10. Elabore um circuito elétrico onde uma lâmpada (L1) seja ligada por uma chave fim de curso (FC1) ou por uma botoeira (b1). E outra lâmpada (L2) seja ligada quando tivermos acionadas a chave fim de curso (FC1) e a botoeira (b1) acionadas ao mesmo tempo.
11. Elabore um circuito elétrico onde uma lâmpada (L1) seja ligada quando tivermos a botoeira (b1) e a chave-fim-de-curso (CF1) acionadas ao mesmo tempo ou não acionadas ao mesmo tempo. Outra lâmpada (L2) deverá acender quando a botoeira (b1) for acionada junto com outra botoeira (b2).
12. Elabore um circuito elétrico onde uma lâmpada (L1) seja acionada por uma bóia ou por uma botoeira (b1). Quando uma botoeira (b2) for acionada a lâmpada (L1) não poderá se acender mesmo que se acione a bóia ou a botoeira (b1).
13. Desenhe um circuito onde uma lâmpada acenda quando tivermos com um ambiente cheio de luz e apague quando tivermos um ambiente sem luz.
14. Elabore um circuito onde uma lâmpada (L1), seja acionada por uma fotocélula em uma rede de 220V ou por uma botoeira (b1). Coloque outra botoeira (b2) de forma que quando b2 for acionada a lâmpada não poderá acender mesmo que se acione b1 ou pela fotocélula.
15. Elabore um circuito elétrico onde uma lâmpada seja acionada por um sensor de proximidade de forma que quando aproximarmos um elemento metálico deste sensor, a lâmpada deverá acender e quando retirarmos o elemento metálico, apagará a lâmpada.
16. Elabore um circuito elétrico onde uma lâmpada (L1) normalmente acesa seja desligada por uma chave fim de curso ou por uma botoeira. Outra lâmpada (L2) normalmente acesa deverá ser desligada por um sensor ou pela chave fim de curso.
17. Desenhe um circuito onde os contatos principais de um contator sejam usados para acionar três lâmpadas (L1, L2, L3). Use uma botoeira b1 para ligar o circuito de forma que quando pressionada ligue o contator, e este permaneça ligado até que se pressione b0 que irá desligar o contator.
18. Projete um circuito usando 3 contadores de forma que se tenha uma botoeira para ligar (com retenção) e outra para desligar cada um deles sendo que:

contator 1 acionado, L1 acesa, L2 e L3 apagadas;

contator 2 acionado L2 acesa L1 e L3 apagadas;  
contator 3 acionado L3 acesa L2 e L1 apagadas.

19. Desenhe um circuito usando dois contadores e duas botoeiras de forma que quando for ligada a alimentação, um contator (K1) esteja em trabalho e o outro (K2) esteja em repouso. Ao acionarmos a botoeira (b1) o contator K1 entre em repouso e o contator K2 entre em trabalho. Com K1 acionado acende L1; com K2 acionado acende L2.
20. Desenhe um comando de três lâmpadas que sejam acionadas por um contator. Este contator será acionado de duas formas: por uma botoeira b1 ou por uma chave fim de curso FC1; e será desligado de duas formas: por uma outra botoeira b0 ou por uma outra chave fim de curso FC0.
21. Projete um circuito onde um contator seja acionado por uma chave fim de curso FC1 e permaneça ligado até seja pressionada outra chave fim de curso FC:
 

contator em repouso - L1 acesa e L2 apagada  
contator em trabalho - L1 apagada e L2 acesa
22. Desenhe um circuito usando 10 contadores de forma que quando acionarmos b1 ligue o contator K1 que fecha seu contato NA fazendo com ligue K2 que fecha seu contato NA fazendo com ligue K3 que fecha seu contato NA fazendo com ligue K4 e assim sucessivamente até que se chegue em K10. Use uma botoeira b0 para desligar todos os contadores.
23. Projete um circuito elétrico onde um contator seja ligado somente quando tivermos sem luz no ambiente e seja desligado quando tivermos com luz no ambiente. Use os contatos abertos do contator para acionar duas lâmpadas.
24. Projete um circuito elétrico onde um contator seja ligado somente quando tivermos com luz no ambiente e seja desligado quando tivermos sem luz no ambiente. Use os contatos abertos do contator para acionar duas lâmpadas.
25. Projete um circuito elétrico onde ao pressionarmos uma botoeira (b1) um contator (K1) será acionado com selo e ao mesmo tempo um contator (K2) seja acionado e uma lâmpada (L2) seja ligada, com K2 acionado ao se acionar uma botoeira b2 fará com que um contator (K3) seja acionado com selo e uma lâmpada (L1) seja ligada, ao ser K3 acionado ele fará com que K2 seja desligado.
26. Desenhe um circuito que ao se acionar a botoeira b1 acione o contator K1, ao se acionar a botoeira b2 acione o contator K2, estando K1 acionada K2 não poderá acionar, e estando K2 acionado K1 não poderá acionar. Use outra botoeira b0 para desligar os dois contadores. K1 fará acender uma lâmpada L1 e K2 fará acender uma lâmpada L2. Com nenhum contator acionado a lâmpada L3 deverá acender.
27. Desenhe um circuito usando dois contadores de forma que quando acionarmos b1 ligue o contator K1 e ao acionarmos b2 ligue o contator K2 e desligue K1 estando K2 acionado ao acionarmos b1 ligue K1 e desligue K2. Use uma botoeira b0 para desligar os dois contadores. K1 faz acender L1 e K2 faz acender L2.

28. Desenhe um circuito usando três contatores e três botoeiras de forma que ao acionarmos b1 acione um contator (K1) e outro (K3), ao acionarmos a botoeira (b2) acione o contator K1 e o contator K2. Com K1 acionado acende L1; com K2 acionado acende L2; com K3 acionado acende L3. Use uma botoeira b0 para desligar os três contatores. OBS: nunca K2 e K3 poderão ficar acionados ao mesmo tempo.
29. Desenhe um comando com quatro contatores e cinco botoeiras de forma que b1 acione K1 e K3; b2 acione K1 e K4; B3 acione K2 e K3; b4 acione K2 e K4. Use uma botoeira b0 para desligar os quatro contatores. Com K1 acionado acende L1; com K2 acionado acende L2; com K3 acionado acende L3; com K4 acionado acende L4. OBS: nunca K2 e K1 poderão ficar acionados ao mesmo tempo; Nunca K3 e K4 poderão ficar acionados ao mesmo tempo.
30. Projete um circuito para um portão elétrico automático de forma que ao acionarmos uma botoeira b1 liga-se um motor M1 que irá abrir o portão, ao final do curso deste portão uma chave fim-de-curso FC1 desligará o motor M1. Ao acionarmos uma botoeira b2 liga-se um motor M2 que irá fechar o portão, ao final do curso deste portão uma chave fim-de-curso FC2 desligará o motor M2. Use uma botoeira b0 para desligar os motores a qualquer instante.
31. Projete um circuito usando 3 contatores de forma que se tenha uma botoeira b1 para ligar K1 e uma botoeira b2 para ligar K2. ao se acionar K1 e K2, eles farão com que ligue um contator K3 que por sua vez irá desligar K1 e K2 ficando somente K3 acionado. Use uma botoeira b0 para desligar os contatores utilizados.  
contator 1 acionado L1 acesa L2;  
contator 2 acionado L2 acesa L1;  
contator 3 acionado L3 acesa L2.
32. Desenhe um circuito elétrico onde um contator seja acionado por um sensor (com selo), este contator deverá ligar uma lâmpada L1 durante 15 segundos.
33. Projete um pisca-pisca para lâmpadas de natal onde num intervalo de 2 segundos duas lâmpadas estarão ligadas alternadamente.
34. Desenhe um circuito onde um contator (K1) será acionado por uma botoeira b1, e após 10 segundos seja acionado outro contator (K2), que deverá permanecer acionado por 15 segundos, após esse período se desligará todos os contatores. K1 deverá acionar L1 e K2 deverá acionar L2.
35. Desenhe um circuito com duas botoeiras onde:
- b1 aciona K1 que liga L1 por 5 segundos  
b2 aciona K2 que liga L2 por 5 segundos
- Nunca K1 poderá ser acionado junto com K2, mesmo que se pressione as duas botoeiras ao mesmo tempo.
36. Projete um circuito que faça com que 4 lâmpadas sejam acionadas em seqüência com um intervalo de 3 segundos, ao final da última lâmpada todas deverão apagar e o

processo recomeçar automaticamente, para se iniciar o seqüencial use uma botoeira b1 e para encerrar use uma botoeira b0.

37. Usando um único relé de tempo projete um circuito onde 5 cinco contadores sejam acionados de 5 em 5 segundos, use uma botoeira para acionar o processo e uma para interromper o processo a qualquer instante. Ao final do processo todos os contadores deverão estar acionados.
38. Projete um semáforo que registre vinte segundos na luz verde dois segundos na luz amarela e quinze segundos na luz vermelha para uma rua que esta sendo cruzada por uma avenida.
39. Desenhe um circuito constituído por quatro chaves fim de curso, seis contadores e por seis motores elétricos trifásicos. Cada motor será acionado por um contator que por sua vez será acionado por uma botoeira (b1 a b6), ou por uma combinação de chaves fim de curso, da seguinte forma:
- da chave de partida reversora com bloqueio e outro circuito com intertravamento.
40. Desenhe um circuito para comandar o circuito de carga da chave de partida de motor de duas velocidades. Não se esqueça de colocar sistema de proteção para evitar curto circuito e de comutação de velocidades.
41. Desenhe um circuito para comandar o circuito de carga da chave de partida de motor de três velocidades. Não se esqueça de colocar sistema de proteção para evitar curto circuito e de comutação de velocidades.
42. Desenhe um circuito para comandar o circuito de carga da chave de partida série-paralela estrela Não se esqueça de colocar sistema de proteção para evitar curto circuito e de comutação de serie para paralelo.
43. Desenhe um circuito para comandar o circuito de carga da chave de partida série-paralela triângulo Não se esqueça de colocar sistema de proteção para evitar curto circuito e de comutação de serie para paralelo.
44. Desenhe um circuito para comandar o circuito de carga da chave de partida série-paralela estrela-triângulo Não se esqueça de colocar sistema de proteção para evitar curto circuito e de comutação de serie para paralelo e de estrela para triângulo.
45. Deseja-se montar uma chave reversora para um motor que consome uma corrente nominal de 4A, e consome uma corrente de partida de 14A. Sabendo que o relé térmico e os contadores devem ser regulados para 25% a mais que a corrente do motor, e que os fusíveis devem ser 10% acima da corrente do motor. Calcule qual deve ser a corrente dos fusíveis, do relé, e dos contadores.
46. No circuito da questão anterior se usarmos uma chave estrela-triângulo para a partida a corrente de partida irá cair para 9A. De posse desse dado calcule de novo a corrente para os fusíveis, o relé, e os contadores.Obs: observe o diagrama das duas chaves de partida.

47. Trocando-se o motor da questão 4 por outro que possua uma corrente nominal de 12A, e consome uma corrente de partida de 40A, calcule os valores da corrente para os fusíveis, o relé, e os contadores das questões 4 e 5.



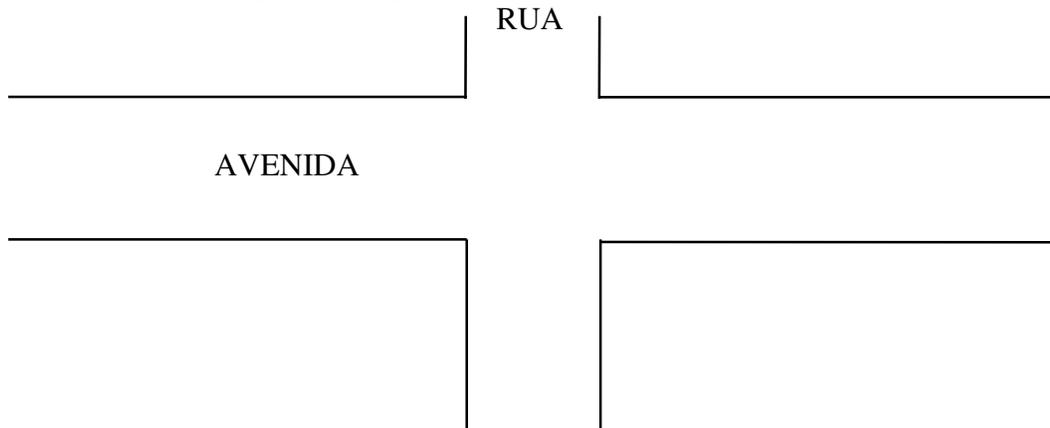
## Exercícios de Desafio

- Desenhe um circuito onde uma botoeira b1 (NA somente) ao ser acionada a primeira vez, ligue um contator K1 e ao ser acionada a segunda vez desligue o mesmo K1.

Obs.:

- Não se pode usar outros contatos da botoeira e nem o temporizador.
- Todos esses comandos serão novamente desenhados, porém usando PLC.

- Observe o esquema a seguir:



- Projete um semáforo para este cruzamento de forma que se tenha:

Para a avenida: 20 segundos na luz verde, 22 na luz vermelha, 2 na luz amarela.

Para a rua: 20 segundos na luz verde, 22 na luz vermelha, 2 na luz amarela.

- Faça os diagramas de força e comando para partida direta com reversão de um motor trifásico, acionado por quatro botões liga conjugados e, dois desliga, com reversão instantânea ao alcançar o final do ciclo.

Sugestão: utilize limites fim de curso.

- Faça os diagramas de força e comando para partida estrela-triângulo de motor trifásico, com comutação através de botão de comando, em rede de 220V, 60Hz.
- Faça os diagramas de força e comando para partida estrela-triângulo, comutação automática, com reversão, de motor trifásico, 220V, 60Hz.
- Faça os diagramas de força comando para partida compensada automática, com reversão, de motor trifásico, 220V, 60Hz.

8. Faça os diagramas de força e comando para partida de motor trifásico de rotor bobinado, com aceleração rotórica semi-automática, através de botões de comando.
9. Faça os diagramas de força e comando para partida de motor trifásico de rotor bobinado, com aceleração rotórica automática e reversão.
10. Faça os diagramas de força e comando para comutação polar de motor trifásico, enrolamento separado, 4/6 pólos, através de botão de comando. O start é feito através de botão de comando. O motor parte em baixa velocidade realiza trabalho e, ao atingir o final do curso, é forçado a retornar com velocidade maior a ponto de repouso, quando então o ciclo se repete.
11. Faça os diagramas de força e comando para comutação polar automática de motor trifásico, enrolamento com ligações dahlander, 2/4 pólos, com partida através de botão de comando. O motor parte em baixa velocidade, realizar trabalho e, depois de decorridos 20 segundos, é forçado a retornarem alta velocidade ao ponto de repouso, quando então é desligado automaticamente.
12. Faça os diagramas de força e comando para partida direta consecutiva de quatro motores trifásicos, de forma que atenda à seqüência abaixo.

Inicialmente é dada partida em  $m_1$  através de botão de comando. Dez segundos depois,  $m_2$  é acionado automaticamente. Depois de decorridos 15 segundos da partida de  $m_2$ , entra automaticamente em funcionamento  $m_3$ . Passados 20 segundos da partida de  $m_3$ , entra automaticamente em funcionamento  $m_4$ . Ao ser ligado o sistema, através de botão de comando, ocorre uma reação em cadeia de forma também consecutiva, porém inversa, ou seja, desliga-se inicialmente  $m_4$ , e a partir daí, de dez em dez segundos, são desligados automaticamente  $m_3$ ,  $m_2$ , e  $m_1$ , respectivamente.

Sugestão: utilizar relés temporizados pneumáticos.



## Referências Bibliográficas

Recursos didáticos profissionais Siemens.

Manual de motores elétricos Weg.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Artigos técnicos e normas publicadas.