

# CHAVES DE PARTIDA DE MOTORES

# INTRODUÇÃO

Um dos instantes mais críticos é a partida de motores elétricos, pois nesse momento, os motores solicitam uma corrente muito maior do que em serviço contínuo, devido à mudança de um estado de inércia do motor. A isso chamamos de pico de corrente. No instante da partida, essa corrente costuma variar na faixa de **seis** a **oito** vezes a corrente nominal do motor.

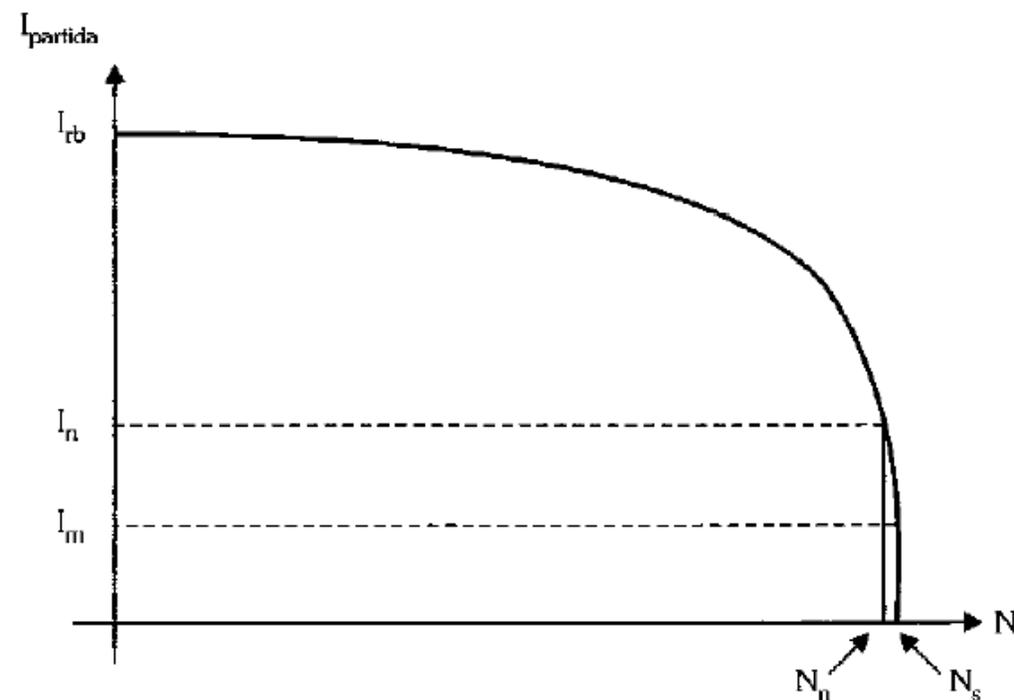
# INTRODUÇÃO

A amplitude e o tempo do pico da corrente inicial dependem das condições de partida. Se for uma partida sob carga, o pico será o maior do que se for em vazio. Pode-se chegar até dez vezes do valor normal. Essa alta corrente pode até disparar dispositivos de proteção dos circuitos e comandos. Além disso, sobrecarrega a rede alimentadora de uma forma prejudicial.

# INTRODUÇÃO

Na figura vemos a curva que relaciona a corrente de partida com a velocidade angular.

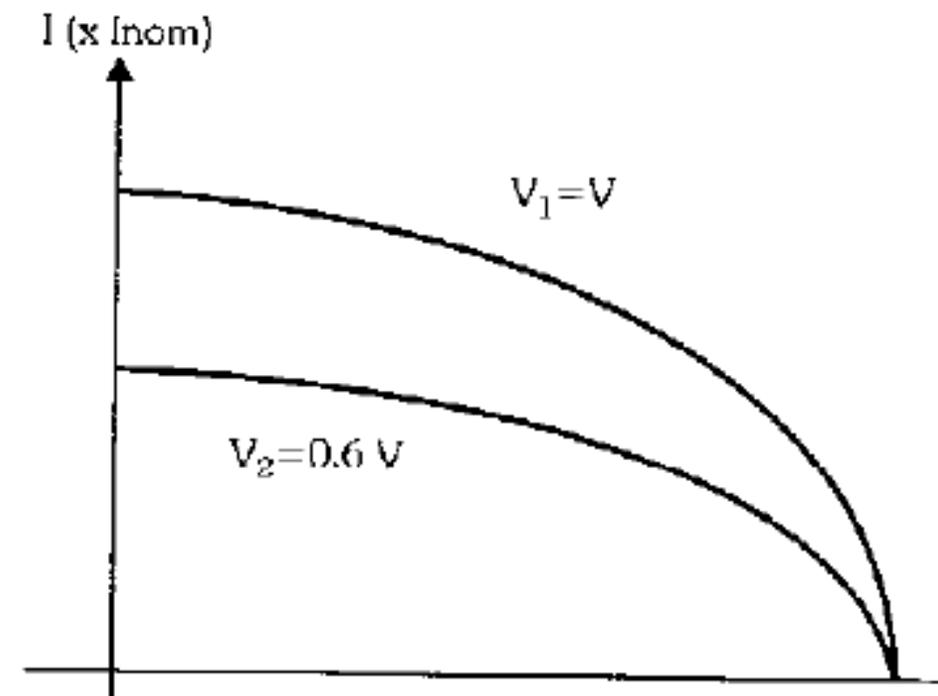
Na partida, quando a velocidade do motor é praticamente nula, temos a corrente máxima que se mantém nessa patamar até um valor próximo da velocidade de trabalho do motor.



# INTRODUÇÃO

Vemos que a corrente consumida por um motor é função da tensão aplicada nele.

A função das chaves de partida é a redução da tensão durante a partida do motor e depois a aplicação de tensão nominal, quando o motor já estiver na velocidade de trabalho.



# PARTIDA DIRETA

A partida direta é a forma mais simples de partir um motor elétrico, na qual as três fases são ligadas diretamente ao motor, ocorrendo um pico de corrente.

A partida de um motor trifásico direta deve ser executada sempre que possível.

Por imposição das concessionárias de energia, só podem ser partidos motores abaixo de 5 cv em partidas diretas e abaixo de 10 cv em instalações industriais.

# PARTIDA DIRETA

A partida direta deve ser utilizada nos seguintes casos:

- Baixa potência do motor;
- A máquina movimentada não necessita de uma aceleração progressiva e está equipada com um dispositivo mecânico (reductor) que evita uma partida muito rápida;
- O conjugado de partida é elevado.

# PARTIDA DIRETA

Vantagens da partida direta:

- Equipamentos simples e de fácil construção e projeto;
- Conjugado de partida elevado;
- Partida rápida;
- Baixo custo.

# PARTIDA DIRETA

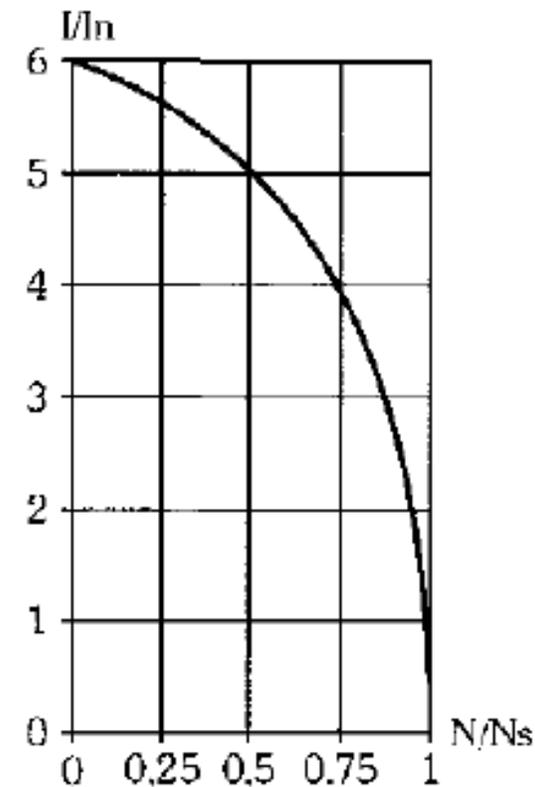
Desvantagens da partida direta:

- Acentuada queda de tensão no sistema de alimentação da rede, que ocasiona interferências em equipamentos instalados no sistema;
- Os sistemas de acionamentos (dispositivos, cabos) devem ser superdimensionados, elevando os custos do sistema;
- Imposição das concessionárias que limitam a queda de tensão na rede.

# PARTIDA DIRETA

Observações:

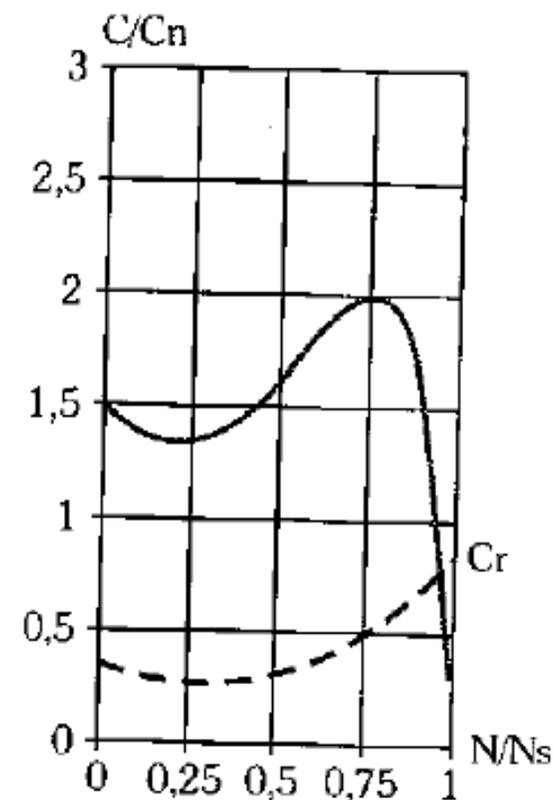
1 – Na partida direta, a corrente de partida é diretamente proporcional à tensão de alimentação e diminui à medida que a velocidade aumenta, como mostra a figura.



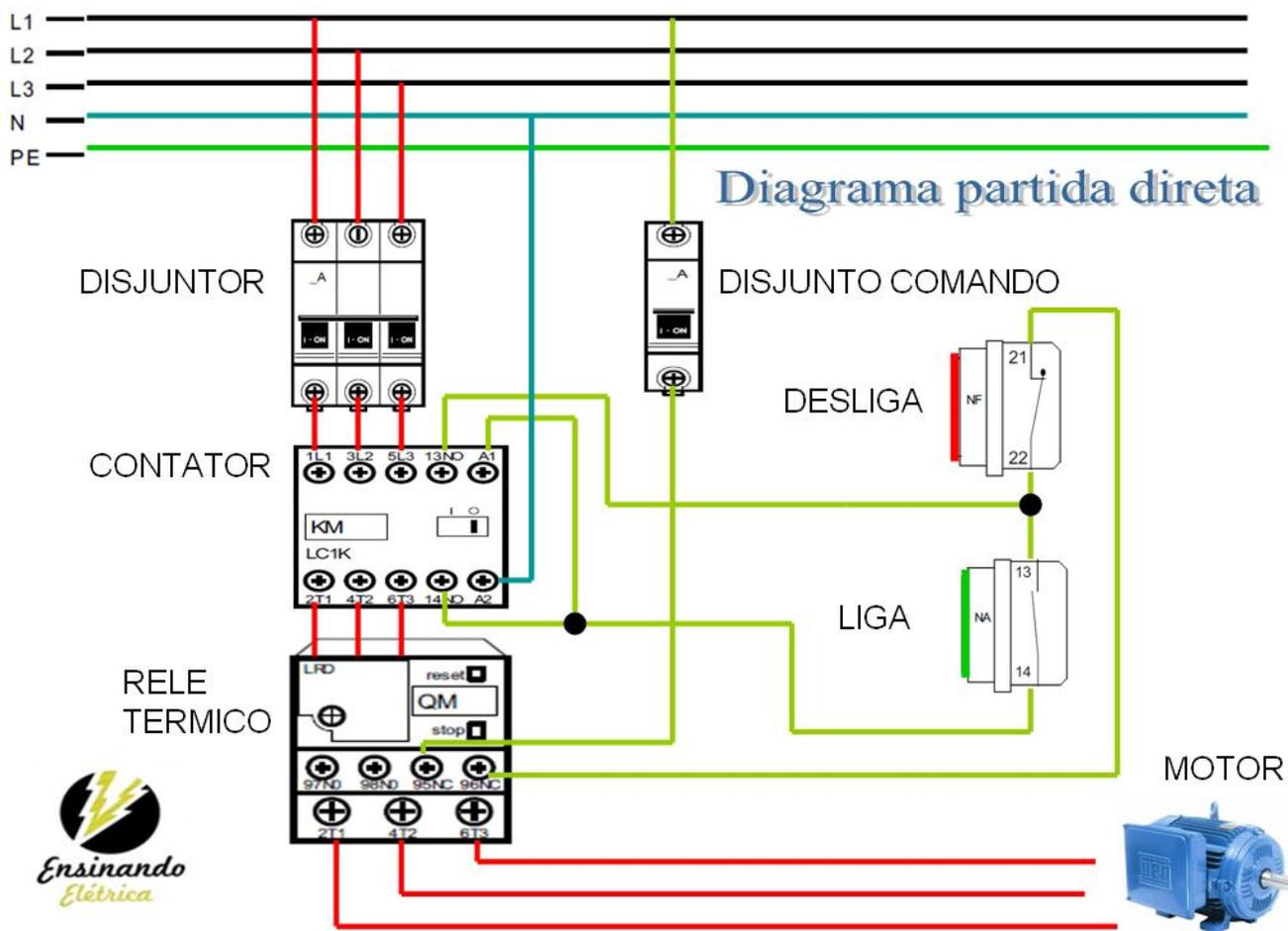
# PARTIDA DIRETA

Observações:

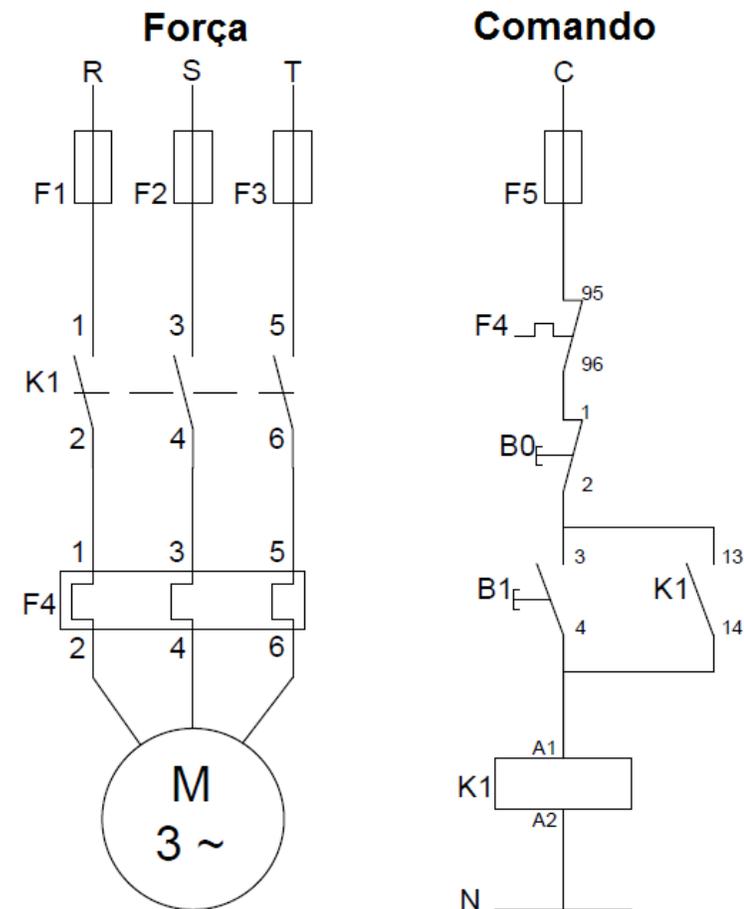
2 – O conjugado de partida varia proporcionalmente ao quadrado da tensão de alimentação, como mostra a figura.



# PARTIDA DIRETA - ESQUEMA DE PARTIDA



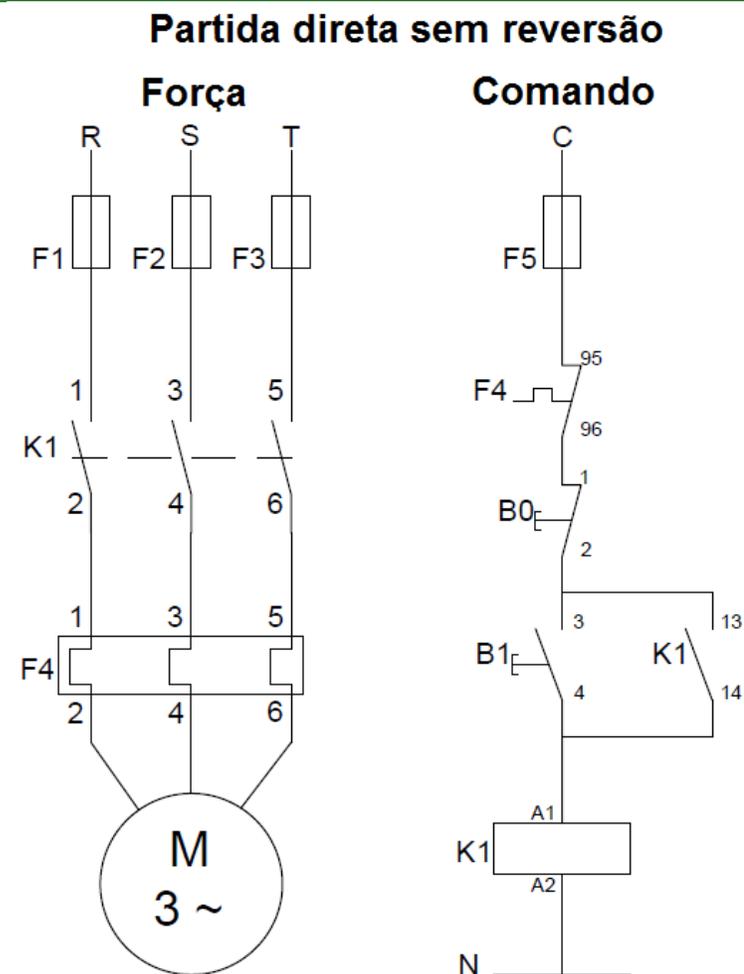
## Partida direta sem reversão



# PARTIDA DIRETA - FUNCIONAMENTO

## Funcionamento

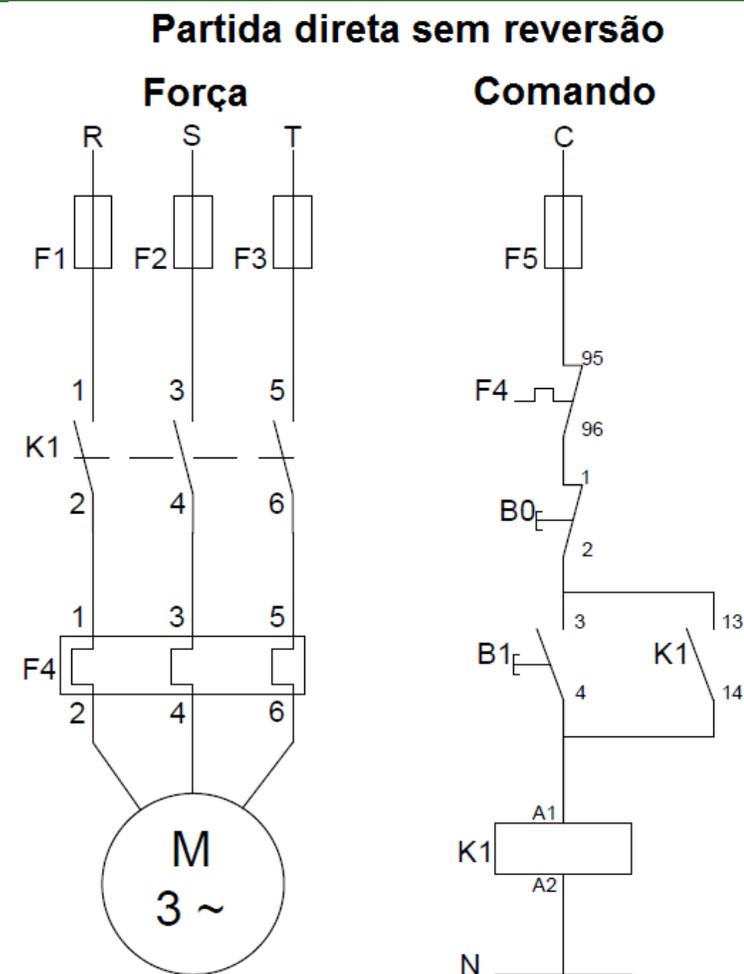
No diagrama de força, as três fases L1, L2 e L3 são protegidas por um dispositivo de proteção contra curto-circuito (fusível ou disjuntor), na maioria dos casos um fusível por fase (F1, F2, F3), sendo ligadas então ao contator K1, que está diretamente acoplado ao relé térmico F4 ( na maioria dos esquemas é representado por FT), que interliga os cabos até o motor.



# PARTIDA DIRETA - FUNCIONAMENTO

## Funcionamento

Para o diagrama de comando há uma alimentação (L – N) e a energia vem através dessa fase que está protegida por um fusível ou disjuntor e, logo abaixo, está representado um contato do relé térmico (95/96) que interrompe o circuito no caso de uma falha.



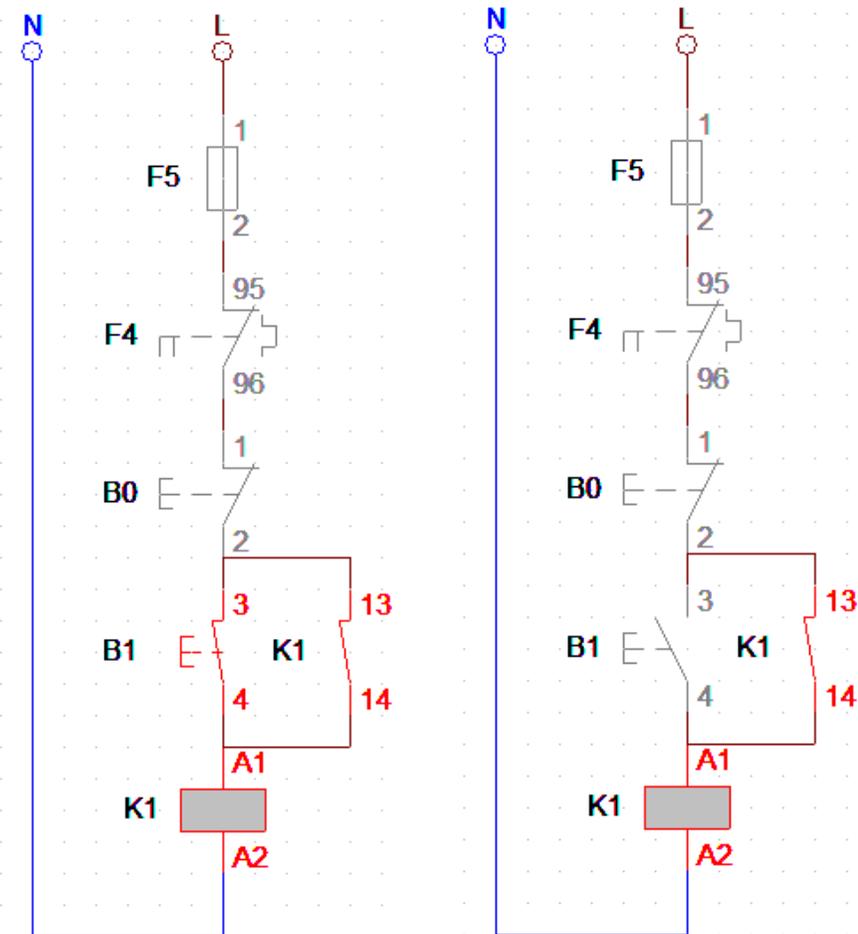
# PARTIDA DIRETA - FUNCIONAMENTO

## Funcionamento

A parte l3gica do circuito funciona da seguinte maneira:

Ao ser pressionado, o bot3o de impulso B1 (como mostra a figura ao lado) energiza a bobina do contator K1 que fecha os seus contatos 13/14, realizando o selo.

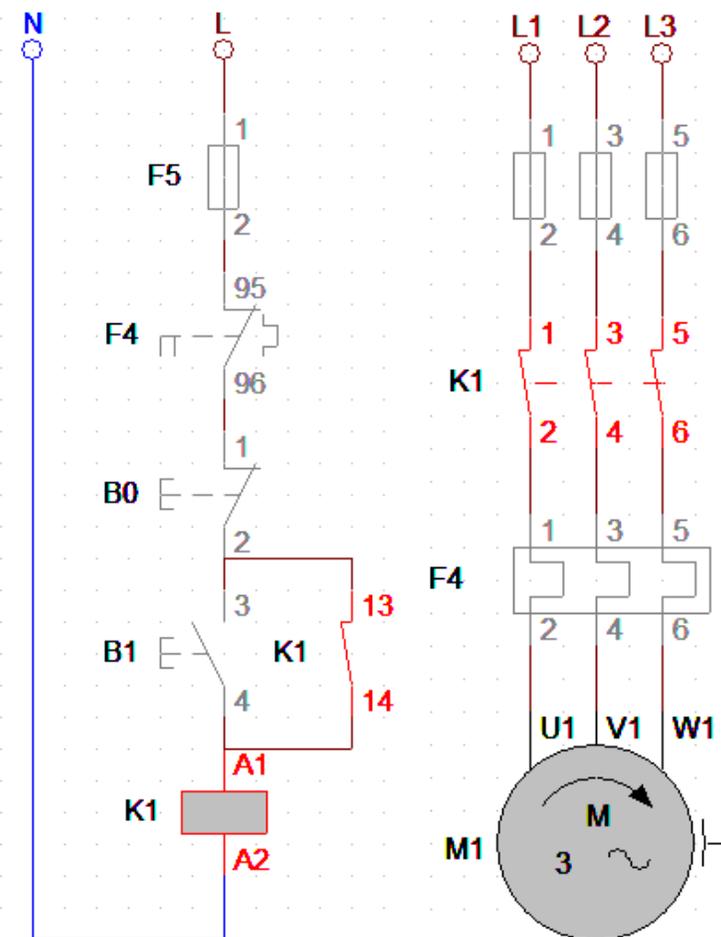
Ao soltar bot3o de impulso (botoeira) B1 o contator K1 permanece ligado devido o selo.



# PARTIDA DIRETA - FUNCIONAMENTO

## Funcionamento

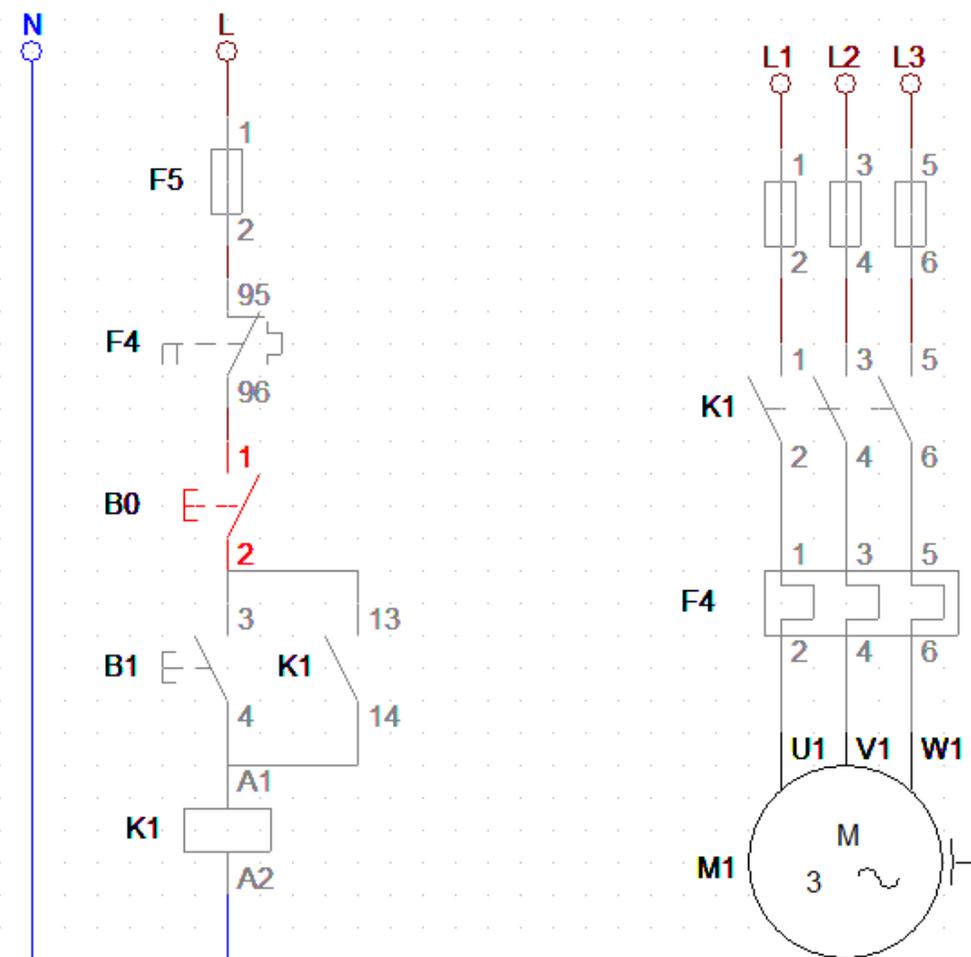
Nesse momento, o contator K1 fecha os seus contatos de força (1/2, 3/4 e 5/6) e o motor é alimentado com as três fases e inicia o seu funcionamento.



# PARTIDA DIRETA - FUNCIONAMENTO

## Funcionamento

Ao ser pressionado o botão de impulso B0, o circuito da bobina do contator K1 é desligado e desenergizado. Seus contatos (13/14) e (1/2, 3/4 e 5/6) são desenergizados e desligam o motor.



# PARTIDA DIRETA - DIMENSIONAMENTO

**Exemplo de dimensionamento:** Dimensionar uma chave de partida direta para um motor de 20 cv, seis polos, 380V/60 Hz, com comando em 220V, Tempo de partida de 2 segundos.

Dados do motor:

Corrente nominal ( $I_n$ ) = 32,35 A

Relação corrente de partida ( $I_p/I_n$ ) = 7,5

Assim, temos:

Corrente de partida ( $I_p$ ) = 244,07 A

# PARTIDA DIRETA - DIMENSIONAMENTO

**Exemplo de dimensionamento: (continuação)**

## **Dimensionamento do contator K1**

Para o dimensionamento do contator K1 devemos levar em conta a corrente nominal do circuito ( $I_n$ ) para fazer o dimensionamento em função da corrente nominal do contator ( $I_{k1}$ ). Desta forma, temos:

$$I_{k1} \geq I_n$$

$$I_{k1} \geq 32,54 A$$

Basta localizar no catálogo do fabricante o contator que tenha esta faixa de corrente.

# PARTIDA DIRETA - DIMENSIONAMENTO

Exemplo de dimensionamento: (continuação)

Dimensionamento do contator K1

## CONTATOR CWM40-10-30D24

Código WEG: 11783755

Os contatores tripolares WEG apresentam alta tecnologia, representando segurança e facilidade de instalação e manutenção. Possuem alternativa de contatos auxiliares fixos ou através de blocos aditivos.

### Resumo das características técnicas

Corrente nominal In - **40 A**  
AC-3 (Ue ≤ 440 V)

Tensão de comando **230V 50/60Hz**

Contato principal **3 NA**

Tipo de terminal **Parafuso**

Contatos auxiliares **1 NA**



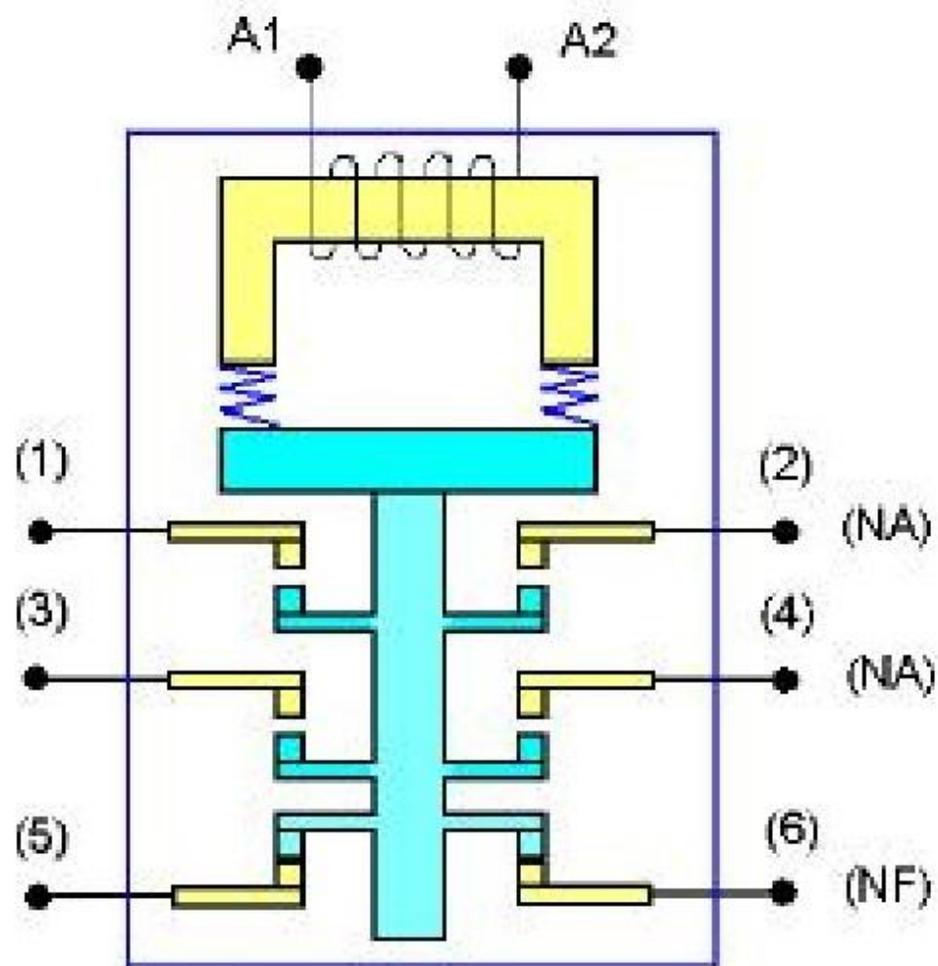
# PARTIDA DIRETA - CONTADORES

Os contadores são os elementos principais de comandos eletromecânicos, que permitem o controle de elevadas correntes por meio de um circuito de baixa corrente.

O contador é caracterizado como uma chave de operação não-manual, eletromagnética, com uma única posição de repouso, capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes em condições normais do circuito.

# PARTIDA DIRETA - CONTADORES

O contator é constituído de uma bobina que, quando é alimentada, cria um campo magnético no núcleo fixo que atrai o núcleo móvel que fecha o circuito. Cessando a alimentação da bobina, é interrompido o campo magnético, provocando o retorno do núcleo por molas.



# PARTIDA DIRETA - CONTADORES

## Partes dos contadores - Bobina

A bobina representa a entrada de controle do contator (terminais A1 e A2) que, ao ser ligada a uma fonte de tensão, circula na mesma corrente elétrica que cria um campo magnético que envolve o núcleo de ferro.

As bobinas dos contadores devem ser escolhidas de acordo com a tensão e o tipo de energia de alimentação (CC ou CA) dos circuitos de controle dos comandos elétricos.

As bobinas podem ter alimentação de 24V a 660V.

# PARTIDA DIRETA - CONTADORES

## Partes dos contadores – Contato

Contato é acionado pelo núcleo de ferro e está acoplado a uma mola que tende a leva-lo à posição de repouso, porém quando a bobina é energizada, a força do campo magnético é maior que a da mola, fazendo com que o núcleo fixo atraia o núcleo móvel.

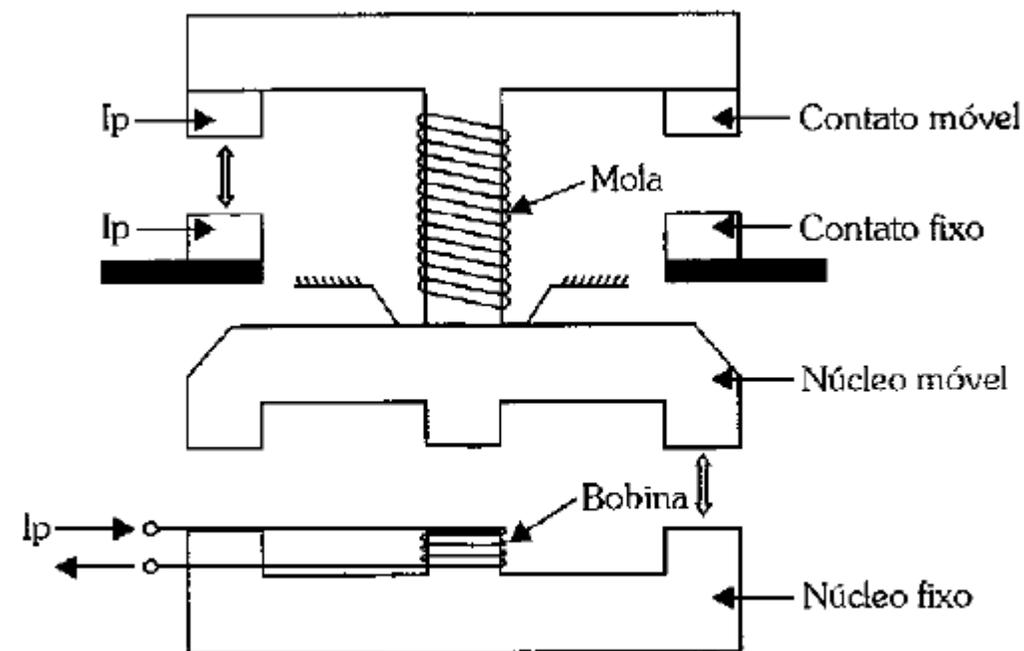


Figura 4.17 - Contator.

# PARTIDA DIRETA - CONTADORES

## Partes dos contadores – Contato

Contato é acionado pelo núcleo de ferro e está acoplado a uma mola que tende a leva-lo à posição de repouso, porém quando a bobina é energizada, a força do campo magnético é maior que a da mola, fazendo com que o núcleo fixo atraia o núcleo móvel.

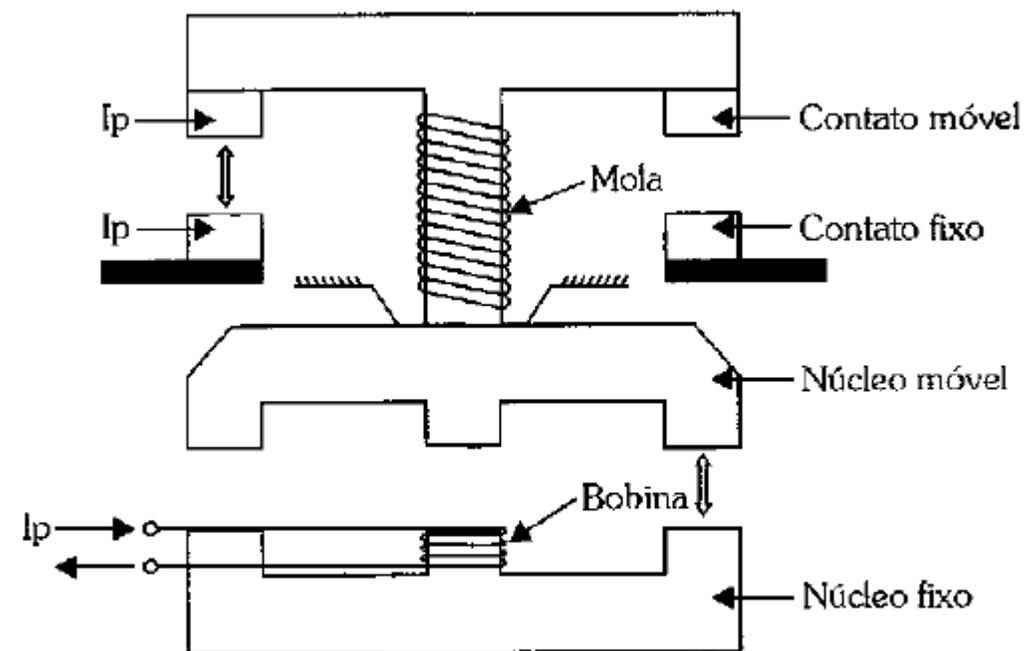


Figura 4.17 - Contator.

# PARTIDA DIRETA - CONTADORES

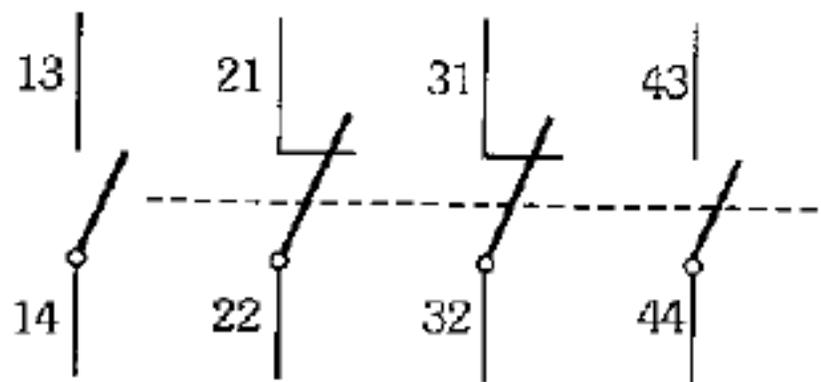
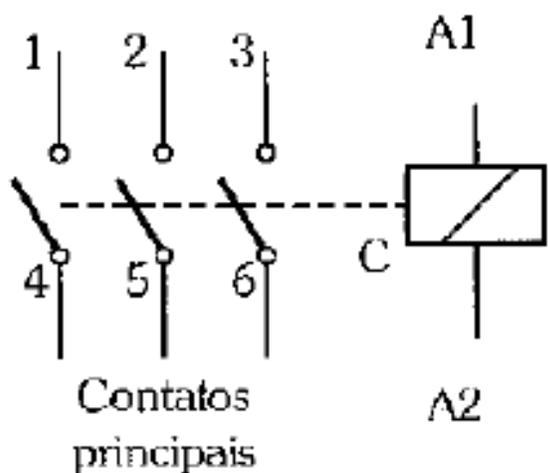
## Partes dos contadores – Contato

Cada contator é geralmente equipado com três, quatro ou cinco contatos, sejam eles de força (transporte de maior corrente), auxiliares (usados para comandos) ou mistos. Os terminais pertencentes a um mesmo elemento de contato devem ser marcos com o mesmo número de sequência e todos os contatos de mesma função devem ter um número diferente de sequência.

Os contatos de força possuem a numeração 1,3 e 5 para entrada e 2,4 e 6 para saída.

# PARTIDA DIRETA - CONTATORES

## Partes dos contatores – Contato



# PARTIDA DIRETA - DIMENSIONAMENTO

**Exemplo de dimensionamento: (continuação)**

**Dimensionamento do relé de sobrecarga F4**

O relé deve ter uma faixa de ajuste em que a corrente nominal do motor esteja incluída.

Assim, basta localizar no respectivo catálogo do fabricante o contator que possua a referida faixa de ajuste.

# PARTIDA DIRETA - RELÉ DE SOBRECARGA

## Introdução

O relé de sobrecarga ou relé térmico, pode ser definido como um dispositivo de proteção cuja operação é baseada em um método indireto de detecção de sobrecarga em motores, em que é criado um modelo térmico do motor a ser protegido por um elemento térmico.

# PARTIDA DIRETA - RELÉ DE SOBRECARGA

## Introdução

Um relé térmico tripolar tem três pares bimetálicos, sendo cada um deles constituído por dois metais unidos por laminação com diferentes coeficientes de dilatação e um enrolamento de aquecimento em volta de cada bimetálico.

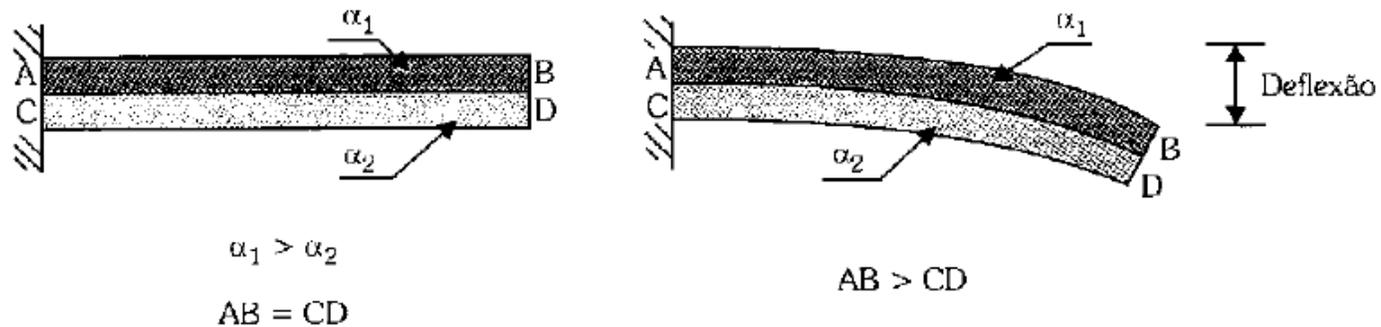
Cada enrolamento de aquecimento está ligado em série com uma das fases do motor.

O aquecimento dos enrolamentos provoca uma deformação nos bimetálicos.

# PARTIDA DIRETA - RELÉ DE SOBRECARGA

## Introdução

A deformação é maior ou menor, conforme o valor da corrente. A atuação do dispositivo é produzida pelo movimento relativo de elementos mecânicos com diferentes coeficientes de dilatação, sob a ação de determinados valores de correntes de entrada (sobrecorrente), os pares bimetálicos quando aquecidos dilatam-se diferentemente, curvando o conjunto.



# PARTIDA DIRETA - RELÉ DE SOBRECARGA

## Introdução

Quando o conjunto se curva provoca dois efeitos:

- Liberação do dispositivo de trava: que ocasiona a abertura dos contatos principais do relé de sobrecarga.
- Abertura de um contato fechado: que causa a abertura do circuito de comando que aciona o motor.

# PARTIDA DIRETA - RELÉ DE SOBRECARGA

## Introdução

O relé térmico é utilizado para proteger o motor e transformadores de sobrecarga de possíveis superaquecimentos ocasionados por:

- Tempo de partida muito alto;
- Rotor bloqueado;
- Falta de fase;
- Elevada frequência de manobra;
- Desvio de tensão e de frequência.

# PARTIDA DIRETA - RELÉ DE SOBRECARGA

## Introdução

O relé térmico não protege a linha em caso de curto-circuito e deve ser associado a fusíveis de proteção para prover a proteção completa da partida do motor.

Um relé disparado uma vez não volta à sua posição de repouso automaticamente, devendo ser rearmado manualmente.

Existem dispositivos que permitem o desligamento e rearme remoto dos relés térmicos.

O rearme só pode ser feito quando os bimetálicos estiverem suficientemente frios.

# PARTIDA DIRETA - RELÉ DE SOBRECARGA

## Introdução

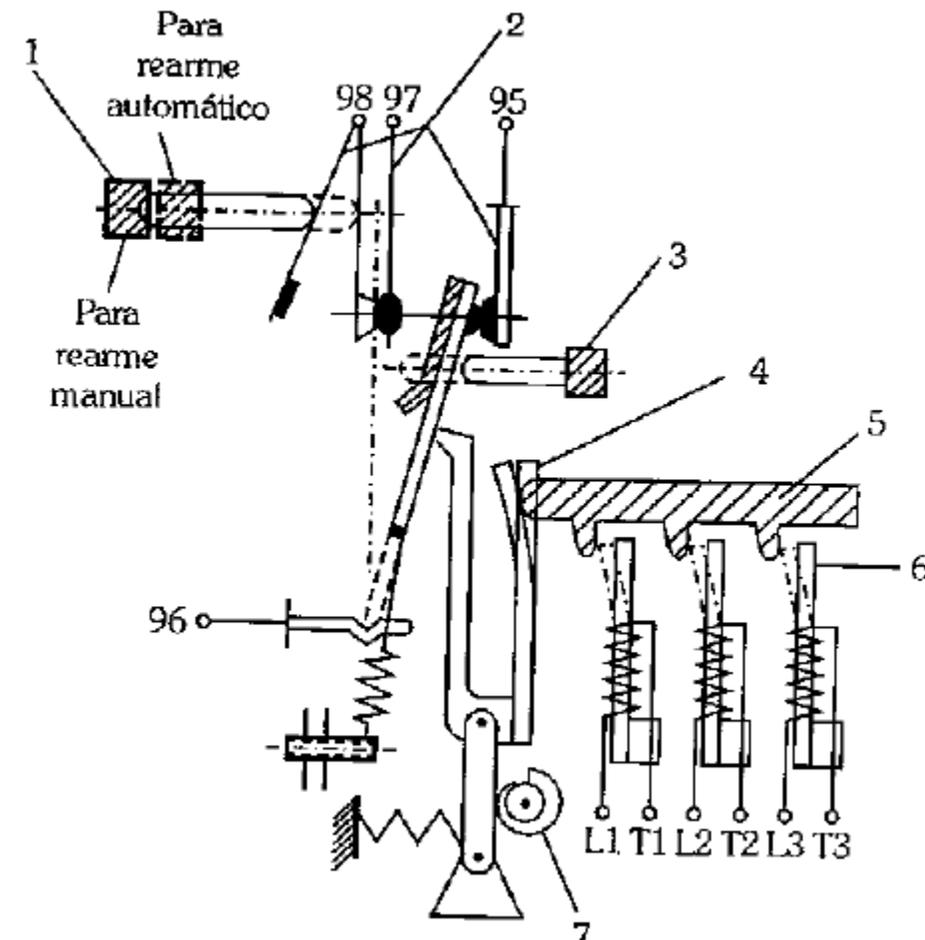
Os fabricantes dos contadores já oferecem os relés térmicos que encaixam mecanicamente nos contadores por eles fabricados, sendo as três entradas das respectivas fases dos relés térmicos ligadas diretamente nos contatos de carga do contator.

# PARTIDA DIRETA - RELÉ DE SOBRECARGA

## Elementos do relé de sobrecarga

Os relés possuem os seguintes elementos:

1. Botão de rearme;
2. Contatos auxiliares;
3. Botão de teste;
4. Lâmina bimetálica auxiliar para compensação de temperatura;
5. Cursor de arraste.



# PARTIDA DIRETA - RELÉ DE SOBRECARGA

## Elementos do relé de sobrecarga

O relé de sobrecarga possui um botão localizado na parte frontal em que é possível parametrizar a sua atuação de acordo com as seguintes funções:

- A: somente rearme automático;
- Auto: rearme automático e possibilidade de teste;
- Hand: rearme manual e possibilidade de teste;
- H: somente rearme manual.

# PARTIDA DIRETA - RELÉ DE SOBRECARGA

## Dimensionamento

$$I_r = 1,15 \text{ até } 1,25 \text{ da } I_n$$



Relés de proteção de motores elétricos até 840A. Montagem direta aos contatores ou em base individual. Classe de disparo 10.

### Resumo das características técnicas

Referência	<b>RW67</b>	Faixa de corrente	<b>32-50 A</b>
Indicação de montagem	<b>2D</b>	Número de polos	<b>3 polos</b>

# PARTIDA DIRETA - FUSÍVEL

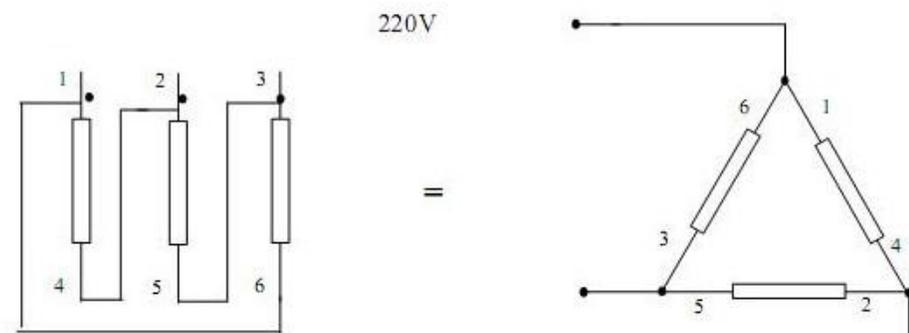
## Dimensionamento

A corrente do fusível ( $I_f$ ) deve satisfazer as seguintes condições:

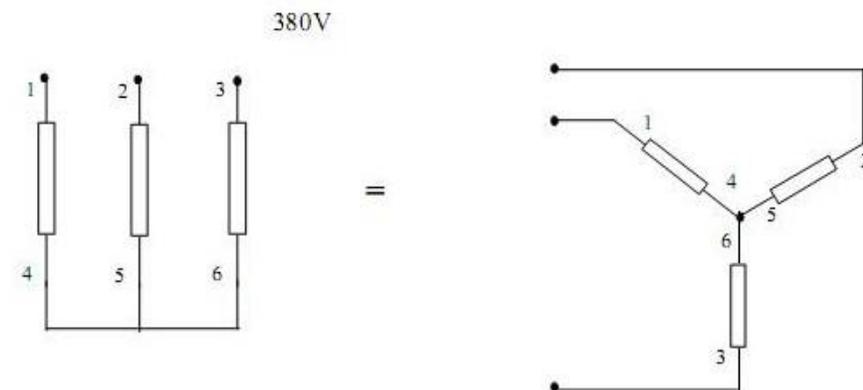
- $I_f \geq 1,2I_n$

# CONEXÃO DOS ENROLAMENTOS DOS MOTORES

Nos circuitos trifásicos existem dois tipos de configuração (ligação) tanto para geradores e transformadores como para cargas: ligações em estrela ( $Y$ ) e em triângulo ou delta ( $\Delta$ ).



Ligação em estrela



# CONEXÃO DOS ENROLAMENTOS DOS MOTORES

## Configuração em estrela (Y)

Nesse tipo de ligação os terminais  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  são ligados em um ponto interno comum (0 – também denominado de neutro) e os terminais 1, 2 e 3 das partes iniciais  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  dos enrolamentos ficam acessíveis para a conexão da carga ( $3\phi$  – 3 fios).

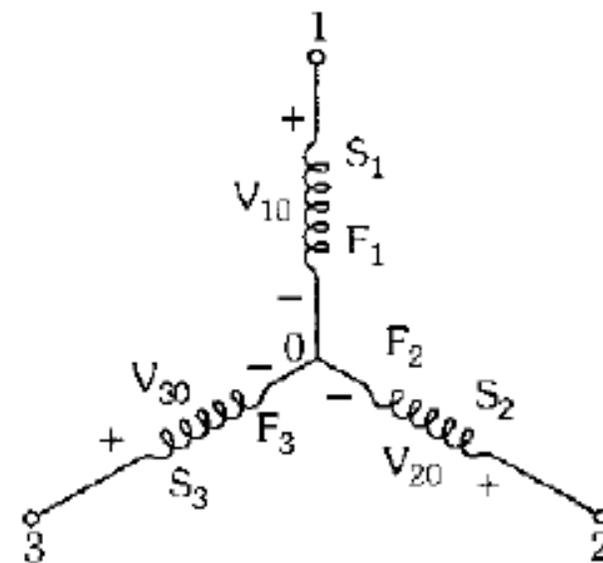
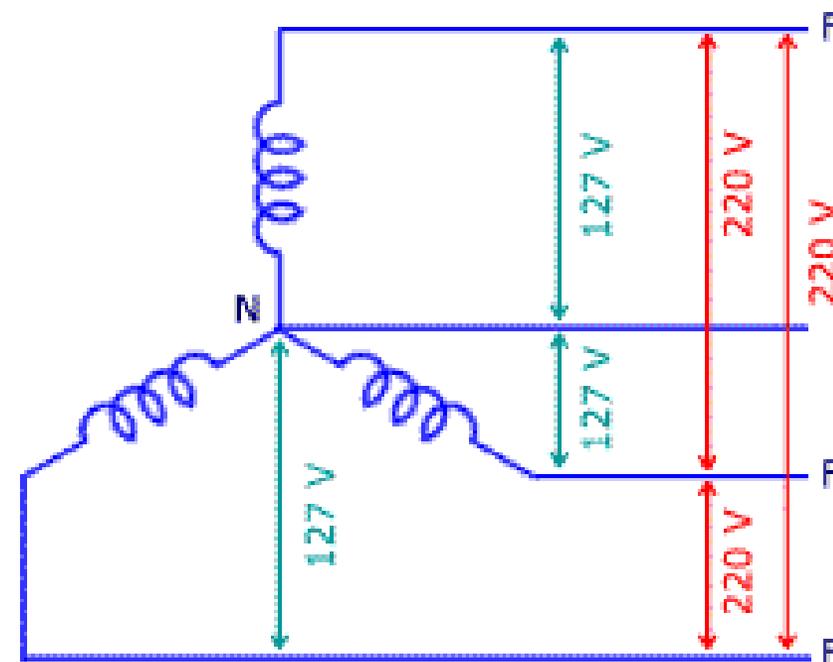


Figura 2.29 - Ligação dos enrolamentos em estrela.

# CONEXÃO DOS ENROLAMENTOS DOS MOTORES

## Configuração em estrela (Y)

Essa configuração aparece mais comumente na configuração (3 $\phi$  – 4 fios) conforme a figura ao lado.

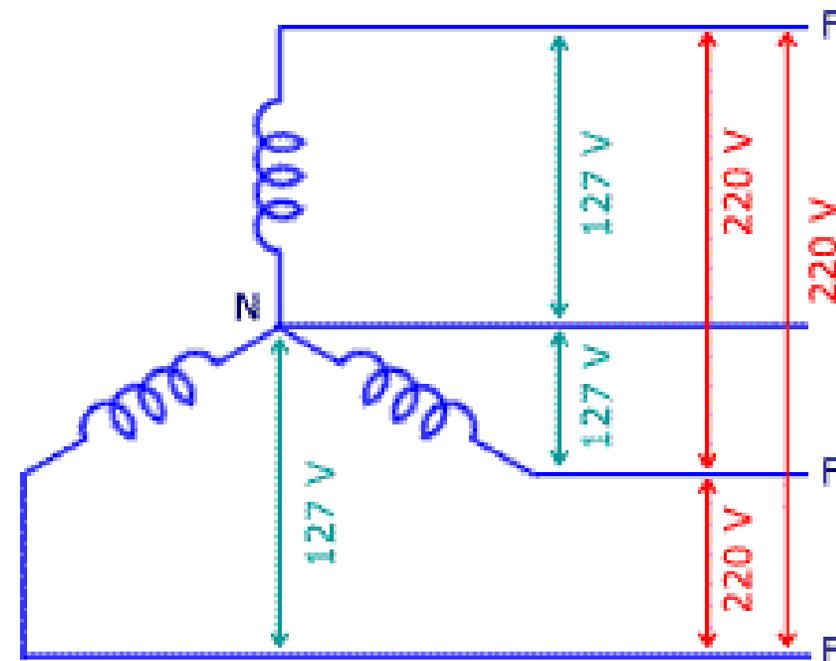


# CONEXÃO DOS ENROLAMENTOS DOS MOTORES

## Configuração em estrela (Y)

A conexão estrela se caracteriza por ter tensões de fase diferentes das de linha.

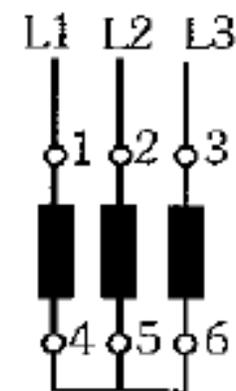
As tensões entre os terminais 1,2 e 3 em relação ao neutro correspondem às tensões de fase do gerador ( $V_F$  ou  $V_{AN}$ ). As tensões entre dois terminais 1-2, 2-3 e 3-1 correspondem as tensões de linha ( $V_L$  ou  $V_{AB}$ ).



# CONEXÃO DOS ENROLAMENTOS DOS MOTORES

## Configuração em estrela (Y)

Quando é realizada a ligação em estrela, cada bobina recebe uma tensão três vezes menor do que a tensão de alimentação, e a corrente circulante possui valor igual à corrente de linha. A figura 2.32 ilustra a conexão das bobinas de um motor de indução trifásico em estrela, em que L1, L2 e L3 representam as fases R, S e T respectivamente.



*Figura 2.32 - Conexão dos enrolamentos em estrela.*

# CONEXÃO DOS ENROLAMENTOS DOS MOTORES

## Vantagens da ligação estrela (Y)

- Duas tensões diferentes para a carga ( $V_L$  ou  $V_F$ ).
- A corrente no condutor neutro é a soma fasorial das correntes de linha: se a carga é equilibrada (três impedâncias iguais), a corrente no neutro é nula (neste caso não é necessário instalar o neutro, porém é recomendado pelo fato de a sua função ser de proteção a cargas desequilibradas). Em cargas desequilibradas o neutro é obrigatório ( e usualmente ligado ao terra).

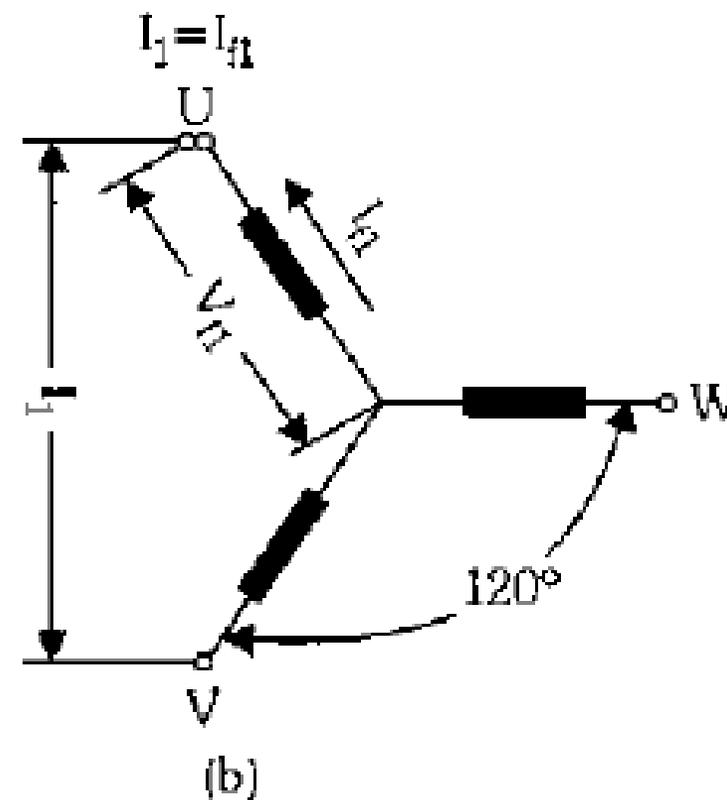
# CONEXÃO DOS ENROLAMENTOS DOS MOTORES

## Configuração estrela

Se inserirmos um voltímetro no circuito da figura ao lado entre os pontos U e V, ou W e U ou V e W perceberíamos que temos uma tensão chamada de  $V_L$  e se inserirmos o voltímetro entre U , W ou V com o ponto de conexão entre elas perceberíamos uma tensão chamada  $V_F$ . A relação entre elas é dada pela equação abaixo:

$$V_L = V_F \cdot \sqrt{3}$$

Instituto Federal Sul-rio-grandense | câmpus Passo Fundo



# CONEXÃO DOS ENROLAMENTOS DOS MOTORES

## Terminologia

Tensão de linha ( $V_L$ ): é a tensão entre fase-fase;

Tensão de fase ( $V_F$ ): é a tensão entre fase-neutro;

Corrente de linha ( $I_L$ ): é a corrente na linha que liga a fonte a carga;

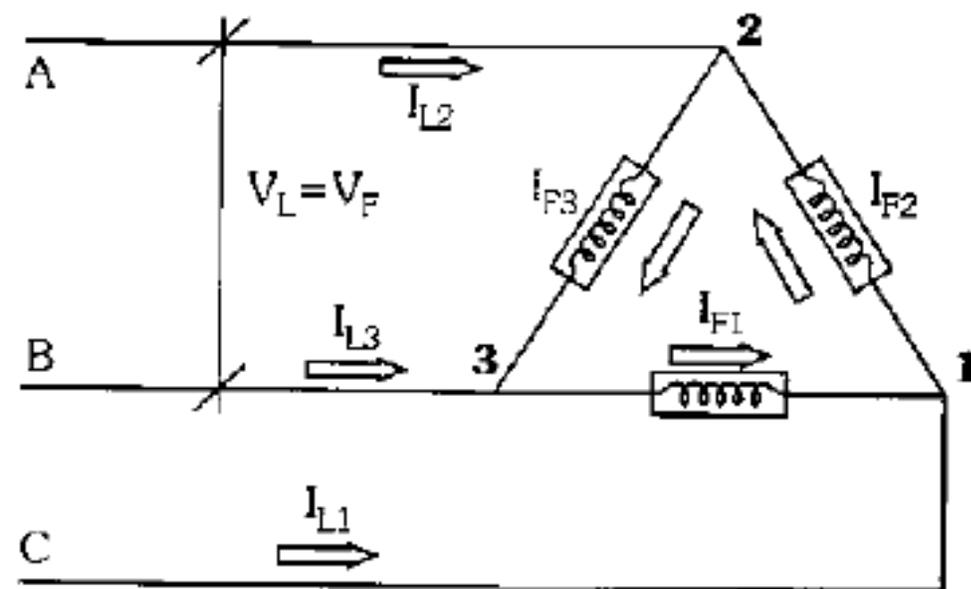
Corrente de fase ( $I_F$ ): é a corrente que passa por uma das tensões;

Observação: Para a ligação estrela (Y) a  $I_L = I_F$  e  $V_L = V_F * \sqrt{3}$ .

# CONEXÃO DOS ENROLAMENTOS DOS MOTORES

## Ligação em triângulo ou delta ( $\Delta$ )

Nesse tipo de ligação, sempre é ligado o princípio de um enrolamento com o final do enrolamento subsequente, conforme a figura.



$$V_{\text{Linha}} (V_L \text{ ou } V_{AB}) = V_{\text{Fase}} (V_F)$$
$$I_{\text{Linha}} (I_L) = \sqrt{3} \cdot I_{\text{Fase}} (I_F)$$

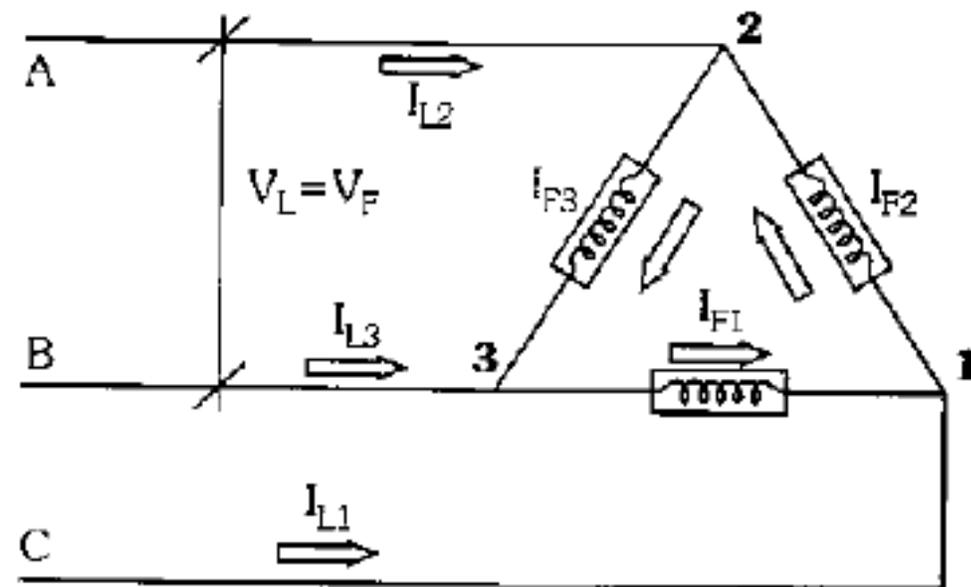
Figura 2.34 - Ligação dos enrolamentos em triângulo.

# CONEXÃO DOS ENROLAMENTOS DOS MOTORES

## Ligação em triângulo ou delta ( $\Delta$ )

Nesta ligação ocorre as seguintes situações:

$$V_F = V_L, I_L = I_F * \sqrt{3}$$



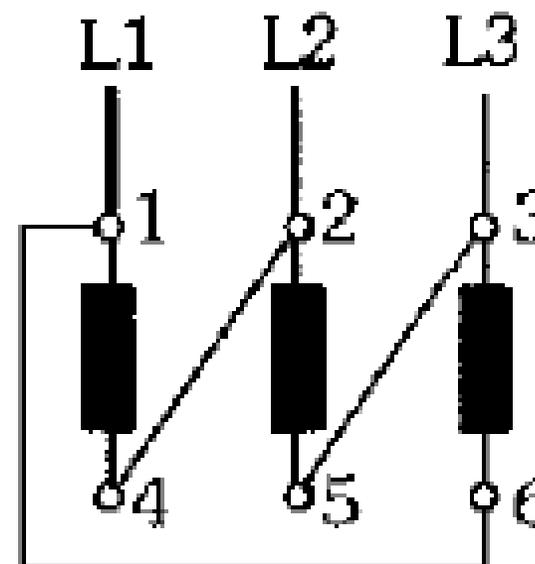
$$V_{\text{Linha}} (V_L \text{ ou } V_{AB}) = V_{\text{Fase}} (V_F)$$
$$I_{\text{Linha}} (I_L) = \sqrt{3} \cdot I_{\text{Fase}} (I_F)$$

Figura 2.34 - Ligação dos enrolamentos em triângulo.

# CONEXÃO DOS ENROLAMENTOS DOS MOTORES

## Ligação em triângulo ou delta ( $\Delta$ )

A conexão é mostrada na figura ao lado. É importante seguir a recomendação que consta na placa de indicação do motor.



# PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

## Partida Estrela – Triângulo ( $Y - \Delta$ )

Para se evitar os problemas encontrados na Partida Direta, pode-se utilizar um sistema de partida com redução de tensão e conseqüentemente redução da corrente. A Partida Estrela - Triângulo consiste na alimentação do motor com redução de tensão nas bobinas durante a partida.

# PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

## Partida Estrela – Triângulo ( $Y - \Delta$ )

Na partida executa-se a ligação estrela no motor (apto a receber tensão de estrela– $V_Y$ ), porém ele é alimentado com tensão de triângulo ( $V_\Delta$ ), ou seja, com a tensão da rede.

Assim, as bobinas do motor recebem 58% da tensão que deveriam receber. No instante em que o motor atinge aproximadamente 90% da sua velocidade nominal é feito a comutação, passando o motor a ser ligado em triângulo, assim as bobinas passam a receber a tensão nominal.

# PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

## Partida Estrela – Triângulo ( $Y - \Delta$ )

Este tipo de chave proporciona redução da corrente de partida para aproximadamente 33% de seu valor, em comparação com a Partida Direta. Entretanto, para que seja utilizada a Partida Estrela-Triângulo, algumas condições devem ser satisfeitas:

- Os motores devem ser trifásicos, com duas tensões de ligação (estrela e triângulo) e ter no mínimo 6 terminais;

# PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

## Partida Estrela – Triângulo ( $Y - \Delta$ )

- A tensão de alimentação deve corresponder à tensão de ligação em triângulo do motor;
- Assim como na Partida Direta, os motores devem partir sem carga (a vazio), porque na ligação em estrela ocorre também uma redução no torque de partida, proporcional a redução da corrente de partida.

# PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

## Partida Estrela – Triângulo ( $Y - \Delta$ )

A Partida Estrela-Triângulo poderá ser usada quando a curva de conjugados do motor for suficientemente elevada para poder garantir a aceleração da máquina durante a partida, uma vez que neste momento, o conjugado é reduzido à mesma proporção da corrente.

Deste modo, sempre que se desejar utilizar este tipo de chave, o motor deverá ter uma curva de conjugado elevado.

# PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

## Partida Estrela – Triângulo ( $Y - \Delta$ )

É fundamental para a chave de partida estrela-triângulo que o motor tenha possibilidade de ligação em dupla tensão (220/380V, 380/660V, 440/760V) e que a menor tensão coincida com a tensão da rede.

As aplicações de motores que mais utilizam a estrela-triângulo são: serras de fita circular, ventiladores, furadeiras e esmeris.

# PARTIDA ESTRELA TRIÂNGULO

## Relé de tempo estrela-triângulo

Foi especialmente desenvolvido para a utilização em chaves de partida estrela-triângulo. Possui dois circuitos de temporização em separado. Um tem por função o controle do contator estrela e o outro, com tempo fixo de aproximadamente 100 ms, para controle do contator que faz a ligação das bobinas em triângulo..

# PARTIDA ESTRELA TRIÂNGULO

## Relé de tempo estrela-triângulo

Esse relé funciona da seguinte maneira: aplicando-se tensão aos terminais A1-A2, o contato de saída da temporização estrela comuta. Passado o tempo da temporização e selecionado o contato de saída da estrela, ele volta ao seu estado inicial, começando a contagem do tempo fixo de 100 ms que, após ser transcorrido, fecha o contato de saída triângulo.

# PARTIDA ESTRELA TRIÂNGULO

## Relé de tempo estrela-triângulo

O esquema da figura mostra os instantes de tempo de cada etapa da temporização.

- a: início da comutação;
- b: retorno ao repouso;
- T1: tempo ajustável;
- T2: tempo fixo.

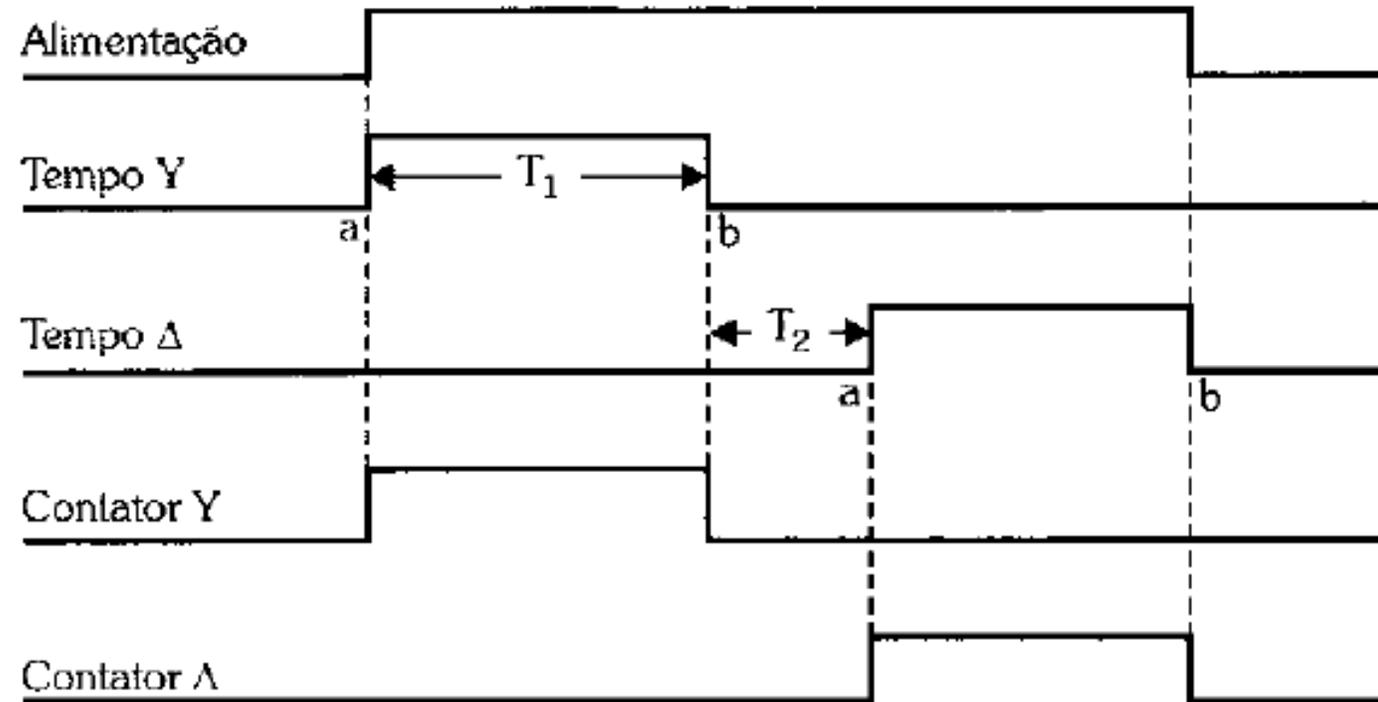
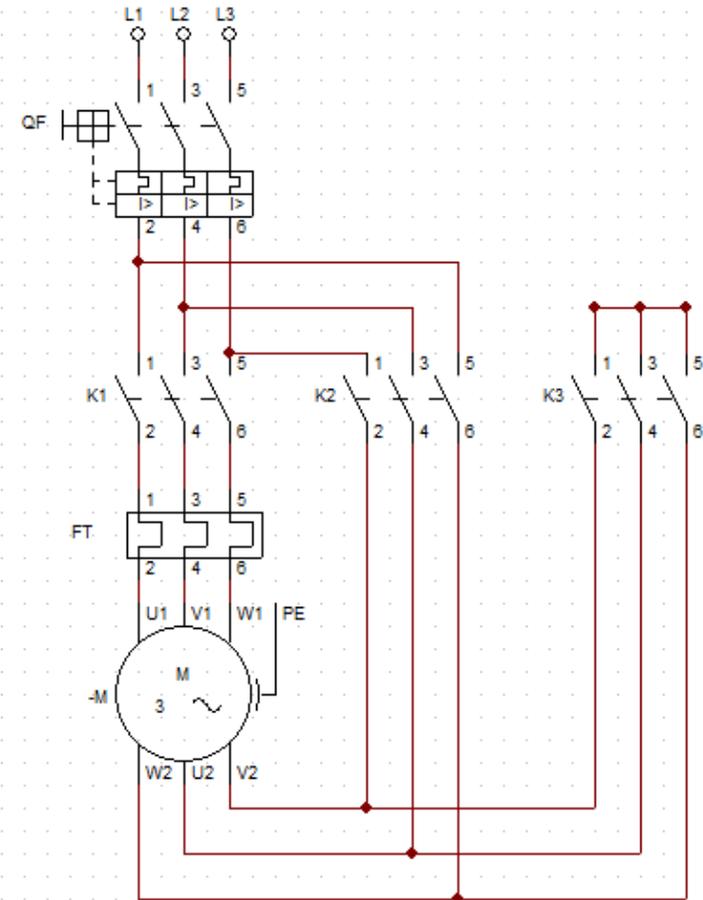
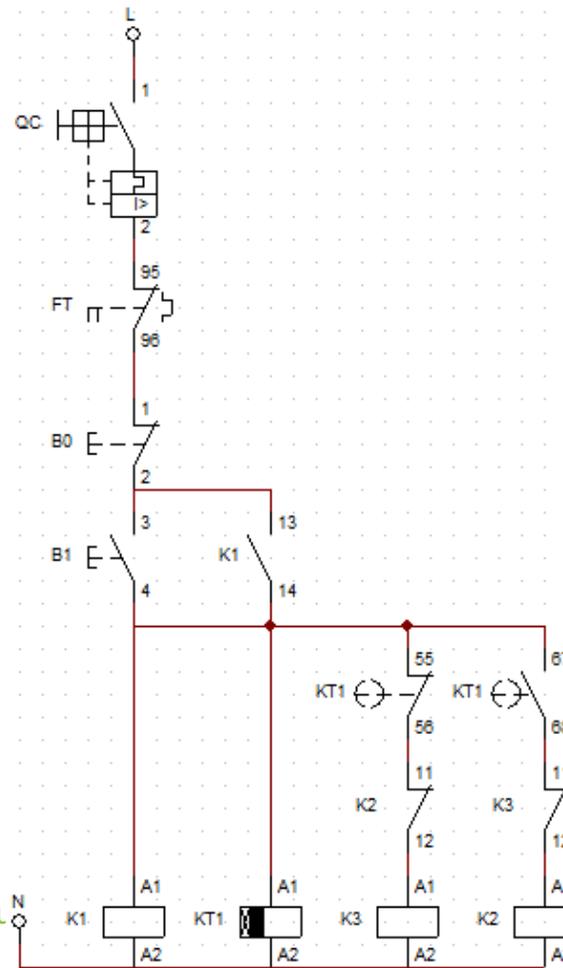


Figura 4.26 - Diagrama de tempo do relé estrela-triângulo.

# PARTIDA ESTRELA TRIÂNGULO

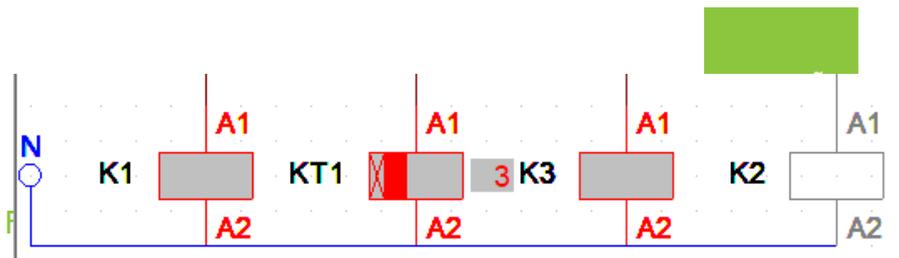
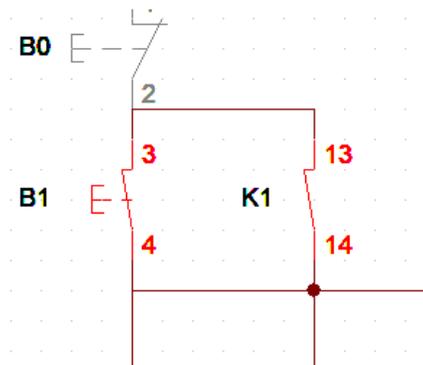
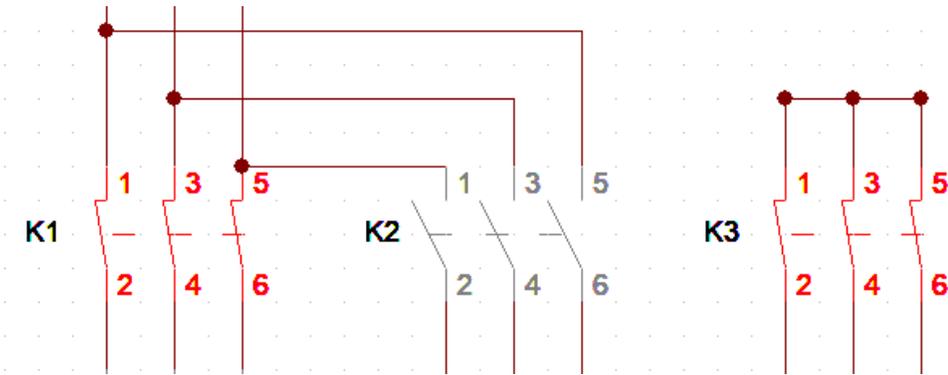
## Partida estrela triângulo



# PARTIDA ESTRELA TRIÂNGULO

## Funcionamento da Partida estrela triângulo.

Ao se pressionar a botoeira B1, aciona-se o contator K1, o contator K3 e o relé de tempo KT1 que inicia a contagem do tempo 1.



# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS

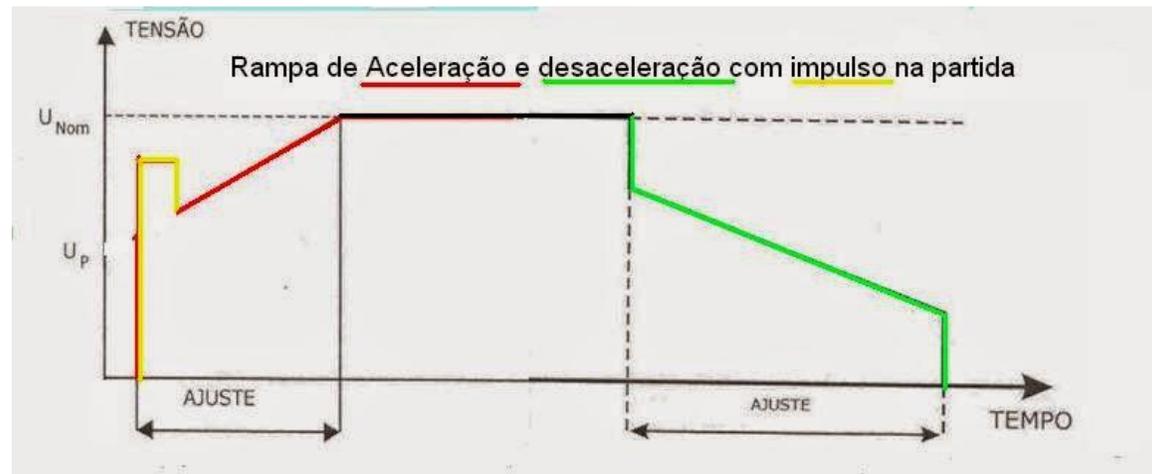
Com o advento da eletrônica de potência, torna-se cada vez mais economicamente viável e prático o uso de chaves de partida eletrônicas de partida de motores. As principais são soft-starters e inversores de frequência.



# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - SOFT-STARTERS

## Introdução

As chaves de partida soft-starters são destinadas ao comando de motores de corrente contínua e corrente alternada, assegurando a aceleração e desaceleração progressivas e permitindo uma adaptação da velocidade as condições de operação.



# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - SOFT-STARTERS

## Introdução

A alimentação do motor é feita por aumento progressivo da tensão, o que permite uma partida sem golpes e reduz o pico da corrente.

A subida progressiva da tensão pode ser controlada pela rampa de aceleração ou pendente do valor da corrente de limitação ou ainda ligada aos dois parâmetros.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - SOFT-STARTERS

## Introdução

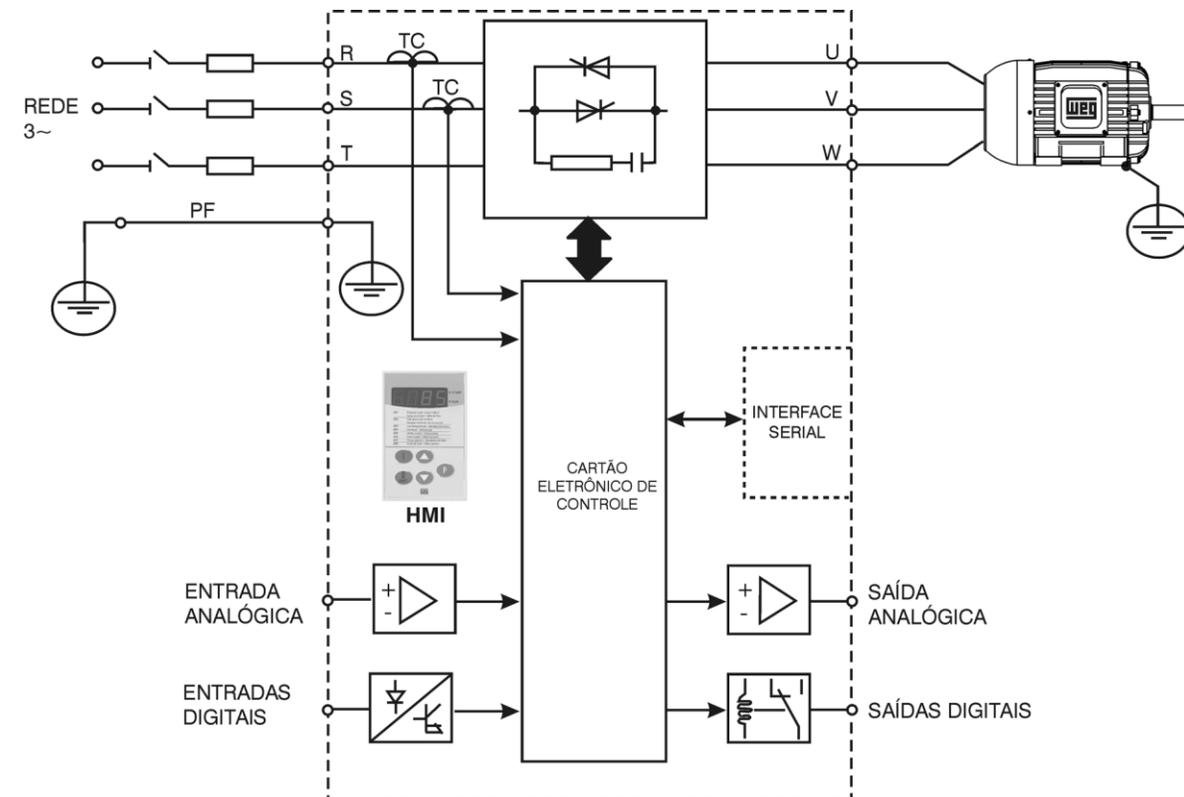
Assim, a soft-starter assegura:

- O controle das características de funcionamento, principalmente durante os períodos de partida e de parada;
- A proteção térmica do motor e do controlador;
- A proteção mecânica da máquina movimentada por supressão dos golpes e redução da corrente de partida.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - SOFT-STARTERS

## Princípio de funcionamento

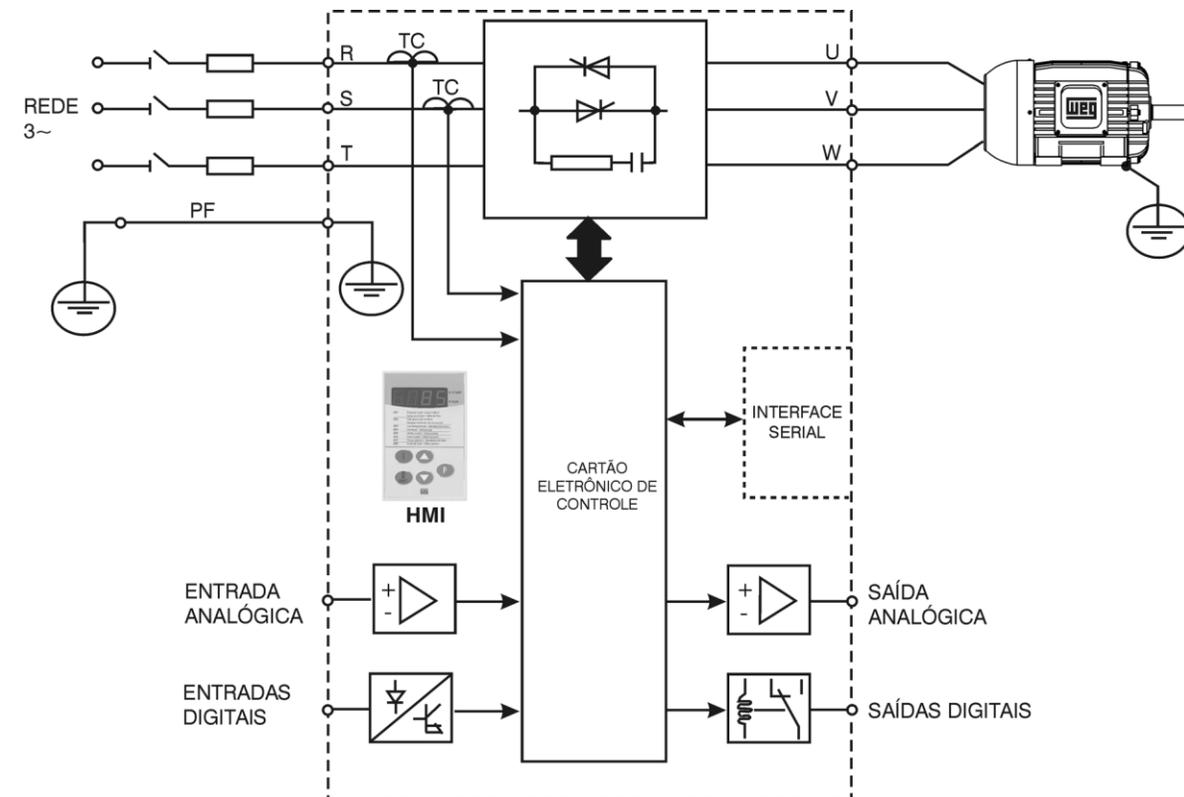
O funcionamento das Soft-Starters está baseado na utilização de uma ponte tiristorizada (SCR's) na configuração anti-paralelo, que é comandada através de uma placa eletrônica de controle, a fim de ajustar a tensão de saída, conforme programação feita anteriormente pelo usuário.



# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - SOFT-STARTERS

## Princípio de funcionamento

Como podemos ver, a Soft-Starter controla a tensão da rede através do circuito de potência, constituído por seis SCRs, onde variando o ângulo de disparo dos mesmos, variamos o valor eficaz de tensão aplicada ao motor.



# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - SOFT-STARTERS

## Circuito de potência

Este é o circuito pelo qual circula corrente que é fornecida para o motor. É constituído basicamente por SCRs e suas proteções e por TCs (transformadores de corrente).

- O circuito RC (snubber), tem como função proteger os tiristores contra variações da tensão aplicada sobre eles.
- Os transformadores de corrente fazem a monitoração da corrente de saída, permitindo que o controle eletrônico efetue a proteção e manutenção do valor de corrente em níveis predefinidos.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - SOFT-STARTERS

## Circuito de potência

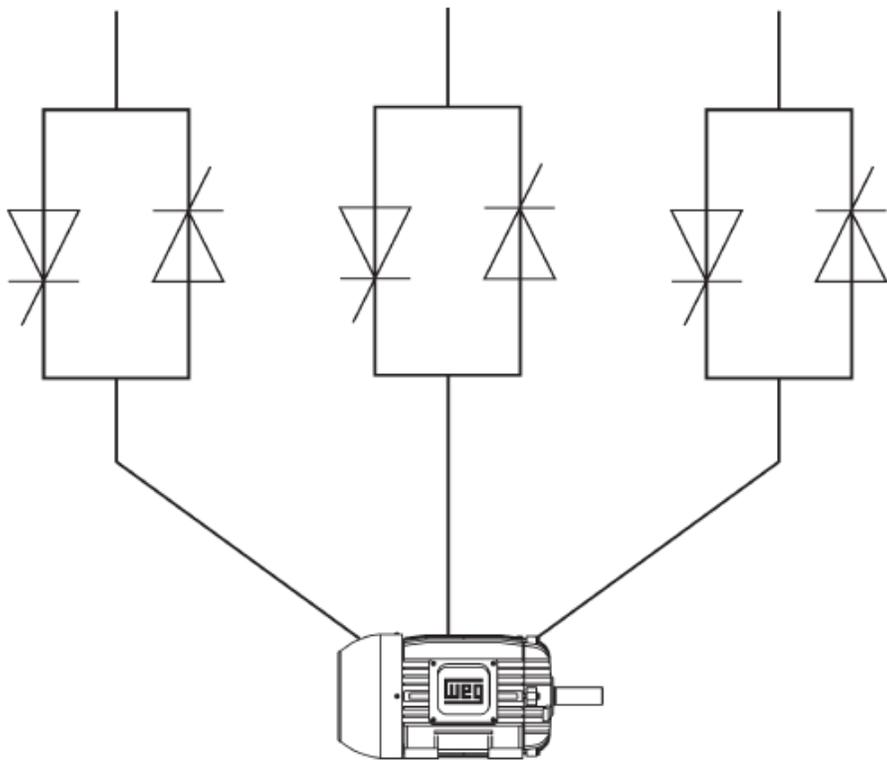


Figura 4.18: SCRs no circuito de força do motor (ligação "fora" do delta do motor)

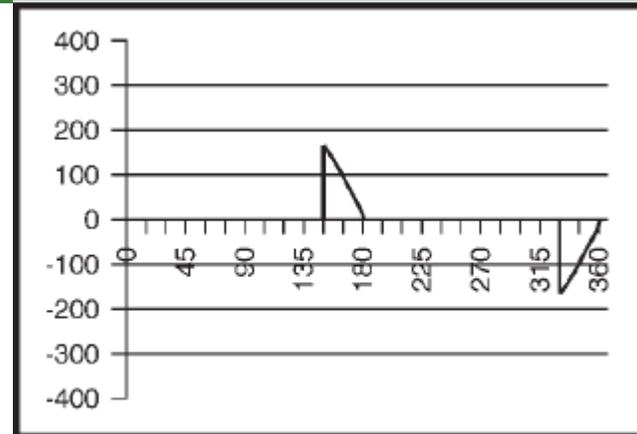


Figura 4.19 a: Disparo a 150°

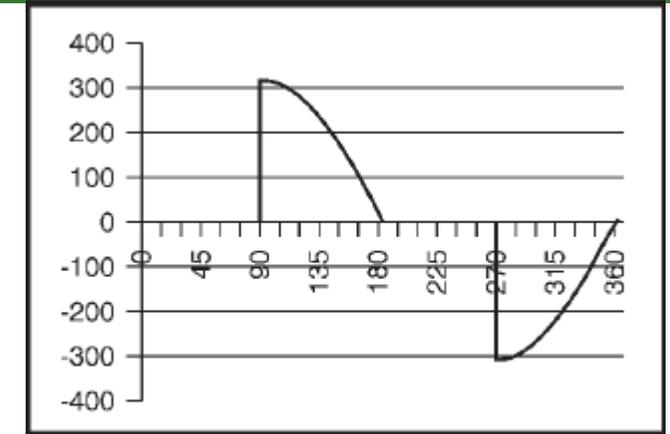


Figura 4.19 b: Disparo a 90°

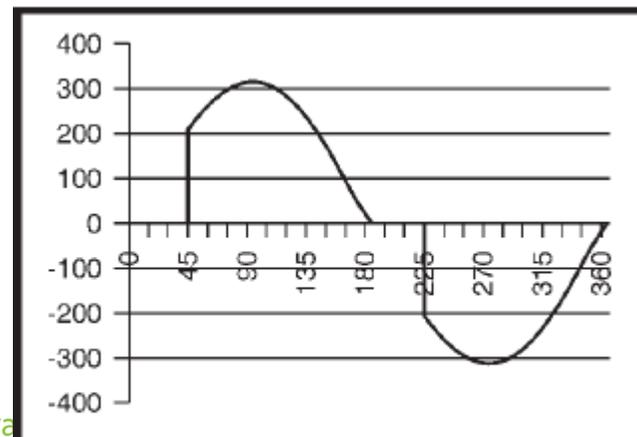


Figura 4.19 d: Disparo a 45°

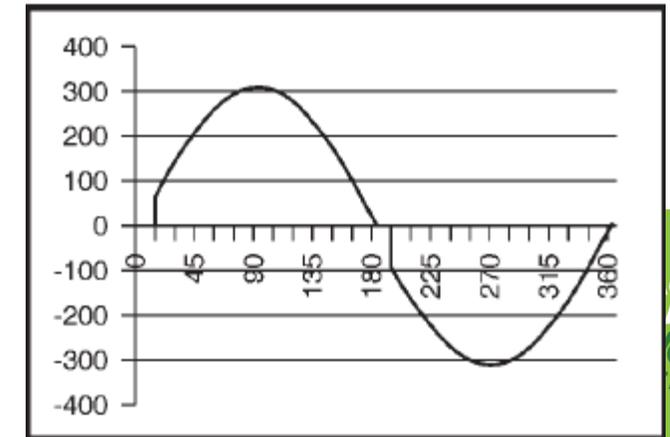


Figura 4.19 d: Disparo a 15°

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - SOFT-STARTERS

## **Circuito de controle**

É o local onde ficam os circuitos responsáveis pelo comando, monitoração e proteção dos componentes do circuito de potência, bem como os circuitos utilizados para comando, sinalização e interface homem/máquina (IHM), que são configurados pelo usuário em função da aplicação.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Introdução

Além das características de aceleração e desaceleração, as chaves soft-starter também apresentam funções programáveis que permitem configurar o sistema de acionamento de acordo com as necessidades do usuário.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Introdução

O comando dos tiristores é feito por um microprocessador que fornece as seguintes funções:

- Controle das rampas de aceleração e desaceleração;
- Limitação de corrente ajustável;
- Conjugado na partida;
- Frenagem por injeção de corrente contínua;
- Proteção do acionamento por sobrecarga;

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

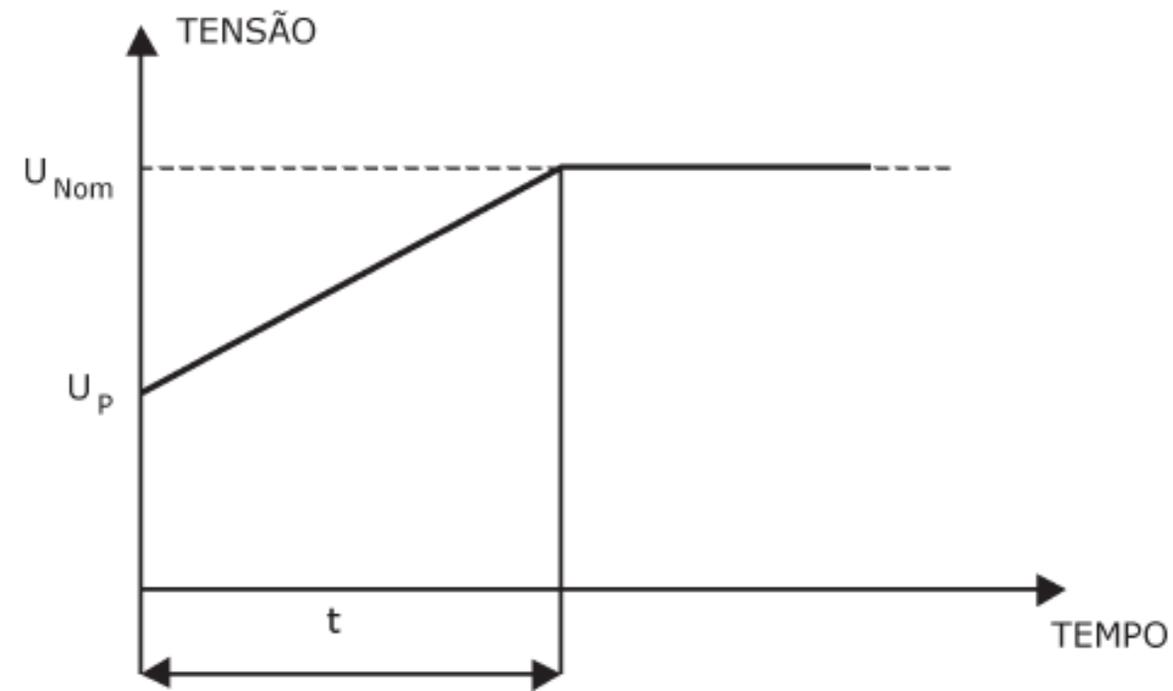
## Introdução

- Proteção do motor contra aquecimentos devido a sobrecargas ou a partidas demasiadamente frequentes;
- Detecção de desequilíbrio ou falta de fases e de defeitos nos tiristores.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Rampa de tensão na aceleração

A rampa de aceleração funciona através do controle da variação do ângulo de disparo da ponte de tiristores, gerando na saída da mesma, uma tensão eficaz gradual e continuamente crescente até que seja atingida a tensão nominal da rede.



*Figura 4.21: Rampa de tensão aplicada ao motor na aceleração*

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Rampa de tensão na aceleração

Quando ajustamos um valor de tempo de rampa, e de tensão de partida (pedestal), isto não significa que o motor irá acelerar de zero até a sua rotação nominal no tempo definido por pelo tempo  $t$ .

Isto, dependerá das características dinâmicas do sistema motor/carga, como por exemplo: sistema de acoplamento, momento de inércia da carga refletida ao eixo do motor, atuação da função de limitação de corrente, etc.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Rampa de tensão na aceleração

Tanto o valor do pedestal de tensão, quanto o de tempo de rampa são valores ajustáveis dentro de uma faixa que pode variar de fabricante para fabricante.

Não existe uma regra prática que possa ser aplicada para definir qual deve ser o valor de tempo a ser ajustado, e qual o melhor valor de tensão de pedestal para que o motor possa garantir a aceleração da carga.

A melhor aproximação poderá ser alcançada através do cálculo do tempo de aceleração do motor.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Exemplos de uso da Rampa de tensão na aceleração

**Bombas:** Para esta aplicação, a tensão de partida não deve receber um ajuste elevado, a fim de evitar o fenômeno conhecido como golpe de aríete, que se traduz pela onda de pressão da coluna de líquido durante os processos de partida e parada. Por outro lado, a tensão não pode receber um ajuste muito baixo, sob pena de não se realizar o processo de partida. Durante a aceleração do motor, o conjugado do motor deve ser, no mínimo, superior a 15% do conjugado resistente do conjugado da bomba.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Exemplos de uso da Rampa de tensão na aceleração

**Ventiladores:** Assim como as bombas, o valor de ajuste da tensão de partida  $U_p$  deve ser baixo o suficiente para permitir um torque motor adequado à carga. O ajuste do tempo de partida  $T_p$  não deve ser muito curto. Pode-se usar a limitação da corrente de partida para estender o tempo de partida, enquanto a inércia do sistema é superada. O conjugado de partida do motor deve estar, no mínimo, 15% acima do conjugado do ventilador.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Rampa de tensão na desaceleração

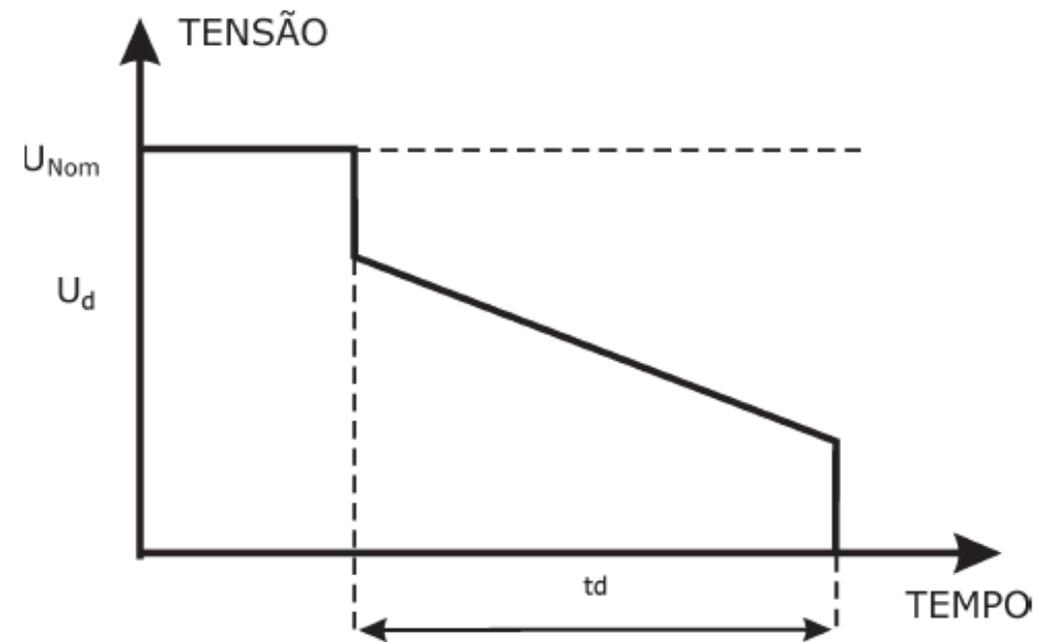
Existem duas possibilidades para que seja executada a parada do motor, por inércia ou controlada, respectivamente.

Na parada por inércia, a Soft-Starter leva a tensão de saída instantaneamente a zero, implicando que o motor não produza nenhum conjugado na carga, que por sua vez, irá perdendo velocidade, até que toda energia cinética seja dissipada.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Rampa de tensão na desaceleração

Na parada controlada a Soft-Starter vai gradualmente reduzindo a tensão de saída até um valor mínimo em um tempo pré-definido.



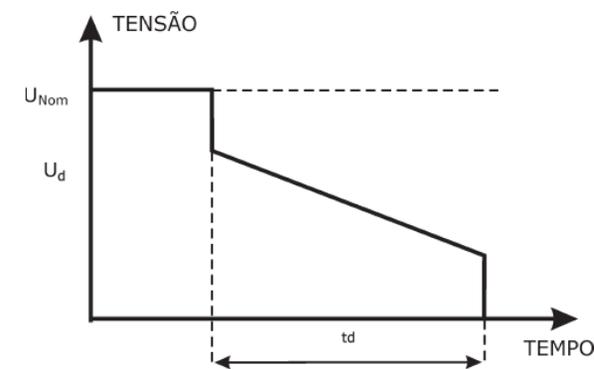
# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Rampa de tensão na desaceleração

Neste caso, ao reduzir a tensão aplicada ao motor, este irá perder conjugado; a perda de conjugado reflete no aumento do escorregamento; o aumento do escorregamento faz com que o motor perca velocidade.

Se o motor perde velocidade a carga acionada também perderá. Este tipo de recurso é muito importante para aplicações que devem ter uma parada suave do ponto de vista mecânico.

Instituto Federal Sul-rio-grandense | câmpus Passo Fundo



# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## **Pulso de tensão de partida (kick start)**

Existem cargas que no momento da partida exigem um esforço extra do acionamento em função do alto conjugado resistente.

Nestes casos, normalmente a Soft-Starter precisa aplicar no motor uma tensão maior que aquela ajustada na rampa de tensão na aceleração, isto é possível utilizando uma função chamada “Kick Start”.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Pulso de tensão de partida (kick start)

Como podemos ver na figura 4.23, esta função faz com que seja aplicado no motor um pulso de tensão com amplitude e duração programáveis para que o motor possa desenvolver um conjugado de partida, suficiente para vencer o atrito, e assim acelerar a carga.

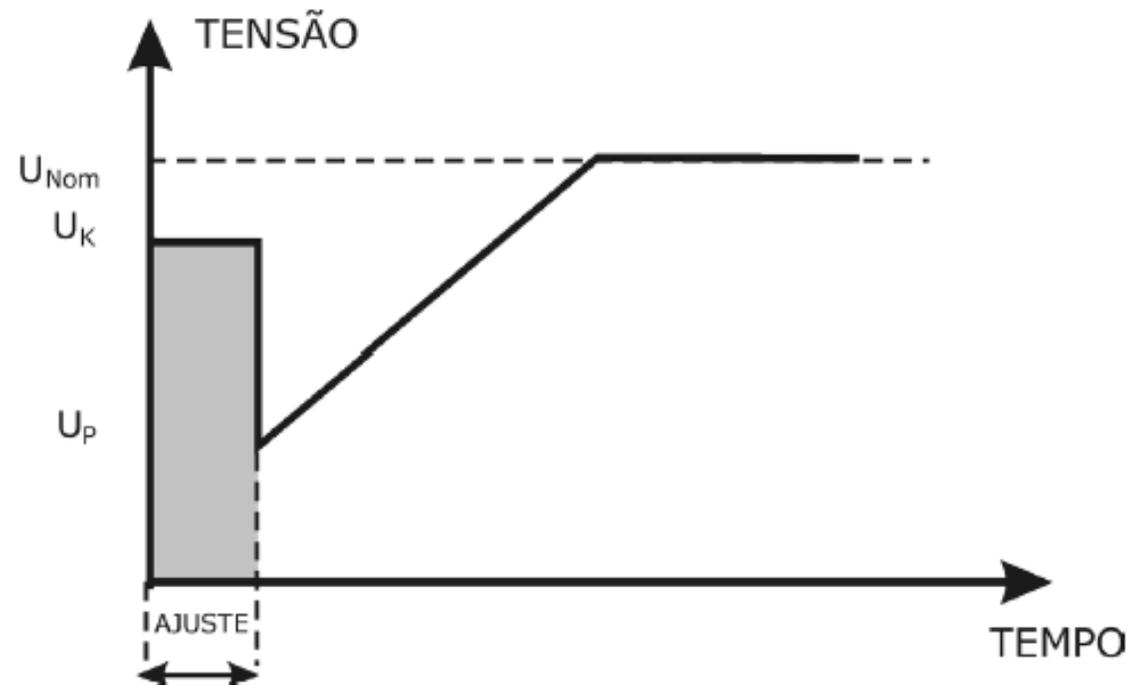


Figura 4.23: Representação gráfica da função "Kick Start"

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## **Pulso de tensão de partida (kick start)**

Devemos observar alguns aspectos importantes relacionados com esta função.

Como a tensão de partida poderá ser ajustada próximo da tensão nominal, mesmo que por um pequeno intervalo de tempo, a corrente de partida irá atingir valores muito.

Isto é claramente indesejável, pois a utilização da Soft-Starter nestes casos advém da necessidade de garantir-se uma partida suave. Desta forma podemos considerar este recurso como sendo aquele que deverá ser usado em última instância, ou **quando** realmente ficar óbvia a condição severa de partida.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## **Pulso de tensão de partida (kick start)**

Na prática, o pulso de tensão de partida deve ser ajustado entre 75% e 90% da tensão do sistema e o tempo do pulso de tensão deve ser ajustado entre 100 e 300 milissegundos.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Limitação de corrente

Na maioria dos casos onde a carga apresenta uma inércia elevada, é utilizada uma função denominada de limitação de corrente. Esta função faz com que o sistema rede/Soft-Starter forneça ao motor somente a corrente necessária para que seja executada a aceleração da carga.

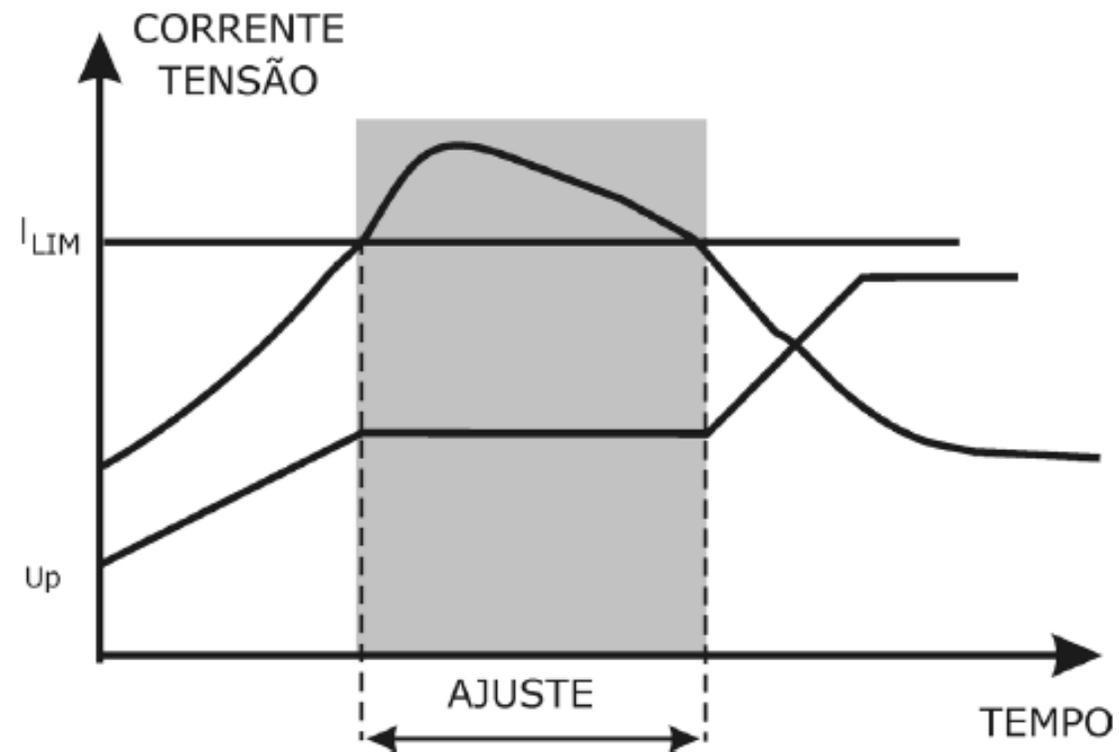


Figura 4.24: Limitação de corrente

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Limitação de corrente

Este recurso é sempre muito útil pois garante um acionamento realmente suave e, melhor ainda, viabiliza a partida de motores em locais onde a rede encontra-se no limite de sua capacidade.

Normalmente nestes casos a condição de corrente na partida faz com o sistema de proteção da instalação atue, impedindo assim o funcionamento normal de toda a instalação. Ocorre então a necessidade de se impor um valor limite de corrente de partida de forma a permitir o acionamento do equipamento.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PRINCIPAIS FUNÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Limitação de corrente

A limitação de corrente também é muito utilizada na partida de motores cuja carga apresenta um valor mais elevado de momento de inércia.

Em termos práticos, podemos dizer que esta função é a que deverá ser utilizada após não obter-se sucesso com a rampa de tensão simples, ou mesmo quando para que o motor acelere a carga, seja necessário ajustar uma rampa de tensão de tal forma que a tensão de partida (pedestal) próximo aos níveis de outros sistemas de partida.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PROTEÇÕES DA SOFT-STARTERS

## Introdução

A utilização das soft-starters não fica restrita à partida de motores de indução, pois elas também podem garantir ao motor toda a proteção necessária. Assim, quando uma proteção atua, é emitida uma mensagem de erro correspondente para permitir ao usuário visualizar o ocorrido.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - PROTEÇÕES DA SOFT-STARTERS

## **Sobrecorrente imediata na saída**

Ajusta o máximo valor de corrente que a soft-starter permite conduzir para o motor por período de tempo pré-ajustado.

## **Subcorrente imediata**

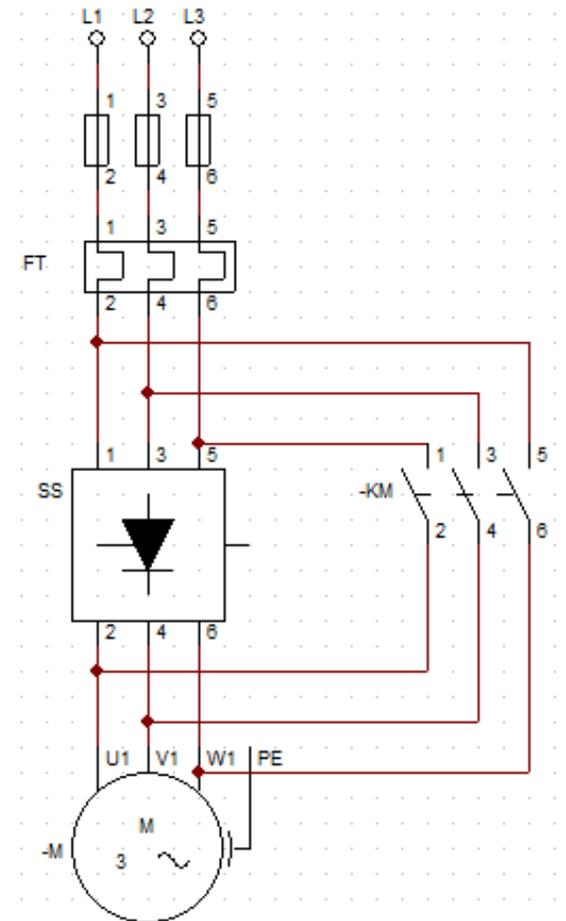
Ajusta o mínimo valor de corrente que a soft-starter permite conduzir para o motor por período de tempo pré-ajustado. Essa função é utilizada para proteção de cargas que não possam operar em vazio, como por exemplo: sistemas de bombeamento.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS DA SOFT- STARTER

- Parâmetros de leitura: variáveis que podem ser visualizadas no display mas não podem ser alteradas pelo usuário;
- Parâmetros de regulação: são os valores ajustáveis a serem utilizados pelas funções da soft-starter;
- Parâmetros de configuração: definem as características da soft-starter, as funções a serem executadas, bem como as entradas e saídas.
- Parâmetros do motor: define as características nominais do motor.

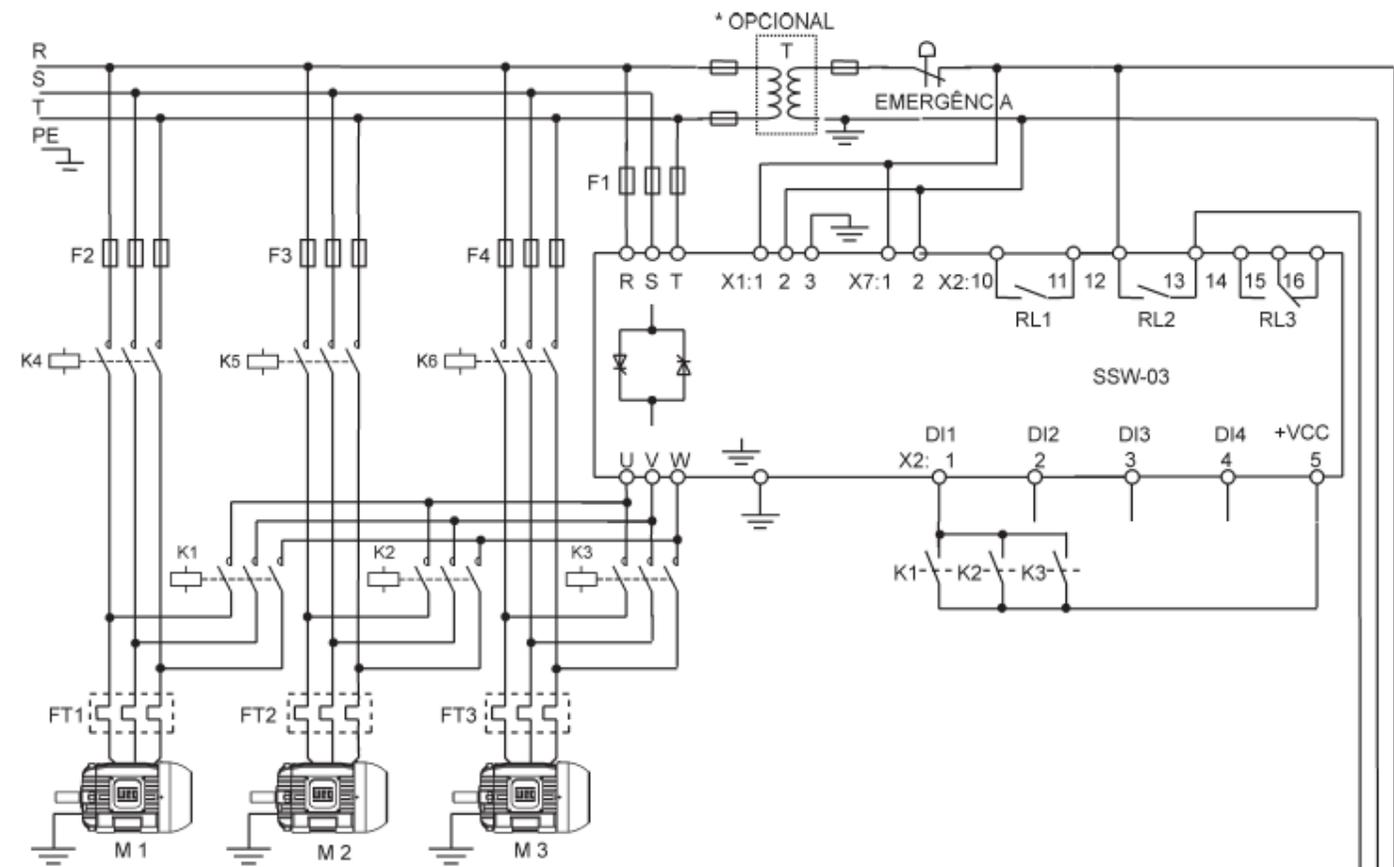
# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - FORMAS DE LIGAÇÃO DA SOFT-STARTER

**Ligação com contator em paralelo (contator de by pass):** essa ligação é feita para reduzir as perdas na soft-starter quando o motor está em regime de trabalho. Para tanto é utilizado um contator em paralelo para quando o motor estiver em regime.



# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - FORMAS DE LIGAÇÃO DA SOFT-STARTER

Ligação em partida sequencial de diversos motores: podem ser ligados diversos motores com a mesma soft-starter. Para tanto, é partido um motor, e após ser concluída a sua partida, esse motor é alimentado com a tensão da rede, e a soft-starter pode partir o outro motor.



# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - FORMAS DE LIGAÇÃO DA SOFT-STARTER

**Ligação simultânea de diversos motores:** para efetuar essa ligação, a capacidade da soft-starter deve ser maior ou igual à soma das potências de todos os motores.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - EXERCÍCIOS

1. Qual é a função de uma chave de partida soft-starter?
2. Quais as vantagens de empregar uma chave de partida soft-starter?
3. Qual o princípio de funcionamento de uma chave de partida soft-starter?
4. Descreva as principais funções de uma chave de partida soft-starter.
5. Quais são os tipos de parâmetros que podem ter uma chave de partida soft-starter?

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Definições

Acionamento - A palavra acionamento significa aqui, o conjunto compreendido pelo motor e seu sistema de partida.

Carga - A palavra carga significa aqui, o conjunto de componentes da máquina que se movem, ou que estão em contato e exercem influência sobre eles, começando a partir da ponta-de-eixo do motor.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Definições

Torque - O torque pode ser definido como “a força necessária para girar um eixo”. Ele é dado pelo produto da força tangencial  $F$  ( $N$ ) pela distância  $r$  ( $m$ ), do ponto de aplicação da força ao centro do eixo. A unidade de torque no SI (Sistema Internacional) é o  $Nm$  (Newton-metro).

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Definições

Inércia - Inércia é a resistência que uma massa oferece à modificação do seu estado de movimento. Todo corpo que tem massa tem inércia. Uma massa em repouso requer um torque (ou força) para colocá-la em movimento. Uma massa em movimento requer um torque (ou força) para modificar a sua velocidade ou para colocá-la em repouso.

O momento de inércia de massa  $J$  ( $kgm^2$ ) de um corpo depende da sua massa  $m$  ( $kg$ ) e da distribuição da massa ao redor do eixo de giro, ou seja, da sua geometria.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Relações básicas

### Torque

O torque  $T$  ( $Nm$ ) é o produto da força  $F$  ( $N$ ) necessária para girar o eixo, pela distância  $r$  ( $m$ ) do ponto de aplicação da força ao centro do eixo:

$$T = F * r$$

Este é o torque necessário para vencer os atritos internos da máquina parada, e por isso é denominado de torque estático de atrito.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Relações básicas

### Torque

Pode-se determinar o torque demandado para por em movimento uma máquina, medindo a força, por exemplo, utilizando uma chave de grifo e um dinamômetro de mola (figura 6.1).

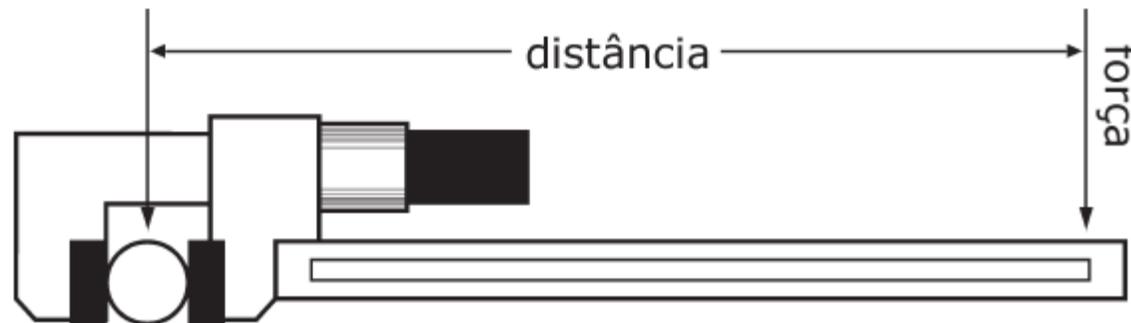


Figura 6.1: Medição de torque

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Relações básicas

### Torque

Exemplo: Se obtivermos uma leitura de força de  $75\text{ N}$  ( $\sim 7,6\text{ kgf}$ ) a  $0,6\text{ m}$  ( $600\text{ mm}$ ) do centro do eixo de entrada, o torque será:

$$T = 75 * 0,6 = 45,0\text{ Nm}$$



# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Relações básicas

### Potência

A potência  $P$  é dada pelo produto do torque  $T$  ( $Nm$ ) pela velocidade de rotação  $n$  ( $rpm$ )

$$P = \left( \frac{2 * \pi}{60} \right) * T * n$$

e a unidade é o Watt. (Lembre-se:  $1.000 W = 1 kW$ )

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Relações básicas

### Potência

Exemplo:

Se a máquina demandasse os mesmos  $45,0 \text{ Nm}$  a uma velocidade de rotação de  $1.760 \text{ rpm}$ , então a potência seria:

$$P = (2 * \pi / 60) * 45,0 * 1.760 = 8.294 \text{ W } (\sim 8,3 \text{ kW})$$

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Relações básicas

### Aceleração (desaceleração)

O torque  $T$  ( $Nm$ ) necessário para acelerar (ou desacelerar) uma carga com momento de inércia de massa (ou simplesmente inércia)  $J$  ( $kgm^2$ ), da velocidade de rotação  $n1$  ( $rpm$ ) para  $n2$  ( $rpm$ ), em um tempo  $t$  ( $s$ ), é dado por:

$$T_{dac} = (2 * \pi / 60) * J * (n2 - n1) / t$$

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Relações básicas

### Aceleração (desaceleração)

Este torque é chamado de torque dinâmico de aceleração,  $T_{dac}$ .

Se  $n2 > n1$  (aceleração),  $T_{dac}$  é positivo, significando que seu sentido é igual ao sentido de rotação;

Se  $n2 < n1$  (desaceleração),  $T_{dac}$  é negativo, significando que seu sentido é contrário ao sentido de rotação.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Relações básicas

### Aceleração (desaceleração)

Exemplo:

Um cilindro maciço de alumínio, de diâmetro  $d = 165 \text{ mm}$  e comprimento  $l = 1.200 \text{ mm}$ , e portanto com uma massa  $m$  de aproximadamente  $69,3 \text{ kg}$ , tem momento de inércia de massa  $J$  de :

$$J = \frac{1}{8} * m * D^2 = \frac{1}{8} * 69,3 * 0,165^2 = 0,235 \text{ kgm}^2$$

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Relações básicas

### Aceleração (desaceleração)

Exemplo:

Se o corpo deve acelerar de 0 a 1.760 rpm no tempo de 1,0s, então o torque de aceleração será:

$$T_{dac} = (2 * \pi / 60) * 0,236 * (1.760 - 0) / 1,0 = 43,5 Nm$$

Adicionando-se o torque de aceleração acima calculado ao torque de atrito calculado no primeiro exemplo acima, tem-se  $T = 45,0 + 43,5 = 88,5 Nm$

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Relações básicas

### Aceleração (desaceleração)

Exemplo:

Se o corpo deve acelerar de 0 a 1.760 *rpm* no tempo de 1,0s, então o torque de aceleração será:

$$T_{dac} = (2 * \pi / 60) * 0,236 * (1.760 - 0) / 1,0 = 43,5 Nm$$

Adicionando-se o torque de aceleração acima calculado ao torque de atrito calculado no primeiro exemplo acima, tem-se  $T = 45,0 + 43,5 = 88,5 Nm$

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

## Relações básicas

### Aceleração (desaceleração)

Exemplo:

Se o corpo deve acelerar de 0 a 1.760 *rpm* no tempo de 1,0s, então o torque de aceleração será:

$$T_{dac} = (2 * \pi / 60) * 0,236 * (1.760 - 0) / 1,0 = 43,5 Nm$$

Adicionando-se o torque de aceleração acima calculado ao torque de atrito calculado no primeiro exemplo acima, tem-se  $T = 45,0 + 43,5 = 88,5 Nm$

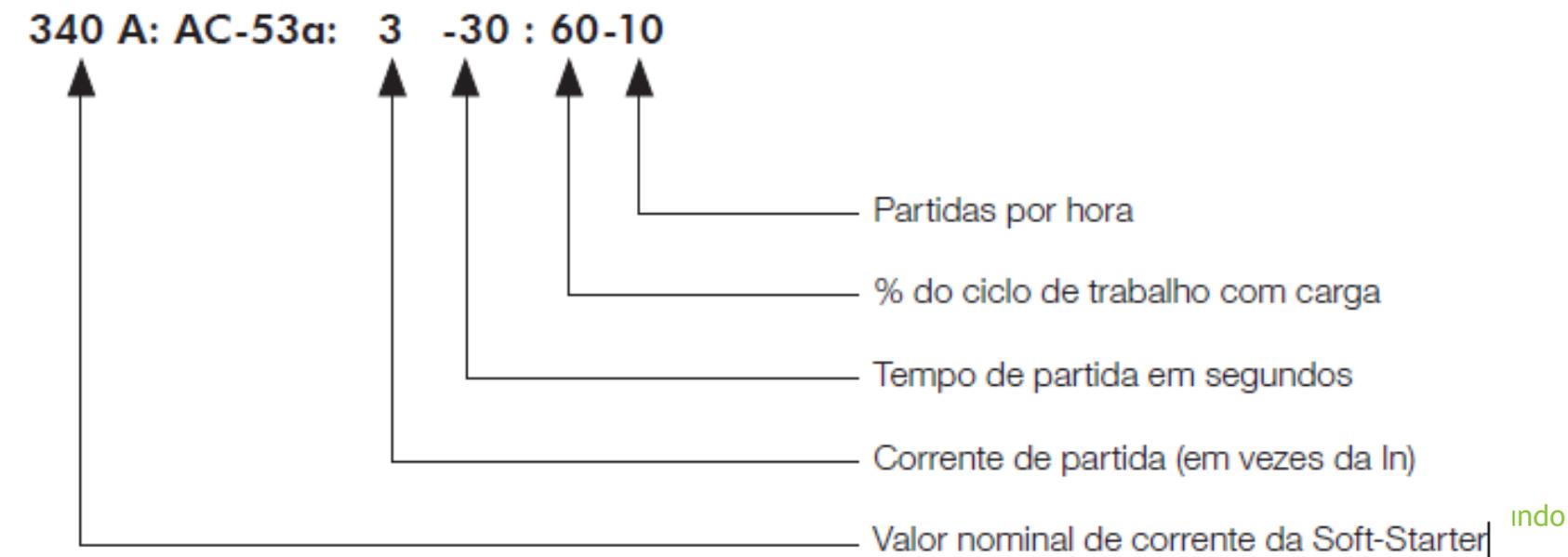
# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

Em seus itens 5 e 6, a norma IEC 60947-4-2 trata, entre outros assuntos, das categorias de utilização AC53, descrevendo como seus parâmetros definem valores nominais de uma Soft-Starter. Há dois códigos AC53:

- AC53a: para Soft-Starters usadas sem contadores de by-pass.
- AC53b: para Soft-Starters usadas com contadores de by-pass.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - DIMENSIONAMENTO DA SOFT-STARTER

Por exemplo, o código AC53a abaixo descreve uma Soft- Starter capaz de fornecer uma corrente de operação de 340 A e uma corrente de partida de  $3 \times 340A$  por 30 segundos, 10 vezes por hora, com o motor operando por 60% de cada ciclo.



# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

1 - Qual a função do Inversor de Frequência?

A função do inversor de frequência é o controle eficiente da velocidade de motores de indução trifásicos. Consiste na variação da frequência para variar a velocidade.

$$V = \frac{120 * f}{n^{\circ} \text{ polos}}$$

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

2 - Qual o princípio de funcionamento do Inversor de Frequência?

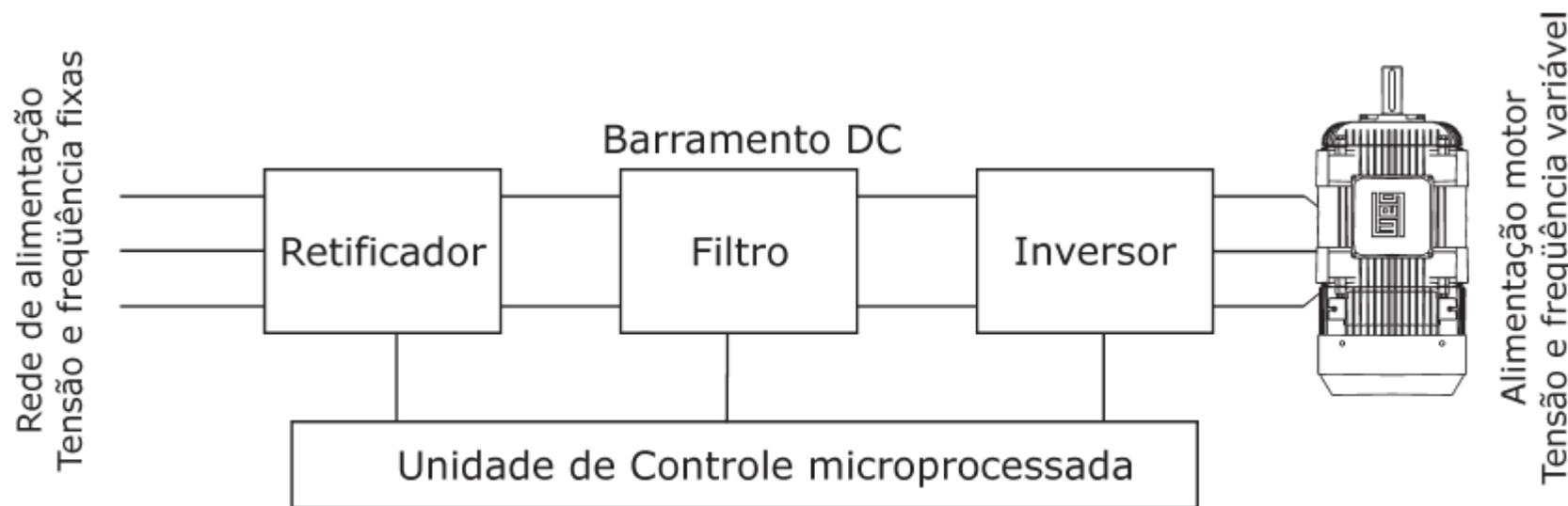
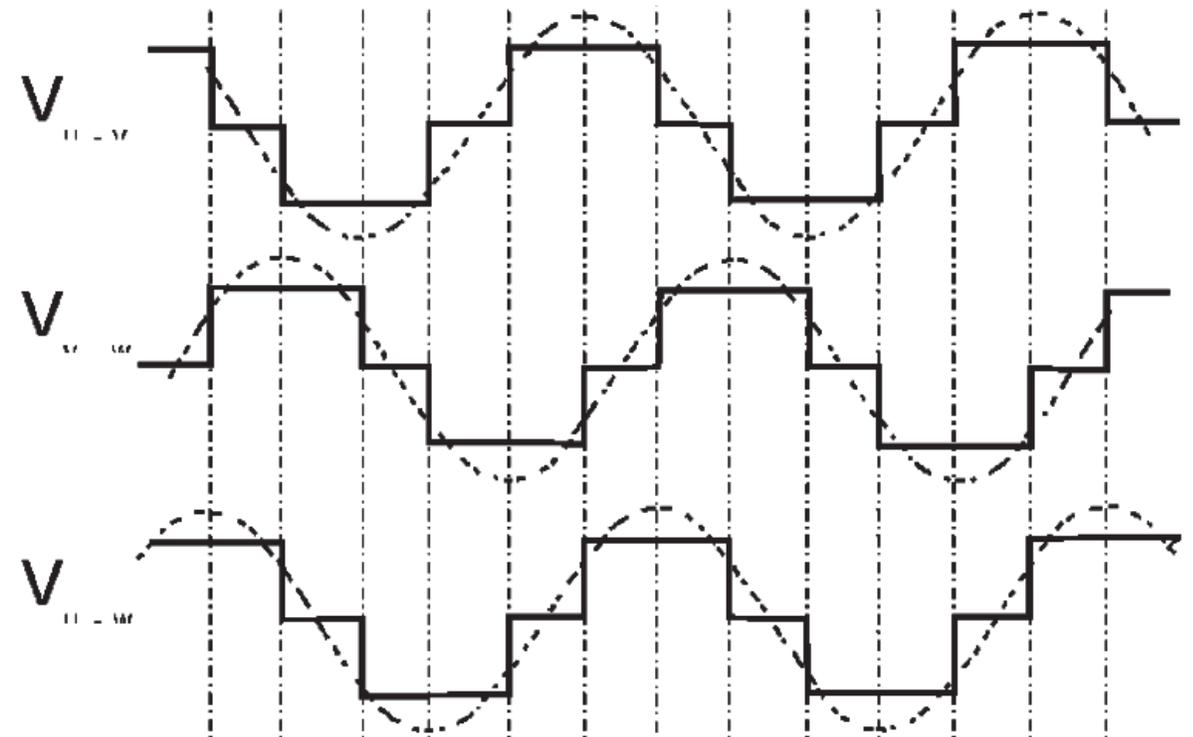
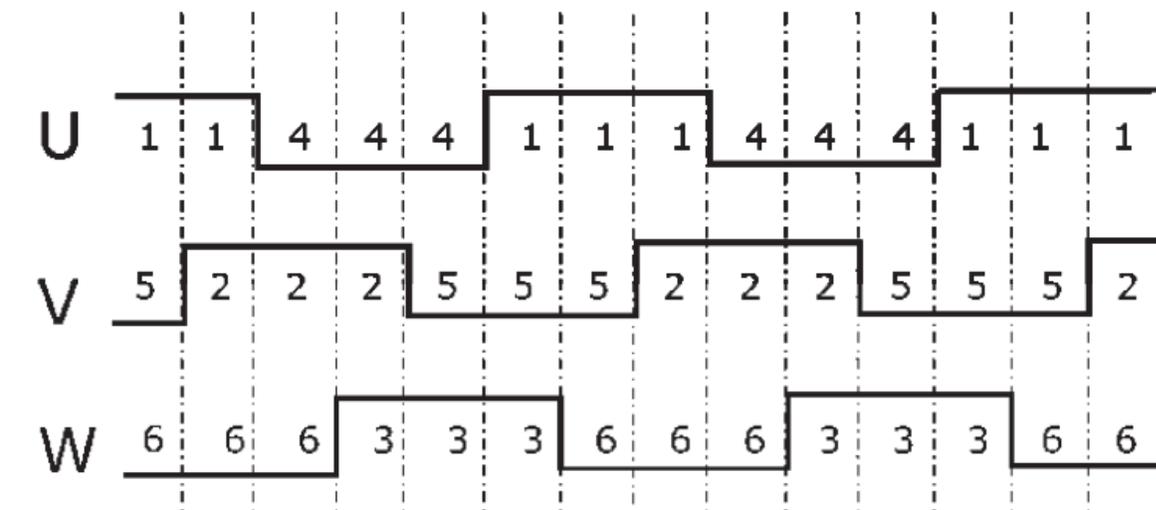


Figura 4.4

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

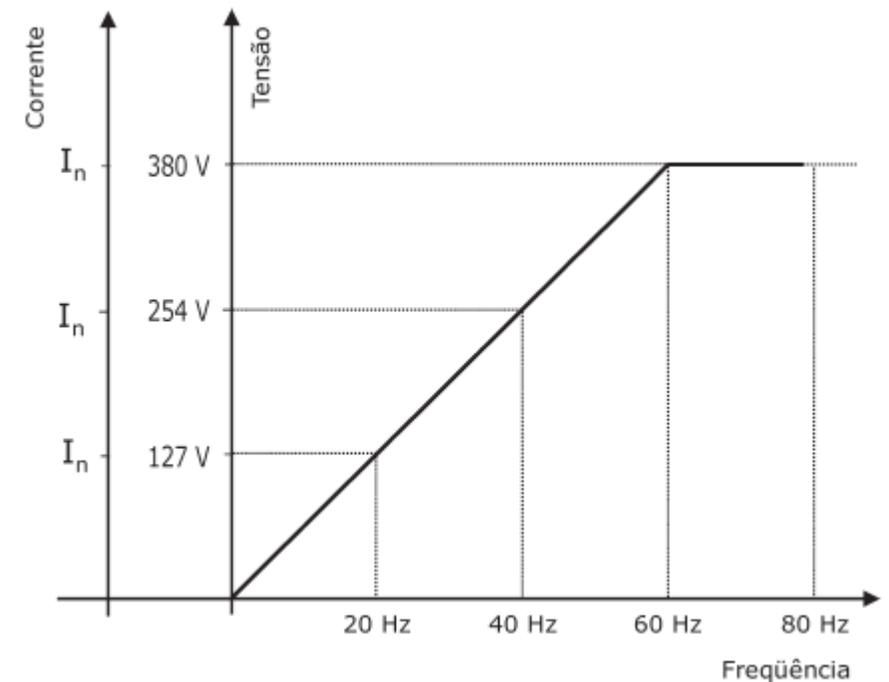
2 - Qual o principio de funcionamento do Inversor de Frequência?



# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

3 – O que é um Inversor de Frequência Escalar?

O funcionamento dos inversores de frequência com controle escalar está baseado numa estratégia de comando chamada “V/F constante”, que mantém o torque do motor constante, igual ao nominal, para qualquer velocidade de funcionamento do motor.



# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

## 3 – Defina Inversor de Frequência Vetorial?

A corrente que circula no bobinado estatórico de um motor de indução pode ser separada em duas componentes:  $I_d$ , ou corrente de magnetização (produtora de FLUXO) e  $I_q$  ou o corrente produtora de TORQUE.

A corrente total é a soma vetorial destas duas componentes.

O torque produzido no motor é proporcional ao “produto vetorial” das duas componentes

A qualidade com a qual estas componentes são identificadas e controladas define o nível de desempenho do inversor.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

## 3 – Defina Inversor de Frequência Vetorial?

Para calcular estas correntes é necessário resolver em “tempo real” uma equação que representa matematicamente o comportamento do motor de indução (modelo matemático do motor). Tempo real significa que este cálculo tem que ser feito muitas vezes por segundo, tantas vezes quanto necessário para poder controlar o motor. É por isto que este tipo de controle requer microprocessadores muito potentes que realizam milhares de operações matemáticas por segundo.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

## 3 – Defina Inversor de Frequência Vetorial?

Para resolver esta equação é necessário conhecer ou calcular os seguintes parâmetros do motor:

- Resistência do estator
- Resistência do rotor
- Indutância do estator
- Indutância do rotor
- Indutância de magnetização
- Curva de saturação

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

## 3 – Defina Inversor de Frequência Vetorial

Muitos inversores vem com estes valores pré-programados para diferentes motores, outros mais sofisticado utilizam rotinas de auto ajuste para calcular estes parâmetros, característica muito útil quando utilizados motores rebobinados ou já existentes.

Porém, em alguns sistemas que utilizam controle vetorial é necessário o uso de um encoder (tacogerador de pulsos) acoplado ao motor para que se tenha uma melhor dinâmica, o que torna o motor especial.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

## 3 – Defina Inversor de Frequência Vetorial

O inversor com realimentação por encoder é capaz de controlar a velocidade e o torque no motor, pois calcula as duas componentes da corrente do motor. Este tipo de inversores conseguem excelentes características de regulação e resposta dinâmica:

Regulação de velocidade: 0,01%

Regulação de torque: 5%

Faixa de variação de velocidade: 1:1000

Torque de partida: 400% máx.

Torque máximo (não contínuo): 400%

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

4 – Quais as vantagens do uso de inversor de frequência.

Controle de velocidade do motor, mantendo as características de torque do mesmo.

# CHAVES DE PARTIDA ELETRÔNICAS - INVERSOR DE FREQUÊNCIA

Dimensionamento

# REFERENCIAS

MAYA, Paulo Alvaro; LEONARDI, Fabrizio. Controle essencial. 2. ed. São Paulo, SP: Pearson, 2014. 347 p. ISBN 9788543002415.

**MUITO**  
**OBRIGADO**

Alexsander Furtado Carneiro  
Professor de Eletrotécnica

[www.ifsul.edu.br](http://www.ifsul.edu.br)  
E-mail de contato  
**TELEFONE DE CONTATO**