

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM APERFEIÇOAMENTO DE MÁQUINAS**



**RODRIGO SALES DE FREITAS**

**SOFT-STARTER: Definição e aplicação de Soft-Starter - Acionamentos  
tiristorizados**

**Rio de Janeiro**

**2012**

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM APERFEIÇOAMENTO DE MÁQUINAS**

**RODRIGO SALES DE FREITAS**

**SOFT-STARTER: Definição e aplicação de Soft-Starter - Acionamentos  
tiristorizados**

Monografia entregue à Superintendência de Ensino do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha por Rodrigo Sales de Freitas, sob orientação do Prof. Henrique Iglesias Paz, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas.

**Rio de Janeiro**

**2012**

Monografia entregue em 31 / 05 / 2012, na conclusão do Programa de Pós-Graduação do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, para obtenção do título de Aperfeiçoamento para Oficial de Máquinas.

Banca examinadora

---

Prof.

---

Prof.

---

Prof.

Média final: \_\_\_\_\_

## DEDICATÓRIA

Dedico essa monografia  
a minha família que  
sempre me ajudou nos  
momentos mais difíceis.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço a Deus por estar sempre ao meu lado em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais por tudo que me proporcionaram. Qualquer palavra de agradecimento nunca será capaz de demonstrar o quanto tenho a agradecer.

A minha esposa Ludmilla que tem demonstrado paciência e carinho comigo durante essa jornada.

Aos meus familiares, que mesmo alguns distantes sempre me apoiaram e incentivaram.

Aos amigos próximos e distantes por todo apoio e confiança.

Ao meu orientador Professor Iglesias que muito me ajudou na realização desta monografia, me indicando o caminho correto a seguir.

## RESUMO

O atual trabalho tem como o finalidade pesquisar sobre o Soft-Starter, mostrando todas as suas vantagens e desvantagens para um acionamento suave, controlado e com múltiplos recursos disponibiliza dos pelo controle digital.

Primeiramente explicando o funcionamento das chaves de partida convencionais. Em seguida demonstrando as características, funções, aplicações e parâmetros que o Soft-Starter possui o que faz dele uma tendência quando é comparado com as chaves de partida convencionais.

Palavras-chave: Soft-Starter, vantagem e desvantagem, tendência.

## **ABSTRACT**

This work has as objective to research about the Soft-Starter, showing all its advantages and disadvantages to activate smoothly and automatically, with multiple resources provided by digital control.

First explaining the operation of the conventional starting keys. Besides demonstrating the features, functions, applications and parameters of the Soft-Starter, this way makes its a trend when it's compared with the conventional starting keys.

Keywords: Soft-Starter, advantage and disadvantage, trend

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Partida direta.....	15
Figura 2 – Partida estrela-triângulo.....	16
Figura 3 – Chave série-paralelo, usando nove cabos do motor.....	18
Figura 4 – Circuito de controle simplificado do thyatron.....	21
Figura 5 – Curva da tensão na carga.....	22
Figura 6 – Representação do SCR.....	23
Figura 7 – Circuito de teste do SRC.....	24
Figura 8 – Bloco diagrama simplificado.....	25
Figura 9 – Dois tiristores em anti-paralelo.....	26
Figura 10 – SCRs no circuito de força do motor (ligação “fora” do delta do motor)..	27
Figura 11 – Snubber.....	28
Figura 12 – Rampa de tensão aplicada ao motor na aceleração.....	29
Figura 13 – Perfil de tensão na desaceleração.....	31
Figura 14 – Representação gráfica da função “kick Start”.....	32
Figura 15 – Equilíbrio entre conjugado e tensão.....	35
Figura 16 - Pulso “kick-start” usado na partida de cargas com alto atrito inicial.....	43
Figura 17 – Instalação típica da Soft-Starter entre a rede e o motor (baixa tensão)..	47
Figura 18 – Instalação da Soft-Starter entre a rede e o motor.....	50
Figura 19 – Instalação da Soft-Starter dentro da ligação do delta do motor.....	50
Figura 20 – Ligação serie paralelo Y.....	51



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Soluções para bomba centrífuga.....	44
Tabela 2 - Soluções para compressor.....	44
Tabela 3 - Soluções para bomba de vácuo (palheta).....	45
Tabela 4 - Soluções para bomba de vácuo (pistão).....	45
Tabela 5 – Soluções para ventilador/exaustor.....	46
Tabela 6 - Soluções para centrífuga.....	46

## SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABELAS.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. MÉTODOS DE CHAVES DE PARTIDA.....	14
2.1 Categorias de Partida.....	14
2.2 Os tipos mais comuns para redução da tensão de partida.....	14
2.2.1 Partida direta:.....	14
2.2.2 Partida estrela - triangulo:.....	16
2.2.3 Partida série - paralelo:.....	17
2.2.4 Partida compensadora:.....	19
2.2.5 Partida eletrônica (Soft-Starter):.....	20
3. SOFT-STARTER E SEUS COMPONENTES.....	21
3.1 Características do Tiristores.....	21
3.2 Thyatron.....	21
3.3 SCR (Silicion Controlled Rectifier).....	23
4. O QUE É UM SOFT-STARTER?.....	25
4.1 Princípio de funcionamento de um Soft-Starter.....	25
4.1.1 Circuito de Potência.....	26
4.1.2 Circuito de Controle.....	28

4.2 Principais características:.....	29
4.2.1 Rampa de tensão na aceleração.....	29
4.2.2 Rampa de tensão na desaceleração.....	30
4.2.3 Golpe de Aríete.....	31
4.2.4 Kick Start.....	32
4.2.5 Limitação de Corrente.....	33
4.2.6 Pump Control.....	34
4.2.7 Economia de Energia.....	35
5. PARÂMETROS DA SOFT-STARTER.....	36
5.1 Parâmetro de Leitura.....	36
5.2 Parâmetros de Regulação.....	37
5.3 Parâmetro de Configuração.....	37
5.4 Parâmetros do Motor.....	37
5.5 Erros e Possíveis Causas.....	38
6. MOTOR + SOFT-STARTER.....	39
6.1 A importância do processo/máquina.....	39
6.1.1 Acionamento de acionamentos elétricos-Problemas típicos.....	39
6.2 O que a carga requer?.....	40
6.2.1 Tipos de cargas:.....	41
7. APLICAÇÕES IMPORTANTES.....	42
7.1 Bombas:.....	42
7.2 Compressores:.....	43
7.3 Ventiladores:.....	43
7.4 Funções Típicas:.....	43

7.4.1 Máquinas com partidas leves.....	44
7.4.2 Máquinas com partidas severas.....	45
8. INSTALAÇÃO DA SOFT-STARTER.....	47
8.1 Ligação padrão entre a rede e o motor(“fora” da ligação delta do motor).....	47
8.1.1 Chave Seccionadora.....	48
8.1.2 Fusíveis ou disjuntor.....	48
8.1.3 Contator.....	48
8.1.4 Fiação de controle e interface Homem-Máquina.....	48
8.1.5 Correção do fator de potência.....	48
8.1.6 Aterramento.....	49
8.2 Ligação dentro do delta do motor.....	49
8.2.1 Ligação dos terminais de motores com tensões múltiplas.....	51
8.3 Cuidados:.....	53
9. CONCLUSÃO:.....	54
10. BIBLIOGRAFIA:.....	55

## 1. INTRODUÇÃO

O atual estado de desenvolvimento dos acionamentos elétricos concentra o resultado de um longo período de descobertas e tentativas, em diversas áreas do conhecimento, para movimentar nossas máquinas cada vez mais sofisticadas e exigentes.

A Soft-Starter hoje já é uma alternativa para paradas e partidas de motores trifásicos de indução. A evolução dos processos e máquinas elétricas a bordo de navios mercantes criou um ambiente propício ao acionamento suave, controlado e com múltiplos recursos disponibilizados pelo controle digital. Indo além, há uma maior consciência de que nossos recursos exigem conservação cuidadosa, o que faz da Soft-Starter um equipamento em sintonia com o cenário energético atual, colaborando para o uso racional de nossas instalações. Trata-se de um equipamento operacionalmente amigável e flexível, que possibilita uma série de ajustes, alcançando a melhor condição de partida de uma série de aplicações.

Entender o funcionamento da Soft-Starter é importante para construir uma base sólida de conhecimentos, a partir da qual o usuário do equipamento poderá desenvolver sua capacidade de aplicação do produto, isso implica em uma nova atribuição do oficial de máquinas, fazendo-se necessário o aperfeiçoamento do profissional.

O oficial de máquinas deve ser capaz de solucionar distúrbios que possam afetar acionamento tiristorizado de máquinas C.C., minimizando o tempo gasto na solução de contingências e evitando gastos que seriam realizados pelas empresas ao recorrer a profissionais em terra. Esse assunto tem grande relevância na formação técnica do oficial de máquinas tendo em vista que as empresas de navegação estão diminuindo a tripulação, com isso tripulante como eletricitas, enfermeiros, entre outros estão se tornando cada vez mais raros a bordo obrigando os oficiais a estarem aptos a realizar atividades que antes não seriam realizadas por ele.

## **2. MÉTODOS DE CHAVES DE PARTIDA**

### **2.1 Categorias de Partida**

Os métodos de comando de um motor de indução são combinados com equipamentos eletromecânicos, elétricos e eletrônicos. Estes equipamentos permitem acelerar (partir) e desacelerar (frenar) o motor de acordo com requisitos impostos pela carga, segurança, concessionárias de energia elétrica e etc.

Conforme as suas características de torque em relação à velocidade e corrente de partida, os motores de indução trifásicos com rotor de gaiola, são classificadas em categorias, cada adequada a um tipo de carga. Estas categorias são definidas em norma (NBR 7094), e são as seguintes:

#### **a) Categoria N**

Constituem a maioria dos motores encontrados no mercado e prestam-se ao acionamento de cargas normais, como bomba, máquinas operatrizes e ventiladores.

#### **b) Categoria H**

Usados para cargas que exigem maior torque na partida, como peneiras, transportadores carregadores, cargas de alta inércia, britadores e etc.

#### **c) Categoria D**

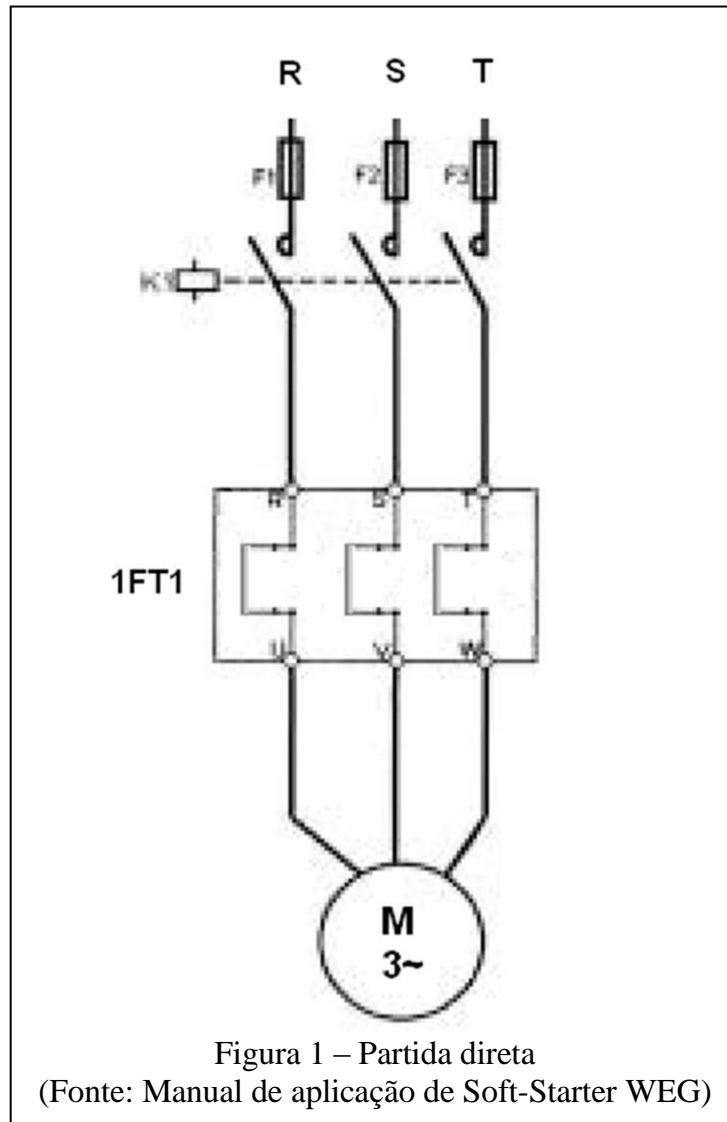
Usados em prensas excêntricas e máquinas semelhantes, onde a carga apresenta picos periódicos. Também em elevadores e cargas que necessitam de torques de partida muito alto e corrente de partida limitada.

### **2.2 Os tipos mais comuns para redução da tensão de partida**

#### **2.2.1 Partida direta:**

A maneira mais simples de partir um motor de indução é a chamada partida direta, aqui o motor é ligado à rede diretamente através de um contato (ver a figura 1). Porém deve-se observar que para este tipo de partida existe m restrições de

utilização. A corrente de partida de um motor de indução quando ligado diretamente à tensão da rede é 5 a 8 vezes maior que a corrente nominal. Por este motivo e fundamentalmente para motores de grande porte, a partida direta não é utilizada.



➤ Vantagens:

1. Menor custo de todas;
2. Muito simples de programar;
3. Alto torque de partida.

➤ Desvantagens:

1. Alta corrente de partida, provocando queda de tensão na rede de alimentação. Em função disto pode provocar interferência em equipamentos ligados na mesma instalação;

2. É necessário sobre dimensionar cabos e contatores;
3. Limitação de número de manobras/hora;
4. Picos de torque.

### 2.2.2 Partida estrela - triângulo:

Este tipo de partida só pode ser utilizado em motores que possuam ligação em dupla tensão (por exemplo, 3x338V e 3x220V). A menor tensão de rede deve ser igual à tensão de rede e a outra 1,73 vezes maior. (Ex: 220/380V, 380/660V). Esta partida é implementada com dois contatores como mostra a figura 2. Na partida o motor é ligado na conexão de maior tensão, isto possibilita uma redução de até 1/3 da corrente de partida do motor.

A partida estrela-triângulo poderá ser usada quando a curva de torque do motor for suficientemente elevada para que possa garantir a aceleração da máquina com a corrente reduzida, ou seja, o torque do motor quando ele estiver em estrela.

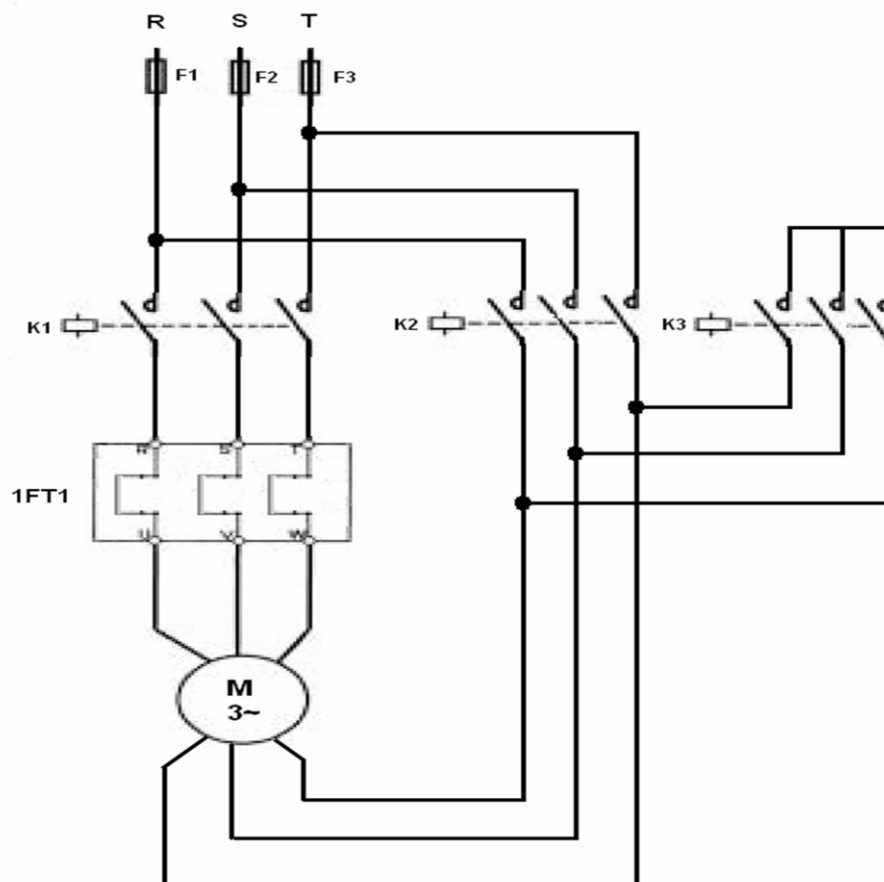


Figura 2 – Partida estrela-triângulo  
(Fonte: Manual de aplicação de Soft-Starter WEG)



➤ Vantagens:

1. Custo reduzido;
2. A corrente de partida é reduzida a  $1/3$  quando comparada com a partida direta;
3. Não existe limitação do número de manobras/hora.

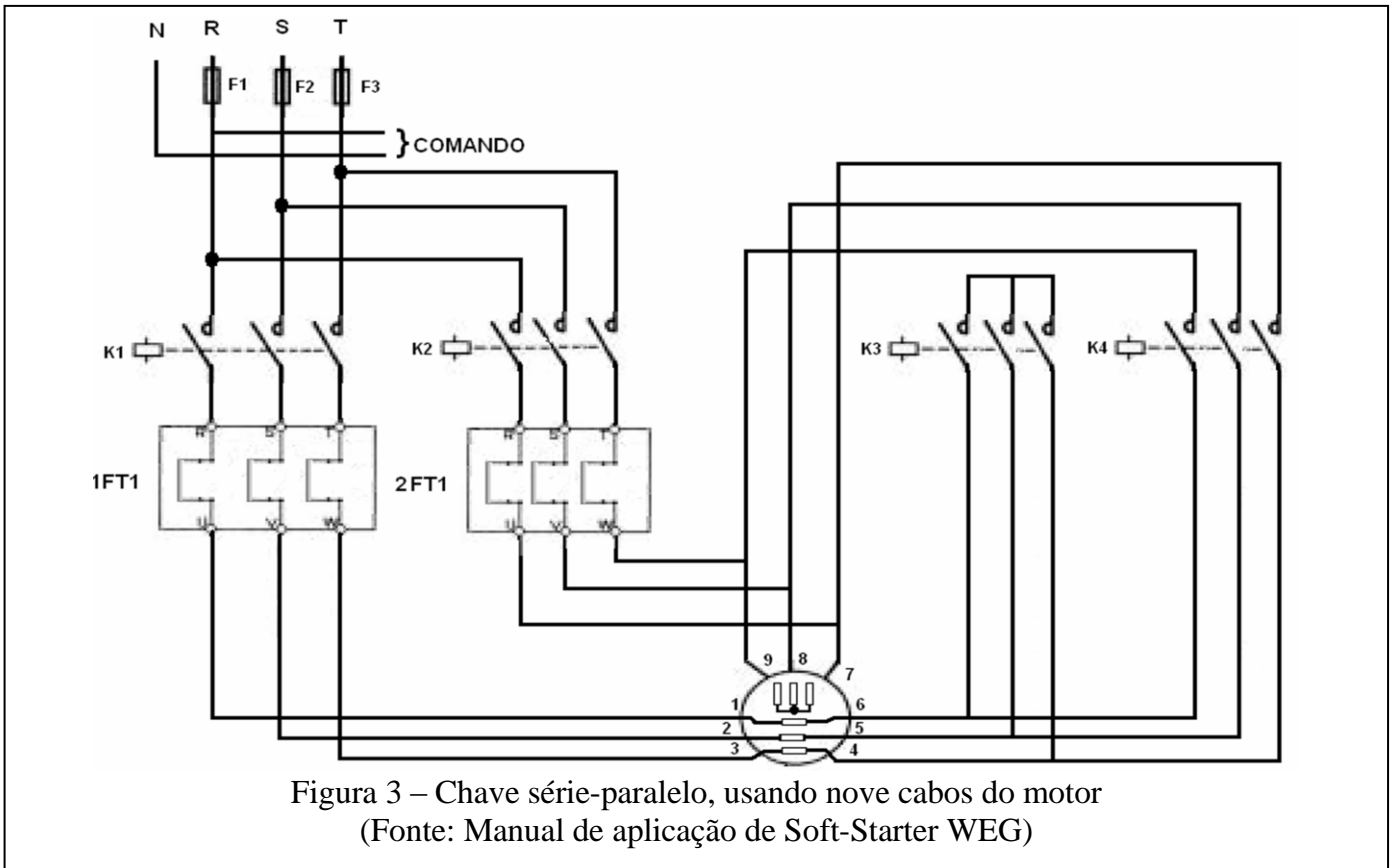
➤ Desvantagens:

1. Redução do torque de partida a aproximadamente  $1/3$  no nominal;
2. São necessários motores com seis bornes;
3. Caso o motor não atinja pelo menos 90% da velocidade nominal, o pico de corrente na comutação de estrela para triângulo é equivalente ao da partida direta;
4. Em casos de grande distância entre o motor e a chave de partida, o custo é levado devido à necessidade de seis cabos.

### **2.2.3 Partida série - paralelo:**

Este tipo de partida só pode ser utilizado em motores que possibilitam a ligação em dupla tensão. A menor das duas tensões deve ser igual à tensão da rede e a outra deve ser o dobro. Por exemplo: 220V-440V (mais comuns), ou outros valores de tensão de rede seguindo a mesma regra: 230V-460V e etc.

Para tanto, o motor deve dispor de 9 ou 12 terminais de ligação, para permitir as ligações triângulo série-paralelo ou estrela série-paralelo. No momento da partida a corrente fica reduzida para 25 a 33% da corrente de partida direta, entretanto o mesmo ocorre com o torque, restringindo o uso desta chave para partidas em vazio.



➤ Vantagens:

1. Custo reduzido;
2. A corrente de partida é reduzida a  $\frac{1}{4}$  quando comparada com a partida direta.

➤ Desvantagens:

1. Redução do torque de partida aproximada mente  $\frac{1}{4}$  do torque da partida nominal;
2. São necessários motores com pelo menos nove bornes (ou seja, capacidade de fechamento das bobinas para tensão igual á duas vezes a tensão da rede);
3. Caso o motor não atinja pelo menos 90% da velocidade nominal, o pico de corrente na comutação da ligação é equivalente ao da partida direta;
4. Em casos de grande distancia entre motor e chave de partida, o custo é elevado devido à necessidade de nove cabos.

#### 2.2.4 Partida compensadora:

Esta chave de partida alimenta o motor com tensão reduzida em suas bobinas, na partida. A redução de tensão nas bobinas (apenas durante a partida) é feita através da ligação de um autotransformador em série com as mesmas. Após o motor ter acelerado as bobinas passam a receber tensão nominal. A redução da corrente depende do TAP em que o autotransformador estiver ligado.

TAP 65%: Redução para 42% do seu valor de partida direta.

TAP 80%: Redução para 64% do seu valor de partida direta.

A chave de partida compensadora pode ser usada para motores que partem com alguma carga. O conjugado disponibilizado pelo motor durante a partida com tensão reduzida pela compensadora. Os motores podem ter tensão única e, apenas, três cabos disponíveis.

➤ Vantagens:

1. Capacidade de partir com alguma carga;
2. Possibilidade de algum ajuste de tensão de partida, selecionando (conectando) o TAP no transformador;
3. Necessário apenas três terminais disponíveis no motor;
4. Na passagem da tensão reduzida para a tensão da rede, o motor não é desligado e o segundo pico é bem reduzido.

➤ Desvantagens:

1. Tamanho e peso do autotransformador;
2. Numero de partidas por hora limitada;
3. Custo adicional do autotransformador.

### **2.2.5 Partida eletrônica (Soft-Starter):**

Além da vantagem do controle da corrente durante a partida, a chave eletrônica apresenta também a vantagem de não possuir partes moveis. Ainda como um recurso adicional, a soft-starter apresenta a possibilidade de efetuar a desaceleração suave das cargas de baixa inércia. Será abordada em profundidade no decorrer do trabalho. Terá suas vantagens e desvantagens abordadas em profundidade no decorrer do trabalho.

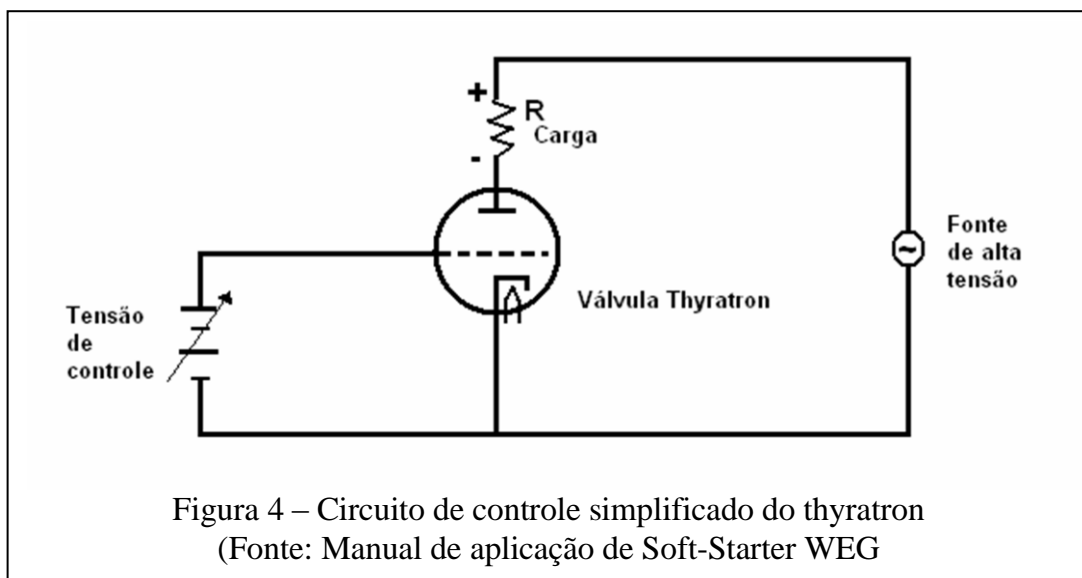
### 3. SOFT-STARTER E SEUS COMPONENTES

#### 3.1 Características do Tiristores

Tiristores são componentes que exibem uma propriedade marcante, de maneira geral, ele não retorna ao seu estado original depois que a causa da sua mudança de estado tenha desaparecido. Eles são componentes semicondutores que tendem a permanecer ligados, uma vez ligados, e tendem a permanecer desligados, uma vez desligados. Um evento momentâneo é capaz de ligá-los ou desligá-los, e assim eles permanecerão por conta própria mesmo que a causa de mudança de estado tenha sido eliminada.

#### 3.2 Thyatron

Nas válvulas thyatron pode-se observar comportamentos semelhantes à do ar durante a ocorrência de um relâmpago, com a diferença de que a válvula pode ser disparada por um pequeno sinal. O thyatron é essencialmente um gás que pode conduzir corrente com uma pequena tensão de controle aplicada entre o grid e o cátodo, e desligado reduzindo-se a tensão plate-catodo.



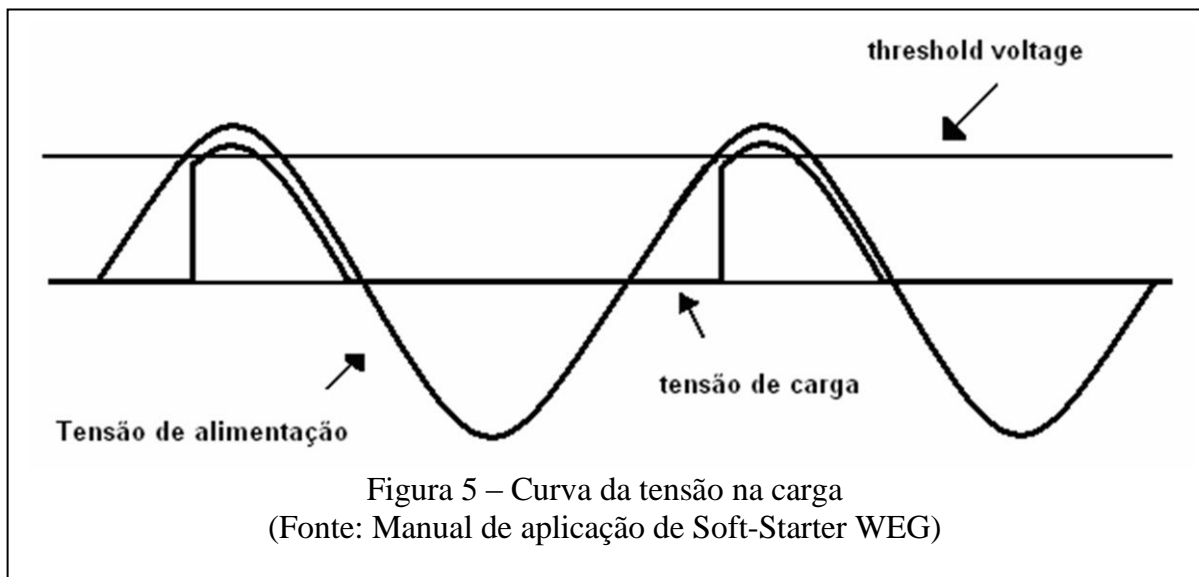
No circuito visto acima a válvula thyatron permite corrente através da carga em uma direção (note a polaridade através da carga resistiva) quando disparado

pela pequena tensão DC de controle conectada entre o grid e o cátodo. O “pontinho” dentro do círculo do símbolo esquemático indica preenchimento com gás, em oposição ao vácuo verificado em outras válvulas.

Observe que a fonte de alimentação da carga é alternada, o que dá uma dica de como o thyatron desliga após ter sido disparado: uma vez que a tensão AC periodicamente passa por zero volt a cada meio ciclo, a corrente será interrompida periodicamente. Esta breve interrupção permite a válvula resfriar e retornar o seu estado “desligado”.

Condução de corrente pode prosseguir apenas se há tensão suficiente aplicada pela fonte AC e se a tensão DC de controle permitir.

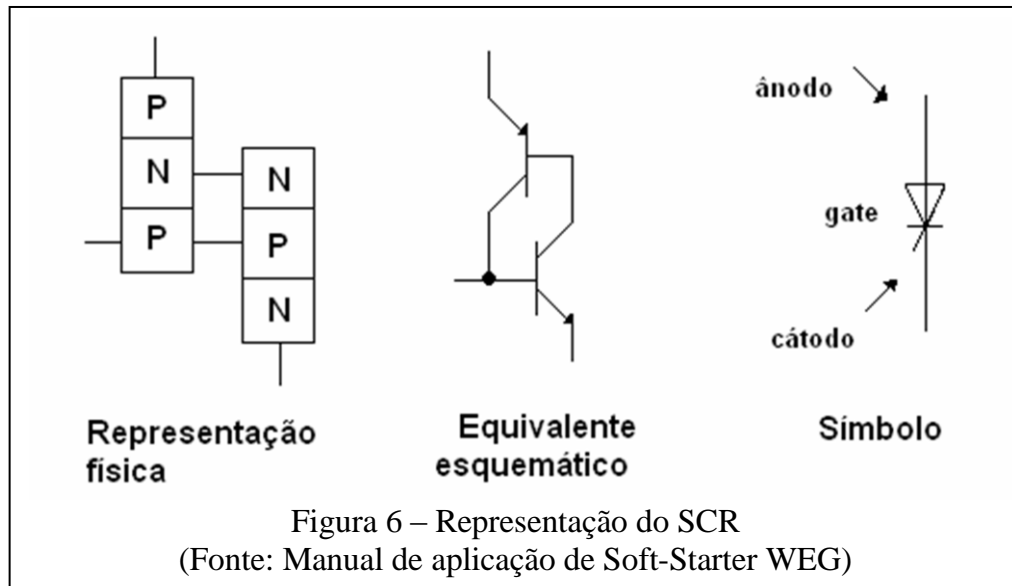
Um osciloscópio indicaria a tensão na carga conforme figura 5:



Enquanto a fonte de tensão sobe, a tensão na carga permanece zero, até que o valor de threshold voltage seja atingido. Neste ponto a válvula começa a conduzir, seguindo a tensão da fonte até a próxima fase do ciclo. A válvula permanece em seu estado “ligado”, mesmo após a tensão reduzir-se abaixo do valor de disparo (threshold voltage). Como os thyatron são on-way, não há condução no ciclo negativo. Em circuitos práticos, poder-se-ia arranjar vários thyatron para formar um retificador de onda completa. Thyatron tornaram-se obsoletos com o surgimento dos tiristores, exceto para algumas aplicações muito especiais, devido à possibilidade de thyatrons lidar com valores altíssimos de tensão e corrente.

### 3.3 SCR (Silicium Controlled Rectifier)

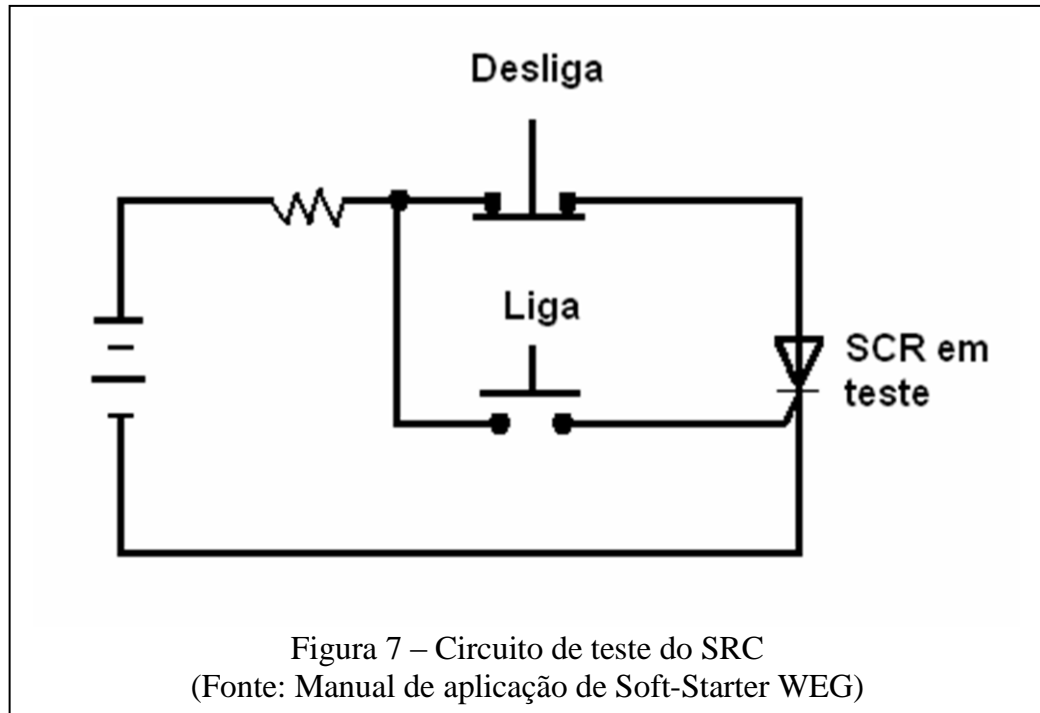
Começando com a representação do SCR para poder entender melhor o seu funcionamento:



Representado da maneira acima o SCR assemelha-se a dois transistores bipolares interligados, um PNP e outro NPN. Há três maneiras de “dispará-los”:

- Com uma variação de tensão;
- Ultrapassando-se um limite de tensão;
- Aplicando-se a tensão entre o gate e cátodo.

A última maneira é, na prática, a única desejada. Os SCR's normalmente são escolhidos com valor de tensão de breakover bem superior a tensão esperada no circuito. O circuito de teste de um SCR é excelente para entender sua operação.



Uma fonte DC é usada para energizar o circuito, e dois botões com retorno são usados para “disparar” e para “deserregizar” o SCR. Pressionado o botão “liga” conecta-se o gate ao ânodo, permitindo corrente de um terminal da bateria através da junção PN do cátodo-gate, através do contato do botão, da carga resistiva e da volta ao outro terminal da bateria. Esta corrente de gate deve ser suficiente para o SCR “selar” na posição “ligado”. Mesmo soltando o botão, o SCR deve permanecer conduzido.

Pressionar o botão desligar (normalmente fechado) corta a corrente e força o SCR desligar. Se neste teste o SCR não “selar” o problema pode ser o valor ôhmico da carga. O SCR de um valor mínimo de corrente de carga para permanecer conduzindo. A maioria das aplicações para o SCR é controle em AC, apesar dos SCR serem inerentemente DC (unidirecionais).

Se for necessário um circuito bidirecional, vários SCR podem ser usados (um ou mais em cada direção) para lidar com a corrente de ambas as fases do ciclo, positiva e negativa. O principal motivo do uso do SCR em circuitos de força AC é a sua resposta a onda AC, trata-se de um componente que permanece conduzindo (como o thyatron, seu precursor) uma vez estimulado e até que a corrente da carga passe por zero.



## 4. O QUE É UM SOFT-STARTER?

### 4.1 Princípio de funcionamento de um Soft-Starter

O funcionamento das soft-starters está baseado na utilização de uma ponte tiristorizada (SCR's) na configuração antiparalelo, que é comandada através de uma placa eletrônica de controle, a fim de ajustar a tensão de saída, “conforme programação feita anteriormente pelo usuário”. Esta estrutura é apresentada na figura 8.

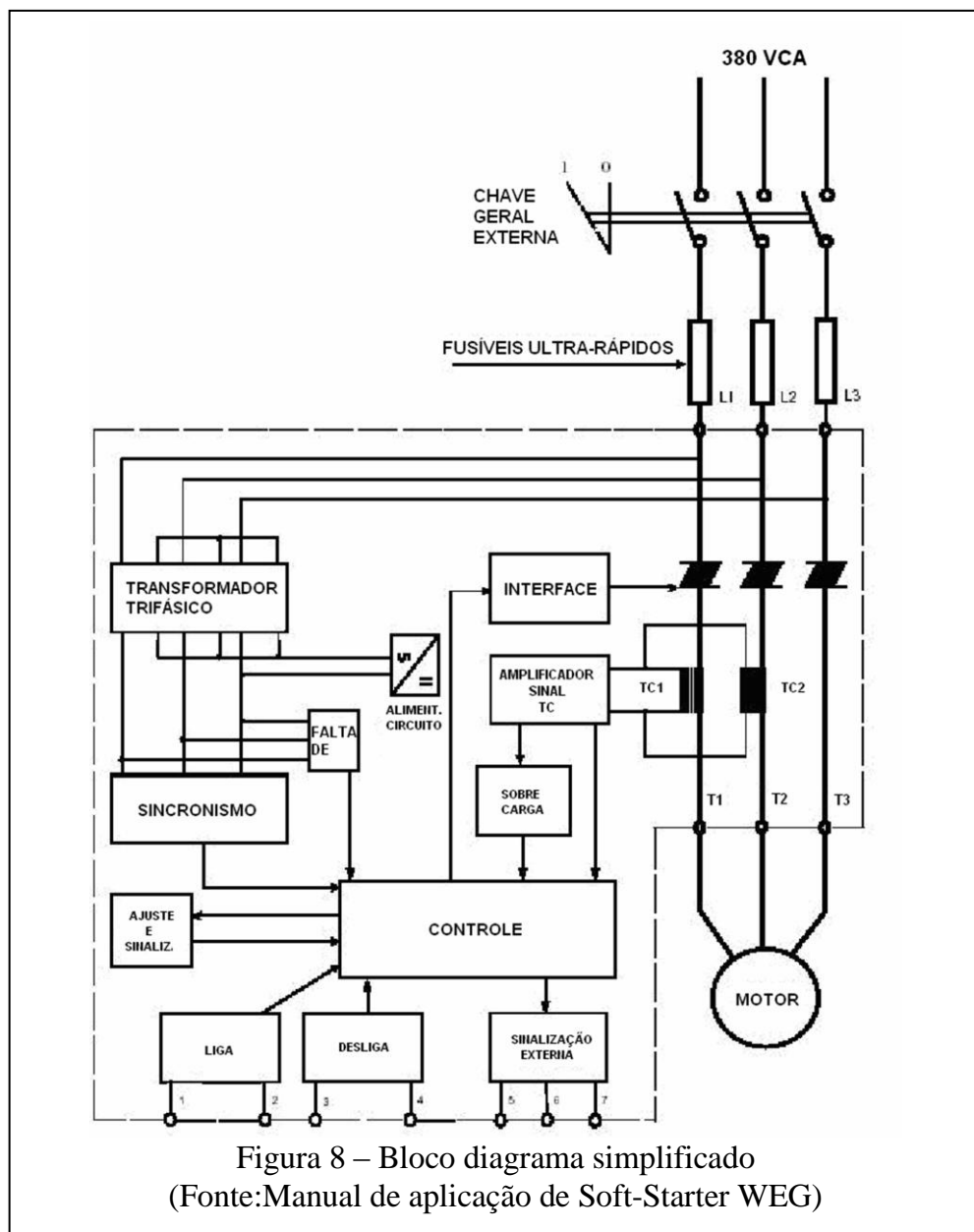
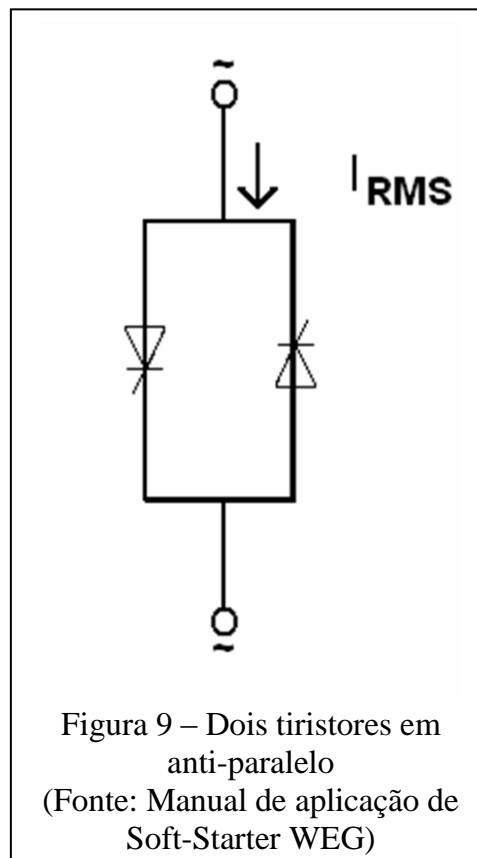


Figura 8 – Bloco diagrama simplificado  
(Fonte:Manual de aplicação de Soft-Starter WEG)

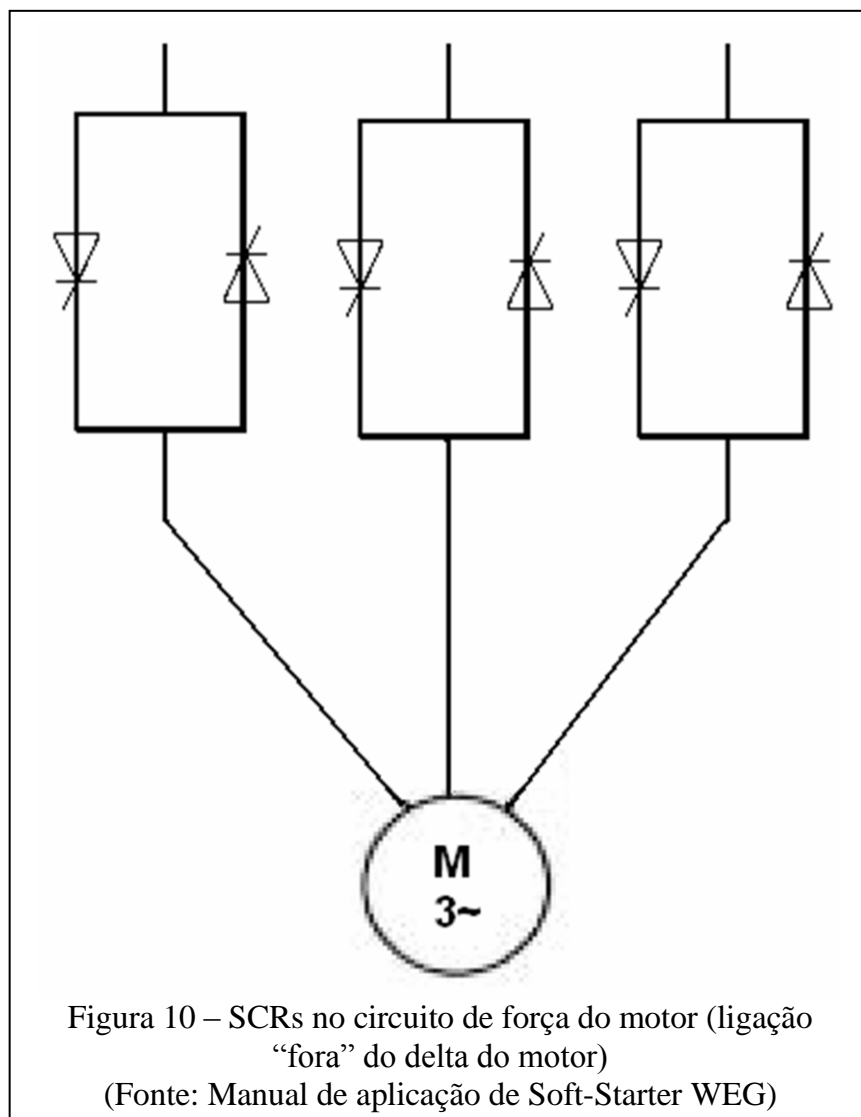
Como podemos ver, a Soft-Starters controla a tensão da rede através do circuito de potência, constituído por seis SCRs, onde variando o ângulo de disparo dos mesmos, variamos o valor eficaz de tensão da aplicada ao motor. A seguir faremos uma analisa mais atenciosa de cada uma das partes individuais desta estrutura, já que notamos nitidamente que podemos dividir a estrutura acima em duas partes: o circuito de potência e o circuito de controle.

#### 4.1.1 Circuito de Potência

Como já sabemos a etapa de potência da soft-starter tem como principais componentes os tiristores SCR (Silicion Controlled Rectifier). Controlando o ângulo de disparo do SCR, podemos controlar a tensão média aplicada à carga, controlando assim a sua corrente e potência. Numa soft-starter, o controle da tensão tem que ser feita nos dois sentidos da corrente, devendo ser utilizada a configuração antiparalelo de dois SCR por fase conforme indicado na figura abaixo.



Neste caso, tem-se o controle da tensão das duas metades do ciclo, mediante os disparos nos Gates provenientes do circuito de controle. Na figura 18 (pag50) temos um diagrama simplificado do circuito de potência de uma soft-starter, onde notamos o uso dos pares de tiristores (SCR) em antiparalelo em cada fase do circuito. Mediante um circuito de controle para os disparos dos tiristores, a tensão a ser aplicada no motor pode ir crescendo linearmente, tendo com isso um controle da corrente de partida do motor. Ao final da partida do motor, o motor terá sobre seus praticamente toda a tensão da rede.



Para evitar disparos acidentais do SCR, instala-se em paralelo com os mesmos um capacitor e um resistor conforme indicado na figura 12. Este circuito

auxiliar é denominado de Snubber e tem como finalidade evitar o disparo por  $dv/dt$  (variação abrupta da tensão num pequeno intervalo de tempo).

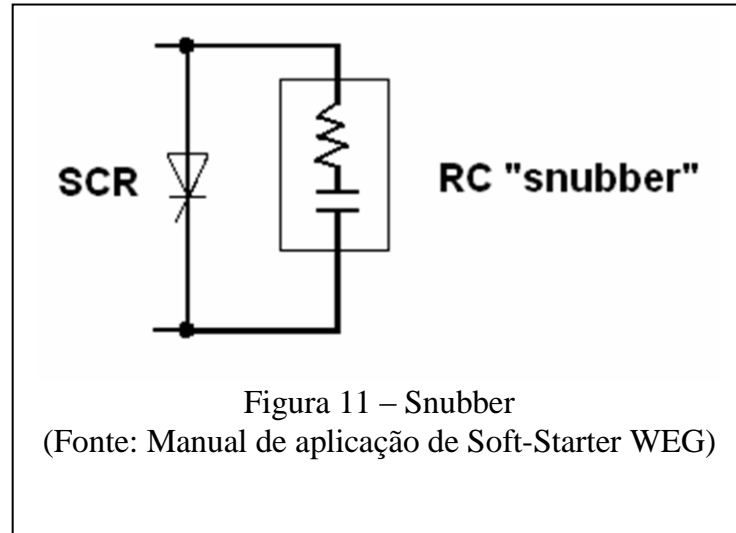


Figura 11 – Snubber  
(Fonte: Manual de aplicação de Soft-Starter WEG)

Para se fazer a monitoração da corrente na saída da Soft-starter, instala-se transformadores de corrente, permitindo com isso que o controle eletrônico efetue a proteção e manutenção do valor de corrente em níveis pré-definidos (função limitação de corrente ativada).

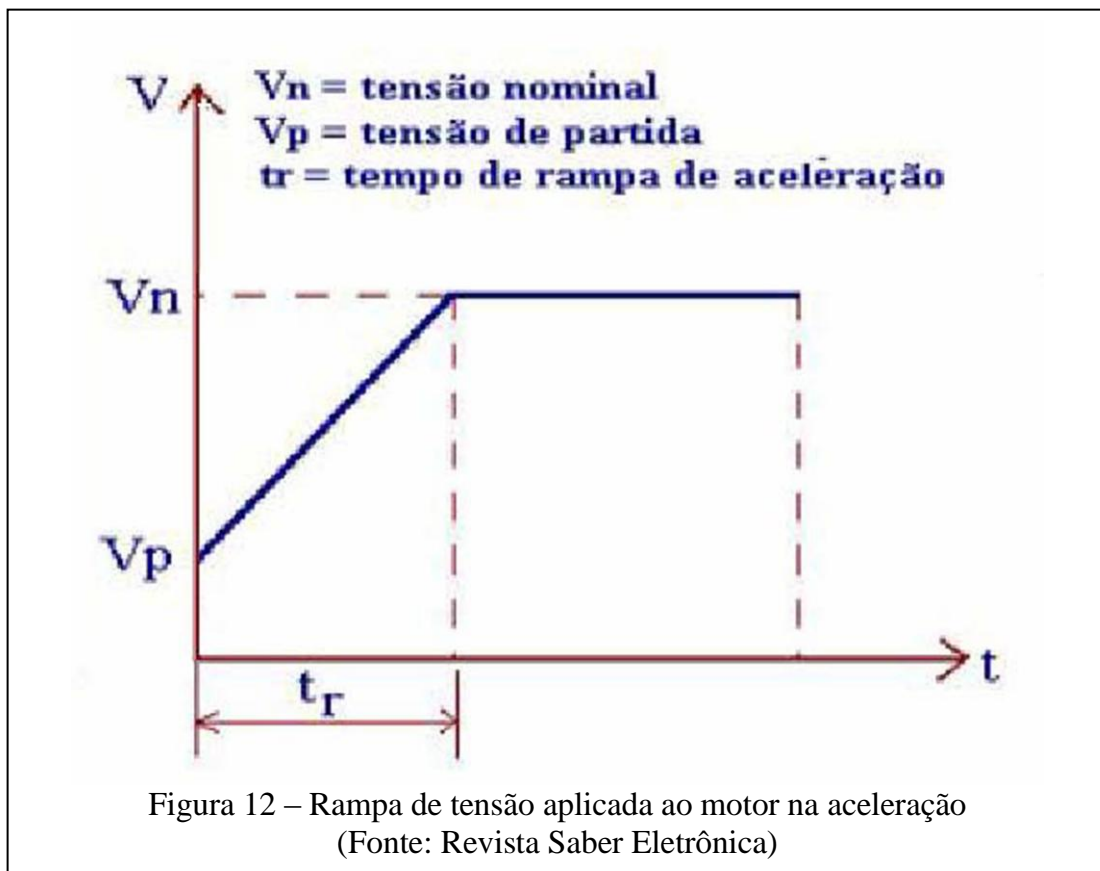
#### 4.1.2 Circuito de Controle

Onde estão contidos 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 que serão configurados pelo usuário em função da aplicação.

## 4.2 Principais características:

### 4.2.1 Rampa de tensão na aceleração

As chaves Soft-Starters tem uma função muito simples, que é através do controle da variação do ângulo de disparo da ponte tiristores, gerar na saída da mesma, uma tensão eficaz gradual e continuamente crescente até que seja a tensão nominal da rede. Graficamente podemos observar isto através da figura 13.



Atentem ao fato de que quando ajustamos a 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 tal. Isto, na realidade 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. 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 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, o qual será mostrado posteriormente.

#### 4.2.2 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 à 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. A equação (1) mostra matematicamente como podemos expressar esta forma de energia.

$$K = \frac{1}{2} j \cdot \omega^2 \quad (1)$$

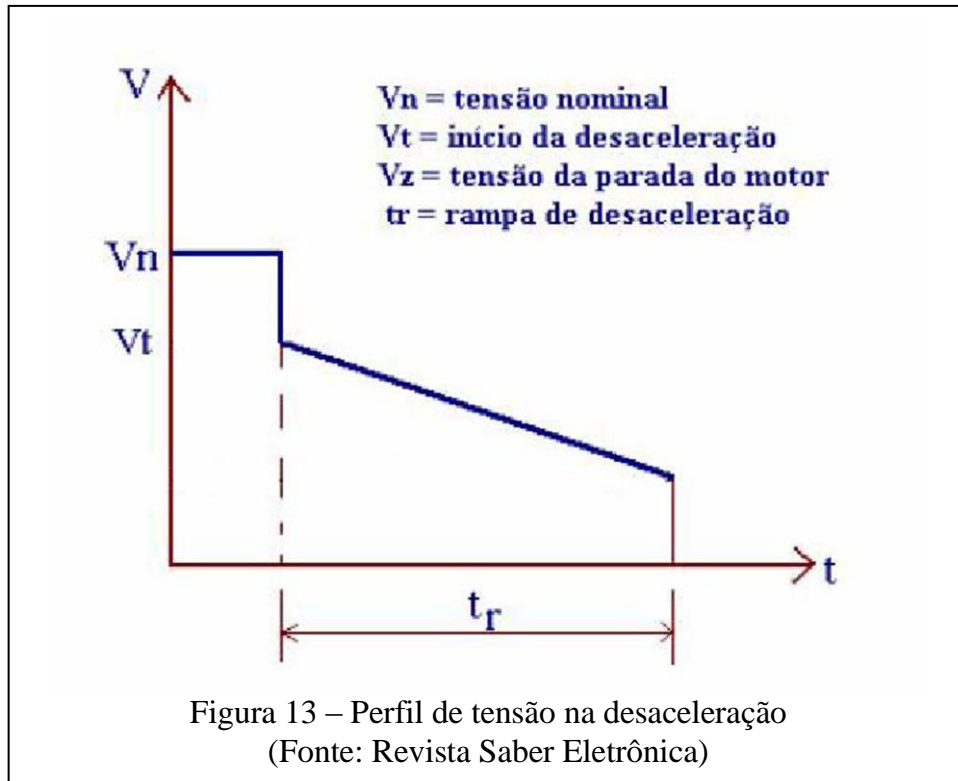
Onde,

K= energia cinética (Joules)

j = momento de inércia total (Kg.m<sup>2</sup>)

$\omega$  = velocidade angular (rads/s)

Na parada controlada o Soft-Starter vai gradualmente reduzindo a tensão de saída até um valor mínimo em um tempo pré-definido. Graficamente podemos observar a figura 14.



O que ocorre neste caso pode ser explicado da seguinte maneira: Reduzindo-se a tensão aplicada ao motor, este irá perder conjugado; a perda do 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. Podemos citar como exemplo bombas centrífugas, transportadores, etc. No caso particular das bombas centrífugas este recurso minimiza o efeito do “golpe de aríete”, que pode provocar sérios danos a todo o sistema hidráulico, tubulações, além da própria bomba.

#### 4.2.3 Golpe de Aríete

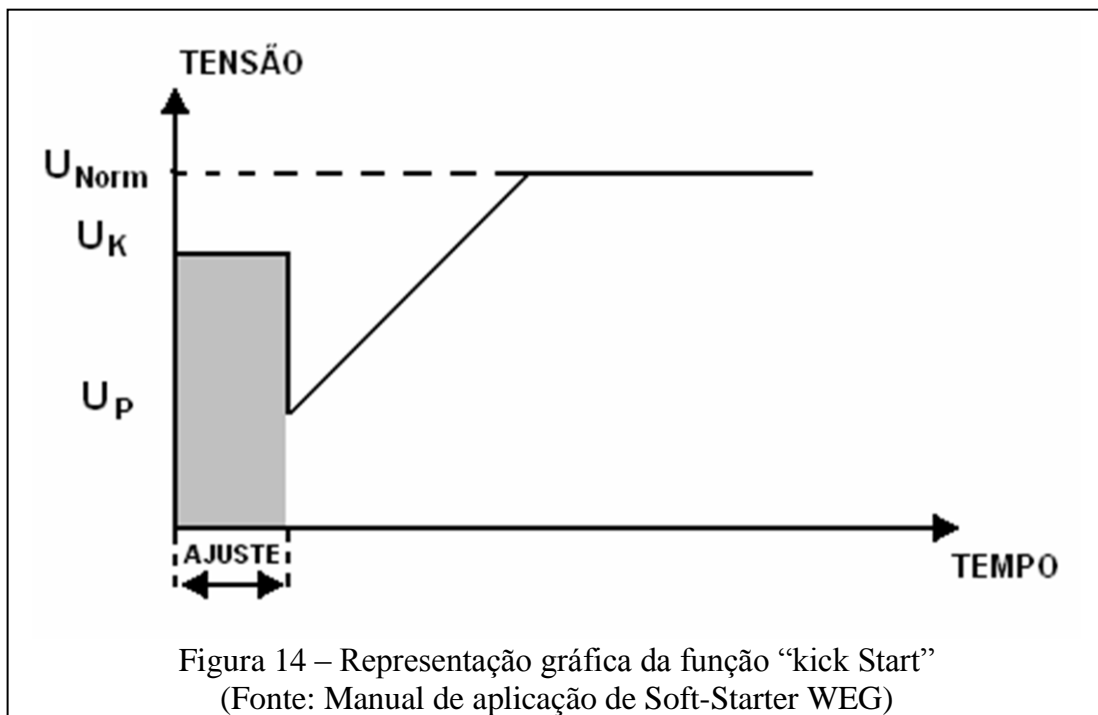
O “Golpe de Aríete” é um “pico de pressão” resultado de uma rápida redução na velocidade de um líquido, que pode ocorrer quando um sistema de bombeamento sofre uma parada brusca. No contexto de aplicação de Soft-Starter, a ocorrência do Golpe de Aríete está relacionada à rápida parada do motor da bomba, embora o

golpe de aríete possa ser provocado por outros eventos, como o fechamento rápido de uma válvula. O “pico” de pressão nestas condições pode ser várias vezes maiores que o esperado para o sistema, provocando danos que podem se estender até a bomba. Quando o soft-Starter está habilitado a fazer uma parada suave do motor (“ Pump Control”), a chance de ocorrência do golpe de aríete na parada do motor é reduzida.

#### 4.2.4 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”.

Como podemos ver na figura 15, esta função faz com que seja aplicado no motor pulso de tensão com amplitude e duração programáveis para que o motor possa desenvolver um conjugado de partida, suficiente para vencer o atrite, e assim acelerar a carga. Deve-se ter muito cuidado com esta função, pois ela somente deverá ser usada nos casos onde ela seja estritamente necessária. Devemos observar alguns aspectos importantes relacionados com esta função, já que ela poderá ser mal interpretada e, desta forma, comprometer a definição com relação ao seu uso, inclusive o do próprio sistema de acionamento.





Como a tensão de partida poderá ser ajustada próximo da tensão nominal, mesmo que por um pequeno intervalo de tempo, a ocorrência de partida irá atingir valores muito próximos daqueles registrados no catálogo ou folha de dados do motor. Isto é claramente indesejável, pois a utilização da Soft-Starter nestes casos advém da necessidade de garantir uma partida suave, seja eletricamente, seja mecanicamente. Desta forma pode considerar este recurso como sendo aquele que deverá ser usado em última estância, ou quando realmente ficar óbvio a condição de partida.

#### **4.2.5 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.

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 da sua capacidade. Normalmente nestes casos a condição de corrente de partida faz com o sistema de proteção de instalação atue, impedindo assim o funcionamento normal de toda instalação.

Ocorre então à necessidade de se impor um valor limite de corrente de forma a permitir o acionamento do equipamento tem como de toda a indústria. 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. 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) próxima aos níveis de outros sistemas de partida como, por exemplo, as chaves compensadoras, não sendo isto de forma alguma um fator proibitivo na escolha do sistema de partida.

#### 4.2.6 Pump Control

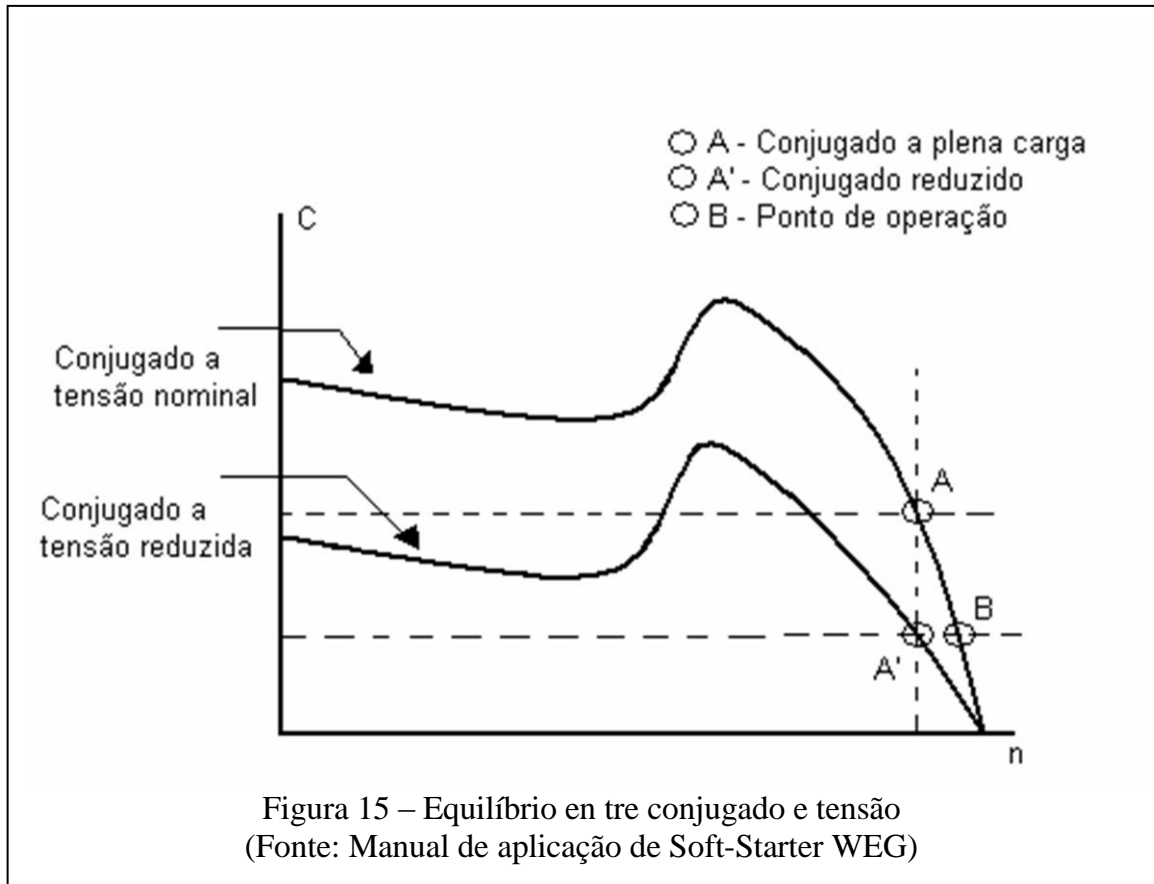
Esta função é utilizada especialmente para a aplicação de Soft-Starter em sistemas de bombeamento. Trata-se na realidade de uma configuração específica (pré-definida) para atender este tipo de aplicação, onde normalmente é necessário estabelecer uma rampa de tensão na aceleração, uma rampa de tensão na desaceleração e a habilitação de proteções. A rampa de tensão na desaceleração é ativada para minimizar o golpe de aríete, prejudicial ao sistema como um todo.

São habilitadas também as proteções de sequência de fase e subcorrente imediata (para evitar a cavitação). A cavitação é a formação de “bolhas” através no interior da bomba. Com bombas centrífugas, a cavitação pode ocorrer quando o valor de sucção se torna alto o suficiente no interior da bomba. Quando estas bolhas passam pela bomba, uma grande quantidade de energia é liberada, provocando danos. Quando a Soft-Starter está devidamente habilitada a fazer uma proteção de subcorrente e (“Pump Control”), a bomba fica protegida de ocorrência de cavitação prolongada.

#### 4.2.7 Economia de Energia

Uma Soft-Starter que inclua características de otimização de energia simplesmente altera o ponto de operação do motor. Esta função, quando ativada, reduz a tensão aplicada aos terminais do motor de modo que a energia necessária para suprir o campo seja proporcional à demandada da carga. Quando a tensão no motor está em seu valor nominal e a carga exige o máximo conjugado para o qual o motor foi especificado, o ponto de operação será definido pelo ponto A, conforme a figura 16.

Se a carga diminuir e o motor for alimentado por uma tensão constante, a velocidade (rotação) aumentará ligeiramente, a demanda de corrente reduzirá e o ponto de operação se moverá junto à curva para o ponto B. Por ser um motor onde o conjugado desenvolvido é proporcional ao quadrado da tensão aplicada, haverá uma redução do conjugado com uma redução de tensão. Caso esta tensão seja devidamente reduzida, o ponto de operação passará a ser o ponto A'.



Em termos práticos pode-se observar uma otimização com resultados significativos somente quando o motor está operando com cargas inferiores a 50% da carga nominal. Isto, diga-se de passagem, é muito difícil de encontrar-se, pois estaríamos falando de motores altamente sobre dimensionados, o que atualmente em virtude da crescente preocupação com o desperdício de energia e fator de potência, vem sendo evitado a todo custo.

Cabe destacar que este tipo de otimização de energia possui alguns inconvenientes, principalmente, a geração de tensões e correntes harmônicas e variações no fator de potência. No caso as harmônicas podem ocasionar problemas relativos a danos e redução da vida útil de capacitores para correção de fator de potência, sobre aquecimento de transformadores e interferências em equipamentos eletrônicos.

## 5. PARÂMETROS DA SOFT-STARTER

Um parâmetro da Soft-Starter é um valor de leitura ou escrita, através do qual o usuário pode ler ou programar valores que mostrem, sintonizem ou adequem o comportamento da Soft-Starter e motor em uma determinada aplicação. Exemplos simples de parâmetros de Soft-Starter da WEG:

- Parâmetros de leitura P73: Corrente consumida pelo motor;
- Parâmetro Programável P01: Ajusta o valor inicial de tensão (%) que será aplicado ao motor;

Para parametrização refira-se sempre ao manual do equipamento, que estará vinculado à devida versão do Soft-Starter. Para facilitar a descrição, os parâmetros serão agrupados pelas suas características:

- Parâmetros de leitura;
- Parâmetros de regulação;
- Parâmetros de configuração;
- Parâmetros de motor;

### 5.1 Parâmetro de Leitura

Os parâmetros de leitura, como seu nome indica, permitem visualizar os valores programados nos parâmetros de regulação, de configuração, do motor e das funções especiais. Por exemplo, na linha de Soft-Starter WEG é identificado de P71 até P77, P82 e de P96 até P99. Estes parâmetros não permitem a edição do valor programado, somente sua leitura.

Exemplo:

1. P73-Corrente do motor: indica a corrente de saída da Soft-Starter diretamente em Amperes (precisão de +ou- 10%).
2. P75-Potência aparente: indica a potencia aparente requerida pela carga, valores em KVA (precisão de +ou- 10%).

3. P96-último erro de hardware ocorrido.

## **5.2 Parâmetros de Regulação**

São os valores ajustáveis a serem utilizados pelas funções da Soft-Starter.

Exemplos:

1. P01-Tensão inicial: ajusta o valor inicial de tensão (% da tensão de rede) que será aplicado ao motor.
2. P11-Limitação da corrente da chave: ajusta o valor máximo de corrente que será fornecido ao motor (carga) durante a aceleração. A limitação de corrente é utilizada para cargas com alto ou constante torque de partida. Ela deve ser ajustada para um nível que se observe a aceleração do motor, caso contrário o motor não partirá.

## **5.3 Parâmetro de Configuração**

Exemplos:

1. P43-Relé By-Pass: esta função quando habilitada permite a utilização da indicação de tensão plena, através do RL1 ou RL2. A principal função do By-Pass é eliminar as perdas em forma de calor ocasionado pela Soft-Starter.
2. P44-Economia de Energia: pode ser habilitada ou desabilitada, sendo que quando habilitada sua função é a de diminuir as perdas no entreferro do motor, quando sem ou com pouca carga.

## **5.4 Parâmetros do Motor**

Exemplo:

1. P26-Fator de Serviço do Motor: ajusta o fator de serviço do motor (F.S.) conforme a placa de identificação do motor. Este valor vai definir qual o valor de carga o motor suporta.

## 5.5 Erros e Possíveis Causas

A Soft-Starter pode indicar erro de programação incorreta (E24) erro de serial (E2X) e erros de hardware (E0X).

O erro de programação incorreta (E24), não deixa que o valor alterado incorretamente seja aceito. Este erro ocorre quando se altera algum parâmetro com o motor desligado e nas seguintes condições:

- P11 limitação de corrente com P41 Kick start;
- P41 Kick start com P55=4 em Jog;
- P43 by-pass com P44 economia de energia;
- P61 em OFF com ED1 acionada ou P55 Jog acionado.

Os erros de comunicação serial (E2X), não deixam que o valor alterado ou enviado incorretamente seja aceito. Para sair dessas condições de erros basta pressionar as teclas P, 1 e 0.

Erros de hardware (E0X) bloqueiam a Soft-Starter. Para sair desta condição de erro, desligar a alimentação e ligá-la novamente ou através da tecla. Antes deverá ser solucionado o erro.

## **6. MOTOR + SOFT-STARTER**

### **6.1 A importância do processo/máquina**

Em primeiro lugar vem o processo. Para um empreendedor que precisa bombear água, moer grãos, acionar esteiras, ter suprimento de ar comprimido, ventilar uma área, ou o que seja o uso do motor elétrico é uma consequência.

Não são os focos principais do empreendedor as restrições tecnológicas existentes para mover o processo. Dentre as soluções de acionamentos existentes para aquela máquina ou processo, cabe ao nosso empreendedor (ou seus projetistas) escolher a melhor solução para o cenário composto pelo tipo de melhor solução para o cenário composto pelo tipo de máquina/processo e pelos recursos que ele se dispõe.

Por isto quem se propõe a aplicar um acionamento com motor elétrico deve antes de tudo compreender o processo, ou seja, o que a máquina exige. Dentro de um universo de soluções para movimentar seu processo (moagem, como exemplo), o nosso empreendedor optará pelo motor elétrico trifásico. Provavelmente a máquina que ele irá adquirir será fornecida como motor instalado.

Nosso empreendedor deveria utilizar a Soft-Starter para acioná-lo porque ele deseja uma motorização que:

1. Provoque menor desgaste mecânico e conseqüentemente traga menos parada para manutenções;
2. Provoque menores distúrbios na rede elétrica mantendo o funcionamento estável de outros equipamentos;
3. Utilize melhor os suprimentos energéticos daquela região recompensando-o com uma maior facilidade no atendimento as restrições de demanda.

#### **6.1.1 Acionamento de acionamentos elétricos-Problemas típicos**

Uma fonte de problemas ao se tratar de sistemas de acionamentos elétricos é a aplicação inadequada dos diferentes tipos que existem. Um motor de anéis e um motor com rotor tipo gaiola de esquilo têm características peculiares que devem ser levadas em conta. Não só as características de torque são diferentes, mas também

há consideráveis diferenças de custos, recursos de partida, dimensões de carcaças e etc.

É necessário, portanto, conhecimento de como o motor interage com o sistema de controle, e estes dois por sua vez com a máquina acionada e com a rede de alimentação. O dimensionamento é feito com base no torque requerido pela carga. Assim, pode-se dizer que é necessário conhecer muito bem a máquina a ser acionada. É muito importante fazer uma quantidade tão grande quanto possível de perguntas, mesmo a respeito de coisas aparentemente insignificantes. É impossível perguntar demais, e um dos segredos está em entender muito bem a aplicação.

A compreensão das relações entre potência, torque, velocidade e aceleração/desaceleração, bem como do efeito de uma transmissão mecânica no contexto da motorização de uma máquina.

## **6.2 O que a carga requer?**

Devemos iniciar preocupando-nos com a carga, e não com o motor ou com o inversor. Um bom trabalho de decisão a respeito do melhor sistema de acionamento de uma máquina requer que a mesma em si seja considerada primeiramente. Se você não conhece a máquina em profundidade não poderá tomar decisões acertadas com respeito ao seu acionamento.

Com esta finalidade é de grande utilidade um “check list”, que contenha uma coletânea de sugestões e perguntas a serem feitas. Pergunta-se a respeito do desempenho e das demandas da máquina. A carga é constante ou variável? É necessária uma aceleração admitida? O regime de serviço é contínuo ou interrompido?

### **6.2.1 Tipos de cargas:**

Geralmente as cargas caem em uma das categorias:

- Torque constante: o torque demandado pela carga apresenta o mesmo valor de toda a faixa de velocidades. Logo, a demanda de potencia cresce linearmente com a velocidade. Uma esteira transportadora movimentando uma carga de 1ton de peso a 0,1m/s, por exemplo, requer aproximadamente o mesmo torque que se estivesse a 1,0m/s. outros exemplos de cargas com este tipo de comportamento



são: equipamentos de içar (guindastes e elevadores), laminadores e bombas de deslocamento positivo (de pistões, engrenagens e helicoidais).

- Potência constante: o torque inicial é elevado e diminui exponencialmente com o aumento da velocidade. A potência demandada permanece constante ao longo de toda a faixa de variação de velocidade. Isto normalmente é o caso em processos onde há variação de diâmetro, tais como máquinas de bobinamento e desbobinamento. Quando o diâmetro é máximo, é demandado máximo torque a baixa velocidade. À medida que diminui o diâmetro, diminui também a demanda de torque, mas a velocidade de rotação deve ser aumentada para manter constante a velocidade periférica.

- Torque linearmente crescente: o torque cresce de forma linear com o aumento da velocidade e, portanto a potência cresce de forma quadrática com esta. Exemplo de carga com este comportamento são prensas.

- Torque com crescimento quadrático: o torque demandado aumenta com o quadrado da velocidade de rotação, e a potência com o cubo. Exemplos típicos são máquinas que movimentam fluidos (líquidos ou gases) por processos dinâmicos, como por exemplo, bomba centrífuga ventiladores, exaustores e agitadores centrífugos. Estas aplicações apresentam o maior potencial de economia de energia já que a potência é proporcional a velocidade elevada ao cubo.

### **6.2.2 O pico da carga**

O pico de torque é diferente para cada tipo de máquina e precisa ser corretamente identificado. Em alguns casos o torque de partida é muito elevado, tal como num transportador muito pesado. Uma carga de alta inércia quer requer aceleração muito rápida, igualmente terá uma alta demanda de torque durante a aceleração. Outras aplicações apresentarão demanda máxima durante a operação em regime e não na partida, com sobrecargas súbitas aparecendo periodicamente.

## 7. APLICAÇÕES IMPORTANTES

Os Soft-Starters podem ser utilizados nas mais diversas aplicações. Suas principais são em:

- Bombas centrífugas;
- Ventiladores, exaustores;
- Compressores de ar e refrigeração
- Misturadores e aeradores;
- Serras;
- Transportadores de carga.

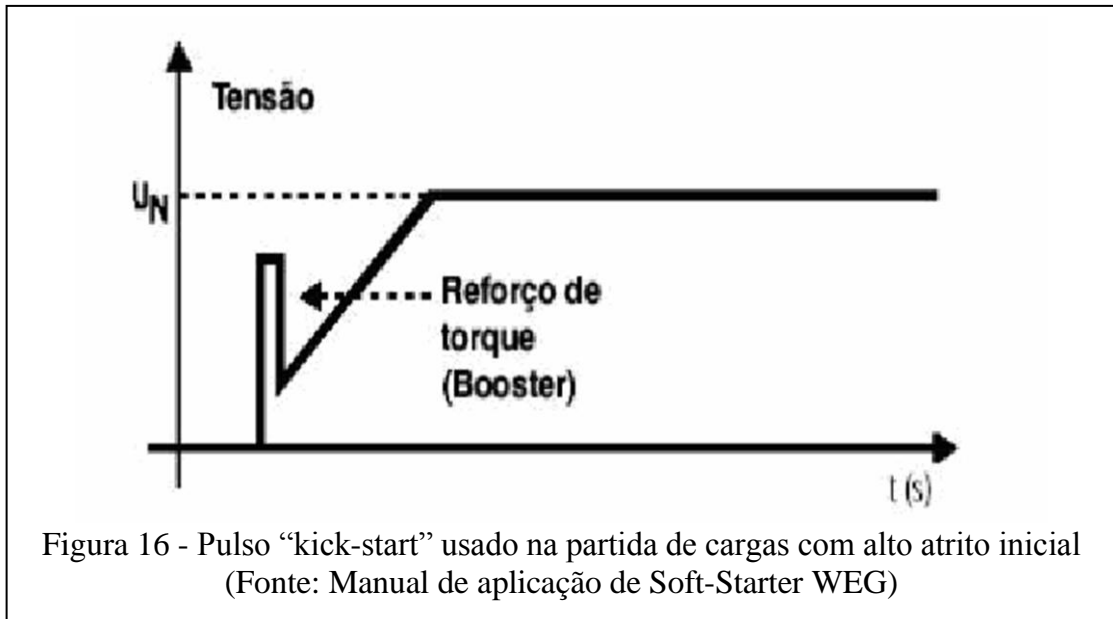
Porém, três delas são clássicas: bombas, compressores e ventiladores. Daremos, em seguida, uma pequena descrição de cada uma dessas aplicações.

### 7.1 Bombas:

Nessa aplicação, a rampa de tensão iguala as curvas do motor e da carga. A rampa de saída do Soft-Starter adequa a curva de torque do motor sobre a bomba. Nesse caso, a corrente de partida é reduzida para aproximadamente 2,5 vezes a corrente nominal.

A rampa de desaceleração diminui sensivelmente o choque hidráulico. Essa é a razão, aliás, das empresas de saneamento especificar Soft-Starters com potências superiores a 10kW.

Uma das facilidades que torna ainda mais interessante a utilização desse equipamento no acionamento de bombas é o recurso kick-start. O kick-start é um pulso de tensão rápido e de grande amplitude aplicado no instante de partida. Isso ajuda a vencer a inércia de partida quando há a presença de sólidos na bomba (sujeira).



## 7.2 Compressores:

O Soft-Starter reduz a manutenção e permite que compressores “críticos” sejam desligados quando não forem necessários. Por outro lado, evita que eles sejam desligados no funcionamento normal devido a fontes de alimentação muito fracas.

## 7.3 Ventiladores:

Os ventiladores, assim como as bombas, exigem um torque proporcional à velocidade, porém, também tem grande inércia. Geralmente, o limite de corrente é utilizado para estender o tempo de rampa, enquanto a inércia é vencida.

## 7.4 Funções típicas:

Vamos destacar algumas “funções” que os Soft-Starter da linha WEG possuem para serem usados na partida de algumas máquinas, sendo algumas delas encontradas constantemente a bordo de navio Mercante. Estas “funções” vêm no intuito de mostrar o quanto os Soft-Starter pode melhorar o funcionamento das máquinas.

Não há aqui a pretensão de dar uma receita infalível e muito menos a solução para todos os problemas, mas sim algumas dicas que podem vir a solucionar possíveis problemas e melhorar o rendimento da máquina.

### 7.4.1 Máquinas com partidas leves

#### Bomba centrífuga:

- Tipo de conjugado \_\_\_\_\_ quadrático;
- Momento de inércia \_\_\_\_\_ baixo;
- Corrente de partida \_\_\_\_\_ tipicamente menor que 3xIn.

<b>Problemas</b>	<b>Soluções com SSW-03, SSW-04 ou SSW-01</b>
Partida muito rápida	Função "PUMP CONTROL"
Parada muito rápida	Função "PUMP CONTROL"
Golpe de aríete	Função "PUMP CONTROL"
Alto pico de corrente	Função "PUMP CONTROL"
Bomba rodar no sentido contrário	Proteção contra reversão de fases
Bomba rodar sem líquido (cavitação acentuada)	Proteção contra subcorrente
Bomba sobrecarregada devido a corpo sólido no seu interior (cavitação acentuada e deterioração do lubrificante).	Proteção contra subcorrente

Tabela 1 – Soluções para bomba centrífuga  
(Fonte: Manual de aplicação de Soft-Starter WEG)

#### Compressor:

- Tipo de conjugado \_\_\_\_\_ favorável (parafuso);
- Tipo de conjugado \_\_\_\_\_ constante (alternativo);
- Momento de inércia \_\_\_\_\_ baixo;
- Corrente de partida \_\_\_\_\_ tipicamente menor que 3xIn do motor.

<b>Problemas</b>	<b>Soluções com SSW-03, SSW-04 ou SSW-01</b>
Tranco mecânico no motor, transmissão e compressor	Limitação de corrente
Compressor rodar no sentido contrário	Proteção contra reversão de fase

Tabela 2 – Soluções para compressor  
(Fonte: Manual de aplicação de Soft-Starter WEG)

**Bomba de vácuo (palheta):**

- Tipo de conjugado \_\_\_\_\_ parabólico;
- Momento de inércia \_\_\_\_\_ baixo;
- Corrente de partida \_\_\_\_\_ tipicamente menor que 3xIn do motor.

<b>Problemas</b>	<b>Soluções com SSW-03, SSW-04 ou SSW-01</b>
Tranco mecânico do motor, transmissão e bomba	Limitação de corrente
Alta corrente e queda de tensão na linha, por representar uma carga significativa na máquina de papel	Limitação de corrente
Bomba rodar no sentido contrário	Proteção contra reversão de fases

Tabela 3 – Soluções para bomba de vácuo (palheta)  
(Fonte: Manual de aplicação de Soft-Starter WEG)

**7.4.2 Máquinas com partidas severas****Bomba de vácuo (pistão):**

- Tipo de conjugado \_\_\_\_\_ constante;
- Momento de inércia \_\_\_\_\_ baixo;
- Corrente de partida \_\_\_\_\_ tipicamente menor que 5xIn do motor.

<b>Problemas</b>	<b>Soluções com SSW-03, SSW-04 ou SSW-01</b>
Tranco mecânico do motor, transmissão e bomba	Limitação de corrente
Alta corrente e queda de tensão na linha, por representar uma carga significativa na máquina de papel	Limitação de corrente
Bomba rodar no sentido contrário	Proteção contra reversão de fases

Tabela 4 – Soluções para bomba de vácuo (pistão)  
(Fonte: Manual de aplicação de Soft-Starter WEG)

**Ventilador/ Exaustor:**

- Tipo de conjugado \_\_\_\_\_ quadrático;
- Momento de inércia \_\_\_\_\_ médio e alto;
- Corrente de partida \_\_\_\_\_ tipicamente menor que 3 a 5xI<sub>n</sub> do motor.

<b>Problemas</b>	<b>Soluções com SSW-03, SSW-04 ou SSW-01</b>
Alto pico de corrente	Limitação de corrente
Correia ou acoplamento quebrado	Proteção contra subcorrente
Filtro bloqueado ou damper fechado	Proteção contra sobrecorrente

Tabela 5 – Soluções para ventilador/exaustor  
(Fonte: Manual de aplicação de Soft-Starter WEG)

**Centrífuga:**

- Tipo de conjugado \_\_\_\_\_ linear;
- Momento de inércia \_\_\_\_\_ alto;
- Corrente de partida \_\_\_\_\_ tipicamente menor que 4.5xI<sub>n</sub> do motor.

<b>Problemas</b>	<b>Soluções com SSW-03, SSW-04 ou SSW-01</b>
Carga com alta inércia	Limitação de corrente
Parada controlada	Frenagem DC
Carga muito alta ou desbalanceada	Proteção contra sobrecorrente
Acoplamento quebrado	Proteção contra subcorrente

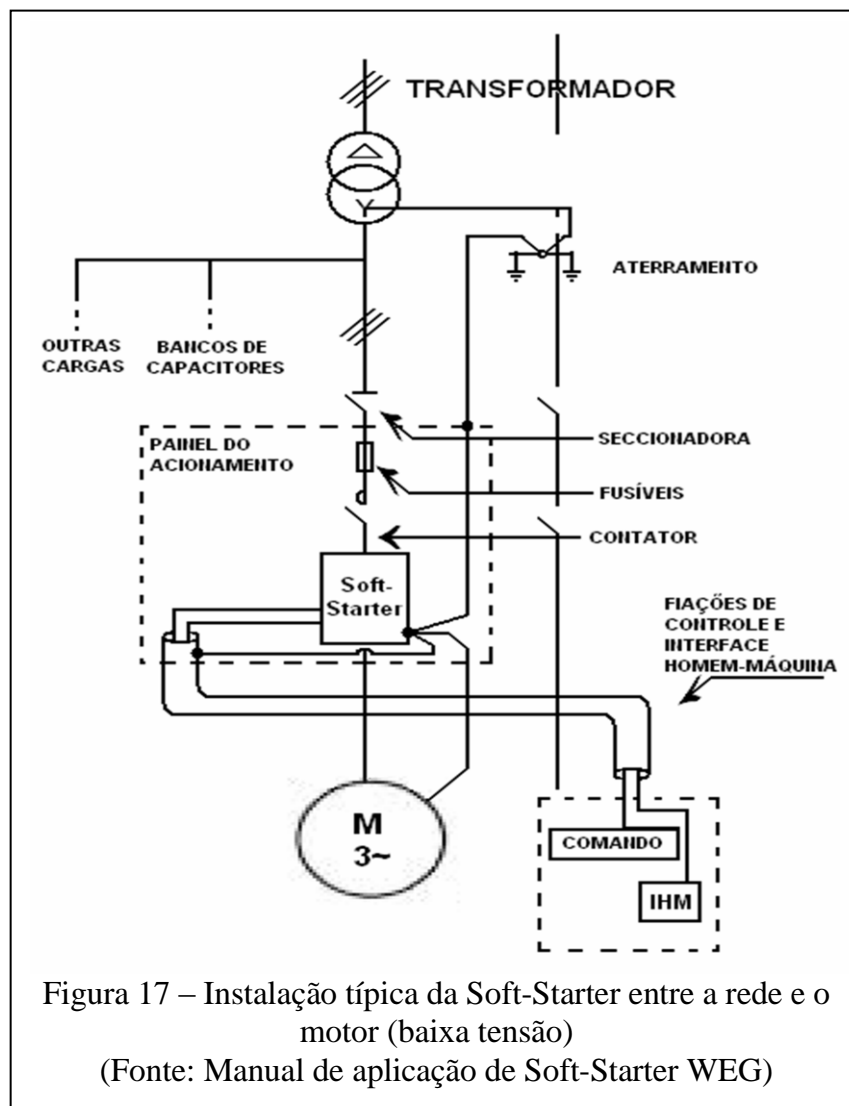
Tabela 6 – Soluções para centrífuga  
(Fonte: Manual de aplicação de Soft-Starter WEG)

## 8. INSTALAÇÃO DA SOFT-STARTER

Este capítulo tem por objetivo apresentar os componentes e informações gerais para a instalação de uma Soft- Starter. A utilização de cada componente dependerá de cada caso particular. Pode-se recorrer também ao manual da Soft- Starter que irá instalar, seguindo suas recomendações específicas.

Primeiramente abordaremos a ligação da Soft- Starter entre o motor e a rede, em baixa tensão. Em seguida será abordada a ligação do equipamento dentro da ligação delta do motor. Por reduzir o preço total da instalação (dependendo da distância entre motor e painel) este tipo de ligação já é a opção de boa parte dos projetistas.

### 8.1 Ligação padrão entre a rede e o motor (“fora” da ligação delta do motor)



A figura acima ilustra e complementa os comentários a seguir.

### **8.1.1 Chave seccionadora**

Utiliza-se chave seccionadora, por razões de segurança, para permitir a desenergização da Soft-Starter.

### **8.1.2 Fusíveis ou disjuntor**

Recomenda-se a utilização de fusíveis retardadores ou de disjuntores na entrada para proteção da instalação. Fusíveis ultra-rápidos podem ser utilizados para proteção dos tiristores das Soft-Starter, mas não são obrigatórios.

### **8.1.3 Contator**

Contator é recomendado quando o equipamento necessita de dispositivos para desligamento de emergência. A norma IEC 60947-4-2, no item 3.1.1 inclui uma nota que pode ser levada em conta na decisão de uso do contator:

Note: Because dangerous levels of leakage currents (see 3.1.13) can exist in a semiconductor motor controller in the OFF-state, the load terminals should be considered live at all times.

Resumindo: os terminais de carga devem ser considerados energizados mesmo com a Soft-Starter (semicondutor motor controller) em estado "OFF" (OFF-state), uma vez que níveis perigosos de corrente de fuga podem existir.

### **8.1.4 Fiação de controle e interface Homem-Máquina**

As fiações de controle e para Hm remotas sempre deverão ser instaladas (separado dos demais circuitos) e aterradas. O cruzamento com cabos de potência também deverão atender a um ângulo de 90°.

### **8.1.5 Correção do fator de potência**

Sempre que possível o fator de potência deve ser corrigido diretamente no motor com um banco de capacitores acionado por contator que é controlado pelo relé de fim de rampa (RL e R1). Desta forma a Soft-Starter garantirá que durante o chaveamento da tensão (aceleração e desaceleração) momentos onde são gerados



harmônicos, os capacitores estejam fora de circuito. Quando a correção do fator de potência diretamente no motor não for possível, esta deverá ser feita no ponto mais próximo possível do transformador.

Nunca conecte bancos de capacitores na saída da Soft-Starter ou nos terminais do motor sem que o controle seja feito pela chave, sob o risco de causar danos significativos para as instalações e para a chave Soft-Starter, em função de ressonância provocada por distorções harmônicas que ocorrem na partida.

### **8.1.6 Aterramento**

As Soft-Starter devem ser obrigatoriamente aterradas. Verifique o manual do produto para saber a bitola do cabo a ser utilizado. Conecte a uma haste de aterramento específico ou ao ponto de aterramento geral (resistência < 10 ohms). Não compartilhe a fiação de aterramento com outros equipamentos que operem com altas correntes (ex: Motores de alta potência, máquinas de solda e etc.).

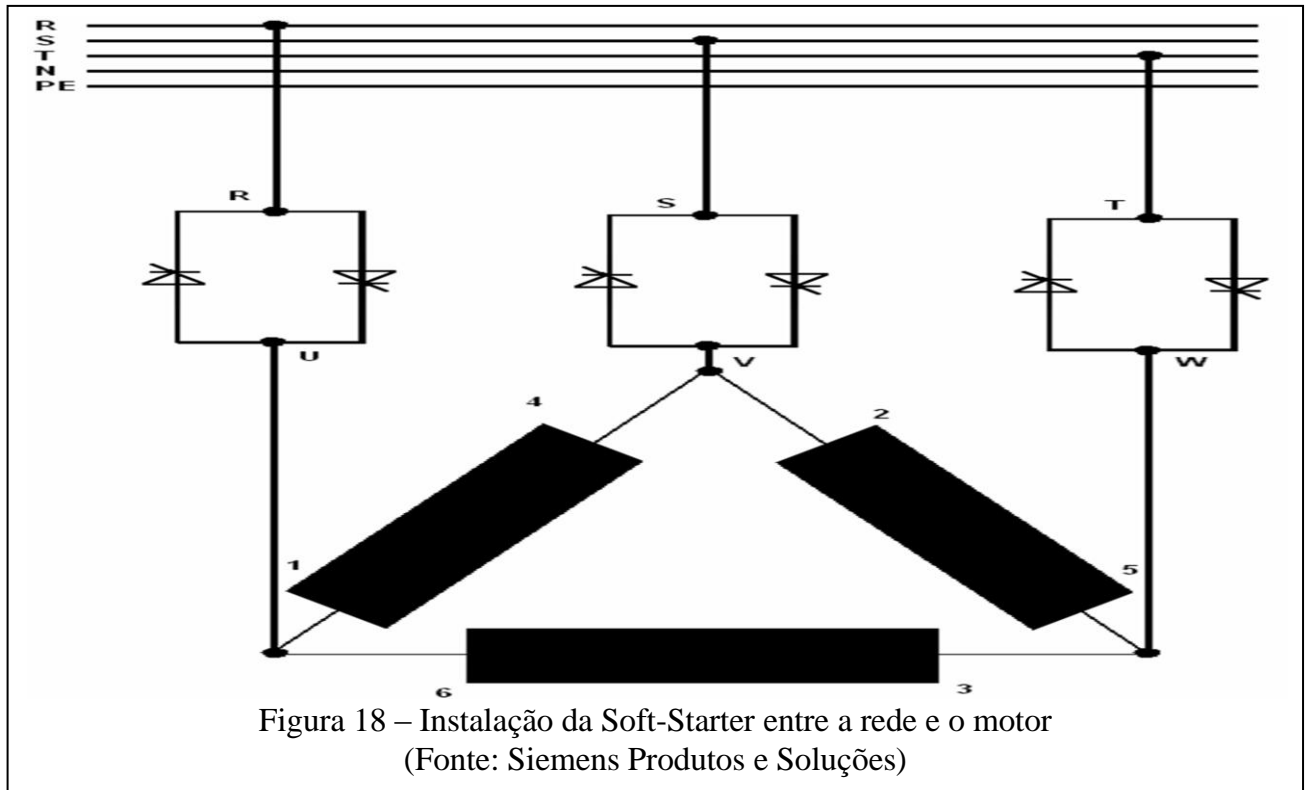
### **8.2 Ligação dentro do delta do motor**

A vantagem da ligação da Soft-Starter dentro da ligação delta do motor é reduzir a corrente através dos semicondutores, e conseqüentemente utilizarem uma Soft-Starter de menor potência. Lembramos que todas as funções e proteções da chave permanecem ativas.

A conexão padrão exige menos fiação de saída. A conexão dentro da ligação delta do motor exige o dobro da fiação, porém com bitola menor, sendo que, para curtas distâncias sempre será uma opção barata no conjunto Soft-Starter+motor+fiação.

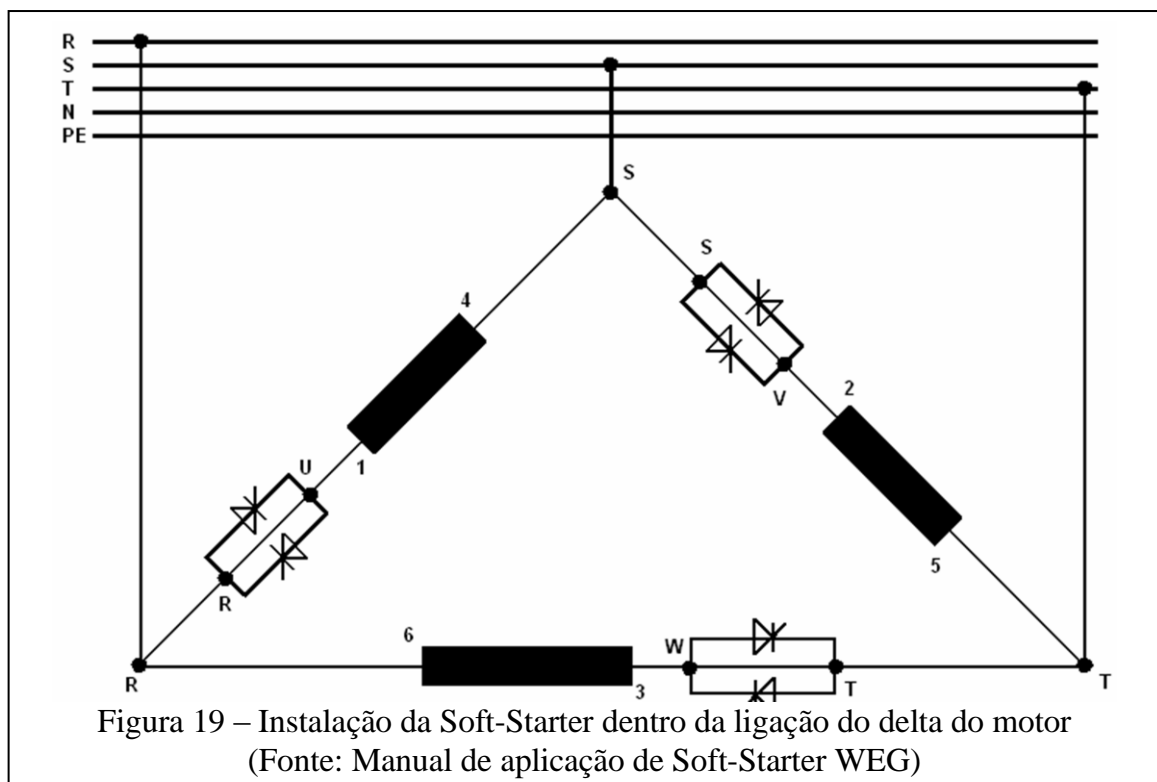
Exemplificando, suponhamos um motor trifásico cuja corrente nominal seja 100<sup>a</sup>. Em nome da simplicidade do exemplo, serão desprezadas outras variáveis que podem influenciar no dimensionamento da Soft-Starter (carga, rede, etc.) e adotar, portanto, uma Soft-Starter de 100 A para acionar este motor, ligando-a entre o motor e a rede, conforme a figura 19 a seguir. Observe que a corrente que passa pelos semicondutores é a corrente solicitada pelo motor à rede.

- a) Ligação padrão com três cabos: corrente de linha da Soft-Starter igual a corrente do motor.



Por outro lado, imaginemos a ligação dos semicondutores da Soft-Starter dentro da ligação delta do motor, conforme figura 20. Observe que a corrente que passará pelos semicondutores é  $\sqrt{3}$  vezes menor que a corrente solicitada da rede.

b) Ligação dentro da ligação delta do motor com seis cabos: corrente de linha da Soft-Starter igual a aproximadamente 58% da corrente do motor.



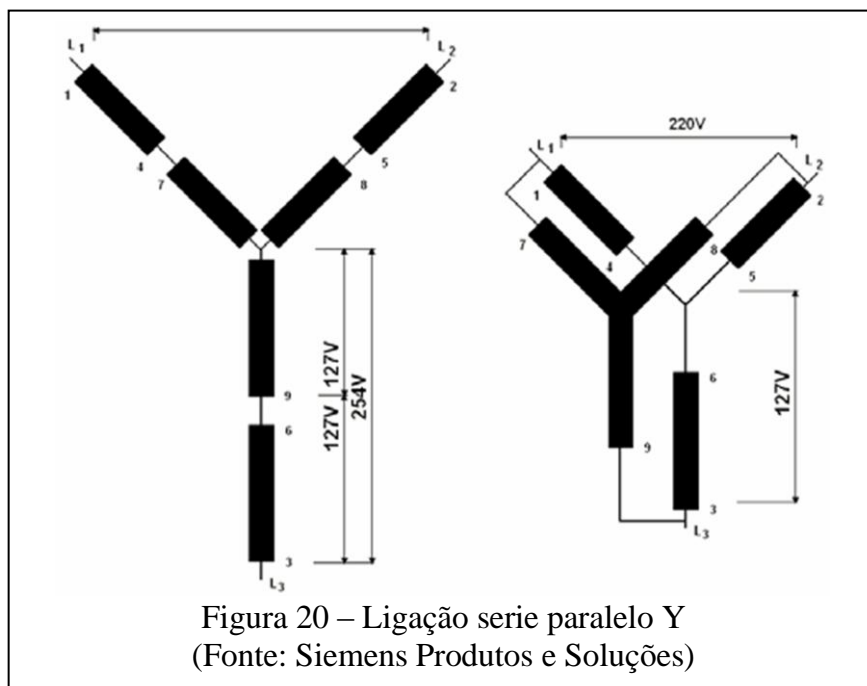
### 8.2.1 Ligação dos terminais de motores com tensões múltiplas

A grande maioria dos motores é fornecida com terminais de enrolamento religáveis, de modo a poderem funcionar em redes de pelo menos duas tensões diferentes. Os principais tipos de ligações de terminais de motores para funcionamento em mais de uma tensão são:

#### a) Ligação série-paralela:

O enrolamento de cada fase é dividido em duas partes (lembrar que o número de pólos é sempre par, de modo que este tipo de ligação é sempre possível). Ligando as duas metades em série, cada metade ficará com a metade da tensão de fase nominal do motor.

Ligando as duas metades em paralelo, o motor poderá ser alimentado com uma tensão igual à metade da tensão anterior, sem que se altere a tensão aplicada a cada bobina. Ver exemplos nas figuras abaixo.



Este tipo de ligação exige nove terminais no motor e a tensão nominal (dupla) mais comum, é 220/440V, ou seja, o motor é religado na ligação paralela quando alimentado com 220V e na ligação série quando alimentado em 440V. As figuras xxx e xxx mostram a numeração normal nos terminais e o esquema de ligação para estes tipos de motores, tanto para motores ligados em estrela como em triângulo.

O mesmo esquema serve para outras duas tensões quaisquer, desde que uma seja o dobro da outra, por exemplo: 230/460V.

b) Ligação estrela-triângulo:

O enrolamento de cada fase tem as duas pontas trazidas para fora do motor. Se ligarmos as três fases em triângulo, cada fase receberá a tensão da linha, por exemplo: 220V. Se ligarmos as três fases em estrela, o motor pode ser ligado a uma rede com tensão igual a  $220 \times \sqrt{3} = 380$  volts sem alterar a tensão no enrolamento que continua igual a 220 volts por fase, pois este tipo de ligação exige seis terminais no motor e serve para quaisquer tensões nominais duplas, desde que a segunda seja igual à primeira multiplicada por  $\sqrt{3}$ .

Se usarmos 380/660V e 440/760V como exemplo, a tensão maior declarada só serve para indicar que o motor pode ser acionado através de uma chave de partida estrela-triângulo. Motores que possuem tensão nominal de operação acima de 660 volts deverão possuir um sistema de isolamento especial, apto a esta condição.

c) Tripla tensão nominal:

Se combinarmos os dois casos anteriores, o enrolamento de cada fase é dividido em duas metades para ligação série-paralelo. Além disso, todos os terminais são acessíveis para podermos ligar as três fases em estrela ou triângulo. Deste modo, temos quatro combinações possíveis de tensão nominal:

1. Ligação triângulo paralelo;
2. Ligação estrela paralela, sendo igual a  $\sqrt{3}$  vezes a primeira;
3. Ligação triângulo série, valendo o dobro da primeira;
4. Ligação estrela série, valendo  $\sqrt{3}$  vezes a terceira.

Mas, como esta tensão seria maior que 660V, é indicada apenas como referência de ligação estrela-triângulo.

Exemplo: 220/380/440(760) V;

Este tipo de ligação exige 12 terminais.

### 8.3 Cuidados:

A seguir serão apresentados alguns tópicos com respeito à instalação de um Soft-Starter em geral:

- Os Soft-Starter podem ser fixados à chapa de montagem por quatro parafusos da mesma forma que contadores convencionais. Os mesmos devem ser usados em instalação abrigada, sendo relativamente imunes ao ambiente agressivo, já que a única parte móvel é representada pelos ventiladores, nos modelos maiores.
- Os Soft-Starter muito grandes, que utilizam tiristores de disco, devem também ser relativamente protegidos de pó condutor ou que se torne condutor por acúmulo de umidade.
- Os Soft-Starters com ou sem ventiladores incorporados, geram uma quantidade de calor, o qual deve ser extraído do painel, pois caso contrário haveria um acúmulo de calor, elevando muito a temperatura interna do painel, fazendo com que atue a proteção de temperatura. Deve-se, portanto, utilizar ventiladores com filtro de poeira e venezianas no painel.
- O ventilador mencionado no item acima deve ser adequado para trocar o ar do painel e manter o mesmo a temperaturas adequadas de operação.
- Evite enfileirar demais os Soft-Starters, de modo que o ar mais aquecido que sai de um seja o ar que vai ser sugado pelo ventilador do outro.
- Os Soft-Starters a partir de 75A possuem ventilador incorporado. Os ventiladores ligam somente quando a temperatura do dissipador atingir 50 graus centígrados. Caso a temperatura do dissipador ultrapassar 80 graus, a saída de potência será bloqueada, só voltando a funcionar quando a temperatura cair.

Nem sempre é possível utilizar um Soft-Starter. A seguir, damos uma lista dos pontos mais críticos:

- Refrigeração: deve-se instalar o dispositivo sempre verticalmente, com a ventilação para cima. A perda de calor aproximada é de 3,6 W/A de corrente circulante.
- Tipo de motor: não deve ser utilizado para partida de motores em anel.
- Fator de potência: não devem ser colocados capacitores na saída do Soft-Starter a fim de se corrigir o fator de potência.
- Torque alto em velocidade zero: elevadores e guindastes necessitam de torque máximo a velocidade zero no instante da partida. Nesse caso, a utilização do Soft-Starter não é aconselhável.

Qualquer chave Soft-Starter deverá ser protegida por fusíveis ultra-rápidos, levando em conta os valores  $i^2.t$  dos tiristores e dos fusíveis, sendo que os valores  $i^2.t$  dos fusíveis deverá ser 20% menor que dos tiristores.

## 9. CONCLUSÃO:

Os Soft-Starter podem proporcionar uma melhor operação da máquina, o que faz dele uma tendência nos dias de hoje.

Ainda que investir em Soft-Starters seja uma opção cara se comparada com os outros métodos de chaves de partidas mais tradicionais, deve-se levar em conta que é um investimento a longo prazo quando se pensa em manutenções que serão evitadas devido às funções que possui. Essas funções atuam como proteções para o motor. Com isso a busca dos Armadores em sempre diminuir os gastos com a manutenção das mesmas pode ser minimizada com o investimento em Soft-Starters para a partida e parada dos motores. Ao mesmo tempo em que surgem equipamentos de proteção para os motores surge também à necessidade de profissionais mais especializados, o que faz da escola uma peça fundamental no treinamento dos oficiais que irão conduzir as máquinas.

Pesquisar os benefícios que os Soft-Starter podem proporcionar ao motor foi o principal objetivo deste trabalho, mas sempre preocupado em entender o seu funcionamento e aplicações.

## 10. BIBLIOGRAFIA:

CAPELLI, Alexandre. “Soft-Starter – Um comparativo técnico entre essa tecnologia e os demais sistemas de partida de motores”, Revista Saber Eletrônica, Ano 40, Nº377, junho/2004, pág. 4.

CAPELLI, Alexandre. “Soft-Starter – Conheça os sistemas de partida suave de motores”, Revista Saber Eletrônica, Ano 38, Nº356, setembro/2002, pág. 2.

FERRAZ, Rogério; NASCIMENTO, Enivaldo. Manuais de instalação de Soft-Starters WEG.

WEG Automação de Processos. Disponível em:

<http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicoes/Drives/Soft-Starters>. Acesso em: 15 ago. 2011.

Elétrica e suas Duvidas: características dos soft-starters. Disponível em:

<http://www.eletricaesuasduvidas.blogspot.com/2010/10/caracteristacas-dos-soft-starters-os.html> Acesso em: 10 ago. 2011.