

Introdução à Soft starter



1. INTRODUÇÃO TEÓRICA

OBJETIVOS

A popularização da tecnologia, bem como a crescente necessidade de sistemas confiáveis, incrementam a utilização de **soft-starters**. Ar-condicionados, refrigeração industrial e compressores são exemplos que utilizam esse equipamento, principalmente quando ligados a fontes de alimentação não-confiáveis ou fracas.

Soft-starters são utilizados basicamente para partidas de motores de indução CA (corrente alternada) tipo gaiola, em substituição aos métodos estrela-triângulo, chave compensadora ou partida direta. Tem a vantagem de não provocar trancos no sistema, limitar a corrente de partida, evitar picos de corrente e ainda incorporar parada suave e proteções.

Estas chaves contribuem para a redução dos esforços sobre acoplamentos e dispositivos de transmissão durante as partidas e para o aumento da vida útil do motor e equipamentos mecânicos da máquina acionada, devido à eliminação de choques mecânicos. Também contribui para a economia de energia, sendo muito utilizada em sistemas de refrigeração e em bombeamento.

A aplicação de microprocessadores se expande vertiginosamente com o passar do tempo. Uma das causas da grande expansão do uso de microprocessadores é o seu custo reduzido. Com o passar dos dias descobrem-se novas aplicações. O seu manuseio já se encontra bastante facilitado, fazendo com que novos equipamentos sejam desenvolvidos sem grande esforço.

Os microprocessadores atuais são versáteis e consomem pouca energia. Dessa forma pode-se desenvolver equipamentos de pequeno porte com baixo custo operacional. Estes equipamentos podem substituir a mão de obra humana muitas vezes utilizada em tarefas repetitivas. Por esses motivos, o circuito de controle de um soft-starter usa um microcontroladores / microprocessadores.

CARACTERÍSTICAS

Nos processos modernos de partida do motor de indução, são usados **soft-starters** que, através de comando microprocessado, controlam tiristores que ajustam a tensão enviada ao estator do motor. Desta forma, consegue-se, de um lado, aliviar o

acionamento dos altos conjugados de aceleração do motor de indução e, de outro, proteger a rede elétrica das correntes de partida elevadas.

As chaves de partida estática são chaves **microprocessadas**, projetadas para acelerar (ou desacelerar) e proteger motores elétricos de indução trifásicos. Através do ajuste do ângulo de disparo de tiristores, controla-se a tensão aplicada ao motor. Com o ajuste correto das variáveis, o torque e a corrente são ajustados às necessidades da carga, ou seja, a corrente exigida será a mínima necessária para acelerar a carga, sem mudanças de frequência.

Algumas características e vantagens das chaves *soft-starters* são:

- Ajuste da tensão de partida por um tempo pré-definido;
- Pulso de tensão na partida para cargas com alto conjugado de partida;
- Redução rápida de tensão a um nível ajustável, (redução de choques hidráulicos em sistemas de bombeamento);
- Proteção contra falta de fase, sobre-corrente e subcorrente, etc.

Os motores assíncronos trifásicos de rotor em gaiola apresentam picos de corrente e de conjugados indesejáveis quando em partida direta. Para facilitar a partida são usados vários métodos, como chave estrela-triângulo, chave compensadora, etc.

Estes métodos conseguem uma redução na corrente de partida, porém a comutação é por degraus de tensão. Entretanto, nenhum se compara com o método de partida suave (que utiliza o *soft-starter*). A figura 1 a seguir mostra o comparativo de corrente entre os métodos mais usuais de partida:

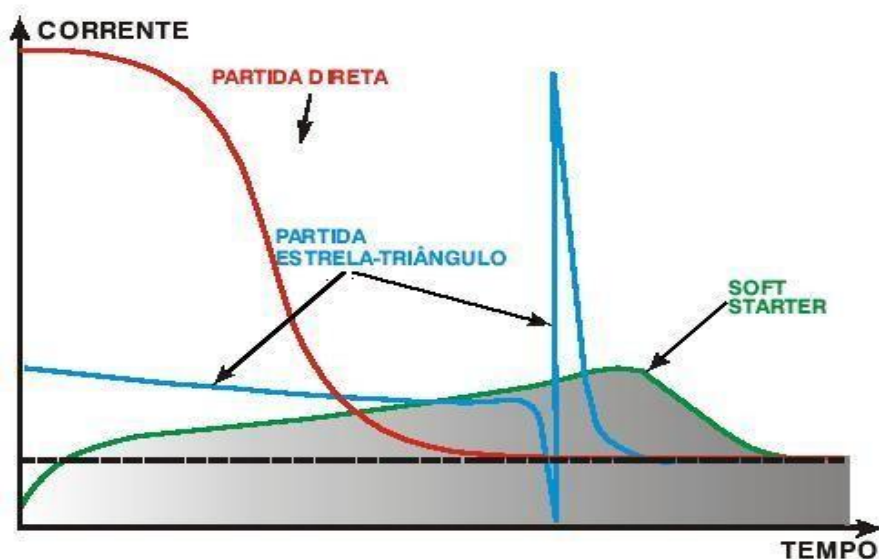


Figura 1 – Comparativo entre métodos de partida

PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O **soft-starter** é um equipamento eletrônico capaz de controlar a potência do motor no instante da partida, bem como sua frenagem. Ao contrário dos sistemas elétricos convencionais utilizados para essa função (partida com autotransformador, chave estrela-triângulo, etc.).

Seu princípio de funcionamento baseia-se em componentes estáticos: tiristores. O esquema genérico de um *soft-starter* é mostrado na figura 2 abaixo:

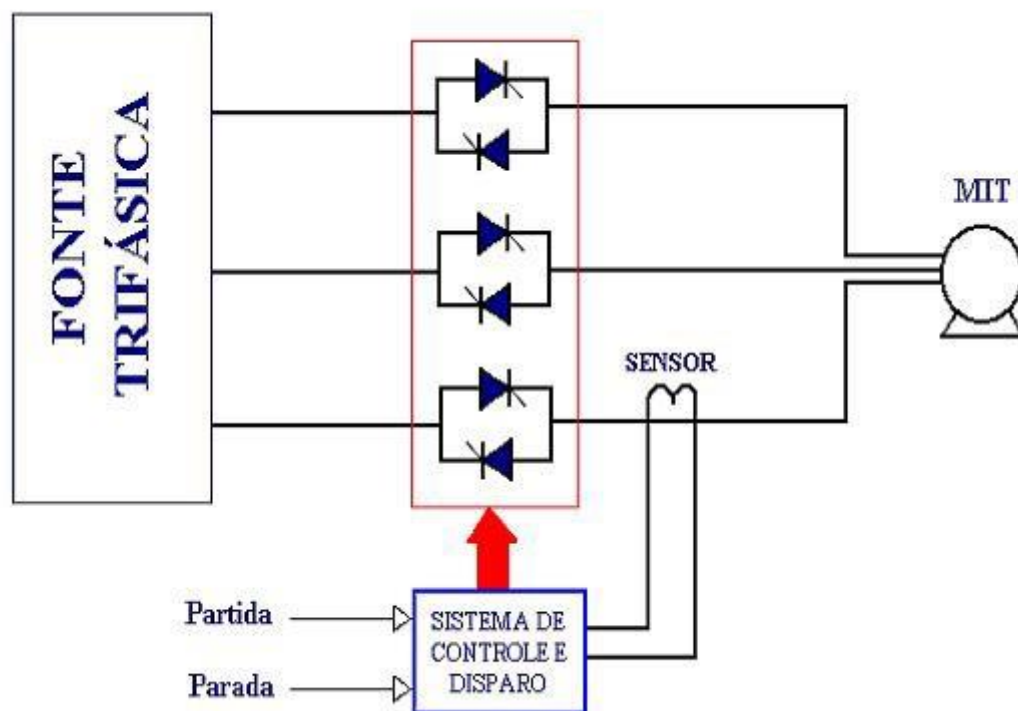


Figura 2 – Esquema de um *soft-starter* implementado com 6 tiristores para acionar um motor de indução trifásico (MIT)

Através do ângulo de condução dos tiristores, a tensão na partida é reduzida, diminuindo os picos de corrente gerados pela inércia da carga mecânica.

Um dos requisitos do *soft-starter* é controlar a potência do motor, sem entretanto alterar sua frequência (velocidade de rotação). Para que isso ocorra, o controle de disparo dos SCRs (tiristores) atua em dois pontos: controle por tensão zero e controle de corrente zero.

O circuito de controle deve temporizar os pulsos de disparo a partir do último valor de zero da forma de onda, tanto da tensão como da corrente. O sensor pode ser um transformador de corrente que pode ser instalado em uma única fase (nesse caso, o sistema mede somente o ponto de cruzamento de uma fase), ou um para cada fase.

O objetivo do projeto é simular uma chave soft-starter que um diagrama de blocos semelhante ao mostrado na figura 3. Ela ilustra o funcionamento interno de um soft-starter, dando detalhes de todos seus blocos componentes.

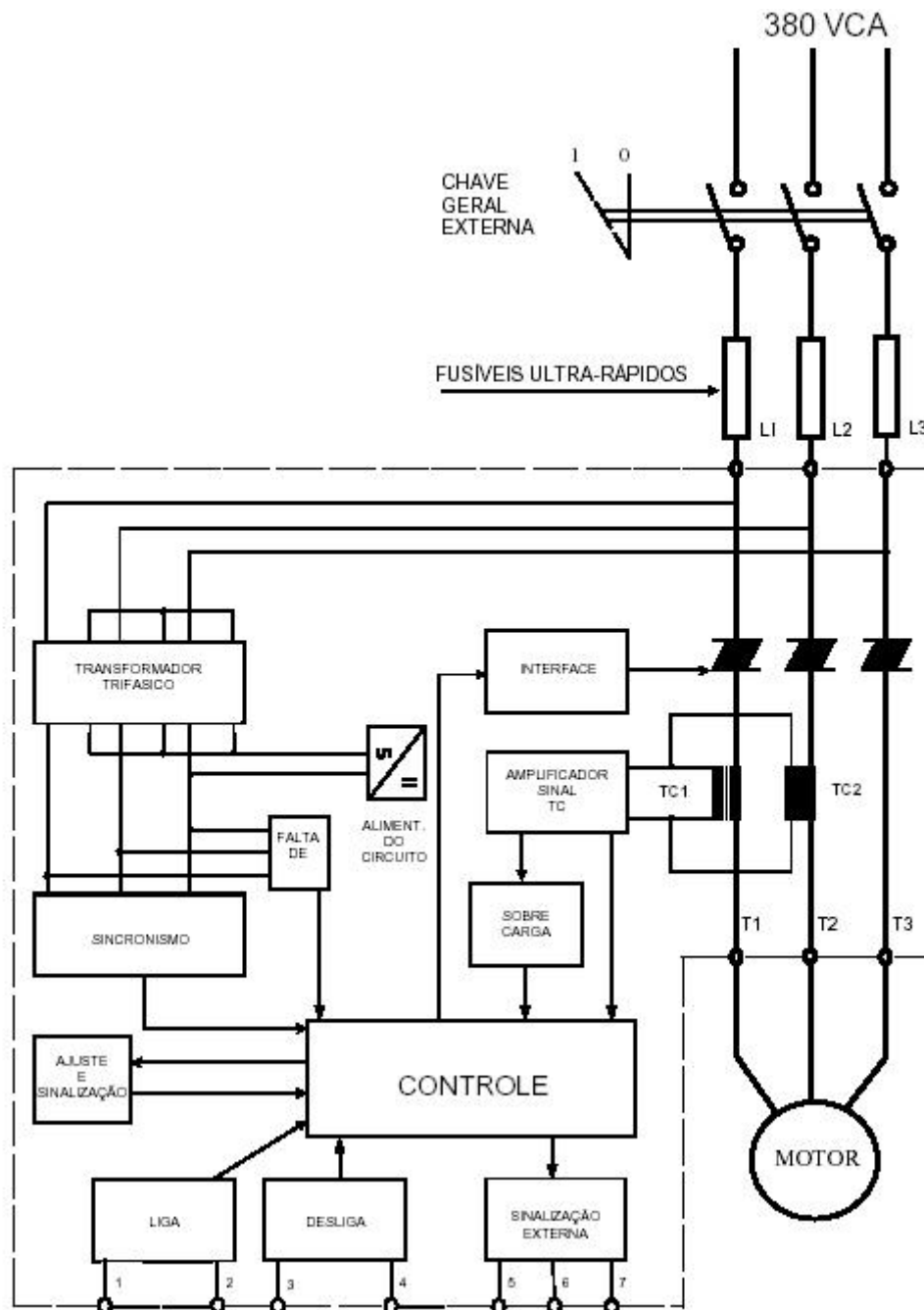


Figura 3 – Diagrama de blocos de um soft-starter

No circuito de potência, a tensão da rede é controlada através de 6 tiristores, que possibilitam a variação do ângulo de condução das tensões que alimentam o motor.

Para alimentação eletrônica interna, utiliza-se uma fonte linear com várias tensões, alimentada independente da potência.

O cartão de controle contém os circuitos responsáveis pelo comando, monitoração e proteção dos componentes de potência. Esse cartão possui também circuitos de comando e sinalização a serem utilizados pelo usuário de acordo com sua aplicação, como saídas à relé.

Para que a partida do motor ocorra de modo suave, o usuário deve parametrizar a tensão inicial (V_p) de modo que ela assuma o menos valor possível suficiente para iniciar o movimento da carga. A partir daí, a tensão subirá linearmente segundo um tempo também parametrizado (t_r) até atingir o valor nominal. Isso é mostrado na figura 4:

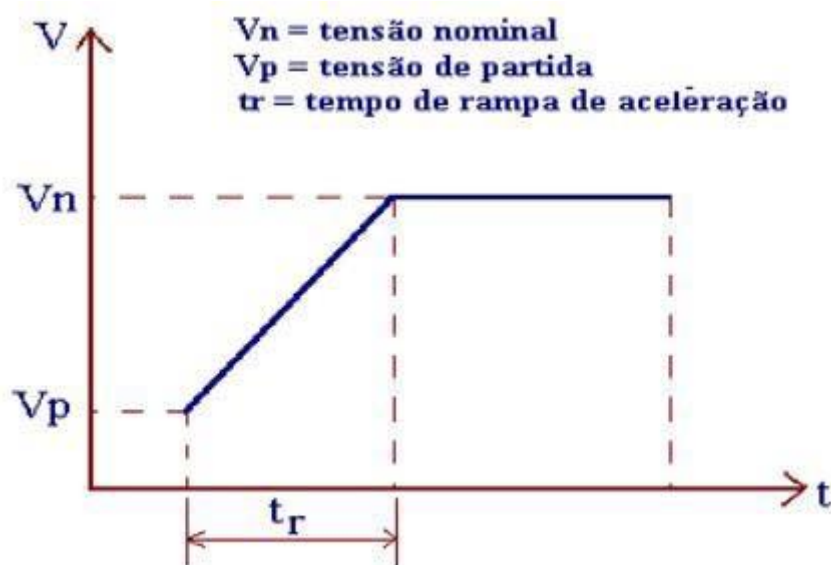


Figura 4 – Curva de aceleração de um MIT usando *soft-starter*

Na frenagem, a tensão deve ser reduzida instantaneamente a um valor ajustável (V_t), que deve ser parametrizado no nível em que o motor inicia a redução da rotação. A partir desse ponto, a tensão diminui linearmente (rampa ajustável (t_r)) até a tensão final V_z , quando o motor parar de girar. Nesse instante, a tensão é desligada. Veja a figura seguinte:

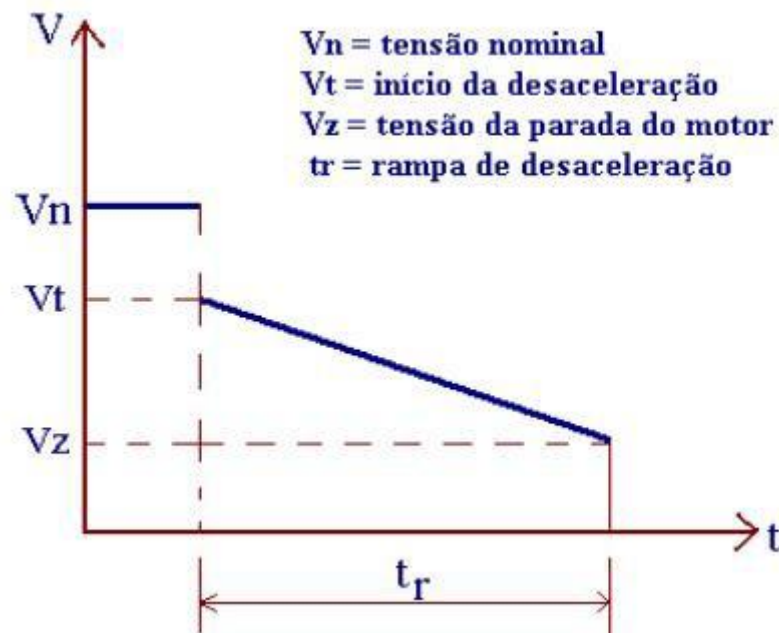


Figura 5 – Curva de desaceleração de um MIT usando *soft-starter*

Além da tensão, o *soft-starter* também tem circuitos de controle de corrente. Ela é conservada num valor ajustável por um determinado intervalo de tempo. Esse recurso permite que cargas de alta inércia sejam aceleradas com a menor corrente possível, além de limitar a corrente máxima para partidas de motores em fontes limitadas (barramento não-infinito).

Alguns fabricantes projetam seus *soft-starters* para controlar apenas duas fases (R e S, por exemplo), utilizando a terceira como referência. Essa técnica, que é mostrada na figura 6, simplifica o circuito de controle e, conseqüentemente, “barateia” o produto.

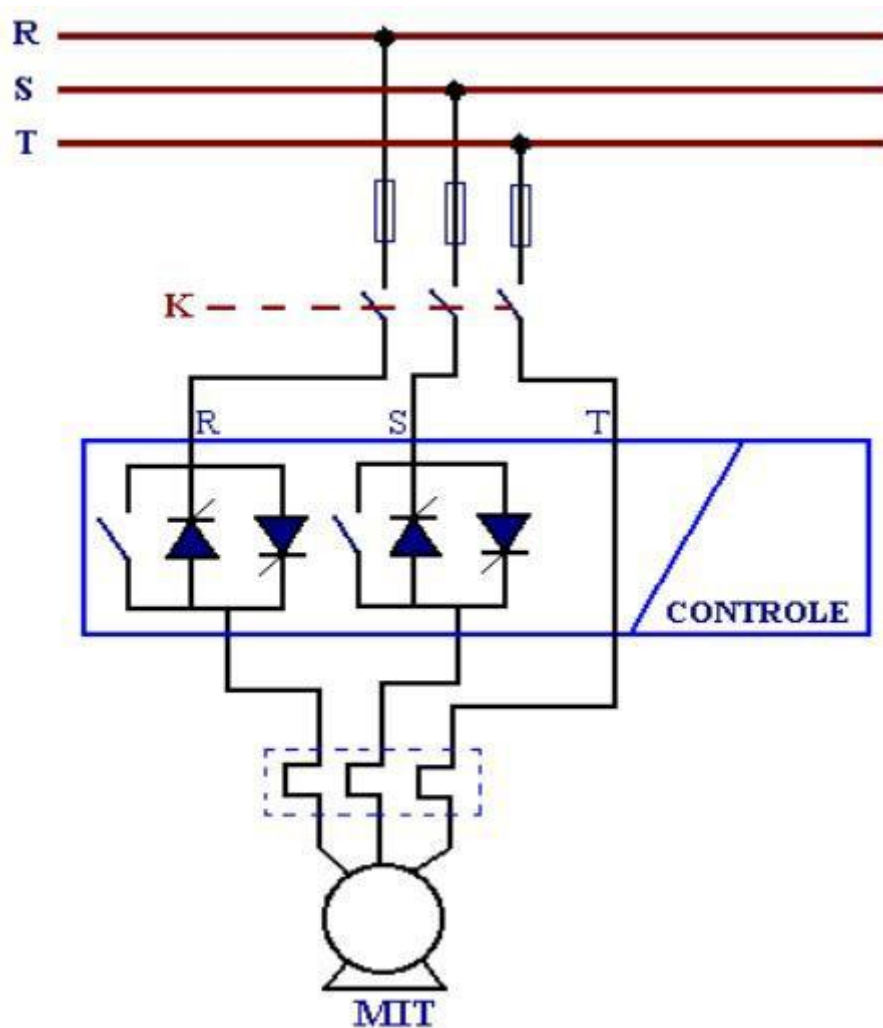


Figura 6 – *Soft-starter* com apenas duas fases controladas

RECURSOS DE UM *SOFT-STARTER*

Os *soft-starters* existentes no mercado (fabricados pela WEG, SIEMENS e outras) são equipados com interfaces homem-máquina, ou painel de LEDs para informar o status do sistema.

Quanto aos recursos que um *soft-starter* deve ter, os mais importantes são:

1. proteção do motor;
2. sensibilidade à seqüência de fase;
3. *plug-in*;
4. circuitos de economia de energia.

A seguir, fazemos uma breve descrição de cada tópico acima.

Proteção do motor

A figura 7 apresenta a curva típica de sobre-corrente de um *soft-starter*:

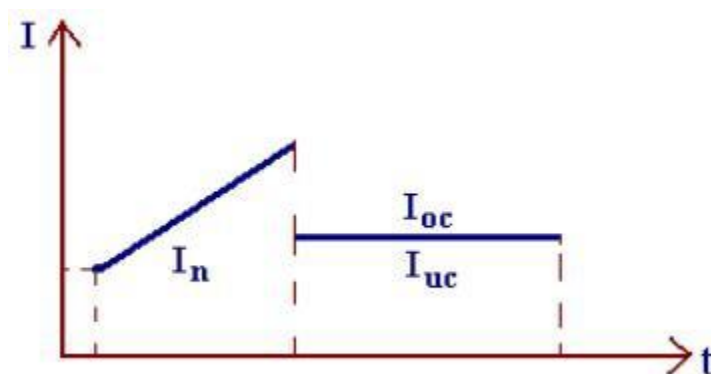


Figura 7 – Curva típica de sobre-corrente de um *soft-starter*

Podemos notar que ela determina interrupções e bloqueios em caso de falta de fase ou falha do tiristor. Normalmente, esses equipamentos também possuem relés eletrônicos de sobrecarga. Durante o tempo de operação (t_r), um relé eletrônico de carga entra em operação quando necessário.

O dispositivo pode ser configurado para dar proteção tanto para sobre-correntes (I_{oc}) quanto para sub-correntes (I_{uc}). Quando possível, utilizar para partidas de motores chaves *soft-starter* que possibilitem o ajuste do torque do motor às necessidades do torque da carga, de modo que a corrente absorvida será a mínima necessária para acelerar a carga.

Veja a figura 8, que ilustra a limitação de corrente quando usamos *soft-starter*:

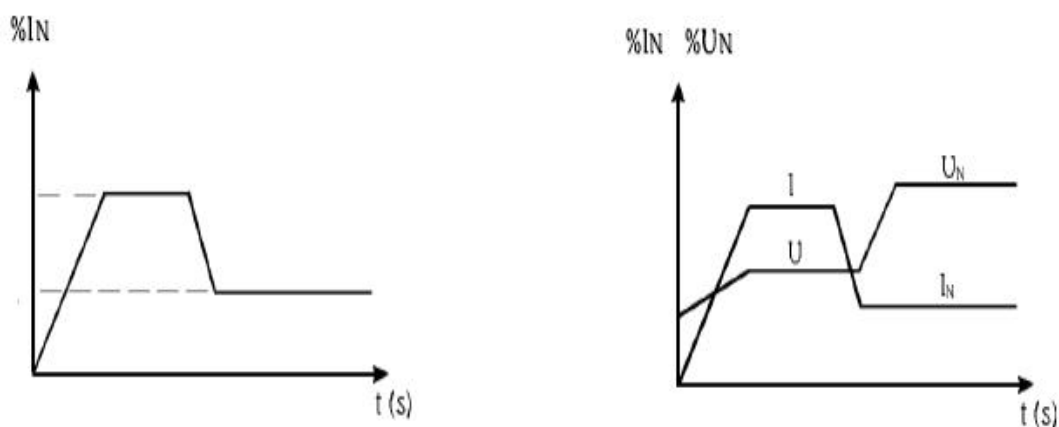


Figura 8 – Limitação de corrente em um *soft-starter*

Sensibilidade à sequência de fase

Os *soft-starters* podem ser configurados para operarem somente se a sequência de fase estiver correta. Esse recurso assegura a proteção, principalmente mecânica, para cargas que não podem girar em sentido contrário (bombas, por exemplo). Quando há a necessidade de reversão, podemos fazê-los com contatores externos ao *soft-starter*.

Plug-in

O *plug-in* é um conjunto de facilidades que podem ser disponibilizadas no *soft-starter* através de um módulo extra, ou através de parâmetros, como relé eletrônico, frenagem CC ou AC, dupla rampa de aceleração para motores de duas velocidades e realimentação de velocidade para aceleração independente das flutuações de carga.

Economia de energia

A maioria dos *soft-starters* modernos tem um circuito de economia de energia. Essa facilidade reduz a tensão aplicada para motores a vazio, diminuindo as perdas no entreferro, que são a maior parcela de perda nos motores com baixas cargas. Uma economia significativa pode ser experimentada para motores que operam com cargas de até 50% da potência do motor. Entretanto, essa função gera correntes harmônicas indesejáveis na rede, devido a abertura do ângulo de condução para diminuição da tensão. A figura a seguir ilustra isso:



Figura 9 – Economia de energia usando um *soft-starter*

Cabe lembrar, entretanto, que o *soft-starter* não melhora o fator de potência, e também gera harmônicos, como qualquer outro dispositivo de acionamento estático.

APLICAÇÕES

Os *soft-starters* podem ser utilizados nas mais diversas aplicações. Suas principais são em:

- Bombas centrífugas (saneamento, irrigação, petróleo);
- Ventiladores, exaustores e sopradores;
- Compressores de ar e refrigeração;
- Misturadores e aeradores;
- Britadores e moedores;
- Picadores de madeira;
- Refinadores de papel;
- Fornos rotativos;
- Serras e plainas (madeira);
- Moinhos (bolas e martelo);
- Transportadores de carga:
 - Correias;
 - Monovias;
 - Escadas rolantes;
 - Esteiras de bagagens em aeroportos;
 - Linhas de engarrafamento.

Porém, três delas são clássicas: bombas, compressores e ventiladores.

Daremos, em seguida, uma pequena descrição de cada uma dessas aplicações.

Bombas

Nessa aplicação, a rampa de tensão iguala as curvas do motor e de carga. A rampa de saída do *soft-starter* adequa a curva de torque do motor sobre a da 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 especificarem *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 da partida. Isso ajuda a vencer a inércia de partida quando há a presença de sólidos na bomba (sujeira).

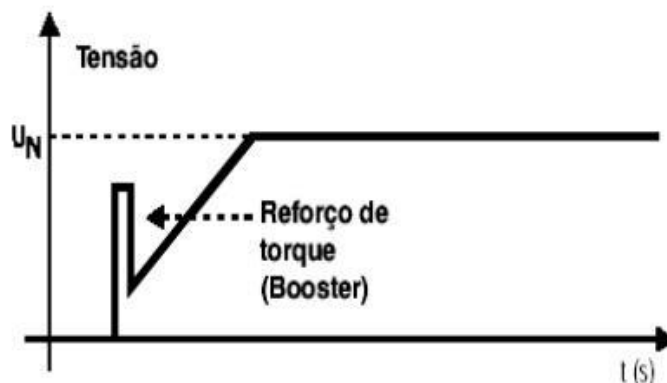


Figura 10 – Pulso “kick-start” usado na partida de cargas com alto atrito inicial

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.

Ventiladores

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

CUIDADOS

A seguir apresentamos alguns tópicos com respeito à instalação de um *soft-starter* em geral:

- Os *soft-starters* 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-starters* muito grandes, que utilizam tiristores de discos, devem também ser relativamente protegidos de pó condutor ou que se torne condutor por acúmulo de umidade.

- Os *soft-starters* com ou sem ventilador incorporado, geram uma quantia 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 75 A 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 se deve colocar 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.

2. ESTUDO DE UMA CHAVE *SOFT-STARTER*

As principais características que uma boa chave *soft-starter* deve ter são funções de: **proteção, sinalização e ajustes**. Essas funções e características são bastante desejáveis e estão presentes em todas as chaves produzidas industrialmente.

Qualquer chave *soft-starter* apresenta as seguintes vantagens em relação aos equipamentos de partida de motor tradicionais. Dentre as mais importantes, temos:

- Reduz a corrente de partida;
- Partida suave que reduz os trancos e golpes no sistema mecânico.

Como foi dito anteriormente, o *soft-starter* é um módulo eletrônico tiristorizado, para partida suave de motores de indução trifásicos. O módulo substitui os tradicionais **Estrela-Triângulo** e **Chave Compensadora**. O mesmo inicia a transferência gradual de energia para o motor, iniciando assim, suavemente a aceleração do mesmo, reduzindo os trancos e golpes nos componentes mecânicos e sobrecarga na rede elétrica durante a partida.

O sistema de controle possui ajuste da corrente de partida, que evita a subida excessiva da mesma. O método utilizado é o de *incremento linear do ângulo de condução do tiristor*, em ligação antiparalelo, nas três fases, resultando em aumento suave da tensão no estator do motor. Com o crescimento da tensão, aumenta também o torque, até que vencido o conjugado da carga, o motor inicia a girar, sendo que em seguida é limitada a corrente de partida máxima permissível.

FUNÇÕES PRINCIPAIS

Diversas funções podem ser selecionadas em chaves deslizantes frontalmente ao módulo de comando. Estas são explicadas logo a seguir.

Seleção de ajuste local da rampa de aceleração

Este ajuste se refere ao ajuste da corrente limitada na partida do motor. Permite suavizar a subida de corrente no motor, de zero até a corrente de partida. Esta suavização visa evitar trancos no motor e na carga. Ela não é responsável direta pelo tempo de partida efetiva do motor.

O tempo de partida é, por outro lado, dependente do nível de corrente de partida e da carga. Este ajuste de “Rampa de Aceleração” deve ser sempre o menor possível, para suavizar a partida e não prolongar demais o início de giro do motor, otimizando a operação. Este ajuste é especialmente importante em motores com pouca carga ou sem carga, os quais, devido a tendência de rápida aceleração, tendem a oscilarem.

Se o motor estiver com carga baixa, logo após alguns segundos, o mesmo já estará na rotação nominal, e a rampa de tensão ainda estará subindo. Em outros casos, com carga pesada, o motor só ronca durante uma parte da rampa, só iniciando a girar assim que a tensão ultrapassa o ponto em que forneça o torque necessário a carga. Isto também é normal.

Este ajuste é o principal, sendo diretamente responsável pelo tempo de partida do motor. Quanto mais alta a corrente admissível, mais rápida será a partida. Esta corrente poderá atingir até 4 vezes a corrente nominal do motor, conforme o caso. Após a subida inicial, suave da corrente, a mesma permanecerá no nível ajustado até o final de partida.

Uma partida ótima é percebida até pelo ouvido, já que existe uma aceleração progressiva, bem perceptível e ao mesmo tempo suave. Para motores sem carga, também para evitar instabilidade, este nível deve ser alto, já que, de qualquer modo, o motor sem carga acelera rápido. Deste modo, pode-se perceber que para motores sem carga perde-se um pouco a vantagem da limitação de corrente.

Seleção de ajuste remoto

Esta função é utilizada para partida de dois ou mais motores de potências diferentes com o mesmo *soft-starter*. Deste modo, cada motor terá a partida ideal, se um dispositivo externo como contadores auxiliares ou CLP selecionar a corrente de partida para cada caso.

Seleção de parada por corrente ou por rotação

Em caso de seleção de parada suave e comando de parada suave no botão correspondente, o *soft-starter* inicia a parada do motor obedecendo à rampa de parada ajustada, por corrente ou por rotação do motor. Nos dois casos, a rotação diminui em rampa, sendo que no segundo caso a precisão é maior pois a corrente fica livre para aumentar ou diminuir, compensando a carga.

A diferença é bastante perceptível, sendo que por rotação, a rampa de parada obedece melhor a ajustada e pretendida. Nos dois casos o efeito é melhor que a parada por diminuição de voltagem simplesmente, como usada pela maioria dos concorrentes, o que provoca parada abrupta do motor abaixo de determinada tensão, não obedecendo a rampa ajustada.

A rampa de parada é útil em casos onde a parada brusca é prejudicial mecanicamente. Isso pode acontecer em *bombas de recalque*, para evitar golpe de aríete, e em *motores com redutores de alta relação*, que, ao parar instantaneamente, ocasiona problemas devido a massas de alta inércia acoplados no lado de baixa rotação do redutor.

A mesma é efetuada obedecendo esta rampa, ou por diminuição gradual da corrente ou por diminuição gradual da velocidade deixando a corrente livre para variar até o valor de 5 vezes a corrente nominal.

Função Energy Saver

Esta função diminui a tensão no motor quando a carga for abaixo da nominal do motor, sendo é útil em casos em que o motor possui partida pesada mas a carga diminui após a partida, como ocorre em uma grande porcentagem das aplicações.

Esta função equivale a diminuir a potência do motor proporcionalmente a carga, economizando energia e melhorando o fator de potência. Em caso de picos de carga a liberação da tensão total é automática, voltando ao regime de economia após o pico de carga.

Função detecção de cavitação

Esta proteção é utilizada principalmente para bombas, detectando a diminuição drástica da corrente do motor, o que significa que a bomba não está escurvada ou seja, está com ar no sistema.

Função de frenagem

Esta função permite a parada com frenagem por injeção de corrente CC igual a aproximadamente duas vezes a nominal do motor. Só é ativa em caso de Parada Normal (Full Stop). O tempo de injeção de corrente CC é ajustável de 2 a 15 segundos e deve ser ajustada para o valor ideal, durante o *StartUp*, de modo que a frenagem seja interrompida logo após a parada efetiva do motor.

Função Booster

Esta função permite que para cargas com muita inércia ou atrito o *soft-starter* injete inicialmente por um período de 0 a 2 segundos, ajustável, uma corrente de 5 vezes a nominal do motor, retomando em seguida a rampa de partida ajustada. Só deve ser usado onde absolutamente necessário e pelo menor tempo que surta o efeito desejado, para evitar sobrecorrentes desnecessárias na instalação.

A figura seguinte ilustra *soft-starters* fabricados pela WEG. Note os bornes disponíveis para a ligação entre o *soft-starter* e as três fases da rede e do motor.



Figura 11 – Ilustração de *soft-starters* fabricados pela WEG

PROTEÇÕES

Para que se possa proteger o *soft-starter* de qualquer distúrbio ou falha, há a necessidade de que se faça o estudo das suas proteções necessárias. Estas são listadas nos sub-tópicos a seguir.

Falta de Fase

Detecta falha e falta de fase na entrada do mesmo. Quando atuada, acende o led correspondente, comuta o relé de falha e inibe-se o disparo dos tiristores. Sinaliza se ocorrer tanto falta de fase na entrada como na saída, como também falha interna que ocasione falta de corrente em uma das fases.

Em caso de motor sem carga, desacoplado, tanto no método de supervisão de tensão como no de corrente esta proteção pode não atuar, já que num caso o motor

gera tensão nominal na fase faltante (sem carga) e no outro caso a corrente é muito baixa e a detecção é feita por comparação entre as fases. Não ocasiona problemas pois o motor logicamente não vai operar com carga zero ou desacoplado. Deve-se tomar cuidado durante testes com o motor desacoplado.

Curto-Circuito

Atua caso ocorra uma corrente instantânea de valor 8 vezes a nominal do *soft-starter*. Neste caso, acende o LED correspondente, inibe-se os disparos e comuta-se o relê de indicação de falha. Esta proteção não dispensa o uso de fusíveis ultra-rápidos para proteção dos tiristores, já que as condições de curto-circuito variam, dependendo da impedância da rede, podendo atingir valores elevados de corrente. Neste caso, o fusível pode atuar primeiro, protegendo mais adequadamente os tiristores.

Sinaliza se detectados níveis instantâneos de corrente acima de 8 vezes a corrente nominal. Esta proteção não dispensa o uso de fusíveis ultra-rápidos, já que dependendo da impedância do sistema e do nível da corrente de curto-circuito, os fusíveis podem abrir primeiro, protegendo mais adequadamente os tiristores. Além disto em caso de falha geral do equipamento os fusíveis garantem a proteção adequada.

Sobre-Corrente

Esta proteção é ajustável, de 70 a 120% da corrente nominal. Atua após 10 segundos de sobrecarga, acendendo o LED correspondente, comutando o relé de falha e inibindo-se o disparo dos tiristores.

Essa função, que deve estar presente em toda chave *soft-starter*, sinaliza a ocorrência de sobrecarga acima dos níveis ajustados.

Sobre-Temperatura

Uma chave bem projetada possui um sensor térmico nos dissipadores de calor dos tiristores. Caso ocorra elevação da temperatura, ocorrerá a indicação da falha no LED vermelho correspondente, inibição do disparo dos tiristores, e a comutação do relé de indicação de falha.

SINALIZAÇÕES POR LEDS

Qualquer chave *soft-starter* produzida industrialmente tem um grande número de sinalizações, feitas através de leds. Essas sinalizações têm, no geral, a função de informar ao usuário a respeito do funcionamento da chave. Elas são citadas logo a seguir, e damos uma breve explicação sobre cada uma:

- *Pronto para a partida*: Significa que o motor não está em regime de partida, nem em fim de partida e nem em rampa de parada e neste caso pode ser comandada a partida.
- *Rampa*: sinaliza a ocorrência das rampas de partida e parada.
- *Rotação nominal*: sinaliza somente se a rampa de partida terminou e a corrente do motor caiu para níveis nominais, indicando que o mesmo partiu. Comanda também a entrada do contator de By Pass quando utilizado.
- *Frenagem*: Sinaliza enquanto o motor está em processo de frenagem por injeção de corrente contínua.
- *Booster*: Sinaliza durante processo de injeção de alta corrente no início de partida, caso esta função esteja selecionada.

BY PASS

By Pass é a função de um contator em paralelo com o *soft-starter*, que no final da partida, comandado pelo próprio sinal de “Rotação nominal”, fecha ficando em paralelo com os tiristores, assumindo a corrente nominal do motor.

Na hora da parada por “Soft Stop”, o contator abre sem faiscamento, pois os tiristores assumem a corrente do motor, sem interrupção e inicia-se a rampa de parada, com a interrupção da corrente final pela passagem pelo zero, portanto sem faiscamento.

No caso de parada “Full Stop”, uma pequena temporização no *soft-starter* permite que o contator abra primeiro, sem faiscamento e logo após os tiristores interrompem a corrente pela passagem pelo zero de corrente, portanto também sem faiscamento.

O contator de By Pass, apresenta, portanto, durabilidade muito grande pois não apresenta faiscamento nos contatos na abertura e no fechamento. Ele possui as vantagens:

- Não necessita refrigeração no painel para poucas partidas. O painel pode ser totalmente fechado em muitos casos, mantendo o equipamento limpo.
- Não apresenta perdas e aquecimento após a partida.
- As proteções continuam ativas.
- O contator utilizado não participa da partida e da parada, não apresentando faiscamentos e desgaste prematuro.
- Pode ser mais econômico.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A dinâmica inerente dos motores de indução resulta em reduções quadráticas do torque e da aceleração disponíveis, quando reduções lineares na tensão aplicada são impostas no enrolamento do motor, conforme relação abaixo:

$$T_d = \left(\frac{V}{V_{\max}} \right)^2 * T_{\max}$$

onde:

T_d = Torque disponível

$T_{\max}$ = Torque máximo a tensão nominal

V = Tensão aplicada

$V_{\max}$ = Tensão nominal na chave soft-starter

Considerando que o soft-starter é fundamentalmente um dispositivo regulador de corrente aplicada (tensão aplicada no motor é continuamente ajustada pela ponte tiristorizada para manter o nível de corrente), podemos modificar a equação anterior para uma relação de torque-corrente. Considerando que as reduções da tensão aplicada no motor refletem reduções no pico de corrente, uma substituição direta pode ser feita. Veja:

$$T_d = \left(\frac{I}{I_{\max}} \right)^2 * T_{\max}$$

onde:

T_d = Torque máximo a tensão nominal

$T_{\max}$ = Torque máximo a tensão nominal

I = Valor do limite de corrente

$I_{\max}$ = Corrente máxima a tensão nominal

Obviamente corrente e torque variam durante o ciclo de aceleração de um motor de indução. Para calcular com precisão o torque disponível de um motor específico, através do seu ciclo de aceleração, é necessário dispor da curva corrente-torque *versus* velocidade do motor. Considerando que essa informação não é sempre um valor específico de limite de corrente, pode ser calculado usando os dados de corrente relativos ao torque no motor na condição de rotor bloqueado.

$$T_d = \left(\frac{I}{I_{rb}} \right)^2 T_{rb}$$

onde:

T_d = Torque disponível

T_{rb} = Torque com rotor bloqueado

I = Valor limite de corrente