



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

CAMILA PIRES GOUVEIA GUEDES

SOLICITAÇÕES ELÉTRICAS PRODUZIDAS POR MOTORES DE  
INDUÇÃO TRIFÁSICOS: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE  
ACIONAMENTOS CONVENCIONAIS E PARTIDA SUAVE

Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro de 2013

CAMILA PIRES GOUVEIA GUEDES

SOLICITAÇÕES ELÉTRICAS PRODUZIDAS POR MOTORES DE  
INDUÇÃO TRIFÁSICOS: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE  
ACIONAMENTOS CONVENCIONAIS E PARTIDA SUAVE

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao  
Departamento de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Sistemas Elétricos

Orientador:

Professor: George Rossany Soares de Lira, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro de 2013

CAMILA PIRES GOUVEIA GUEDES

SOLICITAÇÕES ELÉTRICAS PRODUZIDAS POR MOTORES DE  
INDUÇÃO TRIFÁSICOS: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE  
ACIONAMENTOS CONVENCIONAIS E PARTIDA SUAVE

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao  
Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade  
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em  
Ciências no domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Sistemas Elétricos

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor** George Rossany Soares de Lira, D. Sc.  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

À Deus, toda honra e toda glória.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu bom Deus por se fazer sempre tão presente em minha vida, principalmente nos momentos de maior dificuldade.

Agradeço, também, à minha querida família por todo o suporte. Por todos os votos de confiança em mim depositados.

Agradeço à minha pequena sobrinha Alice, por cada abraço e beijo, cada gesto de carinho, sem nem mesmo saber o quanto eu estava precisando.

Agradeço ao meu amor, Marconni, pela ajuda concedida neste trabalho. Agradeço, também, por se fazer tão presente em minha vida, me amparando nos momentos de dificuldade e me dando todo o amor desse mundo.

Agradeço ao meu pai, e grande professor, Edson, por me ajudado na revisão deste trabalho e por ser esse exemplo de vida em quem eu tento me espelhar.

Agradeço ao também grande professor George, por ter aceitado ser meu orientador e pela atenção dedicada a mim e ao meu trabalho.

Finalmente, agradeço a todos os meus amigos, principalmente aos do curso, por termos enfrentado juntos esta batalha.

“Se você quer vencer, não fique olhando a escada. Comece a subir, degrau por degrau, até chegar ao topo”.

## RESUMO

A maioria das cargas presentes em um sistema elétrico são projetadas para operar em condições onde as características da rede (tensão, frequência, ângulo de fase, forma de onda), não sofrem variações significativas. Em se tratando de sistemas elétricos industriais, por exemplo, as cargas costumam ser ainda mais sensíveis a variações da rede, devido a alta precisão que seus respectivos processos exigem. Dessa forma, o acionamento adequado dos motores se apresenta como um importante fator de estudo.

O sistema de acionamento dos motores elétricos pode ocorrer através dos métodos de partida direta ou indireta. O primeiro modo de acionamento é utilizado com a ligação do motor diretamente à rede, de forma que a partida do motor seja realizada com a garantia de estabelecimento das suas características de projeto. O desenvolvimento de métodos de partida indireta veio a seguir, com o objetivo de minimizar os problemas obtidos no acionamento por partida direta. Dessa forma, métodos como partida estrela-triângulo, partida compensadora e partida suave foram criados.

Os métodos de partida indireta que serão fontes de estudo neste trabalho são: a partida estrela-triângulo e a partida suave. A partida estrela-triângulo se caracteriza por realizar o acionamento do motor na configuração Y, a qual permite que a corrente de partida seja reduzida a  $1/3$ . Já a partida suave é realizada por equipamento que utiliza os princípios da eletrônica para redução dos elevados valores de corrente na partida.

Portanto, este trabalho tratará de realizar comparativo entre estes tipos de acionamentos para motores de indução trifásicos, analisando as curvas das correntes de partida obtidas para cada um dos métodos.

**Palavras-chave:** Motor, acionamento, soft-starter.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Circuito equivalente "T" por fase do motor de indução.....	5
Figura 2- Exemplo de corrente de partida do MIT. ....	8
Figura 3- Configuração do componente de estado sólido: dois SCR aos pares, em ligação antiparalelo. ....	12
Figura 4 - Esquema elétrico interno simplificado do <i>soft-starter</i> . ....	13
Figura 5 - SCR: Simbologia, camadas e junções.....	14
Figura 6 - Curvas características de dispositivos ideais: (a) diodo; (b) SCR. ....	15
Figura 7 - Controlador monofásico de tensão <i>ca.</i> (a) circuito; (b) tensão de alimentação; (c) e (d) formas de onda das correntes de gatilho; (e) tensão na carga e (f) tensão nos terminais dos SCRs. Referência: ALMEIDA, José Luis Antunes de, 1954. <i>Eletrônica de Potência</i> . São Paulo, Érica, 1986. ....	16
Figura 8- Curva da tensão durante o período de aceleração até atingir o regime. ....	17
Figura 9 - Curva de otimização para carga parcial. ....	18
Figura 10 - Curva da tensão durante o período de desaceleração. ....	19
Figura 11 - Circuito da eletrônica de potência com controle exercido nas três fases. ....	19
Figura 12- <i>Soft-starter</i> com controle em duas fases, com relé de by-pass e bimetálico contra sobrecarga. ....	20
Figura 13 - Curva com o tempo de rampa da aceleração. ....	21
Figura 15 - Curva com o tempo de rampa da aceleração. ....	22
Figura 15 - <i>Soft-starter</i> SSW-05 Plus. ....	26
Figura 16 - Bloco diagrama do <i>soft-starter</i> SSW 05. ....	27
Figura 17 - Funcionamento das saídas digitais à relé. ....	28
Figura 18 - Sensor de corrente comercial. ....	31
Figura 19 - Osciloscópio Digital TDS5104. ....	31
Figura 20 - Simulador de carga acoplada ao eixo do motor. ....	32
Figura 21 - Diagrama elétrico para a partida direta. ....	33
Figura 22 - Placa do Motor Trifásico IP55. ....	34
Figura 23 - Diagrama elétrico para acionamento através da partida estrela-triângulo. ....	35
Figura 24 - Diagrama elétrico para partida suave. ....	37
Figura 25 - <i>Trim pots</i> de ajuste do <i>soft-starter</i> . ....	38
Figura 26 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida direta com carga acoplada ao eixo na fase R. ....	40
Figura 27 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida direta em vazio na fase R. ....	40
Figura 28 - Diagrama das tensões e correntes de fase e linha para configuração estrela. ....	41
Figura 29 - Diagrama das tensões e correntes de fase e linha para configuração estrela. ....	42
Figura 30 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida estrela-triângulo com carga, na fase R. ....	43
Figura 31 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida estrela-triângulo em vazio, na fase R. ....	44
Figura 32 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida com <i>soft-starter</i> com carga acoplada ao motor durante o acionamento (Fase R). ....	46
Figura 33 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida com <i>soft-starter</i> com carga acoplada ao motor durante o período de aceleração (Fase R). ....	47
Figura 34 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida com <i>soft-starter</i> com carga acoplada ao motor durante o período de regime permanente (Fase R). ....	48
Figura 35 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida com <i>soft-starter</i> com carga acoplada ao motor durante o acionamento (Fase S). ....	48
Figura 36 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida com <i>soft-starter</i> com carga acoplada ao motor durante o acionamento (Fase T). ....	49
Figura 37 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida com <i>soft-starter</i> com carga acoplada ao motor, durante o período de aceleração (Fase T). ....	50
Figura 38 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida com <i>soft-starter</i> com motor em vazio (Fase S). ....	50
Figura 39 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida com <i>soft-starter</i> com motor em vazio, durante o período de aceleração (Fase S). ....	51

<b>Figura 40 - Curva de corrente <i>versus</i> tempo para partida com <i>soft-starter</i> com motor em vazio, apresentado o término do período de aceleração e início do regime permanente (Fase S).</b> .....	51
<b>Figura 41 - Descrição da SSW-05 Plus.</b> .....	58
<b>Figura 43 - <i>Trimpot</i> para ajuste da tensão inicial.</b> .....	59
<b>Figura 44 - <i>Trimpot</i> para ajustar o tempo de aceleração.</b> .....	59
<b>Figura 45 - <i>Trimpot</i> de ajuste da desaceleração.</b> .....	59
<b>Figura 46 - <i>Trimpot</i> para ajustar a corrente do motor.</b> .....	60
<b>Figura 47 - Esquema de ligação para partida suave simplificada.</b> .....	62
<b>Figura 48 - Esquema de ligação para partida suave com botoeiras e contatores.</b> .....	62
<b>Figura 49 - Esquema de ligação para partida suave com botoeiras e relé de operação.</b> .....	63

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 – Sinalização de estado através dos LED.</b> .....	25
<b>Tabela 2 – Sinalização da proteção do motor e da soft-starter usando LED.</b> .....	26
<b>Tabela 3 – Simbologia utilizada nos circuitos de acionamento dos MIT.</b> .....	33
<b>Tabela 4 - Descrição da identificação do soft-starter.</b> .....	56
<b>Tabela 5 - Especificação do soft-starter SSW-05 Plus.</b> .....	57
<b>Tabela 6 - Características técnicas.</b> .....	58
<b>Tabela 7 - Potências/correntes/fiação de potência (cobre 70°C).</b> .....	60
<b>Tabela 8 - Torque nos bornes de potência e eletrônica.</b> .....	60
<b>Tabela 9 – Tipos de fusíveis e contator a serem utilizados em função da corrente do soft-starter.</b> ...	61
<b>Tabela 10 - Simbologia.</b> .....	61

# SUMÁRIO

Objetivo.....	1
1 Introdução.....	2
2 Fundamentação Teórica.....	3
2.1 Motores de Indução Trifásicos.....	3
2.1.1 Princípio de funcionamento.....	4
2.1.2 Circuito equivalente.....	5
2.2 Acionamento de motores de indução trifásicos.....	7
2.2.1 Partida direta.....	9
2.2.2 Partida estrela-triângulo.....	10
2.2.3 Chave de partida suave.....	12
3 Material e métodos.....	30
3.1 Material.....	30
3.2 Métodos.....	31
3.2.1 Partida direta.....	33
3.2.2 Partida estrela-triângulo.....	35
3.2.3 Partida suave.....	37
4 Resultados.....	39
4.1 Partida direta.....	39
4.2 Partida estrela-triângulo.....	41
4.3 Partida suave.....	45
5 Conclusão.....	54
Referências Bibliográficas.....	55
Anexo.....	56

## OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo comparativo entre as correntes de partida produzidas pelo acionamento de um motor de indução trifásico (MIT) através de diferentes métodos de partida. Os sistemas de partida utilizados serão: partida direta, partida através da chave estrela-triângulo e partida suave (*soft-starter*). Para o último caso, será utilizado o equipamento *soft-starter*, modelo SSW-05 Plus comercial. O estudo realizado visa observar os reais benefícios trazidos pela utilização da partida suave em acionamentos de motores, pois o mesmo não provoca quedas elevadas de tensão ao sistema, limita a corrente de partida, evita picos de corrente e ainda incorpora parada suave e proteções. A curva de corrente *versus* tempo será obtida para cada um dos métodos de partida.

# 1 INTRODUÇÃO

O motor elétrico é a máquina destinada a transformar energia elétrica em energia mecânica. O motor de indução é o mais utilizado dentre todos os tipos de motores, pois combinam as vantagens da utilização de energia elétrica - baixo custo, facilidade de transporte, limpeza, simplicidade de comando - com sua construção simples e grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos monofásicos.

A partida de motores elétricos pode ser considerada como um período crítico para a rede de alimentação secundária. Os motores de indução trifásicos devem, sempre que possível, partir por meio de contadores ligados diretamente à rede, ou seja, partida direta. Este sistema fornece o maior conjugado de partida e a máxima aceleração. Porém, durante a partida, o sistema pode ser solicitado de maneira severa, causando perturbações que, às vezes, são inadmissíveis, já que os motores necessitam de correntes mais elevadas na ordem de 6 a 10 vezes maior.

Dessa forma, como uma alternativa ao acionamento de motores elétricos em situações que a partida direta não seja recomendável, por causa das severas solicitações principalmente à rede de alimentação, deve-se recorrer a um método de partida indireta compatível com a carga e a tensão do motor, de modo que se tenha a redução da corrente de partida. Os métodos de partida indireta vêm sendo utilizados, basicamente, para que a exigência de corrente absorvida da rede seja limitada durante o período de partida e o seu acionamento pode ser feito, dentre outros métodos, através de chave estrela-triângulo e da partida suave.

Assim, este trabalho abordará um estudo comparativo entre a partida direta, a partida através da chave estrela-triângulo e a partida suave, quanto às solicitações provocadas por cada um delas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

O motor de indução trifásico (MIT) é um motor de corrente alternada cujo funcionamento é baseado no princípio do campo girante. Para conseguir esse campo, é necessário que haja vários enrolamentos, notadamente um por fase, ao redor de núcleos magnéticos no estator que formarão os pares de pólos de um eletroímã. São alimentados por um sistema trifásico a três fios, em que as tensões estão defasadas de  $120^\circ$  elétricos.

O MIT é o mais utilizado dentre todos os tipos, pois concilia robustez, grande versatilidade de aplicação, baixo custo, melhores rendimentos e não é poluente, aliados ao fato de se utilizar energia elétrica como fonte de alimentação (energia de fácil disponibilidade e baixo custo).

Comparativamente com o motor de corrente contínua, o motor de indução trifásico se apresenta como uma melhor opção para os acionamentos controlados, pois possui algumas vantagens, devido à inexistência do comutador. Entre as vantagens, pode-se citar:

- O custo do MIT é muito menor que o motor de *cc* de mesma potência;
- A manutenção do MIT é mais simples e menos onerosa;
- O consumo de energia do MIT nos processos de aceleração e frenagem é menor;
- Obtenção de velocidades maiores, o que implica em potências maiores ( $P = \omega \times T$ ).

A denominação do motor de indução trifásico advém do fato de que a corrente no rotor não provém diretamente de uma fonte de alimentação, mas é induzida nele pelo movimento relativo dos condutores do rotor e do campo girante produzido pelas correntes no estator.

Um motor de indução é composto basicamente de duas partes:

- Rotor: parte móvel;

- Estator ou Carcaça: parte fixa.

O estator é formado por três elementos: carcaça, que corresponde à estrutura de suporte do rotor; o núcleo, composto de chapas finas de aço magnético tratadas termicamente para reduzir ao mínimo as perdas por correntes parasitas e histerese e os enrolamentos, dimensionados em material condutor isolado e dispostos sobre o núcleo. As chapas têm o formato de um anel com ranhuras internas, de tal maneira que possam ser alojados enrolamentos, os quais por sua vez, quando em operação, deverão criar um campo magnético no estator.

O rotor também é composto de três elementos básicos: o eixo, responsável pela transmissão da potência mecânica gerada pelo motor; o núcleo, constituído de chapas finas de aço magnético tratadas termicamente; e os enrolamentos, constituídos de material condutor e dispostos sobre o núcleo. As correntes rotóricas são geradas eletromagneticamente pelo estator, único elemento do motor ligado à linha de alimentação.

### 2.1.1 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Ao serem submetidos a uma corrente alternada ( $ca$ ), os enrolamentos localizados nas cavas do estator geram um campo magnético no estator. Por consequência, no rotor surge uma força contra eletromotriz (f.c.e.m.) induzida devido ao fluxo magnético variável que atravessa o rotor. A f.c.e.m. induzida dá origem a uma corrente induzida no rotor que tende a se opor à causa que lhe deu origem, criando assim um movimento giratório no rotor. A velocidade do rotor nunca pode atingir a velocidade do campo girante, isto é, a velocidade síncrona. Se essa velocidade fosse atingida, os condutores do rotor não seriam cortados pelas linhas de força do campo girante, não se produzindo, portanto, correntes induzidas, sendo então nulo o conjugado motor. Por isso, os motores de indução são também chamados assíncronos.

No funcionamento do motor sem carga, o rotor gira com velocidade próxima à síncrona. Já com carga, o rotor se atrasa mais em relação ao campo girante, e correntes maiores são induzidas para desenvolver o conjugado necessário.

A diferença relativa entre a velocidade do rotor e a velocidade síncrona em um motor de indução é expressa através de um parâmetro denominado de escorregamento, símbolo  $s$ , definido como:

$$s = \frac{n - n_r}{n}, \quad (1)$$

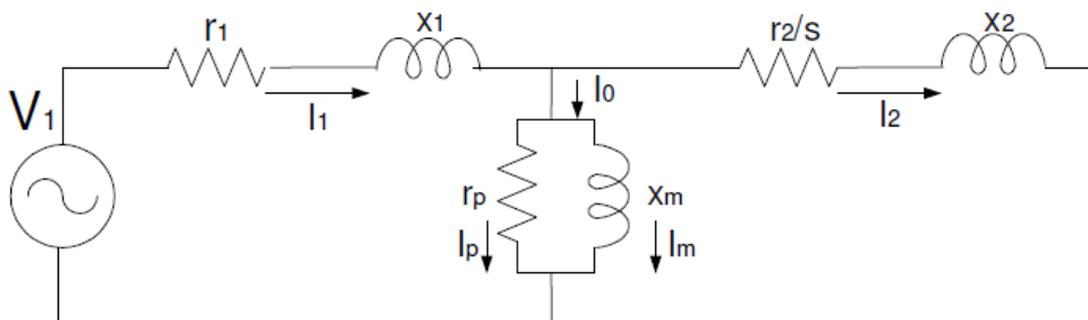
com  $n$  é a velocidade síncrona e  $n_r$  é a velocidade do rotor.

O escorregamento é grandeza adimensional e menor que um, sendo, portanto, podendo ser expresso em porcentagem. A frequência da corrente no rotor é o produto do escorregamento pela frequência da corrente no estator, isto é:

$$f_r = s \times f, \quad (2)$$

### 2.1.2 CIRCUITO EQUIVALENTE

O modelo de regime permanente do motor de indução é representado na figura 1.



**Figura 1 - Circuito equivalente "T" por fase do motor de indução.**

Onde:  $V_1$  é a tensão rms do estator [V];  $I_1$  é a corrente rms do estator [A];  $I_0$  é a corrente a vazio [A];  $I_2$  é a corrente do rotor referida ao estator [A];  $r_1$  é a resistência do enrolamento do estator/fase [ $\Omega$ ];  $X_1$  é a reatância para representação do fluxo magnético de dispersão do enrolamento do estator [ $\Omega$ ];  $r_p$  é a resistência para representação das perdas no ferro [ $\Omega$ ];  $X_m$  é a reatância para representação das perdas no ferro [ $\Omega$ ];  $r_2$  é a resistência no enrolamento do rotor variável com o escorregamento, referida ao estator [ $\Omega$ ];  $X_2$  é a reatância para representação do fluxo magnético de dispersão do enrolamento do rotor para frequência correspondente a rotor bloqueado, com indutância

variando com o escorregamento, valor referido ao estator  $[\Omega]$ ;  $I_m$  é a corrente de magnetização e  $I_p$  é corrente de perdas no núcleo.

O efeito combinado da carga no eixo e da resistência do rotor aparece como uma resistência refletida  $r_2/s$  e despreza-se  $r_p$  por ser muito maior que  $x_m$ . Dessa forma, a impedância equivalente do motor é dada por:

$$Z_{eq} = r_1 + jx_1 + \frac{(r_2/s + jx_2) \times jx_m}{r_2/s + j(x_2 + x_m)}. \quad (3)$$

A partida de forma direta do motor de indução trifásico ocasiona elevado valor de corrente. O motivo da alta corrente pode ser explicado através da análise do valor da impedância equivalente do circuito da Figura 1.

Durante a partida do motor, a velocidade do rotor ( $n_r$ ) é zero, já que o motor se encontra parado. Com  $n_r = 0$ , o escorregamento terá valor 1 (um). Já com o motor à velocidade nominal, o escorregamento terá um valor menor. Portanto, ao calcular o valor da impedância equivalente utilizando a Eq. 3, para as duas situações, será obtido um baixo valor de  $Z_{eq}$  para o motor durante a partida e um valor maior de  $Z_{eq}$  para o motor em regime.

Como a tensão nominal é a mesma para a partida e para o período de regime, tem-se:

$$Z_{eq_n} \times I_n = Z_{eq_p} \times I_p, \quad (4)$$

e, portanto:

$$\frac{I_p}{I_n} = \frac{Z_{eq_n}}{Z_{eq_p}}. \quad (5)$$

sendo  $Z_{eq_n}$  é a impedância à velocidade nominal e  $Z_{eq_p}$  a impedância na partida.

Observa-se que a impedância equivalente na partida é menor do que no regime, tem-se uma corrente de partida maior do que a corrente à velocidade nominal. E, dentre outros problemas, o elevado valor de corrente provoca solicitações severas à rede de alimentação, assim como provocar o desgaste do motor, reduzindo sua vida útil.

## 2.2 ACIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Como citado anteriormente, o motor elétrico é uma máquina destinada a converter energia elétrica em energia mecânica. E, devido às características de funcionamento de cada tipo de motor elétrico ser diferente, cada um deles possui uma aplicação específica. Atualmente, com a alimentação de motores elétricos por conversores eletrônicos de potência, é possível, através da estratégia de controle de conversores, adaptar as características de funcionamento naturais de um determinado tipo de motor elétrico às necessidades da carga mecânica que ele vai acionar.

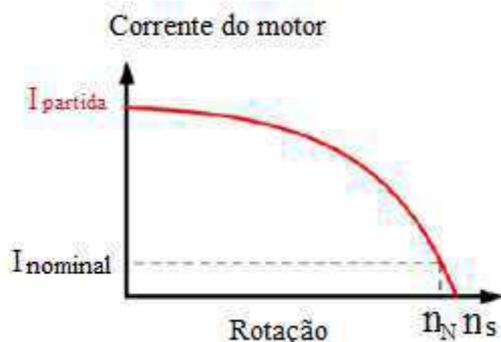
Por isso, a seleção do motor e sua aplicação constituem um assunto complexo, que envolve a análise de diversos parâmetros: rede elétrica disponível para alimentação do motor, características de funcionamento do motor elétrico, ligação do motor elétrico à carga mecânica, necessidades e características da carga mecânica, controle do motor elétrico, exploração econômica do sistema de acionamento, etc.

Existem diversos métodos de acionamento dos motores elétricos e após o acionamento do mesmo, à medida que ele vai acelerando, o escorregamento vai diminuindo. Da mesma forma ocorre com a corrente, até atingir o seu valor nominal.

Dependendo das características do motor, a corrente de partida pode variar de 6 a 10 vezes o valor da corrente nominal. Quando se trata de motores, a partida pode perturbar a rede, e provocar quedas de tensão, sobreaquecimento de condutores, etc. Para minimizar os efeitos da partida de motores de médio e grande porte, as companhias fornecedoras de energia elétrica estabelecem regulamentos que exigem dispositivos de partida que reduzam a corrente de partida. A redução da corrente de partida prejudica o torque de partida do motor podendo, inclusive, não ter condições de partir ou tornar a partida muito lenta, o que também pode se constituir em um problema. Por isso, não se deve reduzir em demasia a corrente de partida.

Verifica-se que o torque de partida de um motor de indução trifásico é proporcional ao quadrado da tensão aplicada nas bobinas. De modo a reduzir a corrente de partida, pode-se reduzir a tensão aplicada às bobinas do motor por meio de um algum dispositivo de atenuação. Para tanto, aconselha-se utilizar algum método de acionamento que minimize possíveis perturbações na rede, desde que atenda as características de partida da carga.

Durante a partida, mesmo consumindo uma potência ativa não tão alta, o motor absorve uma quantidade bastante grande de energia reativa da rede neste período. O resultado é uma elevada corrente de partida, conforme observada na Figura 2.



**Figura 2– Exemplo de corrente de partida do MIT.**

Quando a instalação tiver capacidade limitada de corrente é possível, no instante da partida, que o motor possa não desenvolver torque suficiente para acelerar uma dada carga e, em decorrência, solicitar uma corrente excessiva fazendo com que os dispositivos de proteção sejam acionados.

A adoção de um sistema de partida eficiente pode ser considerada uma das regras básicas para se obter do motor uma vida útil prolongada, custos operacionais reduzidos, além da manutenção mais simples.

Alguns dos métodos convencionais de acionamento de motores:

- Partida direta;
- Chave estrela-triângulo e
- Partida suave.

A norma brasileira regulamentadora de número 5410 (NBR5410) determina algumas limitações às perturbações devido à partida de motores. Para evitar perturbações que comprometam a rede de distribuição, a própria instalação e o funcionamento das demais cargas por ela alimentadas, devem ser observadas as restrições impostas pela empresa distribuidora de energia elétrica à partida de motores. Assim, para a partida direta de motores com potência acima de 3,7 kW (5 cv), em instalações alimentadas diretamente pela rede de distribuição pública em baixa tensão, deve ser consultada a empresa distribuidora local. Também devem ser observados os limites de queda de tensão nos demais pontos de utilização, durante a partida do motor.

Para satisfazer os requisitos descritos anteriormente, pode ser necessário empregar dispositivos que limitem a corrente de arranque do motor, de modo que as perturbações sejam atenuadas a valores limites aceitáveis pelas normas.

### 2.2.1 PARTIDA DIRETA

A partida direta é o método mais simples e barato de acionamento de motores de indução trifásicos, pois o estator é ligado diretamente à rede e não são empregados dispositivos especiais de acionamento. Apenas são utilizados disjuntores, chaves interruptoras ou contadores. Do ponto de vista elétrico da máquina motriz, o sistema de partida direta é o melhor sistema, visto que o motor parte com suas características nominais de projeto. Assim, é o recurso ideal quando se deseja usufruir do desempenho máximo nominais de um motor elétrico trifásico, como, por exemplo, o torque de partida.

No momento da colocação em funcionamento, o motor se comporta como um transformador em que o secundário, constituído pela gaiola do rotor, muito pouco resistiva, está em curto-circuito. A corrente induzida no motor é elevada, o que constitui um fato indesejável, pois a corrente absorvida pelo motor percorre toda a rede de alimentação. Dessa forma, deverá haver um dimensionamento que a suporte, resultando em necessidade de condutores com maior diâmetro, que serão plenamente requisitados apenas durante o pequeno intervalo de tempo em que o motor está partindo (alguns segundos), onerando o custo da instalação.

Na sua maioria, as concessionárias de energia elétrica só permitem a energização direta de motores, quando ele tiver potência igual ou menor a:

- 5 cv – rede trifásica de 220/110 V;
- 7,5 cv – rede trifásica de 380/220 V e
- 9% dos kVA do transformador se este for individual do consumidor.

De forma prática, pode-se considerar que o método de partida direta pode ser utilizado se as seguintes condições forem satisfeitas:

- A corrente nominal da rede é tão elevada que a corrente de partida do motor não é relevante;

- A corrente de partida do motor é de baixo valor porque sua potência é pequena e
- A partida do motor é feita sem carga, o que reduz o tempo de partida e, conseqüentemente, também os efeitos sobre o sistema de alimentação.

Os fatores que impedem a partida de motores de forma direta são:

- As condições impostas pela concessionária fornecedora de energia elétrica (visto anteriormente);
- A partida do motor provoca o desligamento dos circuitos dos outros motores ou dos disjuntores primários (proteção geral da rede) e
- A carga a ser movimentada necessita de acionamento lento e progressivo.

Portanto, torna-se necessário utilizar um artifício para diminuir a corrente exigida ou o conjugado de partida. Esses artifícios foram implementados em outros tipos de acionamento, os quais são denominados de partida indireta.

### 2.2.2 PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

A partida através da chave estrela-triângulo é um tipo de partida indireta. Nas instalações elétricas industriais podem ser utilizadas as chaves estrela-triângulo como forma de suavizar os efeitos da partida dos motores elétricos.

Para o acionamento através da chave de partida estrela-triângulo é fundamental que o motor possua seis terminais acessíveis e disponha de dupla tensão nominal, por exemplo, 220/380 V, 380/660 V ou 440/760 V, desde que o segundo valor de tensão seja igual ao primeiro multiplicado por  $\sqrt{3}$ , devendo, obrigatoriamente, a menor das tensões coincidir com a tensão da rede .

A corrente absorvida durante a partida é:

$$I_{\text{absorvida(partida)}} = I_{\text{estator(em estrela)}} = (V/\sqrt{3})/Z, \quad (6)$$

sendo  $Z$  a impedância do motor e , a corrente absorvida da rede em regime permanente é:

$$I_{absorvida(regime)} = I_{estator(em\ triângulo)} = \sqrt{3}(V/Z). \quad (7)$$

Portanto:

$$I_{absorvida(regime)}/I_{absorvida(partida)} = (\sqrt{3}(V/Z))/((V/\sqrt{3})/Z) = 3. \quad (8)$$

Assim, tem-se que com a partida em estrela, conforme comprovado pela Eq. 8, a corrente de partida fica reduzida a 1/3 de seu valor nominal, proporcionando uma partida mais lenta para o motor, amenizando os efeitos mecânicos causados pela rápida aceleração. A curva de conjugado também é reduzida na mesma proporção, refletindo em um baixo conjugado de partida, pois como a tensão é dividida por  $\sqrt{3}$ , a corrente também é sensivelmente dividida por  $\sqrt{3}$  e, devido ao conjugado de partida variar proporcionalmente ao quadrado da tensão de alimentação, ele é dividido por 3. Portanto, existem casos em que a partida estrela não deve ser aplicada, com seu uso sendo mais adequado para motores com baixo conjugado resistente ou com partida em vazio. Por esse motivo, sempre que for necessária uma partida estrela-triângulo, deverá ser usado um motor com conjugado elevado, de modo a garantir a aceleração da máquina.

O método de partida-estrela é utilizado com o objetivo de reduzir o valor da corrente de partida. As três fases do motor são ligadas em estrela durante a partida até que se alcance uma rotação próxima da nominal. Quando, então, a conexão é desfeita e os enrolamentos são, então, ligados em triângulo e o motor recupera as suas características nominais.. A velocidade do motor se estabiliza quando os conjugados motor e resistente se equilibram, geralmente entre 75 e 85% da velocidade nominal.

A passagem da ligação estrela à ligação triângulo pode ser feita de forma manual ou controlada por um temporizador. O fechamento do contator triângulo se dá com um atraso de 30 a 50 milisegundos após a abertura do contator estrela, o que evita um curto-circuito entre fases, uma vez que os dois contatores não podem ficar fechados simultaneamente. A passagem para triângulo é acompanhada de um pico de corrente transitório muito curto, mas muito elevado, devido à força contra eletromotriz do motor.

A partida de motores trifásicos através da chave estrela-triângulo tem vantagens e desvantagens, que são citadas a seguir:

Vantagens

- Custo reduzido;
- Elevado número de manobras;
- Corrente de partida reduzida a 1/3 da nominal e
- Dimensões relativamente reduzidas.

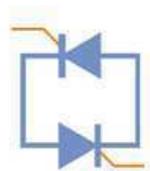
#### Desvantagens

- Aplicação específica a motores com dupla tensão nominal e que disponham de seis terminais acessíveis;
- Conjugado de partida reduzido a 1/3 do nominal;
- A tensão da rede deve coincidir com a tensão em triângulo do motor e
- O motor deve alcançar uma velocidade próxima à de regime para que, durante a comutação, a corrente de pico não atinja valores elevados, próximos, portanto, da corrente de partida com acionamento direto.

#### 2.2.3 CHAVE DE PARTIDA SUAVE

Com o avanço da tecnologia da Eletrônica de Potência, vêm surgindo, ao longo dos anos, novos dispositivos destinados a modernizar as técnicas convencionais de acionamento de motores de indução trifásicos.

Um desses equipamentos é o *soft-starter* (do inglês, partida suave). O *soft-starter* utiliza conversores eletrônicos que permitem o controle da partida do motor de indução. Trata-se de um módulo eletrônico composto por dispositivos que consistem em elementos de comutação bidirecionais, formados por pontes de tiristores (de quatro a seis tiristores SCR montados na configuração antiparalelo e acionados por uma placa de controle eletrônica) que atuam como chaves de partida estática. Como a rede de alimentação é alternada, logo é necessário o controle de tensão para os semiciclos positivos e negativos, fazendo-se necessário uma configuração antiparalela de dois SCR por fase. A representação dos tiristores em antiparalelo pode ser vista na figura 3.

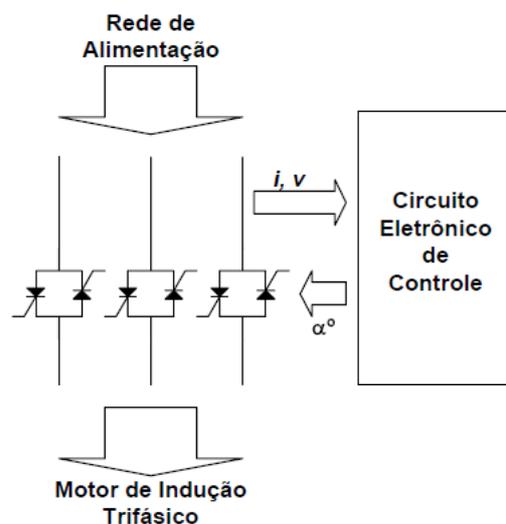


**Figura 3- Configuração do componente de estado sólido: dois SCR aos pares, em ligação antiparalelo.**

Nesse método de partida, o controle da potência fornecida na fase de partida é feito mediante um escalonamento da fração da tensão de alimentação fornecida a cada instante, em um dado número de semiciclos de tensão, que pode ser ajustado às características desejadas, até o seu valor pleno.

Através do controle da tensão eficaz que é aplicada aos terminais do motor, o conjugado e a corrente de partida do motor podem ser limitados, pois o conjugado do motor varia de forma quadrática com a tensão e a corrente cresce de forma linear.

Adotando-se este procedimento, tem-se a possibilidade de partir do estado de repouso e alcançar o estado de rotação plena. Variando o ângulo de disparo dos SCR, inicia-se uma transferência gradual de energia ao motor, podendo, então, controlar a corrente de partida dos motores. Na Figura 4, pode ser visto um esquema interno simplificado de um *soft-starter*. A rede de alimentação alimenta as três fases, compostas pelos tiristores em antiparalelo e, obtém-se, a partir das fases, os valores de corrente e tensão. Portanto, a partir dos valores, tem-se a obtenção de um ângulo de disparo  $\alpha$ , o qual será responsável por controlar a alimentação do motor.



**Figura 4 - Esquema elétrico interno simplificado do *soft-starter*.**

Além da vantagem do controle da tensão (corrente) durante a partida, a chave eletrônica apresenta, também, a vantagem de não possuir partes móveis como nas chaves mecânicas. Este é um dos pontos fortes das chaves eletrônicas, pois sua vida útil torna-se mais longa.

Dessa forma, através do controle da partida do MIT, e com a conseqüente redução na tensão aplicada aos terminais do motor, os esforços sobre os acoplamentos e

dispositivos de transmissão (reduzidores, polias, engrenagens, correias, etc.) são atenuados acentuadamente, aumentando a vida útil do motor e equipamentos mecânicos da máquina acionada. Evitam-se, então, as sobrecorrentes transitórias de partida e, portanto, as subtensões (afundamentos de tensão) resultantes na rede elétrica. Além disso, eliminam-se os choques mecânicos, não provocam quedas elevadas de tensão ao sistema e podem contribuir para a economia de energia, sendo muito utilizadas em sistemas de refrigeração e em bombeamento.

As principais características que um bom *soft-starter* deve ter são funções de: proteção, sinalização e ajustes. Essas funções e características são bastante desejáveis e estão presentes, num grau maior ou menor, em todas as chaves produzidas industrialmente. O sistema de controle possui ajuste da corrente de partida, que permite evitar a subida excessiva da mesma. A função de proteção é desempenhada através da detecção do defeito e sinalização do mesmo, de modo a indicar qual anormalidade está ocorrendo no sistema.

### 2.2.3.1 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. Seu princípio de funcionamento se baseia em componentes estáticos: Retificador Controlado de Silício (SCR). O símbolo do SCR e a identificação de seus terminais são mostrados a seguir. A semelhança com o diodo é evidente. Os terminais principais têm a mesma denominação: ânodo (A) e cátodo (K).

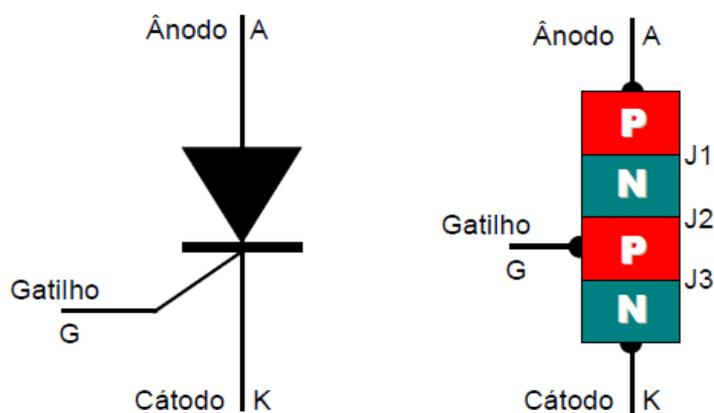
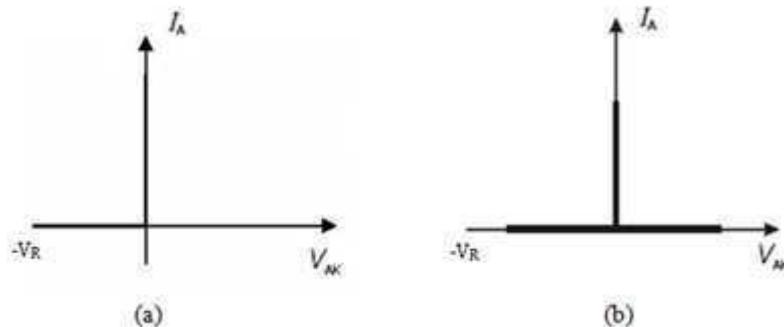


Figura 5 - SCR: Simbologia, camadas e junções.

O SCR é, em termos simples, um diodo dotado de um terminal extra, conhecido como terminal de gatilho (*gate* ou porta), que permite controlar o momento em que a condução deve começar.

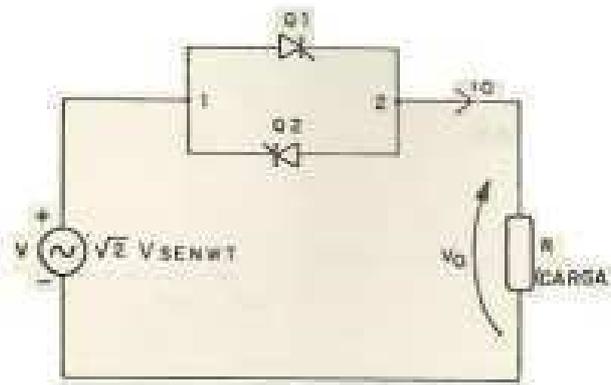


**Figura 6 - Curvas características de dispositivos ideais: (a) diodo; (b) SCR.**

Em polarização reversa, entre  $V_{AK} = -V_R$  e  $V_{AK} = 0$ , um diodo ideal não conduz correspondendo a uma situação de chave aberta. Ao se atingir  $V_{AK} = 0$ , o diodo ideal conduz, tornando-se virtualmente um curto-circuito, que corresponde a uma situação de chave fechada.

Para um SCR, em polarização reversa, a corrente também é nula. Entretanto, ao se atingir  $V_{AK} = 0$ , o mesmo não passa a conduzir. Mesmo com  $V_{AK} > 0$ , a corrente ainda será nula, a menos que se aplique um pulso de corrente no terminal de gatilho, quando então o SCR se comporta como um curto-circuito. Uma vez em condução, o SCR só voltará ao estado de bloqueio se a corrente atingir a zero ou se for aplicada, por meio de um circuito auxiliar, uma tensão reversa nos seus terminais.

Os conversores tiristorizados podem ser classificados de diversas maneiras, mas, normalmente, eles se classificam quanto à forma como é disponível a alimentação (*cc* ou *ca*) e da forma resultante necessária (*cc* ou *ca*). No conversor de tensão *ca*, a tensão de alimentação é *ca* senoidal de amplitude fixa. O objetivo é transformá-la em uma tensão que tem a forma de uma senóide recortada e cujo valor eficaz é controlado através do ajuste de ângulo de condução dos tiristores conectados em antiparalelo.



(a)

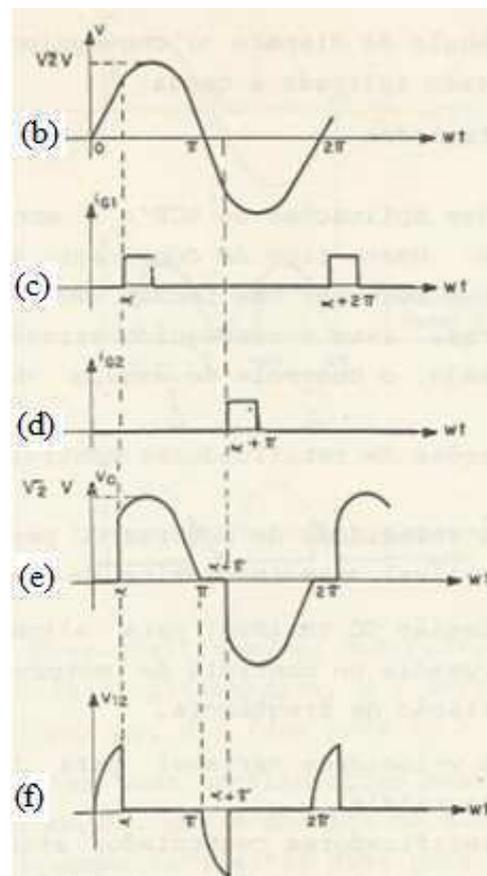


Figura 7 - Controlador monofásico de tensão *ca.* (a) circuito; (b) tensão de alimentação; (c) e (d) formas de onda das correntes de gatilho; (e) tensão na carga e (f) tensão nos terminais dos SCRs. Referência: ALMEIDA, José Luis Antunes de, 1954. *Eletrônica de Potência*. São Paulo, Érica, 1986.

Como se pode observar na figura 7, o SCR Q1 é disparado em  $\omega t = \alpha$ . Nota-se que de  $\omega t = 0$  até  $\omega t = \alpha$ , a tensão nos terminais do SCR Q1 é positiva, ou seja, para que o mesmo conduza, basta um pulso de gatilho. O SCR Q2 não conduz, pois está reversamente polarizado. Em  $\omega t = \pi$ , a corrente atinge o nível zero (o circuito de carga é resistivo, tensão nula implica em corrente nula), assim Q1 é bloqueado e a tensão aplicada a Q2 passa a ser positiva. Em  $\omega t = \pi + \alpha$ , Q2 é disparado. Nota-se que

a operação é simétrica, ou seja, Q1 e Q2 conduzem por períodos idênticos. O processo se repete a partir de  $\omega t = 2\pi$ .

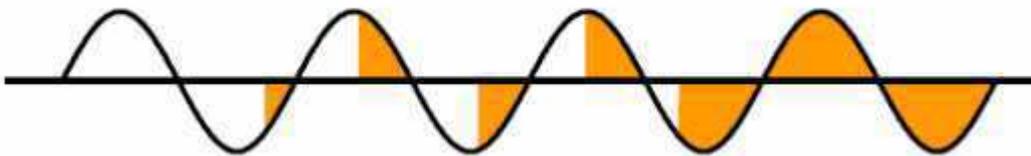
Como visto, através do controle do ângulo de disparo  $\alpha$ , consegue-se controlar o valor eficaz da tensão aplicada à carga. O circuito de controle de um *soft-starter* emprega um microcontrolador ou um microprocessador, usualmente do tipo Processador de Sinal Digital (DSP). O circuito deve temporizar 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.

#### 2.2.3.1.1 PERÍODOS DO ACIONAMENTO

Na aceleração dos motores elétricos, objetiva-se permitir que o motor alcance a tensão plena. Pode ser feita, no sentido inverso, a desaceleração, partindo-se da onda de tensão plena e chegando-se, passo a passo, a interrupção total das ondas de tensão, como será descrito a seguir.

#### 2.2.3.1.2 PERÍODO DE ACELERAÇÃO

No período de partida do motor é feito o controle do valor eficaz de tensão aplicado ao motor, através do controle do ângulo de disparos dos tiristores SCR, como já dito anteriormente. O tempo de disparo é calculado por um microprocessador que controla a eletrônica dedicada ao acionamento do gatilho dos tiristores, a partir da parametrização feita pelo usuário no tempo de rampa de aceleração. A figura 8 mostra a curva da tensão controlada durante o período de aceleração, até que se atinja o regime permanente e o controle seja retirado.



**Figura 8– Curva da tensão durante o período de aceleração até atingir o regime.**

Após o período de aceleração há duas possibilidades para o uso dos tiristores:

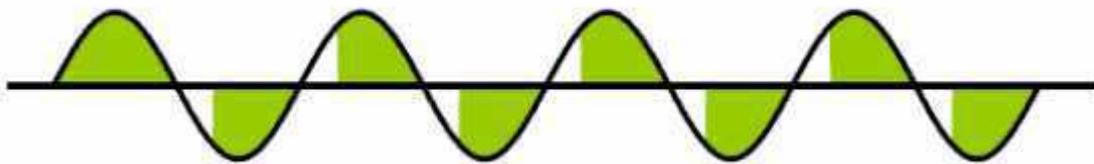
#### a) Desativação dos tiristores

Após serem utilizados no controle do ângulo de disparo dos semiciclos, até entrar em estado de disparo em ângulo 0, ou seja, plena condução, os tiristores podem

ser desativados. Ou seja, o relé de *by-pass* da chave, o qual é montado em paralelo com cada par de tiristores por fase, passa a ser acionado, e o motor passa a receber alimentação diretamente da rede de alimentação. O *soft-starter* funcionará, então, como controlador de corrente da carga. Também, há a possibilidade de leitura de outros valores de grandeza referentes à carga, como fator de potência, temperatura do dissipador de calor, valor de tensão percentual aplicada ao motor, entre outros.

b) Permanecerem acionados, com o *by-pass* desabilitado.

Com o uso das chaves de partida *soft-starter*, em alguns modelos, há a possibilidade de uma parametrização para economia de energia. Com essa função, os tiristores não podem estar desacionados, ou seja, o relé de *by-pass* deve estar desabilitado. Há uma contínua supervisão na corrente absorvida pelo motor, e os tiristores entram em estado de corte de uma parte do semiciclo, diminuindo o valor eficaz de tensão aplicada ao motor, conseqüentemente, da corrente absorvida pelo mesmo, como mostrado na figura 9. Há o inconveniente de geração de distúrbios provocados por harmônicos, quando do uso de economia de energia.



**Figura 9 – Curva de otimização para carga parcial.**

#### 2.2.3.1.3 PERÍODO DE DESACELERAÇÃO

No período de desaceleração ocorre o inverso do período de aceleração. Com os tiristores desativados, quando do acionamento do desligamento da carga, os tiristores entram em funcionamento em estado de plena condução (disparo em ângulo 0). Neste momento, o relé de *by-pass* é aberto, e o microprocessador, em função do tempo de desaceleração parametrizado pelo usuário, aciona o comando eletrônico para controle do ângulo de corte dos semiciclos, até chegar ao estado de pleno corte, ou seja, o desligamento do motor. A figura 10 ilustra a curva da tensão, no caso de desaceleração do motor.

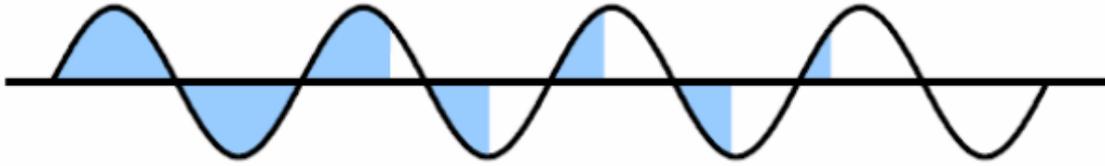


Figura 10 – Curva da tensão durante o período de desaceleração.

#### 2.2.3.2 TIPOS DE CONTROLE DO *SOFT-STARTER*

A chave de partida *soft-starter* pode ter uma arquitetura de controle com uma, duas ou três fases na partida. A fase é controlada apenas na janela de tempo de partida. Nos primeiros modelos de chaves de partida estática havia apenas a possibilidade de controle da aceleração do motor. Ainda mais remoto, os primeiros modelos possuíam controle em apenas uma das fases, então, foi desenvolvido o controle a duas fases. O controle através das três fases melhora a potência por fase, porém, ainda são fabricados *soft-starters* com controle a duas fases. O circuito de eletrônica de potência é mostrado a seguir:

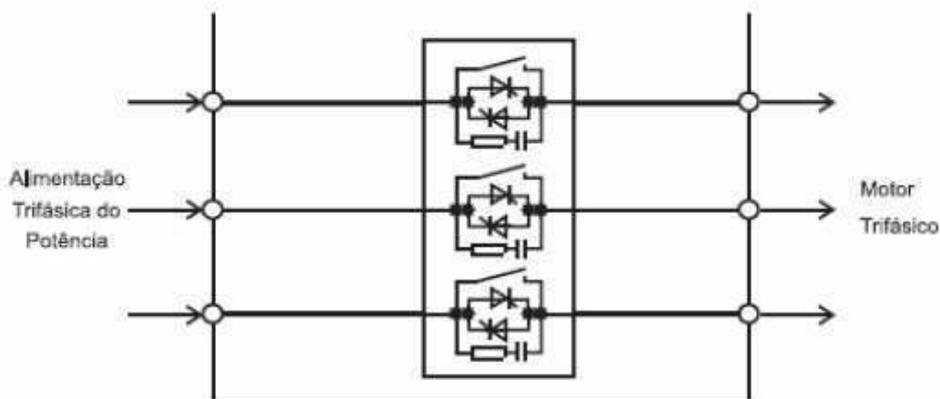
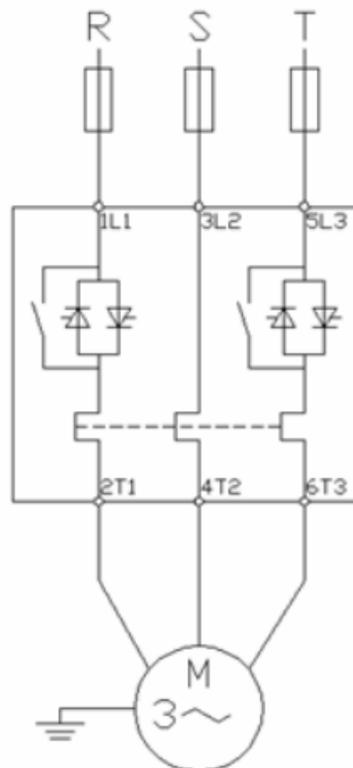


Figura 11 - Circuito da eletrônica de potência com controle exercido nas três fases.

No entanto, um grande número de fabricantes projeta seus *soft-starters* para controlar apenas duas fases (R e T, por exemplo), utilizando a terceira como referência. Essa técnica resulta numa simplificação tanto do circuito de potência quanto do circuito de controle e, conseqüentemente, reduz o custo do produto.

Na figura 12 é mostrada a ilustração de R e T sendo controladas, enquanto S vai direto a motor.



**Figura 12- *Soft-starter* com controle em duas fases, com relé de by-pass e bimetálico contra sobrecarga.**

Percebe-se que, neste caso, além dos tiristores em antiparalelo, há também um relé de *by-pass*. Deve-se ter o cuidado quando da intervenção de manutenção no motor, pois uma das fases está diretamente conectada ao motor, ou seja, tem-se potencial no motor.

### 2.2.3.3 PARAMETRIZAÇÃO DO *SOFT-STARTER*

A parametrização consiste em ajustar os parâmetros segundo as variáveis do motor e o modo como o motor, a carga, a máquina e o sistema irão atuar. A depender do modelo e do fabricante da chave *soft-starter*, a mesma pode ser parametrizada de diversas formas, tais como: via potenciômetros, via *software* dedicado e via Interface Humano Máquina (IHM ou HMI, em inglês).

#### a) Via potenciômetros

Trata-se do modo mais simples de parametrizar uma chave de partida *soft-starter*. Esse tipo de parametrização é aplicado aos *soft-starters* mais simples, onde há, normalmente, a parametrização do tempo de rampa de aceleração, tempo de rampa de desaceleração, tensão inicial aplicada ao motor na partida (percentual do valor de tensão

nominal aplicado na alimentação de força da chave), e limitação da corrente consumida pelo motor.

b) Via *software* dedicado

Este modo de parametrização é feito utilizando a porta de comunicação serial (RS-232 OU RS-485) do *soft-starter* (quando possui essa opção) que é conectado a uma porta de comunicação de um computador ou a uma rede (*switch*).

c) Via IHM ou HMI

A parametrização via IHM é o método mais usual de se parametrizar um *soft-starter* quando ele possui IHM. Para parametrizar o *soft-starter* via IHM, deve-se ter o manual da chave com a descrição detalhada de cada parâmetro, assim como em alguns casos, o parâmetro de desbloqueio, ou, acesso aos parâmetros que se deseja modificar, em função sempre da carga acionada.

A parametrização deve ocorrer de forma a serem selecionados os valores que farão com que a *soft-starter* acione, da forma mais adequada possível, o motor desejado. Para tal, alguns ajustes devem ser feitos, tais como: ajuste da tensão inicial, ajuste da rampa do tempo de aceleração, ajuste da rampa do tempo de desaceleração e o ajuste da corrente do motor.

#### 2.2.3.3.1 AJUSTE DA TENSÃO INICIAL

É o ajuste no valor da tensão inicial, o qual deve ser parametrizado de forma que o motor comece a girar, acionado pelo *soft-starter*, tão logo o mesmo receba comando para ser acionado.

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 menor valor possível suficiente para iniciar o movimento da carga. A partir daí, a tensão subirá linearmente segundo um tempo também parametrizado até atingir o valor nominal, conforme pode ser visto na figura 13.

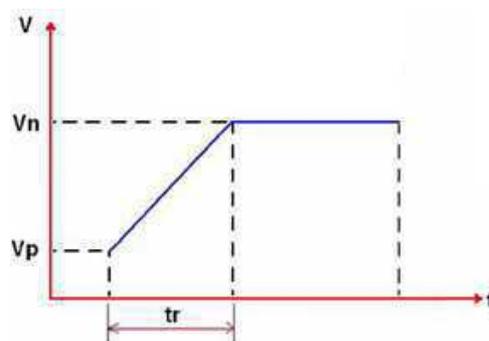


Figura 13 - Curva com o tempo de rampa da aceleração.

Sendo:

Vp: Tensão de partida;

Vn: Tensão nominal;

tr: Tempo de rampa de aceleração.

#### 2.2.3.3.2 AJUSTE DA RAMPA DO TEMPO DE ACELERAÇÃO

O tempo de aceleração deve ser ajustado com o valor necessário para que o motor consiga chegar a sua rotação nominal, ou seja, ao regime permanente. O *soft-starter* a ser utilizado nesse trabalho é o SSW-05 Plus. Em seu manual, alerta-se para o cuidado que deve ser tomado nos casos em que a relação da corrente do *soft-starter* e da corrente nominal do motor é 1, pois o tempo máximo que o SSW-05 Plus pode funcionar com  $3 \times IN$  (*corrente nominal*) é de 10 segundos.

#### 2.2.3.3.3 AJUSTE DA RAMPA DO TEMPO DE DESACELERAÇÃO

Este ajuste deve ser utilizado apenas em desaceleração de bombas, para amenizar o golpe de aríete. O ajuste deve ser feito de modo que se alcance o melhor resultado prático.

Na frenagem, a tensão deve ser reduzida instantaneamente a um valor ajustável (Vt), 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 (tr)) até a tensão final Vz, quando o motor parar de girar. Neste instante, a tensão é desligada. Na figura 15 é ilustrada a curva com o tempo de rampa de aceleração.

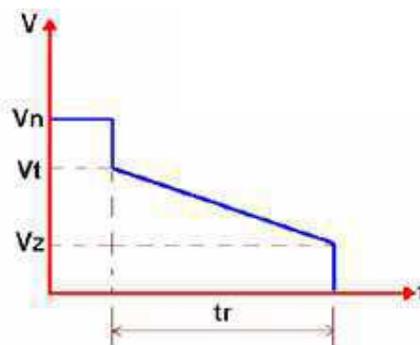


Figura 14 - Curva com o tempo de rampa da aceleração.

Em que:

Vt: Tensão de partida;

Vn: Tensão nominal;

Vz: Tensão de parada do motor;

tr: Tempo de rampa de desaceleração.

#### 2.2.3.3.4 AJUSTE DA CORRENTE DO MOTOR

O ajuste da corrente do motor irá definir a relação de corrente da *soft-starter* e do motor por ela acionado. O ajuste é muito importante, pois irá definir as proteções do motor acionado pela através da partida suave. O ajuste desta função tem importância direta nas seguintes proteções do motor: sobrecarga, sobrecorrente, rotor bloqueado e falta de fase.

#### 2.2.3.4 RECURSOS DE UM *SOFT-STARTER*

##### 2.2.3.4.1 PULSO DE TENSÃO DE PARTIDA

Os *soft starters* são dotados de uma função denominada de pulso de tensão de partida (*kick-start*), de valor ajustável. A função tem como finalidade ajudar as cargas de inércia elevada, a iniciar o processo de partida, vencendo o conjugado resistente. O valor da tensão deverá ser suficientemente elevado para vencer o conjugado inicial da carga. Na prática, o pulso de tensão de partida deve durar entre 100 e 300ms.

O pulso de tensão de partida pode ser utilizado em estações de saneamento em que as bombas, que em muitos casos acumulam lama ou detritos no seu interior, necessitam vencer o atrito estático. É importante observar que ao se habilitar a função de pulso de partida, fica eliminada a atuação da função de limitação da corrente de partida.

##### 2.2.3.4.2 *BY-PASS* INCORPORADO

Os *soft-starters* operam com a técnica chamada *by-pass*, como já referido anteriormente. Ao final do intervalo de tempo da partida, quando o motor está recebendo da *soft-starter* à plena tensão da rede, um contator é acionado. O contator possui contatos NA (Normalmente Aberto) que trabalham em paralelo com o arranjo de tiristores de cada fase e, ao ser acionado, assume a condução da corrente nominal do motor. A corrente do motor deixa, então, de fluir pelos tiristores, passando a fluir pelo *by-pass*, permitindo que os tiristores fiquem em repouso, evitando danos por sobreaquecimento aos mesmos. Assim, minimizam-se as perdas de potência e a dissipação de calor nos tiristores, proporcionando redução de espaço e contribuindo para economia de energia.

Na hora da parada por *Soft Stop*, o contator abre sem centelhamento, 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 centelhamento.

No caso de parada *Full Stop*, a tensão é retirada do motor instantaneamente. Deve ser sempre preferida quando a carga não necessita de controle de desaceleração e em emergências.

O contator de *by-pass* apresenta, portanto, durabilidade muito grande, pois não apresenta centelhamento 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 centelhamentos e desgaste prematuro e
- Pode ser mais econômico.

#### 2.2.3.4.3 *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 *ca*, dupla rampa de aceleração para motores de duas velocidades e realimentação de velocidade para aceleração independente das flutuações de carga.

Economia de energia (Função *Energy Saver*)

A maioria dos *soft-starters* modernos possui 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. Ele diminui a tensão no motor quando a carga for abaixo da nominal do motor, sendo útil em casos em que o motor possui uma partida pesada, mas que a carga diminui com o crescimento da velocidade, como ocorre em um grande número das aplicações.

A função economia de energia equivale a diminuir a potência do motor proporcionalmente à 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 a passagem do pico de carga. Uma economia significativa pode ser

experimentada para motores que operam com cargas de até 50% da potência do motor. Entretanto, a função gera correntes harmônicas indesejáveis na rede, devido à abertura do ângulo de condução para diminuição da tensão.

#### 2.2.3.4.4 PROTEÇÃO DO MOTOR E DO *SOFT-STARTER*

Os *soft-starters* existentes no mercado (fabricados pela WEG, ABB, SIEMENS e outras) são equipados com interfaces homem-máquina, ou painel de indicadores luminosos para informar o status do sistema. O *soft-starter* tem um grande número de sinalizações, feitas através de indicadores luminosos. As sinalizações têm, no geral, a função de informar ao usuário a respeito do funcionamento da chave. Elas são citadas logo a seguir, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1 – Sinalização de estado através dos LED.**

Descrição da Proteção/Indicação	Sinalização	Atuação
Erro Externo	LED (Internal Fault) Pisca 7 vezes	Atua quando a entrada digital DI1 estiver aberta. A entrada digital DI1 deve estar programada como "Erro Externo" (P264=2). O led internal fault irá piscar intermitentemente 7 vezes.
Pronto para Operar	LED (Ready)	- Aceso: SSW-05 Plus com tensão, aguardando comando de aciona, ou com tensão plena na saída. -Piscando: SSW-05 Plus em rampa de aceleração/desaceleração
Em Operação	LED (Run)	Acende somente quando a SSW-05 Plus está em regime (o motor está com tensão plena).

Referência: Manual do SSW-05 Plus da WEG.

A sinalização através de LEDs serve tanto para a proteção ao motor como para a proteção o *soft-starter*, pois tem o objetivo de sinalizar a ocorrência de qualquer eventual distúrbio ou falha que poderiam vir a afetar o funcionamento do motor e/ou *soft-starter*, ou mesmo danificá-los.

**Tabela 2 – Sinalização da proteção do motor e da soft-starter usando LED.**

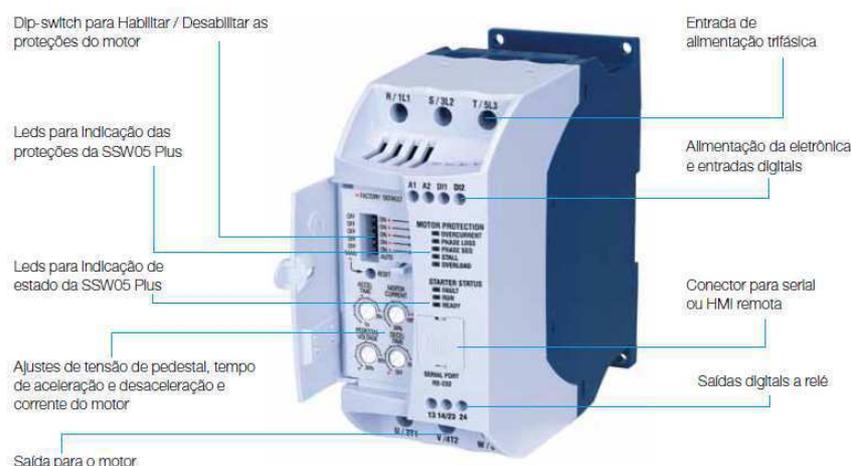
Descrição da Proteção/Indicação	Sinalização	Atuação
Sobrecorrente*	LED (Overcurrent)	Monitoramento apenas quando a SSW-05 Plus está em regime (100% de tensão). Atua quando a corrente do motor ultrapassa o valor de 3 vezes o valor ajustado no trimpot (Motor Current) durante um tempo superior a 1 s.
Falta de Fase*	LED (Phase Loss)	-No início da partida: Atua quando não houver tensão nos bornes de alimentação da potência (R/1L1, S/3L2 e T/5L3) ou quando o motor estiver desconectado. -Em regime (100% de tensão): Atua após transcorrido 1s da falta de fase, tanto na entrada quanto saída (motor). Atua quando a corrente que circula pela SSW-05 for inferior a x% da corrente ajustada no trimpot Motor Current. onde: x% = 20% para trimpot Motor Current ou P105 entre 50% - 100% x% = 30% para trimpot Motor Current ou P105 entre 30% - 50% Também atua após transcorrido 1 s de desbalanceamento de corrente entre fases maior que 30%.
Sequência de Fase Incorreta*	LED (Phase Seq)	O erro é ativado quando a sequência de fase está incorreta.
Rotor Bloqueado*	LED (Stall)	Esta proteção atua na transição entre final da rampa de aceleração e fechamento dos contatos dos relés de by-pass internos da SSW-05 Plus, caso a corrente que circula pela SSW-05 Plus for superior ou igual a 2 vezes a corrente ajustada no trimpot (Motor Current).
Sobrecarga Eletrônica do Motor*	LED (Overload)	Esta proteção monitora constantemente a corrente do motor e a compara com o valor ajustado no trimpot (Motor Current). Ver item 15.

\*Estas proteções podem ser habilitadas ou desabilitadas por suas respectivas chaves *dip-switch*.

Referência: Manual do SSW-05 Plus da WEG.

### 2.2.3.5 O *SOFT-STARTER* SSW-05 PLUS

A chave de partida estática SSW-05 é um equipamento que permite partir e parar suavemente motores de indução trifásicos, sendo projetada para o acionamento em cargas consideradas leves. Na figura 15 é apresentada a chave SSW-05 Plus, descrevendo-a conforme a sua vista frontal.



**Figura 15 – Soft-starter SSW-05 Plus.**

A partir da observação da figura 15, é possível reconhecer os pontos de acesso ao equipamento. Além da entrada de alimentação trifásica e da saída para alimentação

ao motor, o modelo utilizado possui LED indicadores do estado e da proteção da SSW-05 Plus e conector para realizar conexão serial ou IHM remota. Trata-se de uma chave compacta, de fácil programação e com excelente rendimento.

Na Figura 16, tem-se um bloco diagrama do *soft-starter* SSW-05 Plus.

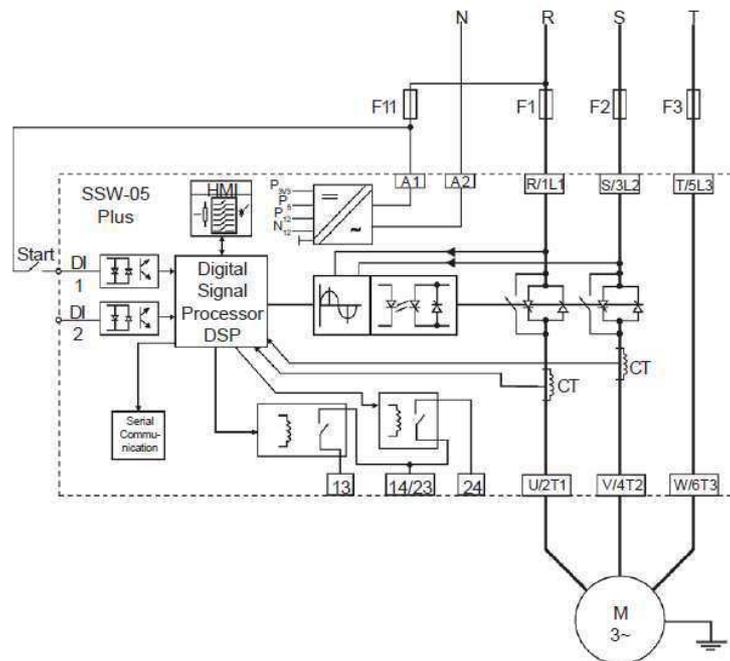
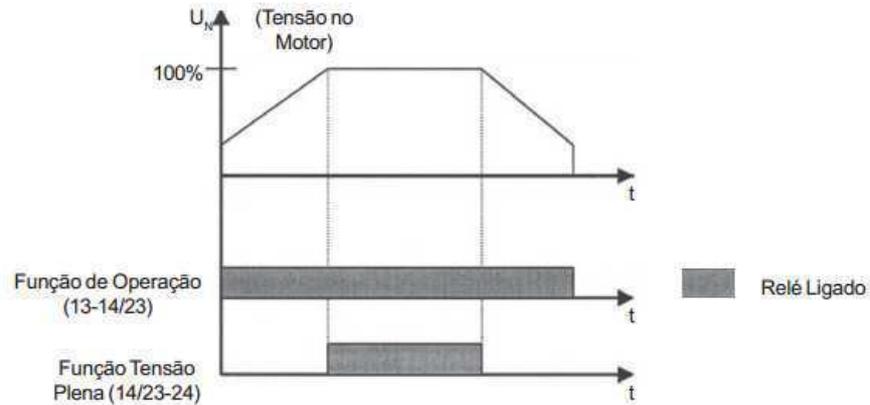


Figura 16 - Bloco diagrama do *soft-starter* SSW 05.

A chave de partida *soft-starter* tem a mesma lógica de alimentação de uma chave de partida comum. Os terminais de acesso à entrada da SSW-05 Plus são representados na Figura 17 por R/1L1, S/3L2 e T/5L3. Assim, o circuito que alimenta o motor, composto pela parte de força da chave, onde estão os tiristores, é energizado usando essas entradas. Já a parte do comando, onde se tem as entradas digitais para elaboração da forma de como será acionada a chave, tem seus terminais representados por A1 e A2. O motor é alimentado através das saídas da chave representadas por: U/2T1, V/4T2 e W/6T3.

Os tiristores em antiparalelo possuem o *by-pass* incorporado e estão presentes em apenas duas fases, as fases R e S. Percebe-se que o motor é alimentado diretamente pela fase T, ou seja, a fase T não é controlada pelo *soft-starter*. Porém, já que as três fases compõem um circuito fechado, a fase T sofre interferências das outras duas fases. As fases R e S possuem um transformador de corrente, o qual tem como objetivo enviar o sinal recebido ao processador de sinal digital. Já que a SSW-05 Plus incorpora o acionamento do relé de *by-pass* dos tiristores, a carga ficará diretamente conectada à rede.

O *soft-starter* possui saídas (13, 14/23 e 24) e entradas digitais à relé (DI1 e DI2). A curva representativa do funcionamento das saídas digitais à relé da SSW-05 Plus pode ser observada na Figura 17.



**Figura 17 - Funcionamento das saídas digitais à relé.**

O relé para Função de Operação fecha o seu contato NA (13 - 14/23) sempre que a SSW-05 Plus recebe um comando de aciona, e este contato somente é aberto ao final da rampa de desaceleração, quando ela estiver ajustada via *trimpot*, ou quando a SSW-05 Plus recebe um comando de desaciona.

O relé para Função Tensão Plena fecha o seu contato NA (14/23 - 24) sempre que a SSW-05 Plus estiver com 100% da tensão aplicada ao motor por ela acionado, e este contato é aberto quando a SSW-05 Plus recebe um comando de desaciona.

Já as entradas digitais devem ser alimentadas com tensão entre 90 e 250 V e corrente de 6 mA. A entrada DI1 possui a função de fazer o acionamento ou desacionamento do motor, enquanto a entrada DI2 pode ser utilizada para realizar o *reset* no *soft-starter*.

## APLICAÇÕES

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

- 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 e;
- Linhas de engarrafamento.

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

Tendo como objetivo geral a realização de um estudo comparativo entre as correntes de partida produzidas pelo acionamento de um motor de indução trifásico através de diferentes métodos. Para atingir os objetivos deste trabalho foram realizados experimentos nas dependências do Laboratório de Instalações Elétricas. Os sistemas de partida utilizados foram: de partida direta, partida através da chave estrela-triângulo e partida suave (*soft-starter*).

### 3.1 MATERIAL

Os materiais, dispositivos e equipamentos utilizados nos experimentos foram:

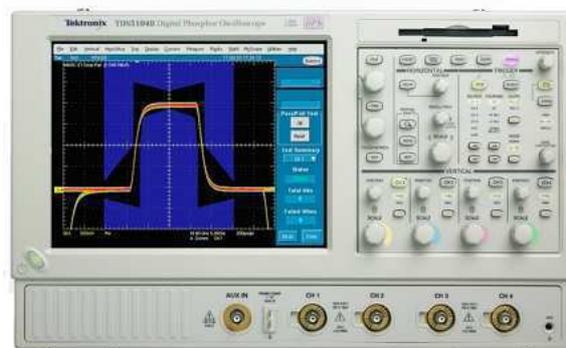
- Motor trifásico comercial, 0,18 kW (0,25 cv), com tensão 220/380 V, Índice de Proteção IP55;
- Cabos isolados;
- Disco metálico circular acoplado ao eixo do motor;
- Sistema de freio, semelhante ao usado como freio de bicicleta (borracha), projetado e construído especialmente para a simulação de carga acoplada ao eixo. Para tanto, foi desenvolvida uma articulação, feita de ferro, em forma de 'U', e com borrachas de freio de bicicleta associadas. O objetivo foi pressionar o gancho, através do uso de um parafuso borboleta, de modo que as borrachas entrassem em contato com o disco presente no eixo do motor;
- *Soft-starter* SSW-05 Plus comercial, com capacidade de acionar um motor com, no máximo, 0,55 kW (0,75 cv), nas tensões entre 220 V e 240 V;
- Sistema de acionamento tipo estrela-triângulo, com contadores e sistema de proteção contra sobrecorrente;
- Sistema de acionamento em partida direta com contadores e proteção contra sobrecorrente;

- O sensor de corrente utilizado para medição da corrente das fases que irão acionar o motor foi o modelo 80i-110s comercial e está representado na Figura 19 e será utilizado. Ele é capaz de medir correntes da faixa de 50 mA até 100 A;



**Figura 18 - Sensor de corrente comercial.**

- O osciloscópio utilizado foi o TDS5104 comercial, conforme Figura 19.



**Figura 19 - Osciloscópio Digital TDS5104.**

## 3.2 MÉTODOS

Com o objetivo de analisar as características de cada uma das partidas dos motores, iniciou-se a fase experimental. Todas as montagens e os testes realizados neste trabalho foram realizados no Laboratório de Instalações Elétricas nas dependências do Laboratório de Alta Tensão, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Como primeira etapa para início do processo experimental, foi definido o tipo de motor a ser utilizado nos acionamentos. Esta escolha foi definida pelo modelo do *soft-starter* utilizado: SSW-05 Plus.

O próximo passo foi definir a carga a ser acionada pelo motor. Como este trabalho objetiva fazer um comparativo entre as solicitações feitas pelos acionamentos convencionais e o acionamento com partida suave, a carga tem que ser padronizada. Para tanto o sistema de freio descrito acima foi utilizado, criando, assim, um sistema para simular uma carga.

Antes do acionamento do motor, a carga foi acoplada ao disco do motor, através do giro do parafuso borboleta, o qual permitiu a proximidade do sistema de freio (duas borrachas). A proximidade foi medida utilizando um paquímetro. A distância utilizada foi de  $d = 38,5$  mm, sendo a mesma para todos os tipos de acionamentos ensaiados.

A configuração da carga acoplada ao disco do eixo do motor é apresentada na Figura 20. Na fotografia são indicados alguns dos itens constituintes da montagem experimental.



**Figura 20 - Simulador de carga acoplada ao eixo do motor.**

De modo a enriquecer o comparativo entre os acionamentos dos motores, experimentou-se realizar o acionamento do motor também em vazio. Diz-se que um

motor está funcionando em vazio quando não se tem nenhuma carga mecânica aplicada ao seu eixo. A simbologia a ser utilizada nos diagramas de força e comando das montagens está apresentada na Tabela 3.

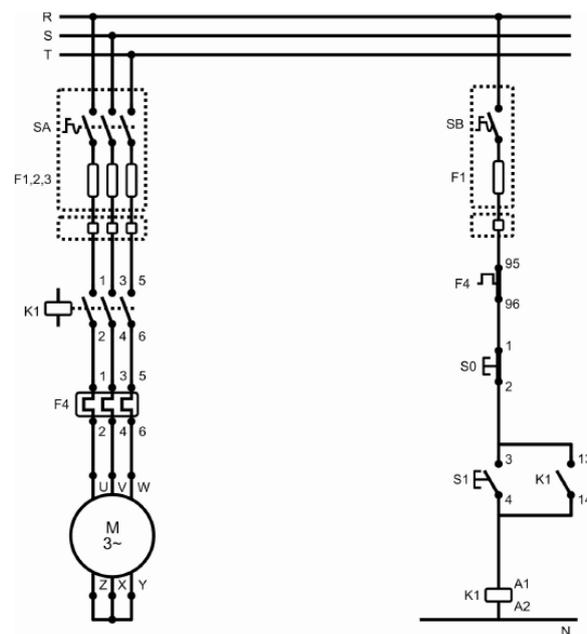
**Tabela 3 – Simbologia utilizada nos circuitos de acionamento dos MIT.**

Símbolo	Descrição	Símbolo	Descrição
SB	Disjuntor temomagnético monofásico	S1	Botoeira NA (normalmente aberta)
SA	Disjuntor temomagnético trifásico	S0	Botoeira NF (normalmente fechada)
F1,2,3	Conjunto com três fusíveis diazed	K1	Contactador tripolar
S1	Chave mecânica bipolar	K1	Contato auxiliar NF do contactor K1
S1	Chave mecânica tripolar	KT	Relé temporizado
F4	Relé de sobrecarga	KT	Contato auxiliar NF do relé temporizado KT
F4	Contato auxiliar NF do relé de sobrecarga	H1	Lâmpada de sinalização
REF	Relé de falta de fase	M	Motor de indução monofásico ou trifásico

Referência: Guia de instalações elétricas industriais do Grupo de Sistemas Elétricos da UFCG.

### 3.2.1 PARTIDA DIRETA

O primeiro método a ser ensaiado foi o de partida direta. O diagrama elétrico para o acionamento do motor trifásico está representado na Figura 21.



**Figura 21 - Diagrama elétrico para a partida direta.**

## Circuito principal

O circuito principal foi responsável pelo fornecimento da corrente necessária à operação dos equipamentos. Para isto, fez-se necessário o acionamento do contator K1 e assim se disponibilizando a alimentação ao motor elétrico trifásico.

## Circuito de comando

O circuito auxiliar ou circuito de comando foi utilizado para os acionamentos e desacionamentos dos dispositivos de manobra tipo: contatores, relés, temporizadores etc. Além disso, o circuito auxiliar foi usado para fins de travamento quando da ocorrência de anormalidades no circuito de força e sinalização.

Os contatos NF do relé térmico (F4) e do botão desliga estavam na condição normal, ou seja, fechados. Quando o botão Liga foi pressionado, a bobina do contator K1 foi alimentada, fechando os contatos de potência, acionando o motor elétrico trifásico. Também foi realizado o fechamento dos contatos auxiliares, ou seja, do contato de selo, o qual tem o objetivo de manter a bobina do contator alimentada. A desenergização da bobina somente será realizada caso seja pressionada a botoeira S0 ou o contato auxiliar do relé térmico seja acionado. O contato auxiliar do relé térmico apenas será acionado quando houver uma falha no motor em função de sobrecarga.

### 2.2.3.5.1 ACIONAMENTO COM PARTIDA DIRETA

A ligação do circuito principal às bobinas do motor foi feita conforme presente na configuração delta da placa do fabricante, já que a tensão da rede de alimentação (220 V) coincide com a tensão para a ligação em delta (220 V) do motor. A placa de identificação do motor pode ser vista na figura 22.



Figura 22 - Placa do Motor Trifásico IP55.

Como o objetivo do experimento a ser realizado é analisar o comportamento da corrente durante o período de partida do motor, os instrumentos para medição e captura dos sinais foram instalados e as aquisições de dados foram realizadas. Para determinação da forma de onda da corrente durante o acionamento do motor, assim como o seu valor de pico, fez-se uso de um sensor de corrente descrito no item Material. A escala do equipamento deve ser ajustada conforme os níveis esperados de corrente. A escolhida foi de 100 mV para cada 1 A. O sensor possui um cabo associado que permite sua conexão ao osciloscópio. Portanto, o sensor de corrente foi utilizado para medir a corrente nas fases e o sinal foi transferido para a tela do osciloscópio, que permitiu a análise das formas de onda.

Para obtenção das formas de onda, foi necessário utilizar a função de gatilho (*trigger*, em inglês) do osciloscópio. Trata-se de uma função muito importante na operação do osciloscópio, pois é responsável pela determinação do instante certo para iniciar a varredura horizontal do sinal na tela, ou seja, determina a origem do tempo na visualização do sinal.

### 3.2.2 PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

Além do método de partida direta, outro método de acionamento convencional também foi analisado: o método de acionamento do motor usando a chave estrela-triângulo. O circuito com o diagrama elétrico pode ser visto na figura 23.

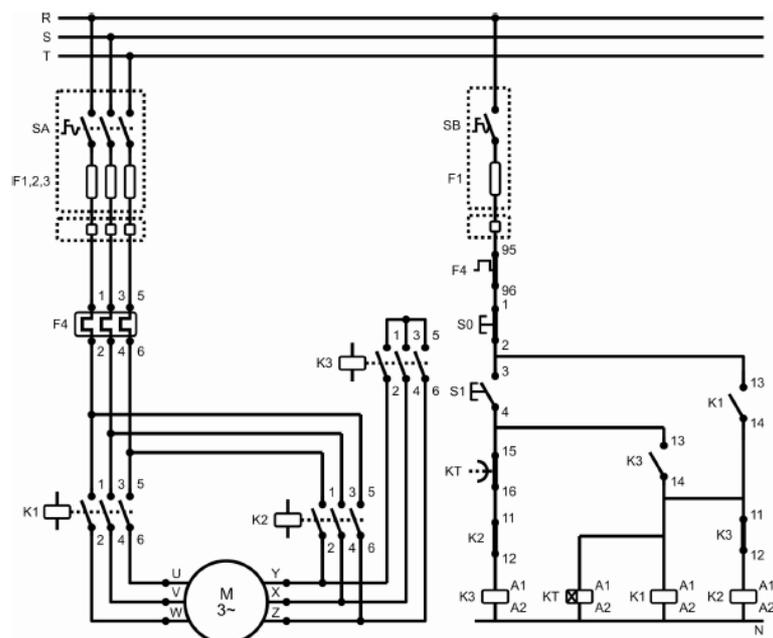


Figura 23 - Diagrama elétrico para acionamento através da partida estrela-triângulo.

### **Circuito principal**

O esquema de ligação da placa do motor deve conferir com o esquema de ligação apresentado na figura 23. Observe que neste tipo de ligação foram necessários dois tipos de conexões diferentes, sendo a ligação em estrela para a partida, e a ligação em triângulo para o regime normal de funcionamento do motor.

### **Circuito de comando**

O circuito de comando representa a lógica responsável por acionar o motor elétrico através da chave de partida estrela-triângulo. A energização das bobinas dos contatores foi realizada de acordo com o acionamento adequado do motor. O circuito também permitiu a energização da bobina do temporizador, permitindo a comutação estrela-triângulo de forma temporizada.

Os contatos NF do relé térmico (F4) e do botão desliga estavam em sua condição normal, ou seja, fechados. O tempo de acionamento do relé temporizado foi ajustado para o tempo de, aproximadamente, 3,5 segundos, de modo que a comutação da configuração estrela para triângulo ocorresse quando o motor já estivesse próximo de sua velocidade nominal. Isso é recomendado para que, durante a comutação, não ocorra um elevado pico de corrente.

Depois das ligações elétricas terem sido efetivadas, o motor foi energizado através do acionamento da botoeira S1, a qual permitiu, inicialmente, a energização das bobinas de K1, K3 e de KT (relé térmico). Assim, depois de transcorrido o tempo de ajuste do temporizador, o seu contato auxiliar NF se abriu, desenergizando K3 e energizando K1 e K2.

O que ocorreu foi que, quando as bobinas de K1 e K3 foram energizadas, a ligação estrela foi realizada. Já quando K1 e K2 foram, então, energizados, a ligação triângulo foi realizada. Para desligar o motor, a botoeira S0 deve ser acionada.

#### **2.2.3.5.2 ACIONAMENTO COM PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO (Y- $\Delta$ )**

Conforme já mencionado, para o acionamento através da chave de partida estrela-triângulo, o motor a ser utilizado deve possuir seis terminais e ter dupla tensão nominal. O motor utilizado possui tensão nominal 220/380 V e, obrigatoriamente, a menor dessas tensões deve coincidir com a tensão da rede, o que ocorre, pois a tensão da rede de alimentação secundária é 220 V.

Portanto, com o diagrama elétrico da partida estrela-triângulo montados, o acionamento do motor pode ser realizado. A carga acoplada e o motor utilizado continuam sendo os mesmos da partida direta, como forma de padronizar as medições e tornar possível a comparação dos resultados obtidos.

### 3.2.3 PARTIDA SUAVE

Antes do início do experimento da partida suave, fez-se necessário um estudo do manual do equipamento *soft-starter* modelo SSW-05 Plus. A codificação do *soft-starter* utilizado é SSW050003T2246PPZ, conforme descrito nas referências do equipamento, a qual indica que o mesmo pertence à família SSW 05, possuindo corrente nominal de saída de 3A, com entrada de alimentação trifásica e tensão de alimentação 220 a 460V.

O esquema de ligação do *soft-starter* está representado na figura 24.

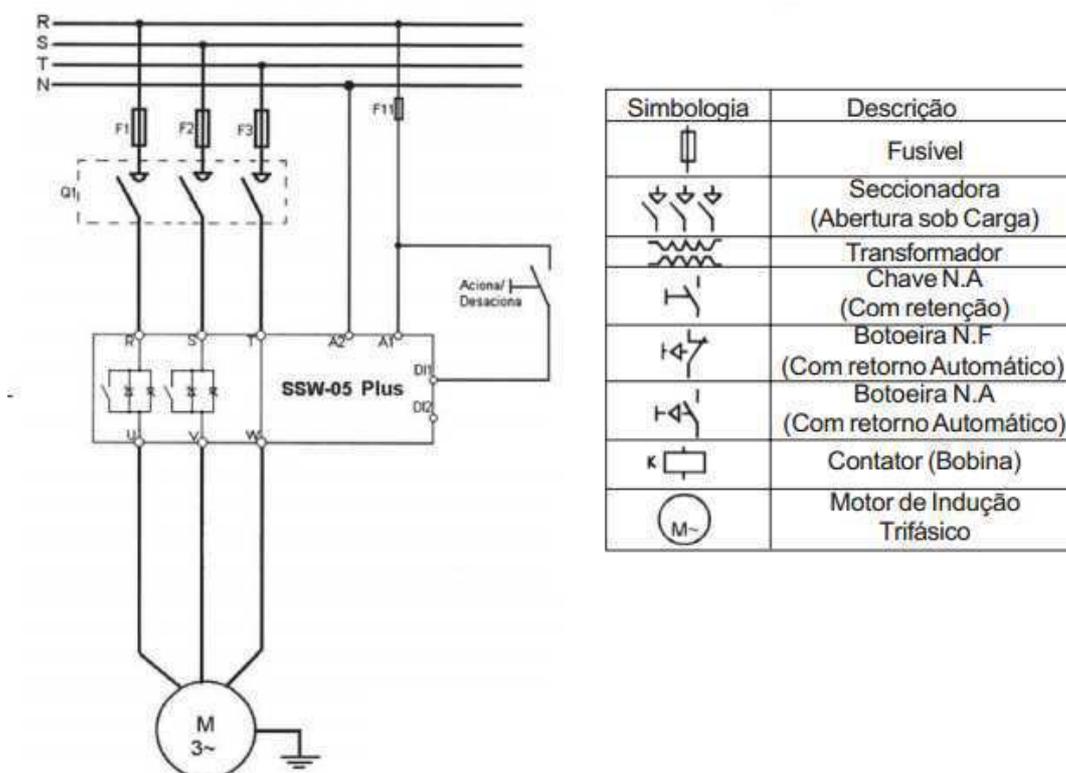


Figura 24 – Diagrama elétrico para partida suave.

### Circuito principal

O circuito principal foi responsável pelo fornecimento da corrente necessária à operação dos equipamentos. As entradas R, S e T foram alimentadas pela rede de alimentação secundária.

### Circuito de comando

O circuito de comando é formado pelo conjunto de circuitos responsáveis pelo comando, monitoração e proteção dos componentes do circuito de potência, assim como pela sinalização.

O circuito de comando é composto por uma chave manual com retenção. A alimentação foi feita aos terminais A1, A2 e DI1. DI1 é o comando para acionamento/desacionamento do motor. Já os terminais A1 e A2 são os responsáveis pela alimentação da parte eletrônica.

#### 2.2.3.5.3 ACIONAMENTO COM *SOFT-STARTER*

O equipamento *soft-starter* possui, como diferencial, a possibilidade de parametrização. Portanto, antes de iniciar o acionamento do motor, os parâmetros disponíveis no equipamento foram ajustados, conforme os *Trimpots* para ajuste apresentados na figura 25.

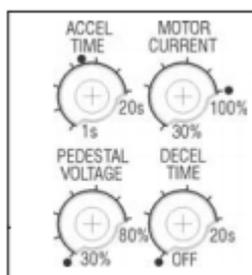


Figura 25 - *Trimpots* de ajuste do *soft-starter*.

Com a parametrização do equipamento ajustada, mantém-se a mesma carga acoplada e o mesmo motor utilizados nos métodos de partida convencionais, de forma a padronizar as medições e tornar possível a comparação dos resultados obtidos. Os valores de parametrização utilizados serão apresentados no item Resultados.

O acionamento da SSW-05 Plus foi realizado através de uma chave manual. As medições de correntes foram realizadas através do uso do sensor de corrente e foram feitas nas três fases de alimentação ao motor.

## 4 RESULTADOS

Após a realização dos experimentos que tiveram com objetivo a aquisição de correntes de partida de um motor com uma carga acoplada e em vazio, serão feitas, a seguir, a análise da corrente de partida considerando três tipos de acionamentos: partida direta, partida estrela-triângulo e partida suave.

### 4.1 PARTIDA DIRETA

Conforme visto na revisão bibliográfica, a partida direta pode gerar correntes de partida bem mais elevadas do que a nominal. O valor da corrente de partida pode ser calculado mediante os dados obtidos da placa identificadora do motor.

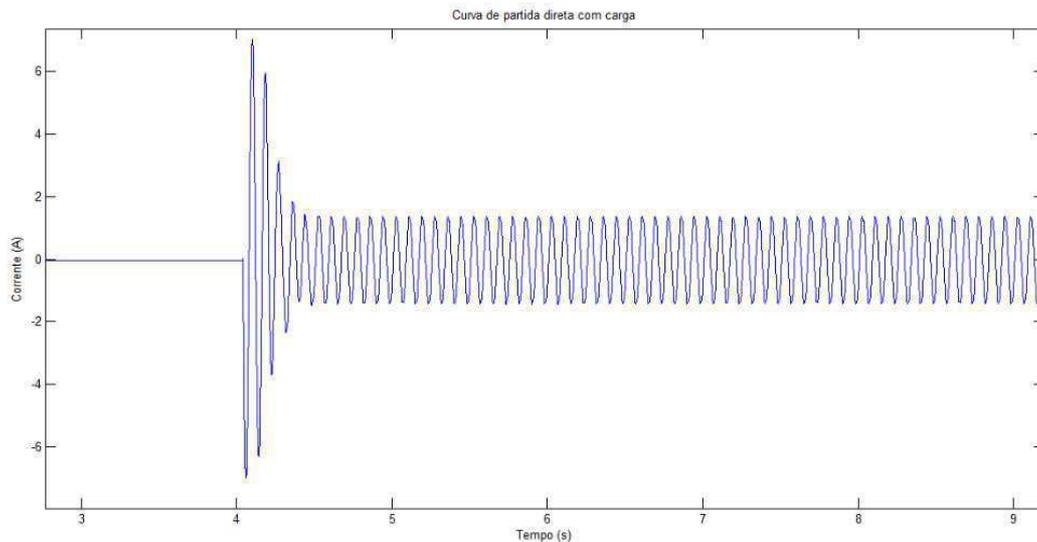
O valor da corrente nominal ( $I_n$ ) do motor é 1,14 A.

Como  $I_p/I_n = 4,5$ , então:

$$I_p = 4,5 \times 1,14 = 5,13 \text{ A}$$

Assim, teoricamente, a corrente de partida do motor deve ser 5,13 A. Porém, sabe-se que esse valor de corrente de partida depende consideravelmente da carga a ser acionada, podendo, portanto, variar.

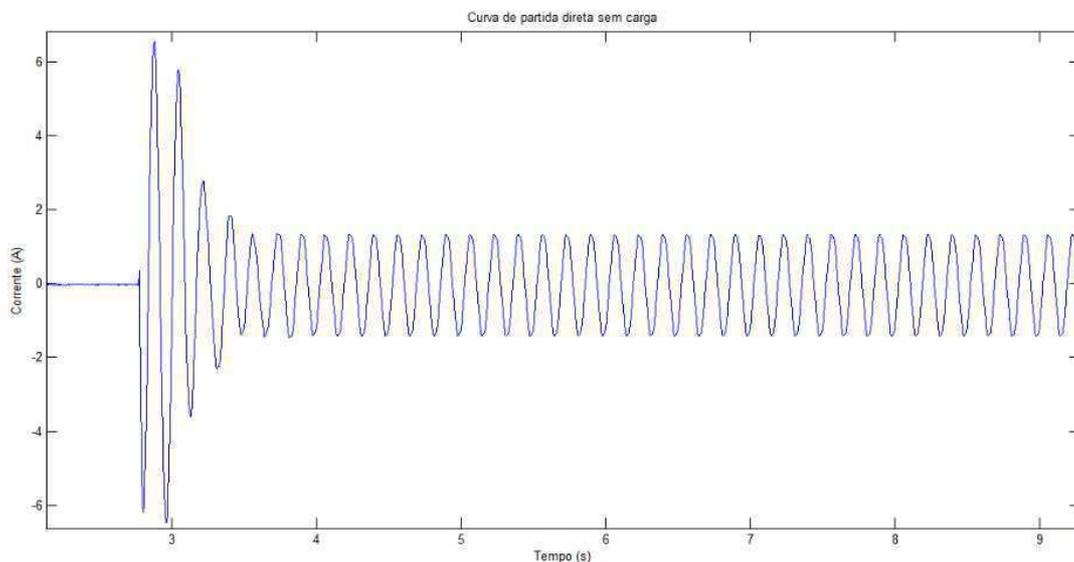
Com a montagem do diagrama elétrico, aciona-se a botoeira S1, partindo o motor de forma direta. Com o sensor de corrente conectado a uma das fases é possível analisar a forma de onda descrita. Inicialmente, a partida foi realizada com carga acoplada ao eixo do rotor. A figura 26 mostra a curva de corrente *versus* tempo para o acionamento utilizando a partida direta.



**Figura 26 - Curva de corrente *versus* tempo para partida direta com carga acoplada ao eixo na fase R.**

A corrente de partida absorvida da rede de alimentação secundária tem valor bastante elevado, atingindo o valor de 7,04 A. Portanto, como a corrente nominal do motor é 1,14 A, a corrente de partida é 6,17 vezes maior que a corrente nominal. Depois de transcorrido o tempo de partida, aproximadamente 1 segundo, a corrente entra em regime permanente. A corrente do motor durante o regime é de 1,4 A.

A partida direta com o motor em vazio pode ser vista na figura 27.



**Figura 27 - Curva de corrente *versus* tempo para partida direta em vazio na fase R.**

A partida sem o acoplamento da carga ao eixo reflete em uma redução na corrente de partida para 6,6 A e, além disso, tem-se uma redução do tempo de solicitação da corrente ao sistema de alimentação. Portanto, trata-se de uma partida do

motor um pouco mais branda do que a exigida na configuração com a carga. O valor da corrente em regime permanente é de 1,4 A.

Tratam-se, portanto, de partidas com elevada solitação de corrente à rede que alimenta o motor. Entretanto, percebe-se que as solitações não perduram por muito tempo. Mas, caso o dimensionamento do circuito de alimentação não suporte valores elevados de corrente, esse tempo pode ser o suficiente para fazer a proteção atuar, podendo vir a causar a desenergização do circuito a cada acionamento do motor.

A aquisição de dados também foi realizada para as fases S e T. As formas de onda obtidas para as fases S e T foram semelhantes às obtidas na fase R, apenas com defasamento de  $120^\circ$  elétricos.

## 4.2 PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

O acionamento do MIT utilizando a chave estrela-triângulo é um método que foi desenvolvido com o objetivo de atenuar os picos de corrente obtidos quando o motor é conectado diretamente à rede de alimentação. Nesse método de partida, a redução das solitações severas ocorre pelo fato do motor ser acionado inicialmente em estrela (Y). Na configuração em Y, conforme já determinado através da Eq. (8), a corrente absorvida da rede é reduzida a  $1/3$  de seu valor nominal. A redução da corrente de partida implica em conseqüente redução do torque. Dessa forma, pode-se observar, também, uma partida mais lenta do motor.

As correntes nas configurações estrela e triângulo podem ser calculadas. A corrente em estrela pode ser determinada de acordo as relações entre tensões e corrente apresentadas no diagrama da figura 28.

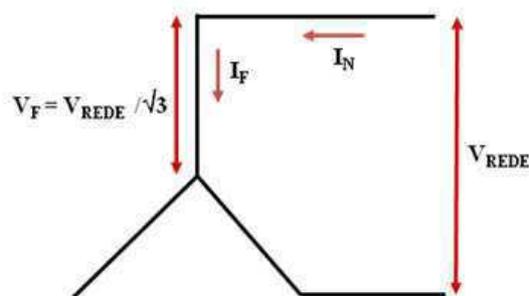


Figura 28 - Diagrama das tensões e correntes de fase e linha para configuração estrela.

De modo a calcular a corrente em estrela, tem-se que

$$V = Z \cdot I. \quad (9)$$

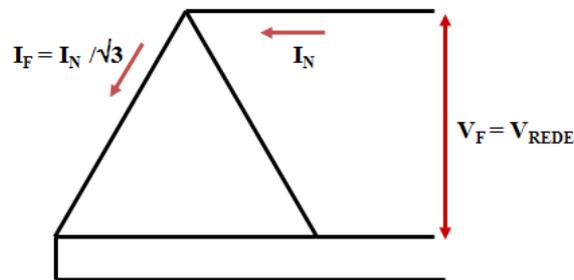
E, portanto,

$$I_Y = \frac{V_{REDE}/\sqrt{3}}{Z}, \quad (10)$$

já que a impedância do motor se mantém constante, então:

$$I_Y = \frac{V_{REDE}/\sqrt{3}}{\sqrt{3} \times V_{REDE}/I_N} = \frac{I_N}{3} = 0,33 \times I_N \quad (11)$$

Para calcular a corrente em triângulo  $I_{\Delta}$ , utilizam-se as relações obtidas do diagrama observado na Figura 29.



**Figura 29 - Diagrama das tensões e correntes de fase e linha para configuração estrela.**

A corrente em triângulo ( $I_{\Delta}$ ) é a corrente que irá passar em regime pelos contadores K1 e K2, assim:

$$I_{K1} = I_{K2} = I_{\Delta} = \frac{I_N}{\sqrt{3}} = 0,58 \times I_N. \quad (12)$$

Finalmente, as correntes para as configurações em estrela e triângulo podem ser calculadas através do valor de corrente nominal obtido na placa de identificação do motor.

Portanto:

$$I_{\Delta} = 0,58 \times I_N = 0,58 \times 1,14 = 0,66 \text{ A}$$

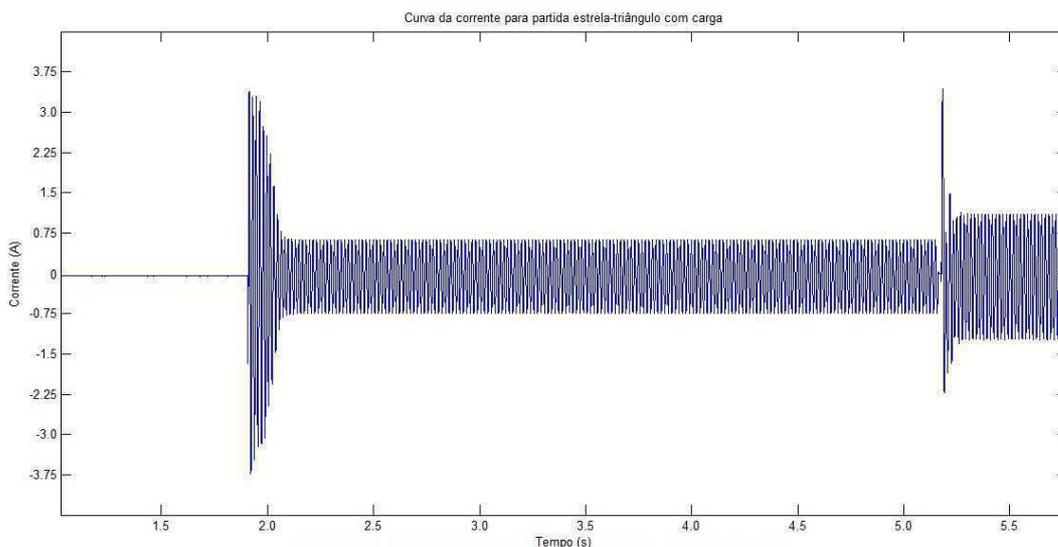
e

$$I_Y = 0,33 \times I_N = 0,37 \text{ A.}$$

A curva de corrente obtida com o acionamento através da chave estrela-triângulo para o motor com carga acoplada ao eixo pode ser vista na figura 31. A corrente de partida é um pouco elevada, de modo a fazer o eixo do motor girar. Após esse pico de corrente, o valor diminui para, aproximadamente, 0,4 A. Trata-se da corrente na configuração estrela, a configuração na qual o motor foi acionado. O valor de  $I_Y$  obtido foi bem próximo ao esperado, conforme calculado anteriormente.

Depois de transcorrido o tempo ajustado no temporizador, ocorre a comutação, caracterizada pela mudança da configuração estrela para a triângulo. O pico de corrente que ocorre no processo de comutação atinge menor valor do que o obtido na partida direta. Caso o valor do pico de corrente fosse tão elevado quanto o da partida direta, teria-se um indicativo de que a comutação havia ocorrido antes do ponto considerado ideal, ou seja, antes do ponto no qual a velocidade do motor alcança 90% da velocidade nominal.

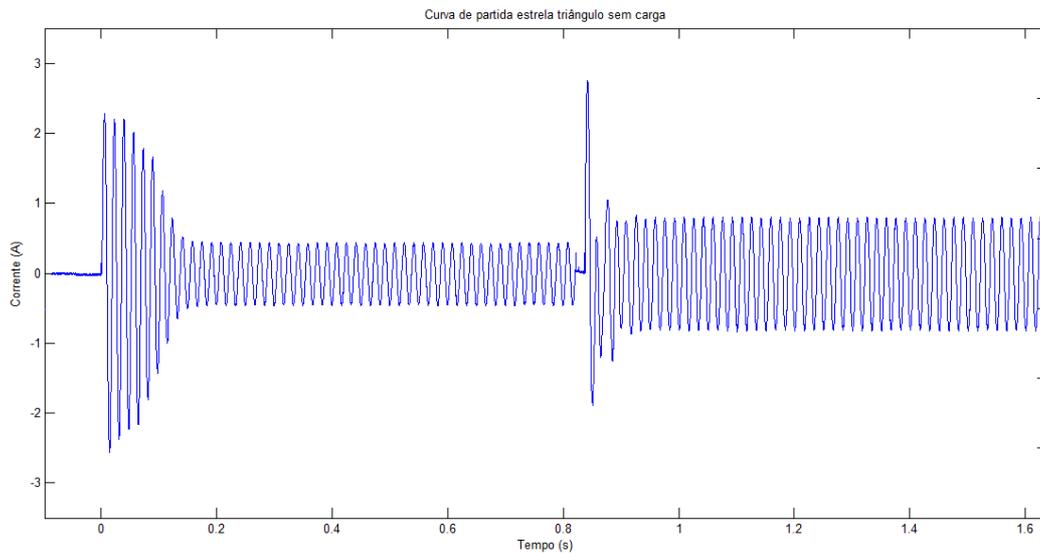
Após a comutação, o motor passa a operar em regime permanente, com configuração triângulo. A corrente medida foi 0,8 A, valor próximo aos 0,66 A esperados, conforme cálculo anterior.



**Figura 30 - Curva de corrente *versus* tempo para partida estrela-triângulo com carga, na fase R.**

O método de acionamento através da chave estrela-triângulo é adequado para realizar o arranque em vazio ou de cargas leves. Isso ocorre porque, ao se reduzir a corrente de partida a  $1/3$ , devido a configuração de partida utilizada ser a estrela, o conjugado também é reduzido. Assim, o acionamento com grandes cargas inviabiliza os benefícios que podem ser gerados pela partida estrela-triângulo. Na curva de corrente *versus* tempo para o motor em vazio, observa-se uma redução significativa da corrente de partida, com valor de 2,44 A. Assim, a comutação da configuração Y para a configuração estrela também ocorre de forma mais branda.

A figura 31 mostra a curva de partida com o motor em vazio.



**Figura 31 - Curva de corrente *versus* tempo para partida estrela-triângulo em vazio, na fase R.**

A aquisição de dados também foi realizada para as fases S e T. As formas de onda obtidas para as fases S e T foram semelhantes às obtidas na fase R, apenas com defasamento de  $120^\circ$  elétricos.

Portanto, com o uso desse método, as solicitações à rede de alimentação serão mais brandas comparativamente aos resultados obtidos com a partida direta, assim como o desgaste do motor será menor. A partida estrela-triângulo permite uma maior prevenção à rede contra quedas de tensão fora dos limites aceitáveis pela concessionária de energia e o aumento da vida útil dos motores, comparativamente ao acionamento por partida direta. Em contrapartida, o torque é reduzido.

### 4.3 PARTIDA SUAVER

De modo a se obter um acionamento com partida suave, os parâmetros do *soft-starter* devem ser configurados para obtenção da partida com o mínimo de esforço possível, tanto ao motor, quanto ao sistema de alimentação. Os valores possíveis de serem ajustados são o valor de tensão inicial, a corrente do motor e os tempos de aceleração e desaceleração.

O ajuste da corrente do motor define a relação entre a corrente do SSW-05 Plus e do motor por ele acionado. Conforme obtido a partir da codificação da SSW-05 Plus, a corrente do *soft-starter* utilizado é:  $I_{SSW-05} = 3 \text{ A}$ . Já a corrente do motor é 1,14 A. Portanto, de modo a ajustar esse parâmetro, tem-se:

$$\text{Ajuste da corrente do motor} = I_{\text{motor}}/I_{SSW-05}, \quad (13)$$

então,

$$\text{Ajuste da corrente do motor} = 1,14/3 = 0,38 \text{ ou } 38\%.$$

Assim, a corrente do motor foi ajustada para 38%. Esse valor é muito importante, pois está diretamente relacionado com as proteções do motor acionado pela SSW-05 Plus, tais como: sobrecarga, sobrecorrente, rotor bloqueado e falta de fase.

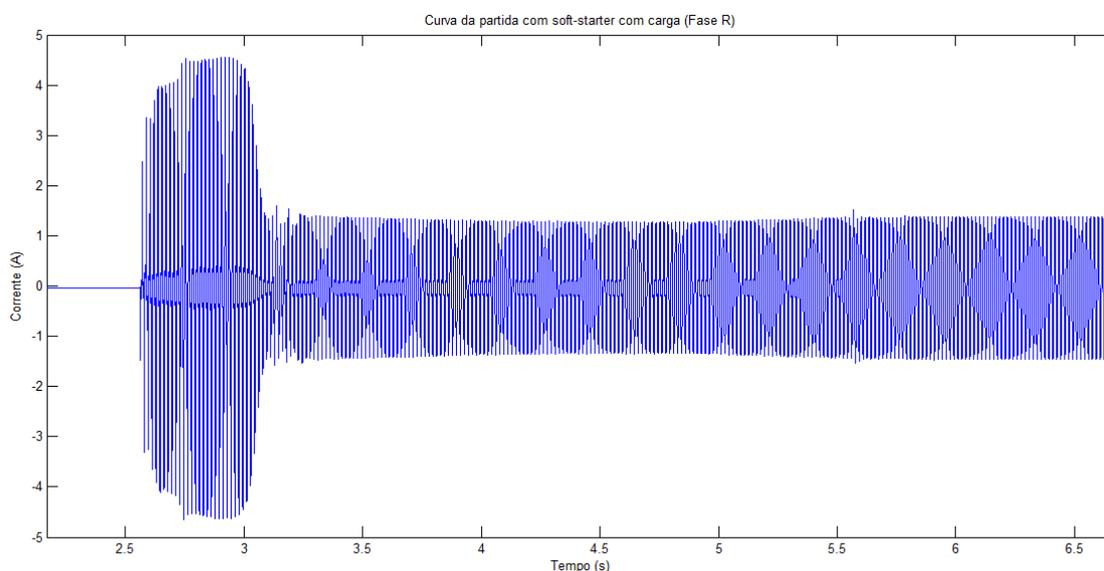
O tempo de desaceleração foi mantido na posição *Off*, pois seu ajuste só é necessário quando o *soft-starter* é aplicado no acionamento de bombas, com o objetivo de desacelerá-las, para amenizar o golpe de aríete. Assim, a parada do motor não ocorre de forma controlada, ocorre por inércia, com a *soft-starter* levando a tensão de saída instantaneamente a zero. O motor vai perdendo velocidade até que toda energia cinética seja dissipada.

No caso do acionamento do motor com carga acoplada ao eixo, o valor da tensão inicial (*Pedestal Voltage*) foi ajustado para o menor valor capaz de fazer o acionamento da carga, portanto, o valor inicial de tensão foi ajustado para 50% da tensão nominal. Já o tempo de aceleração, tempo necessário para se atingir o valor de tensão nominal (100%), foi ajustado para, aproximadamente, 3,5 segundos. Esses ajustes foram considerados a melhor configuração para o equipamento, pois, essa foi a parametrização que possibilitou a obtenção da curva mais suave para o acionamento do motor.

No caso do acionamento do motor em vazio, os valores de tensão inicial e tempo de aceleração foram ajustados buscando a forma de onda mais suave possível, de modo a diminuir os esforços aplicados ao sistema e ao motor. Para tanto, o valor de tensão inicial foi configurada em 30% da tensão nominal e o tempo de aceleração foi configurado para, aproximadamente, 6 segundos.

Assim, realizada a parametrização do equipamento, fez-se uso do sensor de corrente para medir a corrente nas fases que acionam o motor. O sensor foi conectado ao osciloscópio para que a aquisição dos dados fosse realizada. Em seguida, fez-se o acionamento do motor, através da chave manual.

A figura 32 apresenta a configuração da corrente utilizando o *soft-starter* para o acionamento do motor com carga acoplada ao eixo.

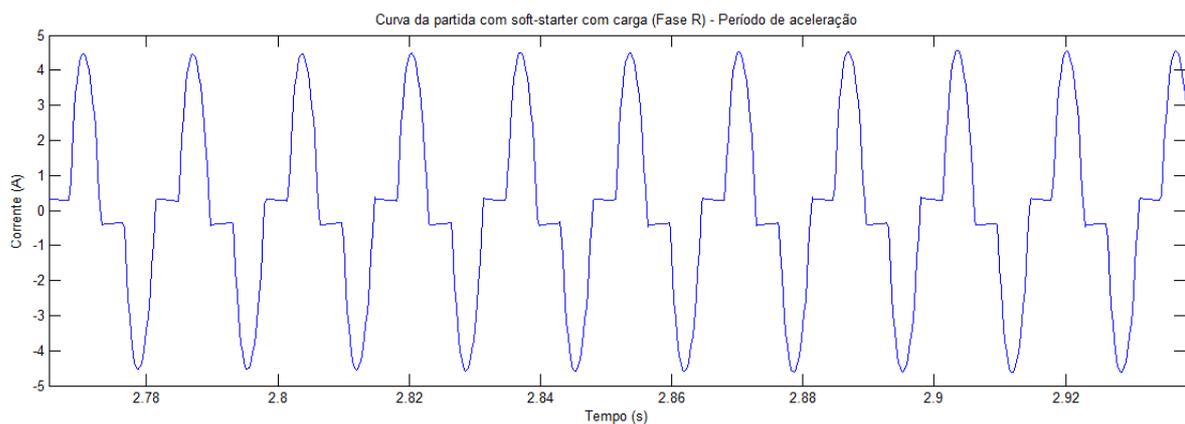


**Figura 32 - Curva de corrente *versus* tempo para partida com *soft-starter* com carga acoplada ao motor durante o acionamento (Fase R).**

Conforme a figura 32, a corrente máxima durante o período de aceleração na fase R atingiu o valor de 4,64 A. Portanto, observa-se que, dentre as partidas analisadas até então, o método de partida suave propicia um valor de corrente inicial menor que o obtido com a partida direta e similar, em módulo, ao obtido com a partida estrela-triângulo também com carga acoplada ao eixo. Porém, a corrente aplicada ainda é menor, já que o disparo dos tiristores reduz o valor eficaz da onda. A corrente vai aumentando suavemente, conforme o aumento da tensão que está sendo aplicada ao motor. Além disso, na partida com o *soft-starter* não há o pico de corrente existente no período de comutação para a partida estrela-triângulo.

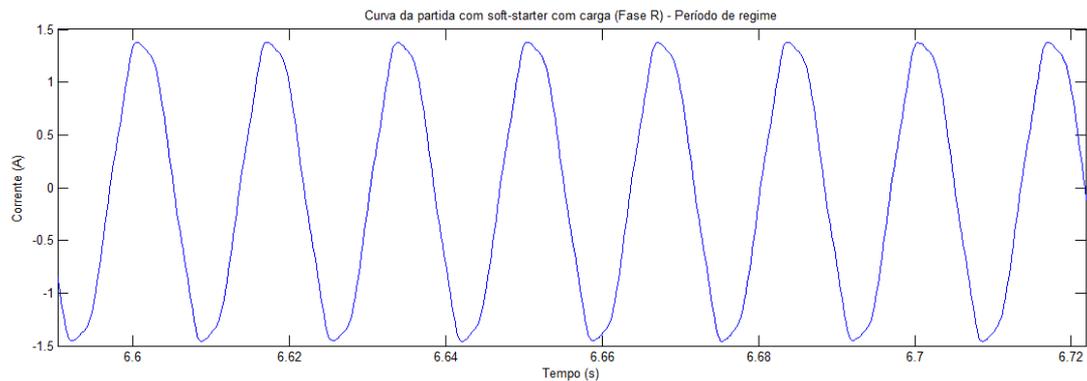
É possível verificar, através da análise mais aproximada da curva da corrente, que o ângulo de disparo dos tiristores, no período inicial de aceleração, é maior, cedendo um menor valor de tensão aos terminais do motor. Com um menor valor de tensão aplicado aos terminais do motor, tem-se, também, um menor valor de corrente. Nota-se que, à medida que é transcorrido o tempo (inércia sendo vencida), o ângulo de disparo dos tiristores vai diminuindo. Com isso, a condução aumenta, permitindo que uma maior parcela da tensão seja entregue à carga. Portanto, quanto maior for a tensão, maior também será a corrente e, conseqüentemente, tem-se mais torque.

É possível perceber, através da figura 33, que o disparo dos tiristores ocorre a cada passagem pelo zero da curva, pois, com a configuração em antiparalelo, um tiristor é disparado no semiciclo positivo da senóide e o outro no semiciclo negativo. O período de controle do valor eficaz da tensão realizado pelos tiristores ocorre durante todo o período de aceleração do motor.



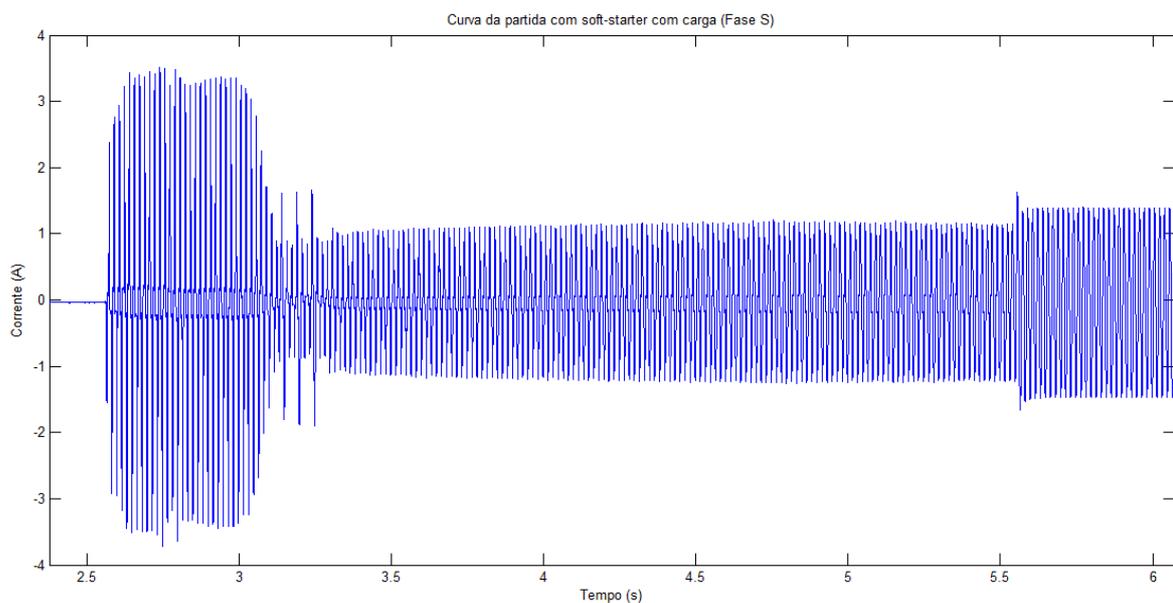
**Figura 33 - Curva de corrente versus tempo para partida com *soft-starter* com carga acoplada ao motor durante o período de aceleração (Fase R).**

Ao alcançar o período de regime, os *by-pass* presentes no *soft-starter* têm seus contatos fechados e a alimentação do motor passa a ser feita por eles e não mais através dos tiristores, pois o controle é feito até se atingir o estado de disparo em ângulo  $0^\circ$ , ou seja, plena condução. Assim, tem-se a tensão eficaz do motor com o formato senoidal, conforme a figura 34.



**Figura 34 - Curva de corrente versus tempo para partida com *soft-starter* com carga acoplada ao motor durante o período de regime permanente (Fase R).**

A aquisição de dados também foi realizada para as fases S e T. A curva da corrente no período de acionamento e regime do motor, na fase S, utilizando o *soft-starter*, é apresentada na figura 35. Os SRCs também realizam o controle do ângulo de disparo na fase S e, portanto, assim como observado para a fase R, a partida do motor ocorre durante poucos segundos e com um valor de corrente menor do que o obtido para a partida direta. As formas de onda dessas duas fases são bastante semelhantes.



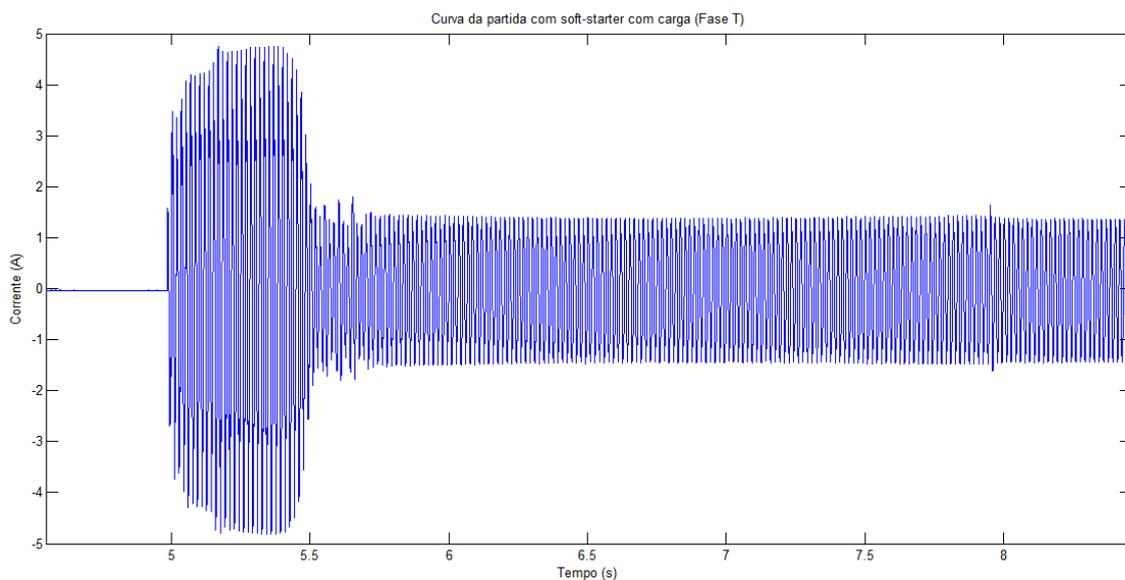
**Figura 35 - Curva de corrente versus tempo para partida com *soft-starter* com carga acoplada ao motor durante o acionamento (Fase S).**

A configuração do equipamento *soft-starter* utilizado apresenta controle de ângulo de disparo dos tiristores em apenas duas das três fases. Com essa configuração, o equipamento não sofre muita alteração no controle do valor eficaz da tensão, já que a utilização dos tiristores nas três fases provocaria uma redução um pouco maior do nível de tensão, o qual não interferiria na atuação da SSW-05 Plus, já que a mesma é

projetada para o acionamento de cargas de baixa potência. Assim, a terceira fase serve de referência ao circuito. Essa técnica de controle através de apenas duas fases resulta em uma simplificação tanto do circuito de potência quanto do circuito de controle e, conseqüentemente, reduz o custo do produto.

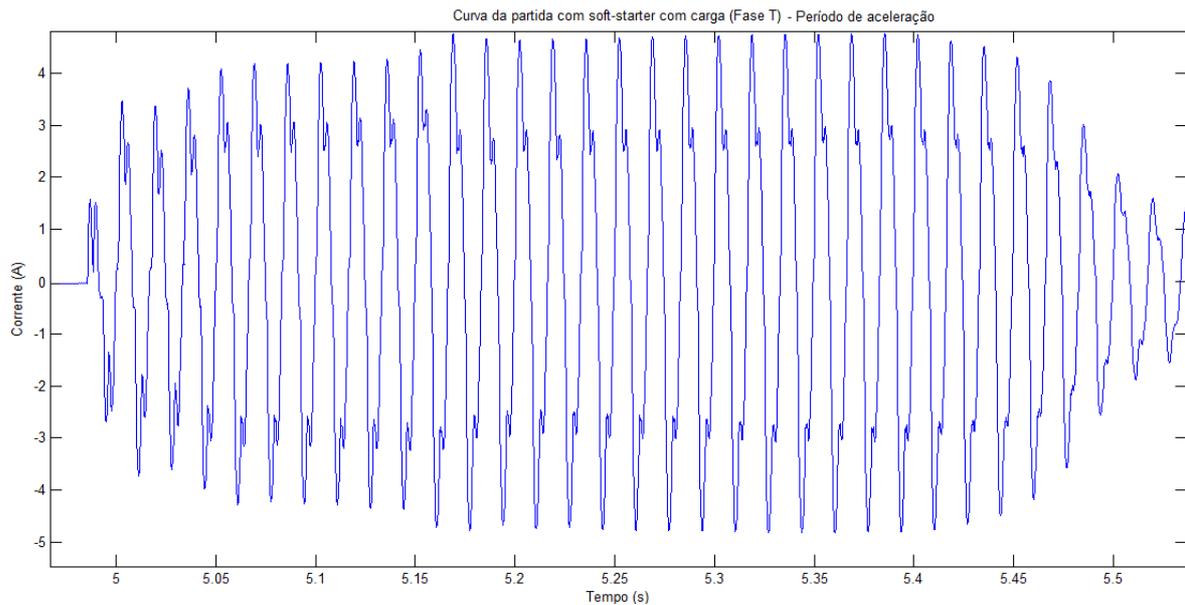
Assim, a fase T, por não possuir os retificadores controlados, é ligada diretamente ao motor. Porém, há a ocorrência de interferência das fases R e S na fase T, já que as três fases compõem um sistema trifásico. Portanto, apesar da fase T não ser controlada por tiristores, a curva de acionamento do motor apresenta contornos similares aos das demais fases.

A curva está apresentada na figura 36.



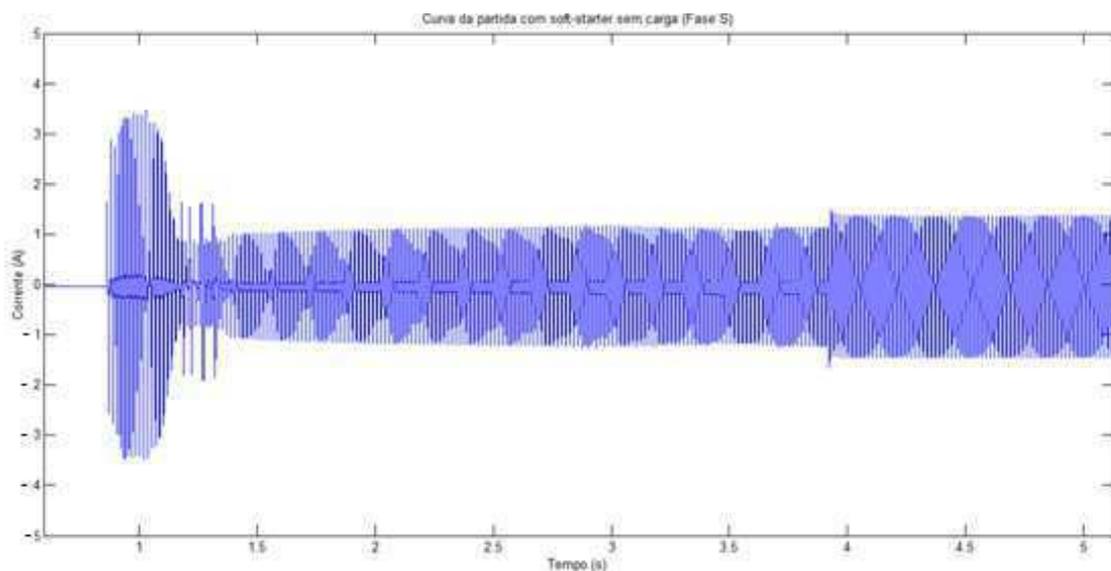
**Figura 36 - Curva de corrente versus tempo para partida com *soft-starter* com carga acoplada ao motor durante o acionamento (Fase T).**

O valor da corrente inicial sobe a valores próximos aos obtidos para as fases R e S. A curva mostra a onda senoidal distorcida, conforme pode ser visualizado na figura 37. As distorções são características das interferências sofridas pelo controle das duas fases e são fontes da geração de harmônicos ao sistema.



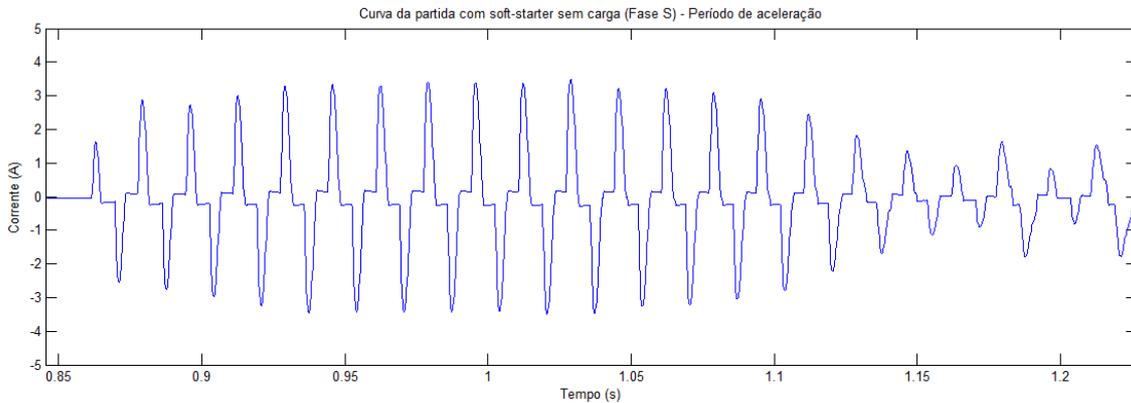
**Figura 37 - Curva de corrente versus tempo para partida com *soft-starter* com carga acoplada ao motor, durante o período de aceleração (Fase T).**

O *soft-starter* também foi utilizado para partida em vazio, porém, a curva de acionamento dos motores pouco se alterou, já que a parametrização permite fazer a suavização das partidas dos motores elétricos, sejam eles com carga ou sem carga. Com os novos ajustes aplicados ao *soft-starter*, obtiveram-se correntes de partida ainda com valores reduzidos, além de que o motor foi submetido a essa corrente inicial por um tempo também reduzido. A aquisição dos dados foi realizada para as três fases de acionamento do motor, porém, devido às formas de onda terem configurações similares, apenas a forma de onda da fase S será apresentada, conforme figura 38.



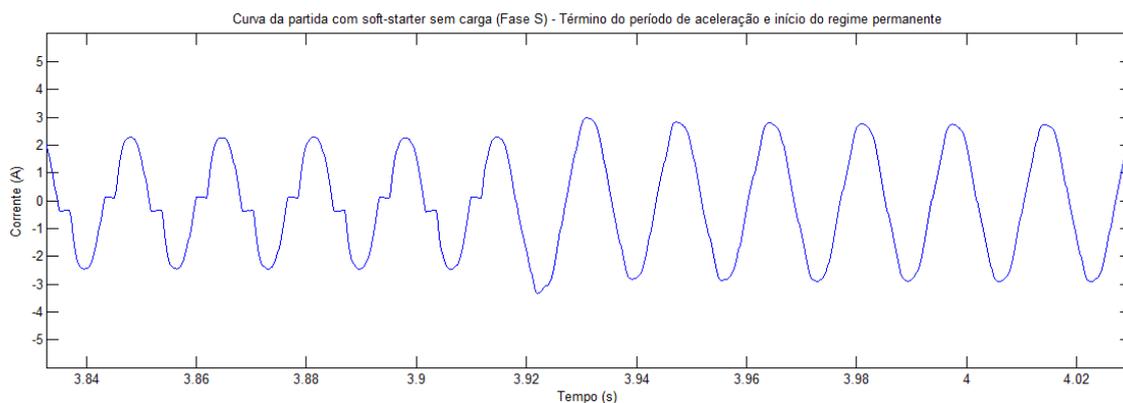
**Figura 38 - Curva de corrente versus tempo para partida com *soft-starter* com motor em vazio (Fase S).**

Na figura 39, pode-se observar o ângulo de disparos dos tiristores durante o período de aceleração do motor. O valor da corrente inicial sobe a valores próximos aos obtidos para as fases R e S. As distorções são características das interferências sofridas pelo controle do gatilho dos dispositivos eletrônicos presentes nas duas fases.



**Figura 39 - Curva de corrente versus tempo para partida com *soft-starter* com motor em vazio, durante o período de aceleração (Fase S).**

A figura 40 mostra a curva de corrente durante o término do período de aceleração e o início do regime permanente para a fase S. A tensão aplicada ao motor ao final da rampa de aceleração é quase que a tensão plena. Porém, ainda pode ser visto a atuação do controle dos tiristores, através dos pequenos ângulos de disparo existentes na curva da corrente. Ao término do tempo ajustado para a aceleração do motor, o mesmo já se encontra alimentado por 100% da tensão nominal. Portanto, os tiristores são desativados e a alimentação do motor passa a ocorrer através do relé de *by-pass*, após fechamento de seus contatos NA.



**Figura 40 - Curva de corrente versus tempo para partida com *soft-starter* com motor em vazio, apresentado o término do período de aceleração e início do regime permanente (Fase S).**

Assim, após obtenção e análise das curvas de corrente versus tempo para as partidas convencionais e para a partida com uso do *soft-starter*, as devidas conclusões podem ser apresentadas com mais propriedade.

O método de partida direta tem a vantagem de o motor partir com suas características nominais de projeto, entretanto, a corrente exigida pode vir a perturbar o bom funcionamento de outros aparelhos ligados ao mesmo circuito, provocado pela queda de tensão que esse tipo de partida causa. O motor pode se desgastar com as solicitações da partida, reduzindo sua vida útil. Além disso, o elevado valor de corrente de partida pode fazer atuar os dispositivos de proteção.

No caso da partida estrela-triângulo, a redução da corrente com o uso da configuração Y, possibilita um menor dano ao sistema e ao motor. Porém, perde-se características nominais do motor, tais como o conjugado de partida, já que a tensão é reduzida por  $\sqrt{3}$  e o conjugado é proporcional ao quadrado da tensão aplicada nas bobinas.

O método de partida suave, através do uso do equipamento *soft-starter*, possibilitou a partida dos motores de forma suave, sem elevação de corrente tais como na partida direta e sem o elevado pico de corrente da partida estrela-triângulo. Além disso, a parametrização do equipamento permite um ajuste apropriado para cada tipo de carga a ser acionada. Assim, esse método se apresentou como o método que provoca as menores solicitações ao sistema de alimentação. Além disso, o *soft-starter* também desempenha a função de proteção ao motor, através de detecção e indicação de erros, tais como falta de fase, sequência de fase incorreta, sobrecorrente, rotor bloqueado, entre outros. Porém, o modo de partida através do uso do *soft-starter* tem o inconveniente de adicionar harmônicos ao sistema de alimentação, já que o *soft-starter* é composto por dispositivos eletrônicos que são cargas não-lineares e geram harmônicos em consequência do chaveamento dos retificadores.

Assim, apesar da melhor suavização dos valores de corrente durante a partida do motor com o uso do *soft-starter*, nenhum dos métodos de partida pode ser descartado, sendo necessário realizar a análise de qual o melhor método para cada tipo de carga a ser acionada.

O resultado da análise comparativa realizada entre as partidas de forma convencional e através do uso do *soft-starter*, no motor elétrico utilizado, evidenciou que o acionamento do motor se comportou conforme apontado pela fundamentação teórica.



## 5 CONCLUSÃO

Durante muitos anos foram utilizados exclusivamente os dispositivos eletromecânicos, com uso de contadores e relés, para partida dos motores de indução, sendo as chamadas partidas convencionais. O aparecimento de circuitos eletrônicos controlados por tiristores veio a permitir a suavização das partidas e paradas das máquinas. Dentre os dispositivos eletrônicos que representam uma nova era no campo de aplicação do motor de indução trifásico estão os *soft-starters*.

Nesse trabalho foi possível verificar que existem diversos processos para o acionamento dos motores de indução trifásica. Cada um desses processos apresenta suas vantagens e desvantagens, dependendo do aspecto particular ou do parâmetro que se quer considerar. A conciliação do aproveitamento das vantagens ocasionadas, com a necessidade de se eliminar alguns inconvenientes, é um apelo à capacidade dos engenheiros eletricitas no sentido de aperfeiçoar-se cada vez mais, os dispositivos de partida para motores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: *Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 209 p.

CAVALIN, Geraldo. CERVELIN, Severino. *Instalações Elétricas Prediais*. São Paulo: Érica, 1998. 422 p.

ALMEIDA, José Luis Antunes de, 1954. *Eletrônica de Potência*. São Paulo, Érica, 1986.

FITZGERALD, A. E. *Máquinas elétricas*, 6ª Ed., São Paulo: McGraw- Hill, 2006.

MAMEDE FILHO, João. *Instalações Elétricas Industriais*. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

Manual do usuário da SSW-05 soft-starter Plus da WEG.

## ANEXO

### MANUAL DE USO

#### SOFT-STARTER SSW 05 PLUS

A Chave de partida estática SSW-05 é um equipamento que permite partir e parar suavemente motores de indução trifásicos. Foi projetada para a aceleração, desaceleração e proteção de motores elétricos de indução trifásicos, através do controle da tensão aplicada ao motor. Deve ser utilizada no acionamento de cargas consideradas leves, tais como: bombas centrífugas, ventiladores de pequeno porte e compressores a parafuso.

#### ESPECIFICAÇÃO

As *soft-starters* são dotadas de codificação. A codificação permite identificação de características essenciais ao seu funcionamento. A SSW-05 Plus utilizada neste trabalho possui a seguinte codificação, conforme descrito nas referências do equipamento: SSW050003T2246PPZ. O significado dessa sequência de dígitos pode ser compreendida através da Tabela 4.

**Tabela 4 - Descrição da indentificação do soft-starter.**

SSW05	0003	T	2246	P	P	Z
Soft-Starter WEG Série 05	Corrente nominal de saída: 0003 = 3A 0010 = 10A 0016 = 16A 0023 = 23A 0030 = 30A 0045 = 45A 0060 = 60A 0085 = 85A	Alimentação Trifásica de Entrada	Tensão de Alimentação de entrada: 2246 = 220 a 460V 4657 = 460 a 575V	Idioma do Manual: P= Português E= Inglês S= Espanhol	Versão da SSW-05: P= Plus	Fim de código

Referência: manual de uso da SSW-05 Plus.

Conforme apresentado na Tabela 4, o *soft-starter* utilizado pertence à família SSW 05, com corrente nominal de saída de 3 A, entrada de alimentação trifásica e tensão de alimentação entre 220 e 460 V. Além disso, o manual do produto é em língua portuguesa e a versão do produto é a Plus.

A Tabela 5 apresenta as especificações de *soft-starters* da família SSW-05. Essa tabela é útil para se verificar, por exemplo, qual a máxima potência do motor aplicável ao modelo de *soft-starter* utilizado e a corrente nominal de saída.

**Tabela 5 - Especificação do *soft-starter* SSW-05 Plus.**

Tensão de alimentação (V)		Micro Soft-Starter SSW05 Plus		Motor Máximo Aplicável $\nabla$			Dimensões		
		Referência	Corrente nominal de saída (A)	Tensão de alimentação (V)	Potência		(mm)		
					(CV)	(KW)	A	L	P
Trifásica	220-240	SSW050003T2246PPZ	3	220	0,75	0,5	130	59	145
		SSW050010T2246PPZ	10		3	2,2			
		SSW050016T2246PPZ	16		5	3,7			
		SSW050023T2246PPZ	23		7,5	5,5			
		SSW050030T2246PPZ	30		10	7,5			
		SSW050045T2246PPZ	45		15	11			
	380-415	SSW050060T2246PPZ	60	380	20	15	185	79	172
		SSW050085T2246PPZ	85		30	22			
		SSW050003T2246PPZ	3		1,5	1,1			
		SSW050010T2246PPZ	10		6	4,5			
		SSW050016T2246PPZ	16		10	7,5			
		SSW050023T2246PPZ	23		15	11			
	440-480	SSW050030T2246PPZ	30	440	20	15	130	59	145
		SSW050045T2246PPZ	45		30	22			
		SSW050060T2246PPZ	60		40	30			
		SSW050085T2246PPZ	85		60	45			
		SSW050003T2246PPZ	3		2	1,5			
		SSW050010T2246PPZ	10		7,5	5,5			
	460-575	SSW050016T2246PPZ	16	575	12,5	9,2	185	79	172
		SSW050023T2246PPZ	23		15	11			
		SSW050030T2246PPZ	30		20	15			
		SSW050045T2246PPZ	45		30	22			
		SSW050060T2246PPZ	60		40	30			
		SSW050085T2246PPZ	85		60	45			
460-575	SSW050003T4657PPZ	3	575	2	1,5	130	59	145	
	SSW050010T4657PPZ	10		7,5	5,5				
	SSW050016T4657PPZ	16		10	7,5				
	SSW050023T4657PPZ	23		20	15				
	SSW050030T4657PPZ	30		25	18,5				
	SSW050045T4657PPZ	45		40	30				
460-575	SSW050060T4657PPZ	60	575	50	37	185	79	172	
	SSW050085T4657PPZ	85		75	55				

Nota: (\*) As potências indicadas na tabela são para cargas do tipo bombas centrífugas e compressores (com partida em alívio), com base em motores WEG de IV polos - 60 Hz. Acesse nosso site ([www.weg.net](http://www.weg.net)) e utilize o software SDW para dimensionamento das Soft-Starters. O dimensionamento é feito com base nos dados da curva de carga, número de partidas/hora e tipo de carga.

Referência: manual de uso da SSW-05 Plus.

## DESCRIÇÃO DA SSW-05 PLUS

A *soft-starter* SSW 05 é compacta, de fácil programação e com excelente rendimento. A seguir, uma imagem da SSW05 Plus com suas partes componentes identificadas. Como pode ser percebido, através da figura 41, o equipamento possui três entradas para alimentação, sendo elas a R, S e T. A saída do *soft-starter* para o motor é feita através das saídas U, V e W.

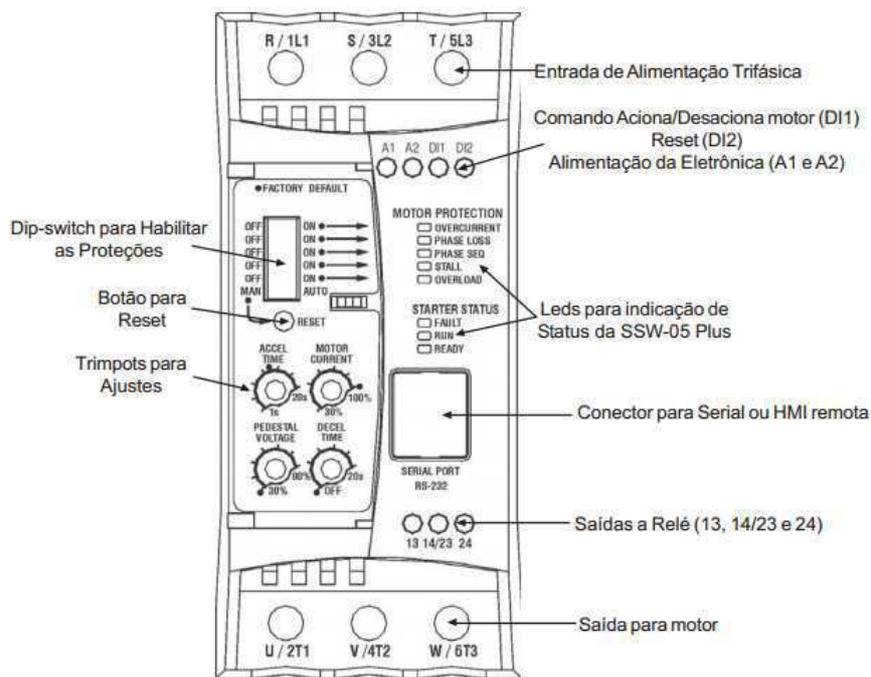


Figura 41 - Descrição da SSW-05 Plus.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA SSW-05 PLUS

Tabela 6 - Características técnicas.

Modelo		SSW-05 Plus
Alimentação	Tensão de Controle (A1 e A2)	90 a 250Vac 50/60 Hz (+/- 6Hz) 200 mA
	Tensão da Potência (R/1L1, S/3L2, T/5L3)	220 a 460 Vac (+10%,-15%) 50/60 Hz (+/- 5Hz) 3φ 460 a 575 Vac (+10%,-15%) 50/60 Hz (+/- 5Hz) 3φ
Ajustes	Tensão Inicial	30 a 80% $U_N$
	Tempo de Aceleração	1 a 20 s
	Tempo de Desaceleração	Off a 20 s
	Corrente do Motor	30 a 100% $I_N$
Proteções	Sobrecarga Eletrônica do Motor	
	Sequência de Fase Incorreta	
	Falta de Fase	
	Sobrecorrente Imediata	
	Rotor Bloqueado	
	Sobrecarga nos Tiristores	
	Sobrecorrente Imediata no Relé de By-pass	
	Sobrecorrente antes do By-pass	
	Frequência fora da tolerância	
	Contato do Relé de By-pass interno aberto	
	Subtensão na Alimentação da Eletrônica	
Capacidade	Número Máximo de Partidas por hora	4 ( 1 a cada 15 minutos)
	Ciclo de Partida	$3 \times I_N$ durante 10 segundos
Entradas Digitais (90...250Vac 6mA)	DI1 – Função Aciona/Desaciona DI2 – Função Reset	
Saídas Digitais à Relé (1A250Vac)	Função Operação (13 – 14/23)	
	Função Tensão Plena (14/23 – 24)	
Comunicação	Interface Serial (RS232C)	
Condições Ambientais	Temperatura	0 a 55°C
	Umidade	5 a 90% sem condensação
	Altitude	0 a 1000m (até 4000m com redução de 10% / 1000m na corrente de saída)
Grau de Proteção		IP 00 (Chassis)
Grau de Poluição (UL508)		2
Mecânica	Fixação	Trilho DIN 35mm ou Parafusos M4
	Invólucro	Plástico Injetado
Conformidade/ Normas	Emissão Eletromagnética Conduzida (EMC)	Classe A (Uso Industrial) Norma IEC 60947-4-2
	Baixa Tensão	UL 508 / IEC 60947-4-2

Referência: manual de uso da SSW-05 Plus.

## PARAMETRIZAÇÃO

A parametrização permite fazer o ajustar a tensão inicial, a corrente do motor e os tempos de aceleração e desaceleração. Os quais são ajustados através dos *Trim pots* de ajuste, selecionando o valor desejado.

- a) Tensão inicial: 30 a 80% da tensão nominal

Ajusta-se o valor de tensão inicial para o valor que comece a girar o motor acionado pela SSW-05 Plus tão logo esta receba o comando de aciona.

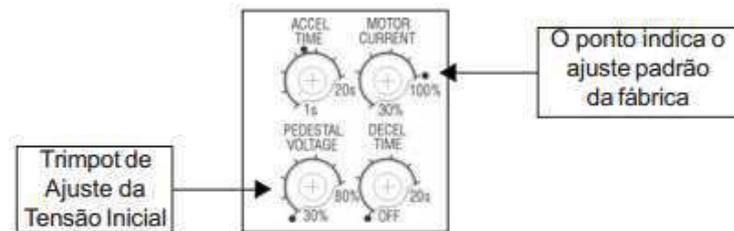


Figura 42 - *Trim pot* para ajuste da tensão inicial.

- b) Tempo de aceleração: 1 a 20 s

Ajusta-se o valor necessário para que o motor consiga chegar a sua rotação nominal.

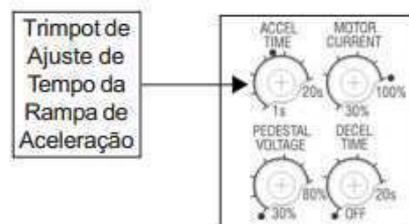


Figura 43 - *Trim pot* para ajustar o tempo de aceleração.

Deve-se tomar cuidado nos casos em que a relação da corrente da SSW-05 Plus e da corrente nominal do motor é 1,00, pois o tempo máximo que a SSW-05 Plus pode funcionar com 3 vezes a corrente nominal é de 10 segundos.

- c) Tempo de desaceleração: *Off* a 20 s

Deve ser utilizado apenas quando é necessário fazer a desaceleração de bombas.

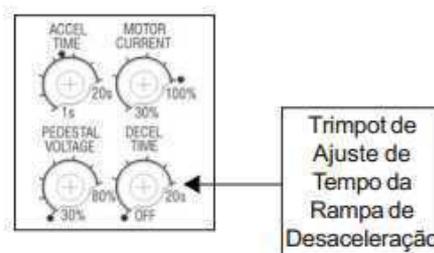


Figura 44 - *Trim pot* de ajuste da desaceleração.

d) Corrente do motor: 30 a 100% da corrente nominal.

Esse ajuste é definido pela relação de corrente da SSW-05 Plus e do motor por ela acionado.

$$\text{Ajuste da corrente do motor} = I_{\text{motor}}/I_{\text{SSW-05}}$$

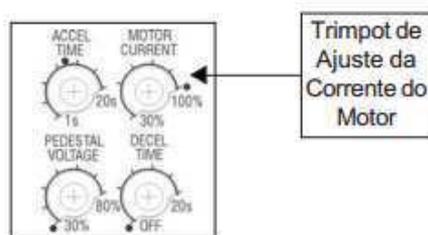


Figura 45 - Trimpot para ajustar a corrente do motor.

O valor ajustado irá definir as proteções do motor, tais como sobrecorrente, sobrecarga, rotor bloqueados e falta de fase.

## MAINS SOBRE A SSW-05 PLUS

A SSW-05 é uma família de *soft-starters* com diversos modelos. A Tabela 5 apresenta os modelos e suas respectivas potências, de acordo com as faixas de tensão, assim como a fiação da potência e a que tipo de mecânica eles pertencem.

Tabela 7 - Potências/correntes/fiação de potência (cobre 70°C)

Modelo	Corrente Nominal	Mecânica	220V...240V		380V...415V		440V...480V		Fiação da Potência mm <sup>2</sup> (AWG)
			cV	kW	cV	kW	cV	kW	
SSW-05.3	3A	1	0,75	0,55	1,5	1,1	2	1,5	0,75 (18)
SSW-05.10	10A		3	2,2	6	4,5	7,5	5,5	1,5 (16)
SSW-05.16	16A		5	3,7	10	7,5	12,5	9,2	4 (12)
SSW-05.23	23A		7,5	5,5	15	11	15	11	6 (10)
SSW-05.30	30A		10	7,5	20	15	20	15	10 (8)
SSW-05.45	45A	2	15	11	30	22	30	22	16 (6)
SSW-05.60	60A		20	15	40	30	40	30	25 (4)
SSW-05.85	85A		30	22	60	45	60	45	35 (2)

Referência: manual de uso da SSW-05 Plus.

Além disso, de acordo com a mecânica a qual o *soft-starter* pertence, tem-se o torque de conectores presentes na Tabela 6.

Tabela 8 - Torque nos bornes de potência e eletrônica.

Mecânica da SSW-05 Plus	Torque nos Bornes da Eletrônica (A1, A2, DI1, DI2, 13, 14/23 e 24) Nm (lb-in)	Torque nos Bornes da Potência (R, S, T, U, V e W) Nm (lb-in)
1	0,5 (4,5)	3,0 (32,7)
2	0,5 (4,5)	5,5 (60,0)

Referência: manual de uso da SSW-05 Plus.

Os fusíveis a serem utilizados nos circuitos de acionamento são dimensionados de acordo com a corrente do *soft-starter*. Os valores estão contidos na Tabela 7.

**Tabela 9 – Tipos de fusíveis e contator a serem utilizados em função da corrente do soft-starter.**

Corrente da SSW-05 Plus	Contator (K1)	Fusível (F1, F2, F3)	Fusível (F11, F12, F21)
3A	CWM09	Tipo D 10A	Tipo D 6A
10A	CWM12	Tipo D 16A	
16A	CWM18	Tipo D 25A	
23A	CWM25	Tipo D 35A	
30A	CWM32	Tipo D 50A	
45A	CWM50	Tipo D 63A	
60A	CWM65	Tipo NH 100A	
85A	CWM95	Tipo NH 125A	

Referência: manual de uso da SSW-05 Plus.

## CONFIGURAÇÕES PARA ACIONAMENTO DE MOTORES UTILIZANDO A SSW-05 PLUS

Para a instalação a SSW-05 Plus e o seu devido acionamento, recomenda-se o uso de três esquemas de ligação. Antes, porém, é importante apresentar a simbologia utilizada para realização dos acionamentos.

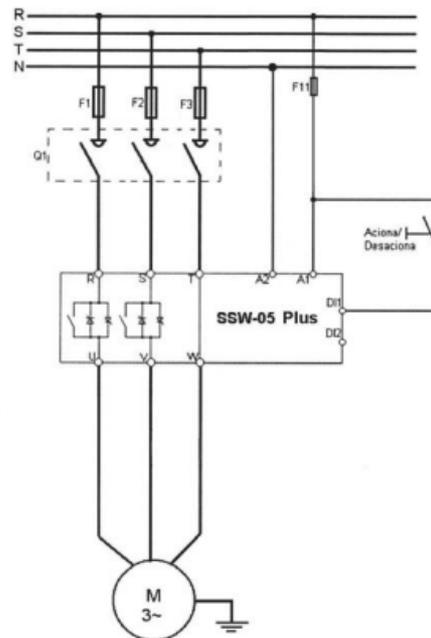
**Tabela 10 - Simbologia.**

Simbologia	Descrição
	Fusível
	Seccionadora (Abertura sob Carga)
	Transformador
	Chave N.A (Com retenção)
	Botoeira N.F (Com retorno Automático)
	Botoeira N.A (Com retorno Automático)
	Contator (Bobina)
	Motor de Indução Trifásico

Referência: manual de uso da SSW-05 Plus.

### i. Acionamento simplificado

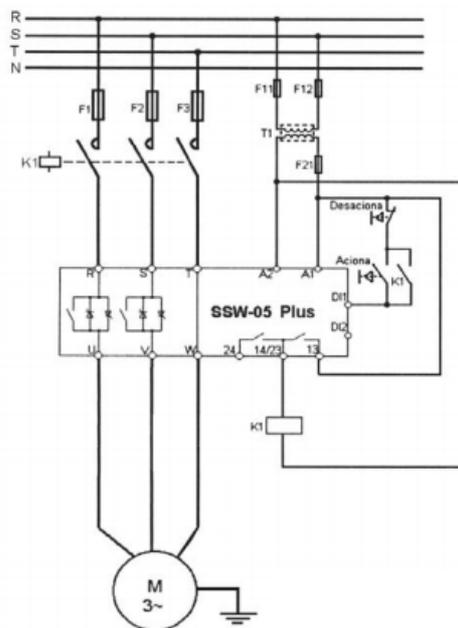
Trata-se da configuração para partida e parada simplificada. Faz uso de chave manual e não são utilizados contadores.



**Figura 46 - Esquema de ligação para partida suave simplificada.**

ii. Acionamento utilizando botoeiras e contatores

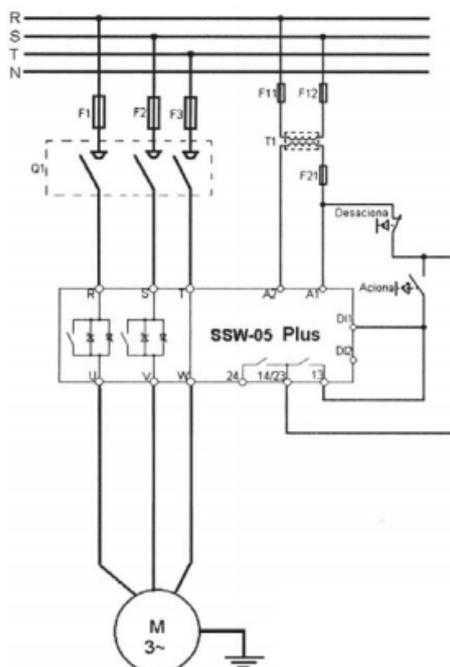
Esse segundo tipo de configuração para partida e parada de motores não utiliza mais a chave de retenção, passando a utilizar botoeiras. Faz-se uso, também, de contatores.



**Figura 47 - Esquema de ligação para partida suave com botoeiras e contatores.**

iii. Acionamento utilizando botoeiras e relé de operação

O terceiro tipo de partida sugerido utiliza configuração de partida e parada de motores utilizando botoeiras e relé de operação da SSW-05 Plus.



**Figura 48 - Esquema de ligação para partida suave com botoeiras e relé de operação.**