

ESTUDO DE ACIONAMENTOS DAS CHAVES DE PARTIDAS ELÉTRICAS E ELETRÔNICAS PARA MOTORES ELÉTRICOS

Breno Pereira Dela Bruna¹, Gustavo Contessi¹, Matheus Rossetti¹, Pedro Henrique Di Francia Rosso¹, Reginaldo Tassi^{1,2}

¹Instituto Maximiliano Gaidzinski/Colégio Maximiliano Gaidzinski

²Instituto Maximiliano Gaidzinski/Departamento Técnico/tassi@imgnet.org.br

Resumo: O presente trabalho abrangeu o estudo do funcionamento das chaves de partida elétricas e eletrônicas dos motores elétricos trifásicos, observando a redução de corrente e sua utilização industrial. Eles são componentes indispensáveis nos processos industriais, devido a sua eficiência e aplicabilidade, entretanto, o acionamento dos mesmos merece atenção, pois sua instalação varia com seu emprego num determinado processo. A ligação dos motores tem início na proteção da entrada de tensão do mesmo, garantindo melhor manutenção e manipulação do equipamento. Por isso, existem as chaves de partida, conjuntos de dispositivos/circuitos capazes de acionar motores de forma segura, além de, em alguns casos, garantir a redução de energia no início do trabalho. Tendo em vista esses, o estudo consistiu na construção de chaves de partida ensaiadas em laboratório (partida direta, reversora, estrela-triângulo, compensadora, soft-starter e inversor), analisando variáveis como: corrente elétrica nominal e na partida, torque inicial, projeção de custos, etc. Juntamente com os dispositivos de proteção, manobra e atuação (disjuntores, contadores, transformador, autotransformador, fusíveis, botões de acionamento e parada e motores) além das chaves eletrônicas (soft-starter e inversor de frequência), a equipe alcançou resultados que apontaram que as chaves de partida eletrônica apresentaram menores picos de corrente em relação as chaves com componentes eletromagnéticos, além da vantagem da simplicidade de instalação, pouco espaço ocupado e torque ajustável na partida.

Palavras-Chave: Acionamento, chaves de partida, custo-benefício, consumo de energia.

1 INTRODUÇÃO

Os motores elétricos de indução trifásicos são utilizados em processos industriais por sua simplicidade, baixo custo e eficácia máxima com manutenção mínima. A desvantagem principal desses equipamentos está no momento de partida, onde a corrente necessária para iniciar o movimento é alta, comparada com a corrente de trabalho nominal. Entretanto, existem ferramentas que podem ser utilizadas para reduzir a mesma e, conseqüentemente, o custo e consumo do motor. Desta forma, é necessário o estudo do acionamento das chaves de partida elétricas e eletrônicas dos motores elétricos.

A forma mais simples de ligar um motor elétrico é a partida direta, onde o motor é conectado diretamente à rede, fornecendo torque total na partida, porém apresenta várias desvantagens quando aplicadas em altas potências. Além desta, existem chaves de partida aconselháveis para diferentes aplicações, como a chave reversora, estrela-triângulo, compensadora, soft-starter e inversor de frequência.

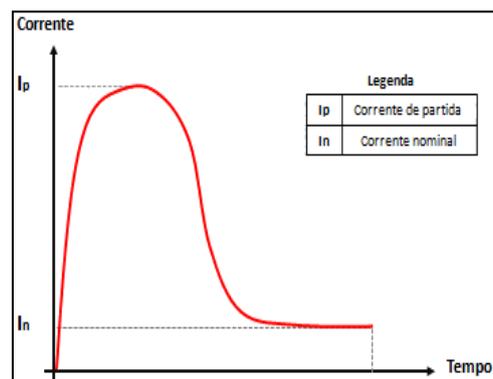
Conhecendo os erros cotidianos no dimensionamento e nos tipos de acionamentos de motores elétricos nas empresas, de que maneira o dimensionamento e a escolha correta dos tipos de acionamentos de motores elétricos, numa indústria, beneficia a esta e também a distribuidora de energia?

O presente trabalho será baseado no estudo das chaves de acionamento de motores elétricos trifásicos, além da elaboração de ensaios em laboratório, comprovando assim as informações aqui mencionadas e aprofundando os conhecimentos na área.

1.1 Comportamento da corrente de partida

Durante a partida dos motores elétricos, é exigida uma corrente de partida muito alta em relação à corrente nominal de serviço (Figura 1). Isso se dá devido a força necessária para que o motor vença o estado de inércia no qual se encontra no momento da partida.

Figura 1: Gráfico do comportamento da corrente de partida



1.2 – Tipos de chaves de partida

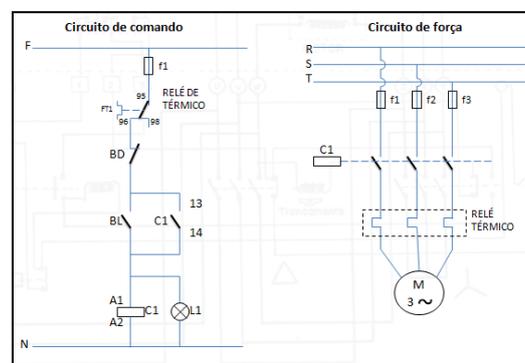
Para reduzir a amplitude da corrente exposta anteriormente, existem algumas opções, as quais são chamadas de chaves de partida de motores elétricos. A seguir serão listadas algumas das chaves de partidas para motores elétricos, o funcionamento, componentes, e dados das mesmas.

1.2.1 – Partida Direta

A chave de partida direta é um dispositivo pelo qual o motor parte com valores plenos de conjugado e de corrente de partida, pois suas bobinas recebem a tensão nominal de serviço. Por esse motivo, sua aplicação é limitada⁴.

Na Figura 2, observam-se os circuitos de comando e de potência de uma Partida Direta:

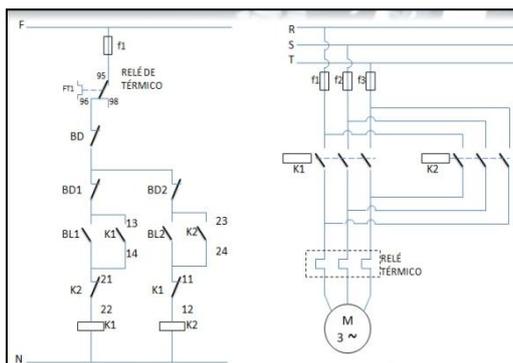
Figura 2: Circuito de comando e de força de uma partida direta



1.2.2 – Chave Reversora

A partida Reversora é de composição e funcionamento simples. Assim como a Partida Direta, apresenta uma corrente de partida alta, sendo muitas vezes inviável. Apresenta como vantagem a possibilidade de inversão no sentido de rotação do motor através da inversão de duas fases⁴. Na Figura 3, os circuitos de comando e de força da chave Reversora.

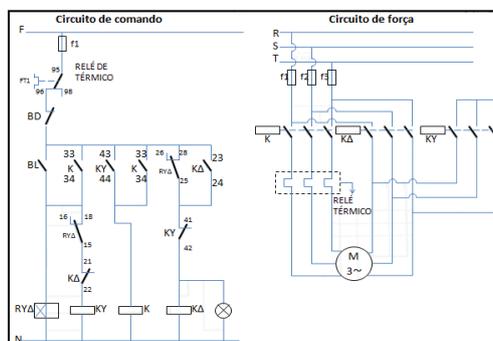
Figura 3: Circuito de comando (esquerda) e de força (direita) de uma Partida Reversora.



1.2.3 – Chave Estrela-triângulo

É uma chave de partida que exige um motor de dupla tensão, sendo a menor delas igual à tensão da rede. Este motor elétrico irá partir em ligação estrela, e depois de um tempo, passará a ser ligado em triângulo. Com isso, o motor perde cerca de 1/3 do torque, porém a corrente de partida diminui na mesma proporção, tornando essa chave viável em relação a algumas outras. Na Figura 4, observa-se os circuitos de comando e de força de uma chave estrela-triângulo ^{2, 4}.

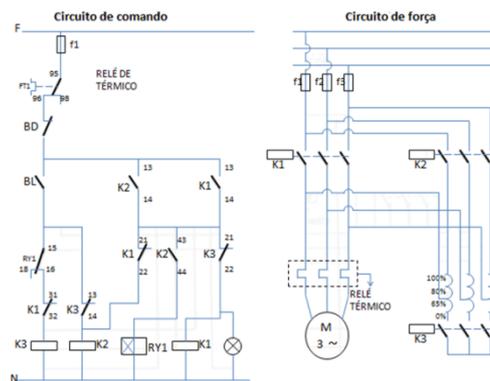
Figura 4: Circuito de comando e de força de uma chave estrela-triângulo



1.2.4 – Chave Compensadora

É uma chave elétrica de partida de motores, usada para partidas com carga que utiliza de um transformador para a redução da corrente inicial até o valor de 64%, porém como desvantagem utiliza um transformador que acaba delimitando a potência máxima do motor, e para sua instalação necessita de um espaço grande ^{2, 4}. Na Figura 5, observa-se os circuitos de comando e força de uma chave compensadora.

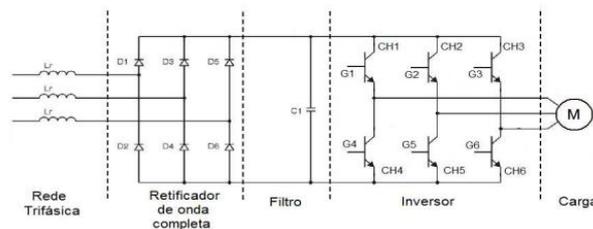
Figura 5: Diagrama de chave partida compensadora



1.2.5 – Inversor de Frequência

É um equipamento capaz gerar tensão trifásica e frequência ajustáveis. Opera transformado a tensão alternada, em contínua para após transformá-la em tensão de frequência e amplitude ajustáveis, porem esse equipamento possui um alto custo^{1,4}. A Figura 6 representa um circuito de potência típico dos inversores de frequência.

Figura 6: Diagramas da chave de partida com Inversor de Frequência

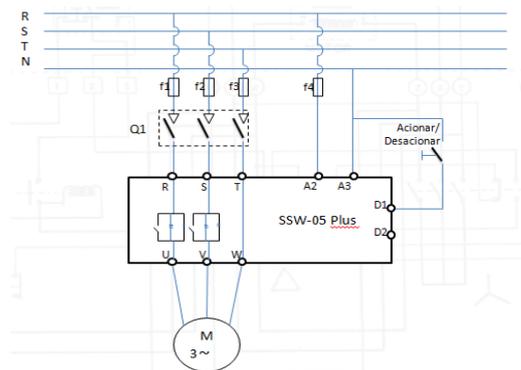


Fonte: Adaptado de MASCHERONI¹

1.2.6 – Soft-Starter

Soft-Starters são chaves capazes de controlar a rampa de tensão na partida do motor, utilizando de SCRs (do inglês Silicon Controlled Rectifier - Retificador Controlado de Silício) para esse controle. O torque do motor é ajustado automaticamente à carga, o que garante que a corrente usada seja a menor possível, porém esse equipamento possui também um alto custo^{2, 4}. A Figura 7 representa um esquema de ligação de uma chave soft-starter.

Figura 7: Diagrama da chave de partida com Soft- Starter



Fonte: Adaptado de MASCHERONI¹

2 METODOLOGIA

Primeiramente a equipe realizou uma pesquisa bibliográfica, com base em livros atualizados sobre normas regulamentadoras voltadas ao tema, juntamente com definições e características de chaves de partidas elétricas e eletrônicas para motores elétricos, com o intuito de obter embasamento teórico.

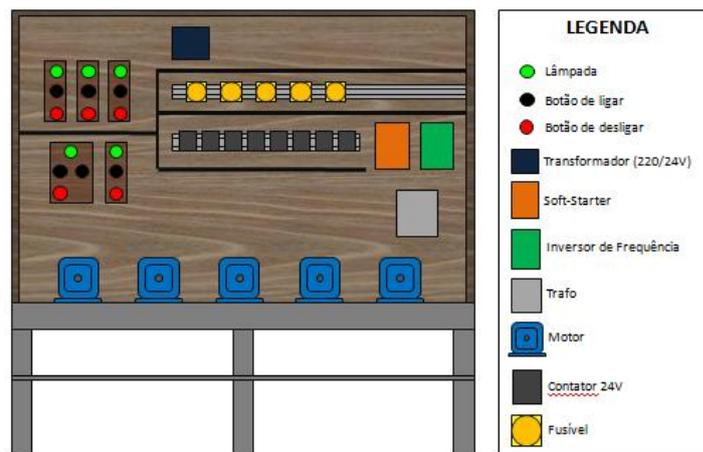
Com base em um contrato de demanda de energia, realizou-se uma simulação do dimensionamento das chaves de partida dos motores elétricos conforme equações da Tabela 1, com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica no momento da partida dos mesmos, além de aumentar sua vida útil.

Tabela 1: Fórmulas para cálculo das correntes de partida nos motores

CHAVE DE PARTIDA	DIRETA	COMPENSADORA	ESTRELA-TRIÂNGULO	INVERSOR DE FREQUÊNCIA	SOFT-STARTER	Legenda: <i>I_p</i> = Corrente de partida <i>I_n</i> = Corrente nominal <i>I_p/I_n</i> = Fator de rotor bloqueado
FÓRMULA	$I_p = \frac{I_p}{I_n} \times I_n$	$I_p = \frac{I_p}{I_n} \times I_n \times \frac{36}{100}$ ou $I_p = \frac{I_p}{I_n} \times I_n \times \frac{58}{100}$	$I_p = \frac{I_p}{I_n} \times I_n \times \frac{1}{3}$	$I_p = I_n \times \gamma$ Sendo que $\gamma = [1,2,2]$		

Como etapa seguinte, o grupo realizou em laboratório cada uma das chaves de partida nos motores elétricos trifásicos. Através das montagens dessas chaves, montou-se um projeto (Figura 8), o qual consistiu no dimensionamento de componentes para a realização prática de cada chave, onde se verificou a veracidade dos itens que foram estudados, sendo estes a corrente de partida, o torque inicial e também a projeção de custos de cada chave. Por fim, realizou-se uma relação sobre o custo-benefício de cada chave de partida aplicada à indústria, suas vantagens e desvantagens, quais são as mais utilizadas atualmente no meio fabril e o porquê do seu emprego.

Figura 8: Layout do projeto



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

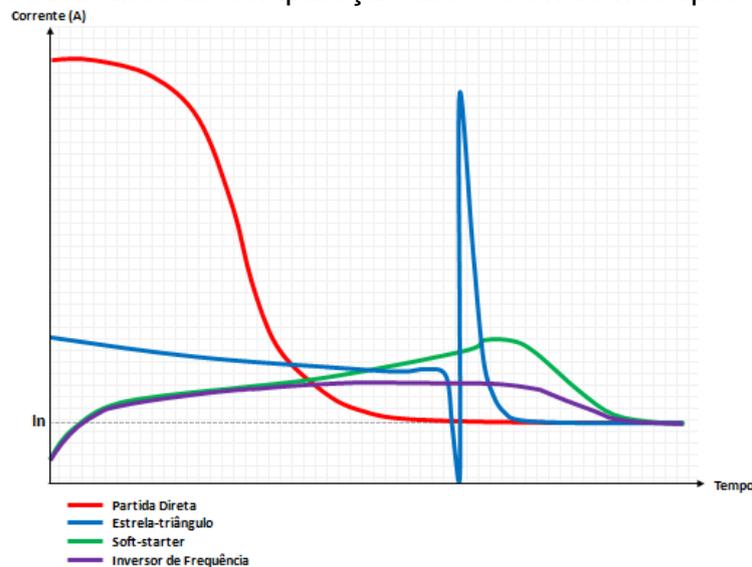
Analisando as diversas chaves de partida, não podemos afirmar qual delas é a melhor, porque cada uma apresenta vantagens em determinadas aplicações, o que varia com o processo a ser executado. No entanto, aquelas que apresentaram maior queda no consumo de energia sem causar variações nas características de trabalho do motor foram, primeiramente, a chave de partida utilizando inversor de frequência, pois pode ser aplicada em cargas com altas inércias, além de oferecer o controle da velocidade do motor e operação da rotação acima da nominal. A desvantagem apresentada por esse circuito é, principalmente, a criação de harmônicas³. Outra chave de partida é a Soft-Starter, onde há uma partida suave da carga (através da rampa de tensão controlada por meio de tiristores) e durabilidade. Seu ponto negativo está relacionado com o acionamento de cargas de altas inércias e conjugado constante, além do custo financeiro. As outras chaves apresentam um desempenho menor, como a chave compensadora, por exemplo: exige um equipamento extra, o auto transformador, além de ser aquela que faz a menor redução da corrente entre as chaves estudadas. Já a chave estrela-triângulo, apesar de reduzir a corrente a 33 % da corrente de partida, requer um motor de dupla tensão, além do fato de que deve partir sem carga, ou seja, a vazio.

Com base nos itens e nas fórmulas estudadas pela equipe chegou-se ao resultado mostrado no quadro comparativo (Tabela 2) das correntes em cada chave. O motor escolhido, didaticamente, foi um motor de 10 cv cujos dados foram retirados de um catálogo da WEG.

Tabela 2 - Quadro comparativo das correntes

Variáveis	Partida direta	Estrela-Triângulo	Compensadora	Soft-Starter	Inversor de Frequência
In	14,1A	14,1A	14,1 ^a		14,1 ^a
Ip	119,85A	39,95A	43,15A ou 69,5A		17A a 28,2 ^a

Analisando a tabela percebe-se que as chaves mais eficientes na redução da corrente de partida são o inversor e a soft-starter. A seguir é apresentado um gráfico expressando uma comparação entre o comportamento da corrente de partida das diferentes chaves citadas no trabalho (Figura 9).

Figura 9: Gráfico da comparação das correntes nos tipos de acionamentos

Fonte: Adaptado de MASCHERONI¹

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir com o término deste trabalho que o estudo das chaves de acionamento dos motores de indução trifásicos é de extrema importância, não só para a redução nos custos de dimensionamento de cabos e equipamentos, mas também no consumo de energia, favorecendo a indústria em si e a concessionária.

Considerando as informações apresentadas, é visível o alto investimento financeiro na construção dessas chaves, por serem compostas por circuitos elétricos.

Com isso, observa-se que a manutenção e acompanhamento desses equipamentos deve merecer atenção especial.

Em uma indústria, a aplicação de projetos de dimensionamento de chaves para motores elétricos de indução trifásicos pode contribuir para a economia de energia e aumentar a quantidade de motores disponíveis para uso simultâneo numa área fabril.

AGRADECIMENTOS

A equipe abre espaço para agradecer primeiramente a Deus e a todos que colaboraram de forma direta ou indireta com a realização deste trabalho. Em especial ao orientador Reginaldo Tassi pelo auxílio prestado para com a equipe até o presente momento, ao aluno William Rampinelli de Souza e ao professor Ramon Casagrande Oening, pela ajuda oferecida na realização do projeto.

REFERÊNCIAS

MASCHERONI, José M.; LICHTBLAU, Marcos; GERALDI, Denise. **Guia de aplicação de inversores de frequência**. Santa Catarina: WEG Automação, 238p.

MORENO, Hilton; et al. **Guia: O setor elétrico de Normas Brasileiras**. São Paulo: Atitude Editorial, 2011, 402p.

Kassick, E.V. **Harmônicas em sistemas industriais de baixa tensão**. Instituto de Eletrônica de Potência - UFSC, Brasil. 2000.

SIEMENS. **Comando, coordenação, partida e acionamentos de motores elétricos**. Brasil. 2003.