



Comparação entre métodos de acionamentos de motores elétricos de indução

Gabriel Hermann Negri | gabriel.negri@ifsc.edu.br
Celso Cardoso de Lima Jr. | celso.cardoso@ifsc.edu.br
Adolfo Schroeder | adolfoschroeder@hotmail.com

RESUMO

O presente projeto tem como objetivo estudar e comparar métodos de acionamento de motores elétricos de indução. Tais motores são amplamente utilizados industrialmente e o conhecimento sobre os componentes eletroeletrônicos e os métodos utilizados para seu acionamento são imprescindíveis para a operação segura e eficiente desses equipamentos em instalações industriais. Para tanto, foi proposto desenvolver um conjunto didático que permitisse a fácil conexão dos cabos e componentes, para que sejam feitas as montagens dos circuitos e a medição das grandezas de interesse, para observação e comparação entre os métodos de acionamento direto, estrela-triângulo, por chave estática de partida suave e por inversor de frequência. Testes de medição da corrente de partida utilizando os métodos citados foram realizados em laboratório, demonstrando na prática diversos conceitos estudados em disciplinas referentes a Eletricidade, como os transientes de corrente na partida do motor de indução e também efeitos do uso de chaves eletrônicas sobre a corrente do motor.

Palavras-chave: motor de indução; corrente elétrica; conjunto didático.

1 INTRODUÇÃO

Os motores elétricos de indução são equipamentos eletromecânicos, utilizados para converter energia elétrica em movimento mecânico de cargas. No Brasil, esse tipo de motor representa mais da metade do consumo total de energia elétrica nas indústrias (Fortes; Sousa; Borba, 2019).

Por poderem apresentar níveis de corrente e tensão elevados, bem como trabalharem com uma parcela de energia reativa, a partida dos motores deve seguir uma série de procedimentos de segurança, como o emprego de dispositivos contra curto-circuito e sobrecarga, bem como o uso de contatores para o correto seccionamento do circuito. Ainda, para motores com potência igual ou superior a 5cv, a norma ABNT NBR 5410 estabelece a necessidade de procedimentos de suavização de partida (ABNT, 2004).

No Laboratório de Automação do campus Caçador, existem motores e componentes, porém os circuitos de acionamento precisam ser montados em painéis do tipo industrial sobre trilhos e as conexões através de cabos e terminais aparafusados, ou seja, instalados da mesma forma que os circuitos permanentes são instalados. Desta forma, a reconfiguração do circuito para realizar os diferentes métodos de partida se torna dificultosa e provoca desgaste nos equipamentos.

Para se atingir o objetivo de elaborar e executar os experimentos de montagem, acionamento e medição, para então se realizar o estudo comparativo entre os métodos, foi desenvolvido de um conjunto didático modular para conexões rápidas. No estudo comparativo, objetivou-se verificar a corrente de partida sem carga na partida direta e depois analisar as alterações tanto na corrente quanto na resposta dinâmica do motor quando os outros métodos forem utilizados. Além disso, como produto do projeto, o conjunto didático poderá ser utilizado posteriormente, além do projeto de pesquisa, em aulas.

Dentro desse contexto, o presente projeto é de interesse para os alunos do curso técnico em Eletromecânica do campus Caçador realizar a montagem dos métodos de acionamento do motor de indução de uma forma que seja de fácil reconfiguração, para que os diferentes métodos possam ser comparados. Ainda, o conteúdo referente ao acionamento de motores também é de interesse para o curso de graduação em Engenharia de Produção, dentro das unidades curriculares da área de Eletricidade.

O motor de indução é composto, principalmente, por duas partes: o estator, que a parte fixa e o rotor, no qual encontra-se acoplado o eixo do motor que realiza o movimento rotativo em relação ao estator. Um dos tipos mais comuns de motor de indução é que possui o estator bobinado e o rotor do tipo gaiola de esquilo. Quando o rotor está parado e as bobinas do estator são conectadas diretamente à fonte de tensão, a tendência é que haja um aumento rápido da corrente elétrica. Caso o rotor fique bloqueado por algum motivo, esta corrente de partida pode ser destrutiva para o motor, provocando sobreaquecimento e curto circuito devido ao derretimento das camadas de isolamento entre os condutores. Entretanto, à medida que o rotor adquire velocidade de rotação, a interação eletromagnética entre rotor e estator faz com que a corrente de estator seja reduzida, até atingir o valor nominal. Assim, já é verificada a necessidade de proteção contra curto circuito e sobrecarga no circuito de acionamento do motor.

Para acionar motores com potência elevada, é necessário aplicar métodos de suavização de partida, para evitar que os elevados valores de corrente elétrica prejudiquem a

rede elétrica. Considerando estas questões, são amplamente empregados, entre outros, os métodos de partida suavizada: estrela-triângulo, em que o motor parte com uma tensão reduzida para receber a tensão nominal já em movimento e também as chaves estáticas de partida suave e inversores de frequência, que utilizam circuitos eletrônicos para suavização de partida.

O desenvolvimento de uma bancada para o uso didático foi demonstrado por Moraes Filho *et al.*, (2019), no qual os principais componentes e a forma de ligação dos bornes de conexão rápida no painel foram apresentados, e por Silva e Sousa (2019), que incluíram um CLP e um inversor de frequência.

Goh, Looi e Kok (2009) apresentam um estudo comparativo entre os métodos direto, estrela-triângulo e por autotransformador, considerando a análise da qualidade da energia. Para tanto, foi utilizada uma estação de trabalho de fácil acesso, instalação dos instrumentos de medição e reconfiguração do circuito.

Considerando os trabalhos citados, observa-se que o presente trabalho tem sua contribuição ao desenvolver uma bancada didática modular, ou seja, em que novos componentes podem ser facilmente adicionados ou reorganizados, e explorar os resultados comparativos com a observação das formas de onda e a realização de testes no motor. Considerando também como produto do trabalho a bancada didática que ficará disponível para uso em aulas, destaca-se o potencial da mesma para promover aulas em laboratório, fundamentais para unidades curriculares de formação técnica na área industrial.

O objetivo geral deste projeto é realizar um estudo comparativo entre diferentes métodos de acionamento de motores de indução utilizando uma bancada didática modular. Como objetivos específicos, tem-se: estudo dos métodos de acionamento para motores de indução; construção da estrutura para a bancada didática; desenho e fabricação dos módulos com componentes eletroeletrônicos; montagem de circuitos de acionamento de motores; realizar de medições de corrente e análise da dinâmica do motor para diferentes métodos de partida; comparar os dados obtidos e elaborar um relatório com os resultados.

2 METODOLOGIA

O espaço para o desenvolvimento do projeto foi, principalmente, o Laboratório de Automação, contando também com o uso do Laboratório Maker do campus Caçador.

Foi realizada uma reunião inicial para distribuição de atividades entre a equipe executora, mantendo-se um contínuo diálogo para buscar a eficiência ao longo da execução do projeto. A atividade seguinte foi realizar um levantamento e o dimensionamento dos componentes e equipamentos necessários para o desenvolvimento da bancada. Então, foi feita a aquisição dos itens necessários, como transformadores trifásicos de 380V/220V para permitir a partida estrela-triângulo.

A segunda etapa foi o desenho dos módulos para os componentes de acionamento, utilizando um software de CAD, e a fabricação dos mesmos, utilizando a máquina de corte a laser disponível no Laboratório Maker do campus Caçador. As bancadas foram montadas e iniciou-se a preparação dos experimentos.

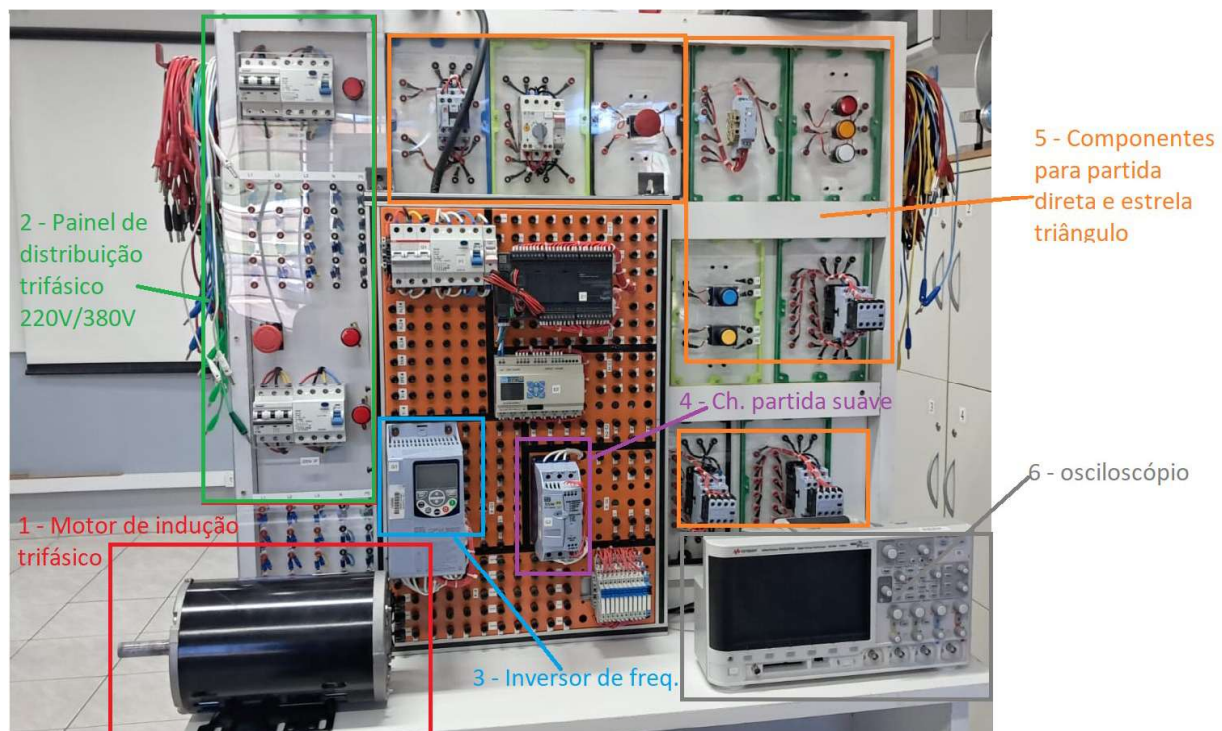
Os seguintes experimentos foram executados: partida direta, estrela-triângulo, com chave estática e com inversor de frequência, realizando as medições através de osciloscópio e resistores *shunt*, disponíveis no laboratório de Elétrica. Com os experimentos realizados, a

equipe executora analisou os dados, chegando-se a um relatório contendo os resultados dos estudos comparativos, para esta publicação.

3 RESULTADOS

A bancada desenvolvida está mostrada na Figura 1. Os componentes da bancada possuem conexões através de bornes do tipo banana, facilitando a conexão rápida através de cabos com terminais do tipo plugue banana. A estrutura foi feita em MDF, com materiais previamente disponível no laboratório. Na Figura 1, apresentam-se: um motor de indução trifásico (1), o painel de distribuição (2) com conexões ao transformador de alimentação, fornecendo alimentação trifásica de tensão a 220V e a 380V, com dispositivos para segurança. Foi acoplado à bancada de testes um dos painéis de acionamentos eletrônicos, desenvolvidos em um projeto anterior, contendo, entre outros equipamento, um inversor de frequência (3) e uma chave estática de partida suave (4). Componentes de acionamentos elétricos foram adicionados através de módulos fabricados em PLA e acrílico. Entre eles estão: contatores, botoeiras, sinaleiros, relés temporizadores, entre outros (5). Para a realização dos experimentos, foi também posicionado sobre a banca um osciloscópio (6) para a obtenção das formas de onda da corrente do motor.

Figura 1 – Bancada de testes desenvolvida

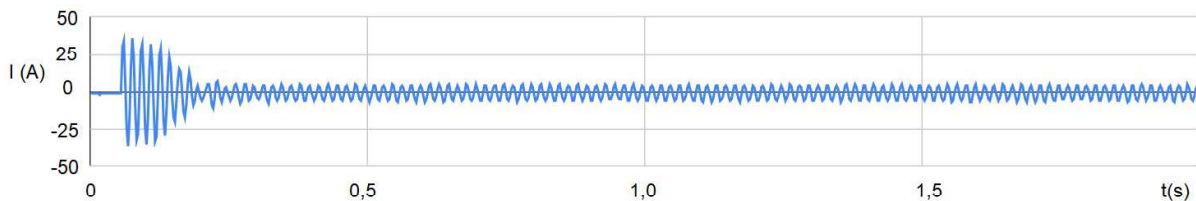


Fonte: dos autores.

Primeiramente, foi realizado o teste de partida direta, conectando o motor à rede elétrica diretamente através de um contator. A medição da corrente foi realizada através do método do resistor *shunt*, medindo-se a tensão sobre um conjunto de resistores ligado em série ao motor, resultando em uma forma de onda proporcional à corrente. O motor foi

conectado em triângulo, para permitir a comparação com o método estrela-triângulo. A Figura 2 apresenta a corrente obtida. Observa-se um pico de corrente nos primeiros instantes e depois a estabilização da corrente em um valor menor. Ressalta-se que o motor foi testado sem carga e, portanto, a corrente em regime permanente fica menor do que a corrente nominal do motor.

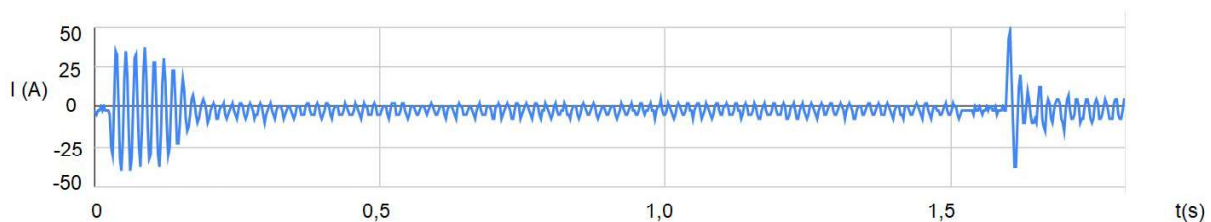
Figura 2 – corrente com partida direta



Fonte: dos autores.

O segundo teste realizado foi o da partida estrela-triângulo e seu resultado está mostrado na Figura 3. Observa-se um pico de corrente semelhante à partida direta. Tal similaridade pode ser atribuída à resistência utilizada para medição, que pode ter suavizado o pico de corrente na partida direta. Entretanto, observa-se o comportamento esperado da partida, que é a de um aumento da corrente no início, a redução da corrente para um valor abaixo do nominal, seguido de um rápido pico na transição para triângulo, finalizando com uma corrente em regime igual à da partida direta. Na dinâmica do motor, foi perceptível que, enquanto o motor estava fechado em estrela, a intensidade do som emitido pelo motor foi menor do que quando o motor passou a operar em estrela, indicativo de menor torque em estrela do que em triângulo.

Figura 3 – corrente com partida estrela triângulo



Fonte: dos autores.

O terceiro teste realizado, com resultado na Figura 4, foi o da partida com a chave de partida suave, ajustada para um tempo de partida de 1 s. Este tempo foi definido para, propositalmente, ser maior que o tempo natural de partida do motor para demonstrar a suavização da partida no torque e na corrente. Observa-se uma redução do valor máximo da corrente e o prolongamento do tempo de partida. Ainda, observa-se a distorção na forma de onda da corrente devido à atuação dos tiristores presentes na chave de partida suave.

Figura 4 – corrente com partida por chave de partida suave



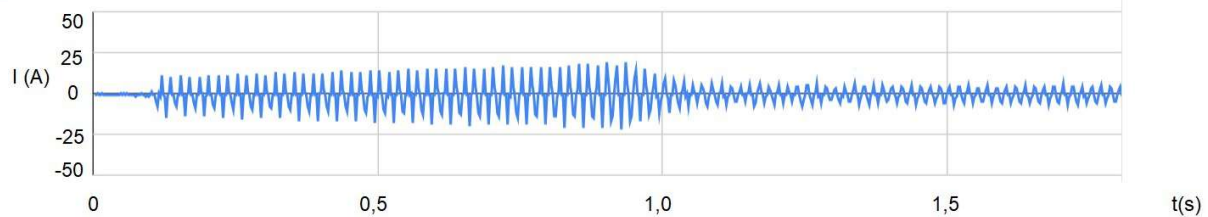
SNCT



SNCT



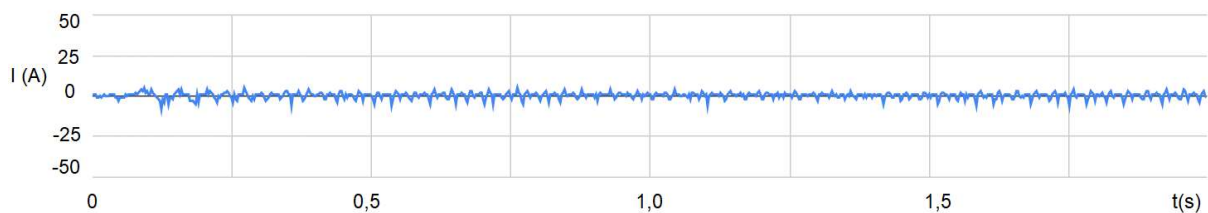
SNCT



Fonte: dos autores.

O último teste realizado, utilizando o inversor de frequência, apresenta o resultado com a menor corrente de partida entre os métodos testados. Como o inversor não somente regula a intensidade da tensão, como a frequência também, os picos de corrente são drasticamente reduzidos, considerando que o motor estava sem carga. Ainda, nota-se uma distorção acentuada na forma de onda, proveniente do chaveamento das chaves do tipo IGBT presentes no inversor. Destaca-se que a Figura 5 pode passar a impressão de uma corrente final muito menor que nos casos anteriores. Isso se deve à distorção da forma de onda e da taxa de amostragem insuficiente para capturar a dinâmica da corrente.

Figura 5 – corrente com partida por inversor de frequência



Fonte: dos autores.

4 CONCLUSÃO

Dentre os objetivos previstos para o projeto, obteve-se sucesso em obter formas de onda que representam o comportamento da partida do motor em diferentes métodos de partida. Ressalta-se que os resultados podem ser aprimorados com o uso de um método de medição de corrente que interfira menos no comportamento do circuito, como o uso de uma sonda de corrente por efeito magnético ou então uma resistência *shunt* de menor valor ôhmico, porém com um circuito eletrônico de amplificação para permitir a captura da forma de onda com boa resolução. Testes com carga não foram realizados ainda, devido ao tempo empregado para desenvolvimento da bancada, etapa que necessitou de mais tempo do que o previsto.

Os resultados obtidos estão disponíveis e já vêm sendo utilizados em aula para enriquecer o aprendizado sobre métodos de partida de motores. A bancada didática resultante deste projeto é um produto físico que é de grande potencial para o desenvolvimento de novas atividades práticas e projetos futuros.



REFERÊNCIAS

ABNT. **Norma Brasileira ABNT NBR 5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

FORTES, Marcio Zamboti; SOUSA, Leandro Braz; BORBA, Bruno Soares Moreira Cesar. Análise do impacto econômico no setor industrial com a utilização de motores de alto rendimento. **Revista Brasileira de Energia**, v. 25, n. 3, p. 8-23, jul./dez. 2019.

GOH, H.H.; LOOI, M.S.; KOK, B. C. Comparison between Direct-On-Line, Star-Delta and Auto-transformer Induction Motor Starting Method in terms of Power Quality. In: INTERNATIONAL MULTICONFERENCE OF ENGINEERS AND COMPUTER SCIENTISTS, 2009, Hong Kong. **Proceedings** [...]. Hong Kong: IAENG, 2009.

MORAES FILHO, M. J. de; SILVEIRA, A. W. F. V.; SANTOS JUNIOR, J. A.; OLIVEIRA, C. A.; GOMES, L. C. G. Projeto e implementação de bancada didática para estudos e testes em acionamentos elétricos. In: Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica, 22., 2019, Uberlândia. **Anais** [...]. Uberlândia: UFU, 2019.

SILVA, J. P.; SOUSA, M. H. S. **Bancada didática para acionamentos de motores elétricos**. TCC (Graduação) — Universidade Federal do Amapá, 2016.