

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DA CORRENTE DE PARTIDA NOS MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Jonathan Tomaz Bento Vinhais¹, Maria Angelica Macedo Moura², Viviane Araújo Arantes¹, Gabriela Costa de Oliveira³, Cleonice Barbosa Pereira², Daniela Freitas Borges³

¹Discente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil
(jonathantomaz09@gmail.com)

²Bacharel em Engenharia Elétrica. Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil

³Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil

Resumo: Os motores de indução trifásicos transformam energia elétrica em mecânica, com papel fundamental na indústria. O trabalho desenvolve um estudo sobre motores de indução trifásica, analisando o impacto da corrente de partida na rede elétrica por medições e simulações no CADe-Simu. A metodologia inclui pesquisa exploratória e descritiva aplicada, analisando partidas estrela-triângulo, soft starter e inversor de frequência, sem definir um método melhor.

Palavras-chave: Motor de Indução Trifásico; CADeSimu; Simulações; Comandos elétricos.

INTRODUÇÃO

Durante os anos de 1990, a reforma do setor elétrico, as suas privatizações e a criação da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) trouxeram mudanças profundas na indústria elétrica. Com o avanço tecnológico, a importância dos motores elétricos na automação industrial teve um aumento. Os motores de indução trifásicos se destacaram por sua eficiência, ampla aplicabilidade e baixo custo de manutenção.

Os motores de indução trifásicos são dispositivos que transformam energia elétrica em energia mecânica, e exercem um papel fundamental na indústria, sendo essenciais para que as operações possam ser realizadas de forma eficiente.

Embora os motores de indução sejam amplamente reconhecidos por sua eficiência inata, frequentemente enfrentam obstáculos relacionados ao dimensionamento inadequado, falta de manutenção, rebobinagem excessiva e ausência de sistemas de acionamento eletrônico, além de serem susceptíveis a desgastes naturais, reduzindo significativamente sua vida útil. Mamede Filho (2007) afirma que um sistema de partida eficiente é uma das regras para se aumentar a vida útil de um motor, diminuir os custos e facilidade na manutenção das tarefas diárias.

A partida do motor elétrico trifásico é a forma pela qual o motor é alimentado de forma direta ou indireta para que ele inicie seu funcionamento. O sistema de partida é composto pelo circuito de potência que

representa a conexão dos componentes e a fiação, e o circuito de comando, que identifica o circuito de manobra e intertravamento elétrico dos componentes (Engellogic, 2024).

Diversas formas de acionamento, como soft starter, partida estrela-triângulo, CLP e inversores de frequência, surgiram para atender às demandas industriais, oferecendo soluções para diferentes necessidades (Moura Júnior, p. 15, 2021).

Enquanto a soft starter garante uma partida suave e evita picos de corrente, a partida estrela-triângulo reduz o pico de corrente inicial, tornando a vida útil do motor mais longa. Já os CLPs proporcionam controle e eficiência energética, porém, possuem um custo maior e são mais complexos. Os inversores de frequência oferecem precisão no controle da velocidade, mas em contrapartida, nas suas configurações e instalações, por serem mais complicadas, acabam necessitando de uma manutenção mais cautelosa.

Este estudo tem como objetivo destacar a relevância das técnicas apropriadas de acionamento em sistemas de motores, bem como analisar o impacto da corrente de partida na rede elétrica. Ele enfatiza a importância desses motores no cenário industrial atual, além de examinar suas características construtivas e perdas associadas. Será realizado um estudo sobre a corrente inicial em motores de indução trifásicos, abrangendo diferentes métodos de partida, como estrela-triângulo, soft starter e inversores de frequência.



O objetivo geral do trabalho é desenvolver um estudo sobre o uso de motores elétricos de indução trifásica, analisando o impacto da corrente de partida na rede elétrica, por meio de medições e simulações no software CAdE-Simu.

PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

Esse tipo de partida é utilizada em partidas de máquinas com conjugado baixo ou em partidas a vazio (Franchi, 2008; Rede Bim, 2024). O motor deve possuir 6 terminais, e a corrente e o conjugado de partida ficam reduzidos a 33%, em relação a partida direta (Solution Automation, 2021). O motor é ligado em estrela até atingir valor próximo da rotação nominal, e então a ligação passa para a configuração triângulo (Rede Bim, 2024). Geralmente essas partidas são realizadas em motores com capacidade de operação em tensões de 220/380V ou 380/660V (Engellogic, 2024).

“Neste tipo de partida a alimentação do motor terá uma redução de tensão nas bobinas durante a sua partida, assim, o motor partirá em início em estrela, com uma tensão de 58% da nominal, e em seguida, após um determinado tempo de ligação é convertido pelo os contadores para triângulo, assim, assumirá a sua tensão nominal (Franchi, 2008).”

A partida estrela-triângulo apresenta algumas vantagens como: a redução da sobrecarga no painel e nos componentes da instalação, em decorrência da redução da corrente de pico da partida; não possui quantidade máxima de manobras; baixo custo de montagem quando comparado a outros tipos de partida; ocupa um espaço reduzido nos painéis e seu sistema de comando é relativamente simples (Engellogic, 2024).

Algumas desvantagens são: o motor deve atingir mais de 80% da velocidade nominal para que a comutação da ligação estrela passe para a ligação triângulo; a tensão do motor em triângulo deve ser igual à tensão da rede; a utilização apenas em motores com seis pontas de conexão e a redução do torque aplicado à carga no momento de partida, o que pode ser prejudicial em máquinas que necessitem de alto conjugado de partida (Engellogic, 2024).

PARTIDA COM SOFT STARTER

Rede Bim (2024) sobre o soft starter:

“É um dispositivo eletrônico composto de pontes tiristorizadas (SCR na configuração antiparalelo) acionadas por uma placa eletrônica a fim de controlar a tensão de partida de motores elétricos de indução trifásicos. Seu uso é comum em bombas centrífugas, ventiladores e motores de elevada potência cuja

aplicação não exija a variação de velocidade. O soft starter controla a tensão sobre o motor através do circuito de potência constituído por seus SCRs variando o ângulo de disparo dos mesmos e, consequentemente, variando a tensão eficaz aplicada ao motor. Assim, pode-se controlar a corrente de partida do motor, proporcionando uma “partida suave” de forma a não provocar quedas de tensão elétrica bruscas na rede de alimentação, como ocorre em partidas diretas.”

Essas partidas são destinadas ao controle de motores de corrente alternada ou contínua, assegurando a aceleração e desaceleração de forma progressiva por meio de rampa (Franchi, 2008). Consiste no fornecimento ao motor de níveis de tensão que variam até o valor da tensão nominal, em um intervalo de tempo determinado, promovendo uma variação suave de corrente e tensão durante a partida, e um controle contínuo e preciso do conjugado do motor (Engellogic, 2024).

“[...] inicia o motor gradativamente, de forma suave, em um período pré-ajustado, além de proteger o mesmo em caso de alteração indesejada ou problema na corrente em cada fase. Sem desgaste, picos de corrente e sem aumento de temperatura, reduz a necessidade de manutenção e aumenta a vida útil dos equipamentos (Solution Automation, 2021).”

As partidas eletrônicas soft starter são muito utilizadas atualmente em indústrias pela segurança, mas tem um custo elevado. Nesses tipos de partida é possível a redução de cabos em cerca de 95%, uma vez que não há necessidade de contadores e temporizadores para fazer comutações de ligações de diferentes tensões como nos outros tipos de partida (Dayrell et al., 2022). Essa partida pode ser utilizada em motores com potência de até 500 CV (370 kW) (Engellogic, 2024).

Algumas das vantagens de utilização da partida soft starter são: montagem compacta; sistema de proteção contra sobrecarga, falta de fase e curto circuito; controle preciso da rampa de aceleração e desaceleração; facilidade de ajuste e operação e aumento da vida útil do sistema mecânico. Uma única desvantagem está associada ao aquecimento, em regimes de partidas e paradas com pequenos intervalos de tempo, o que pode provocar falhar, contudo, é possível amenizar essa desvantagem com o resfriamento do circuito eletrônico ou o dimensionamento do equipamento para uma potência maior do que a da carga (Engellogic, 2024).

PARTIDA COM INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Os inversores são equipamentos que promovem a partida do motor controlando a velocidade, além de outras diversas funções (Solution Automation, 2021).



Esses equipamentos garantem a variação da tensão de forma automática através dos disparos dos transistores pelos sistemas no microprocessador, ocorrendo assim a alteração da frequência de acordo com o que foi programado (Franchi, 2008).

Segundo a Weg (2016) os inversores transformam a tensão da rede, que tem frequência e amplitude constantes, em uma tensão de frequência e amplitude variável.

“Um método eficiente de controle de velocidade em motores de indução trifásico sem que haja muitas perdas é com a variação de frequência da fonte de alimentação, utilizando inversores de frequência, assim o motor pode ser controlado de modo que há um ajuste contínuo de velocidade e conjugado com relação à carga mecânica (Franchi, 2008).”

Uma das desvantagens dessa partida é o custo elevado, no entanto a redução de desgastes e o aumento da produção traz um retorno do investimento em um curto prazo, além da economia de consumo em decorrência dos picos de energia na partida dos motores (Solution Automation, 2021).

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada foi a pesquisa exploratória para conhecimento sobre os motores de indução trifásicos e sobre as partidas, realizada em livros, revistas, artigos e outros.

Para a conclusão deste artigo, será feita uma pesquisa descritiva aplicada, onde as variáveis serão manipuladas a fim de comparar o efeito de uma sobre a outra. Todo o processo será dividido em quatro partes, para obter um melhor desenvolvimento: levantamento dos dados gerais, como métodos de partidas dispositivos de manobra e proteção dos motores de indução trifásicos; realização de simulações dos métodos de partidas usando o software CADe-Simu; simulação das partidas no laboratório e estudo e comparação dos métodos de partida apresentados.

CADe-Simu

O CADe-Simu é um software de aplicação profissional voltado para a área de comandos elétricos, onde é possível realizar a construção de diagramas de comando de forma interativa (Sala da Elétrica, 2017).

Lima Filho et al. (2017) em relação ao software CADe-Simu:

“Dentre os programas digitais, um dos mais conhecidos programas utilizados na disciplina de acionamentos elétricos e comandos elétricos é o programa CADeSIMU, o qual permite a simulação de esquemas elétricos de comando e força para

acionamentos de motores elétricos, um software livre e uma poderosa ferramenta de simulação.”

As simbologias mais utilizadas são encontradas nas bibliotecas do programa, permitindo a criação de diversos tipos de circuito em corrente contínua e alternada (Sala da Elétrica, 2017). Nas versões mais recentes é possível a construção de comandos elétricos, circuitos pneumáticos e programação com CLP, utilizando-se da linguagem LADDER, podendo realizar partidas diretas de motores trifásicos com auxílio de Soft-Starter e inversores de frequência (Maciel, 2021).

Dayrell et al. (2022):

“Segundo Lima Filho (2017) o programa apresenta uma forma de simulação atraente, onde é possível desenhar esquemas elétricos. Em seu modo de simulação é possível observar o funcionamento de cada componente quando submetido à passagem de corrente elétrica, facilitando tanto a aprendizagem quanto o funcionamento do projeto.”

O quadro da Figura 1 apresenta os principais símbolos de comandos elétricos.

Símbolo	Componente	Exemplos
F	Dispositivos de proteção	Fusíveis, para-raios, disparadores, relés
H	Dispositivos de sinalização	Indicadores acústicos e ópticos
K	Contadores	Contadores de potência e auxiliares
M	Motores	
Q	Dispositivos de manobra para circuitos de potência	Disjuntores, seccionadores, interruptores
S	Dispositivos de manobra, seletos auxiliares	Dispositivos e botões de comando e de posição (fim-de-curso) e seletos
T	Transformadores	Transformadores de distribuição, de potência, de potencial, de corrente, auto transformadores

Figura 1. Símbolos literais segundo NBR 5280.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o estudo dos métodos de partida dos motores de indução trifásicos foram analisadas as partidas estrela-triângulo, partidas com soft starter e as partidas com inversor de frequência. A partida direta, apesar de ser muito conhecida e utilizada, não foi estudada no presente trabalho, uma vez que uma de suas grandes desvantagens são os picos de energia na rede, elevando o consumo de energia e podendo provocar problemas na rede e sobrecarga no sistema.

MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

As simulações utilizaram um motor de indução trifásico com as características da placa de identificação apresentadas abaixo, e foram realizadas no laboratório de acionamento de máquinas da Universidade do Estado de Minas Gerais.

Potência do motor: 3 CV

Frequência: 60 Hz

Velocidade de operação: 1710 rpm

Configuração em delta: 220 V e 8,60 A

Configuração em estrela: 380 V e 4,98 A

Categoria do motor: N

Fator de serviço - F.S: 1,15

Razão I_p/I_n : 6,8

Rendimento do motor: 79,3%

Fator de potência: 0,85

PARTIDA ESTRELA-TRIÂNGULO

A partida estrela-triângulo utiliza os seguintes dispositivos: dispositivos de proteção (fusíveis, disjuntor para motor ou um relé de sobrecarga); três contatores tripolares (para chaveamento da tensão, manobra e fechamento das conexões estrela triângulo) e botões para controle e manobra do circuito.

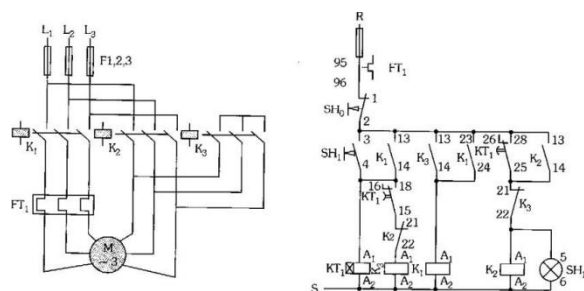


Figura 2. Esquema de ligação de uma partida estrela-triângulo.

No diagrama é possível observar que os contatores estão ligados de forma a possibilitar a ligação em estrela 380V, e triângulo 220V, primeiramente entram em operação na partida os contatores k1 e k3, sendo: o contator k1 alimenta os conectores 1, 2 e 3, o contator k3 conecta os terminais 4, 5 e 6. Nessa situação obtemos a ligação em estrela, ou seja, 380V.

Após o tempo de partida, o contator K3 é desligado e entra em operação o contator K2, alimentando os terminais 4, 5 e 6, fazendo, desse modo, a transição da ligação estrela para a triângulo. Os contatores k2 e k3 estão intertravados eletricamente, enquanto um estiver ligado, o outro deve obrigatoriamente estar desligado. Isso é necessário, pois, em uma eventual falha no sistema, evita que um curto-circuito seja gerado no circuito de potência.

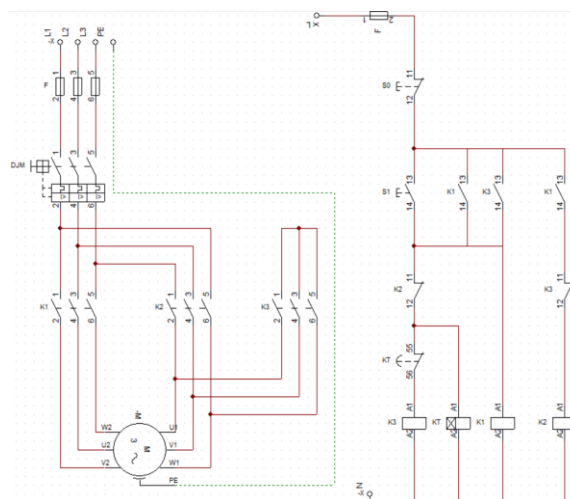


Figura 3. Diagrama de Força e Comando de uma partida estrela-triângulo no CADe-Simu.

O motor nesse tipo de partida parte em estrela, proporcionando uma menor tensão nas bobinas, maior impedância, menor corrente de partida, que ocasiona uma perda no torque de partida, realizando assim uma partida mais suave e reduzindo a corrente de partida a um terço do que seria na partida direta.

PARTIDA COM SOFT STARTER

Para o dimensionamento deste tipo de partida é necessário além dos parâmetros técnicos do motor, os parâmetros técnicos das cargas que serão acionadas.

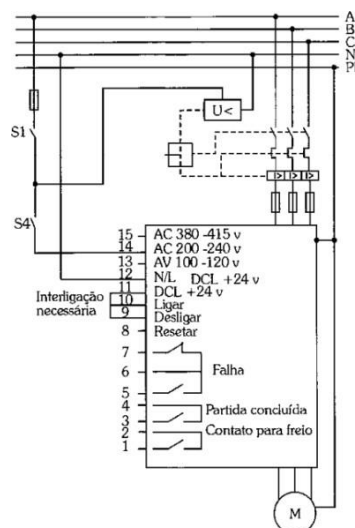


Figura 4. Esquema de ligação de uma partida soft starter.

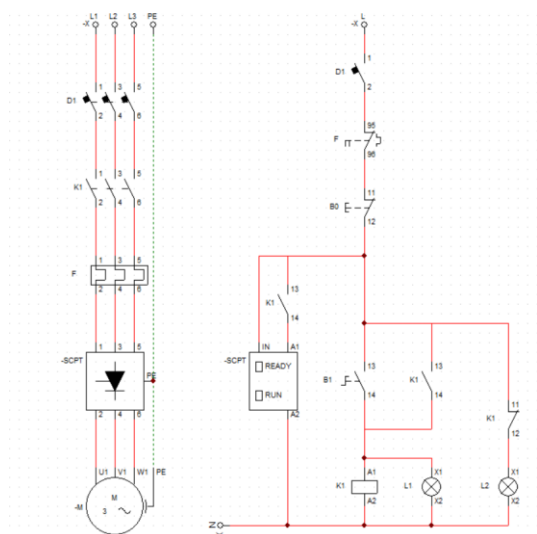


Figura 5. Diagrama de Força e Comando de uma partida soft starter no CADe-Simu.

PARTIDA COM INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Ao aumentar a frequência nesse tipo de partida, aumenta-se a velocidade do motor. O inversor aplica de forma gradual valores de corrente no motor, permitindo que ele saia do momento de inércia de forma suave até alcançar a rotação nominal.

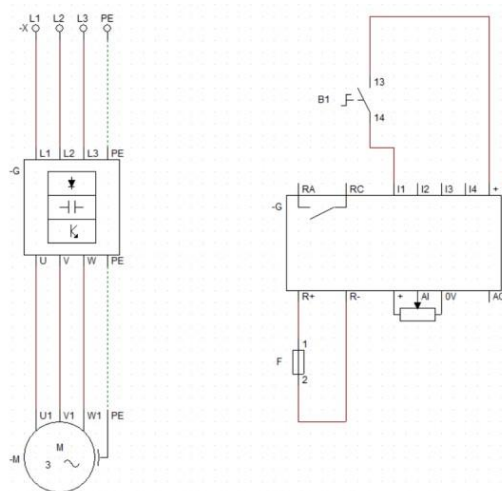


Figura 6. Diagrama de Força e Comando de uma partida com inversor de frequência no CADe-Simu.

PARTIDAS DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO EM LABORATÓRIO

A primeira partida simulada em laboratório foi a estrela-triângulo, conforme pode ser observado na Figura 7.



Figura 7. Motor no fechamento estrela-triângulo.

O motor partiu inicialmente em estrela e verificou-se uma corrente de 0,7 A, quando o fechamento do motor passa para delta a corrente aumenta até atingir um valor próximo a sua corrente nominal, verificando-se uma corrente de 4,3 A. A corrente nominal do motor na configuração delta é de 8,60 A, assim, observa-se que o motor não atinge a corrente nominal por estar operando sem carga, ou seja, a vazio. Na Figura 8 observa-se os valores de corrente encontrados no fechamento em estrela e delta.

a – corrente em estrela



b – corrente em delta



Figura 8. Valores da corrente na partida estrela-triângulo.

A segunda partida simulada em laboratório foi a soft starter, conforme pode ser observado na Figura 9.

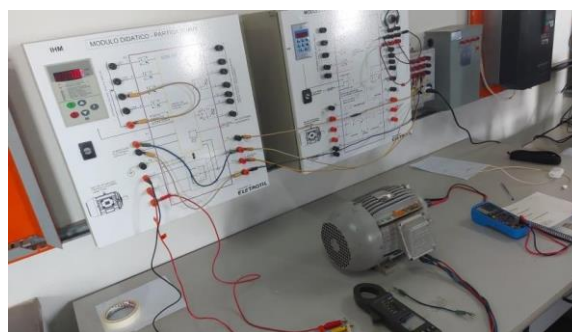


Figura 9. Motor no fechamento estrela-triângulo.

O motor parte em rampa e são inseridos a corrente nominal de 7 A e os demais parâmetros desejados, e

é possível observar a corrente aumentando até o valor de 6,3 A, valor abaixo do nominal uma vez que está partindo sem carga. Na Figura 10 é possível observar o valor da corrente encontrada.



Figura 10. Corrente encontrada na partida soft starter.

Nesse tipo de partida é possível configurar a rampa de partida e também a rampa de desaceleração do motor, evitando paradas bruscas, de acordo com as necessidades.

COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE PARTIDA

Em relação a partida estrela-triângulo uma das suas principais vantagens estão na redução de 1/3 do conjugado de partida em relação a partida direta, o que reduz a sobrecarga dos componentes, além do baixo custo de montagem e de seu sistema de comando ser relativamente simples se comparado com outros métodos de partida. As principais desvantagens estão relacionadas com o fato de que o motor deve possuir seis pontas de conexão e que a conexão em triângulo do motor deve ser igual à tensão da rede.

As partidas eletrônicas soft starter são muito utilizadas por sua segurança, pela redução de cabos, controle preciso da rampa de aceleração e desaceleração e pela facilidade de ajuste e operação. Uma de suas principais desvantagens é o custo elevado e o aquecimento, em regimes de partidas e paradas com pequenos intervalos de tempo.

Por questões de ausência de componentes no laboratório de máquinas, não foi possível realizar o acionamento através da partida com inversor de frequência, sendo uma ideia para trabalhos futuros.

Uma das desvantagens dessa partida é o seu elevado custo, no entanto o aumento da produção e a redução dos desgastes traz um retorno a curto prazo.

Levando em consideração os métodos de partida apresentados, suas principais características, vantagens, e conhecendo as características da carga é possível analisar o método mais indicado para cada aplicação. Na Figura 11 observa-se o comportamento

da corrente elétrica entre tipos de partida: direta, estrela triângulo e soft starter.

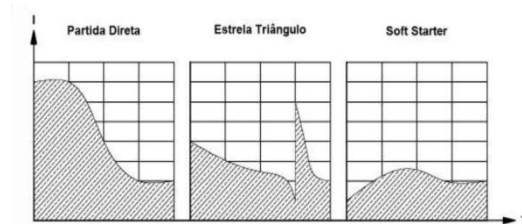


Figura 11. Comparativo entre os métodos de partida para motores de indução.

Na Figura 11 é possível observar o comportamento da corrente de partida dos motores na partida direta, estrela-triângulo e soft starter. A corrente na partida direta é muito alta, podendo atingir de 5 a 7 vezes a corrente nominal do motor, isso ocorre porque o motor opera a plena tensão assim que parte, e a baixa impedância do motor no início faz com que a corrente inicial seja tão alta. Na partida estrela-triângulo observa-se uma redução de cerca de 1/3 da corrente em relação a partida direta.

Na partida soft starter observa-se uma redução significativa em comparação com a partida direta, uma vez que a corrente é limitada a cerca de 2 a 3 vezes a corrente nominal do motor.

A partida com inversor de frequência não é apresentada na Figura 11, no entanto sua corrente é muito baixa em comparação com os outros tipos de partida, normalmente abaixo de 1,5 vezes a corrente nominal do motor, o que ocorre porque o inversor de frequência controla de forma precisa a aceleração do motor, evitando assim picos elevados de corrente.

CONCLUSÃO

Os motores de indução trifásicos são muito utilizados em ambientes industriais e os sistemas de partida eficientes são fundamentais para aumentar a vida útil dos motores e reduzir custos.

Não é possível afirmar qual método de partida é melhor para os motores de indução trifásicos, uma vez que cada partida tem suas particularidades, desvantagens e vantagens, e deve ser levado em consideração qual a aplicação desejada e o quanto se deseja investir.

A escolha do método de partida varia de acordo com a potência nominal do motor, as condições das instalações, viabilidade econômica, as características das cargas que serão acionadas, os parâmetros técnicos do motor, confiabilidade do serviço, distância da fonte de alimentação, entre outros fatores.

Sendo assim, para definir qual melhor tipo de partida é importante ter conhecimento sobre a carga e sobre as condições de operação do motor. As simulações



em software e em laboratório servem para verificar o funcionamento de cada um dos tipos de partida e analisar o comportamento da corrente em cada um deles.

Conhecendo a carga e as condições de operação do motor é possível realizar simulações em laboratório para estudar o comportamento dos tipos de partida antes de implantar no ambiente industrial, o que garante uma maior eficiência e redução de custos futuros.

REFERÊNCIAS

Dayrell, Gustavo Paulino et al. Capítulo 01 Cadesimu – 4.0 – Sequência Didática do Cadesimu. Engenharias em foco [livro eletrônico]: vol. 04 /organização Aurea Messias de Jesus, Daniela Freitas Borges, Ana Paula Santos da Silva. 1. ed. p. 1-18. São José dos Pinhais, PR: Brazilian Journals, 2022. DOI:10.35587/brj.ed.0001867

Engellogic. Motor Elétrico de Indução. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.engellogic.com.br/download/motor-eletrico-inducao.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2024.

Franchi, C. M. Acionamentos Elétricos. São Paulo: Érica, 2008.

Henrique, Hélio. Comandos Elétricos: Simbologia, Associação de Contatos e Conceitos Básicos. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-e-acionamentos-eletricos-ii/conceitos-de-comandos-eletricos>. Acesso em: 18 jul. 2024.

Lima Filho, Eraldo Queiroz; et al. Análise de Aprendizagem com Emprego de Simuladores Virtuais na Disciplina de Acionamentos Elétricos do Curso de Engenharia Mecatrônica do UNIT-A. Cadernos de graduação Ciências exatas e tecnológicas, Maceió, v. 4, n. 1, p. 13-22, Maio 2017.

Maciel, G. Como usar o CADe SIMU – Passo-a-Passo Completo. Disponível em: <https://ligandoosfios.com.br/como-usar-o-cade-simu-passo-a-passo-completo/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

Mamede Filho, João. Instalações Elétricas Industriais. 7. ed. [S. l.]: LTC, 2007. 948 p. ISBN 9788521615200.

Moura Júnior, Maurílio de Paula. Análise de qualidade de energia em partida de motores elétricos de indução trifásicos: comparação dos métodos de partidas. 2021.

Rede Bim. Capítulo I Introdução aos motores elétricos de indução trifásicos. Disponível em:

<https://www.redebim.dphdm.mar.mil.br/vinculos/000005/00000540.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2024

Sala da Elétrica. Como usar CADe SIMU. 2017. Disponível em: <https://www.saladaelettrica.com.br/como-usar-cade-simu/>. Acesso em: 5 ago. 2024.

Solution Automation. Tipos de Partida para Motores Trifásicos. 2021. Disponível em: <https://solutionautomation.com.br/mkt/inversor.html>. Acesso em: 15 jun. 2024.

Weg. Acionamento, Comando e Controle de Máquinas Elétricas. 199 f. Rio de Janeiro-RJ, Brasil. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-e-acionamentos-eletricos-ii/apostila-basica>. Acesso em: 5 ago. 2024.