

KIT DIDATICO PARA ESTUDO EM PARTIDA DE MOTORES COM AUXÍLIO DE SOFT-START

Fernando Henrique de Oliveira Nascimento
Graduando em Tecnologia em Automação Industrial pela Fatec Bauru
email Fatec: fernando.nascimento16@fatec.sp.gov.br

Lucas Braga da Conceição
Graduando em Tecnologia em Automação Industrial pela Fatec Bauru
email Fatec: lucas.conceicao@fatec.sp.gov.br

Maicon Richard Gomes Ferreira
Graduando em Tecnologia em Automação Industrial pela Fatec Bauru
email Fatec: maicon.ferreira@fatec.sp.gov.br

Orientador: José Rodrigo de Oliveira
Mestre em Engenharia Elétrica - Automação pela Universidade Estadual Paulista - Unesp Bauru, graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de Marília (2004)
email Fatec: jose.oliveira45@fatec.sp.gov.br

RESUMO

Nos processos modernos de partida do motor de indução, são usados *Soft - Starters* que, através de comando microprocessado, controlam tiristores que ajustam a tensão enviada ao estator do motor. Desta forma, consegue-se, de um lado, aliviar o acionamento dos altos conjugados de aceleração do motor de indução e, de outro, proteger a rede elétrica das correntes de partida elevadas. O objetivo deste projeto é o desenvolvimento de um kit didático para estudo de acionamento de motores com o emprego de *Soft-Starter*. Consistindo em um kit didático de baixo custo, busca-se analisar o comportamento dos motores por meio de comandos elétricos e eletrônicos. Este kit poderá ser integrado às práticas das disciplinas de Eletricidade Aplicada à Automação, Automação II, Eletrônica Analógica II, Máquinas Elétricas I, Eletrônica de Potência, Automação III, Máquinas Elétricas II e Instalações Elétricas visando aprimorar o aprendizado dos alunos do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial, promovendo o aumento da efetividade do ensino-aprendizagem nesses campos específicos. Neste trabalho serão considerados componentes e equipamentos para construção de um protótipo que ficará disponível no laboratório de eficiência energética.

Palavras-chave: Partida suave; *Soft Starter*; controle de tensão; kit didático; motores elétricos.

1 INTRODUÇÃO

Soft-Starter é uma chave de partida estática, destinada à aceleração, desaceleração e proteção de motores de indução trifásicos. O controle da tensão aplicada ao motor, mediante o ajuste do ângulo de disparo dos tiristores, permite obter partidas e paradas suaves.

Com o ajuste adequado nas variáveis, o torque produzido é ajustado à necessidade da carga, garantindo, desta forma, que a corrente solicitada seja a mínima necessária para a partida.

Segundo Brito (2007), Um motor a vazio apresenta uma corrente de partida bem inferior à de um motor sendo acionado à plena carga. De maneira geral, os motores trifásicos do tipo gaiola de esquilo, ao serem conectados diretamente à rede elétrica, absorvem uma corrente de partida da ordem de 4 a 10 vezes a corrente nominal.

Além de ser capaz de oferecer mais proteção ao motor, o *soft-start* consegue garantir uma boa economia de energia, minimizar os picos de corrente e ajudam a evitar custos associados a sobretensões elétricas, otimizando a eficiência energética global, partida eletrônica, corrente de partida mais reduzida, redução dos níveis de

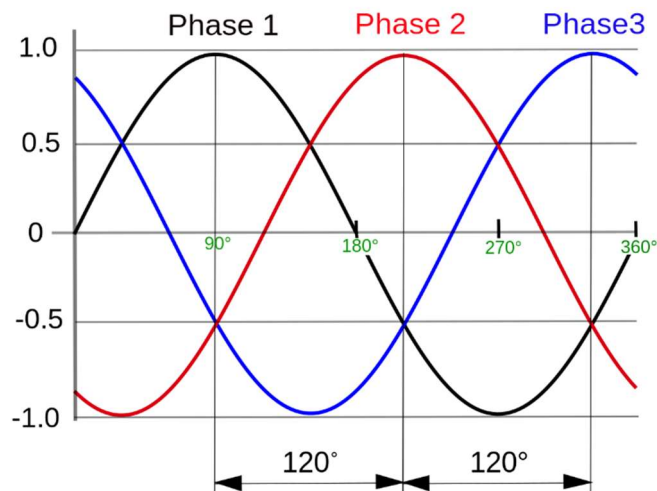
O modelo de bancada que agora fará parte do processo de aprendizagem do curso de Automação Industrial da instituição Fatec Bauru contará com o Módulo Chave de Partida Estática - *Soft-Starter* da WEG. Através da bancada os estudantes terão a possibilidade de conhecer as características de partida, funcionamento, parada e proteção que a chave de partida estática (SSW05) oferece, além da simulação de falhas, tudo isso de forma prática e didática com toda a modernidade oferecida pela solução, trazendo o aluno para mais próximo da realidade da industrial.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

O motor elétrico possui uma importância extrema para o funcionamento de quase todos os equipamentos na indústria, ele transforma energia elétrica em energia mecânica que transfere força, sentido e movimento ao eixo central, ele também proporciona grande segurança ao meio ambiente industrial, e vem se destacando por sua durabilidade e seu potencial, demonstrando uma ótima performance com um consumo de energia reduzido. Além disso, também proporciona uma notável economia em energia e em processos de reposição e manutenção.

Para transformar a energia elétrica em mecânica, portanto em movimento, o motor elétrico possui três conjuntos de bobina com 120 graus de defasagem, cada conjunto é alimentado por uma fase de uma rede de alimentação trifásica. Quando a corrente é conduzida nas bobinas do estator, é produzido o efeito de campo magnético girante, dentro de todo o núcleo do estator e este campo magnético variável vai induzir no rotor uma força eletromotriz conforme figura 1.

Figura 1 - Sistema trifásico corrente alternada



Fonte: Electrical elibrary (2017)

2.2 Comportamento dos motores na rede elétrica

Comportamento dos motores trifásicos na rede elétrica durante a partida ocorre oscilações de tensão devido ao pico de corrente, é fundamental diagnosticar por dois motivos. O primeiro relaciona-se ao interesse da concessionária local, que normalmente limita a queda de tensão no ponto de entrega do sistema distribuidor (geralmente entre 3% e 5%) (Mamede Filho, 2018). O segundo ponto é de interesse da própria indústria, ou seja, relacionado à funcionalidade dos outros equipamentos que estão conectados à rede, sobretudo os eletrônicos, que são mais sensíveis às oscilações de tensão (Maia, 2008). Além disso, as consequências dos afundamentos de tensão afetam a própria máquina assíncrona, levando a perda de velocidade durante o afundamento e picos de corrente e conjugado que aparecem tanto na queda de tensão quanto no instante de reestabelecimento, ou seja, após o tempo de partida, que é o instante em que a máquina entra em regime de operação normal (Llerena, 2006).

Em relação à partida dos motores, vale ressaltar que tanto a demanda quanto o consumo de energia elétrica não são afetados de forma significativa, uma vez que a demanda vista pelo medidor é integralizada no tempo de 15 minutos e o tempo de partida dos motores é na ordem de alguns segundos a minutos quando se trata de motores de grande porte (Mamede Filho, 2010). No entanto, quando se trata de afundamentos de tensão, a questão econômica torna-se relevante, não pelo fato do consumo ou demanda, mas com relação às consequências técnicas de operação tanto do motor quanto dos outros equipamentos conectados à rede. As indústrias, por sua vez, têm investido cada vez mais em equipamentos que garantam máxima produtividade.

Desta forma, uma interrupção passa a ter impactos econômicos consideráveis (Dugan, et al., 2002). Em determinadas situações, a simples mudança no método de partida como *soft-starter* é suficiente para a compensação, porém em outros casos pode ser necessário à mudança de mais elementos do sistema. Em termos econômicos e de segurança é mais recomendado projetar um equipamento com partidas suaves para evitar as tais complicações.

2.2 Métodos de partida

Durante a partida, os motores elétricos solicitam valores altíssimos de corrente, em torno de 6 a 10 vezes o valor de corrente nominal (Mamede Filho, 2007). Por este fator, é de extrema importância selecionar o método de partida mais adequado para o acionamento desses componentes, sempre no objetivo de aumentar vida útil, diminuição de custos operacionais e confiabilidade na realização das tarefas do processo.

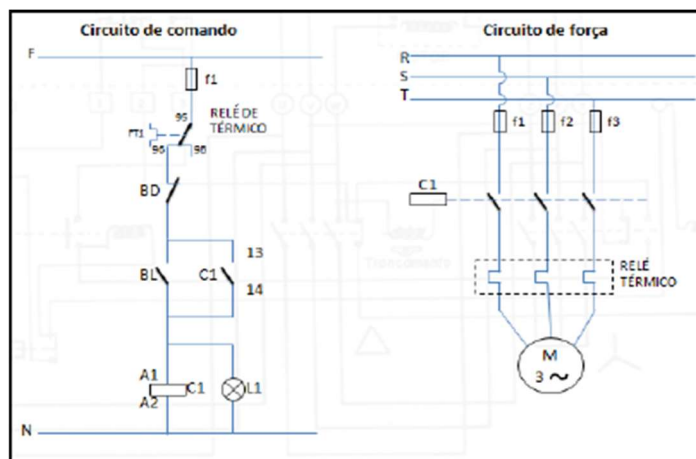
Serão destacados a seguir os principais métodos de partida de motores elétricos e suas características:

2.2.1 Partida direta

Conhecido como o método mais simples para partida de motores, pois não necessita da utilização de dispositivos complexos, apenas contatores, disjuntores ou chaves interruptoras. Três fatores devem ser considerados para efetuar a ligação de motores através do método de partida direta, que são: relação entre corrente de partida do motor e a corrente nominal da rede, de modo que a primeira seja irrelevante em relação a segunda; baixa potência do motor para diminuição da corrente de acionamento; partida sem carga para atenuação da corrente sobre a rede de alimentação (Mamede Filho, 2007).

A figura 2 demonstra um exemplo de circuito em partida direta.

Figura 2 - Diagrama de circuito de partida direta



Fonte: Estudos de acionamentos das chaves de partidas elétricas e eletrônicas para motores elétricos (2012)

2.2.2 Partida Chave Estrela-triângulo

Aplicada apenas em motores que trabalham com duas opções de tensão (Exemplo: 220V/380V), sendo a menor delas igual a tensão rede, a chave estrela-triângulo é um método de partida em que se alternam dois modos de ligações em sequência com o objetivo de suavizar o consumo de energia durante o instante inicial.

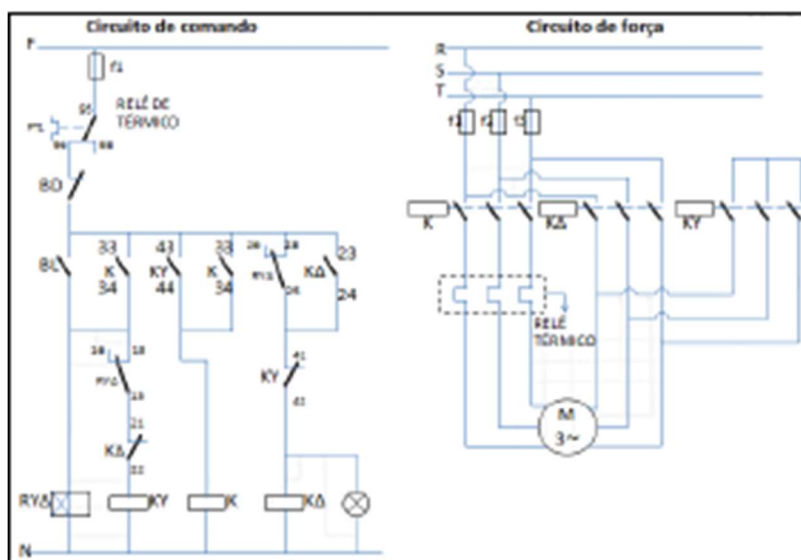
Motores que empregam este método, iniciam seus movimentos com ligação do tipo estrela e após alguns segundos, quando o motor está próximo da velocidade de

regime de trabalho, a conexão é desfeita e se altera para ligação triângulo. Essa troca de ligação, faz com que ocorra um aumento da corrente elétrica, podendo anular suas vantagens caso essa troca aconteça no momento errado.

Durante a partida em estrela, o conjugado e a corrente de partida ficam reduzidos a 1/3 de seus valores nominais. Neste caso, um motor só pode partir em através da chave estrela-triângulo quando o seu conjugado, na ligação estrela, for superior ao conjugado da carga do eixo. Devido ao baixo conjugado de partida e relativamente constante a que fica submetido o motor, as chaves estrela-triângulo são mais adequadamente empregadas em motores cuja partida se dá em vazio (Mamede Filho, 2007).

A figura 3 demonstra um esquema de ligação para partida em chave estrela-triângulo.

Figura 3 - Digrama de circuito chave estrela-triângulo



Fonte: Estudos de acionamentos das chaves de partidas elétricas e eletrônicas para motores elétricos (2012)

2.3 Soft Starter

Com o avanço industrial e o ritmo acelerado da produção julguem a ideia da otimização para processo, assim nasce o método de aplicação da chave *soft-start*. Sistema elétrico de partida suave assim popularmente conhecida (*soft-start* em inglês), é um dispositivo eletrônico usado para reduzir o estresse das partidas dos motores (UNESP, Ilha Solteira 2003).

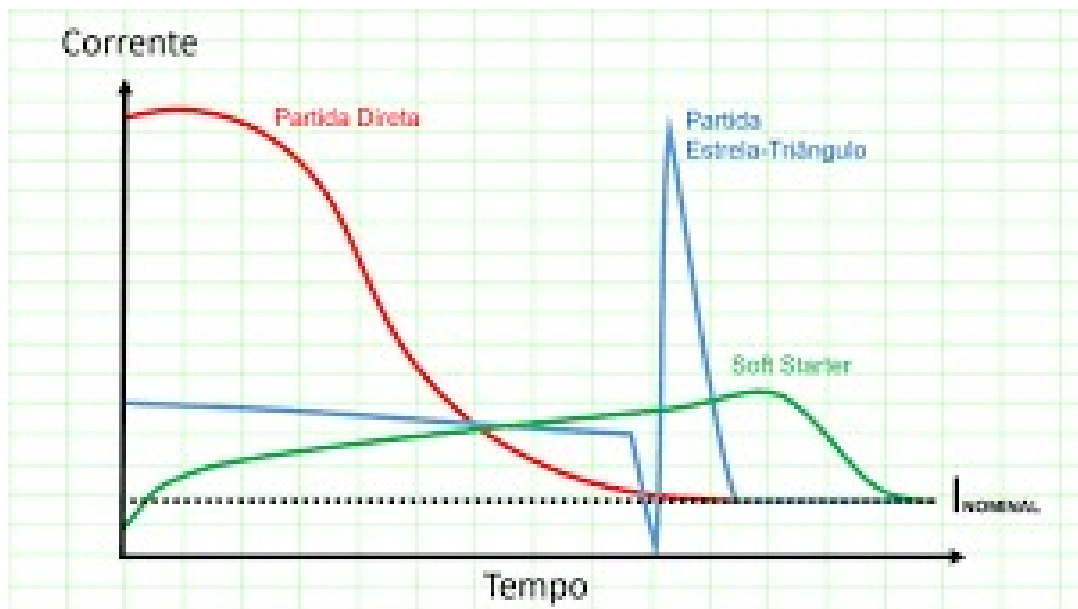
Composta por um conjunto que pode variar entre 4 a 6 *Silicon Controlled Rectifier* (SCR's), a *soft start* é um circuito eletrônico acoplado a um microprocessador que controla um conjunto de tiristores (SCR's). A tensão sobre o motor é definida através do ângulo de disparo feito no *GATE* dos SCR's, proporcionando uma partida suave para os motores e assim não provocando quedas de tensão elétrica bruscas na rede de alimentação, que é comum nas partidas diretas, e mantém a corrente de partida próxima da nominal.

Com isso, a disponibilização de tensão para o motor no acionamento ocorre de forma crescente e o desligamento do equipamento decrescente. O tempo para o motor

atingir a capacidade total dependerá do usuário e da aplicação. Ou seja, tanto a atividade de aceleração quanto a de desaceleração podem ter ajustes acessíveis pelo operador em função da exigência da carga.

Na figura 4 tem-se as características das curvas de cada sistema em relação à corrente do motor.

Figura 4 - Comparativo entre métodos de partida



Fonte: UNESP, Ilha Solteira (2003).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para que o objetivo do projeto fosse atingido, levantamos componentes para proteção do circuito, comando, suavização de partida do motor acionado (*soft-starter*), potência e estrutura de montagem desses materiais. Assim, selecionamos determinados componentes os quais serão descritos à seguir:

3.1 Soft-starter SSW-05

A *soft-starter* SSW05 da WEG foi escolhida como o principal componente do projeto devido à sua função crucial de suavizar os impactos causados pela partida do motor elétrico. Este modelo oferece diversas opções de configuração e, graças à sua alta qualidade, é amplamente utilizada no setor industrial. Isso proporciona aos alunos uma rica experiência de aprendizado, permitindo a realização de testes, ajustes de configurações, análise de comportamento, entre outras atividades. A figura 5 demonstra os aspectos físicos da *soft-starter*.

Figura 5 - Soft-starter WEG SSW-05



Fonte - Catálogo WEG, 2024

3.2 Motor trifásico tipo gaiola de esquilo Eberle

Um motor trifásico tipo gaiola de esquilo da marca Eberle é um tipo comum de motor elétrico usado em diversas aplicações industriais. Ele consiste em um rotor em forma de gaiola de esquilo e estator com três enrolamentos alimentados por corrente alternada trifásica. Esse motor é conhecido por sua robustez, eficiência e baixa manutenção, sendo amplamente utilizado em sistemas industriais para acionamento de máquinas e equipamentos diversos.

O componente se encontra disponível aos alunos e seu aspecto pode ser observado através da figura 6.

Figura 6 - Motor de Indução Trifásico tipo Gaiola de Esquilo EBERLE



Fonte - Elaborado pelos autores, 2024

3.3 CLP Omron ZEN-10C1AR-A-V2

O CLP Omron ZEN-10C1AR-A-V2 é um controlador lógico programável compacto, ideal para automação de pequenos processos. Ele possui 10 entradas e saídas digitais, e permite programação simples e flexível através de uma interface amigável. Este modelo é alimentado por corrente alternada (AC) e é amplamente utilizado para controlar operações automáticas em sistemas de iluminação, temporizadores, contadores e outras aplicações industriais de pequeno porte.

A figura 7 apresenta o aspecto físico do componente.

Figura 7 - CLP Omron ZEN-10C1AR-A-V2



Fonte: Industrial. Omron, 2024

3.4 Disjuntor Tripolar WEG 6 amperes

O disjuntor tripolar WEG de 6 amperes é um dispositivo de proteção elétrica usado para proteger circuitos trifásicos contra sobrecargas e curtos-circuitos. Ele possui três polos que interrompem a corrente elétrica simultaneamente em todas as fases quando ocorre uma falha, garantindo segurança e confiabilidade no sistema elétrico. Com uma capacidade nominal de 6 amperes, é ideal para circuitos de baixa potência em aplicações industriais e comerciais.

A figura 8 demonstra o aspecto físico do componente.

Figura 8 - Disjuntor Tripolar WEG 6 amperes



Fonte: WEG, 2024

3.5 Disjuntor Monofásico WEG 2 amperes

O disjuntor tripolar WEG de 2 amperes é um dispositivo de proteção elétrica usado para proteger circuitos monofásicos contra sobrecargas e curtos-circuitos. Ele possui um polo que interrompe a corrente elétrica quando ocorre uma falha, garantindo segurança e confiabilidade no sistema elétrico. Com uma capacidade nominal de 2 amperes, é ideal para circuitos de baixa potência em aplicações industriais e comerciais.

A figura 9 demonstra o aspecto físico do componente.

Figura 9 - Monofásico WEG 2 amperes



Fonte: WEG, 2024

3.6 Amperímetro Analógico 15a Ac / Dc SF670

Fabricado pela empresa Telintec, o amperímetro modelo SF670 é um instrumento de medição analógico para medição de corrente elétrica. Com resolução

de 500mA, com capacidade máxima para 15A em AC / DC. O componente servirá para visualização do aumento e diminuição da corrente elétrica nos momentos de partida (aceleração) e desligamento (frenagem) do motor elétrico. A figura 10 demonstra a forma física do instrumento.

Figura 10 – Amperímetro Analógico 15ª AC / DC SF670



Fonte: Mercado Livre, 2024

Todos os componentes foram montados em uma placa metálica lisa da cor laranja, utilizada normalmente na construção de quadros elétricos, instalada sobre uma estrutura em formato de “L” com uma leve angulação que fará com que o quadro fique voltado aos alunos, facilitando assim a execução das práticas pelas os alunos. A figura 11 ilustra o projeto finalizado.

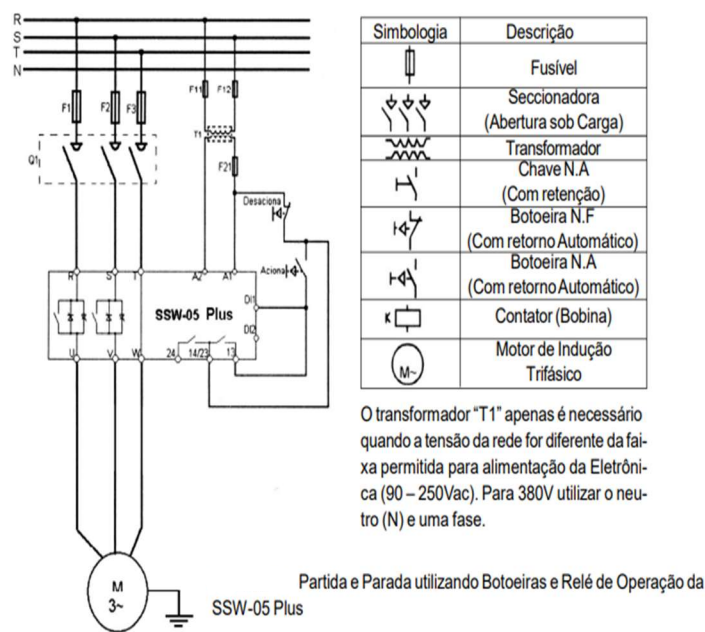
Figura 11 – Projeto finalizado



Fonte: Elaborado pelos autores

A definição do comando elétrico usado para a ligação dos componentes foi inspirada no diagrama apresentado no manual técnico da Soft-Starter modelo SW05 PLUS fabricada pela WEG, este diagrama se encontrada na página 69 e está representada logo abaixo pela figura 12.

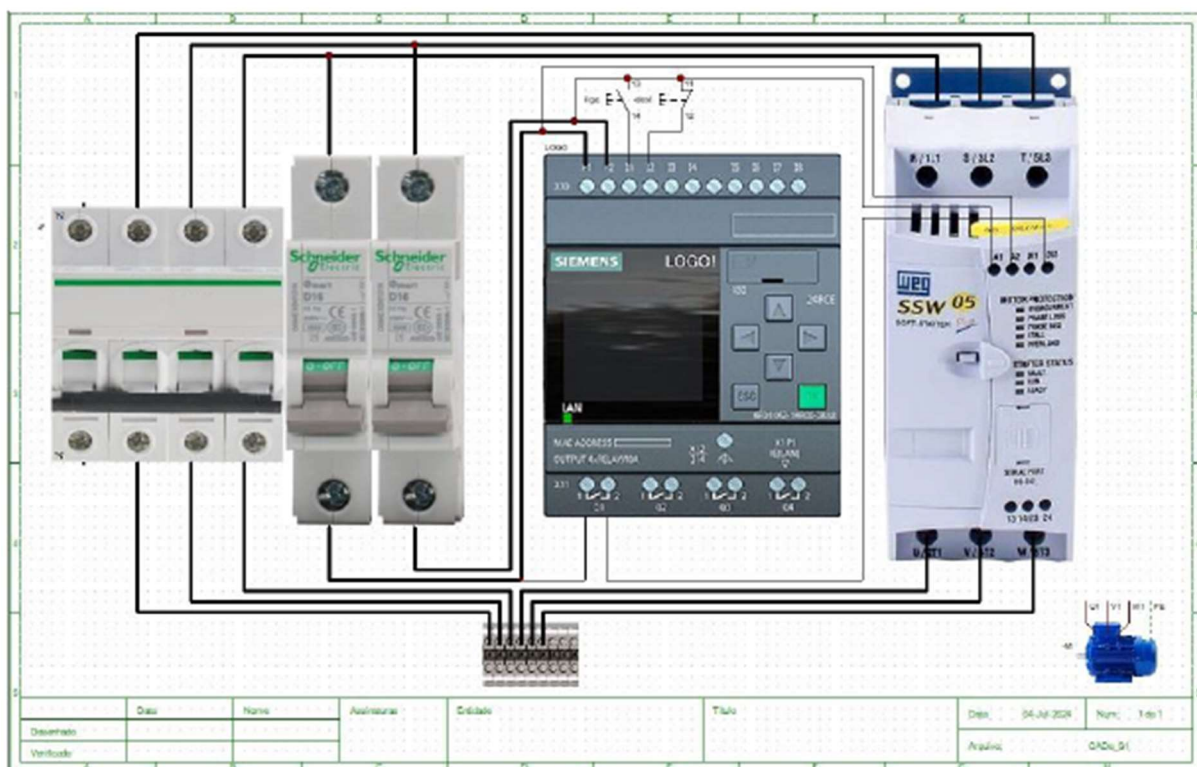
Figura 12 – Blcodiagrama da SSW-05



Fonte: Manual do Usuário WEG SSW05

A Figura 13 apresenta as conexões do circuito de potência do kit didático, lembrando que não necessariamente os componentes apresentados na figura são os mesmos utilizados no projeto, apenas simbolizam as ligações.

Figura 13 – Diagrama de representação dos componentes



Fonte: Elaborado pelos autores, 2024

4 RESULTADOS E DISCUSÕES

O projeto será disponibilizado para uso nas aulas práticas do curso de Automação Industrial da Faculdade de Tecnologia FATEC Bauru. Seu principal objetivo é facilitar o entendimento dos conceitos teóricos abordados durante as aulas, proporcionando uma experiência prática que conecta teoria e aplicação.

Durante o desenvolvimento do projeto, foram considerados conceitos explorados ao longo do curso e que podem ser diretamente aplicados no uso do kit. Os principais tópicos abordados, que são comprovados nas funcionalidades do projeto, incluem:

- Eletricidade: monitoramento de grandezas elétricas e análise de seus comportamentos durante o acionamento de motores elétricos trifásicos, utilizando como componente principal a soft-starter;
- Circuitos elétricos de potência e comando: presentes na ligação dos componentes, alimentação do circuito e acionamento das cargas;
- Efeitos da indução eletromagnética na rede: análise do aumento e da redução da corrente elétrica, visualizados por meio do amperímetro, permitindo comparações com outros métodos de acionamento existentes;
- Motores trifásicos: compreensão do funcionamento, ligação e consumo energético desses motores;
- Aplicação dos SCRs (retificadores controlados por silício): utilização prática dos recursos oferecidos por esses componentes, promovendo uma compreensão visual e aplicada.
- Simulação de falhas: possibilitada pela soft-starter modelo SSW05 da WEG, permite reproduzir cenários de falhas elétricas no sistema,

auxiliando na identificação, análise e solução de problemas, além de aprimorar a formação prática dos alunos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Utilizamos o método de ensino prático conhecido como "Aprender Fazendo" (Learning by Doing) como inspiração para criação do projeto, baseando-se na abordagem educacional de John Dewey. Para Dewey, a aprendizagem se torna mais eficaz quando os estudantes participam de atividades práticas e conectadas ao contexto real, em vez de apenas receber informações passivamente. Ele enfatizava que experiências significativas, que combinam teoria e prática, proporcionam um aprendizado mais consistente e duradouro.

O processo de construção do protótipo e o desenvolvimento detalhado da soft-starter foram etapas fundamentais para aprofundar o entendimento e aperfeiçoar as funcionalidades do kit didático. Nos testes de operação, o kit mostrou excelente desempenho em termos de eficiência e confiabilidade, reforçando sua relevância no ensino de disciplinas como Automação III e Máquinas Elétricas 1 e 2.

A escolha criteriosa dos componentes e sua organização estratégica em uma base metálica desempenharam um papel crucial na otimização do desempenho do kit. Essa configuração prática e bem estruturada permitiu resultados positivos durante os testes de acionamento do motor, garantindo uma experiência de aprendizado eficaz e alinhada com os objetivos pedagógicos.

REFERÊNCIAS

BRITO, Claudio M.C. Modelagem computacional de métodos de partida de um motor de indução trifásico no Simulink/Matlab. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. João Pessoa – PB-2007.

ALEXANDRE CAPELLI. **Energia elétrica: Qualidade e eficiência para aplicações industriais**. 1. ed. [S.l: s.n.], 2013.

FILHO, João Mamede. **Instalações Elétricas Industriais**. 7. ed. [S.l: s.n.], 2007

BELINI, T. N. et al. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PARTIDA DIRETA E SOFT-STARTER PARA O ACIONAMENTO DE UM CONJUNTO MOTOBOMBA.

Disponível em: <https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2023/EN_05254.pdf>. Acesso em: 18 maio. 2024.

TASSI, R. et al. ESTUDO DE ACIONAMENTOS DAS CHAVES DE PARTIDAS ELÉTRICAS E ELETRÔNICAS PARA MOTORES ELÉTRICOS. Revista Técnico-Científica do IFSC, p. 504–504, 2012.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 7. ed. São Paulo: Érica, 2007

UNESP. Soft Starter. Disponível em:

<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaelettrica/softstarter.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2024.

WEG. SSW05 - User Manual. Disponível em:
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hde/h53/WEG-SSW05-user-manual-0899.5119-en.pdf>. Acesso em: 21 março. 2024.

BACICH, Lilian; MORAN, José (org.). Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática. Porto Alegre: Penso, 2018.