

Desenvolvimento de uma bancada de acionamentos elétricos aplicando instrumentação virtual

Development of an electric drive bench applying virtual instrumentation

ADRIAN MARTINS PEREIRA

Discente de Engenharia Elétrica (UNIPAM)
E-mail: adrianmartinspereira@unipam.edu.br

MAURÍCIO DOS REIS DE ANDRADE

Discente de Engenharia Elétrica (UNIPAM)
E-mail: mauriciora@unipam.edu.br

VICTOR HENRIQUE DA CUNHA FARIA

Professor orientador (UNIPAM)
E-mail: victorhcf@unipam.edu.br

Resumo: O gerador de sinais é importante em diversas áreas da engenharia elétrica, sendo utilizado em diferentes âmbitos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um gerador de sinais virtual utilizando o LabVIEW, que possa ser aplicado em salas de aulas e laboratórios. Para esse fim, realizou-se um estudo bibliográfico, criou-se um protótipo que gerasse as formas de onda e permitisse o controle de suas características básicas; foi implementado o recurso de customização de formas de ondas; acrescentou-se a possibilidade de salvar e carregar arquivos; foi criado o recurso de verificação do sinal de saída, realizaram-se testes de campo e validação do software. O gerador de sinais virtual desenvolvido ofereceu interface amigável ao usuário e permitiu a geração das principais formas ondas e criação de ondas personalizadas.

Palavras-chave: gerador de sinais virtual; bancada; acionamento elétrico.

Abstract: The signal generator is important in various areas of electrical engineering, being used in different contexts. The objective of this work was to develop a virtual signal generator using LabVIEW, which can be applied in classrooms and laboratories. For this purpose, a literature review was conducted, a prototype was created to generate waveforms and allow control of their basic characteristics; the feature of customizing waveforms was implemented; the possibility of saving and loading files was added; the output signal verification feature was created, field tests and software validation were performed. The developed virtual signal generator offered a user-friendly interface and allowed the generation of the main waveforms and creation of customized waves.

Keywords: virtual signal generator; bench; electric drive.

1 INTRODUÇÃO

Os motores elétricos são máquinas responsáveis pela conversão de energia elétrica em energia mecânica. Eles possuem ampla aplicação nas mais diversas atividades, em ambientes residenciais, comerciais ou industriais, realizando a movimentação e o transporte de cargas diversas. Estima-se que 38% de toda a energia consumida no Brasil sejam utilizados pelo setor industrial. Grande parte desse consumo é usado no acionamento de motores elétricos.

Em muitos cenários, quando motores elétricos são utilizados, é necessário adotar certos procedimentos com o intuito de reduzir as correntes durante o estágio inicial de acionamento. Esses procedimentos são chamados de chaves de partida; isso se deve à exigência inicial de energia elétrica ser mais elevada para vencer a inércia do motor. Durante a partida, os motores elétricos colocam uma carga adicional no sistema de alimentação, resultando em correntes consideravelmente mais altas, podendo chegar a até 10 vezes o valor nominal. Como resultado, o sistema sofre uma queda de tensão muito superior aos limites previstos para operação normal, o que pode acarretar problemas operacionais sérios nos equipamentos de controle e proteção.

Consequentemente, nos currículos dos cursos de engenharia e tecnologia, existe uma área específica dedicada ao estudo dos acionamentos de motores. Essa disciplina tem como objetivo fornecer conhecimentos sobre o funcionamento e o comportamento das máquinas. Normalmente, essas disciplinas abordam questões teóricas relacionadas ao funcionamento dos dispositivos de proteção e controle, além de incluírem aulas práticas em laboratório para a realização de testes em chaves de partida de máquinas.

É notado que os alunos, durante as aulas, possuem dificuldade no entendimento do tema, sendo assim, fica o questionamento: Seria a falta de meios práticos de demonstração do funcionamento dos mesmos, que acabaria gerando essa dificuldade notada e, ao mesmo tempo, facilitando o entendimento dos conceitos teóricos?

O objetivo geral deste projeto é desenvolver e montar uma bancada didática, aplicando instrumentação virtual para práticas experimentais de acionamentos e comandos elétricos, a fim de ser utilizada no ensino prático de disciplinas de graduação em engenharia elétrica, possibilitando aos alunos realizarem experiências práticas e aplicação dos conceitos vistos em sala de aula.

2 REVISÃO DA LITERATURA

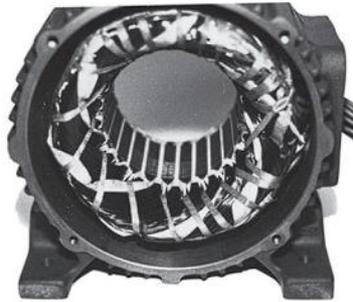
2.1 MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICAS (MIT)

Os motores de indução trifásicos (MIT) são dispositivos projetados com a finalidade de converter energia elétrica em energia mecânica. Esses motores utilizam o princípio da indução eletromagnética, no qual a corrente elétrica que passa pelos enrolamentos ou bobinas gera um campo magnético giratório. A intensidade desse campo magnético varia de acordo com a corrente elétrica que flui pelos enrolamentos em um determinado momento. Quando a corrente atinge seu valor máximo, o campo

magnético também atinge seu máximo de intensidade, enquanto que, em correntes mínimas ou nulas, o campo magnético se torna fraco ou inexistente.

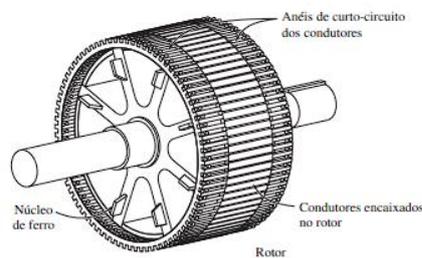
Os motores de indução trifásicos (MIT) consistem principalmente em dois componentes: o estator, que é a parte fixa, e o rotor, que é a parte girante responsável por acionar a carga mecânica (Carvalho, 2007). Como pode ser observado na Figura 1, o estator é composto por chapas de aço com espaços abertos para abrigar os enrolamentos. Por outro lado, o rotor é composto por uma lâmina de aço em uma circunferência menor em relação ao estator e pode ser encontrado em duas formas: bobinado e gaiola de esquilo, como é demonstrado na Figura 2.

Figura 1 – Estator de motor de indução típico



Fonte: Chapman, 2013

Figura 2 – Estrutura de um rotor gaiola de esquilo



Fonte: Chapman, 2013

O rotor do tipo gaiola de esquilo é composto por uma série de condutores encaixados em sua superfície, que são curto-circuitados nas duas extremidades por meio de grandes anéis. Por outro lado, o rotor bobinado possui um conjunto de enrolamentos trifásicos semelhante ao do estator, onde as três fases são geralmente conectadas em Figuração Y e suas três pontas são conectadas ao eixo do rotor (Chapman, 2013).

Como o próprio nome sugere, os MIT usam três fases para seu acionamento e funcionamento, de acordo com o número de polos do motor e o arranjo de ligação das fases aos pólos do motor definem seu sentido de giro, sendo o mais comum utilizar o motor com o sentido de giro horário, definido pela ligação das fases em ABC, e o sentido de giro anti-horário pela inversão de quaisquer uma das fases presentes na ligação (Carvalho, 2007).

Durante o acionamento de um MIT, a corrente necessária para superar o estado inicial de inércia do rotor é maior. Isso ocorre devido à resistência à mudança de

velocidade do rotor e à necessidade de vencer a força de inércia para iniciar o movimento. À medida que o MIT é ligado, a corrente elétrica aumenta, gerando um campo magnético que interage com o rotor. Essa interação causa o movimento do rotor e a geração de torque (Chapman, 2013). No estágio inicial, quando o rotor está parado, a corrente necessária é maior para vencer a inércia e iniciar o movimento. À medida que o rotor ganha velocidade, a potência exigida diminui gradualmente.

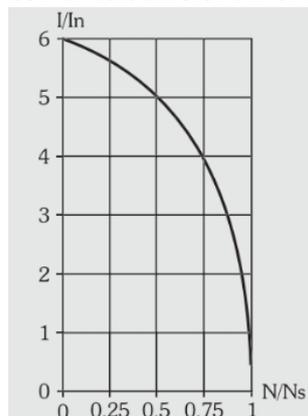
Na partida, a corrente de um MIT pode chegar a alcançar um valor de até oito vezes a corrente nominal do mesmo, o que pode afetar outros equipamentos ligados à rede elétrica; motores de até 7,5 cv podem ter suas partidas realizadas de forma direta, sem a utilização de dispositivos auxiliares, devido a um menor pico de corrente.

2.2 ACIONAMENTOS DO MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO (MIT)

2.2.1 Partida direta

A partida direta é o método mais simples que pode ser utilizado para partir um MIT. Essa partida consiste em ligar as fases de maneira direta ao motor. Apesar de ser simples, há alguns empecilhos devido ao fato de não ter nenhum método de conter o pico de corrente do motor, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 — Pico de corrente de acionamento do motor trifásico

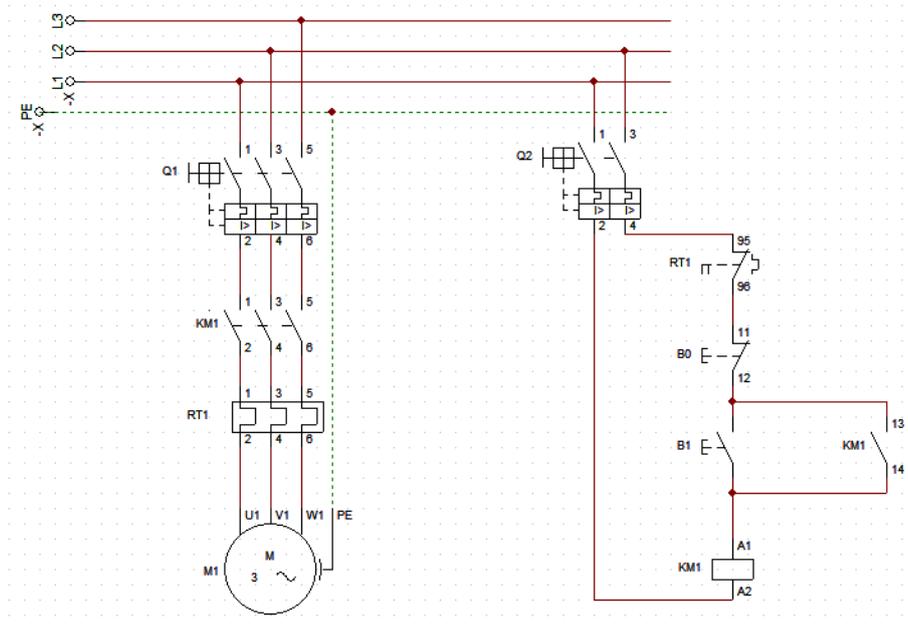


Fonte: Franchi, 2014.

O pico de corrente na partida direta diminui com o passar do tempo e com o aumento de velocidade do MIT, por esse motivo esse tipo de partida acaba gerando perturbações na rede e queda de tensão no sistema de alimentação, obrigando a instalação de cabos superdimensionados, devido ao fato de precisarem aguentar altas correntes durante a partida, não somente a corrente nominal de operação do motor (Franchi, 2014).

Apesar dessas desvantagens, a partida direta é recomendada sempre que possível, devido a sua simplicidade de acionamento, ao seu custo ser consideravelmente menor que outros métodos, por possuir menos componentes necessários, e pela sua alta eficiência, por atingir a velocidade nominal de rotação do motor imediatamente após a partida, como demonstrado na Figura 4.

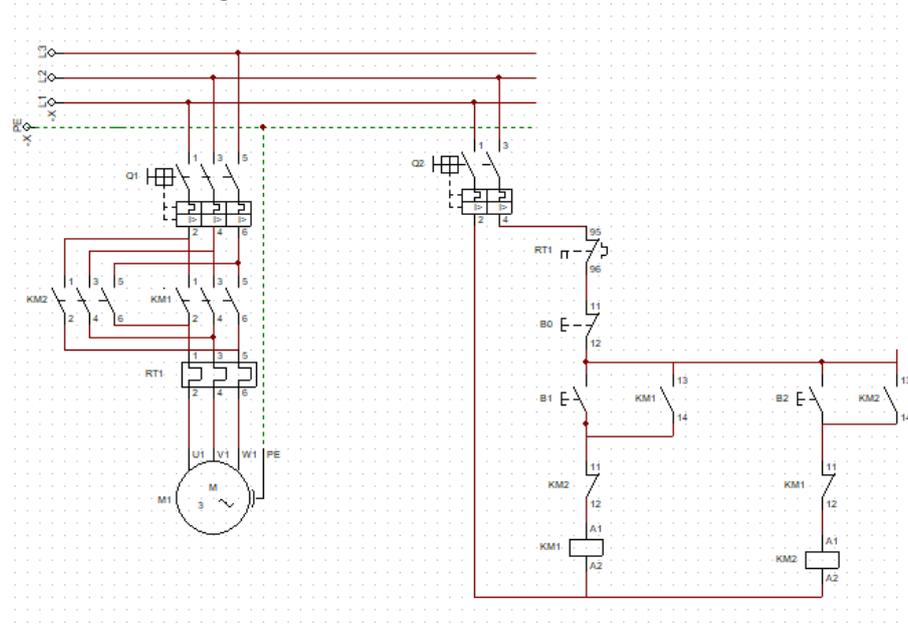
Figura 4 – Partida Direta MIT



Fonte: autoria própria, 2024.

A partida direta reversível parte do mesmo pressuposto. A única diferença é a possibilidade de controle do sentido de giro do motor, mudando apenas o esquema de montagem da sua partida, necessitando de um dispositivo para realizar a inversão das fases de ligação no motor. Seu diagrama elétrico e de comando é demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – Partida Direta Reversível MIT



Fonte: autoria própria, 2024.

2.2.2 Partida estrela-triângulo

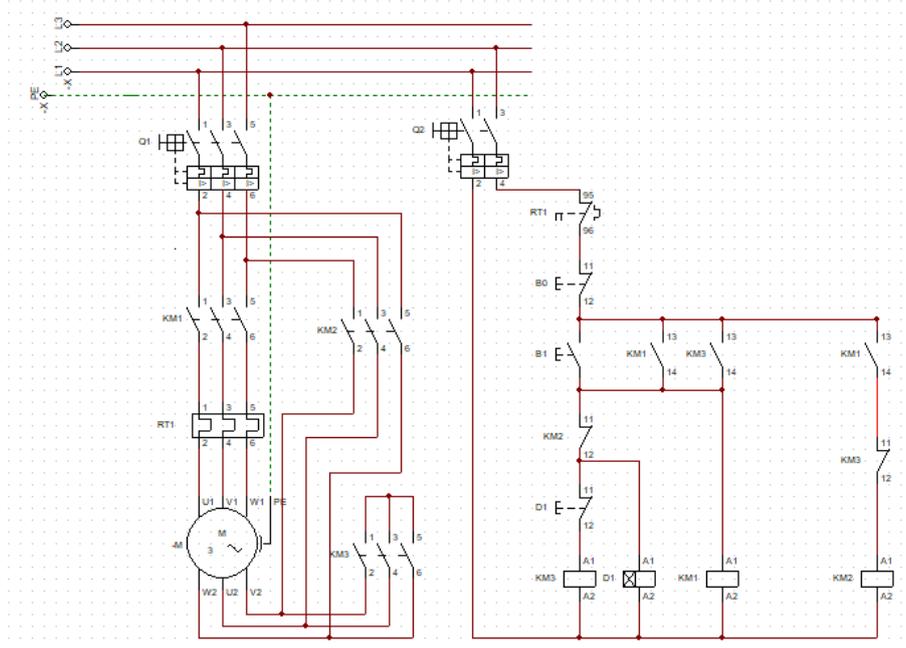
A partida estrela-triângulo é uma técnica de acionamento amplamente empregada em motores de indução trifásicos de média e alta potência. Seu objetivo é reduzir a corrente de partida do motor, minimizando assim o impacto na rede elétrica durante o processo de partida. O procedimento de partida estrela-triângulo consiste inicialmente na conexão dos enrolamentos do motor em um arranjo estrela (Y), seguido pela alteração para um arranjo triângulo (Δ) após um curto intervalo de tempo.

Essa abordagem é adequada quando o motor está operando em vazio ou com carga reduzida, pois, durante esse período, a corrente de partida é inferior à corrente nominal. O acionamento em estrela-triângulo consiste basicamente em três etapas principais:

- Partida em estrela (Y): o motor é acionado com as fases conectadas em um ponto comum formando o arranjo estrela (Y); nessa configuração, a tensão aplicada em cada fase é a tensão nominal do sistema, quando a partida no motor é acionada o motor é energizado e começa a girar em uma velocidade reduzida;
- Transição: após um curto período de tempo do motor funcionando, geralmente alguns segundos, o arranjo de conexões é alterado para triângulo (Δ); dessa forma, as extremidades das fases são interligadas, ficando em série. Durante essa troca de arranjos, ocorre uma interrupção momentânea na alimentação do motor.
- Partida em triângulo (Δ): após a mudança do arranjo do motor para triângulo (Δ), a tensão aplicada em cada fase é reduzida em cerca de um terço da tensão nominal do motor; isso resulta em uma redução significativa da corrente de partida. Após a partida, o motor continua a acelerar até atingir sua velocidade nominal e é capaz de operar em plena carga.

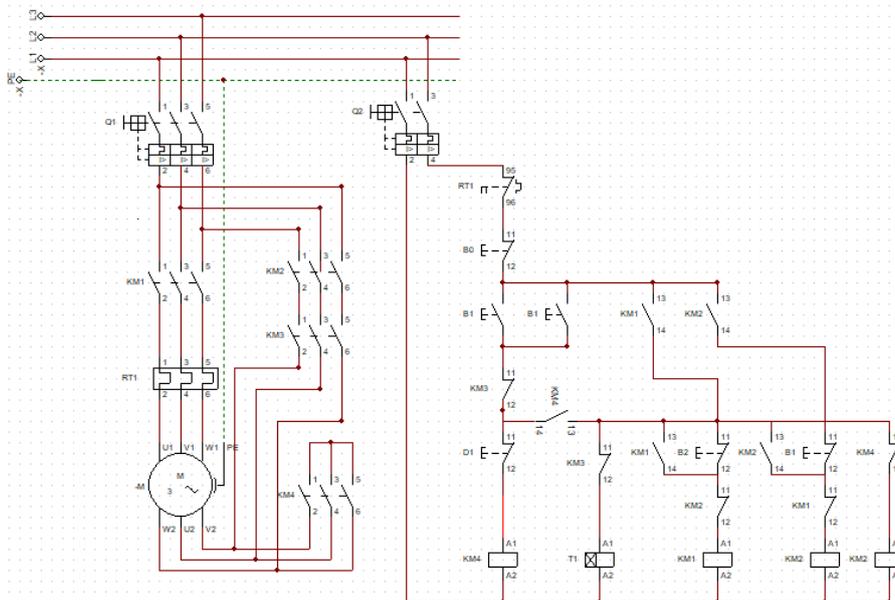
Esse tipo de partida se mostra extremamente eficaz para a redução da corrente de partida e de seu impacto na rede elétrica, porém há algumas limitações. É adequada somente para motores que possuem enrolamentos específicos projetados para esse tipo de partida e não podendo ser aplicada em motores que requerem um alto torque inicial. Além disso, a transição entre os arranjos estrela e triângulo pode resultar em uma breve interrupção na operação do motor. Seu circuito elétrico e de comando é expresso na Figura 6:

Figura 6 — Partida Estrela-Triângulo MIT



Fonte: autoria própria, 2024.

Figura 7 — Partida Estrela-Triângulo Reversível MIT



Fonte: autoria própria, 2024.

Já a partida estrela-triângulo reversível é uma modificação do método convencional de partida estrela-triângulo, permitindo ao motor ser acionado nos sentidos horário e anti-horário. Ao contrário da partida estrela-triângulo padrão, que é limitada a um único sentido de rotação, a partida estrela-triângulo reversível oferece a flexibilidade de inverter o sentido de rotação do motor.

A partida estrela-triângulo reversível requer a utilização de um dispositivo de inversão de fases, como um contato giratório, que possibilita a mudança na ordem de conexão das fases do motor. Esse dispositivo é responsável por modificar a sequência de ligação das fases, garantindo que o motor seja acionado no sentido desejado. O diagrama desse modo de partida pode ser observado na Figura 7.

Como visto nos diagramas de partida, existem alguns componentes insubstituíveis para poder partir os motores com segurança, tanto para a rede quanto para o ser humano. Há uma variedade de componentes com essa finalidade; entre eles, podem ser citados botoeiras, sinaleiros, contatores, relés e disjuntores.

2.3 COMANDOS ELÉTRICOS

Comandos elétricos são conjuntos de técnicas e dispositivos empregados para controlar o funcionamento de equipamentos e sistemas industriais. Esses comandos se baseiam em princípios eletromagnéticos, eletrônicos e de automação, visando iniciar, parar, regular ou proteger máquinas e processos. Os comandos elétricos englobam componentes essenciais como relés, contatores, temporizadores, botões e sinaleiros, entre outros. Esses elementos são interligados por meio de fiação elétrica, formando circuitos de controle que permitem acionar e controlar os equipamentos.

Existem diferentes formas de implementar os comandos elétricos, como sistemas de partida direta, partida estrela-triângulo, soft starters e inversores de frequência. A escolha do método de controle é baseada nas exigências específicas do equipamento ou processo a ser controlado. Dentre os componentes utilizados no desenvolvimento, projeto e montagem de comandos elétricos alguns se destacam sendo mais comumente aplicados (NBR IEC 60947, 2020).

As botoeiras são dispositivos eletrônicos ou eletromecânicos utilizados para acionar sistemas que têm funções específicas dentro de automações. As botoeiras possuem diferentes tipos, formatos e aplicações dentro de sistemas automatizados.

Figura 8 — Botoeira com retenção Schneider



Fonte: Schneider Electric, 2023¹

Os sinaleiros são dispositivos que têm como objetivo indicar o estado do processo, como, por exemplo, se ele se encontra energizado, se está em operação normal,

¹ Disponível em: <https://www.se.com/br/pt/product/>

se encontra parado devido a algum problema, entre outros. Eles podem ser apenas luminosos ou luminosos e sonoros, e a aplicação de cada um deve ser feita de acordo com a necessidade do processo. Os sinaleiros têm diferentes cores, tamanhos e padrões.

Figura 9 – Sinaleiro WEG



Fonte: WEG, 2023²

Os contatores são dispositivos eletromecânicos utilizados para o acionamento e controle de determinados tipos de circuitos que demandam alta potência e geralmente trifásicos, como motores elétricos de indução por exemplo. Eles consistem basicamente de uma bobina e de contatos, podendo eles serem contatos principais e auxiliares, tendo o acionamento da bobina sendo realizado através de contatos específicos para a mesma, além de possuírem métodos para dissipação de calor mais efetivos.

O funcionamento dos contatores é simples: ao energizar os contatos da bobina, ela mesma gera um campo eletromagnético que realiza o acionamento de uma chave que fecha os outros contatos do contator, permitindo a passagem de energia no caso dos contatos NO, normalmente abertos, ou impedindo a passagem no caso dos contatos NC, normalmente fechados, dependendo do modelo do contator.

Figura 10 – Contator WEG



Fonte: WEG, 2023³

Os relés partem do mesmo pressuposto dos contatores, porém diferentemente dos contatores, eles não aguentam uma potência aplicada elevada, geralmente sendo utilizados para fins mais voltados para a automação, como o acionamento dos próprios contatores. Os relés podem ser simples e funcionar apenas como uma espécie de interruptores em sistemas de automação ou possuírem funções mais específicas, como

² Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/>

³ Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/>

os relés temporizadores, que possuem métodos de acionamento programáveis, relés térmicos, que tem como objetivo proteger um motor contra sobrecargas e superaquecimento, e relés de segurança, que são projetados para serem instalados dentro de sistemas de proteção e servem para monitorar se o equipamento possui condições para operação.

Figura 11 — Relé temporizador WEG



Fonte: WEG, 2023⁴

2.4 SENSORES

Um sensor de tensão nada mais é do que um componente eletrônico desenvolvido para aplicação em diversos circuitos elétricos. Por meio do Arduino, AVR, PIC, Raspberry PI, ou outras plataformas de prototipagem, é possível, aplicando o módulo Sensor de Tensão, medir a tensão de motores, por exemplo. O sensor de tensão CA utilizado no projeto foi o ZMPT101B. Ele é um módulo de alta precisão que tem como finalidade fazer a medição do valor de tensão.

Figura 12 — Sensor de tensão ZMPT101B



Fonte: Usinainfo, 2024⁵

Um sensor de corrente é um componente essencial em diversas aplicações elétricas e eletrônicas. Ele possibilita a medição da corrente elétrica que flui por um condutor, sem a necessidade de interromper o circuito. Essa funcionalidade é

⁴ Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa>

⁵ Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-tensao-arduino/sensor-de-tensao-ac-zmpt101b-voltmetro-arduino-5658.html>

fundamental em sistemas de monitoramento, controle e também em contextos relacionados à segurança.

O sensor de corrente utilizado é o SCT-013 100A, este sensor de corrente possui um design Não Invasivo, o que significa que não é necessário interromper o circuito para sua utilização. Sua aplicação é simples e prática: basta abrir o plugue e envolvê-lo ao redor do fio para realizar a medição da corrente elétrica, sem a necessidade de interrupção no fluxo do circuito.

Figura 13 — Sensor de corrente SCT-013 100A



Fonte: Usinainfo, 2024⁶

3 METODOLOGIA

O presente trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento da bancada de acionamento elétricos, buscando simplificar a conexão dos componentes e possibilitar maior agilidade nas aulas práticas de máquinas elétricas. Além disso, desenvolveu-se um sistema de monitoramento de tensão e corrente do motor elétrico, permitindo acompanhar as curvas em tempo real da partida do motor. Para atingir tal objetivo, as seguintes etapas de planejamento e desenvolvimento foram:

1. realizar estudos e pesquisas a respeito do tema, para conseguir reunir conhecimento acadêmico a respeito desse tema;
2. desenvolver o projeto do protótipo da bancada;
3. desenvolver lista de materiais necessários para o desenvolvimento do protótipo;
4. realizar a montagem do protótipo da bancada e realizar testes para desenvolver aprimoramentos no projeto;
5. realizar testes com a bancada, experimentais e em sala de aula;
6. desenvolver o sistema de monitoramento através do *software* LabVIEW e realizar testes com ele para fazer aprimoramentos;
7. aplicar a bancada para acionamento de um motor elétrico por partida direta, MIT, monitorando a tensão e corrente de operação.

O projeto foi desenvolvido no Laboratório de Conversão de Energia do UNIPAM, utilizando os componentes elétricos que já eram aplicados nas aulas, para integração da bancada. Para construção da caixa da bancada, contendo furação e

⁶ Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-corrente-arduino/sensor-de-corrente-nao-invasivo-100a>

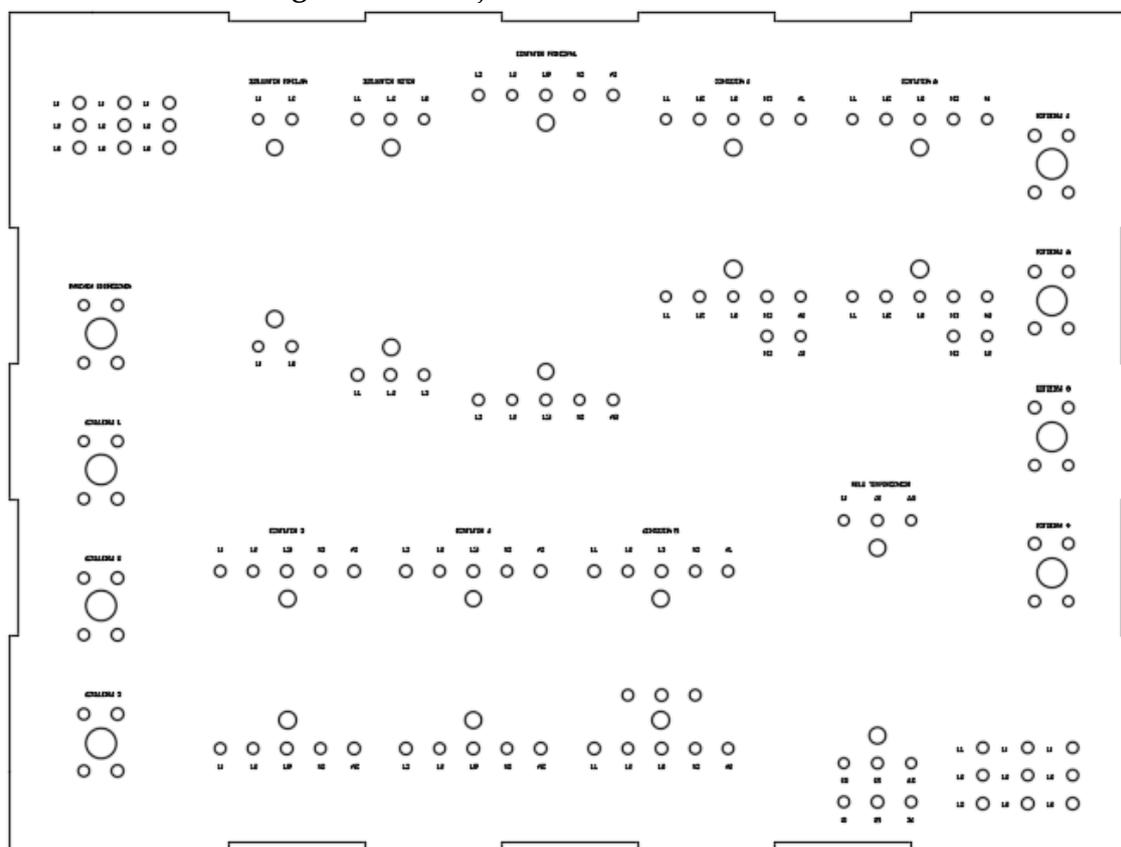
nominação dos componentes, foi utilizada a estrutura do FABLAB do UNIPAM. Entre os componentes, destacam-se disjuntores, contatores, relés e sensores.

4 RESULTADOS

4.1 ASPECTOS CONSTRUTIVOS DA BANCADA

Para realizar o desenvolvimento do protótipo da bancada, foi utilizada uma base em MDF, permitindo a fixação de todos os componentes necessários de modo rápido e seguro. Tal projeto foi desenvolvido utilizando a plataforma AutoCAD, para realizar o desenho que seria utilizado para corte, como visto na Figura 14.

Figura 14 – Projeto da bancada no AutoCAD



Fonte: autoria própria, 2024.

A bancada foi projetada de modo a simplificar a dinâmica de montagem das partidas dos motores, sendo dimensionada considerando as principais chaves de partida e a sua reversão de rotação: direta, estrela-triângulo e compensadora com autotransformador. Visando simplificar a conexão entre os componentes de partida, trazendo maior agilidade às práticas, foram conectados os conectores tipo parafusos dos equipamentos a bornes banana, como pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 — Execução da montagem do protótipo da bancada



Fonte: arquivo dos autores, 2024.

Os modelos e as quantidades dos principais elementos eletromecânicos que compõem a bancada foram relacionados no Quadro 1. Eles são responsáveis pela manobra, proteção e controle do tempo da partida.

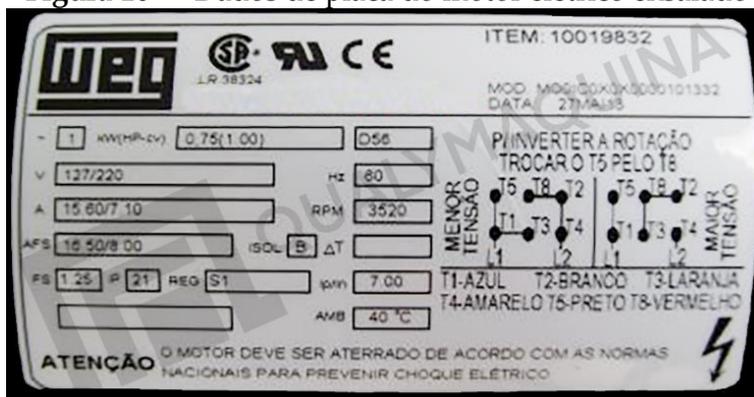
Quadro 1 — Componentes elétricos da bancada didática de acionamento elétricos

Tipo de componente	Quantidade	Modelo
Contator	1	CWM12-10E
Contator	4	CW07-10E
Relé térmico	1	RE27-1D
Disjuntor Motor	1	MPW40-3-003
MiniDisjuntor	1	MDW-C20
Relé Temporizador	1	RTW17G

Fonte: autoria própria, 2024.

Os componentes foram dimensionados visando atender as especificações dos motores do Laboratório de Conversão de Energia, local onde as aulas de acionamentos de máquinas elétricas são realizadas. Os dados de placa do motor elétrico são importantes para comparação e validação do ensaio; essas informações podem ser verificadas na Figura 16. O motor ensaiado apresenta 6 terminais de conexão, potência nominal de 1 cavalo-vapor e relação de corrente de partida (I_p/I_n) de 6 vezes, sendo possível alimentá-lo com 220 V ou 380 V.

Figura 16 – Dados de placa do motor elétrico ensaiado



Fonte: dados da pesquisa, 2024.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

A bancada desenvolvida também apresenta um sistema de monitoramento de tensão e corrente, possibilitando aos alunos averiguar os efeitos da corrente de partida na máquina elétrica acionada. Esse sistema é integrado por:

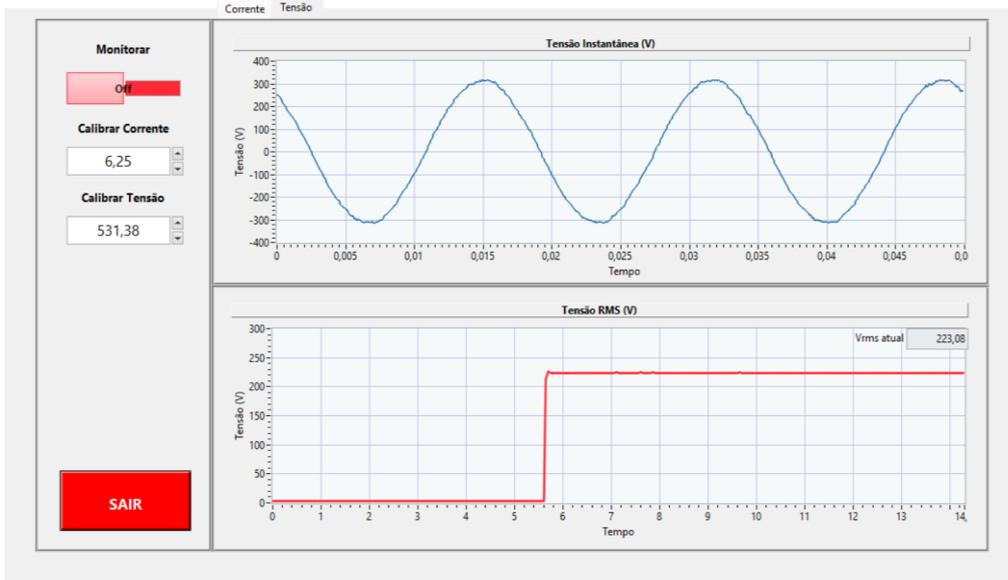
- um sensor de corrente do modelo;
- um sensor de tensão do modelo;
- uma placa de aquisição de dados do modelo NI USB 6002;
- um computador.

O sistema de monitoramento opera com base nos sensores que coletam dados de tensão e corrente e os converte em valores de tensão de 0 a 5 V. Esses sinais são conectados ao DAQ NI USB 6002, responsável por realizar a conversão de analógico para digital, transmitindo os dados para o computador por meio de um barramento USB. No computador, o software de monitoramento desenvolvido processa esses sinais, fornecendo informações sobre a tensão e a corrente monitoradas, apresentando-as aos alunos em formato de gráfico.

O *software* foi confeccionado empregando a linguagem gráfica LabVIEW, sendo esta uma excelente ferramenta para criação de aplicações com aquisição de sinais. A interface gráfica, ou IHM, do software de monitoramento de correntes de partidas de máquinas elétricas pode ser vista na Figura 17.

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE ACIONAMENTOS ELÉTRICOS APLICANDO INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL

Figura 17 — Interface de usuário do sistema de monitoramento da bancada

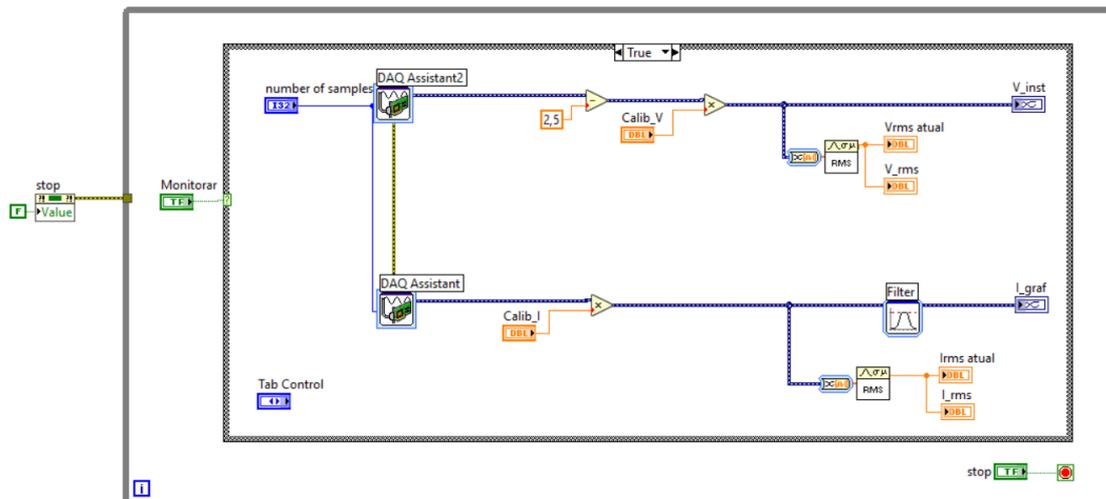


Fonte: dados da pesquisa, 2024.

A interface é projetada com uma estrutura simples e minimalista, proporcionando aos alunos uma visualização clara das grandezas relevantes no momento de partida das máquinas. Ela exibe as formas de onda das tensões e correntes instantâneas, além de permitir o acompanhamento da variação das tensões e correntes eficazes ao longo do tempo. A tela também inclui um botão para ativar/desativar a atualização dos gráficos, bem como controles que permitem ajustar a calibração dos sensores, se necessário.

Tanto para desenvolvimento da interface, quanto para a implementação da rotina de aquisição de dados dos sensores, foi utilizado o LabVIEW. O código principal do sistema de monitoramento pode ser observado na Figura 18.

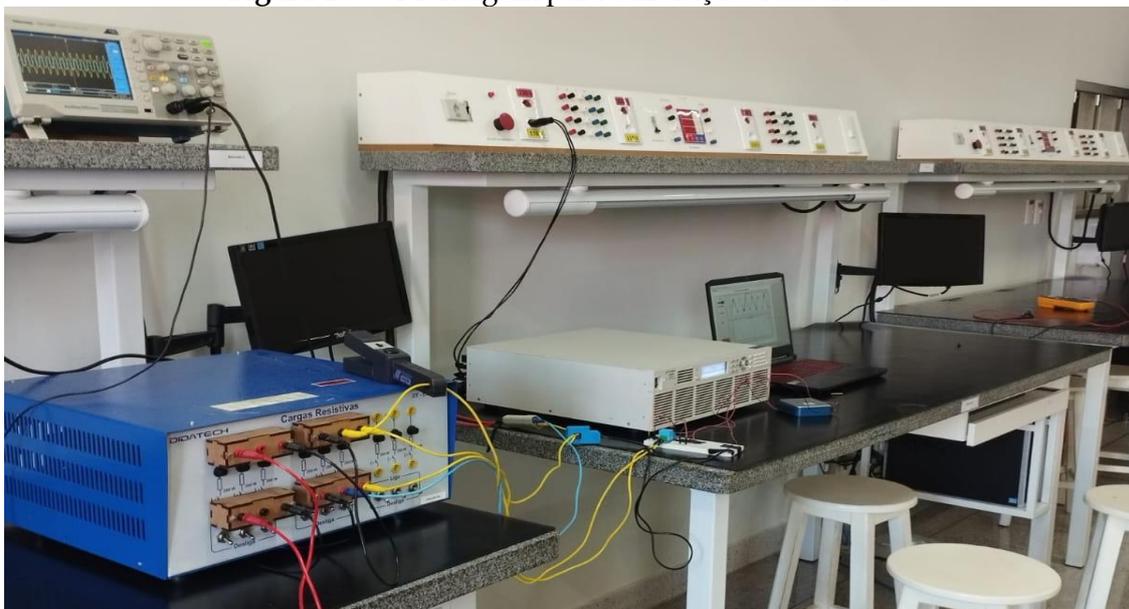
Figura 18 — Código do software desenvolvido em LabVIEW



Fonte: dados da pesquisa, 2024.

Com o objetivo de obter informações precisas das tensões e correntes, foi montado um setup de testes, para calibração dos sensores, que inclui uma fonte monofásica CA, um osciloscópio e um banco de cargas resistivas, conforme ilustrado na Figura 19. Essa calibração foi necessária para garantir a precisão dos sensores utilizados no projeto.

Figura 19 — Montagem para calibração dos sensores



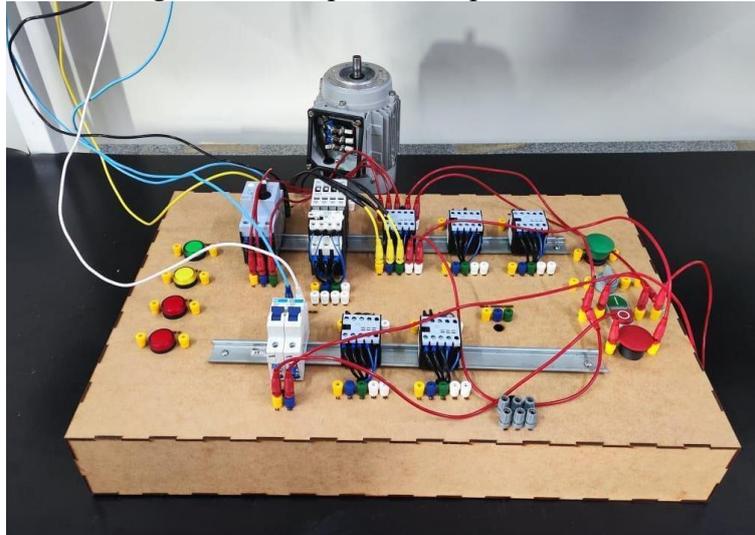
Fonte: arquivo dos autores, 2024.

A calibração foi conduzida utilizando uma fonte de tensão e carga resistiva para gerar uma variedade de valores de tensão e corrente dentro do intervalo de operação dos sensores. Os valores reais foram registrados pelas pontas de prova do osciloscópio e comparados com os valores adquiridos pelo sistema de aquisição desenvolvido. Com base nessas comparações, foi possível determinar a relação de transformação dos sensores e ajustar a calibração no *software*.

4.3 TESTE DA BANCADA

Para verificar o funcionamento da bancada desenvolvida, foi realizado o acionamento do motor com uma partida direta, sem carga. Esse teste específico consistiu em realizar as conexões dos componentes elétricos (disjuntores, contatores, botoeiras, sinaleiro e motor) através da bancada; e através dela partir o motor, em delta, em condições nominais de rede (220 V). A montagem da bancada e do sistema de monitoramento para esse teste específico foi registrada nas Figuras 20 e 21.

Figura 20 — Experimento partida direta



Fonte: arquivo dos autores, 2024.

Figura 21 — Experimento partida direta

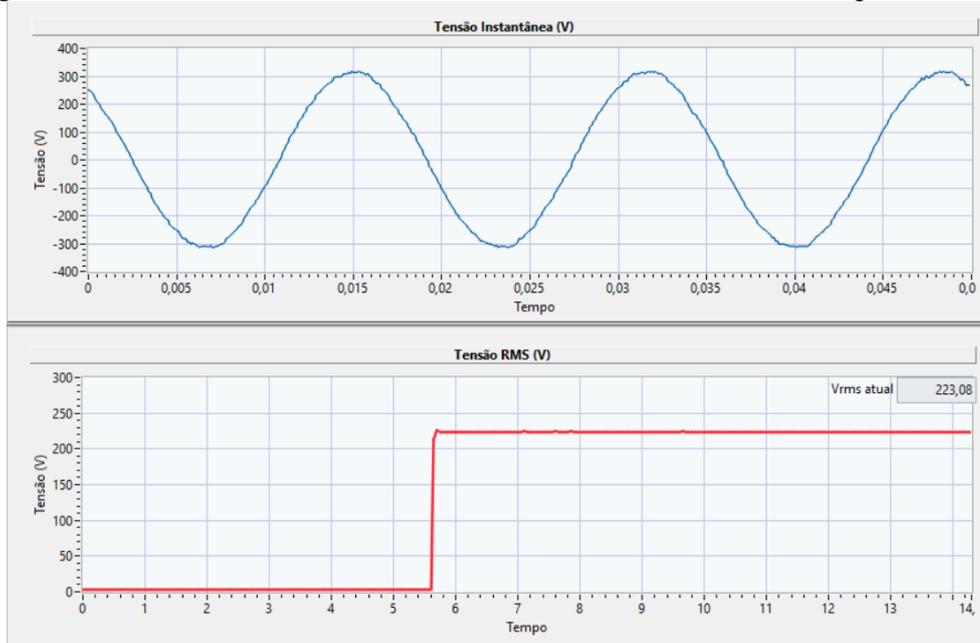


Fonte: arquivo dos autores, 2024.

A interconexão dos componentes, conforme os diagramas de potência e comando da partida direta, foi realizada de forma ágil devido às facilidades de conexão oferecidas pela bancada, projetada para fins didáticos de acionamento de motores. Através dela, qualquer alteração necessária pode ser realizada sem a necessidade de chaves de fenda, chaves Philips ou qualquer outro equipamento.

Durante todo o acionamento, o sistema de monitoramento de corrente e tensão estava em execução e permitiu a captura das respectivas ondas. No teste, foi possível observar que a tensão medida pelo programa se manteve consistentemente próxima do valor da rede, conforme evidenciado na Figura 22.

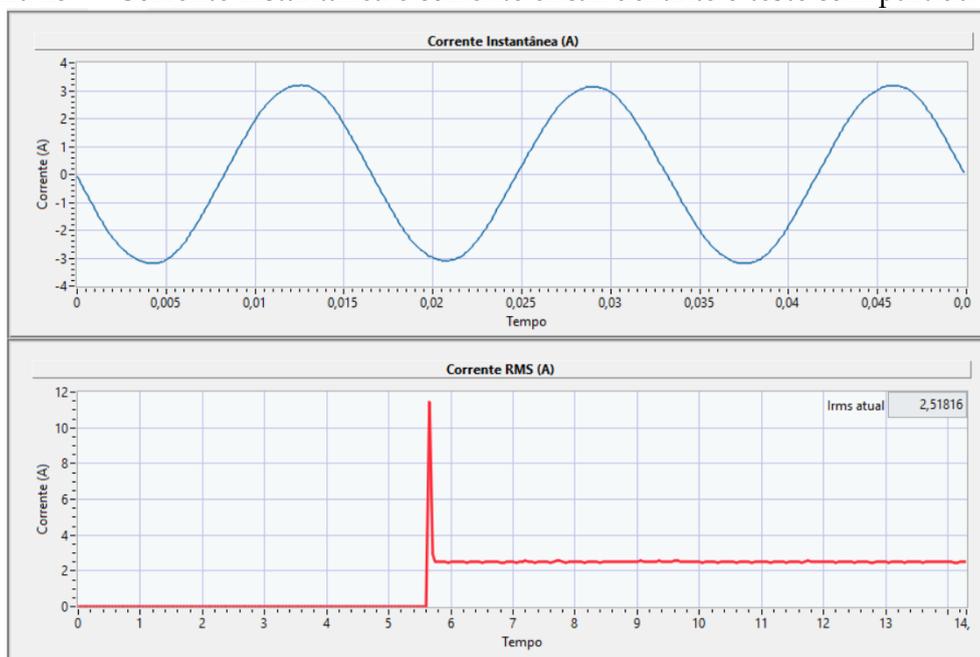
Figura 22 — Tensão instantânea e tensão eficaz durante o teste com partida direta



Fonte: dados da pesquisa, 2024.

Essa proximidade entre os valores medidos e os valores esperados demonstra a eficácia e a precisão do sistema de monitoramento de tensão implementado. Fato que também pôde ser observado nos valores de corrente, como visto na Figura 23.

Figura 23 — Corrente instantânea e corrente eficaz durante o teste com partida direta



Fonte: dados da pesquisa, 2024.

Na análise da corrente de partida do motor, observou-se que ela é aproximadamente 5 vezes maior que a corrente nominal do motor. Embora essa medida

se situe ligeiramente abaixo do valor de placa do motor elétrico ensaiado, é importante ressaltar que tal discrepância pode ser atribuída à operação a vazio do motor. Logo, entende-se que a bancada didática de acionamentos elétricos apresentou uma série de facilidades ao montar as chaves de partida e possibilitou a visualização das ondas de tensão e corrente durante o ensaio com boa precisão.

5 CONCLUSÃO

Com a montagem do projeto e com os testes realizados, foi possível constatar que a bancada pode sim ser utilizada de maneira satisfatória tanto por professores quanto por alunos, como uma forma de aprendizado ou como uma ferramenta para apresentação de projetos. O *software* utilizado também é uma parte muito importante do objetivo proposto. Seu *design* foi feito de modo a oferecer uma interface simples e intuitiva, permitindo assim que até mesmo pessoas que não possuam um conhecimento profundo possam compreender os dados coletados e mostrados.

Com as medições realizadas durante todo o projeto foi possível coletar valores muito próximos dos valores reais. Uma das principais vantagens da bancada didática é a capacidade de visualizar as formas de onda da tensão e corrente em tempo real, permitindo correlacionar teoria e prática de forma direta. Ao visualizar as formas de onda e observar como elas se comportam em diferentes condições de operação, os alunos podem consolidar conceitos teóricos abstratos, como corrente de partida, corrente nominal e características de carga do motor, com experiências práticas do mundo real.

Considerando o objetivo proposto, o projeto demonstrou um resultado satisfatório. No entanto, é importante destacar a necessidade de aprimorar o condicionamento do sinal, uma vez que este pode impactar diretamente na precisão e na confiabilidade das medições obtidas.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a expansão das funcionalidades da bancada didática para acionamentos de motores elétricos através de *softstarters* e inversores, possibilitando o estudo de técnicas de partidas eletrônicas que têm ganhado grande espaço no mercado. Além disso, recomenda-se, como estudo futuro, uma análise comparativa entre os diferentes tipos de partida, empregando a bancada implementada.

REFERÊNCIAS

AGRAZ, J.; POZOS, R. **LabVIEW based control software for finger force sensor instrumentation design**. 2013 Ieee Autotestcon, [S. l.], p.86-91, set. 2013. IEEE.

BARBOSA, R. O. **Instrumentação virtual com labview em laboratório experimental de eletrônica**. 2016. 95 f. (Trabalho de conclusão de curso de Graduação) - Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016.

BKPRECISION. **Function and Arbitrary Waveform Generator: guidebook**. BKPRECISION, 2019. 36 p.

BOTTARO, M. **Instrumentação virtual em laboratório**: introdução ao LabVIEW. São Paulo: IEE-USP, 2012. 128 p. Apostila.

CAO, Y.; CHEN, H. Research on function and design of virtual instrument based on LabVIEW Technology. **Journal Of Chemical And Pharmaceutical Research**, Henan Nanyang, v. 6, n. 6, p.1099-1104, 2014.

CARVALHO, G. **Máquinas elétricas**. São Paulo: Érica, 2007.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Porto Alegre (RS): AMGH, 2013.

COSTA, C. da. **Apostila de laboratório software LabVIEW**. São Paulo: Instituto Federal de São Paulo, 2016. 39 p. Apostila.

DIEZ, E. **The Fundamentals Of Signal Generation**. 2013. Disponível em: <https://www.electronicdesign.com/test-amp-measurement/fundamentals-signal-generation>.

ELECTRONICSNOTES. **What is a Signal Generator**: different types. Disponível em: <https://www.electronics-notes.com/articles/test-methods/signal-generators/what-is-a-signal-generator.php>.

FRANCHI, C. M. **Inversores de frequência**: teoria e aplicações. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009.

FRANCHI, C. M. **Sistemas de acionamento elétrico**. São Paulo: Érica, 2014.

HIGA, M. L.; TAWY, D. M.; LORD, S. M. An introduction to LabVIEW exercise for an electronics class. **32nd Annual Frontiers in Education**, Boston, p.13-16, set. 2002.

LIMA, A. C. S.; SILVEIRA, C. A. da; SILVA, M. S. da. **Gerador de funções senoidais monofásicas e trifásicas**. Florianópolis: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2010. 108p. (Trabalho de aluno).

LOPES, V. J. S. **Instrumentação virtual aplicada ao ensino experimental de engenharia elétrica**. 2007. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

KANG, S. *et al.* Development of a teaching experiment platform for a signal generator based on LabVIEW. **World Transactions on Engineering and Technology Education**, Harbin, v. 12, n. 2, p. 261-265, 2014.

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE ACIONAMENTOS ELÉTRICOS
APLICANDO INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL

MIN, W.; YAN, X.; YU, J. The design of virtual signal generator. **2012 Ieee International Conference On Computer Science And Automation Engineering (CSAE)**, Xi'an, v. 1, p.7-9, 2012.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Instrumentação Virtual**. 2009. Disponível em:
<http://www.ni.com/white-paper/4752/en/>.

SI, H. Design of virtual function signal generator based on sound card. **Applied Mechanics and Materials**, Zhengzhou, v. 543-547, p. 850-853, 2014.