



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDERSON PICASSO LINHARES DA SILVA

**IMPLEMENTAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM DRIVE PARA ACIONAMENTO
DE CONVERSORES CC-CC**

CARAÚBAS-RN

2023

ANDERSON PICASSO LINHARES DA SILVA

**IMPLEMENTAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM DRIVE PARA ACIONAMENTO
DE CONVERSORES CC-CC**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em engenharia elétrica.

Orientador: Antônio Alisson Alencar
Freitas, Prof. Me.

CARAÚBAS-RN

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

S586i Silva, Anderson Picasso Linhares da.
Implementação experimental de um drive para
acionamento de conversores cc-cc / Anderson
Picasso Linhares da Silva. - 2023.
74 f. : il.

Orientador: Antonio Alisson Alencar Freitas.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2023.

1. Conversor CC-CC. 2. Circuito. 3. Driver. 4.
Acionamento. I. Freitas, Antonio Alisson Alencar,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

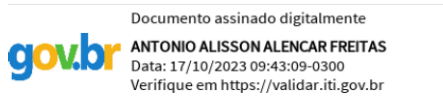
ANDERSON PICASSO LINHARES DA SILVA

**IMPLEMENTAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM DRIVE PARA ACIONAMENTO
DE CONVERSORES CC-CC**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em engenharia elétrica.

Defendida em: 11/10/ 2023.

BANCA EXAMINADORA



Antônio Alisson Alencar Freitas, Prof. Me. Presidente

FRANCISCO DE ASSIS
BRITO
FILHO [REDACTED]

Assinado de forma digital por
FRANCISCO DE ASSIS BRITO
FILHO: [REDACTED]
Dados: 2023.10.16 14:48:00 -03'00'

Francisco de Assis Brito Filho, Prof. Dr. Membro Examinador

HUGO MICHEL CÂMARA
DE AZEVEDO MAIA

Assinado de forma digital por HUGO
MICHEL CÂMARA DE AZEVEDO MAIA
Dados: 2023.10.16 14:50:50 -03'00'

Hugo Michel Câmara De Azevedo Maia, Prof. Dr. Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela força e pela perseverança que me foi dada para seguir em frente mesmo com todos os problemas e dificuldades que surgiram nesta caminhada.

Agradeço aos meus familiares que sempre esteve comigo em especial à minha mãe, Antônia Onézima e a minha avó Maria Petronila por todo apoio, à minha irmã, Monalisa Giovana e ao meu pai Antônio Jorgivan. Deixo meus agradecimentos a minha tia Maria Do carmo e aos seus filhos que me receberam com muita hospitalidade e gentileza em suas casas.

Agradeço ao meu orientador Antônio Alisson Alencar Freitas, por toda disponibilidade e paciência para comigo, estando sempre presente para aconselhar e ajudar quando necessário. Agradeço também à Banca Examinadora, Francisco de Assis Brito Filho e Hugo Michel Camara De Azevedo Maia, pela disponibilidade em avaliar meu trabalho.

Agradeço aos técnicos de laboratório Alex e Charles que me acompanharam e me auxiliaram ao longo de toda a parte prática do meu trabalho.

Aos meus amigos Lucas Amorim, Vanessa Gabriela, Matheus Thomas, Mateus Praxedes, Ellyson Jackson, Israel Jonathan, Yam Pablo, Monaliza Aparecida e Osian Soares, que estiveram por perto nessa jornada, deixo aqui o meu muito obrigado. Em especial quero agradecer a Daniel Santos, Souza Neto e Sara Cavalcante, por toda a ajuda que me deram, e pelo companheirismo em todos os momentos.

Deixo também meus agradecimentos às minhas amigas distantes, Rafaela Sousa, Stephanie Caroline, Juscélia Marcondes, Mariel Aline e Monise Marcelli, que mesmo longe continuaram acreditando e torcendo por mim. E em especial às minhas amigas Naila Nayane e Laiane Cristina pelas cobranças que me fizeram continuar produzindo mesmo nos piores momentos.

No mais, deixo meu muito obrigado a todos que contribuíram para que este momento se tornasse realidade.

“A vitalidade é demonstrada não apenas pela persistência, mas pela capacidade de começar de novo. ”

F. Scott Fitzgerald

RESUMO

Este trabalho se propõe a investigar e implementar um circuito driver destinado ao acionamento de conversores CC-CC, com o objetivo de explorar seu desempenho e funcionalidades em um ambiente prático. Para alcançar essa meta, o projeto foi dividido em etapas bem definidas. Inicialmente, foi realizada uma revisão aprofundada da teoria por trás dos conversores CC-CC. Isso incluiu o estudo das principais topologias de conversores, fundamentação para dimensionamento de componentes, baseado-se em conceitos teóricos e práticos essa fase proporcionou uma base sólida de conhecimento teórico para orientar o desenvolvimento do circuito driver. Em seguida, descreveu-se o desenvolvimento do circuito driver proposto, englobando a proposição do circuito, a seleção de componentes eletrônicos e montagem. Por meio de testes, avaliou-se o desempenho do circuito driver em duas condições sendo a primeira sem o conversor conectado e a segunda com o conversor, de modo a verificar-se os possíveis impactos do conversor no drive, além de analisar o funcionamento do circuito proposto. Os resultados obtidos foram analisados e discutidos, sendo estes satisfatórios, uma vez que o conversor pôde ser acionando e seu funcionamento apresentou comportamento dentro do que se idealizou.

Palavras-chave: Conversor CC-CC. Driver. Circuito. Acionamento.

ABSTRACT

This work proposes to investigate and implement a driver circuit designed to drive DC-DC converters with the aim of exploring its performance and functionalities in a practical environment. To achieve this purpose, the project was divided into well-defined stages. Initially, an in-depth review of the theory behind DC-DC converters was carried out, this included the study of the main converter topologies, rationale for component sizing, based on theoretical and practical concepts, this phase provided a solid base of theoretical knowledge to guide the driver circuit development. Afterwards, the development of the proposed driver circuit was described, including the circuit proposal, selection of electronic components and assembly. Through tests, the performance of the driver circuit was evaluated in two conditions, the first without the converter connected and the second with the converter, in order to verify the possible impacts of the converter on the drive, in addition to analyzing the operation of the proposed circuit. The results obtained were analyzed and discussed, which were satisfactory, since the converter could be activated and its operation presented characteristics as it was idealized.

Keywords: DC-DC Converter. Driver. Circuit. Drive

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama do circuito para o conversor buck.....	19
Figura 2: Modos de operação para o conversor buck.....	20
Figura 3: Diagrama do circuito para o conversor boost.....	23
Figura 4: Modos de operação para o conversor boost.....	24
Figura 5: Drivers Semikron Danfoss.....	27
Figura 6: Driver para acionamento de LED's.....	28
Figura 7: Driver para acionamento de motores.....	28
Figura 8: Encapsulamentos do IR2184(4).....	29
Figura 9: Diagrama de blocos funcional do IR2184.....	31
Figura 10: Encapsulamento do 6N137.....	32
Figura 11: Conexões desejadas para os testes do circuito driver.....	36
Figura 12: Ilustração do circuito driver proposto.....	37
Figura 13: Ilustração para o circuito de alimentação dos CI's.....	39
Figura 14: Logo KiCad.....	41
Figura 15: Esquemático 6N137.....	42
Figura 16: Esquemático IR2184.....	42
Figura 17: Esquemático LM7815.....	43
Figura 18: Esquemático LM7815.....	44
Figura 19: PCB desenvolvido no KiCad.....	45
Figura 20: PCB modelos 3D feito no KiCad.....	46
Figura 21: Placa após ser furada e corroída.....	47
Figura 22: Placa com os componentes soldados.....	48
Figura 23: PCB do conversor boost.....	50
Figura 24: Visão 3D do conversor boost.....	51
Figura 25: Conversor boost usado.....	52
Figura 26: Disposição dos equipamentos sem o conversor.....	53
Figura 27: Disposição dos equipamentos com o conversor.....	54
Figura 28: Montagem dos equipamentos.....	54
Figura 29: Sinal de entrada para o driver sem o conversor.....	55
Figura 30: Sinal de saída LO sem o conversor.....	56
Figura 31: Sinal de saída HO sem o conversor.....	57
Figura 32: Sinais de saída LO e HO sem o conversor.....	57

Figura 33: Entrada do LM7815 sem o conversor.....	58
Figura 34: Saída do LM7815 sem o conversor.....	59
Figura 35: Saída do LM7805 sem o conversor.....	59
Figura 36: Sinal de entrada do driver com o conversor.....	60
Figura 37: Sinal de saída LO do driver com o conversor.....	61
Figura 38: Sinal de saída HO do driver com o conversor.....	61
Figura 39: Entrada do LM7815 com o conversor.....	62
Figura 40: Saída do LM7815 com o conversor.....	63
Figura 41: Saída do LM7805 com o conversor.....	63
Figura 42: Saída do conversor boost.....	64
Figura 43: Saída para o conversor boost em zoom.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Símbolos e descrições dos pinos para o IR2184(4).....	30
Tabela 2: Símbolos e descrições dos pinos para o 6N137	33
Tabela 3: Tabela da verdade para o 6N137	33
Tabela 4: Reguladores de tensão 78XX.....	35
Tabela 5: Valores para resistores e capacitores do circuito driver.....	38
Tabela 6: Valores dos capacitores do circuito de alimentação dos CI's.....	40
Tabela 7: Larguras para trilhas de cobre em função da corrente.....	44
Tabela 8: Parametros do circuito driver.....	49
Tabela 9: Parâmetros do conversor boost.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere
BJT	Bipolar Junction Transistor
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CI	Circuito Integrado
EDA	Electronic Design Automation
GND	Ground
HO	High Output
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
LED	Light-Emitting Diode
LO	Low Output
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
PCB	Printed Circuit Board
PWM	Pulse Width Modulation V Voltagem
SPST	Single-Pole-Single-Through

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS.....	17
1.1.1 Objetivo geral.....	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 CONVERSOR BUCK.....	18
2.2 CONVERSOR BOOST.....	23
2.3 CIRCUITO DRIVER.....	26
2.3.1 Circuito integrado IR2184(4).....	29
3.3.2 Circuito integrado 6N137.....	32
3.3.3 Reguladores de tensão 78XX.....	34
3 CONSTRUÇÃO DO CIRCUITO DRIVER PROPOSTO.....	36
3.1 COMPONENTES E VALORES.....	37
3.2 KICAD.....	40
3.3 DESENVOLVIMENTO DA PCB.....	41
4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	47
4.1 TESTES REALIZADOS.....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
5.1 TESTE SEM A PRESENÇA DO CONVERSOR CC-CC.....	55
5.2 TESTE COM A PRESENÇA DO CONVERSOR.....	60
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
6.1 CONCLUSÃO.....	65
6.2 TRABALHOS FUTUROS.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

A engenharia elétrica é um campo de grande importância, estando presente em basicamente todos os lugares do mundo atual devido ser muito abrangente em suas aplicações, tendo aplicações variadas, desde sistemas de menores valores de potência como circuitos eletrônicos, presentes em eletrodomésticos, celulares, computadores, como também em sistemas com grandes valores de potência, como é o caso de sistemas de geração e transmissão de energia elétrica, que abastecem cidades inteiras e, ou ainda realizando o controle de operações de máquinas, circuito e equipamentos. Sendo o primeiro caso um exemplo do ramo da eletrônica, o segundo do ramo de potência e o terceiro do ramo de controle.

Como visto em Ahmed (2000) a engenharia elétrica pode ser dividida em três ramos, sendo eles, potência, eletrônica e controle. Porém ainda que se possa fazer essa divisão, na prática os ramos podem e vão se relacionar, gerando uma infinidade de aplicações e em alguns casos fazendo surgir ramos menores provenientes dessas uniões, como é o caso da eletrônica de potência que une a eletrônica com os semicondutores a sistemas de alta potência com seus valores elevados de tensão e corrente, e em alguns casos, tais sistemas ainda podem necessitar de um controle para um melhor funcionamento.

Com os seus primórdios no século XX, por volta de 1920, quando as primeiras aplicações começaram a surgir, envolvendo o uso de válvulas thyratrons, a eletrônica de potência deu um salto significativo somente na década de 1950 com a invenção do SCR, ou Reificador Controlado de Silício (VOLPIANO, 2016). Esse dispositivo revolucionário fez surgir novas possibilidades para eletrônica de potência, tornando-a mais viável em aplicações industriais em larga escala. Com o SCR, tornou-se possível o de

potência elétrica com maior precisão, gerando um impacto profundo em diversos setores industriais.

Com o passar do tempo e o avanço tecnológico, novos componentes e materiais inovadores foram surgindo, revolucionando as possibilidades de controle de fluxo e a eficácia de sistemas em diversas áreas. Esse progresso significativo tem sido amplamente impulsionado pelos avanços contínuos no campo dos materiais semicondutores, que desempenham um papel fundamental na fabricação de dispositivos eletrônicos cada vez mais sofisticados.

Os semicondutores são materiais que apresentam condutividade elétrica intermediária, ou seja, estes materiais podem atuar como um isolante, impedindo a passagem de corrente elétrica, ou ainda como condutor, permitindo que os elétrons passem. Atualmente os semicondutores são utilizados na fabricação de vários tipos de componentes eletrônicos, como diodos, transistores e circuitos integrados, devido a sua segurança, eficiência energética, baixo custo e compactação (HISATOMI, 2022).

Como já mencionado, a eletrônica de potência surgiu da necessidade de um controle do fluxo de energia entre dois ou mais sistemas, e utiliza componentes semicondutores. Tais componentes muitas vezes possuem o papel de “interruptores” nos sistemas em que são aplicados, realizando o chaveamento dos sistemas, controlando assim o fluxo de energia, e mantendo um alto rendimento, algo desejado dada a aplicação em altas potências (BARBI, 2005).

Assim, tem-se que a eletrônica de potência é a área da engenharia elétrica que trata da conversão e do controle de energia elétrica em altos níveis, fazendo uso de semicondutores como transistores, tiristores, diodos, etc. A eletrônica de potência está presente desde as aplicações mais simples como um retificador AC-CC, até aplicações mais complexas como

geração de energias renováveis, com a inversão e conversão de frequência (AHMED, 2000).

O chaveamento dos semicondutores para circuitos de potência podem ser feitos com auxílio de um circuito que cuidara exclusivamente deste chaveamento. Tomando como exemplo o transistor de potência, tem-se que em muitos casos a tensão para a comutação deste componente é diferente da tensão fornecida pelo sistema de controle, para casos como estes se faz uso de um circuito eletrônico que auxilie na comutação, fornecendo o nível necessário para que ela ocorra, tais circuito são denominados driver (OLIARSKI et al., 2016 apud ALVES, 2020).

O circuito driver é um dispositivo que tem finalidade de controlar a operação de outro componente ou dispositivo. O driver busca fornecer níveis desejados de tensão e corrente para o componente controlado, sem que haja perda de eficiência, e visando evitar danos que podem vir a serem causados por eventuais problemas, como sobrecorrente ou superaquecimento (LUMILANDIA, 2023).

Desta forma, pode-se notar que tais circuitos possuem grande importância, estando presentes nos mais variados sistemas, possibilitando assim um grande leque de aplicações. Os circuitos drivers são usados em acionamentos de LED's, motores, conversores, etc. Seus diferentes tipos podem se adaptar a aplicações específicas, e apesar da diversidade o intuito segue o mesmo, fornecer os níveis necessários de tensão e/ou corrente, sem que exista uma perda significativa de eficiência.

Com isto, o presente trabalho se propôs a executar o experimento de um circuito driver para conversores CC-CC, de modo que o circuito driver montado seja capaz de fornecer o sinal necessário para o chaveamento dos transistores do conversor. Uma vez que o circuito foi montado, buscou-se verificar o funcionamento do mesmo de maneira gráfica, sendo feito por meio da obtenção das ondas geradas com auxílio de um osciloscópio.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Investigar, implementar e avaliar experimentalmente um circuito driver para acionamento de conversores CC-CC, visando a compreensão de seu funcionamento, e avaliação dos resultados obtidos, de modo a se ter uma implementação funcional para aplicações posteriores do laboratório.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão abrangente da teoria por trás dos conversores CC-CC, incluindo os principais tipos e suas operações;
- Projetar o sistema de acionamento, incluindo a seleção de componentes, como transistores de potência, diodos, indutores e capacitores, além de projetar os circuitos de controle necessários para operar o conversor CC-CC;
- Realizar testes em laboratório para avaliar o funcionamento do driver desenvolvido;
- Apresentar e discutir acerca dos resultados obtidos com os testes realizados em laboratório.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

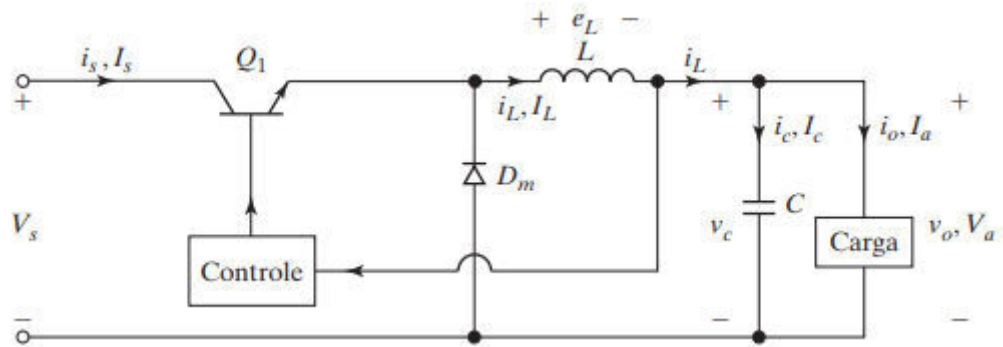
O presente capítulo buscará fornecer o embasamento necessário para entendimento os demais capítulos, fornecendo os conceitos usados ao longo do trabalho, e buscando fazê-lo de maneira clara e coesa. Assim serão apresentados os conceitos sobre conversores CC-CC, exemplificados pelos dois mais comuns (buck e boost), e ainda será apresentado algumas noções sobre os circuitos driver.

Vale ressaltar que as deduções para as fórmulas apresentadas podem ser encontradas no livro Eletrônica de potência: dispositivos, circuitos e aplicações do autor Muhammad H. Rashid, sendo está a referência escolhida para apresentar o embasamento matemático, visando padronizar as fórmulas e torna mais claras suas apresentações.

2.1 CONVERSOR BUCK

Os conversores do tipo buck tem como função reduzir a tensão, de modo que a tensão de saída será sempre menor que a tensão de entrada. Assim, pode-se resumir que, os conversores CC-CC do tipo buck tem característica de abaixadores de tensão, uma vez que processam uma tensão contínua de entrada para uma tensão contínua de menor em sua saída (carga) (BRATAWINATA, 2020).

Figura 1: Diagrama do circuito para o conversor buck



Fonte: Rashid (2014)

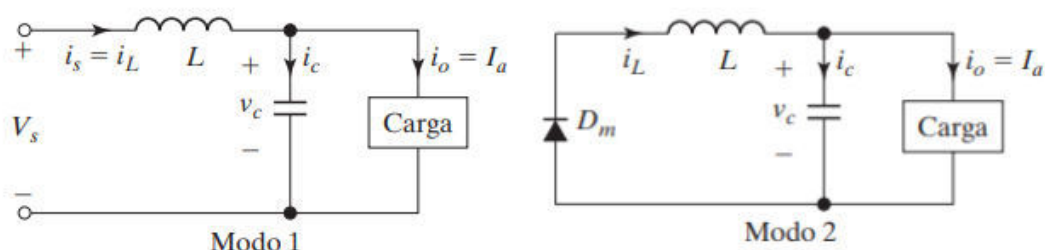
Tomando como base o circuito visto na figura 1 tem-se uma representação para o circuito do conversor buck, onde tem-se as tensões médias de entrada (V_s) e de saída (V_a), pode-se notar também a presença de um transistor Q_1 que atuará como chave controlada e o diodo D_m que será uma chave não controlada. Eles funcionarão como duas chaves bidirecionais de um polo terminal (SPST – Single-Pole-Single-Through), assim muitas vezes o circuito pode ser representado como uma chave de dois terminais (RASHID, 2014).

Tem-se ainda um capacitor e um indutor na composição do circuito, que como dito em (Bratawinata, 2020) podem ser considerados como um filtro que fornecerá para carga apenas os componentes CC desejado. Vale lembrar que a carga pode ser qualquer componente que consuma a tensão fornecida, podendo ser desde um simples resistor, até uma grande máquina ou equipamento.

No que se diz respeito a operação dos conversores Buck, tem-se dois modos. O primeiro modo de operação se inicia quando o transistor Q_1 é ligado em $t = 0$, a corrente de entrada, terá um crescimento e fluirá pelo indutor (L), pelo capacitor (C) e pelo resistor R (carga).

Já o segundo modo começa quando o transistor Q1 é desligado em $t = t_1$, de modo que o diodo (D_m) conduz devido a energia armazenada no indutor, e a corrente neste flui através de L , C , R e D_m . Esta corrente de L decrescerá até que o transistor (Q_1) seja ligado novamente no próximo ciclo (RASHID, 2014). Os modos de operações estão ilustrados na figura 2.

Figura 2: Modos de operação para o conversor buck



Fonte: Rashid (2014)

Para os conceitos vistos até então, busca-se encontrar expressões que auxiliem na obtenção de valores para os componentes e parâmetros visando um maior entendimento, assim, inicialmente relaciona-se as tensões de entrada (V_s) e de saída (V_a), de modo que:

$$V_a = k \cdot V_s \quad (1)$$

Onde pode perceber a presença de um parâmetro k , este é chamado de ciclo de trabalho, ou do inglês duty cicly. Semelhante ao que foi feito para a tensão, uma vez que se desconsidere as perdas, tem-se para as correntes de entra e saída a uma relação semelhante.

$$I_s = k \cdot I_a \quad (2)$$

Já para o período de chaveamento (T), pode-se definir a seguinte expressão.

$$T = \frac{\Delta I \cdot L \cdot V_s}{V_a \cdot (V_s - V_a)} \quad (3)$$

Com isso, pode-se definir a ondulação da corrente no indutor, também chamada de ripple de corrente, como sendo:

$$\Delta I = \frac{V_a \cdot (V_s - V_a)}{L \cdot V_s} \cdot T \quad (4)$$

Ou ainda, caso se queira relacionar a ondulação corrente no indutor com a frequência pode-se usar $T = 1/f$, e chegar a seguinte expressão.

$$\Delta I = \frac{V_a \cdot (V_s - V_a)}{L \cdot V_s \cdot f} \quad (5)$$

Desta forma pode-se determinar o valor da indutância, para que assim seja escolhido o indutor que melhor se adapte a aplicação, como mostrado nas equações 6 e 7. Uma observação importante é que o valor da ondulação para a corrente do capacitor pode variar de projeto para projeto sendo muitas vezes escolhidos valores entre 10 e 30% do valor da corrente média no indutor.

$$L = \frac{V_a \cdot (V_s - V_a)}{\Delta I \cdot V_s \cdot f} \quad (6)$$

$$L = \frac{V_a \cdot (V_s - V_a)}{\Delta I \cdot V_s} \cdot T \quad (7)$$

Semelhante ao que foi feito para a ondulação da corrente do indutor, define-se também a ondulação de tensão para o capacitor (ripple de tensão), sendo dado por:

$$\Delta V_c = \frac{V_a \cdot (V_s - V_a)}{8 \cdot L \cdot C \cdot f^2 \cdot V_s} \quad (8)$$

Pode-se expressar ainda a ondulação da tensão sem a necessidade da tensão de saída V_a .

$$\Delta V_c = \frac{V_s \cdot k \cdot (1 - k)}{8 \cdot L \cdot C \cdot f^2} \quad (9)$$

Por tanto, pode-se encontrar o valor de C isolando-o nas expressões 8 e 9, assim tem-se as expressões 10 e 11. O valor da ondulação da tensão, este é comumente considerado como 1% da tensão média no capacitor.

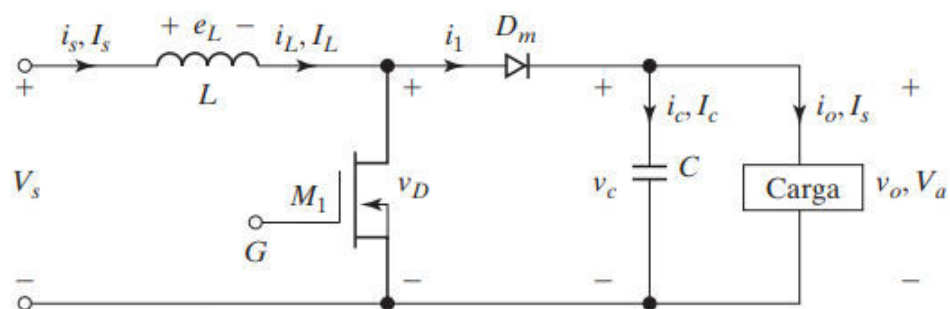
$$C = \frac{V_a \cdot (V_s - V_a)}{8 \cdot L \cdot \Delta V_c \cdot f^2 \cdot V_s} \quad (10)$$

$$C = \frac{V_s \cdot k \cdot (1 - k)}{8 \cdot L \cdot \Delta V_c \cdot f^2} \quad (11)$$

2.2 CONVERSOR BOOST

Os conversores do tipo boost, como o próprio nome deixa subtendido, tem a função de aumentar a tensão de saída. O conversor boost possui conceitos semelhantes aos vistos para o conversor buck e apresenta os mesmos tipos de componentes, porém tais componentes estão dispostos de maneira diferente dentro do circuito, como pode ser visto na figura 3.

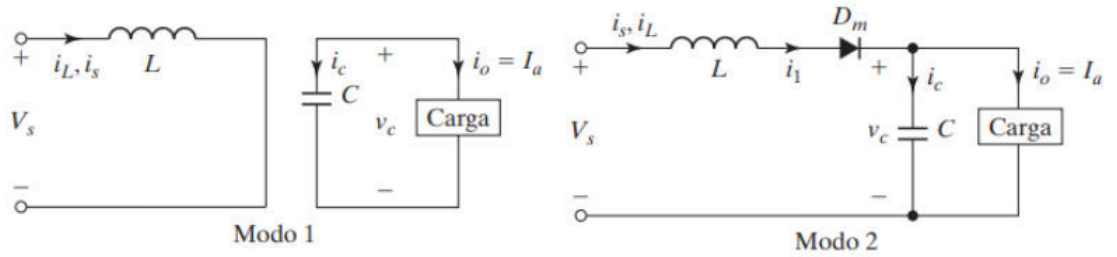
Figura 3: Diagrama do circuito para o conversor boost



Fonte: Rashid (2014)

O transistor M1 atua como uma chave controlada, enquanto o diodo Dm atua como uma chave não controlada, pode-se representar o mesmo circuito com uma chave de dois terminais no lugar de M1 e Dm. O boost possui dois modos de operação, sendo ambos mostrados na figura 4. No primeiro modo o transistor M1 começa em $t = 0$, a corrente de entrada, que cresce, flui pelo transistor e pelo indutor (L). Para o modo 2, M1 é desligado em $t = t_1$, a corrente que antes fluía pelo transistor passa a fluir por L, C, Dm e pela carga. A energia armazenada por L é transferida para a carga, enquanto a corrente no indutor cairá até que M1 seja novamente ligado (RASHID, 2014).

Figura 4: Modos de operação para o conversor boost



Fonte: Rashid (2014)

Considerando as tensões médias de entrada (V_s) e de saída (V_a), pode-se relacioná-las por meio da seguinte expressão:

$$V_a = \frac{V_s}{1 - k} \quad (12)$$

Da mesma forma como foi feito para o buck, pode-se relacionar também as correntes de entrada e saída, como visto abaixo.

$$I_s = \frac{I_a}{1 - k} \quad (13)$$

O período de chaveamento T , pode ser obtido usando a seguinte equação:

$$T = \frac{\Delta I \cdot L \cdot V_a}{V_s \cdot (V_a - V_s)} \quad (14)$$

Isolando ΔI na expressão anterior, tem-se a ondulação da corrente no indutor para o conversor boost.

$$\Delta I = \frac{V_s \cdot (V_a - V_s)}{L \cdot V_a} \cdot T \quad (15)$$

Ou ainda, sabendo que $T = 1/f$, pode reescrever a expressão da ondulação da corrente no indutor como sendo:

$$\Delta I = \frac{V_s \cdot (V_a - V_s)}{L \cdot V_a \cdot f} \quad (16)$$

A exemplo do que foi dito para o conversor buck, pode-se obter o valor L usando a frequência (f) isolando-o na expressão 16 e usando o período (T) na expressão 15, e sabendo que o valor de ΔI , para termos de projeto, é muitas vezes considerado como sendo um valor de 10 a 30% da corrente média no indutor.

$$L = \frac{V_s \cdot (V_a - V_s)}{\Delta I \cdot V_a \cdot f} \quad (17)$$

$$L = \frac{V_s \cdot (V_a - V_s)}{\Delta I \cdot V_a} \cdot T \quad (18)$$

A ondulação da tensão para o capacitor, é obtida por meio da seguinte expressão, sendo a equação 19 por meio de T e 20 por meio de f .

$$\Delta V_c = \frac{I_a \cdot (V_a - V_s)}{V_a \cdot C} \cdot T \quad (19)$$

$$\Delta V_c = \frac{I_a \cdot (V_a - V_s)}{V_a \cdot C \cdot f} \quad (20)$$

Para que se tenha o valor da capacitância C, pode-se considerar o ripple da tensão como sendo 1% da tensão média no capacitor, assim, tendo isolado C nas expressões anteriores, tem-se as expressões 21 e 22:

$$C = \frac{I_a \cdot (V_a - V_s)}{V_a \cdot \Delta V_c} \cdot T \quad (21)$$

$$C = \frac{I_a \cdot (V_a - V_s)}{V_a \cdot \Delta V_c \cdot f} \quad (22)$$

2.3 CIRCUITO DRIVER

As aplicações de conversores que fazem uso de transistores apresentam a necessidade de circuitos auxiliares, podendo ser fontes lineares, condicionadores de sinais, circuitos microcontrolados e drivers, dentro os exemplos citados, o driver possui bastante relevância, uma vez que possibilita a alimentação necessária para a comutação de transistores de potência, além de fornecer uma isolamento galvânica entre os transistores e os sinais de entrada (SEMIKROM, 2013 apud OLIARSKI et al., 2016).

Em Lumilândia (2023) é dito que o driver é um dispositivo ou circuito eletrônico que tem finalidade de controlar a operação de outro componente ou dispositivo, sendo usado para fornecimento de corrente e tensão necessárias para operação de um componente qualquer, podendo ser LEDs, motores, displays ou semicondutores. O driver busca garantir que o componente controlado opere da maneira desejada, sem que haja perda de eficiência, de modo a evitar danos, como sobrecorrente ou superaquecimento. Estes dispositivos ou circuitos, podem ainda ajustar a

corrente elétrica para níveis desejados, visando manter os valores dentro dos especificados pelos componentes.

Em resumo o circuito driver tem por finalidade fornecer a tensão para comutação dos semicondutores, sendo responsáveis por regular os valores de tensão e corrente para os níveis exigidos pelos transistores de potência, além de gerar proteção contra curto-circuito (BASCOPE et al., 2013 apud ALVES, 2020).

Figura 5: Drivers Semikron Danfoss



Fonte: Semikron Danfoss (2023)

Existem vários tipos de drivers para diferentes aplicações, podendo ser usados para acionamentos de diversos sistemas e equipamentos, dentre eles tem LED's, motores, etc. Para o caso do LED's, os circuitos drivers usados são responsável por fornecer as condições de operação do LED, realizando o controle do valor e formato da corrente de alimentação, de modo que o dispositivo não tenha seus limites de operação ultrapassados, tanto para o nível de distorção harmônica contido na corrente de entrada do sistema, quanto o fator de potência do mesmo (KOHLE, 2021).

Figura 6: Driver para acionamento de LED's



Fonte: Aureon (2023)

Já os drivers de motores são circuitos eletrônicos que controlam os níveis de corrente e a tensão que serão enviadas para o motor elétrico, este equipamento fornece o valor necessário para que o motor opere com sua máxima capacidade, permitindo um funcionamento preciso e eficaz (MATTEDE, 2022).

Figura 7: Driver para acionamento de motores



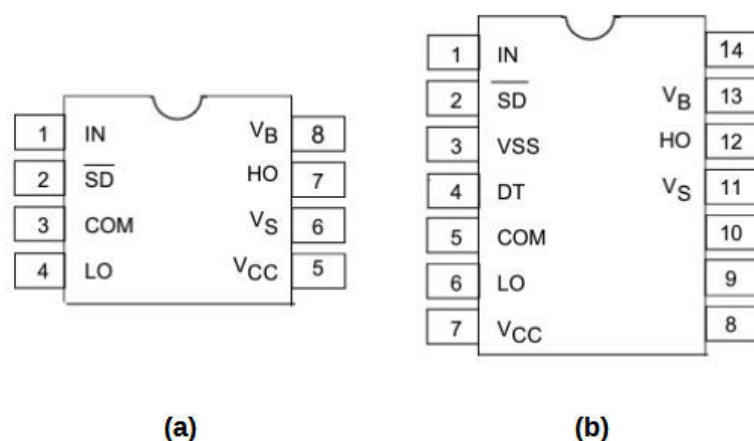
Fonte: Adaptado de Mattede (2022)

Para que se realize o desenvolvimento do circuito driver proposto no presente trabalho fez-se necessário o uso de diversos componentes, como CI's, transistores, diodos, resistores, capacitores, além de equipamentos como gerador de função, osciloscópio, fonte de tensão que serão usados na realização de testes para verificação do funcionamento do circuito driver. Com isto, os seguintes subtópicos apresentarão alguns dos dispositivos usados no desenvolvimento do circuito, sendo apresentados os dispositivos mais específicos, visando uma maior compreensão do circuito.

2.3.1 Circuito integrado IR2184(4)

Para a montagem do circuito driver utilizou-se diversos componentes, dentre estes o componente de maior destaque no circuito driver proposto no presente trabalho é, sem dúvida, o CI driver IR2184, sendo este uma peça central na montagem e no funcionamento do circuito, sendo este um dos modelos presente na família IR2184(4).

Figura 8: Encapsulamentos do IR2184(4)



Fonte: International Rectifier (2006)

Como visto em International Rectifier (2006) os circuitos integrados IR2184(4) são drivers com foco em acionamento de MOSFET's de alta tensão (600 V) e alta velocidade, estes CI's possuem um canal para acionamento de MOSFET tanto para o lado alto quanto para o MOSFET no lado baixo, possui ainda uma entrada PWM que fornece proteções internas contra subtensão, curto – circuito e sobretensão, sendo compatível com sinais de até 3.3 V (apud ALVES, 2020).

A figura 8 presente no data sheet do componente ilustra os tipos de CI's driver que compõe a família IR2184(4). Como visto na figura 8 estes CI's podem ser encontrados com oito ou com dezesseis pinos, sendo respectivamente chamados de IR2184, figura 8 (a) e IR21844, figura 8 (b). Em Alves (2020) é explicado que a diferença entre os modelos IR2184 e o modelo IR21844 está no acrescimo dos pinos VSS e DT nos modelos IR21844, sendo estes pinos são receptivamente o terra digital e o regulador para o ajuste do tempo morto entre o sinal de saída e o sinal de entrada.

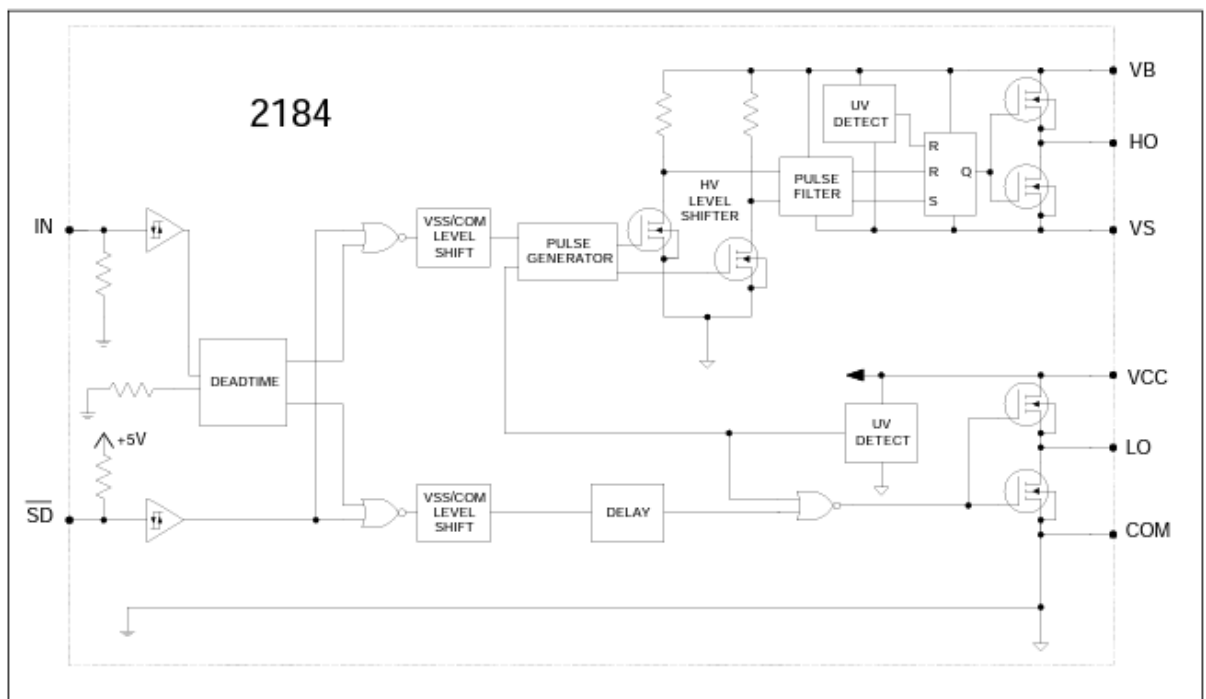
Tabela 1: Símbolos e descrições dos pinos para o IR2184(4)

Símbolo	Descrição
IN	Entrada lógica para saídas de HO e LO. Referenciado a COM para IR2184 e VSS para IR21844
SD	Entrada lógica para desligamento
DT	Controle de tempo morto
VSS	Terra digital
V _B	Alimentação flutuante para o lado alto
HO	Saída do driver para a porta do MOSFET do lado alto
V _S	Retorno para alimentação flutuante do lado alto
VCC	Entrada de alimentação do CI
LO	Saída do driver para a porta do MOSFET do lado baixo
COM	Retorno do lado baixo

Fonte: Adaptado de International Rectifier (2006)

Uma outra visão que pode-se observar o CI driver IR2184 é por meio do seu diagrama de blocos funcional, que traz a ilustração da visão interna do CI, por meio de um diagrama de blocos, como visto na figura 9. Dois blocos interessantes de serem observados no diagrama apresentado, são os blocos de “Deadtime” ou “tempo morto”, que tem como função atrasar o acionamento dos canais HO ou LO enquanto seu dual está desligando, tendo como intuito evitar curto-circuito em um eventual uso de ambos os canais no mesmo circuito, e o bloco de “UV detect” (undervoltage detect) ou “detector de subtensão, que realiza a proteção contra subtensão e desaturação do transistor, este bloco desligará o circuito sempre que a tensão porta-fonte for menor que a necessária para realizar o acionamento da chave MOSFET (ALVES, 2020).

Figura 9: Diagrama de blocos funcional do IR2184

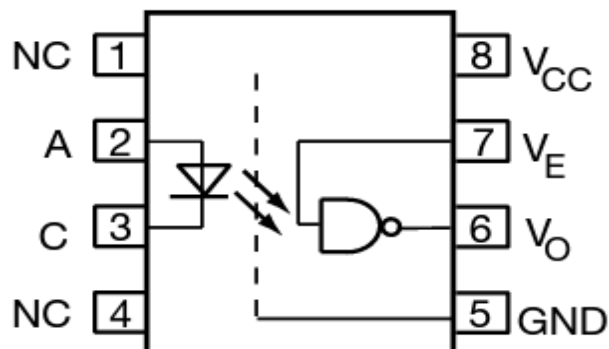


Fonte: International Rectifier (2006)

3.3.2 Circuito integrado 6N137

Um outro CI utilizado na construção do circuito driver utilizado neste trabalho é o 6N137, um optoacoplador, que como visto na descrição do componente presente na folha de dados do fabricante (data sheet) e reforçado por Alves (2020), o 6N137 é um CI que possui um canal único de alta velocidade, e apresenta em sua entrada LED (Light Emitting Diode) de alta eficiência acoplado a um detector óptico baseado em fotodiodo, garantindo assim uma saída isolada, e com uma defasagem em 180° em relação a entrada (apud VISHAY, 2016).

Figura 10: Encapsulamento do 6N137



Fonte: Vishay (2016)

A exemplo do que foi feito para o IR2184, organizou-se os pinos do 6N137 em uma tabela, de modo a descrever a função de cada um dos pinos, como visto na tabela 2. Pode-se observar que os pinos 1 e 4 não possuem conexão, desta forma, estes não exercem nenhuma função elétrica ou eletrônica no CI.

Tabela 2: Símbolos e descrições dos pinos para o 6N137

Símbolo	Descrição
NC	Não conectado
A	Ânodo do LED
C	Cátodo do LED
NC	Não conectado
VCC	Alimentação do CI
VE	Controla o sinal de saída de Vo
VO	Sinal de saída do CI
GND	Pino de terra do CI

Fonte: Autoria própria (2023)

Na tabela 2, nota-se que o pino 7 (VE) exerce uma influência direta no valor do pino 6 (VO), desta forma ainda na folha de dados do CI, encontra-se a tabela da verdade, que relaciona os valores dos pinos 2, 6 e 7 com base em seus valores lógicos, esta relação pode ser vista na tabela 3.

Tabela 3: Tabela da verdade para o 6N137

LED	VE	VO
on	1	0
off	1	1
on	0	1
off	0	1
on	NC	0
off	NC	1

Fonte: Adaptado de vishay (2016)

Tendo como base os valores da tabela 3, pode-se notar que o valor do LED pode se relacionar com o valor de saída, tendo como condição o valor de VE. Nota-se ainda que se VE é 1, o valor de saída de VO será contrário ao valor visto no LED, caso VE seja 0, o valor do LED não influencia na saída, uma vez que esta terá sempre um nível lógico alto. Já para o caso em que o pino 7 não está conectado (está flutuando) o valor do pino 6 será o mesmo visto no LED.

3.3.3 Reguladores de tensão 78XX

Os reguladores de tensão são dispositivos que possuem a função de fornecer uma tensão de saída constante, independentemente das variações de tensão de entrada ou da corrente consumida pela carga alimentada, para isto é necessário que o consumo esteja dentro dos limites projetados. O uso desses componentes se dá devido à necessidade de que os circuitos eletrônicos necessitam de uma faixa de tensão apropriada para que funcionem da maneira esperada, assim é de grande importância que a tensão de alimentação seja a mais estável possível para que esteja sempre dentro da faixa necessária (SILVA, 2021).

Existem diversos tipos de reguladores de tensão no mercado, dentre quais Wendling (2009) destaca os CI da série 78XX e 79XX, sendo respectivamente reguladores de tensão positiva e negativa. Uma diferença significativa entre as séries está nos pinos 1 e 2 que são trocados, assim para os reguladores 78XX tem-se a entrada no pino 1 e o comum no pino 2, e já para o 79XX tem-se o pino 1 conectado no comum e o pino 2 conectado a entrada.

Para o presente trabalho foram utilizados reguladores de tensão da série 78XX, portanto é interessante analisar alguns aspectos elétricos desse grupo de componentes, a tabela 4 traz informações sobre as tensões de entrada e de saída e ainda sobre a corrente de saída.

Tabela 4: Reguladores de tensão 78XX

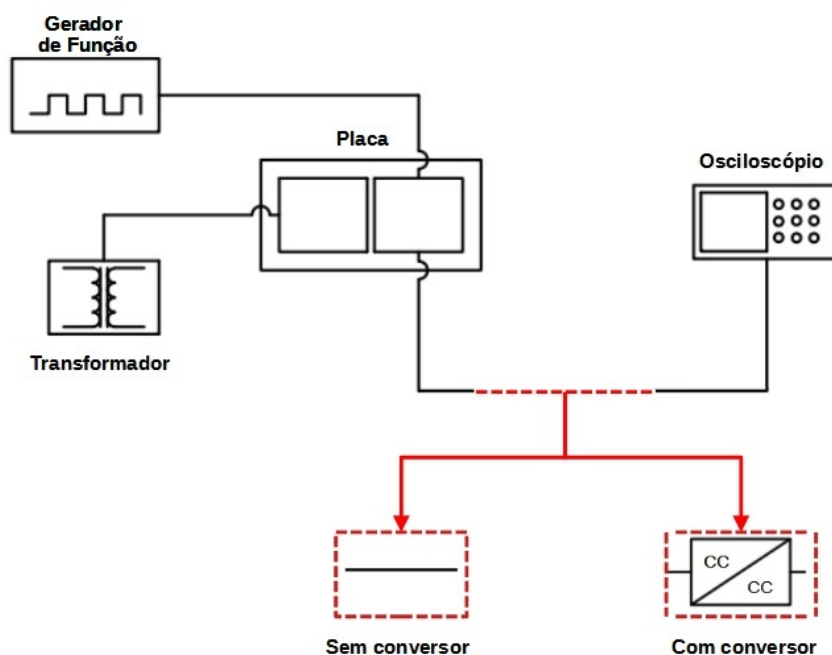
Código	Tensão máxima aplica na entrada	Tensão de saída regulada	Corrente máxima da saída
7805	35 V	5 V	1 A
7806	35 V	6 V	1 A
7810	35 V	10 V	1 A
7812	35 V	12 V	1 A
7815	35 V	15 V	1 A
7818	35 V	18 V	1 A
7824	40 V	24 V	1 A

Fonte: Adaptado de Wendling (2009)

3 CONSTRUÇÃO DO CIRCUITO DRIVER PROPOSTO

O presente capítulo tratará sobre os detalhes da construção do circuito driver proposto, apresentando os esquemáticos e os valores de seus componentes, abordando a parte computacional da PCB. Tais detalhes serão apresentados por meio de ilustração com figuras que auxiliarão no entendimento do processo de concepção e montagem da placa, além de apresentar previamente a montagem dos dispositivos utilizados para validar o funcionamento do circuito driver por meio de testes, sendo esta montagem vista a seguir, exemplificada na figura 11.

Figura 11: Conexões desejadas para os testes do circuito driver



Fonte: Autoria própria (2023)

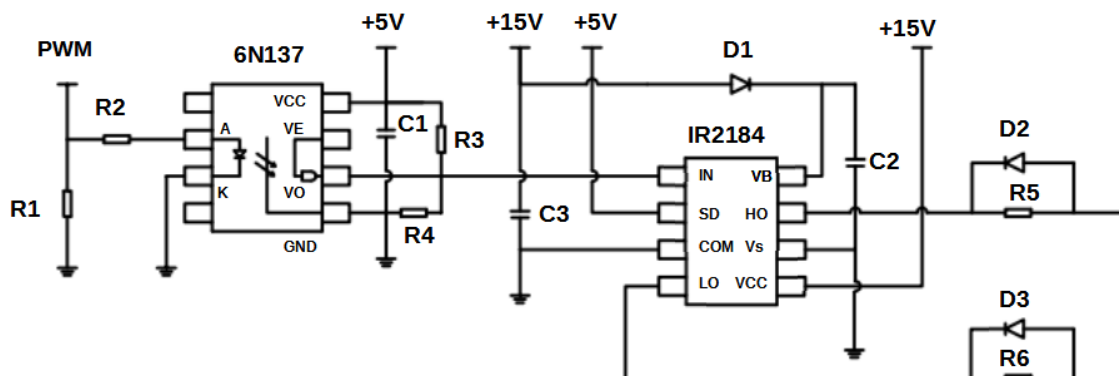
O processo desejado para a montagem dos equipamentos junto a placa desenvolvida pode ser observada por meio da ilustração da figura 11. Destaca-se duas organizações, a linha tracejada indica as possíveis ligações, de modo que, o

primeiro caso não existem dispositivos entre a placa e o osciloscópio, já no segundo o conversor é conectado ao circuito driver recebendo o sinal necessário para seu acionamento da placa, e tendo seu sinal de saída observado pelo osciloscópio.

3.1 COMPONENTES E VALORES

Uma vez que os componentes foram apresentados, bem como as noções básicas, pode-se apresentar o circuito de driver proposto para a montagem. A figura 12 ilustra a topologia do driver, trazendo as anotações, os valores de alimentação necessária e o modo como os componentes devem ser conectados.

Figura 12: Ilustração do circuito driver proposto



Fonte: Autoria própria (2023)

Em relação ao funcionamento do circuito visto na figura 12, percebe-se à necessidade de um sinal PWM, que será conectado ao optoacoplador por meio do resistor de R1, tem-se ainda que o resistor R2 será um limitador de corrente. Também possível perceber que os pinos 6 (VO) do 6N137 está conectado ao pino 1 (IN) do IR2184, é interessante destacar que o sinal de saída no 6N137 é invertido em relação ao sinal PWM fornecido, contudo o sinal de saída do IR2184 será

semelhante ao do sinal PWM em HO e oposto em LO, uma vez que o pino 2 deste componente está alimentando em 5V, o que fará com que o sinal de saída seja defasado em 180° em relação ao sinal de entrada.

Em relações aos capacitores, tem-se que C1 e C3 possui a função de filtrar as tensões de alimentação, enquanto C2 é um capacitor de bootstrap. Já os resistores R3 e R4, tem função semelhante à de R1 e R2, contudo enquanto R1 é um resistor de pull-down, R3 é um resistor de pull-up. Por fim, R5 e R6 funcionam de modo a auxiliar o tempo de ativação do transistor.

Dados os componentes visto na figura 12, podem ser encontrados na tabela 5, onde tem-se os valores para os resistores e capacitores a serem utilizados na construção do circuito. Vale lembrar que os diodos usados foi do tipo 1N4007, devido a sua facilidade de obtenção e por atenderem a aplicação.

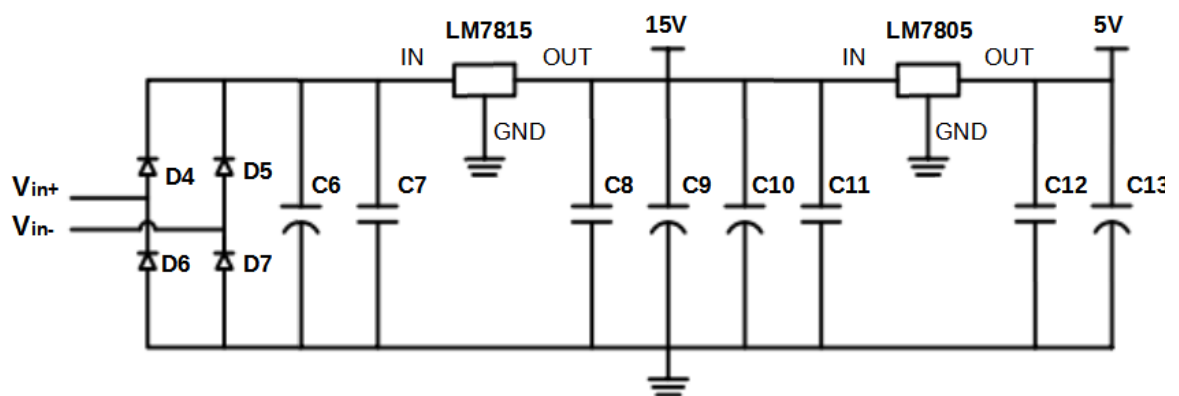
Tabela 5: Valores para resistores e capacitores do circuito driver

Componentes	Símbolo	Valor
Resistores	R1	1 kΩ
	R2	10 kΩ
	R3	1 kΩ
	R4	2 kΩ
	R5	10 kΩ
Capacitores	R1	10 kΩ
	C1	100 nF
	C2	2,2 μF
	C3	2,2 μF

Fonte: Autoria própria (2023)

Para que os CI's sejam alimentados com a tensão necessária, é preciso que a placa conte com uma parte de alimentação, que receberá 24 V vindo de um pequeno transformador, e por meio do retificador e dos reguladores de tensão gerará as tensões de 15 V e 5 V, sendo respectivamente as tensões necessárias para o IR2184 e o 6N137. A figura 13 ilustra o circuito de alimentação proposto.

Figura 13: Ilustração para o circuito de alimentação dos CI's



Fonte: Autoria própria (2023)

Além dos reguladores de tensão LM7815 e LM7805, é preciso definir-se os demais componentes, assim os diodos usados são todos 1N4007, sendo um diodo retificador muito comum, já os valores dos capacitores estão dispostos na tabela 6, como visto a seguir.

Tabela 6: Valores dos capacitores do circuito de alimentação dos CI's

Símbolo	Valor
C6	470 μ F
C7	100 nF
C8	100 nF
C9	10 μ F
C10	10 μ F
C11	100 nF
C12	100 nF
C13	10 μ F

Fonte: Autoria própria (2023)

3.2 KICAD

Desenvolvido por Jean-Pierre Charras. o KiCad é um software de código aberto para a automação de projetos eletrônicos, ou do inglês Electronic Design Automation, comumente visto como a sigla EDA. Este software visa tornar mais simples os diagramas de circuitos elétricos e eletrônicos, além do desenvolvimento de placa de circuito impresso (PCB). Entre suas ferramentas, o KiCad conta com ambiente integrado para captura e layout de esquemáticos da placa de circuito impresso, além de visualizações 2D e 3D do PCB e seus componentes (BRITO, 2021).

Dentre os muitos motivos para o uso desta plataforma destacam-se o fato dele ser gratuito e ter uma baixa exigência da máquina, sua disponibilidade para todos os sistemas operacionais, possui um grande número de componentes mesmo

em sua biblioteca padrão, além dos recursos voltados para prototipagem contando com ferramentas para edição e criação de footprint (PETEEL, 2020).

Figura 14: Logo KiCad



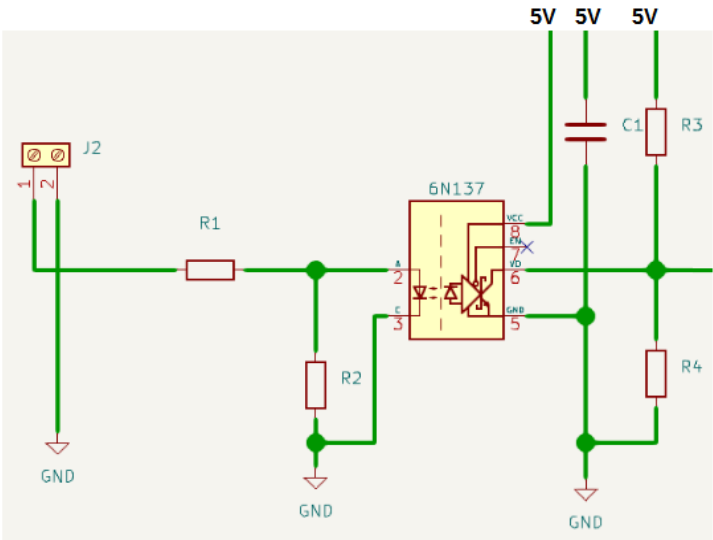
Fonte: KiCad (2023)

3.3 DESENVOLVIMENTO DA PCB

Para a realização da montagem de uma placa de circuito impresso, ou do inglês Print Circuit Board (PCB), é necessário antes se entender o circuito a ser montado, definir os componentes, montar de maneira virtual a placa com auxílio de algum programa e só então a parte mais prática poderá ser iniciada. Em capítulos anteriores foram apresentados os detalhes acerca do circuito e definidos os valores dos componentes.

Inicialmente fez-se necessário a montagem de um esquemático, o programa escolhido (KiCad), sendo uma plataforma gratuita e de uso simples que atendeu as necessidades do projeto. O esquemático nada mais é do que a montagem básica do circuito, onde define-se as ligações entre os componentes, sejam elas com fontes, terra ou entre um componente e outro. A figura traz a parte de esquemático que cerca o 6N137.

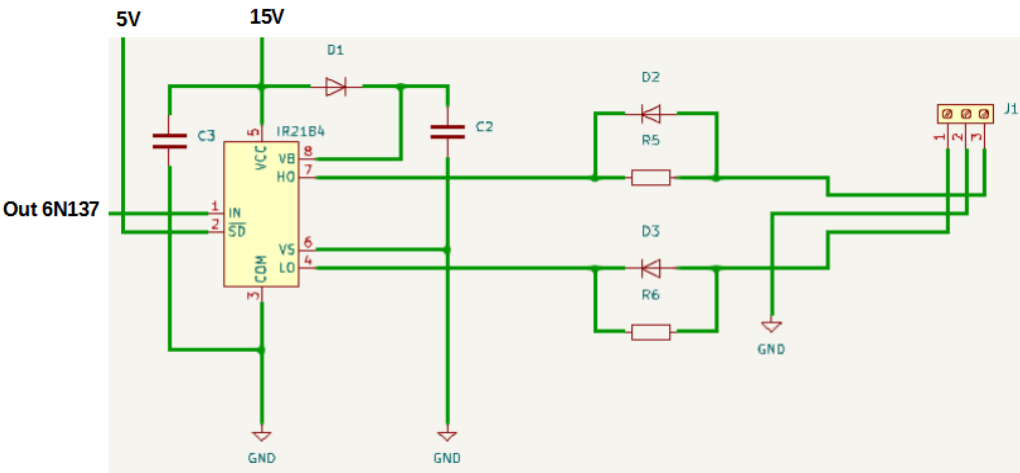
Figura 15: Esquemático 6N137



Fonte: Autoria própria (2023)

O esquemático segue com os componentes que cercam o IR2184, sendo a entrada deste conectado diretamente com a figura anterior, como visto a seguir. Desta forma a figura 16 contém a parte do esquemático com o CI driver usado.

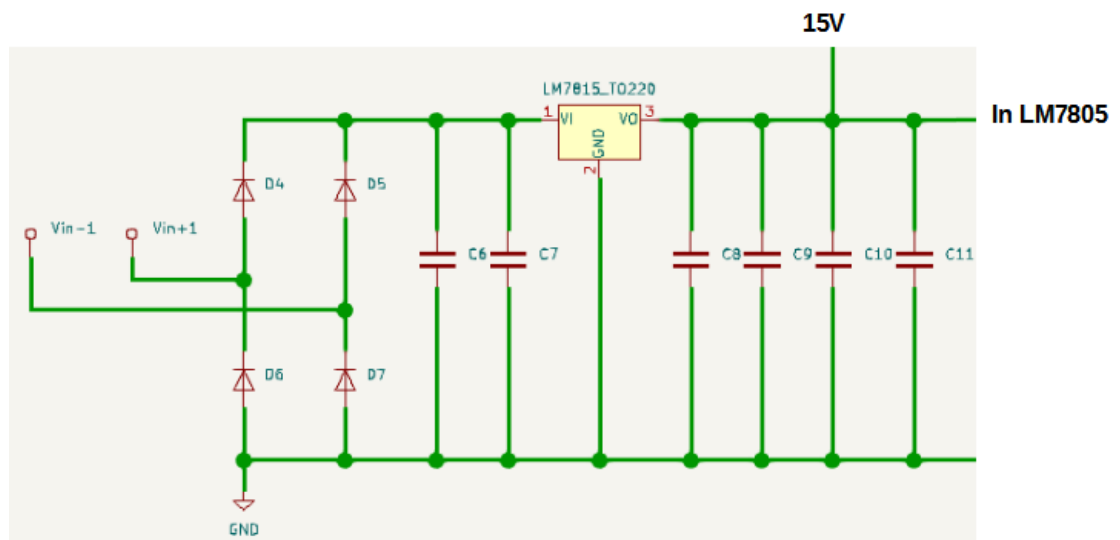
Figura 16: Esquemático IR2184



Fonte: Autoria própria (2023)

Uma vez que a placa precisará contar com todos os componentes necessário para o funcionamento do circuito driver, o esquemático deverá contar também com a alimentação dos componentes, deste modo, o mesmo esquemático conta ainda com a ponte retificadora e os reguladores de tensão, sendo o primeiro para 15 V e o segundo para 5 V, estes proverão para os CI a tensão que estes necessitam, a figura 17 mostra a parte do esquemático para o LM7815.

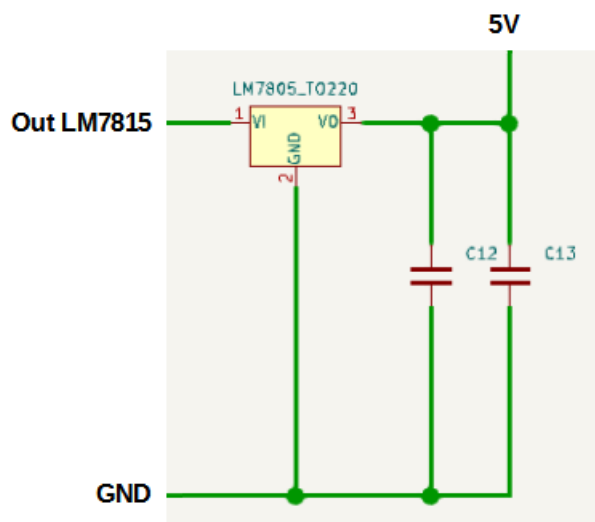
Figura 17: Esquemático LM7815



Fonte: Autoria própria (2023)

Para a parte de alimentação, o esquemático segue com o LM7805 que fornecerá a tensão de 5V, como visto na figura 18.

Figura 18: Esquemático LM7815



Fonte: Autoria própria (2023)

Uma vez que o esquemático está pronto, pode-se partir para a montagem do PCB, o KiCad conta com a função de desenvolver o PCB a partir do esquemático, contudo as conexões das trilhas e seus valores de espessura e espaçamentos precisa ser bem definido, seguindo certas recomendações para que o desempenho do circuito não seja comprometido, para isto, usou-se a tabela 7.

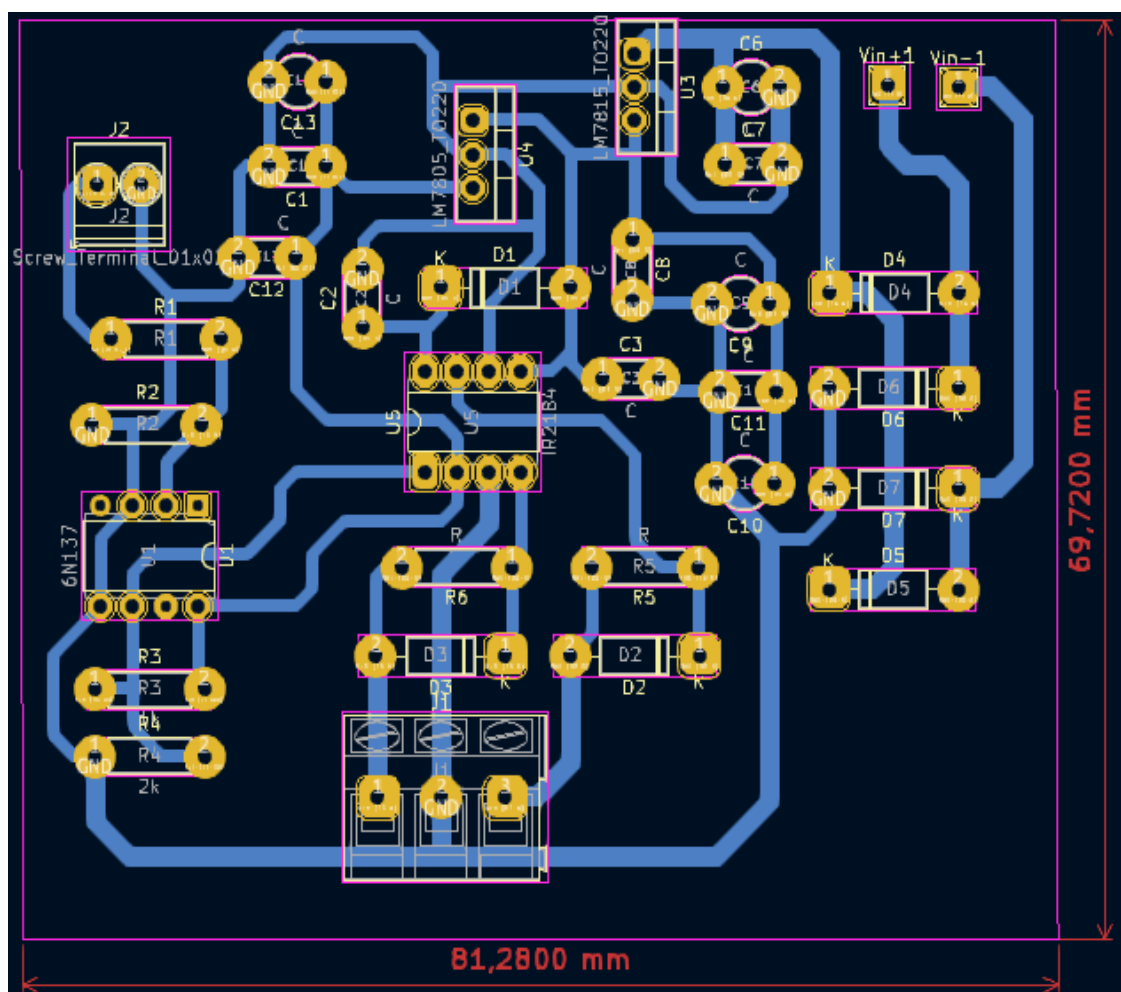
Tabela 7: Larguras para trilhas de cobre em função da corrente

Largura das trilhas (mils)	Corrente (A) [1 oz]	Corrente (A) [2 oz]
5	0,5	0,7
10	0,8	1,4
20	1,4	2,2
30	1,9	3,0
50	2,5	4,0
100	4,0	7,0

Fonte: Lima; Villaza (2010)

É interessante observar que a tabela traz as informações em mils, onde 1 mils equivale a 0,0254 mm, desta forma as trilhas utilizadas tinham espessuras de 1,5 mm se fossem de alimentação, e 1 mm se fossem de sinal. Com isto a PCB feita no KiCad ficou como ilustrado na figura 19.

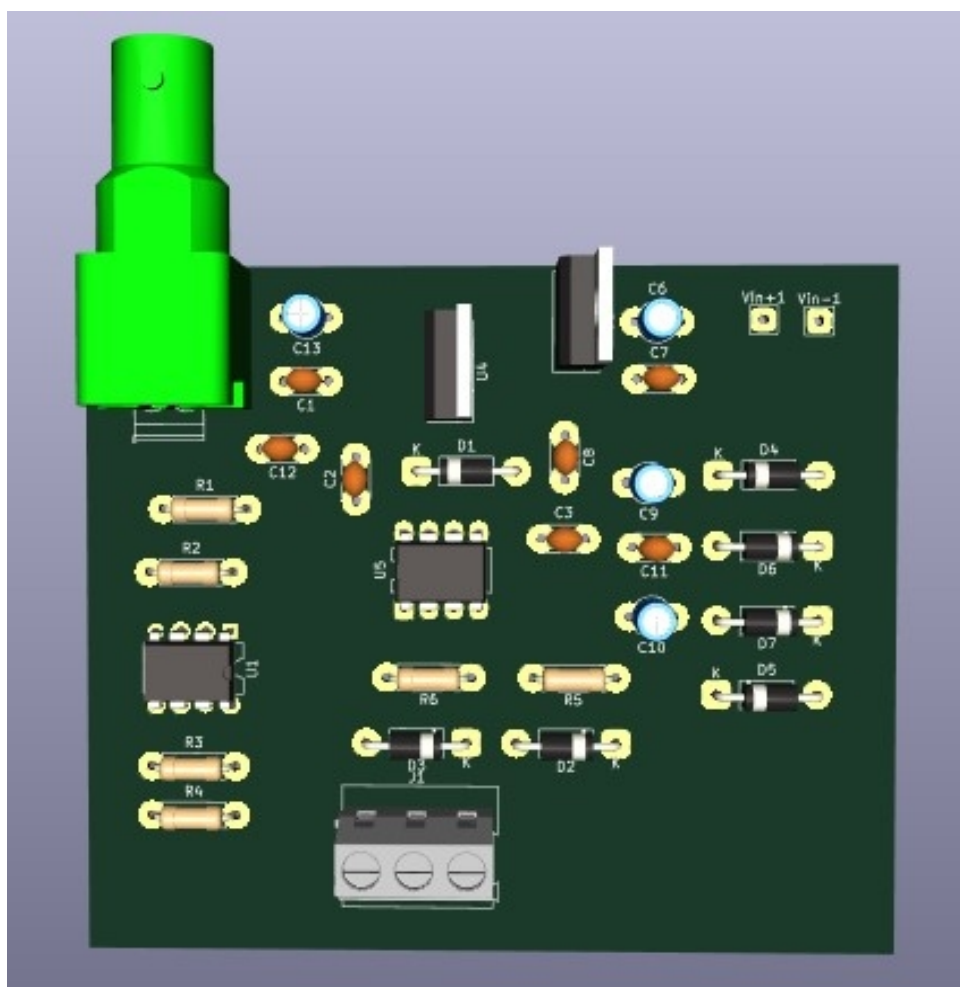
Figura 19: PCB desenvolvido no KiCad



Fonte: Autoria própria (2023)

Uma outra forma de visualizar o pretejo desenvolvido é por meio da função de visualização 3D fornecida pelo KiCad, esta função é interessante para de ter uma noção de como o projeto ficará após a montagem, e ainda sobre o tamanho e a posição dos componentes ao longo da placa, desta forma a figura 20 apresenta a placa em visualização 3D.

Figura 20: PCB modelos 3D feito no KiCad



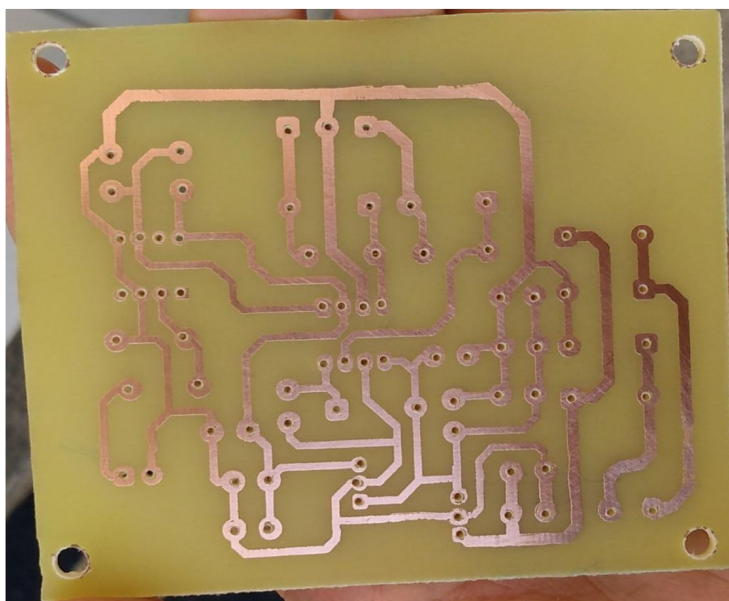
Fonte: Autoria própria (2023)

4 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Após o término da PCB no programa, pode-se imprimir a placa, uma vez que processo escolhido para realização da placa foi a corrosão, torna-se necessário realizar a impressão da placa a laser. Com a impressão pronta, prepara-se uma placa de fenolite, que será cortada em um tamanho um pouco maior que a impressão, a placa mostrada na figura 19 que tem dimensões 8,1cmx7cm. Após o corte, a placa deve ser raspada com uso de uma lâ de aço e em seguida limpa com detergente.

Uma vez que a placa está limpa, a impressão pode ser passada para a mesma. Com o auxílio de um ferro de passar roupa a impressão é pressionada sobre a placa, este processo fará com que a tinta da impressão passe para a placa de fenolite, o processo pode levar alguns minutos. Após retirar o papel pode-se lavar com água a placa e passá-la pelo processo de corrosão.

Figura 21: Placa após ser furada e corroída

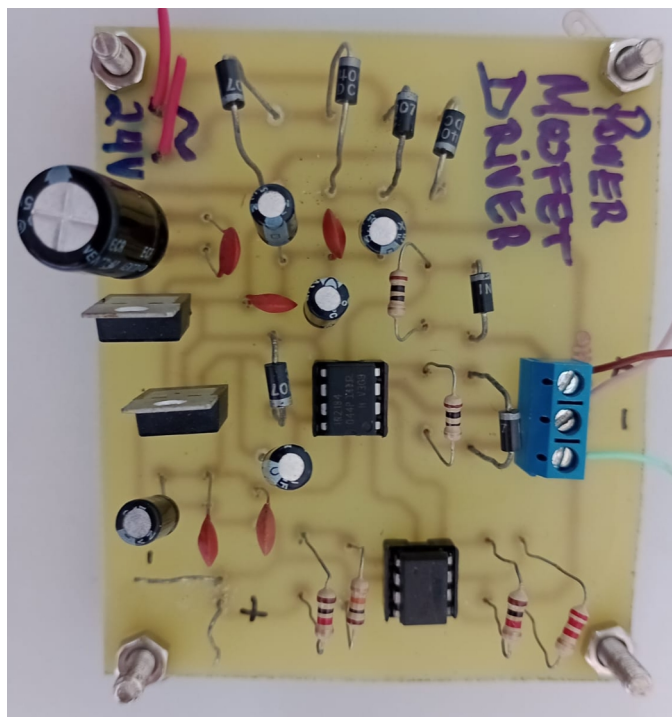


Fonte: Autoria própria (2023)

Para corroer a placa usa-se percloroeto de ferro. Em um recipiente que consiga cobrir a placa adicionou-se o percloroeto de ferro e em seguida mergulhou-se a placa, uma forma de acelerar o processo de corrosão é por meio do movimento da placa, assim, pode-se furar um pequeno buraco na placa e prender um barbante para se realizar o movimento da placa durante a corrosão.

Após a corrosão o que restará é apenas as trilhas de cobre cobertas pela tinta da impressão, portanto, a placa deverá ser novamente lavada para remoção da tinta, de modo a deixar apenas as trilhas de cobre prontas para serem furadas. Para furar os PAD's (pontos onde os componentes serão soldados) utilizou-se uma broca de 1 mm, sendo esta a menor disponível no laboratório, sabendo disso é válido citar que os PAD's da PCB foram aumentados manualmente para que seus tamanhos não fossem tão próximo do da broca reduzindo as chances de danos aos PAD's.

Figura 22: Placa com os componentes soldados



Fonte: Autoria própria (2023)

Com isto a placa teve os componentes soldados, de modo a deixá-la pronta para a realização dos testes como visto na figura 22. Vale ressaltar que a figura não conta com o transformador, que foi soldado logo após, que como já mencionado, é necessário para alimentar o driver com a tensão de alimentação necessária de 24 V.

Para a realização dos testes usou-se os parâmetros vistos na tabela 8, a tabela traz também os valores dos componentes usados na montagem do circuito driver, com o intuito de resumir e ilustrar melhor os materiais usados e os parâmetros estabelecidos durante o processo.

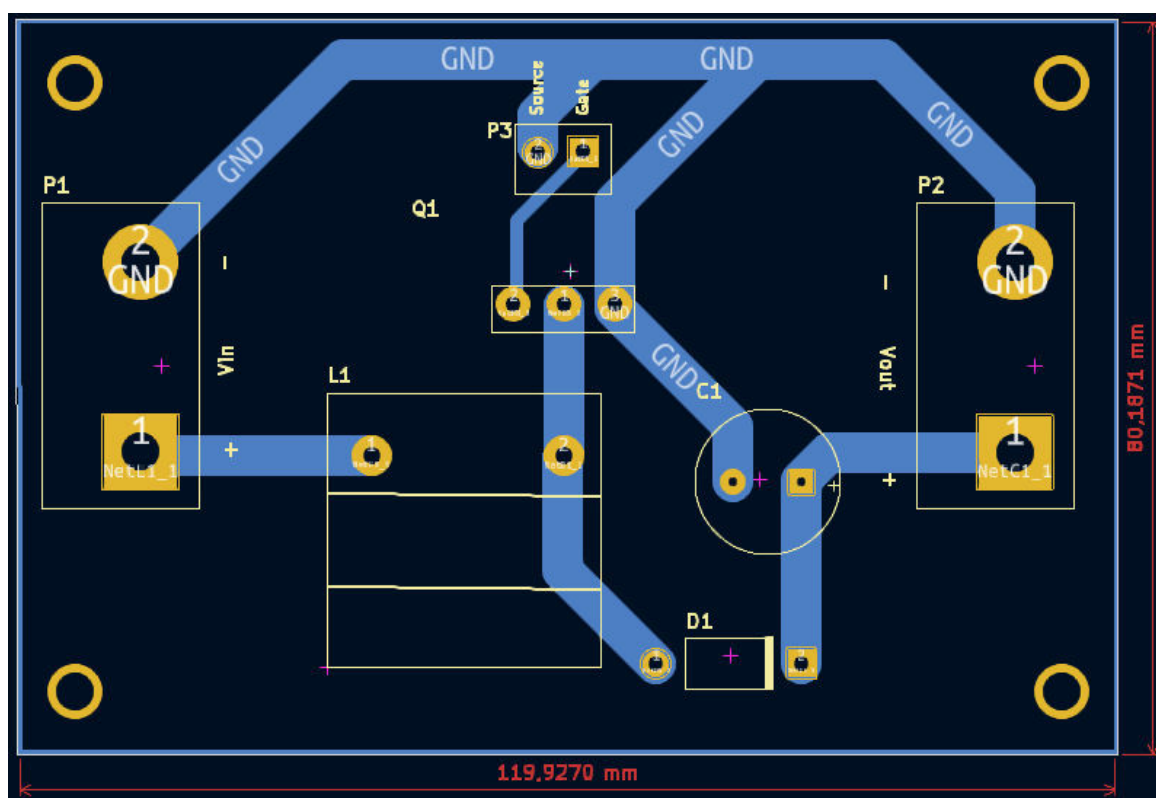
Tabela 8: Parametros do circuito driver

Parâmetros	Valor / Referência
Vin	24 V
Vpico (PWM)	10 V
f	40 KHz
CI Driver	IR2184
Optoacoplador	6N137
Regulador 15 V	LM7815
Regulador 5 V	LM7805
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7	1N4007
R1, R3	1 K Ω
R2	10 K Ω
R4	2 K Ω
R5, R6	10 Ω
C1, C7, C8, C11, C12	100 nF
C2, C3	2,2 μ F
C6	470 μ F
C9, C10, C13	10 μ F

Fonte: Autoria própria (2023)

Para se testar a efetividade do driver fez-se necessário o uso de um conversor CC-CC do tipo boost, o qual foi emprestado pelo laboratório. A figura 23 apresentam respectivamente a PCB e a visão 3D do conversor boost, nota-se que a placa possui dimensões aproximadas de 12x8,2 cm.

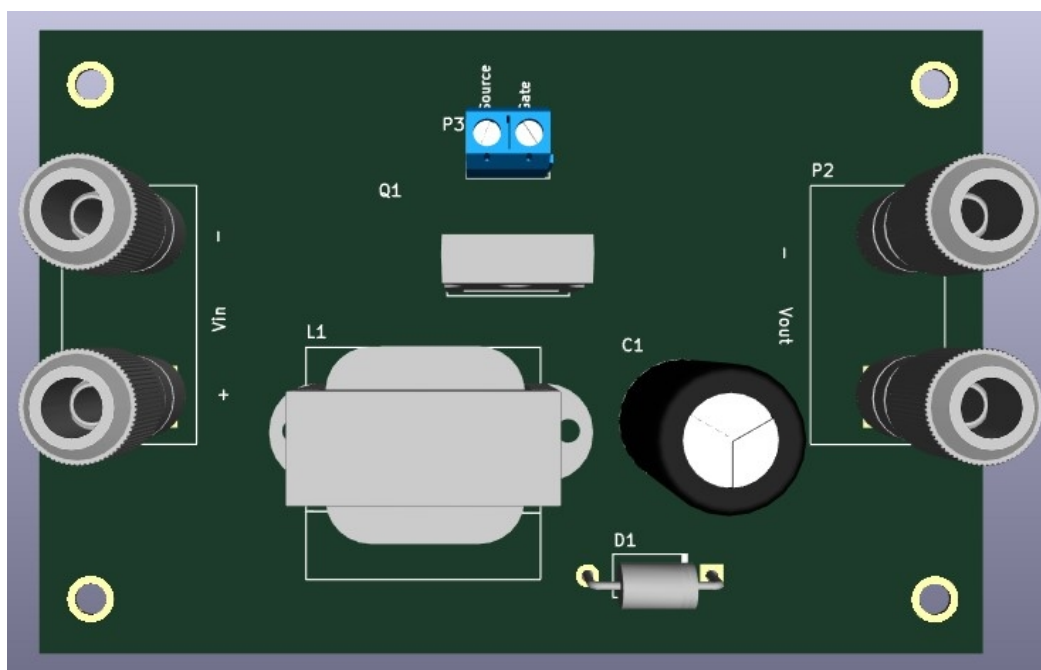
Figura 23: PCB do conversor boost



Fonte: Autoria própria (2023)

Já a figura 24 ilustra a visão 3D da placa feita para o conversor boost, dando uma visão mais realista deste circuito.

Figura 24: Visao 3D do conversor boost



Fonte: Autoria própria (2023)

Bem como o que foi feito para o circuito driver, resumiu-se os parâmetros do boost em uma tabela, desta forma a tabela 9 apresenta os valores usados para a construção do conversor boost usado.

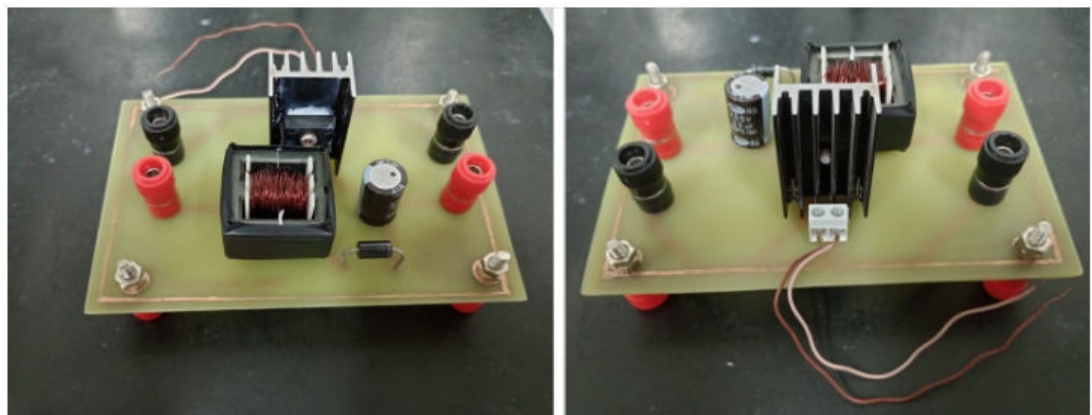
Tabela 9: Parâmetros do conversor boost

Parâmetros	Valor / Referência
Q1	MOSFET IRFP 460
D1	MUR 460
C1	33 μ F
L1	395 μ H
Carga	46 Ω

Fonte: Autoria própria (2023)

A figura 25 apresenta o conversor montado, pode-se observar que a conexão entre as placas foi realizada por meio de fio conectador aos bornes das respectivas placas.

Figura 25: Conversor boost usado

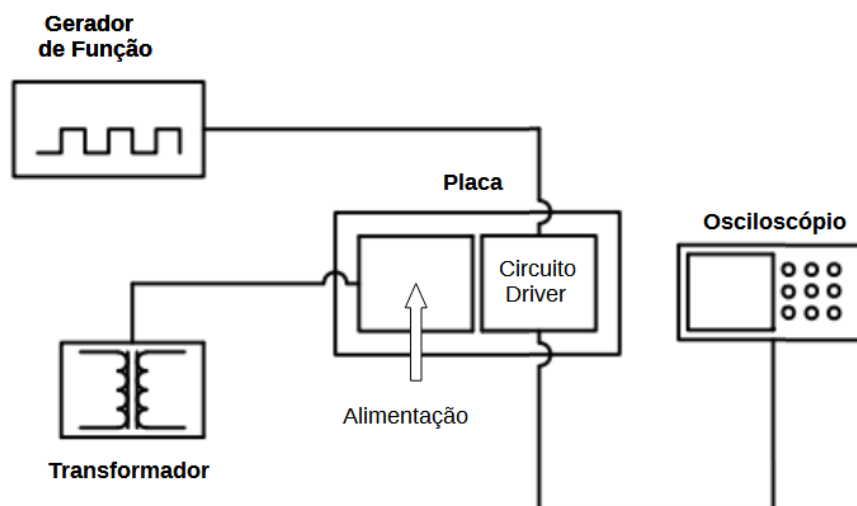


Fonte: Autoria própria (2023)

4.1 TESTES REALIZADOS

Com o circuito montado, foram realizados testes, de modo a verificar se a placa desenvolvida estava funcionando da maneira desejada, para isto, fez-se uso de alguns equipamentos como um gerador de função para fornecer o sinal PWM, um transformador de 24V para alimenta a ponte retificadora e um osciloscópio, sendo este último o dispositivo que daria as formas de ondas, e por meio delas pode-se analisar o funcionamento do projeto. Uma ilustração da montagem para o primeiro teste pode ser vista na figura 26.

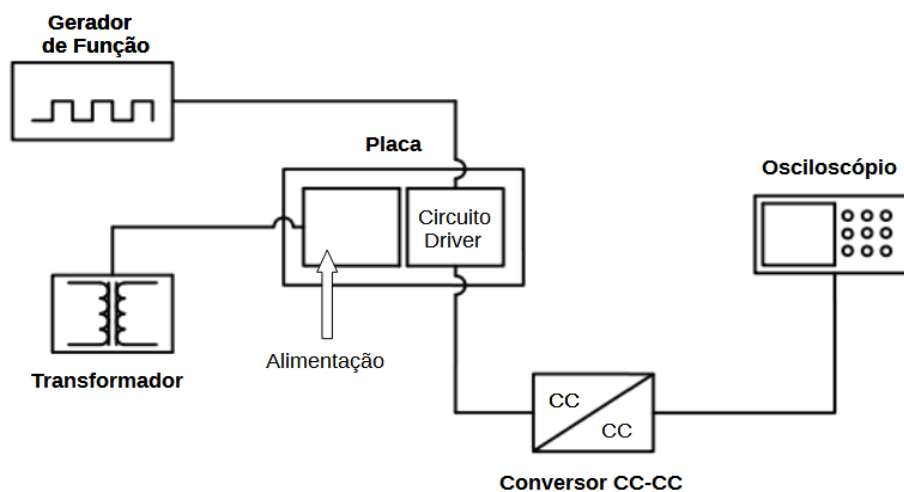
Figura 26: Disposição dos equipamentos sem o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

Outro equipamento que também foi usado, porém este apenas quando se utilizou o conversor, foi a fonte de alimentação. O conversor CC-CC usado foi do tipo boost fornecido pelo laboratório. O teste realizado é de grande valor, uma vez que o circuito driver ficará disponível para o laboratório, logo testá-lo em um conversor qualquer e não em um conversor feito especialmente para ele garante uma melhor verificação do funcionamento desde circuito. Assim, com o conversor conectado realizou-se um novo teste, para verificar as alterações da presença do conversor no circuito driver, sendo montado como visto na figura 27.

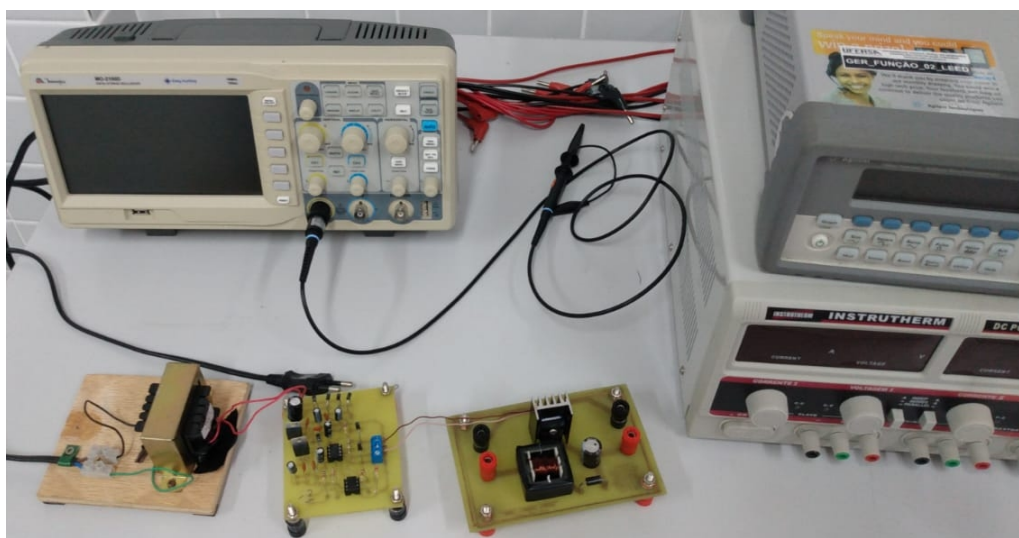
Figura 27: Disposição dos equipamentos com o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

Os testes realizados diferem apenas na presença do conversor, uma vez que os pontos analisados no circuito driver foram os mesmos em ambos os testes, a figura 28 mostra a placa desenvolvida junto aos equipamentos utilizados.

Figura 28: Montagem dos equipamentos



Fonte: Autoria própria (2023)

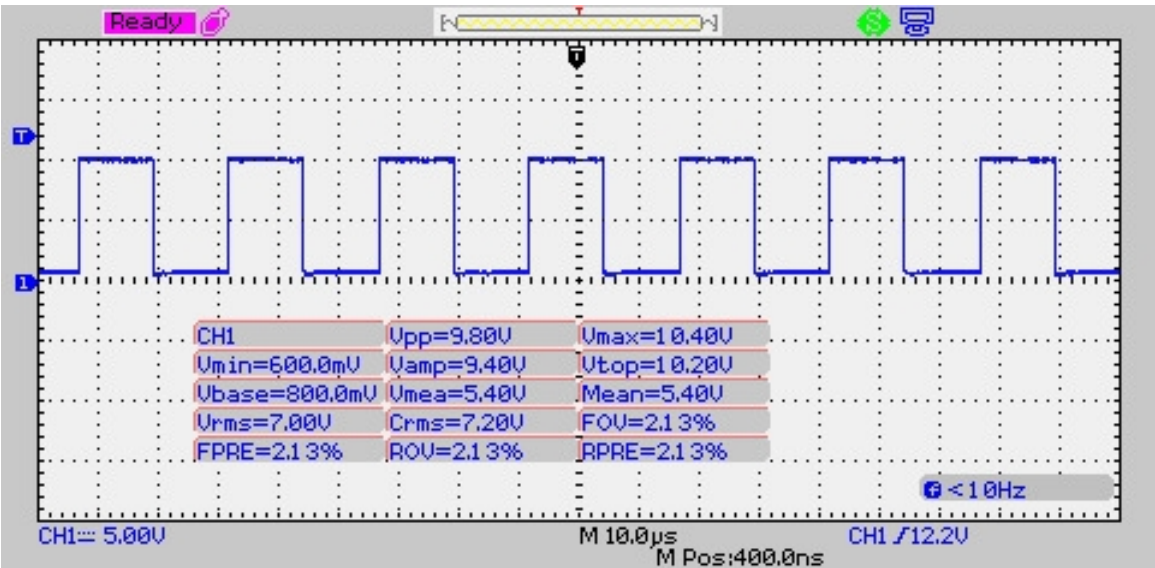
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentadas as formas de ondas obtidas por meio dos testes realizados, além de discutir brevemente sobre os resultados obtidos. Os testes foram feitos inicialmente sem o conversor, e posteriormente com o conversor.

5.1 TESTE SEM A PRESENÇA DO CONVERSOR CC-CC

Como dito anteriormente a entrada do circuito driver proposto foi fornecida por um gerador de função, no aparelho as características da do sinal PWM foram configuradas da seguinte forma: 10 V de pico, 40 KHz de frequência e um ciclo de trabalho de 50%. A figura 29, mostra a forma de onda de entrada, obtida com uso do osciloscópio.

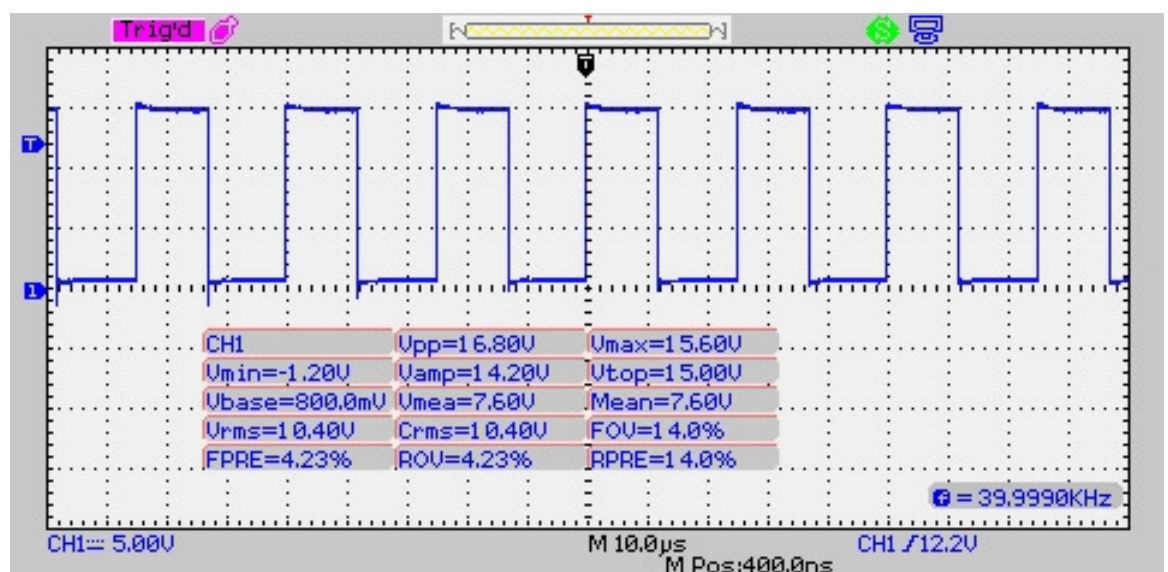
Figura 29: Sinal de entrada para o driver sem o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

Além de visualizar o sinal de entrada, também verificou-se os sinais de saída do circuito driver, sendo eles LO e HO. Como mostrado na figura 30, o sinal apresenta uma frequência de 40 KHz, e um ciclo de trabalho de 50%, semelhante ao que foi visto na entrada, contudo, a tensão para o sinal LO é de 15 V.

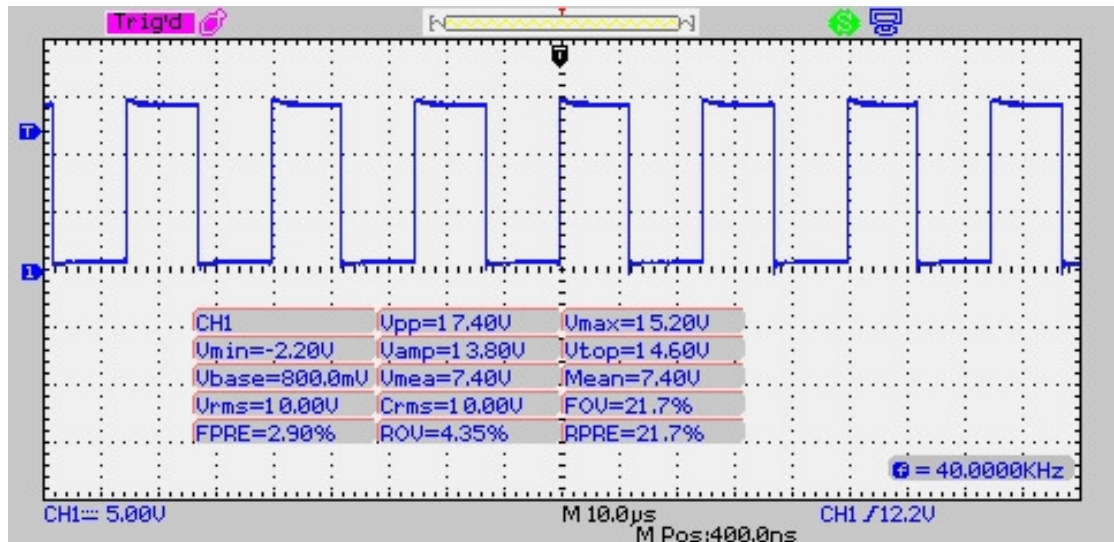
Figura 30: Sinal de saída LO sem o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

Já para os o segundo sinal de saída, tem-se na figura 31 o sinal de HO, apresentando o mesmo valor de frequência do sinal de entrada, porém, assim como visto em LO a tensão difere, sendo esta 14,6 V.

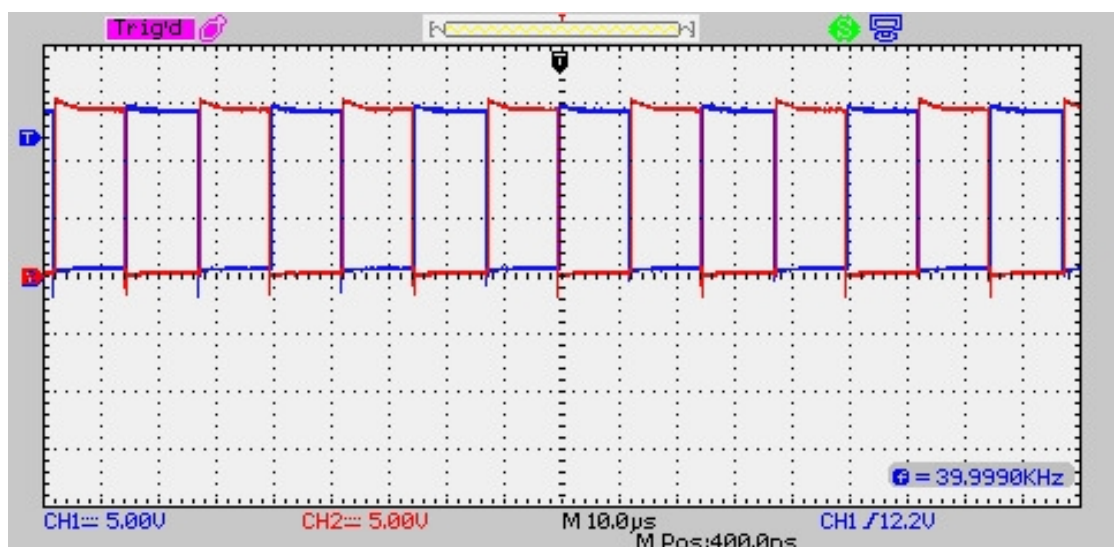
Figura 31: Sinal de saída HO sem o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

Para efeitos de comparação entre os dois sinais de saída, tem-se a figura 32, onde pode-se verificar uma pequena variação entre o valor de LO e HO.

Figura 32: Sinais de saída LO e HO sem o conversor

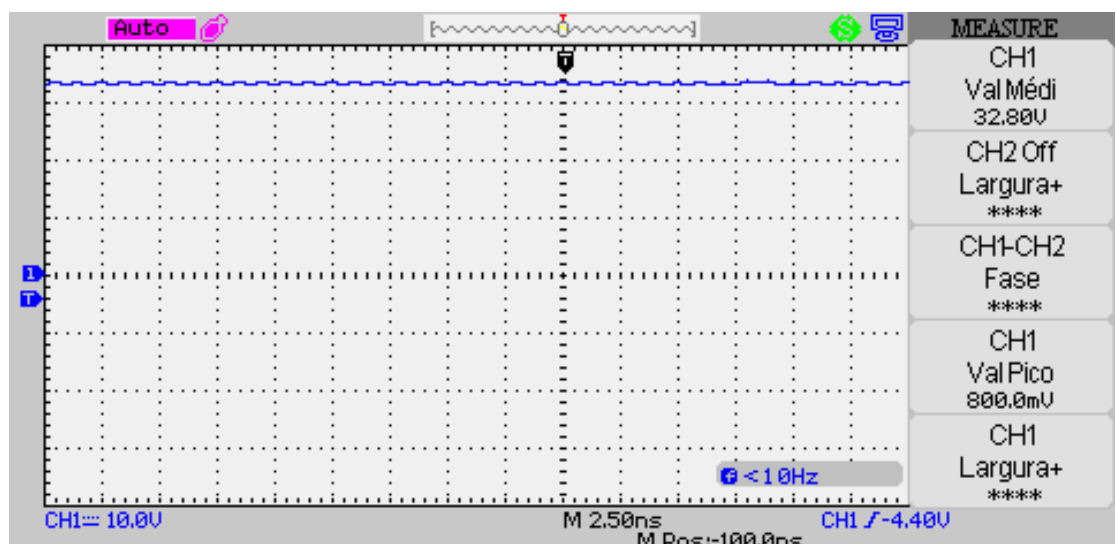


Fonte: Autoria própria (2023)

É interessante pontuar dois pontos sobre a figura 32, o primeiro é a defasagem de 180° entre os sinais, e o segundo é a diferença de tensão, como visto HO, onda em azul, tem um valor menor que LO, onda em vermelho, sendo este resultado da queda de tensão sofrida em D1.

Já na figura 33, tem-se forma de onda de entrada do regulador de tensão LM7815, sendo a entrada desse dispositivo a saída do capacitor (C6) usado como filtro para a ponte retificadora. Como visto a tensão de 32,8 V está dentro da proposta na tabela 4 para o LM7815.

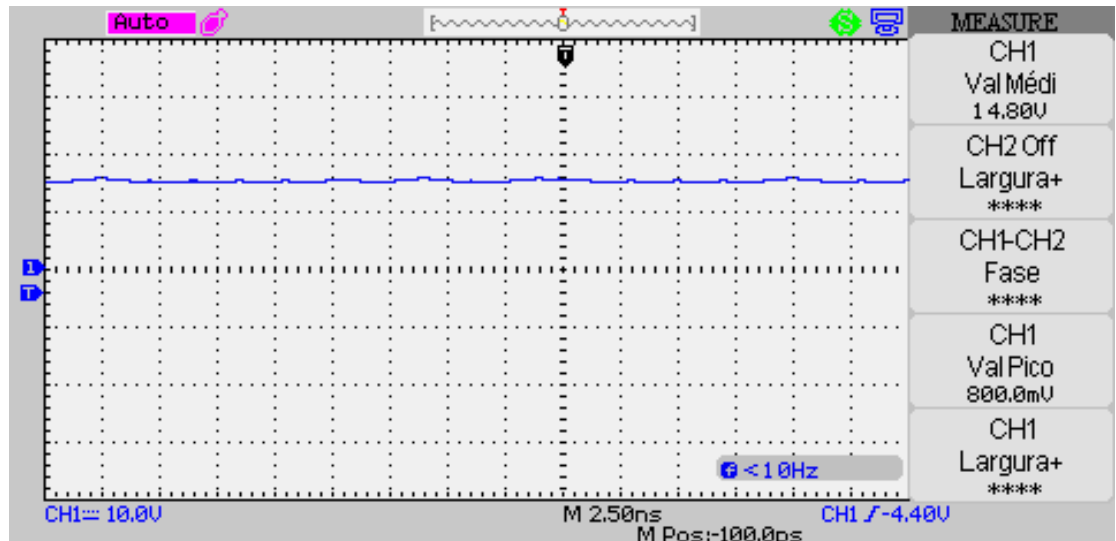
Figura 33: Entrada do LM7815 sem o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

Já a saída do LM7815 possui um valor de 14,8 V, sendo aproximado dos 15 V desejado, como ilustra a figura 34, tendo o valor visto como aceitável, considera-se que o CI driver está sendo alimentando com a tensão necessária para seu funcionamento correto.

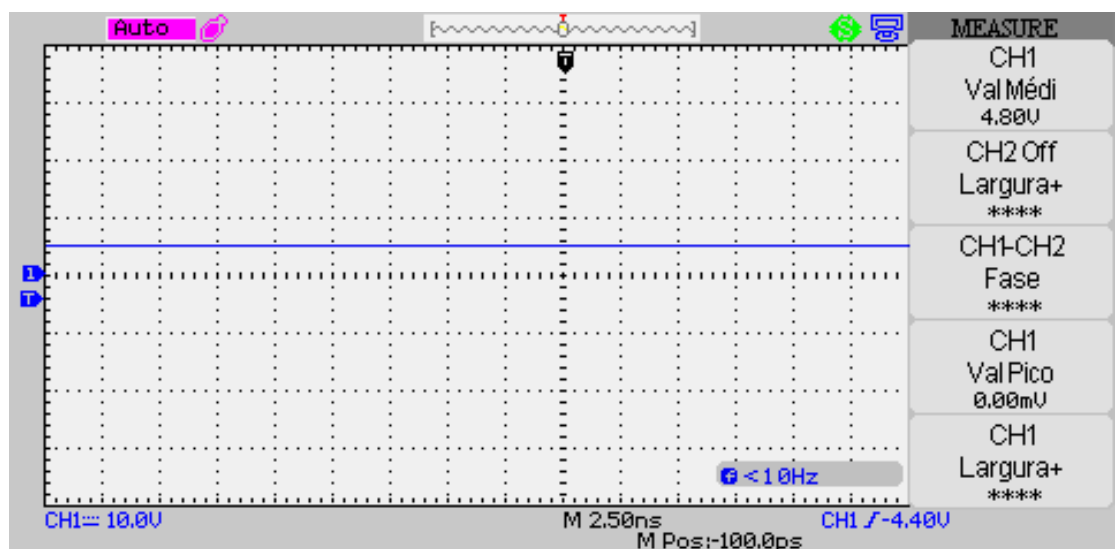
Figura 34: Saída do LM7815 sem o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

O LM7805 deveria fornecer em sua saída 5 V para a alimentação do optoacoplador 6N137, desta forma verifica-se que a saída foi de 4,8 V, sendo um valor próximo do esperado.

Figura 35: Saída do LM7805 sem o conversor

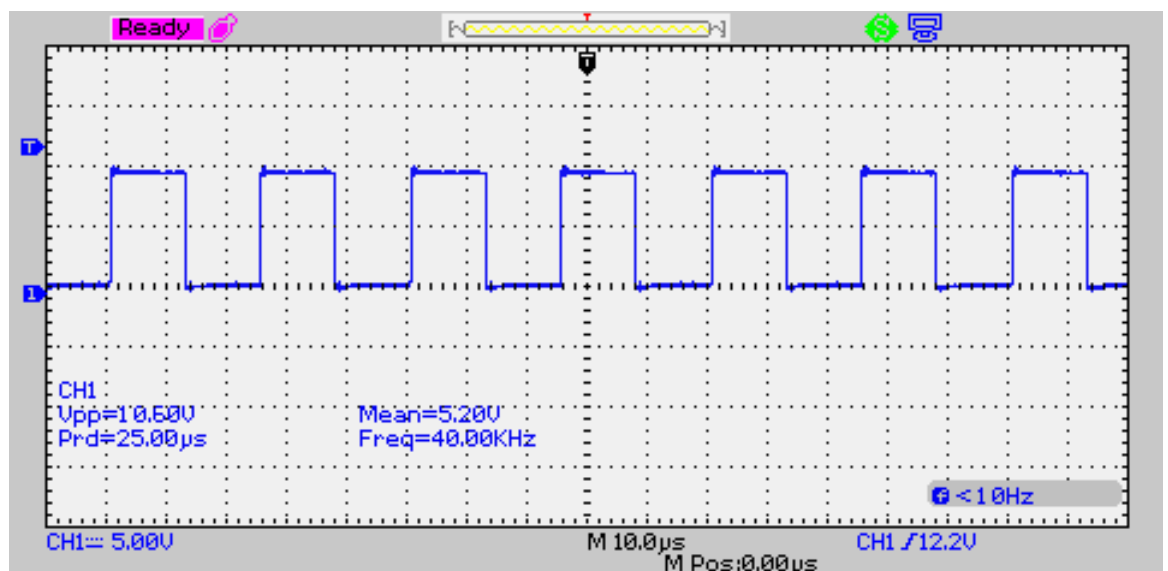


Fonte: Autoria própria (2023)

5.2 TESTE COM A PRESENÇA DO CONVERSOR

Para o segundo teste, adicionou-se o conversor boost, desta forma o chaveamento do conversor foi feito por meio da saída do circuito driver, e novamente verificou-se os sinais por meio de um osciloscópio. A figura 36 apresenta a entrada fornecida pelo gerador de função ao circuito driver.

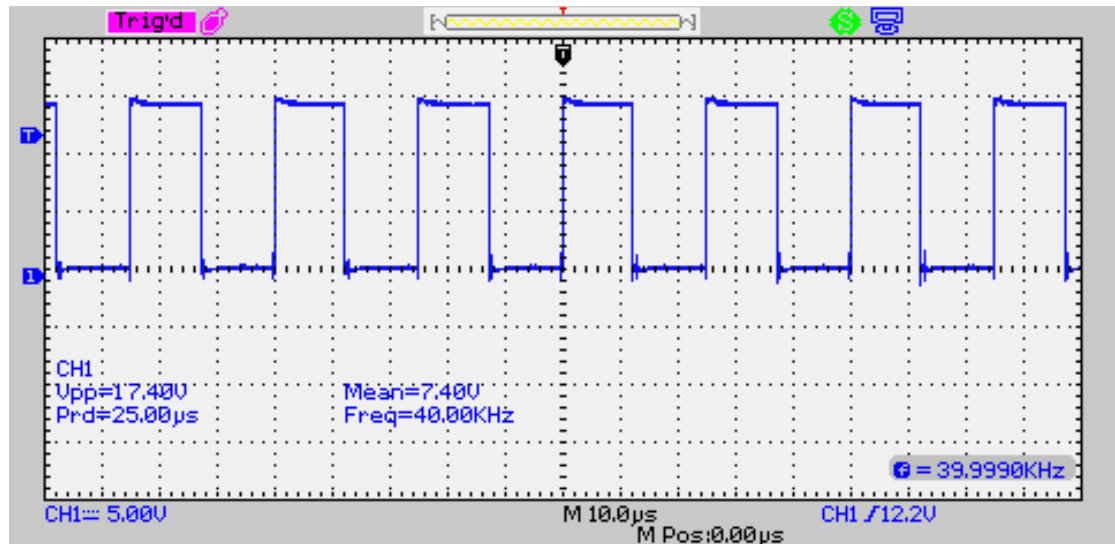
Figura 36: Sinal de entrada do driver com o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

Os sinais de saída LO e HO foram verificados, de modo que a figura 36 apresenta o sinal de LO, como observado, pode-se notar que o sinal permanece semelhante ao visto anteriormente, tendo 15 V de amplitude, uma frequência de 40 KHz e um ciclo de trabalho de 50%.

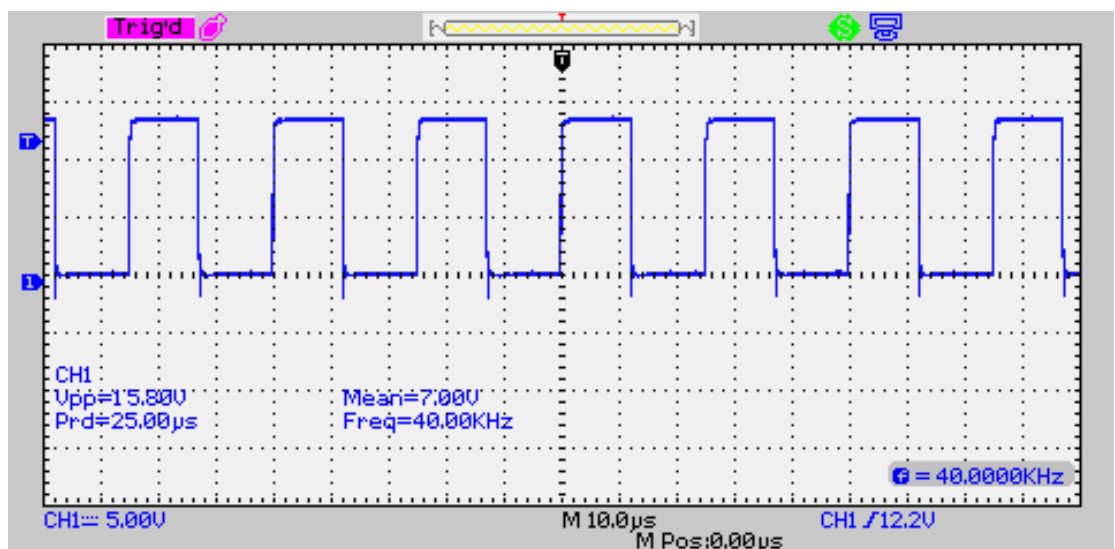
Figura 37: Sinal de saída LO do driver com o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

Para o sinal de saída HO visto na figura 38, obteve-se um sinal aceitável, semelhante ao visto no teste anterior.

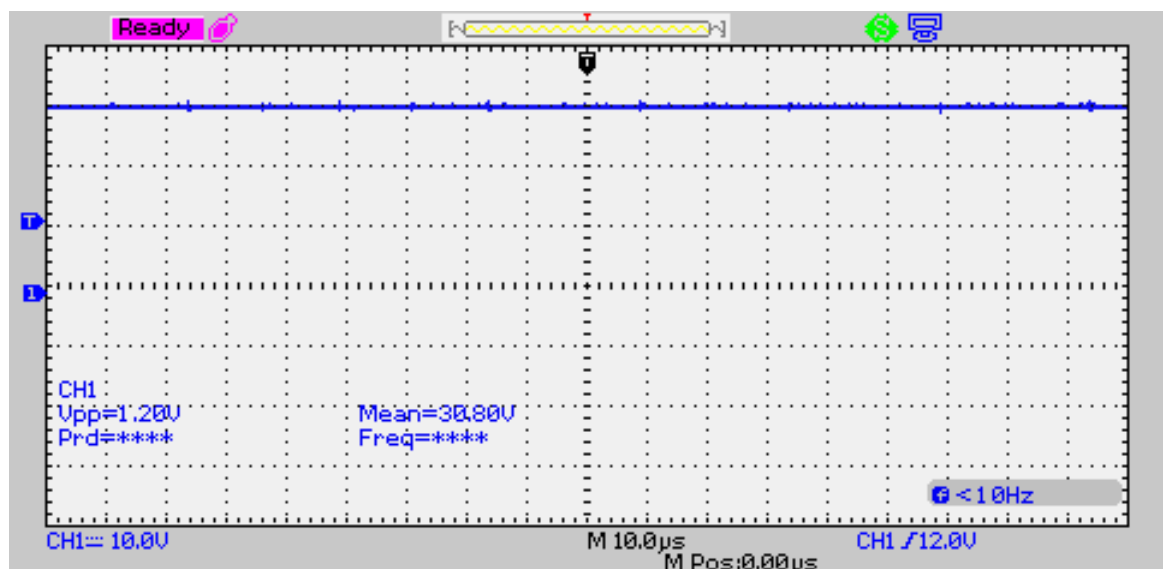
Figura 38: Sinal de saída HO do driver com o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

Para os reguladores de tensão, tem-se que a entrada do LM7815 apresenta ao forma de onda mostrada na figura 39, nota-se uma pequena queda no valor da tensão, em relação ao teste anterior, onde anteriormente tinha-se 32,8 V e para o segundo teste obteve-se 30,8 V.

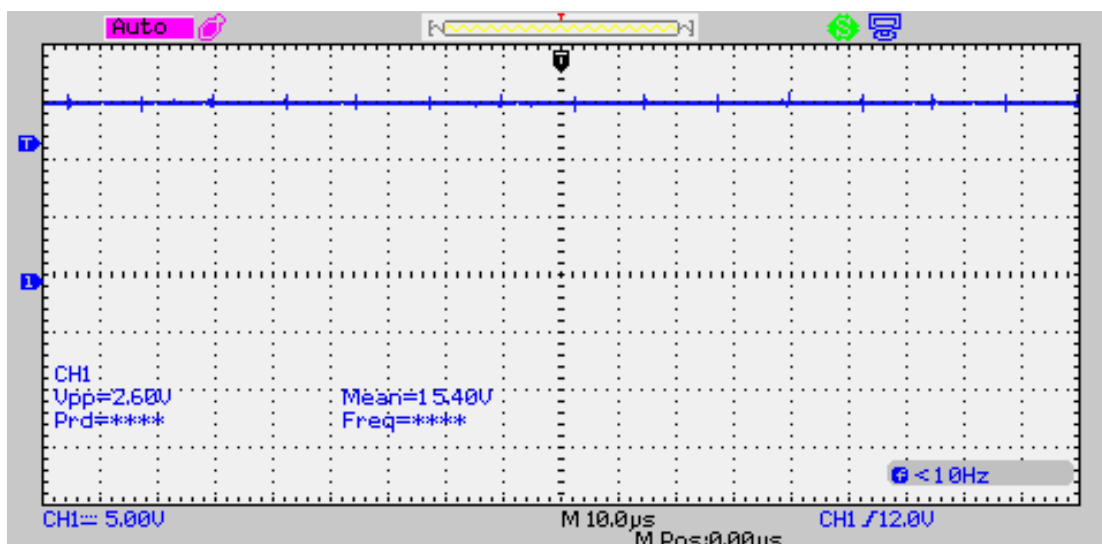
Figura 39: Entrada do LM7815 com o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

Contudo a saída continua com um valor aceitável, apresentar um valor de 15,4 V, tendo um aumento em relação ao teste anterior, como visto na figura 40.

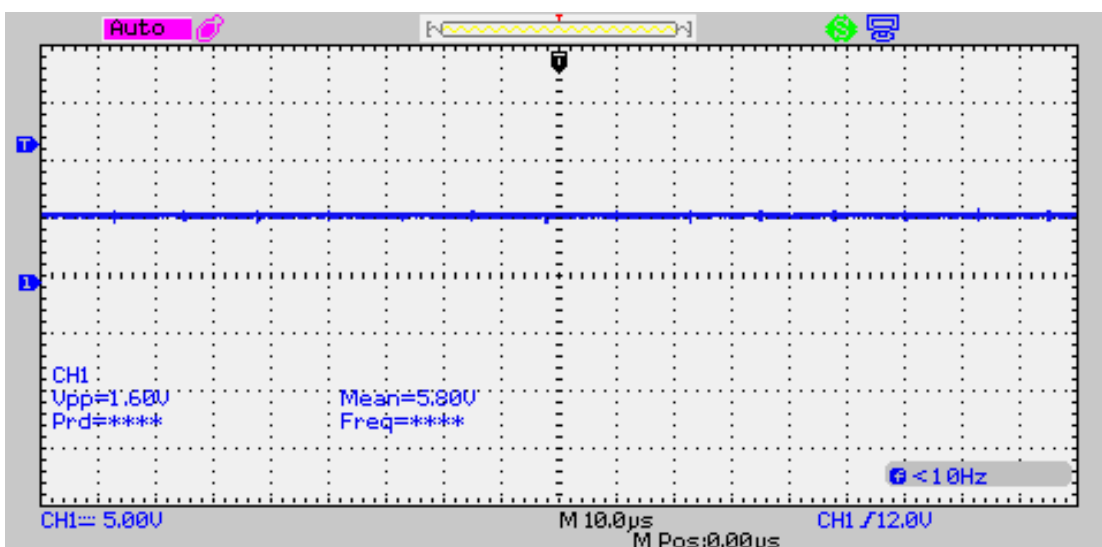
Figura 40: Saída do LM7815 com o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

A figura 41 traz o sinal de saída do LM7805 onde pode-se nota que seu sinal de saída também possui um aumento em relação ao primeiro teste, tendo uma tensão de 5,8 V.

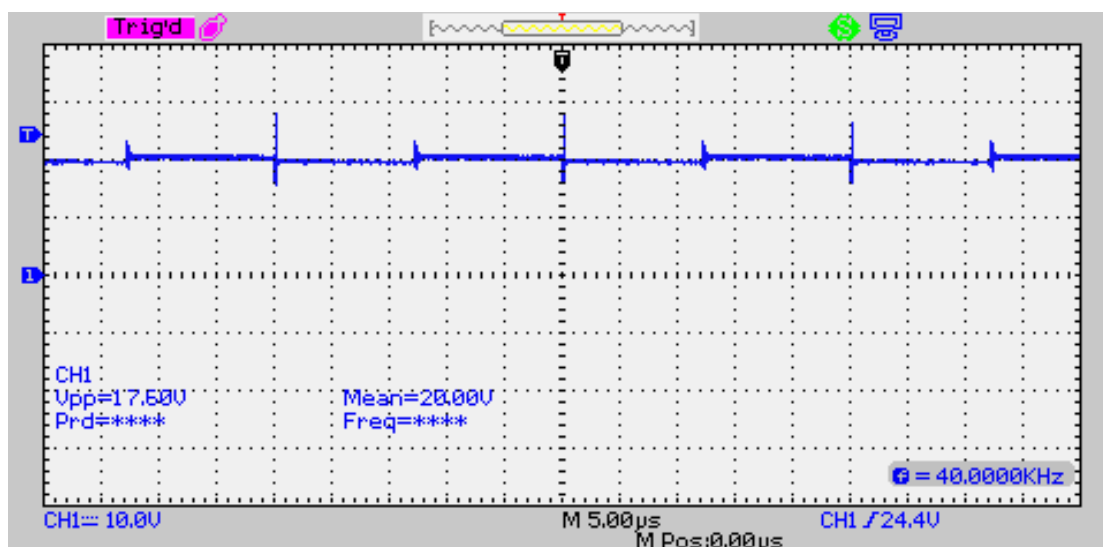
Figura 41: Saída do LM7805 com o conversor



Fonte: Autoria própria (2023)

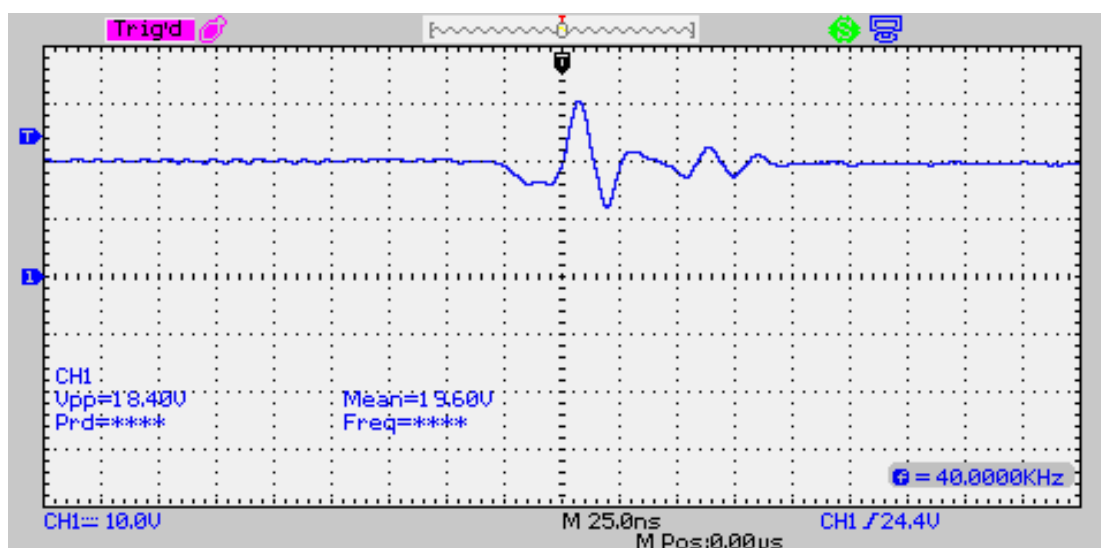
Para o segundo teste, também verificou-se os sinais do conversor boost usado. As figuras 42 e 43 demonstra o sinal de saída do conversor, trazendo um resultado satisfatório, com uma tensão variando de 19,8 V a 20 V, para os 10 V aplicados na entrada.

Figura 42: Saída do conversor boost



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 43: Saída para o conversor boost em zoom



Fonte: Autoria própria (2023)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÃO

Em suma este trabalho buscou desenvolver um circuito driver que fosse capaz de realizar o chaveamento de conversores CC-CC. Inicialmente o presente trabalho deu uma visão ampla da engenharia elétrica e de seus ramos, discutiu-se também a cerca da eletrônica de potência, trazendo um pouco da história e do que a fez evoluir em âmbito de aplicações, aplicações essas que foram citadas de uma maneira mais ampla, sendo abordadas por meio de exemplos em um contexto cotidiano, visando uma maior compreensão para os tópicos seguintes.

Para que se tivesse um maior embasamento da aplicação escolhida para o driver desenvolvido, também apresentado as topologias mais comuns dos conversores CC-CC, de modo a discutir seu funcionamento e expor os métodos matemáticos para dimensionamento dos componentes, visando exemplificar de maneira bem simples e resumida o processo de determinação dos valores práticos para uma aplicação desse tipo.

Outro ponto importante abordado foram as noções sobre circuitos drivers, onde se deu definições e se explicou de forma ampla o seu funcionamento, além de citar alguns dos tipos que podem ser encontrado no mercado, tudo para que se definisse o tipo de circuito desenvolvido. Além disso também foram apresentados os equipamentos usados na realização dos testes, bem como os componentes que constituem os circuito driver proposto.

Para o processo de construção, inicialmente apresentou-se o circuito driver e sua alimentação, sendo está necessária para alimentação dos CI's. Como apresentação dos circuitos definiu-se os valores e os tipos de componentes que seriam usados, para que só então se elaborasse o esquemático. O esquemático e a PCB foram expostos, bem como o programa utilizado para esta elaboração.

Uma vez que o presente trabalho tem um cunho bem prático, fez-se necessário a aplicações do processo de concepção prática da placa, onde se explicou de maneira detalha como se realizou a construção e montagem da placa, além de citar os materiais utilizados, tendo ainda apresentado o conversor usado durante os testes, para ambas as placas foram expostos os valores e referências de seus componentes. Também se explicou e ilustrou a forma como os testes foram realizados.

Com isto, pode-se apresentar os resultados obtidos, onde estes foram apresentados por meio das formas de ondas obtidas por meio do osciloscópio. Tais resultados forma discutidos um a um, de modo a expor os valores encontrados e se analisar a coerência dos mesmos. Com isto se considerou o desenvolvimento bem-sucedido, uma vez que o driver conseguiu acionar o conversor e fazê-lo funcionar dentro do que se esperava.

O processo de desenvolvimento e testes teve o seus desafios e obstáculos, como a escolha do software a ser usado, uma vez que vários dos softwares escolhidos ao longo do processo não contavam com os componentes necessário, ou não atendiam as necessidades do projeto. É válido dizer que durante a elaboração deste trabalho houve uma grande preocupação para a utilização apenas de softwares gratuitos.

Outrossim, o desenvolvimento e implementação do projeto elaborado será de grande utilidade para o laboratório, podendo ser utilizado sempre que necessário, além ainda de poder servir com um incentivo para se tenha cada vez mais trabalho voltados para implementações práticas

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Mesmo que concluído ainda existem teste que podem vir a serem realizados, algumas implementações que podem contribuir para a melhora do circuito proposto, de modo a torná-lo mais simples, além de possibilitar a realização de outros testes

além dos que o presente trabalho executou. Dentre os trabalhos que podem vir a serem realizados a cerca do circuito driver proposto destaca-se.

- Testes em conversores com dois interruptores de potência: Uma vez que o driver proposto possui duas saídas, este pode vir a ser usado para acionar conversores com dois interruptores de potência, tais testes serviram para verificar a eficácia do driver em uma situação diferente da testada no presente trabalho;
- Modularizar a PCB: O processo de modularizar a placa pode contribuir de diversas formas, como facilitar o processo de desenvolvimento, tornar mais simples a troca de componentes, tanto para melhoria da placa, quanto para que a troca de componentes possam vir a ser danificados, além de possibilitar testes em partes específicas do circuito;
- Teste de condições extremas: Testes em condições de altas temperaturas, cargas elevadas ou variações de entrada, podem vir a serem realizados para se verificar o comportamento do driver, podendo ser útil para se analisar possíveis melhorias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de potência**. São Paulo: Prentice Hall, 2000.

ALVES, Francisco Danilson de Silva. **Projeto e implementação de um circuito driver isolado para acionamento de conversores CC-CC a MOSFET**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Caraúbas, 2020.

ALVES, Mário Ferreira. **ABC do osciloscópio – princípio de funcionamento e estado da tecnologia**. ISEP – Instituto de ensino superior no porto, Porto, 2007.

ALVES, Pedro. **Indutor, o que é? Funcionamento, tipos e aplicações!**. Disponível em: <<https://www.manualdaeletronica.com.br/indutor-o-que-e-funcionamento-tipos-aplicacoes/>>. Acesso em: 16/09/2023.

ANT FERRAMENTAS. **Fonte de alimentação dupla regulada minipa tensão/corrente variável 0~30V/0~5A – MPC-3005**. Disponível em:<<https://www.antferramentas.com.br/fonte-de-alimentacao-dupla-dc-regulada-minipa-tensao-corrente-variavel-0~30v-0~5a---mpc-3005/p>>. Acesso em: 16/09/2023.

APRENDENDO ELÉTRICA. **O que é um capacitor e para que serve?**. Disponível em: <<https://aprendendoeletrica.com/o-que-e-um-capacitor-e-para-que-serve/>>. Acesso em: 16/09/2023.

AUREON. **Drireon**. Disponível em: <https://www.aureon.com.br/drireon/>. Acesso em: 30/09/2023.

AZEVEDO, Amanda Maria. **Resistores**. Disponível em:
<<https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/resistores>>. Acesso em:
16/09/2023.

BARBI, Ivo. **Eletrônica de potência**. 5 ed. Florianópolis: Ed. do autor, 2005.

BRATAWINNATA, Armando Lorenzo de Colombo. **Projeto, montagem e controle de conversor CC-CC do tipo Buck**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Federal do Rio grande do sul, Porto Alegre, 2020.

BRITO, Edivaldo. **KiCad 6 lançado com um novo formato de arquivo e melhorias**. Disponível em: <<https://www.edivaldobrito.com.br/kicad-6-lancado-com-um-novo-formato-de-arquivo-e-melhorias/>>. Acesso em: 17/09/2023.

ELETROLUZ. **Resistores: o que são, tipos, funções e melhores exemplos!**. Disponível em: <<https://www.eletroluz.net/blog/resistores/>>. Acesso em: 16/09/2023.

ERICKSON,R.W.; MAKSIMOVIC, D. **Fundamentals of Power Eletronics**. Colorado: Kluwer Academic Publishers, 2004.

FERNANDES, Sthefania. **Indutores**. Disponível em:
<<https://embarcados.com.br/indutores/>>. Acesso em: 16/09/2023.

HART, Daniel. **Eletrônica de potência: Análise e projeto de circuitos**. Porto Alegre: AMGH, 2012.

HLAPISI, Nthatsi. **Understanding the Difference Between BJT and MOSFET and How to Select the Right One for Your Designs**. Disponível em: <<https://circuitdigest.com/article/understanding-the-difference-between-bjt-and-mosfet-and-how-to-select-the-right-one-for-your-designs>>. Acesso em: 14/09/2023.

HISATOMI, Carolina. **Semicondutores: o que são e como funcionam**. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/semicondutores/>>. Acesso em: 30/09/2023.

IMC RESISTÊNCIAS ELÉTRICAS. **Entenda o que são transistores e suas aplicações!** Disponível em: <<https://www.imcresistencias.com.br/post/entenda-o-que-sao-transistores-e-suas-aplicacoes>>. Acesso em: 14/09/2023.

INSTRUSUL. **Descubra a funcionalidade de um gerador de função**. Disponível em: <<https://blog.instrusul.com.br/descubra-para-que-serve-gerador-de-funcao/>>. Acesso em: 16/09/2023.

INTERNATIONAL RECTIFIER. **IR2184(4)(S)&(PbF): half-bridge driver**. 2006. Disponível em: <[https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IR2184\(4\)\(S\)-DataSheetv01_00-EN.pdf?fileId=5546d462533600a4015355c955e616d4](https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IR2184(4)(S)-DataSheetv01_00-EN.pdf?fileId=5546d462533600a4015355c955e616d4)>. Acesso em: 14/09/2023.

KAZIMIERCZUK, M. K. **Pulse-width Modulated DC–DC Power Converters**. Ohio: Wiley, 2008..

KICAD. **KiCad EDA**. Disponível em: <<https://www.kicad.org/>>. Acesso em: 17/09/2023.

KOHLER, Samuel Valerio. **Driver para Acionamento de Luminárias LEDs Residenciais com o uso do Comando Auto-Oscilante e Regulação da Corrente de Carga**. Dissertação de mestrado em Engenharia Elétrica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato branco, 2021.

LARICO, Hugo Rolando Estofanero. **Conversor boost controlado em corrente aplicado ao retificador monofásico**. Trabalho de conclusão de curso (Mestre em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

LUMILANDIA. **Fonte e driver: Descubra o que são**. Disponível em: <<https://lumilandia.com.br/blog/fonte-e-driver-descubra-o-que-sao/>>. Acesso em: 17/09/2023.

MATTEDE, Henrique. **O que é e para que serve um transistor?** Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-e-para-que-serve-um-transistor/>>. Acesso em: 14/09/2023.

MATTEDE, Henrique. **Descubra o que são drivers para motores**. Disponível em: <<https://www.blogdaeo-que-sao-drivers-para-motores/>>. Acesso em: 30/09/2023.

NASCIMENTO, Rafaela M. **O que é um capacitor e para que ele serve?**. Disponível em: <<https://www.adrenaline.com.br/hardware/o-que-e-um-capacitor-e-para-que-ele-serve/>>. Acesso em: 16/09/2023.

NILSSON, James W.; RIEDEL, Susan A. **Circuitos elétricos**. 8 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

OLIARSKI, Aurélio Miguel; SILVA, Juliano Bueno da; CASARO, Rafael Piedade. **Driver Eletrônico com Seis Saídas Isoladas para Transistores de Potência do Tipo IGBT**. 2016. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Automação Industrial, Departamento de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa-PR, 2016.

OLIVEIRA, Thiago. **Diodos: o que são, como funcionam e pra que servem!**. Disponível em: <<https://eltgeral.com.br/diodos-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>>. Acesso em: 14/09/2023.

PETEEL. **Você já ouviu falar do KiCad?**. Disponível em: <<https://peteel.ufsc.br/2020/06/15/kicad/>>. Acesso em: 17/09/2023.

PETRY, Clovis Antonio. **Curso Básico de Eletrônica de potência**. Disponível em: <https://www.professorpetry.com.br/Ensino/Curso_Eletronica_Potencia/Curso_Eletronica_Potencia.html>. Acesso em 29/12/2022.

RASHID Muhammad H. **Eletrônica de potência**. 4 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011.

RCBI Instrumentos. **33210A - Gerador de Funções 10MHz**. Disponível em: <<https://www.rcbi.com.br/teste-e-medicao/geradores-de-funcoes/0-10-mhz/33210a-gerador-de-funcoes-10mhz-arbitrario-1-canal>>. Acesso em: 16/09/2023.

SARAVATI. **Osciloscópio Digital MVB-DSO 2 Canais 50MHz – Minipa**. Disponível em: <<https://www.saravati.com.br/osciloscopio-digital-mvb-dso-2-canal-50mhz-minipa.html>>. Acesso em: 16/09/2023.

SILVA, Oderlando. **Entenda os Conceitos de um Regulador de Tensão.** Disponível em: <<https://autocorerobotica.blog.br/entenda-os-conceitos-de-um-regulador-de-tensao/>>. Acesso em: 14/09/2023.

SEMIKRON DANFOSS. **SKYPER 12 press-fit 300A.** Disponível em: <https://www.semikrondanfoss.com/products/product-classes/igbt-driver/detail/skyper-12-press-fit-300a-l5066601.html>. Acesso em: 30/09/2023.

SEMIKRON DANFOSS. **SKHI 10/12 R.** Disponível em: <https://www.semikron-danfoss.com/products/product-classes/igbt-driver/detail/skyper-12-press-fit-300a-l5066601.html>. Acesso em: 30/09/2023.

SILVA JR., PEDRO ARMANDO DA. **Diodos.** Disponível em: <https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/2/21/Introdu%C3%A7%C3%A3o_Diodos_2009_1_modificada2.pdf>. Acesso em: 14/09/2023.

STORES. **resistencias.** Disponível em: <<https://stores.2023saleonline.ru/category?name=resistencia%20tipos>>. Acesso em: 16/09/2023.

VILELA, Afrânio Ornelas Ruas. **Projeto e Construção de um Conversor Boost Controlado em Modo de Tensão**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

VISHAY. **6N137: high speed optocoupler, single and dual.** 2016. Disponível em: <<https://www.vishay.com/docs/84732/6n137.pdf>>. Acesso em: 14/09/2023.

WENDLING, Marcelo. **CI Reguladores de Tensão**. Disponível em:
<<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/2---ci-reguladores-de-tensao---v1.0.pdf>>. Acesso em: 14/09/2023.