

FACULDADE INDEPENDENTE DO NORDESTE - FAINOR

ENGENHARIA ELÉTRICA

EVELONE PEREIRA PORTELA

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONVERSOR AUTOMOTIVO CC/CC
DE 24-12 VOLTS COM CORRENTE DE 100A**

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA

JUNHO – 2015

EVELONE PEREIRA PORTELA

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONVERSOR AUTOMOTIVO CC/CC
DE 24-12 VOLTS COM CORRENTE DE 100A**

Monografia apresentada a Faculdade Independente do Nordeste, Curso de Engenharia Elétrica, como requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista com ênfase em Eletrônica.

ORIENTADOR PROF. ESP. SERGIO AMARAL DA SILVA

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA

JUNHO – 2015

P861p

Portela, Evelone Pereira

Desenvolvimento de um conversor automotivo cc/cc de 24-12 volts com corrente de 100A. / Evelone Pereira Portela. __ Vitória da Conquista, 2015.

70 f; il.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica)
Faculdade Independente do Nordeste - FAINOR
Orientador(a): Prof. Sérgio Amaral da Silva

1. Chaveamento. 2. Frota pesada. 3. Potência. 4. Protótipo.
5. Tensão. I. Título

CDD: 621.3

EVELONE PEREIRA PORTELA

**DESENVOLVIMENTO DE UM CONVERSOR AUTOMOTIVO CC/CC
DE 24-12 VOLTS COM CORRENTE DE 100A**

Monografia apresentada como requisito parcial para conclusão do Curso de Engenharia Elétrica da Faculdade Independente do Nordeste - FAINOR, localizada no município de Vitória da Conquista – BA, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em: 03 / 07 / 2015

BANCA EXAMINADORA

Prof. Esp. Sergio Amaral da Silva (Orientador)
FAINOR

Prof. Dr. Francisco dos Santos Carvalho (Examinador)
FAINOR

Prof. Esp. Fredd Renato Alves de Souza (Examinador)
FAINOR

VITÓRIA DA CONQUISTA - BA

JUNHO – 2015

Dedico este trabalho aos meus familiares, amigos e professores, com admiração e gratidão pela paciência, compreensão, presença e incansável apoio ao longo de todo o período da faculdade.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Edna Pereira e Aroldo Portela, por todas as condições que me foram dadas para que eu alcançasse meu objetivo. Prolongo essa gratidão a toda minha família pelo também apoio incondicional que me foi dispensado no momento de pleitear novos horizontes, em especial ao meu avô Alexandre Pereira (*In memorian*) e minha avó Maria José de Jesus (*In memorian*) que me criaram e sempre acreditaram na minha capacidade.

Ao amigo Ronaldo Moitinho dos Santos, pela oportunidade e por todo apoio dado a minha pessoa para que eu pudesse iniciar tal jornada.

A minha professora e amiga Ana Eduarda, que desde quando iniciei esse curso sempre soube do meu potencial e nunca teve algum tipo de dúvida que eu conseguisse concluir o mesmo.

Ao amigo Wbirailton Lopes Gomes, que desde quando cheguei a essa cidade confiou em minha pessoa e me deu o suporte necessário, o que foi determinante para que eu chegasse ao fim do curso.

Aos amigos Alécio Santos e Jeferson Barros, que por diversos momentos compartilharam muito do saber deles comigo, me orientando e ajudando a sanar inúmeras dúvidas.

Ao Prof. Esp. Sergio Amaral da Silva, pela atenção e apoio durante o processo de definição e orientação.

Ao amigo caminhoneiro Antonio Veloso Junior que disponibilizou-se a testar o protótipo no seu caminhão.

À Faculdade Independente do Nordeste- FAINOR, pela oportunidade de realização do curso de graduação.

Por fim, externo os meus agradecimentos a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a concretização deste trabalho.

“Se um homem tem um talento e não tem capacidade de usá-lo, ele fracassou. Se ele tem um talento e usa somente a metade deste, ele fracassou parcialmente. Se ele tem um talento e de certa forma aprende a usá-lo em sua totalidade, ele triunfou gloriosamente e obteve uma satisfação e um triunfo que poucos homens conhecerão.”

(Thomas Wolfe)

RESUMO

Este trabalho descreve o estudo e projeto do protótipo de um conversor isolado chaveado CC-CC abaixador de 24-12 [V] do tipo *push-pull* com potência de 1200 [W] para aplicação em frota automotiva pesada, em especial ônibus e caminhões. O objetivo é atender as demandas por energia nesses tipos de veículos proveniente da instalação de novos equipamentos que não são itens de série e que, portanto, não são atendidos pela tensão original da bateria do veículo, que é de 24 Volts. No decorrer do trabalho são informadas questões relacionadas quanto à escolha da topologia, ao cálculo para a escolha dos componentes, ao desenvolvimento do desenho do *layout* para a placa de circuito impresso (PCB) e por fim os testes teóricos e práticos. Foi desenvolvido o protótipo de um conversor capaz de fornecer uma corrente máxima de 100 [A]. O equipamento foi feito com dimensões reduzidas e contando com ventilação forçada para manter a temperatura normal de funcionamento dos componentes eletrônicos dispostos na placa. Ao final desse trabalho obteve-se um conversor capaz de atender as demandas que sejam solicitadas, dentro da sua limitação de potência, de acordo como demonstrado e discutido nos resultados e discussões.

Palavras- chave: Chaveamento. Frota pesada. Potência. Protótipo. Tensão.

ABSTRACT

This paper describes the study and design of the prototype of an isolated DC-DC converter switched step down of 24-12 [V], push-pull type, power of 1200 [W] for application in heavy automotive fleet, especially buses and trucks. The goal is to fulfill the demand for energy in these types of vehicles from the installation of new equipment that is not standard items and therefore are not served by the original battery voltage of the vehicle, which is 24 Volts. During this work, related issues are informed about the choice of the topology, the calculation for the choice of the components, to the development of the layout design for the printed circuit board (PCB) and finally the theoretical and practical tests. It was developed a prototype converter capable of supplying a maximum current of 100 [A]. The equipment was made with reduced dimensions and it counts with a powerful ventilation to maintain at a normal pace the operating temperature of the electronic components arranged on the plate. At the end of this work we obtained a converter capable of fulfilling the demands that are requested within its power limitations, according to the results shown and discussed during this work.

Key words: Switching. Heavyfleet. Power. Prototype. Tension.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Secções constituintes dos conversores CC-CC	22
Figura 2 – Principais tipos e funções dos conversores	23
Figura 3 – Significado de cada tipo de <i>Step</i>	24
Figura 4 – Conversor <i>step-down</i>	26
Figura 5 – Formas de onda do conversor <i>Buck</i>	26
Figura 6 – Conversor <i>Buck</i> com modulação PWM.....	27
Figura 7 – Conversor <i>Boost</i>	28
Figura 8 – Formas de onda do conversor <i>Boost</i>	29
Figura 9 – Conversor <i>Buck- Boost</i>	29
Figura 10 – Formas de onda do conversor abaixador- elevador de tensão	30
Figura 11 – Conversor topologia Cúk.....	31
Figura 12 – Conversor Cúk isolado	31
Figura 13 – Formas de onda dos conversores topologia Cúk	32
Figura 14 – Estrutura básica conversor CC- CC SEPIC isolado	33
Figura 15 – Formas de onda conversor SEPIC.....	33
Figura 16 – Formas de onda conversor SEPIC.....	34
Figura 17 – Conversor ZETA não isolado, visto como <i>Buck-Boost-Buck</i>	35
Figura 18 – Conversor ZETA isolado	36
Figura 19 – Conversor <i>Flyback</i>	37
Figura 20 – Conversor <i>Forward</i>	38
Figura 21 – Conversor Meia Ponte.....	39
Figura 22 – Conversor Ponte Completa	40
Figura 23 – Conversor Topologia <i>Push-Pull</i>	41
Figura 24 – Formas de onda da Topologia <i>Push-Pull</i>	42
Figura 25 – Simbologia de um diodo	43
Figura 26 – Estrutura de um MOSFET	44
Figura 27 – Tipos de núcleos de um indutor	46
Figura 28 – Esquema de um Transformador básico	48
Figura 29 – Esquema do circuito interno do SG3525A	50
Figura 30 – Esquemática base do protótipo.....	53
Figura 31 – PCB do conversor <i>Push-Pull</i>	54

Figura 32 – Criação da placa do conversor <i>Push-Pull</i>	55
Figura 33 – Processo de perfuração da placa do conversor <i>Push-Pull</i>	56
Figura 34 – Placa do protótipo já perfurada	57
Figura 35 – Testes do protótipo no osciloscópio	64
Figura 36 – Sistema de refrigeração do protótipo	65
Figura 37 – Demonstração da seção de análise do circuito	66
Figura 38 – Frequência mensurada do protótipo (foto mais aproximada)	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Conversores estáticos básicos não-isolados.....	24
Quadro 02 – Topologias dos Conversores CC-CC	25
Quadro 03 – Grupos dos Diodos Básicos	44
Quadro 04 – Parâmetros para o desenvolvimento do conversor <i>Push-Pull</i>	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

V – Volts

A – Ampere

W – Watts

CI – Circuito Integrado

CC – Corrente Contínua

PCB – *Printed* Circuit Board

VCA – Volts em corrente alternada

VCC – Volts em corrente continua

MCE – Microtécnica Sistemas de Energia- Automação Industrial

PWM – (*Pulse Width Modulation*) - Modulação por largura de pulso

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.2 QUESTÃO DE PESQUISA.....	16
1.2.1 Questão Central	16
1.2.2 Questões Secundárias	17
1.3 OBJETIVO GERAL	17
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.5 HIPÓTESE	18
1.6 JUSTIFICATIVA	18
2 ESTADO DA ARTE	20
3 REFERENCIAL TEÓRICO	22
3.1 DEFINIÇÃO DE CONVERSOR.....	22
3.2 TOPOLOGIAS DOS CONVERSORES	24
3.2.1 Conversor Topologia <i>Buck</i>	25
3.2.1.1 Modo de condução contínuo e descontínuo do Conversor <i>Buck</i>	26
3.2.1.2 Conversor <i>Buck</i> com modulação PWM	27
3.2.2 Conversor Topologia <i>Boost</i>	28
3.2.3 Conversor Topologia <i>Buck-Boost</i>	29
3.2.4 Conversor Topologia Cúk.....	30
3.2.5 Conversor Topologia SEPIC	32
3.2.6 Conversor Topologia ZETA.....	34
3.2.7 Conversor <i>Flyback</i>	36
3.2.8 Conversor <i>Flyback</i>	37
3.2.9 Conversores em Ponte isolados.....	38
3.2.9.1 Conversor em Meia Ponte.....	38
3.2.9.2 Conversor em Ponte Completa	39
3.2.10 Conversor <i>Push-Pull</i>	40
3.3 DIODOS	43
3.3.1 Diodos Rápidos	43
3.4 TRANSISTOR MOSFET	44
3.5 CAPACITOR	45
3.6 INDUTOR.....	46
3.7 TRANSFORMADOR	47
3.8 CIRCUITO INTEGRADO SG 3525.....	49
4 METODOLOGIA	51
5 DESENVOLVIMENTO DO CONVERSOR PUSH- PULL	52
5.0.1 Esquemático.....	52
5.0.2 Prototipagem	54

5.0.3	Confecção da placa.....	55
5.0.4	Corrosão e montagem da placa	56
5.1	CIRCUITO REAL.....	57
5.2	EQUAÇÕES DO PROJETO.....	58
5.2.1	Cálculo do Tempo do <i>Deadtime</i>	58
5.2.2	Cálculo da Frequência.....	59
5.2.3	Cálculo do transformador	60
5.2.4	Escolha do diodo de saída	61
5.2.5	Transistores MOSFET	62
5.2.6	Cálculo do Indutor	62
5.3	MONTAGEM	63
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
6.	CONCLUSÃO	68
6.1	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	68
	REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Segundo o Denatran (2015), em Fevereiro de 2015 existiam espalhados pelo Brasil 2.599.527 caminhões e 577.548 ônibus. A parte elétrica em especial desses dois tipos de veículos trabalha com tensão na bateria de 24 Vcc, tensão essa necessária para que os mesmos consigam ter força suficiente no motor de arranque para iniciar as explosões e conseqüentemente funcionar o motor do veículo. Normalmente são utilizadas duas baterias de 12 Vcc em série.

A indústria de comunicação e entretenimento automotivo fabrica seus equipamentos com tensão de alimentação em 12 Vcc, sendo de início impossível a utilização de qualquer tipo de aparelho destinado a esse fim em automóveis que tenham de natureza o circuito elétrico alimentado por tensão distinta da que foi feita os dispositivos. Por esse motivo para que haja a possibilidade do uso de equipamentos com tensão de entrada diferente do circuito alimentado pelo veículo é que requer a necessidade da utilização de um dispositivo de conversão, nesse caso específico de 24- 12 Vcc. Porém se o usuário desejar equipar o seu transporte com uma quantidade de aparelhos eletrônicos que demandam uma corrente superior a 50 [A] encontrará problemas por não existir no mercado tal produto.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

1.2.1 Questão Central

Diante da crescente demanda por parte dos usuários no tocante comodidade, conforto e aconchego, uma vez que os ônibus e/ou caminhões são utilizados exclusivamente para o trabalho de longas jornadas, seja de forma autônoma ou por meio de empresas, o motorista em questão sempre estará em busca de uma maior variedade de utensílios que lhe propiciem maior prazer no seu ofício.

O que ocorre atualmente é que os conversores abaixadores de tensão 24-12 Vcc existentes no mercado são limitados para baixa potência, além da maioria ser

do tipo regulador de tensão transistorizado, o que implica uma perda com a queda de tensão ocasionada pelo efeito Joule.

1.2.2 Questões secundárias

Por conta do vácuo existente no segmento de conversores abaixadores 24-12 Vcc para corrente superior a 50 [A], a necessidade do consumidor acaba obrigando o mesmo a adquirir mais que uma unidade do idêntico produto e fazer ligações em paralelo para só assim atingir o seu objetivo, sendo que muitas vezes isso acaba criando transtornos para a empresa e/ou motorista, por ter que fazer um investimento maior e também por não haver muitas vezes disponibilidade de espaço físico na repartição do automóvel para a instalação de mais do que um produto.

Uma possível forma de evitar perdas pelo efeito Joule seria utilizar um circuito chaveado. Este circuito regulará a tensão na carga, evitando deste modo a transformação de energia elétrica em energia térmica, ocasionando assim o problema em questão.

1.3 OBJETIVO GERAL

Desenvolver o protótipo de um conversor de tensão automotivo chaveado CC-CC abaixador de 24-12 Vcc com potência limite de 1200 [W].

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar o circuito de potência e de controle;
- Criar o layout do circuito para confecção do circuito impresso;
- Imprimir o protótipo da placa de circuito;
- Desenvolver o esquemático do circuito;
- Gerar o protótipo;
- Fazer medidas com o auxílio do multímetro e osciloscópio, coletando dados e interpretando- os;
- Verificar o funcionamento final do projeto.

1.5 HIPÓTESE

O protótipo desenvolvido ofereça o dobro da capacidade dos existentes atualmente no mercado e consiga suprir a deficiência encontrada, ou seja, fazer a conversão CC-CC 24-12 Vcc fornecendo uma corrente de 100 [A] com menos perdas de energia por efeito Joule.

1.6 JUSTIFICATIVA

Masson e Monteiro (2010) dizem em seu artigo que a idade média dos motoristas de caminhão é de 37,5 anos e que eles ficam por várias semanas longe da família. Partindo do primeiro dado da pesquisa em questão, pode-se chegar à conclusão que por conta desses motoristas serem boa parte jovens, acaba tendo uma maior necessidade de estarem ligados a tecnologia, estando assim com veículos equipados com as mais variadas formas de entretenimento e também com aparatos para suas necessidades diárias, tornando menos exaustiva a jornada de trabalho enfrentada diariamente pelos mesmos.

Foi aprovada pelo Congresso Nacional e sancionada pela Presidente da República a Lei Nº 13.103¹, mais conhecida como a “Lei dos caminhoneiros”, que dispõe sobre o exercício da profissão de motorista de transporte rodoviário de passageiros e de transporte rodoviário de cargas. Na seção IV- A, no art. 235-C da referida lei estipula que a jornada de trabalho para esses profissionais em questão será de 8 horas diárias. Na § 3º do mesmo artigo assegura que dentro de um período de 24 horas, eles terão 11 horas de descanso.

Retomando o que abordaram Masson e Monteiro (2010) em relação a ausência desses profissionais nos seus lares por várias semanas consecutivas, sabe-se que boa parte desses profissionais estaciona em postos de combustíveis para pernoitar, e fazem do seu transporte a sua casa, tendo eles agora por força da

¹(BRASIL) Lei Federal N.º 13.103. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13103.htm >. Acesso em: 7 Abr. 2015.

lei que passar quase 46% de um dia parados. Tudo explicitado até aqui justifica a vontade desses condutores em deixar seus meios de transporte cada vez mais incrementado, para assim tentarem ter um conforto similar ao que teriam em seus lares.

Diante do exposto, o presente trabalho busca sanar a deficiência encontrada hoje no mercado para o seguimento de veículos alimentados com 24 Vcc e que demandam por alta corrente, seguimento este em que os entrevistados do trabalho citado acima pertencem. Ao tempo em que crescem as ofertas de diferentes equipamentos automotivos, o produto que permite a conversão da tensão, o que consequentemente possibilitará a utilização desses produtos, continua defasado com a corrente máxima muitas vezes inferior a necessidade do usuário.

Pela inexistência atualmente no mercado de conversores abaixador para altas cargas se faz necessário a criação do protótipo de um conversor CC-CC 24-12 Vcc com o dobro da corrente e potência dos existentes hoje, para que assim os usuários possam acompanhar a oferta dos mais variados tipos de equipamentos oferecidos no mercado, onde essa demanda só visa contribuir para uma melhor viagem e satisfação para quem os utiliza, sempre priorizando o melhor custo benefício da aquisição e um maior aproveitamento do espaço físico onde será instalado o produto.

2 ESTADO DA ARTE

Em tempo contemporâneo chega a ser até inconcebível acreditar que o mercado não esteja adequado a necessidade dos consumidores, fazendo com que dessa forma o usuário necessite de um produto com uma carga acima da qual é oferecida pelo mercado, o obrigando assim a adquirir vários dispositivos do mesmo e depois precise fazer ligações em série ou paralelo, a depender do que ele esteja querendo alcançar.

Foram pesquisados no mercado quais os conversores abaixadores CC-CC de 24- 12 Vcc disponíveis com maior corrente e foi encontrado entre outros, o conversor da marca MCE, MOD CCA 24-12-50 que disponibiliza uma corrente de saída de 50 [A] e uma potência 600 [W], mesma carga máxima verificada nos outros, sendo esse valor a maior corrente existente.

A realização desse trabalho procura desenvolver um protótipo de um conversor abaixador CC-CC para potência máxima de 1200 [W], e que com a queda de tensão o mesmo tenha a menor perda possível. Os trabalhos que servirão de embasamento para o início da presente pesquisa são:

- Petry (2001): O autor dessa pesquisa acadêmica teve por finalidade apresentar no seu trabalho os tipos dos principais conversores CC-CC, com o objetivo de quem tomar o seu trabalho como parâmetro possa ter a maior riqueza de informações e conseqüentemente um maior entendimento sobre o funcionamento das mais diversas topologias de conversores CC-CC existentes, assim como também é possível obter por meio dela explicações sobre os fundamentos teóricos necessários na geração e desenvolvimento destes conversores.

- Giacomini, Wuttig e Schonardie (2011): Nesta pesquisa os autores apresentaram um projeto de conversor CC-CC do tipo abaixador de tensão e explicam dentre muitas coisas que no caso desse tipo de conversão é bastante usado conversores estáticos ou eletrônicos de tensão, explicando também a diferença entre ambos. Desta forma o trabalho vem a agregar mais informações, já que ele servirá como guia para ajudar no desenvolvimento do projeto

Independente dos pesquisadores escolhidos, todos contribuem de forma significativa e em boa medida para que o presente projeto torne- se viável, real e

alcance seu objetivo inicial, sempre somando informações de diversas fontes, experiências e abordagens teóricas.

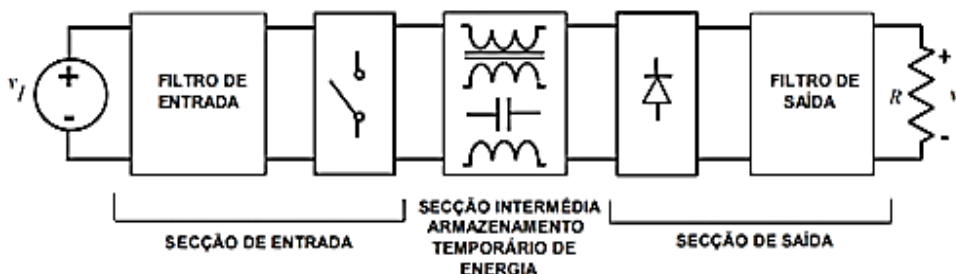
Diante do atual momento em que o público desse segmento continua em ascensão, querendo sempre deixar seus veículos mais e mais equipados com diversos produtos automotivos, a demanda por um aparelho dessa natureza e que ofereça tal autonomia vem com o intuito de proporcionar um maior conforto e menores problemas ao consumidor, já que com o protótipo feito e funcionando perfeitamente o usuário não precisará comprar mais que uma unidade de um mesmo conversor e fazer combinações para se chegar ao valor que ele necessita, como é feito hoje em muitos casos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 DEFINIÇÃO DE CONVERSOR

Segundo Hard (2001), os conversores CC-CC são equipamentos eletrônicos que convertem uma determinada entrada de tensão contínua em outro valor de saída, sendo está regulada. Eles são compostos por blocos e descritos como arranjos construídos por elementos ativos como semicondutores de potência funcionando como chaveadores, por elementos passivos costumeiramente diodos, indutores e por fim elementos reativos como capacitores.

Figura 01: Secções constituintes dos conversores CC-CC.



Fonte: (COSTA, 2000, p. 45)²

Corrêa (2011) aponta que a conversão é feita por meio da acumulação por um determinado tempo da tensão de entrada, e posteriormente liberando uma tensão alterada na saída em relação à entrada. Essa via de conversão é mais proveitosa em comparação a regulação linear de tensão, chegando a atingir oitenta por cento de eficiência e conseqüentemente tendo uma maior autonomia em dispositivos abastecidos por meio de baterias. Os conversores com circuito integrado, por exemplo, são os responsáveis por uma considerada redução de equipamentos, se comparados com os lineares.

Já como desvantagens desses tipos de conversores CC- CC, pode-se destacar uma maior dificuldade no seu desenvolvimento, os materiais utilizados refletirão no custo final do produto e em uma possível emissão de ruídos.

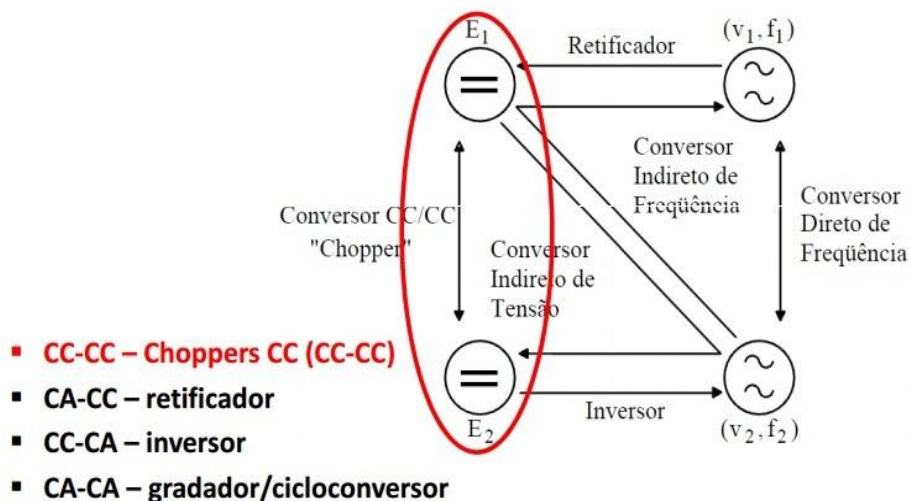
² Disponível em: <http://www.enautica.pt/publico/professores/dcosta/elpot_cap2.pdf>. Acesso em: Maio 2015.

De toda a forma os conversores CC-CC viabilizam o uso de apenas uma bateria para gerar uma tensão de saída diferente e controlada, proporcionando assim um ganho de área, uma vez que com esses equipamentos se torna dispensável a utilização de várias baterias com tensões diferentes para a alimentação dos mais variados tipos de dispositivos, com alimentação diferente do circuito elétrico original, que venha ter o veículo.

Atualmente esses dispositivos não estão restritos apenas para o uso automotivo, e tem dualidade de nomenclatura, podendo ser chamado tanto de conversor quanto de inversor. Em relação ao seu emprego, ele é utilizado para mais diferentes fins, pois podem converter uma determinada tensão de entrada CC em outra CC de valor distinto, assim como também inverter uma tensão CA em uma CC, e vice-versa.

Barbi (2006) compartilha deste ponto de vista quando fala que entre as diversas áreas de utilização dos conversores estáticos destacam-se para reatores eletrônicos, acionamento de máquinas elétricas, fontes de alimentação, transmissão em corrente contínua, Compensadores estáticos de reativos, fontes alternativas de energia entre outros.

Figura 02: Principais tipos e funções dos conversores.

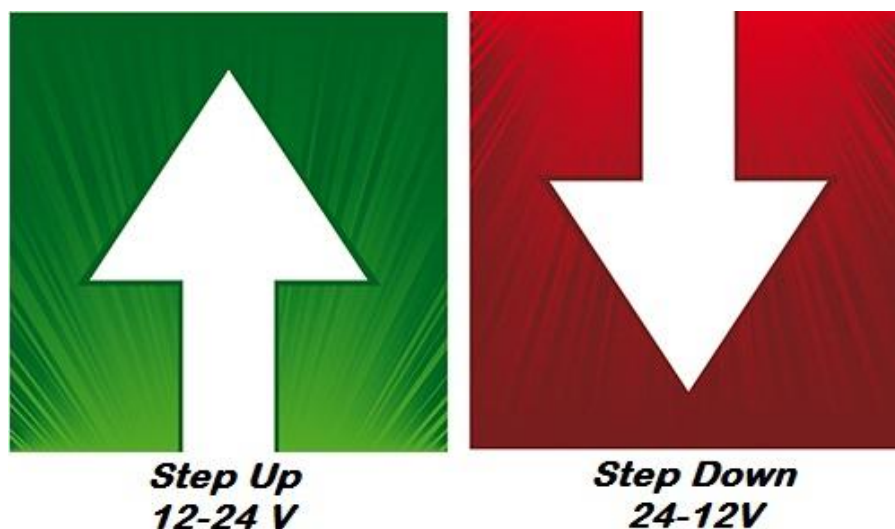


Fonte: (ASSEF, S/d, p. 02)³

³ Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/amauriassef/disciplinas/eletronica-de-potencia/apresentacoes/Eletr_Pot1_21.pdf/view>. Acesso em: Abr. 2015.

De acordo com Luo e Ye (2003), um conversor tanto pode aumentar a tensão de entrada em relação a de saída ou vice-versa, sendo denominado como *step-up* e *step-down*.

Figura 03: Significado de cada tipo de Step



Fonte: (Autoria Própria, 2015)

3.2 TOPOLOGIAS DOS CONVERSORES

Há vários tipos de topologias de conversores CC-CC, onde cada qual possui suas peculiaridades próprias e tem aplicações definidas de acordo com a necessidade de cada usuário. Existem os conversores isolados e não isolados, o primeiro é chamado assim por utilizarem no seu circuito transformador de potência, já os não isolados não apresentam tal componente. Barbi e Martins (2006) ressaltam que entre os conversores não isolados existem seis tipos, que são os mais populares, onde os ganhos dos mesmos estão representados no quadro 01.

Quadro 01: Conversores estáticos básicos não isolados.

Conversor	Ganho estático
Buck	D
Boost	$1/(1-D)$
Buck-Boost	$D/(1-D)$
Cúk	$D/(1-D)$
Sepic	$D/(1-D)$
Zeta	$D/(1-D)$

Fonte: (BARBI e MARTINS, 2006, p. 3)

Informa Pomilio (2014) que os conversores também podem ser classificados pelos tipos *Flyback* e *Forward*. No caso do *Flyback*, ele é um derivado do abaixador-elevador, onde a energia é transmitida diretamente para a unidade magnetizada, que tem um comportamento similar a um indutor bifilar, e posteriormente será disponibilizada na carga. Já o segundo tipo, que é conhecido como derivado do abaixador de tensão, a energia atravessa ao mesmo tempo tanto para o membro magnetizado como para a carga, fazendo assim somente um estágio, diferentemente do primeiro tipo.

No quadro 02 fica possível um melhor entendimento sobre os dois tipos de conversores descritos acima.

Quadro 02: Topologias dos Conversores CC- CC

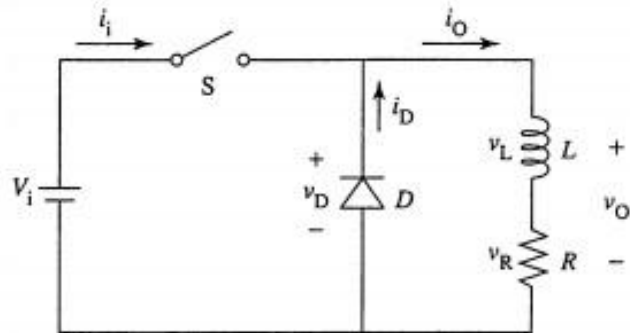
	Com Transformador	Sem Transformador
<i>Flyback</i>	Flyback Cúk isolado	Inversor: <i>Buck- Boost</i> Cúk
		Não Inversor: <i>Step- up (Boost)</i> SEPIC
<i>Forward</i>	<i>Forward (Buck Isolado)</i> <i>Push- Pull</i> Meia Ponte Ponte Completa	<i>Step- down (Buck)</i>

Fonte: (CORRÊA, 2011, p. 19)

3.2.1 Conversor Topologia Buck

Afirma Ahmed (2000), que o conversor dessa topologia é um *Step- down*, por fornecer um valor médio de tensão na saída menor que o valor médio da tensão de entrada, no mesmo tempo em que a corrente média de saída será maior que a da entrada. Isso acontece por causa do princípio da conservação de energia. Essa topologia de conversor é feita com a finalidade de viabilizar uma variação contínua na carga desde zero até o valor da tensão de alimentação.

Figura 04: Conversor *step-down*



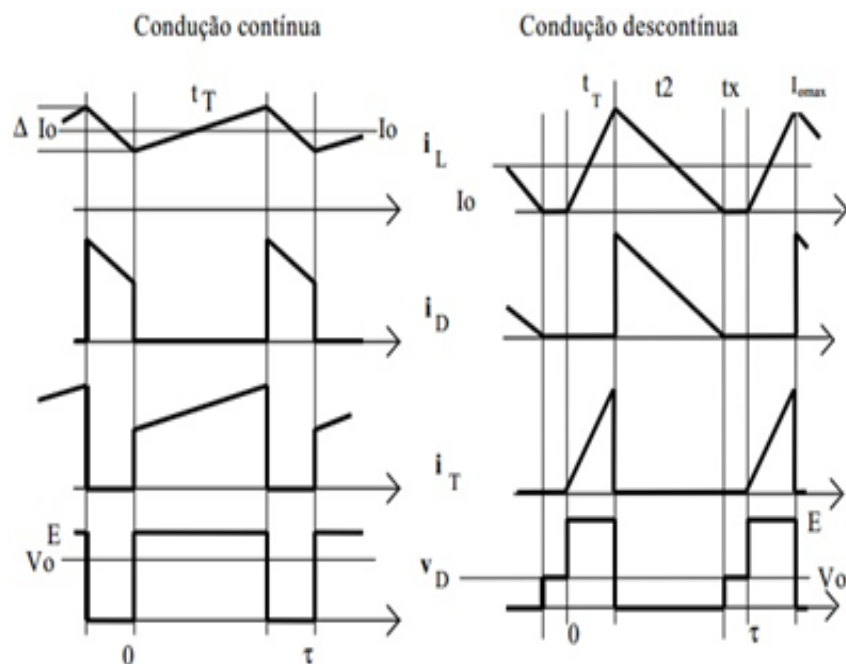
Fonte: (AHMED, 2000, p. 313)

3.2.1.1 Modo de condução contínua e descontínua do conversor Buck

Dizem Barbi e Martins (2006) que o modo contínuo acontece quando a corrente do diodo não chega ao zero antes que o transistor seja religado. Mas ocorre que em alguns conversores há uma coincidência desse acontecimento com o fato da corrente pelo indutor não se anular, em outros não.

Já o modo descontínuo acontece quando há um comportamento de corrente constante na saída.

Figura 05: Formas de onda do conversor *Buck*



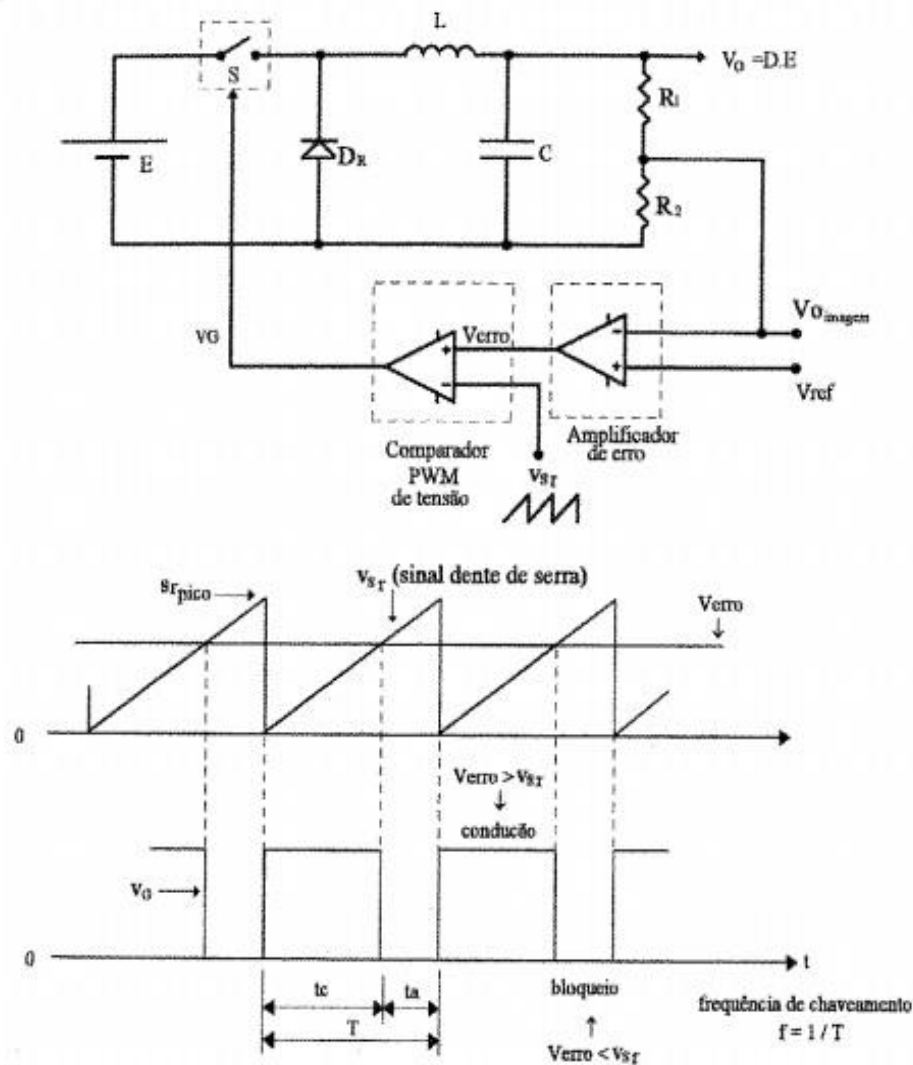
Fonte: (POMILIO, 2014, cap. 05, p. 02)

3.2.1.2 Conversor Buck com modulação PWM

Nessa característica de modulação PWM (*Pulse Width Modulation*) ou Modulação por Largura de Pulso é feito o controle da tensão de saída com o propósito de sempre conservar em um determinado nível.

Na figura 06 é possível verificar o princípio básico de funcionamento desse tipo de conversor e o sinal dente de serra provocado pelo funcionamento do mesmo, onde a tensão de saída V_o , adquirida por meio de um divisor resistivo, é comparada com um sinal de referência na entrada do amplificador de erro.

Figura 06: Conversor Buck com modulação PWM.



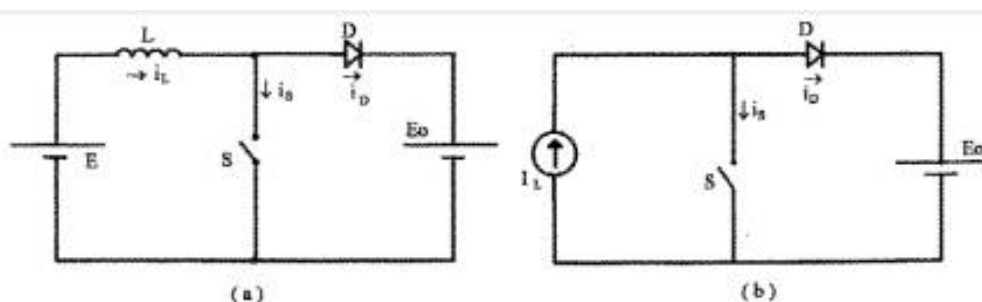
Fonte: (BARBI e MARTINS, 2006, p. 52)

3.2.2 Conversor Topologia *Boost*

Ahmed (2000) diz que esse é um conversor do tipo *Step-Up*, pois sua tensão de entrada é menor que a de saída, logo sendo um elevador de tensão. Sua composição é feita por no mínimo, um diodo, um transistor e um elemento de armazenamento de energia. Eles também possuem filtros com capacitores e indutores que são inseridos com a intenção de aumentar o seu desempenho. Sua maior aplicabilidade em retificadores com elevado fator de potência, no acionamento no motor de corrente contínua com frenagem regenerativa e em fontes de alimentação.

Na figura 7a, é apresentada a composição básica de um conversor *Step-Up-Boost*. Para altas frequências de chaveamento a corrente I_L pode ser considerada constante e igual a I_L , como pode ser visto na figura 7b.

Figura 07: Conversor *Boost*

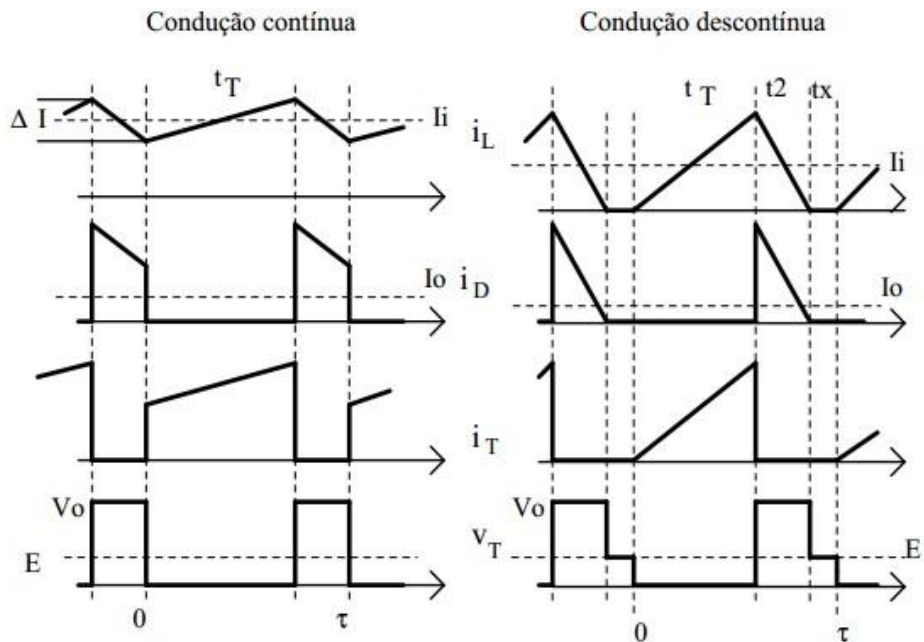


Fonte: (BARBI e MARTINS, 2006, p. 67)

Pomilio (2014) afirma que os conversores dessa topologia não possuem transformadores e tanto a entrada como a sua saída possuem a mesma polaridade. A quantidade de componentes que possui na sua estrutura é praticamente a mesma que os conversores Buck têm, a diferença é que eles são re-arrumados originando essa nova topologia, onde obrigatoriamente uma indutância L é colocada em série com a fonte de alimentação e assim, a fonte de alimentação se comportará como fonte de corrente. Já a carga por sua vez atuará como uma fonte de tensão.

Na figura 08 é possível verificar as formas de ondas desse conversor, tanto em modo contínuo e descontínuo.

Figura 08: Formas de onda do conversor *Boost*

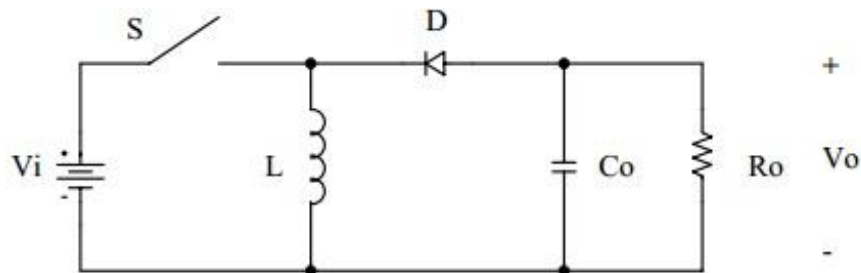


Fonte: (POMILIO, 2014, cap. 05, p. 06)

3.2.3 Conversor Topologia *Buck-Boost*

Como afirma Petry (2001), esse tipo de conversor tanto pode trabalhar como abaixador ou elevador de tensão, sendo os mesmos caracterizados por terem tanto a entrada quanto a saída em tensão, apesar da tensão de saída ter a polaridade oposta da tensão de entrada. Eles são usados para o controle do fluxo de energia entre duas fontes de tensão, ou seja, entre uma fonte de tensão e uma carga com características de fonte de tensão. Na figura 09 mostra-se o circuito elétrico desse conversor

Figura 09: Conversor *Buck-Boost*



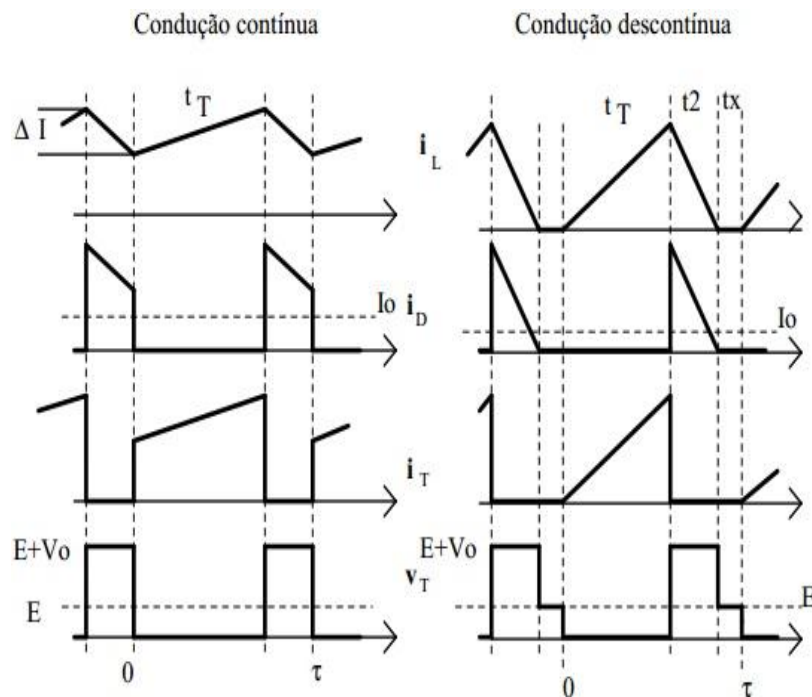
Fonte: (PETRY, 2001, p. 09)

Entre as principais vantagens e características do uso de um conversor dessa topologia destacam se:

- Tanto a corrente de entrada quanto a de saída são descontínuas
- Que pode ser operado como abaixador ou elevador de tensão
- É um conversor à acumulação de energia

A principal desvantagem quanto ao uso da topologia *Buck- Boost* se dá pelo fato já mencionado a pouco, por ela ter a polaridade da tensão de saída oposta à de entrada, obrigando assim que o transistor suporte a soma de tensão da entrada com a saída. A figura 10 mostra as formas de ondas do conversor referido nesse tópico.

Figura 10: Formas de onda do conversor abaixador- elevador de tensão.

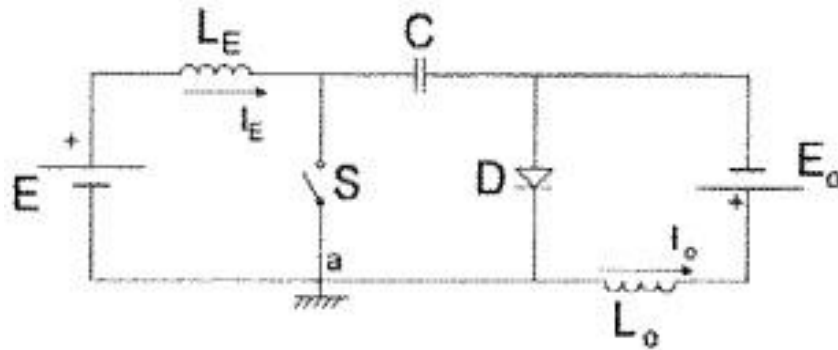


Fonte: (POMILIO, 2014, cap. 05, p. 09)

3.2.4 Conversor Topologia Cúk

Levando em consideração as afirmações de Barbi e Martins (2006), onde dizem que além de ser conhecido como conversor cúk, devido essa topologia puder fazer acumulação capacitiva, ele também pode realizar a transferência de energia entre duas fontes.

Figura 11: Conversor topologia Cúk não isolado.

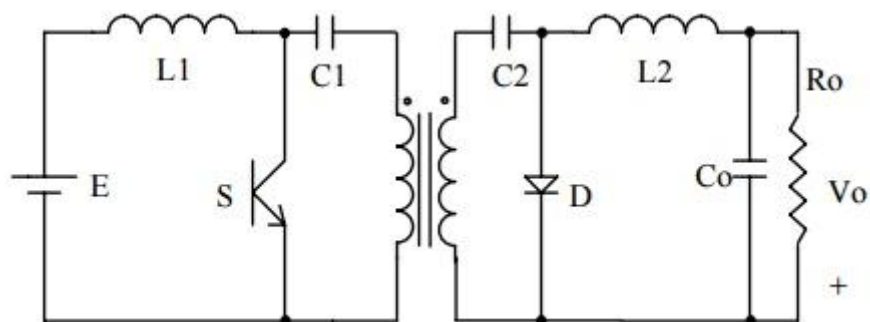


Fonte: (BARBI e MARTINS, 2006, p. 130)

Ainda de acordo com os autores, esse conversor em questão também é uma associação de um conversor *Boost* com um conversor *Buck*, pois o mesmo apresenta uma entrada com características de fonte de corrente, fazendo assim o envio de energia a um capacitor, por esse motivo é necessário a utilização de semicondutores que aguentem correntes relativamente altas, e este por sua vez, transferindo essa mesma energia para uma carga com características de fonte de corrente. Pode-se dizer que na verdade o conversor *Cúk* é um conversor *Boost-Buck*, dual do conversor *Buck-Bost*.

Ressalta Hard (2001), que nesses conversores a isolação entre a entrada e a saída pode ser feita com um transformador no circuito, utilizando dois capacitores para que os mesmos façam a transferência de energia da entrada para a saída, como pode ser visto na figura 12.

Figura 12: Conversor Cúk isolado.

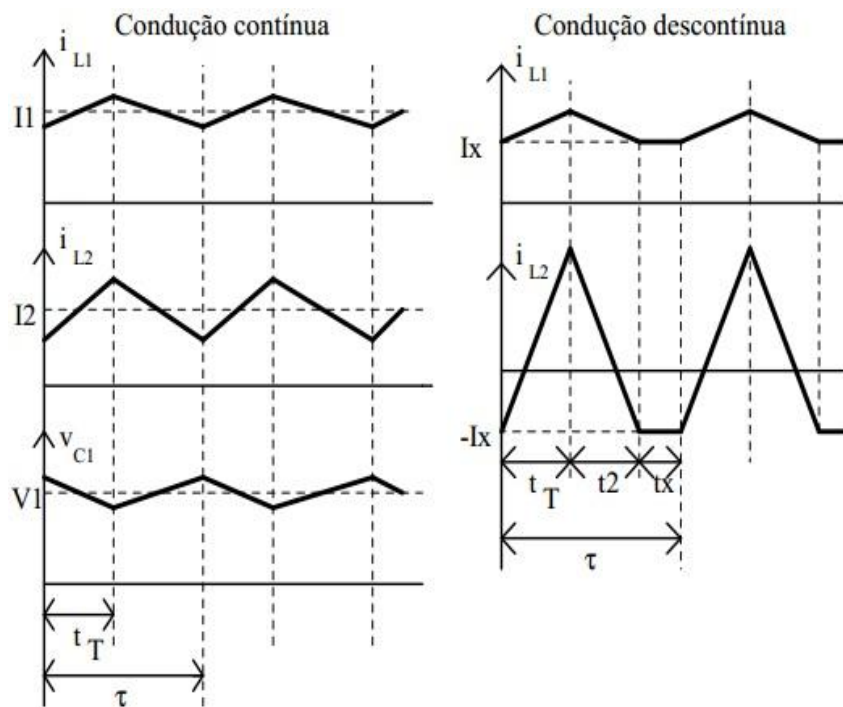


Fonte: (POMILIO, 2014, cap. 06, p. 04)

A vantagem na utilização da topologia Cúk é que tanto a corrente de entrada quanto a de saída podem ser contínuas, isso acontece por conta dos indutores que estão sujeitos ao mesmo valor instantâneo de tensão, fazendo assim que seja possível a construção de ambos em um mesmo núcleo. Esse possível acoplamento magnético é o que a eliminação de ondulações de corrente em um dos enrolamentos

A tensão de saída nessa topologia é invertida em relação à tensão de entrada. Na figura 13 são apresentadas as formas de onda condução contínua e descontínua para esse tipo de conversor.

Figura 13: Formas de onda dos conversores topologia Cúk.



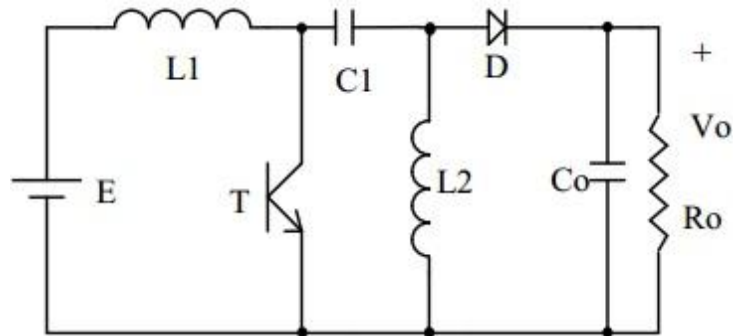
Fonte: (POMILIO, 2014, cap. 05, p. 12)

3.2.5 Conversor Topologia SEPIC

Como lembra Pomilio (2014), o conversor SEPIC (*Single Ended Primary Inductance Converter*) foi originalmente construído para altas tensões e que seja do tipo abaixador- elevador de tensão. Distintamente do que ocorre no conversor Cúk, a corrente de saída é pulsada e não há inversão na polaridade da tensão de saída. Já

semelhantemente com o que acontece no conversor Cúk, os interruptores podem receber uma alta tensão, que é a resultante da soma das tensões de entrada e saída, como também da transferência de energia da entrada para a saída.

Figura 14: Conversor SEPIC não isolado.

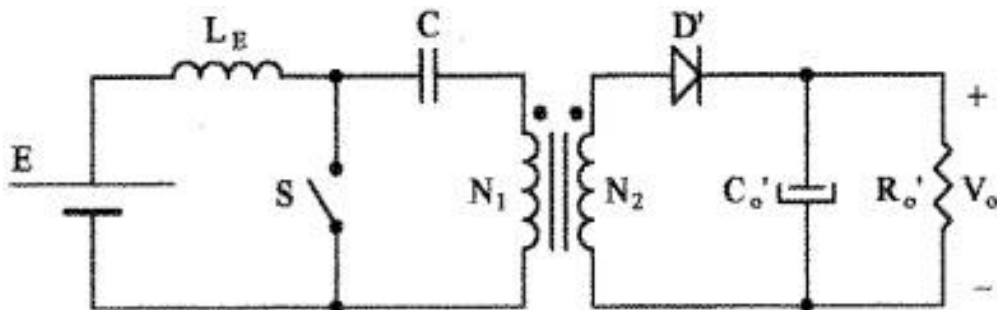


Fonte: (POMILIO, 2014, cap. 05, p. 15)

Entre as características dessa topologia, evidencia-se entre outras:

- Uma maior simplicidade, se comparado a outras topologias existentes.
- Em um circuito isolado, a indutância pode ser a própria indutância de magnetização do transformador
- Entrada com característica de fonte de corrente, o que tem como consequência o surgimento de uma pequena ondulação na corrente de entrada.
- A saída tem característica de fonte de tensão, o que simplifica o uso de transformadores com muitas saídas.

Figura 15: Estrutura básica conversor CC- CC SEPIC isolado.

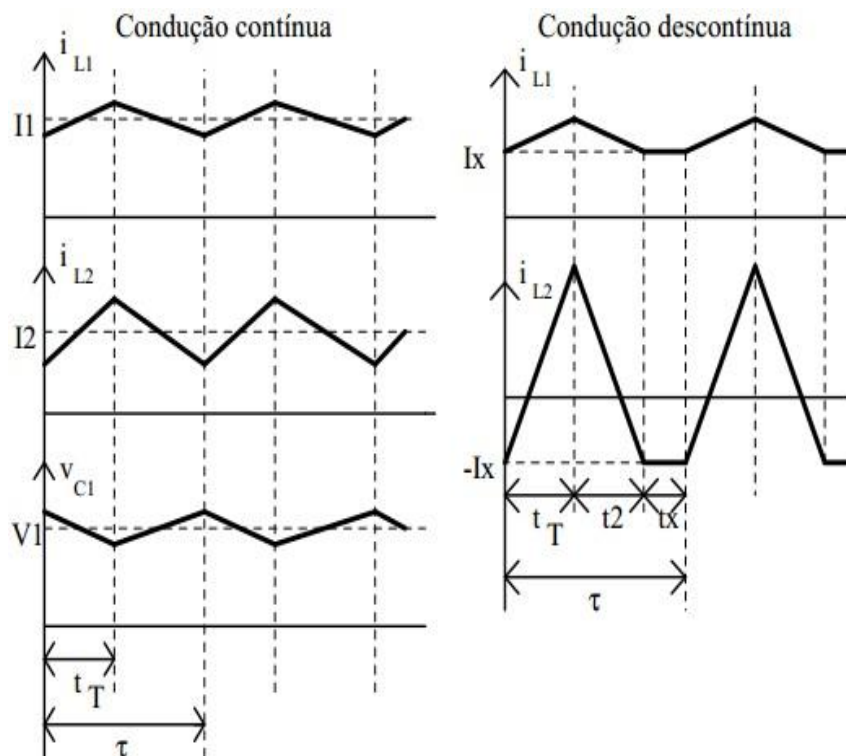


Fonte: (BARBI e MARTINS, 2006, p.171)

Essas vantagens que o conversor SEPIC apresenta, contudo, pode vir acompanhado de uma desvantagem, isto por que o conversor em questão é um sistema de 4ª ordem e por isso existe certa dificuldade no controle da sua estrutura, exigindo do projetista um profundo estudo a fim de obter soluções inteligentes para os possíveis problemas que poderá ocorrer.

O conversor SEPIC apresenta as mesmas formas, na condução contínua e descontínua que o conversor Cúk. Pomilio (2014) salienta ainda que, no modo descontínuo a corrente pelo diodo de saída se anula, fazendo com que se igualem as correntes pelas indutâncias, como observado na figura 16.

Figura 16: Formas de onda conversor SEPIC.



Fonte: (POMILIO, 2014, cap. 06, p. 02)

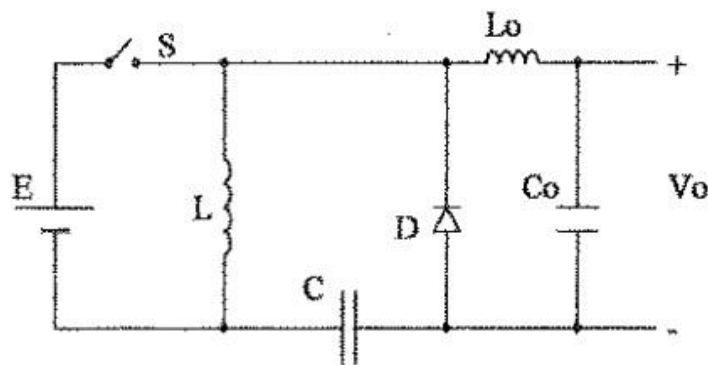
3.2.6 Conversor Topologia ZETA

Essa topologia também tem propriedade abaixadora- elevadora de tensão e sua estrutura é basicamente a mesma dos conversores da topologia SEPIC e Cúk,

já descritos aqui anteriormente, à única diferença do ZETA em relação aos outros dois é a organização em que os componentes podem estar na placa.

Barbi e Martins (2006) esclarecem que o conversor ZETA é uma estrutura de 4ª ordem, e quanto à entrada de energia pode ser visto como um conversor *Buck-Boost- Buck*, motivo esse que ele é conhecido como *Dual- Sepic* por sua dualidade, como observado na figura 17.

Figura 17: Conversor ZETA não isolado, visto como *Buck- Boost- Buck*



Fonte: (BARBI e MARTINS, 2006, p.238)

Entre as características dessa topologia, se sobressaem as seguintes:

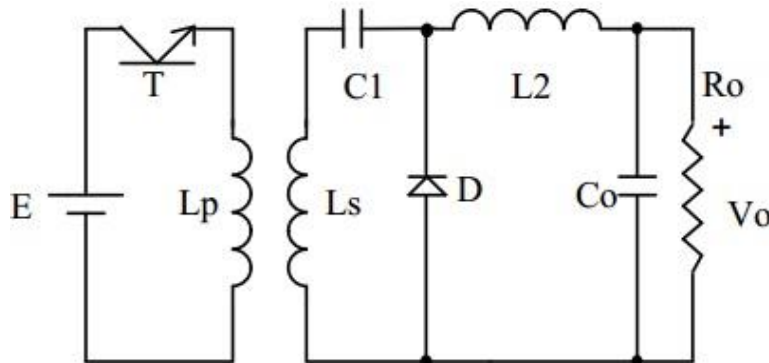
- De acordo como o interruptor estiver ele protege o circuito contra correntes acima do seu limite.
- A corrente de entrada é descontínua e a de saída é contínua.
- A transferência de energia é feita por meio do capacitor.
- A indutância em muitos casos é a mesma indutância de magnetização na versão isolada.
- A indutância no modo descontínuo é caracterizada com a inversão no sentido da corrente por uma das indutâncias

Barbi e Martins (2006) seguem afirmando que o conversor ZETA isolado é derivado do conversor *Forward*, fazendo a modificação somente de um diodo por um capacitor acoplado, fazendo assim que se crie um estágio CA entre a fonte CC de entrada e a carga. Esse estágio é o encarregado da desmagnetização do transformador. Os objetivos do método CA são:

- Minimizar a dimensão da montagem, lembrando a não necessidade do uso de um dissipador deste diodo.
- Elevar a eficiência da estrutura, uma vez que as perdas por comutação e condução no diodo retificador seriam banidas.

A figura 18 ilustra a estrutura de um conversor CC- CC isolado.

Figura 18: Conversor ZETA isolado.



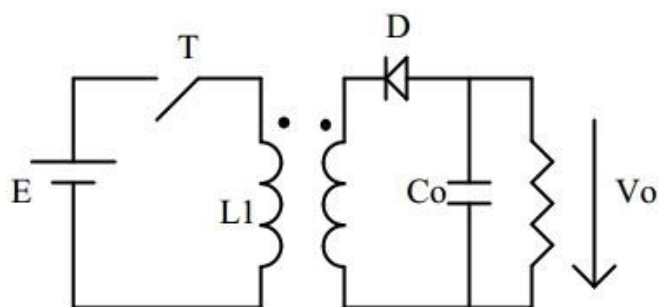
Fonte: (POMILIO, 2014, cap. 05, p. 16)

3.2.7 Conversor Flyback

Hard (2001) fala que o conversor CC-CC é caracterizado por ser um derivado do conversor *Busck- Boost*. Isso se dá por causa da substituição feita do indutor acumulador de energia pelo transformador. Com isso a corrente não consegue fluir simultaneamente pelo primário e secundário, fazendo assim com que o elemento magnético não tenha o mesmo comportamento que um transformador tradicional. Esse transformador que é utilizado no conversor *flyback* apresenta também a função de indutor de acúmulo de energia devido a sua indutância magnetizante.

Como os demais tipos de topologia, esse conversor também existe a possibilidade de ser operado tanto no modo de condução contínua quanto no modo de condução descontínua, isso é estabelecido de acordo com a corrente na indutância de magnetização.

Figura 19: Conversor Flyback.



Fonte: (POMILIO, 2014, cap. 05, p. 17)

Pode-se considerar que no modo contínuo não acontece a desmagnetização completa do núcleo do indutor acoplado, contribuindo para que possa acontecer a saturação do núcleo. Em tempo, na condução descontínua o fluxo magnético é anulado em cada período de comutação, não permitindo que haja saturação do núcleo.

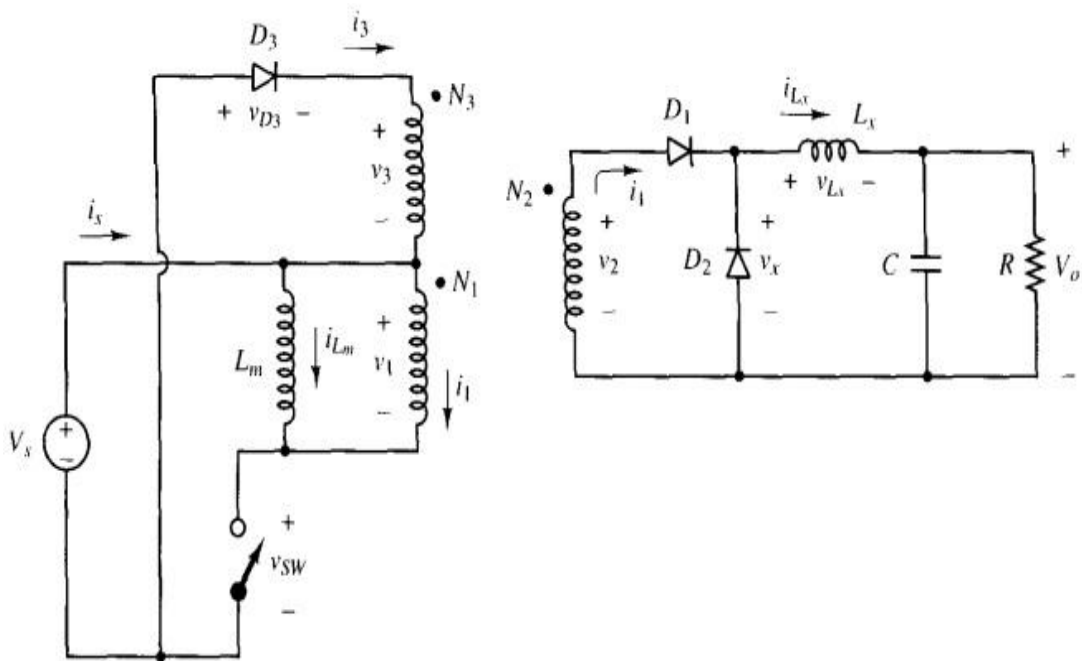
3.2.8 Conversor *Forward*

O conversor desse tipo é o derivado do conversor Buck, do abaixador de tensão, com uma diferenciação, que nesse caso ele é incrementado com um transformador e outro diodo no circuito de saída. Pomilio (2014) ratifica que o *forward* é comumente utilizado em condução contínua, já que nesse modo são menores os picos de corrente no primário e secundário assim como a variação de tensão na saída do conversor.

Uma das características desse conversor é que sempre há uma pequena energia magnetizante que circula por todo o núcleo circulante pelo núcleo, essa deve ser removida a cada ciclo. Por conta de tudo isso se faz necessário que haja um enrolamento auxiliar no transformador para dessa forma ficar assegurado a desmagnetização, ocorrendo isso sempre no modo descontínuo.

Segue atestando Pomilio (2014) que outra forma que possibilita a desmagnetização é inserção de um diodo zener no secundário, onde irá circular a corrente no momento do desligamento da chave.

Figura 20: Conversor *Forward*



Fonte: (HARD, 2001, p. 269)

3.2.9 Conversores em Ponte isolados

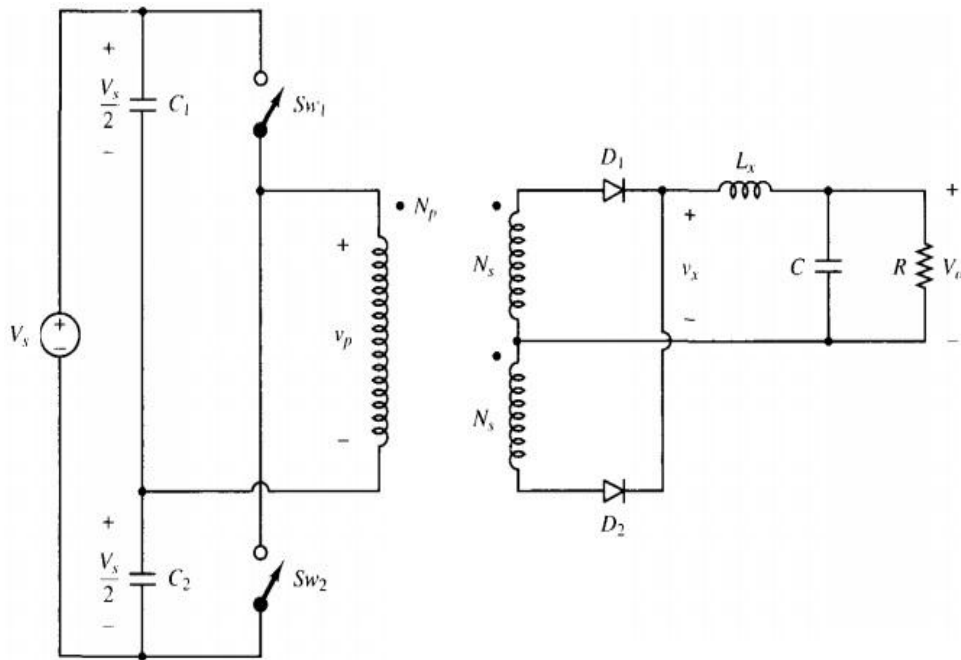
3.2.9.1 Conversor em Meia Ponte

Esse tipo de conversor é um derivado tanto do conversor *Buck* que também é conhecido como *half-bridge*. Sua aplicação é para uma maior potência se comparado com o *flyback* e o *forward*, pois o mesmo tem a tensão do barramento CC que deve ser dividida em duas tensões iguais e que não haja a obrigatoriedade de integrar um circuito para que possa ocorrer a desmagnetização do núcleo.

Hard (2001) sustenta que tanto o conversor de meia ponte quanto os conversores ponte completa e o *push-pull*, que serão estudados mais adiante, são similares. No caso do conversor meia ponte se comparado ao *push-pull* permite serem feitas modificações importunas no segundo tipo, gerando assim o primeiro. Para que isso seja possível é criado um ponto médio na alimentação utilizando um divisor capacitivo, fazendo com que os transistores possam aguentar 50% da tensão do que suportaria o *push-pull*, mesmo levando em consideração que no conversor meia ponte a corrente seja o dobro.

No caso do capacitor para esse circuito deverá optar por um que evite que ocorra ressonância com o indutor de saída para que se evite que recaia uma tensão maior que um pequeno percentual da tensão de alimentação. A utilização do capacitor de desacoplamento assegura a tensão média nula no primário do transformador. Na figura 21 mostra a estrutura básica de um conversor meia ponte.

Figura 21: Conversor Meia Ponte.



Fonte: (HARD, 2001, p. 283)

3.2.9.2 Conversor em Ponte Completa

Nesse caso de conversor pode aplicar uma maior potência se comparado ao conversor meia ponte. Ele também é uma derivação do conversor Buck e nesse caso não é necessário a adição de um circuito para a desmagnetização do núcleo.

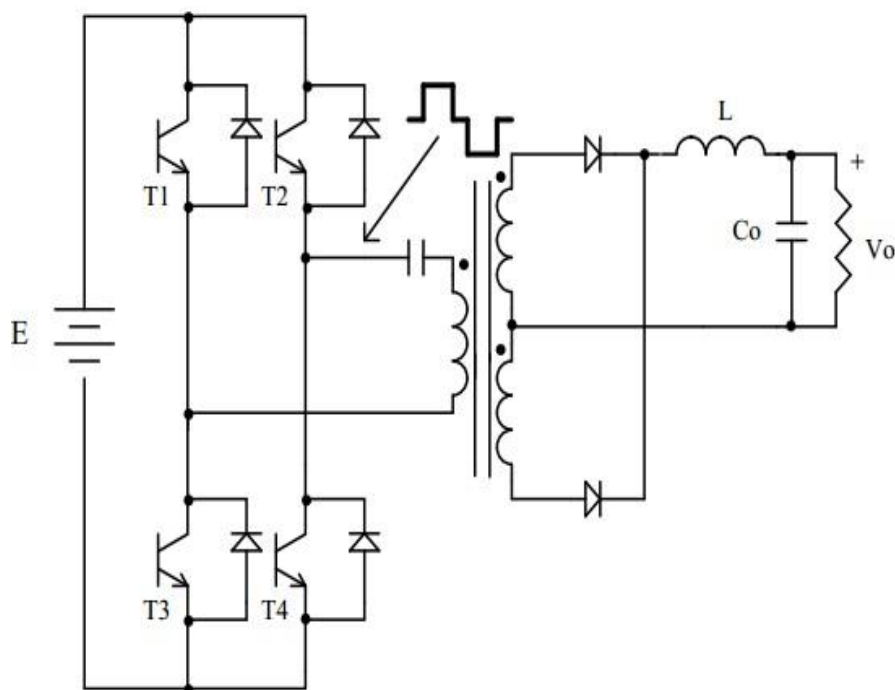
Pomilio (2014) participa dizendo que com o conversor ponte completa há como lograr a mesma performance que um de meia ponte adquiri sem que haja a complicação da corrente pelo transistor.

Segue esclarecendo o autor que é justamente por conta de suprimir essas altas correntes que passam pelos transistores do conversor Meia Ponte, que é utilizado o Ponte Completa, só que esse agora precisa de 04 transistores.

O conversor Ponte Completa, conhecido como *full-bridge* se caracteriza por ter um maior número de semicondutores, apesar disso, esses semicondutores estão sujeitos a menores tensões e/ou correntes.

Na figura 22 é apresentado um conversor de Ponte Completa

Figura 22: Conversor Ponte Completa.



Fonte: (POMILIO, 2014, Cap. 05, p. 20)

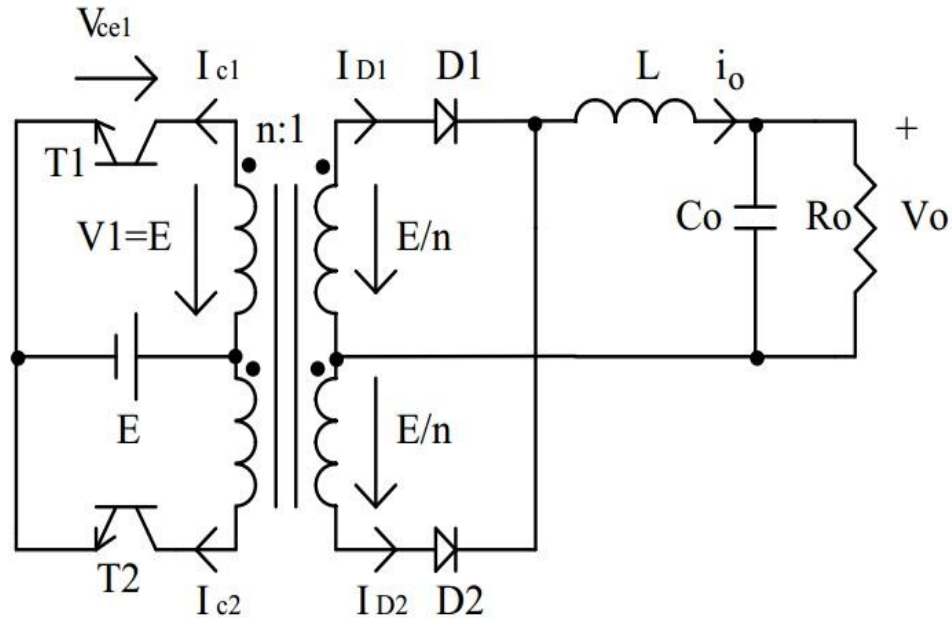
3.2.10 Conversor *Push- Pull*

A topologia *push- pull* é uma junção de 02 conversores *forward* trabalhando em contra fase, mais precisamente ele é um dos derivados do conversor Buck. Essa derivação se fez necessária por causa de algumas deficiências que a topologia *Buck* apresentava, como por exemplo, a falta de isolamento entre a tensão de entrada e a tensão de saída. Na Figura 23 mostra que tanto a magnetização quanto a desmagnetização do núcleo são usadas a fim de mandar energia para o secundário, o que mostra uma melhora no uso do mesmo.

Esse tipo de conversor consente que se tenha um valor de tensão de saída maior ou menor que o de entrada, e a isolamento entre as tensões é feita por meio de

um transformador, mas para que isso seja possível é preciso ter um diodo, um transistor e um transformador a mais se comparado as topologias básicas.

Figura 23: Conversor Topologia *Push- Pull*



Fonte: (POMILIO, 2014, Cap. 05, p. 19)

Elucida Pomilio (2014) quanto ao funcionamento desta topologia, em que quando $T1$ conduz, a considerar as polaridades dos enrolamentos, nos secundários surgem tensões como serão vistas na forma de onda do mesmo. Neste intervalo $D1$ não conduz e $D2$ conduz, fazendo com que o fluxo no transformador se mantenha nulo, desconsiderando a magnetização.

O autor prossegue dizendo que é possível notabilizar no intervalo que ocorre entre as conduções dos transistores, os diodos $D1$ e $D2$ passam a conduzir simultaneamente (nesse mesmo momento em que $T1$ é desligado, o fluxo nulo é assegurado por conta da condução dos 02 diodos, cada qual conduzindo metade da corrente) funcionando como diodos de livre circulação e conseqüentemente curto-circuitando o secundário do transformador.

Alerta ainda Pomilio (2014) que o ciclo de trabalho do conversor *push-pull* deve ser menor que 0,5, evitando assim a condução simultânea dos transistores.

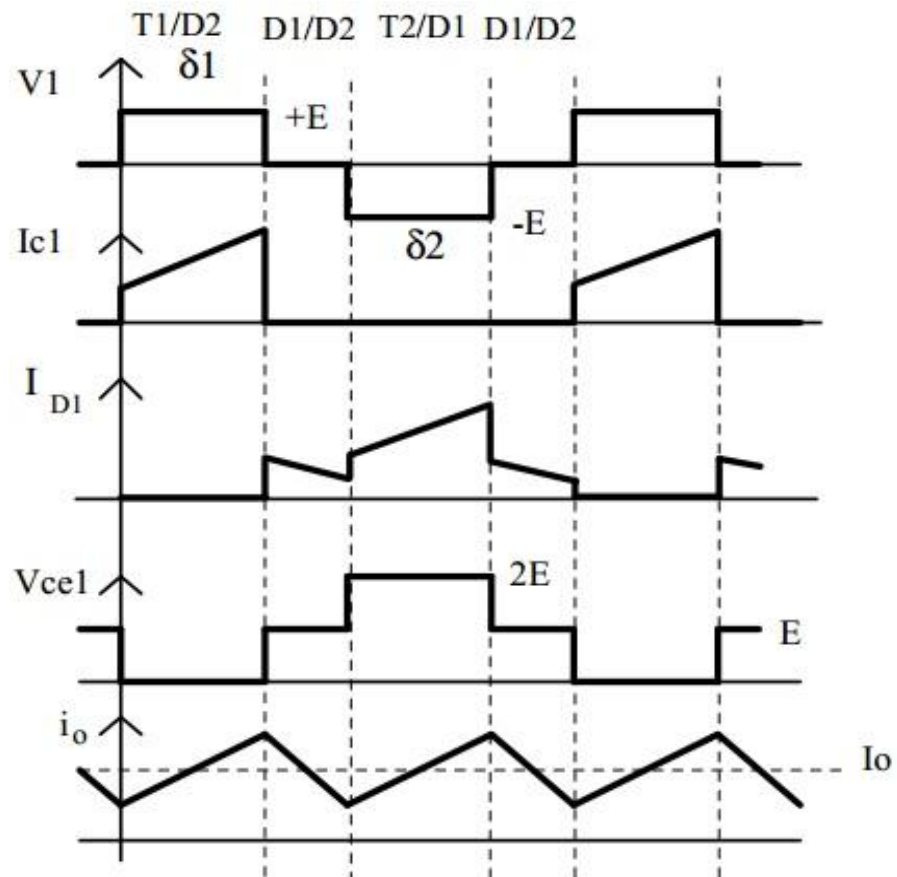
A tensão de saída dessa topologia é dada por:

$$V_o = \frac{2 \cdot \delta \cdot V_i}{n} \quad (1)$$

- n = Relação de espiras do transformador.
- δ = Razão cíclica ($< 0,5$)
- V_i = Tensão de entrada.

Um problema encontrado nos circuitos dessa topologia é quanto à possibilidade de saturação do transformador caso a condução dos transistores não seja igual (o que garante uma tensão média nula aplicada ao primário), e também os transistores devem suportar uma tensão com o dobro do valor da tensão de entrada.

Figura 24: Formas de onda da Topologia *Push-pull*

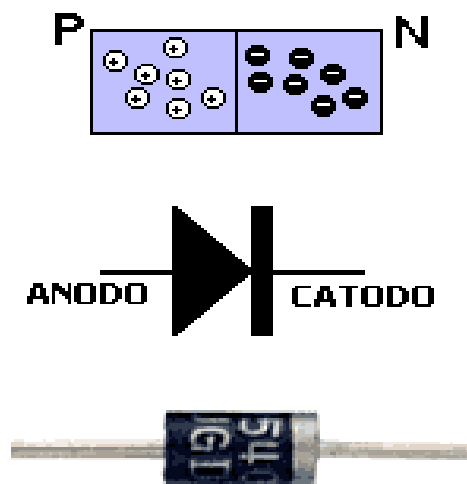


Fonte: (POMILIO, 2014, Cap. 05, p. 19)

3.3 DIODOS

O diodo se caracteriza por ser um dispositivo que quando está em polarização direta libera a passagem de corrente, e em polarização reversa bloqueia a passagem de corrente. Ele também é um dispositivo passivo e não linear composto por uma junção de semicondutores com dopagem tipo p e n, junção essa a responsável por liberar mais facilmente a passagem de portadores de carga em um sentido do que em outro.

Figura 25: Simbologia de um diodo.



Fonte: (ELECTRONICA, 2014)⁴

3.3.1 Diodos Rápidos

De acordo com Braga (2014) com as fontes chaveadas operando cada vez com altas frequências é necessário o uso de diodos rápidos para que se evitem possíveis problemas no dispositivo, muitas vezes problemas esses que podem não surgir imediatamente, mas que certamente mais cedo ou tarde ocorrerão. Para tanto é preciso atenção para que se esteja sempre vigilante sobre o assunto.

⁴Disponível em: <<http://www.electronica-pt.com/content/view/33>>. Acesso em Maio 2015.

A velocidade referente ao diodo está diretamente ligada ao tempo de comutação em que as *datasheets* costumam fornecer. Segue o autor afirmando que as indústrias consideram diodos de recuperação rápida aqueles que possuem um tempo de recuperação inversa menor que 500 ns. Levando em consideração essa informação, hoje existem três grupos de diodos rápidos representados no quadro 03.

Quadro 03: Grupos dos Diodos Básicos

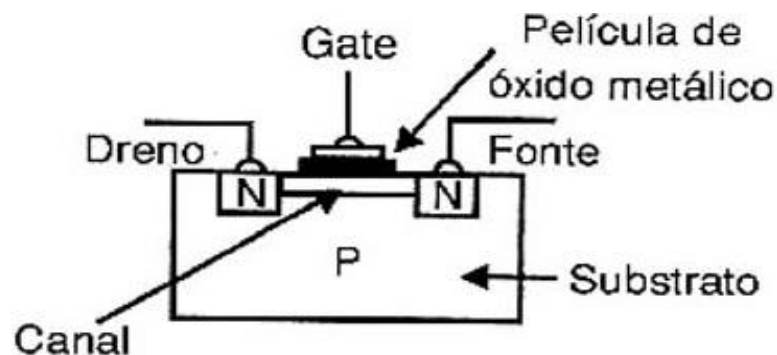
Nomenclatura	Limite suportado
Diodo <i>Fast</i>	Entre 50 e 500 ns
Diodo Média Velocidade	> 500 até 1000 ns
Diodo Ultra- <i>Fast</i> ou <i>Schottky</i>	< 50ns

Fonte: (BRAGA, 2014)

3.4 TRANSISTOR MOSFET

Luo e Ye (2003) explicam que o MOSFET além de ser um dispositivo controlado por tensão é também uma chave de atuação rápida em níveis de potência, diferente do transistor bipolar, que é controlado por corrente. Esses componentes têm autonomia para operar em altas frequências, por isso eles são sensíveis as descargas estáticas.

Figura 26: Estrutura de um MOSFET



Fonte: (BRAGA, 2014)

3.5 CAPACITOR

O capacitor é um componente presente em quase todos os dispositivos eletrônicos, sua função é retificar e estabilizar a corrente elétrica, impedindo assim que as variações possam danificar o produto. Ele armazena cargas elétricas e as mantém por um determinado tempo, mesmo se a alimentação elétrica for desligada. A energia que o capacitor armazena é expressa em Joules

Segundo Líbero e Redondo (2006), existem vários tipos de capacitores no mercado, sendo que atualmente o mais utilizado é o eletrolítico, no entanto não menos usual destacam-se os Cerâmicos, Filme de Poliéster e Poliéster Metalizado, Capacitor Supressor de Ruído (Classe Y ou X), entre outros.

A capacitância é definida pela capacidade de concentração de cargas elétricas no capacitor, quando aplicada determinada tensão em seus terminais.

Quanto maior for a área das placas e menor a distância entre elas, maior a capacitância. A unidade de capacitância é o Coulomb/ volt que recebeu o nome de Farad, em homenagem a Michael Farady⁵ (Djalma M. Redondo e V. L. Líbero. 1996. p. 137 e 138).

A capacitância pode ser medida pela fórmula abaixo:

$$Q = V \cdot C \quad (2)$$

- Q = A quantidade de carga (em Coloumb)
- V= Tensão;
- C= Capacitância (em Farad).

⁵Michael Faraday foi um físico e químico inglês que teve grandes contribuições no campo da eletroquímica. Ele foi responsável pela criação dos termos: cátion, ânion, eletrodo, eletrolítico, entre outros. Os estudos propostos por Faraday estão relacionados à eletrólise, substâncias orgânicas, eletricidade e magnetismo.

3.6 INDUTOR

O indutor é um componente empregado em circuitos elétricos para evitar que haja variações na corrente elétrica. Eles têm também a missão de realizar o acúmulo de energia por meio de um campo magnético, além de que em muitos casos são utilizados para compor um transformador, sem deixar de registrar que por diversas vezes são usados como filtro passa-baixa.

Líbero e Redondo (2006) reforçam que o indutor é uma bobina, mais precisamente um fio condutor enrolado de forma helicoidal por X vezes sobre um núcleo, que pode ser de ar, ferrite, ferro, laminado ou toroidal.

Figura 27: Tipos de núcleos de um indutor.



Fonte: (WESLLEYWMN, 2013, p. 01)⁶

Ressaltam os autores que a indutância é calculada de acordo com as propriedades e dimensões magnéticas do núcleo do indutor e do número de espiras. Chega-se a esses números através da fórmula:

⁶Disponível em: < <https://weslleywmn.wordpress.com/2013/05/24/indutores-e-capacitores/> >. Acesso em: 02 Maio 2015.

$$L = \frac{n^2}{r} \quad (3)$$

- L = Indutância;
- N= Número de espiras;
- R= Relutância magnética.

Fisicamente a indutância aumenta na mesma proporção que o tamanho do indutor, já que a capacidade de formação dos campos magnéticos do indutor aumenta conforme o tamanho de seu núcleo e o número de voltas.

Pode-se calcular a indutância através da relação:

$$L = \frac{\Phi}{I} \quad (4)$$

- L = Indutância;
- Φ = Fluxo magnético [Wb];
- I=Corrente.

A unidade de indutância é Henry⁷ [H].

3.7 TRANSFORMADOR

Malvino (S/d) sustenta que entre os diversos transformadores disponíveis no comércio, boa parte não são transformadores ideais por causa da resistência da bobina que produz perdas de potência, sem esquecer-se de mencionar que o núcleo laminado provoca outras perdas adicionais pela corrente *Foucault*, popularmente conhecida como corrente parasita.

Diante de tudo já exposto, o autor afirma que um transformador real é um dispositivo custoso de ser totalmente especificado, pois as folhas de dados dos

⁷Joseph Henry foi um físico norte-americano de notável sucesso em pesquisas com fenômenos eletromagnéticos. Ele demonstrou a possibilidade de transformação direta de energia mecânica em energia elétrica, quase que simultaneamente com Michael Faraday, na Inglaterra.

transformadores dificilmente dispõem a resistência das bobinas, a relação de espiras e outros valores nominais. O que é habitualmente obtido é somente a tensão no secundário com uma corrente nominal.

No transformador, é no enrolamento primário onde é aplicada a tensão que será convertida (V_p) e no enrolamento secundário é retirada a tensão de saída (V_s). Cada enrolamento tem na sua composição um determinado número de espiras responsáveis pela relação de conversão, assim, pode-se determinar os valores através da seguinte relação:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (5)$$

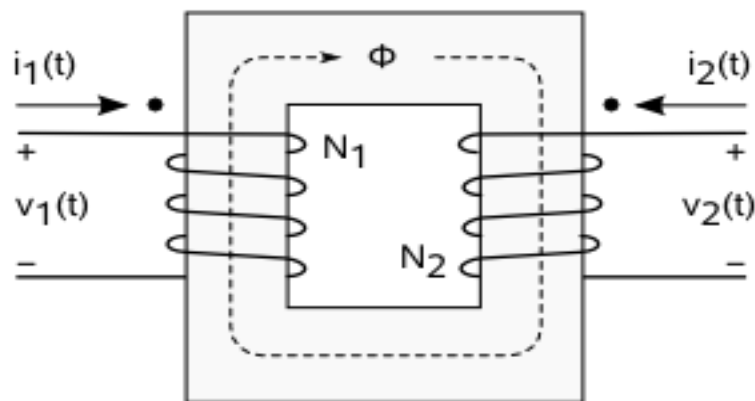
V_p = Tensão do Primário

V_s = Tensão do secundário

N_p = Número de espiras do primário

N_s = Número de espiras do secundário

Figura 28: Esquema de um Transformador básico.



Fonte: (LEAL, 2015, p. 01)⁸

⁸Disponível em: <<http://www.muriloleal.com.br/index.php?conteudo=eletricidade/distribuição/materiais>>. Acesso em: 05 Maio 2015.

Em um transformador ideal a potência do secundário é igual à potência aplicada ao primário, não havendo perdas. Dessa forma aplica-se a relação:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (6)$$

P_p = Potência do Primário

P_s = Potência do secundário

I_p = Corrente do primário

I_s = Corrente que circula no secundário, quando ligada a uma carga

3.8 CIRCUITO INTEGRADO SG 3525

Hoje em dia é possível encontrar diversos circuitos integrados no mercado para o controle de fontes chaveadas, esses produtos já vêm com toda a lógica necessária que requer um CI para ser usado nessa aplicação.

Dentre os muitos circuitos desenvolvidos para o controle de fontes chaveadas, que operam com a modulação PWM, evidencia-se o SG3525 por ser alimentado com tensões que variam entre 08 [V] e 35 [V], produzindo internamente uma tensão que será estável de 5,1 [V].

De acordo com ST (S/d), o CI SG3525 tem duas saídas complementares com uma capacidade de acionamento de 400 [mA], o que possibilita a operação com frequências de até 400 [KHz] e viabiliza o surgimento de um *soft-start* que pode ser ajustado com um capacitor externo, e possui um pino destinado ao sincronismo de suas saídas.

No SG3525 a frequência de trabalho é estabelecida pelo circuito gerador de *clock*, que este por sua vez é composto pelo capacitor e resistor ligados aos pinos 5 e 6, respectivamente, e por fim o resistor de descarga conectado no pino 7, o que torna possível a mudança do tempo morto do chaveamento. Conforme Tahmid (2013) a relação entre os componentes e a frequência de trabalho é dada pela equação:

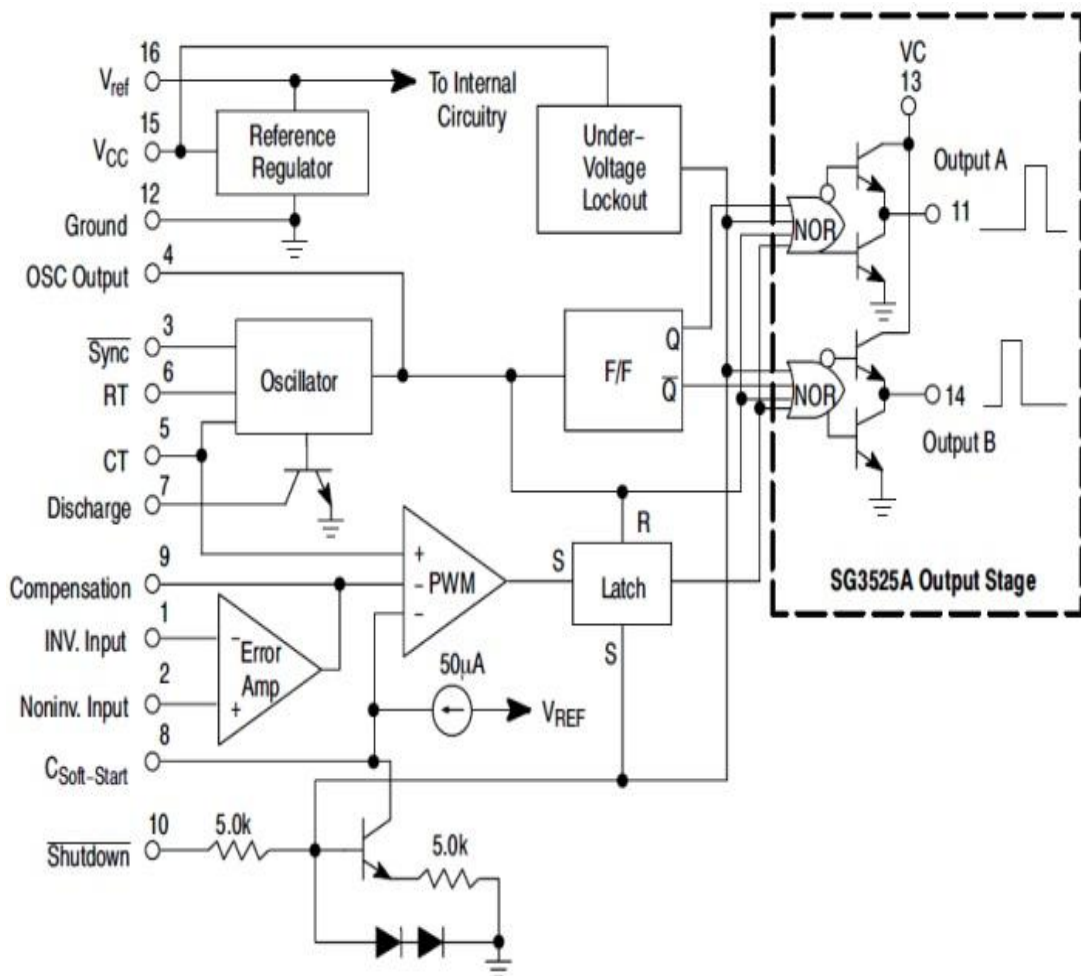
$$F = \frac{1}{C_T \cdot (0,7 \cdot R_T + 3 \cdot R_D)} \quad (7)$$

Onde R_D é o responsável pelo ajuste do tempo de descarga do capacitor, definindo assim o tempo morto entre os pulsos de saída enquanto o C_T e R_T estabelecem o circuito gerador de *clock*.

Normalmente é recomendado que se opere com o $R_D = 0$, fazendo com que a frequência de cada uma das saídas complementares passe a ser de cinquenta por cento da frequência de trabalho, podendo assim chegar a uma razão cíclica de quarenta e nove por cento.

Na figura 29 é possível verificar o *datasheet* do CI em questão.

Figura 29: Esquema do circuito interno do SG3525A.



Fonte: (TAHMID, 2013, p. 01)

4. METODOLOGIA

A presente pesquisa do ponto de vista da natureza se encaixa como aplicada, já que foram encontrados vastos materiais teóricos que contribuíram de forma muito significativa para o desenvolvimento do dispositivo na prática.

Sabe-se que a pesquisa aplicada é o uso dos conhecimentos provenientes das pesquisas básicas para solucionar impasses que tenham relação a utilidades concretas.

“A pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigida à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais” (KAUARK, MANHÃES, MEDEIROS, 2010, p.26).

A pesquisa proposta nesse trabalho foi produzida nas dependências do laboratório da Master Tecnologia, situada na cidade de Vitória da Conquista. O objeto desse estudo foi o desenvolvimento de um protótipo de conversor 24-12 Vcc para corrente limite de 100 [A], uma vez que os presentes à venda hoje no mercado que tem maior potência são para atender demandas menores, que corresponde à metade do que é proposto por esse trabalho.

Quanto ao tipo de pesquisa ela se enquadra tanto como exploratória quanto descritiva, pois a mesma fornece informações sobre o objeto pesquisado e ao mesmo tempo encaminha para a criação de hipóteses sem a interferência do pesquisador.

Afirma Marques et al (2006) que a pesquisa exploratória é um meio utilizado a fim de se conseguir lograr a maior gama possível de conhecimento sobre certo objeto, e que com isso se tenha o propósito de atacar questões específicas, criando assim as hipóteses, visando futuros estudos. Continua os autores dizendo que a pesquisa também se caracteriza como descritiva pela realização de um estudo, análise, registro e conseqüentemente interpretação dos resultados.

Levando em consideração a abordagem, a pesquisa se encaixa como qualitativa, pois a mesma além de ter caráter exploratório, possibilita também o alcance, ou não, das motivações e hipóteses iniciais do pesquisador.

As fases e os materiais utilizados para o desenvolvimento do protótipo serão conhecidos nos tópicos a seguir, começando pela escolha do tipo de topologia do conversor e a aplicação da teoria estudada durante o referencial teórico

5 DESENVOLVIMENTO DO CONVERSOR *PUSH- PULL* .

Depois de conhecida as muitas topologias de conversores foi possível se chegar à melhor alternativa entre elas, para que fosse desenvolvido o conversor CC-CC 24- 12 Vcc que em parceria com o Circuito Integrado SG 3525A melhor atendesse os quesitos de maior eficiência e aproveitamento.

Sendo assim, foi feita a opção pela topologia *push- pull* por ela apresentar algumas vantagens, sendo uma delas a transferência de energia para saída pode acontecer no ciclo de magnetização ou desmagnetização do núcleo do transformador, fazendo assim com que ocorra um melhor rendimento do núcleo. Bem como essa topologia apresenta as características de ter as melhores condições e resultados satisfatórios dentre todos para a finalidade desse projeto.

O desenvolvimento do protótipo foi dividido em subtópicos, como serão apresentados a partir do item 5.0.1 ao 5.0.4. Os parâmetros e requisitos do conversor foram definidos a partir da topologia *push- pull* e do *datasheet* do CI SG3525A.

Quadro 04: Parâmetros para o desenvolvimento do conversor *push- pull*.

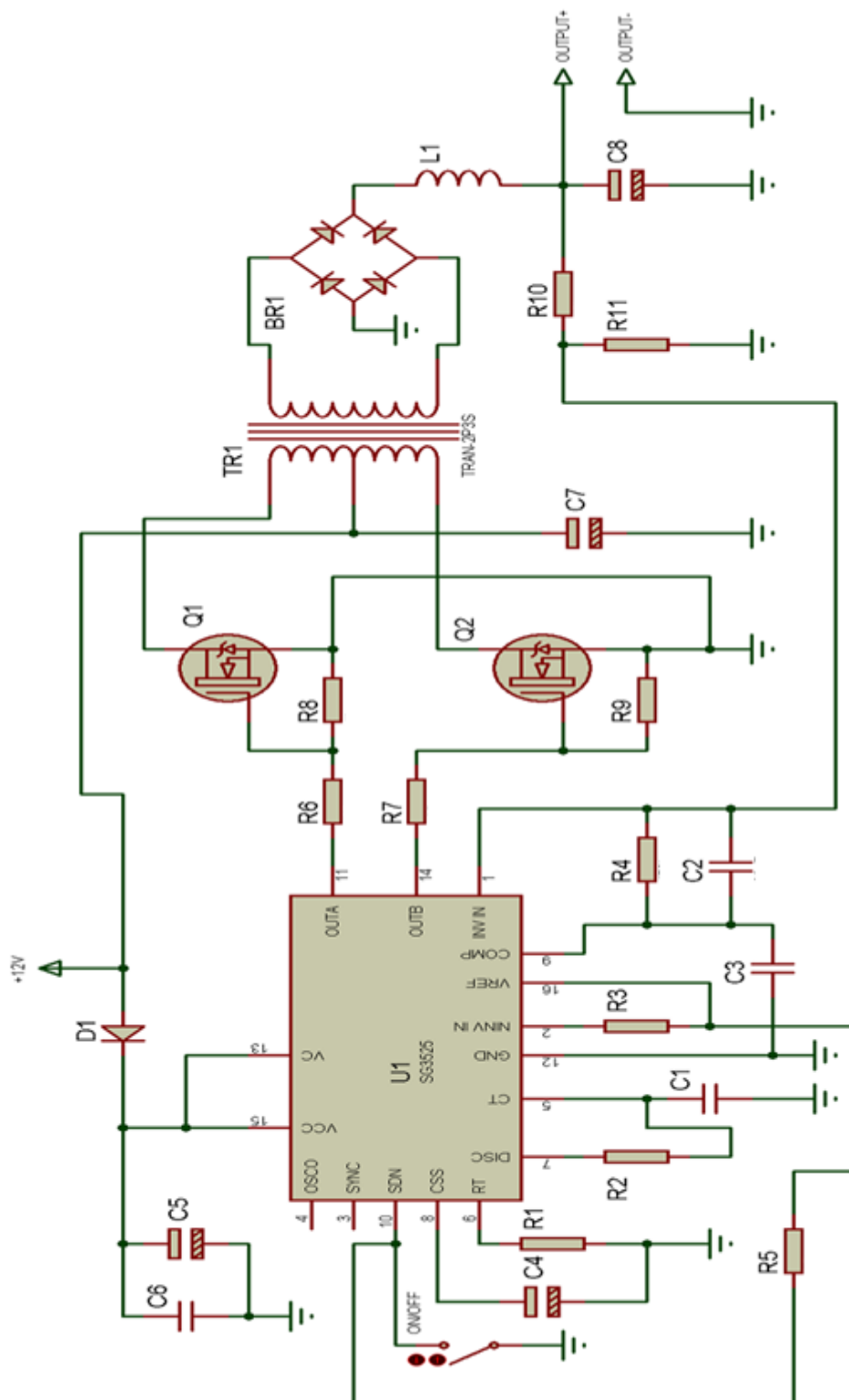
Tensão de entrada (V_i)	24 V
Tensão de saída (V_o)	12 V
Corrente de saída (I_o)	100 A
Potência (P)	1200 W
Comutador do transistor	Modulação por largura de pulso
Frequência Calculada de operação	42 KHz
Operação	Modo Contínuo

Fonte: (Autoria própria, 2015)

5.0.1. Esquemático

O esquema elétrico representado na figura 30 foi tomado como base para o desenvolvido o conversor *push- pull* PWM.

Figura 30: Esquemático base do protótipo.



Fonte: (TAHMID, 2013, p. 01)

Algumas mudanças realizadas no desenvolvimento do projeto em relação ao esquemático da figura 30 foram:

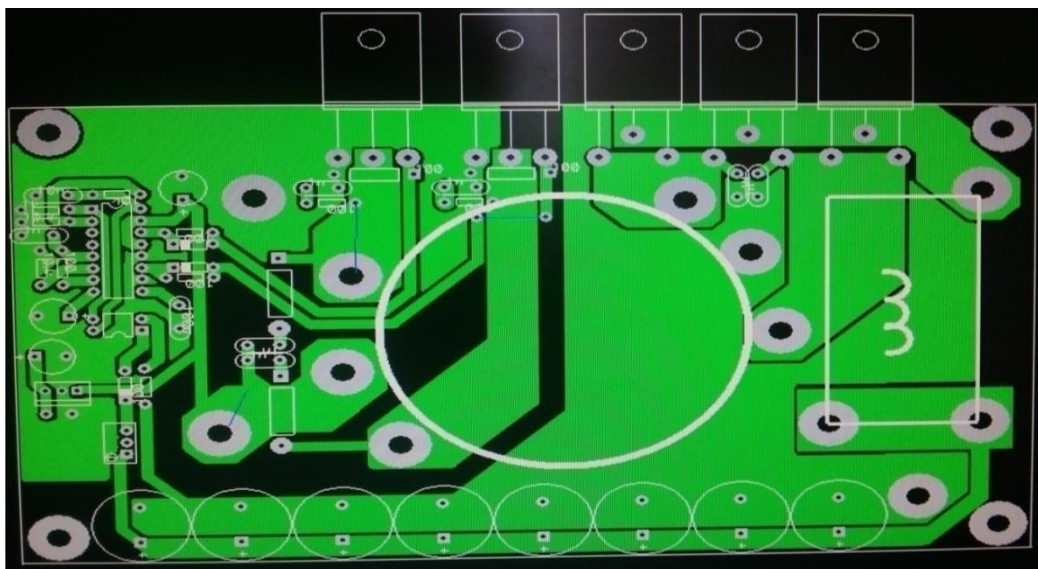
- Substituição do enrolamento secundário simples por um enrolamento secundário com derivação central.
- Substituição da retificação em ponte por retificação de dois diodos com *Center Tape*.
- Foi acrescentado o optacoplador para ajuste de *feedback*.

5.0.2 Prototipagem

A prototipagem da placa foi realizada levando em conta as características do circuito elétrico do conversor *push-pull*, mostrada na figura 23, associado com o circuito integrado SG 3525A, que pode ser vista na figura 29, o que possibilitou a criação do PCB da placa, seguindo a rigor todas as recomendações fornecidas pelo fabricante.

O *layout* da placa foi realizado na plataforma do programa P- CAD 2006, adequando da melhor forma a disposição de todos os componentes, como mostrado na figura 31.

Figura 31: PCB do conversor *push-pull*



Fonte: (Autoria própria, 2015)

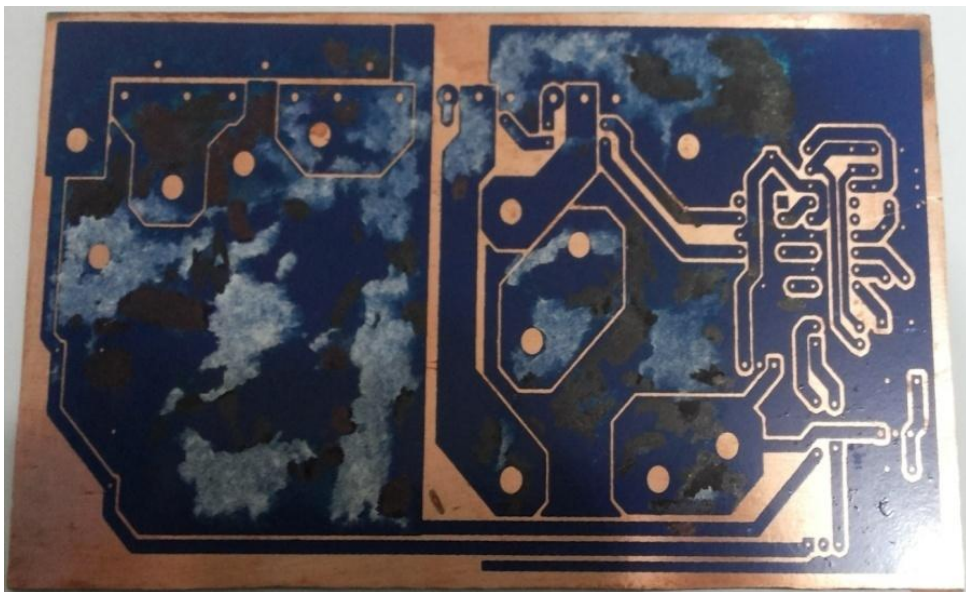
5.0.3 Confeção da placa

Depois do *layout* da placa com todos os seus componentes distribuídos em seus devidos lugares é o momento de realizar a impressão do PCB, que é realizada de forma espelhada. A impressão do desenho da placa é espelhada com a intenção de exibir a placa como ela é vista pelo lado das trilhas. Essa etapa se faz necessária por ser o momento intermediário para transformar o *layout* em uma placa física.

A transferência do PCB para a placa de fenolite é feita através do processo de *silkscreen*. Esse é o processo em que se grava uma tela de nylon presa em um quadro com a impressão que se quer transportar e posteriormente é jogada a tinta sobre a tela e pela pressão do rodo é feita a passagem. Após isso é deixar a tinta transferida do desenho para a placa secar e está completado o processo

Na figura 32 está exposta o protótipo do conversor CC- CC logo após a realização do processo de *silkscreen*.

Figura 32: Criação da placa do conversor *push-pull*.



Fonte: (Autoria própria, 2015)

5.0.4 Corrosão e montagem da placa

Depois de gerada a placa física a etapa seguinte é realizar a corrosão da mesma. Para isso foi usado o perclorato de ferro, onde todo o cobre será removido por essa solução, restando apenas o desenho do circuito que foi transcrito através do processo de *silkscreen* para a face de cobre do circuito impresso. Salientar aqui que a solução do perclorato de ferro não corroí a tinta, apenas o cobre. Após lixar a tinta remanescente é deparado com o circuito elétrico pronto para ser perfurado.

A figura 33 ilustra o momento da perfuração do circuito

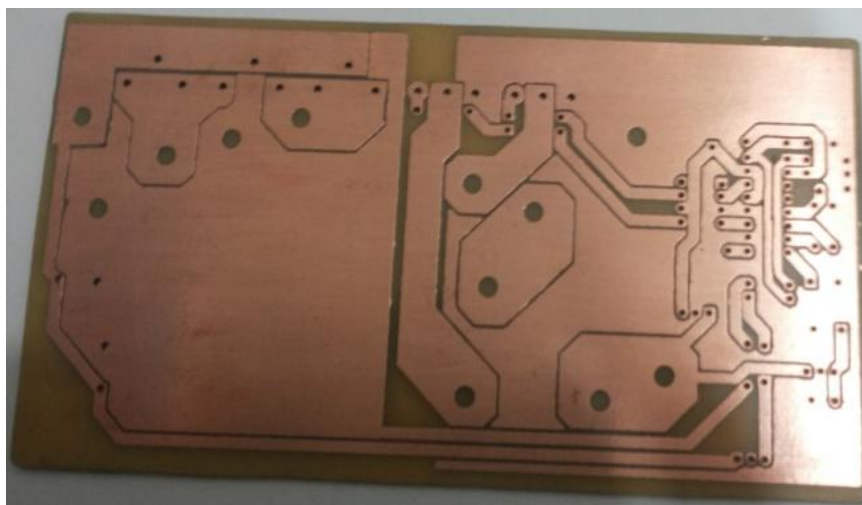
Figura 33: Processo de perfuração da placa do conversor *push-pull*



Fonte: (Autoria própria, 2015)

Depois de acabada a perfuração, a placa já está pronta para receber os componentes eletrônicos de acordo como foi desenvolvida. A figura 34 mostra a placa após a furação.

Figura 34: Placa do protótipo já perfurada.



Fonte: (Autoria própria, 2015)

5.1 CIRCUITO REAL

Depois de análises feitas a partir das características dos mais diversos tipos de topologia de conversores, chega-se a conclusão que para determinados conversores é necessária estar em alerta com alguns fatos:

- 1. Com relação ao circuito de controle e no circuito de potência no que diz respeito às perdas, onde no primeiro caso elas podem ser desconsideradas, já no segundo não.
- 2. Com o *ripple*. Pois mesmo considerando que na medida em que mais alta é a frequência, menor será a tensão de *ripple*.
- 3. Quanto às tensões no diodo e no transistor que precisam ser consideradas em projetos complexos.
- 4. Em alguns casos é preciso ser feita a atenuação de perdas que podem ocorrer devido à comutação no diodo e transistor.

Se em alguns projetos não for seguido esses quesitos pode implicar diretamente no funcionamento e eficiência do dispositivo. Por isso é de responsabilidade do idealizador levar em conta se o seu projeto precisará levar em conta essas condições.

5.2 EQUAÇÕES DO PROJETO

Depois da placa pronta com os lugares de todos os componentes já furados, e feitas as observações pertinentes é chegada à hora do desenvolvimento do protótipo, mas para tal se fazem necessários alguns cálculos para determinar alguns dados que estarão dispostos a seguir. Esses cálculos foram feitos de acordo com a teoria apresentada nos tópicos

5.2.1 Cálculo do Tempo do *Deadtime*

Deadtime ou traduzido para o português tempo morto, é o tempo após cada evento em que o sistema não é capaz de gravar outro evento. Ele é importante no circuito para evitar que os interruptores possam conduzir ao mesmo tempo, evitando assim que se danifiquem componentes do circuito.

Para esse circuito foi estipulada um *deadtime* de 2%. Com base na frequência desejada para o circuito, como calculada anteriormente, pode-se determinar o tempo de trabalho e determinar os componentes para o ajuste do *deadtime*.

$$DT = \frac{1}{F} \quad (08)$$

$$DT = \frac{1}{42\text{KHz}} \quad (09)$$

$$DT = 23,8\mu\text{s} \quad (10)$$

Como foi estipulado um *deadtime* de 2%

$$DT = 23,8 * 0,02 \cong 0,48\mu\text{s} \quad (11)$$

Na equação 12 a fórmula mostra o tempo em que o capacitor estará praticamente descarregado.

$$T = 5 * R * C \quad (12)$$

Então como é sabido o tempo de *deadtime*, pode-se usá-lo para calcular o resistor e o capacitor. Neste caso o capacitor foi fixado com valor de (C1) 1nF, e a partir daí é calculado o valor do resistor (R2), como visto nas equações 13 e 14.

$$0,48 * 10^{-6} = 5 * R * 1 * 10^{-9} \quad (13)$$

$$T = 96\Omega \quad (14)$$

Como não se tinha disponível no momento do desenvolvimento do protótipo o resistor com o valor da equação 14, usou-se um de 100Ω que é o valor mais próximo comercial.

5.2.2 Cálculo da Frequência

Para encontrar os valores dos componentes RD, RT e CT, que no esquemático da figura 31, são R2, R1 e C1, respectivamente, usa-se a equação (7), que foi fornecida anteriormente.

$$42KHz = \frac{1}{1 * 10^{-9}(0,7 * R_T + 3 * 100)} \quad (15)$$

$$R_T = 33.585\Omega \quad (16)$$

De acordo com os cálculos, foi utilizado um resistor que mais se aproximou ao valor obtido na equação, sendo ele o 33KΩ.

5.2.3 Cálculo do Transformador

Para determinar a relação das espiras do transformador foi utilizada a equação (1), levando-se em conta o alerta do autor Pomilio (2014), onde o mesmo diz que a razão cíclica deve ser $\leq 0,5$. No desenvolvimento do presente projeto foi utilizado o valor de razão cíclica = 0,4, valor esse que será provado no decorrer de outros cálculos.

$$12 = \frac{2 * 0,4 * 24}{n} \quad (17)$$

$$n = 1,6 \text{ espiras} \quad (18)$$

Conforme esse valor encontrado, foram dadas 09 (nove) voltas no primário e 06 (seis) voltas no secundário. O valor das voltas do primário dividido pelo secundário = 1,5. Sendo esse valor o mais próximo a n.

Depois de encontrado a relação de espiras entre o primário e secundário do transformador é necessário calcular o valor da razão cíclica máxima e mínima. A razão cíclica é a razão que existe entre o intervalo de um fenômeno periódico e o tempo ligado onde é admitido apenas dois estados: ligado e desligado. De acordo com Neto (2010), a equação é definida por:

Estimando que a tensão direta nos diodos (V_D) seja 0,5 [V]

$$\delta = \frac{V_S + V_D}{2 * \frac{N_2}{N_1} * V_I} \quad (19)$$

$$\delta = 0,3906 \cong 0,4 \quad (20)$$

Depois de encontrado o valor da razão cíclica direta, será calculada a razão cíclica mínima e máxima, seguindo da fórmula nas equações 21 e 23, respectivamente.

$$\delta_{MIN} = \frac{V_S + V_D}{2 * \frac{N_2}{N_1} * V_{I_{MAX}}} \quad (21)$$

$$\delta_{MIN} = 0,347 \cong 0,35 \quad (22)$$

$$\delta_{MAX} = \frac{V_S + V_D}{2 * \frac{N_2}{N_1} * V_{I_{MIN}}} \quad (23)$$

$$\delta_{MAX} = 0,407 \cong 0,41 \quad (24)$$

5.2.4 Escolha do diodo de saída

Como o circuito é de alta frequência o tipo de diodo escolhido foi *fast*, seguindo o que proposto na tabela 03. Em relação à tensão de trabalho, o diodo tem que ser superior a tensão máxima de pico da saída. Já em relação a corrente como o circuito de retificação escolhido foi a retificação de onda completa com *Center Tape*, isso implica em que metade dos diodos trabalha em um semicírculo e a outra metade no outro. Sendo assim a soma da corrente de cada metade dos diodos deve ser igual ou superior a corrente máxima de saída

Dentre dessas características foi escolhido o diodo V80100P, por apresentar tais características como:

- Ter comutação *fast*;
- Tensão de trabalho de 100 [V];
- Corrente de 40 [A] por diodo interno, sendo que o mesmo possui 02 diodos internamente.

5.2.5 Transistores MOSFET

No conversor foram colocados 02 (dois) transistores MOSFET IRFP4063D. Entre outros motivos a sua escolha se deu por:

- Ele ser um componente chaveador;
- Ter um bom custo benefício;
- Ser largamente utilizado pelo mercado de eletrônica;
- Trabalhar com altas correntes de chaveamento;
- Por ser também um componente fácil de ser encontrado.

Esse MOSFET suporta um limite de tensão de até 600 V, se levado em conta que o circuito do protótipo do conversor *push-pull* em estudo utiliza apenas 24 V, ele está superdimensionado para esse circuito

5.2.6 Cálculo do Indutor

Para calcular o valor do Indutor em um conversor da topologia *push-pull* Neto (2010) orienta que seja utilizada a fórmula da equação 25, onde mostra que:

$$L = \frac{DT}{\Delta I * I_{TOT}} * V_{I_{MAX}} * \delta_{MIN} (1 - 2 * \delta_{MIN}) \quad (25)$$

Estipulando uma variação de corrente pico a pico de 30%

$$L = \frac{23,8 * 10^{-6}}{0,3 * 100} * 27 * 0,35(1 - 2 * 0,35) \quad (26)$$

$$L = 2,24 * 10^{-6} \cong 2,25\mu\text{H} \quad (27)$$

5.3 MONTAGEM

Na montagem definitiva da placa do conversor, foram dispostos os componentes a seguir:

- 01 Oscilador 3525;
- 01 Regulador de Tensão CI 7815;
- 01 Indutor com núcleo de pó de ferro;
- 01 Transformador toroidal de ferrite com frequência 50KHz;
- 01 Optoacoplador;
- 02 MOSFET de potência IRS 4063;
- 03 Diodos *Fast* 80V100;
- 08 Capacitores de saída 4700 μ F x 25v;
- Diversos capacitores e resistores.

O valor de alguns componentes foi calculado a fim de descobrir os ideais, que poderiam proporcionar um melhor funcionamento para o dispositivo sem que houvesse prejuízos.

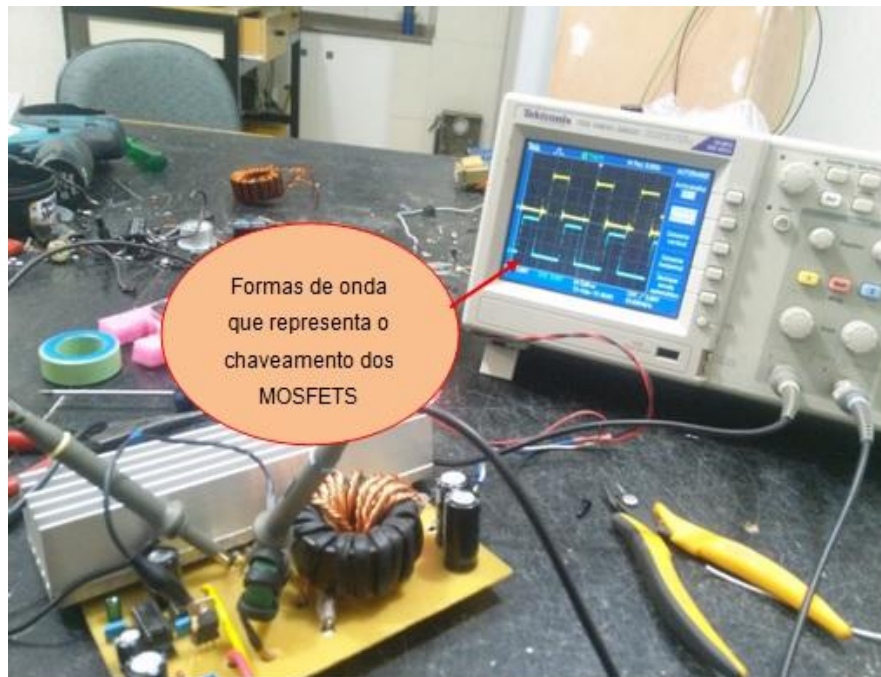
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Depois de dimensionar o valor dos componentes que serão usados, foi dado início a montagem da placa do protótipo para posteriormente realizar os testes necessários. Para fazer esses testes foram utilizados os equipamentos:

- Osciloscópio Digital;
- Voltímetro e Amperímetro;
- Carga resistiva;
- Cabos e conexões.

Fazendo os testes necessários a fonte se mostrou estabilizada pelas características do próprio circuito, onde a saída de tensão é monitorada e na medida em que acontece uma variação no valor dessa tensão o circuito interno do SG3525 faz uma leitura dessa variação e corrige automaticamente, ajustando assim a largura do pulso (PWM).

Figura 35: Testes do protótipo no osciloscópio.



Fonte: (Autoria própria, 2015)

O *feedback* é feito através da coleta de tensão nos terminais de saída do equipamento e ajustado a partir do trimpot multivoltas de ajuste fino, o que permite a precisão. Esse ajuste fino não é aconselhável ser feito por meio de um resistor por causa da imprecisão, já o trimpot multivoltas possibilita uma maior precisão no ajuste de tensão de saída.

O protótipo se mostrou bastante compacto, eficiente, com boa refrigeração (dissipador de alumínio com aletas compridas e ventilação forçada por *cooler*).

Figura 36: Sistema de refrigeração do protótipo.

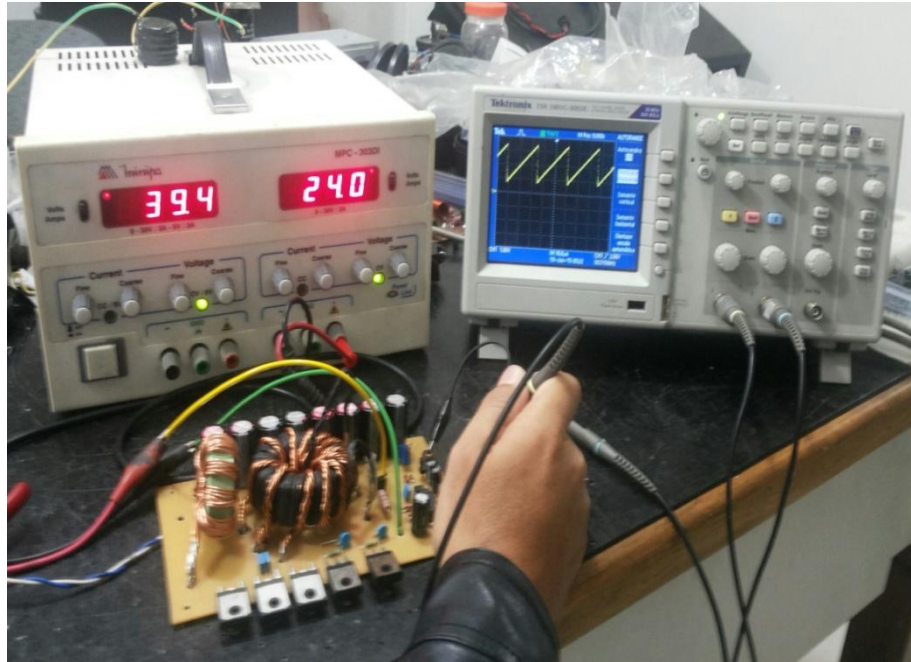


Fonte: (Autoria própria, 2015)

O protótipo possui um circuito bastante simplificado, o que contribui para a facilidade em fazer futuras manutenções, como pode ser visto na figura 36. Ele também possui um diodo zener de 13 volts e um potenciômetro de 20K para fazer a regulação da tensão no valor desejado. No conversor foram colocados alguns capacitores na saída para evitar ruídos, caso o veículo em que será instalado o protótipo utilize aparelhos sonoros.

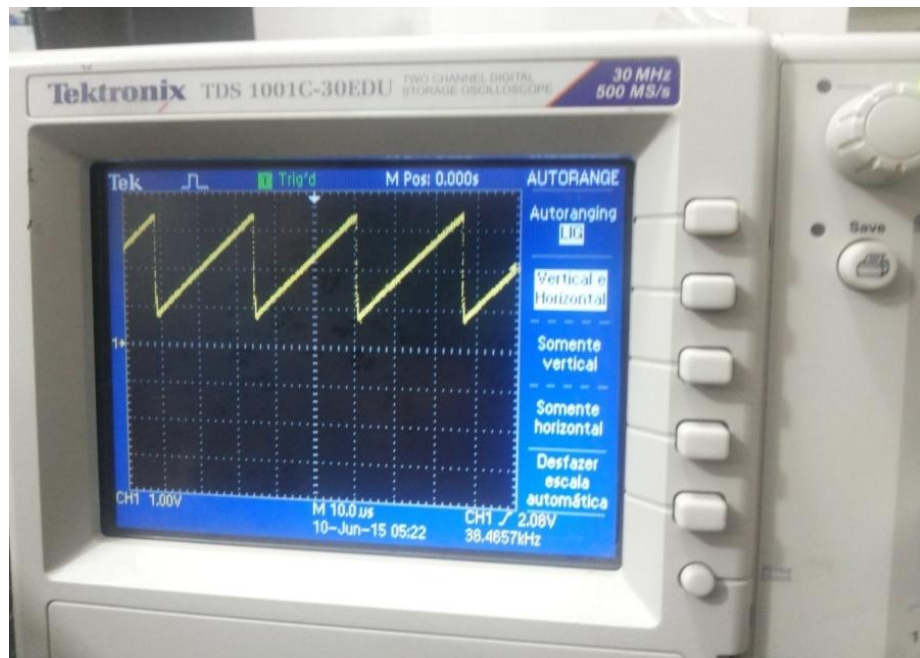
No teste no osciloscópio para mensurar a frequência foi detectado que o valor da mesma sofreu uma pequena variação para menos do que o valor inicial, que seria uma frequência de 42 [KHz], como pode ser visto nas figuras 37 e 38.

Figura 37: Demonstração da seção de análise do circuito.



Fonte: (Autoria própria, 2015)

Figura 38: Frequência mensurada do protótipo (foto mais aproximada).



Fonte: (Autoria própria, 2015)

De acordo como verificado mais nitidamente na figura 38, a medição do osciloscópio a frequência alcançada foi de 38.4567. Isto se deu por conta da falta de precisão dos componentes eletrônicos devido as suas perdas inerentes a cada tipo, mas ressalta-se que mesmo mensurando esse resultado de frequência um pouco menor da calculada isso não ocasionou nenhum tipo de problemas no funcionamento do protótipo.

O teste prático com a instalação do protótipo em um caminhão baú Mercedes 1319, ano 2014, de placa OZR 2511, cujo motorista é um jovem que gosta de ouvir músicas com som alto em suas viagens. Apenas o módulo de som instalado nesse caminhão consome corrente máxima de 80 [A] e ainda tem outros dispositivos como televisão e rádio amador. O comportamento do equipamento foi monitorado durante 30 (trinta) dias.

6 CONCLUSÃO

O estudo com conversores CC-CC mostrou-se bem relevante e significativo por serem dispositivos em crescente uso por possibilitarem uma maior liberdade para o usuário que tenha aparelhos com determinada tensão possam usá-los em um circuito com tensão distinta dos aparelhos, assim como esses conversores chaveados também têm sido gradativamente substituídos pelos clássicos conversores lineares.

Com relação à aplicação em frotas pesadas, em especial ônibus e/ou caminhões, os resultados obtidos desse protótipo do conversor isolado *push-pull* confirmam os estudos realizados sobre a funcionalidade do mesmo, sendo que durante os testes teóricos e práticos ele provou ser mesmo viável e adequado ao alcançar os propósitos iniciais desta pesquisa, tendo os níveis de corrente e tensão equilibrados, atendendo assim uma potência limite de 1200 [W].

No projeto do protótipo foi utilizado um banco com oito capacitores de 4700 μ F por 25 [V] a fim de perseguir que o valor do V_{onda} (*ripple*) fosse o mais baixo possível, de forma a ser considerado desprezível no funcionamento do aparelho. Existem no circuito capacitores supressores de ruídos para que os mesmos evitem interferências do conversor em aparelhos sonoros ligados no veículo, assim como também foi colocado um trimpot de 20 [K] para controlar a tensão.

Foi observado também que o modelo do conversor chaveado mostrou-se muito mais eficiente do que seria um conversor do tipo linear, isso devido a sua baixa geração de calor e conseqüentemente mínimas perdas por efeito Joule. Outra vantagem é o protótipo possuir pequenas dimensões, podendo ser instalado em qualquer repartição sem que haja maiores preocupações com espaço físico.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- É sugerida a viabilidade de acrescentar um controle de corrente, para assim implementar mais esse circuito de proteção ao protótipo.
- A possibilidade de desenvolver equipamentos com capacidade para maiores corrente, de acordo com a necessidade do momento.

REFERÊNCIAS

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de potência**. São Paulo. 2000.

BARBI, Ivo. **Eletrônica de potência**. 6.ed. Florianópolis, 2006.

BARBI, Ivo e MARTINS, Denizar Cruz. **Eletrônica de potência: Conversores CC-CC básicos não isolados**. 2.ed. Florianópolis, 2006.

BRASIL. Lei Nº 13.103, de 02 de março de 2015: “Dispõe sobre o exercício da profissão de motorista”. **Este texto não substitui o publicado no Diário Oficial da União**. Brasília- DF, Terça-Feira, 03 de março de 2015.

CORRÊA, Priscilla Braga Pinheiro. **Desenvolvimento de um sistema de instrumentação para controle de temperatura e umidade via CLP**. Viçosa, Dezembro de 2011.

GIACOMINI, Julian Cezar; WUTTIG, Rafael e SCHONARDIE, Mateus Felzke. **Modelagem, controle e implementação de um conversor CC-CC abaixador de tensão**. Ijuí, Outubro de 2011.

HART, Daniel W. **Electrónica de potência**. Madrid. 2001.

KAUARK, Fabiana da Silva; MANHÃES, Fernanda Castro e MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa**- Um guia prático. Itabuna. 2010.

Líbero, V. L. e Redondo, Djalma M. **Conceitos básicos sobre capacitores e indutores**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 18, nº. 02 de junho de 1996. São Carlos.

LUO, Fang Lin e YE, Hong. **Advanced DC/ DC converters**. CRC PRESS, 1.ed.

MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. São Paulo. 4ª Ed. Vol. 1.

MARQUES, Heitor Romero et al. **Metodologia da pesquisa e do trabalho científico**. 2.ed. Campo Grande, 2006.

MASSON, Valéria Aparecida e MONTEIRO, Maria Inês. **Estilo de vida, aspectos de saúde e trabalho de motoristas de caminhão**. Campinas, Junho 2010.

NETO, João Carlos Kolling. **Conversor DC-DC isolado tipo push-pull em modo de corrente**. Porto Alegre, Dezembro de 2010.

PETRY, Clóvis Antônio. **Introdução aos conversores CC-CC**. Florianópolis, Agosto, 2001.

(Pomilio, 2014) POMILIO, José Antenor. **Eletrônica de potência**. Publicação FEEC 02/1998 e revisado em 07/2014. Campinas.

(Braga, 2014) (NCB) BRAGA, Instituto Newton C. **Os diodos de recuperação rápida (ART 115)**. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/832-os-diodos-de-recuperacao-rapida-art115>>. Acesso em: 25 de Maio de 2015.

(DENATRAN) DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Frota nacional (Fevereiro de 2015)**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota2015.htm>>. Acesso em: 22 de Abril de 2015.

(MCE) MICROTÉCNICA SISTEMAS DE ENERGIA- AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. **Linha CCA – Conversores DC-DC**. Disponível em: <<http://www.mctecnica.com.br/produtos/cca/cca.html>>. Acesso em: 20 de Abril de 2015.

(ST) SG 3525A - **REGULATING PULSE WIDTH MODULATORS**. Disponível em: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/3/06ldp1xcssiphfp0xiy53d1_ce9py.pdf>. Acesso em: 05 de Junho 2015.

(TAHMID, 2013) – **USING THE PWM CONTROLLER – EXPLANATION AND EXAMPLE: CIRCUIT DIAGRAM/ SHEMATIC OF PUSH PULL CONVERTER**. Disponível em: <<http://tahmidmc.blogspot.com.br/2013/01/using-sg3525-pwm-controller-explanation.html>>. Acesso em Junho de 2015