

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MINAS GERAIS**
CAMPUS DIVINÓPOLIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Yen Chuan Chen

**Desenvolvimento de protótipo "Tomada Portátil" para
alimentação de cargas domésticas através da utilização de
painéis fotovoltaicos sem a necessidade de redes isoladas**

Divinópolis

2017

Yen Chuan Chen

**Desenvolvimento de protótipo "Tomada Portátil" para
alimentação de cargas domésticas através da utilização de
painéis fotovoltaicos sem a necessidade de redes isoladas**

Relatório final de Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado ao Colegiado de Graduação
em Engenharia Mecatrônica como parte dos
requisitos exigidos para a obtenção do título de
Engenheiro Mecatrônico.

Áreas de integração: Eletrônica, Mecânica.

Orientador: Prof. Claudio H. G. dos Santos

Divinópolis

2017

Dedico este trabalho aos meus pais Hsing Kuang Chen e Li Hsiang Lin, a meus irmãos Yi Li Chen, Willian Chen e Eliana Chen pelos apoios aos meus estudos e por sempre me acompanharam durante os momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À Deus, por ter me dado a oportunidade e habilidade de conseguir concluir mais uma etapa da minha vida.

À minha família por terem acreditado e incentivado a mim de ter capacidade de alcançar essa meta.

Aos meus amigos e colegas, pelas alegrias, tristezas compartilhadas, e pelos apoios dados.

Ao meu orientador Prof. Me. Cláudio Henrique Gomes dos Santos, por ter dado várias chances e auxílios para conclusão deste trabalho.

Aos servidores do Cefet-MG, Campus Divinópolis, por terem fornecido ambientes confortáveis para estudos.

E aos todos aqueles que diretamente ou indiretamente ajudaram na minha formação.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1: Funcionamento do Sistema de Compensação de Energia. Fonte: [7]...3 | 3 |
| Figura 2.1: Esquema elétrico do inversor monofásico. Fonte: [17].....5 | 5 |
| Figura 2.2: Etapas de funcionamento da carga indutiva. Fonte: [17].....6 | 6 |
| Figura 2.3: Forma de onda do circuito com carga indutivo. Fonte: [17].....6 | 6 |
| Figura 2.4: Esquema de um transformador. Fonte: [06].....7 | 7 |
| Figura 2.5: Passos do desenvolvimento do circuito equivalente do transformador. Fonte: [06].....8 | 8 |
| Figura 3.1: Disgrama do projeto.....10 | 10 |
| Figura 3.2: Forma de onda de um pulso.....11 | 11 |
| Figura 3.3: Esquemático do circuito.....17 | 17 |
| Figura 3.4: Esquemático do AOP e PIC.....17 | 17 |
| Figura 3.5: Esquemático do ponte H.....17 | 17 |
| Figura 3.6: Layout do circuito.....18 | 18 |
| Figura 3.7: (a) Vista frontal da placa; (b) Verso da placa.....18 | 18 |
| Figura 3.8: Placa do circuito impressa. (a) frente. (b) verso.....19 | 19 |
| Figura 3.9: Montagem final da placa.....19 | 19 |
| Figura 3.10: Representação elétrica do dissipador.....21 | 21 |
| Figura 3.11: Forma de onda quadrada.....22 | 22 |
| Figura 3.12: Representação elétrica do transformador.....24 | 24 |
| Figura 3.13: Posicionamento dos componentes.....26 | 26 |
| Figura 3.14: Suporte para circuito.....26 | 26 |
| Figura 4.1: Forma de Onda na entrada dos CI's com (a) $V_{dc} = 22,5V$; (b) $V_{dc} = 23,5V$; (c) $V_{dc} = 24,5V$; (d) $V_{dc} = 25,5V$; (e) $V_{dc} = 26,5V$; (f) $V_{dc} = 27,5V$; (g) $V_{dc} = 28,5V$; (h) $V_{dc} = 29,5V$28 | 28 |
| Figura 4.2: Forma de onda na saída do inversor com (a) $V_{dc} = 22,5V$; (b) $V_{dc} = 23,5V$; (c) $V_{dc} = 24,5V$; (d) $V_{dc} = 25,5V$; (e) $V_{dc} = 26,5V$; (f) $V_{dc} = 27,5V$; (g) $V_{dc} = 28,5V$; (h) $V_{dc} = 29,5V$29 | 29 |
| Figura 4.3: Testes no transformador.....30 | 30 |
| Figura 4.4: (a) Forma de onda da entrada de 21,1V e saída de 110V do transformador. (b) Forma de onda da entrada de 20,9V e saída de 91,4V do transformador.....30 | 30 |
| Figura 4.5: Comparação da onda da tensão de saída com tensão de entrada de 22,5V a 29,5V.....31 | 31 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 3.1: Relação entre V_{dc} e largura do pulso..... | 12 |
| Tabela 3.2: Relação entre V_{dc} e largura do pulso..... | 13 |
| Tabela 3.3: Relação entre V_{dc} e largura do pulso..... | 13 |
| Tabela 3.4: Valores de corrente e tensão na entrada e saída do transformador..... | 24 |
| Tabela 3.5: Dados calculados do transformador..... | 25 |

LISTA DE ANOTAÇÕES E ACRÔNIMOS

Acrônimos

AC – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CI – Circuito Integrados

FEM – Força Eletromotriz

FMM – Força Magnetomotriz

MOSFET – *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*, ou Transistor de Efeito de Campo Metal - Óxido – Semicondutor (TECMOS)

PIC – *Peripheral Interface Controller*, Controlador de Interface Periférica

PWM – *Pulse Width Modulation*, Modulação por Largura de Pulso (MLP)

SMD – *Surface-Mount Device*, Dispositivos de Montagem Superficial (DMS)

RMS – *Root-Mean-Square*, Valor Eficaz

Letras Gregas

Ω – Ohms

Letras Latinas

A – Ampere

F – Faraday

H – Henry

Hz – Hertz

Kg – Kilograma

V – Volts

W – Watts

RESUMO

Este projeto de Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo o desenvolvimento de um circuito que carrega baterias através do emprego de painéis fotovoltaicos, os quais serão utilizados na alimentação de eletrodomésticos. O projeto envolve duas áreas: Eletrônica e Mecânica. A primeira engloba o carregamento da bateria e o fornecimento de energia elétrica para os equipamentos eletrônicos. A outra trata das análises térmicas. Inicialmente, será projetado um circuito que armazena nas baterias as energias geradas pelos painéis fotovoltaicos. Depois, um segundo circuito que transforma as tensões fornecidas pela bateria, 12V/24V, em 127V, tensão comumente utilizada em equipamentos domésticos e outros eletroeletrônicos. Em seguida, um terceiro circuito de fontes chaveadas para manter a tensão de saída estabilizada. Por último, será construído um suporte para possibilitar deslocamento dos circuitos. Esta estrutura é importante, pois torna o aparelho semelhante a uma tomada portátil, que é própria para alimentar uma determinada carga a qual esteja distante de uma rede elétrica.

Palavras-chave: Painel fotovoltaico. Carregador. Baterias. Eletrodomésticos. Tomada portátil.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1- Introdução..... | 02 |
| 1.1- Definição do problema..... | 02 |
| 1.2- Motivação..... | 03 |
| 1.3- Objetivo geral..... | 04 |
| 1.4- Objetivos específicos..... | 04 |
| 2- Revisão da literatura..... | 04 |
| 2.1- Energia Solar Fotovoltaica..... | 04 |
| 2.2- Inversor de Frequência Monofásica..... | 05 |
| 2.3- Transformador..... | 07 |
| 3- Metodologia..... | 09 |
| 3.1- Circuito Elétrico..... | 10 |
| 3.1.1- Inversor..... | 10 |
| 3.1.2- Transformador..... | 20 |
| 3.2- Análise Térmica..... | 21 |
| 3.2.1- Inversor..... | 21 |
| 3.2.2- Transformador..... | 23 |
| 3.3- Suporte..... | 25 |
| 4- Resultados e Discussões..... | 26 |
| 4.1- Inversor..... | 26 |
| 4.2- Transformador..... | 29 |
| 4.3- Saída do Circuito..... | 31 |
| 5- Conclusões..... | 31 |
| 6- Proposta para trabalhos futuros..... | 32 |
| 7- Referências bibliográficas..... | 32 |

1- INTRODUÇÃO

Devido a ampla aplicação da energia solar, que atende tanto regiões remotas quanto urbanas, este tipo de energia vem sendo uma das principais alternativas energéticas em maior desenvolvimento no mundo. Sob o ângulo do desenvolvimento social, a energia solar fotovoltaica desempenha um papel importante nas áreas isoladas ao redor do mundo. A geração de energia elétrica a partir da energia solar garante o suprimento da energia elétrica nas áreas onde não há distribuição de rede elétrica. Além disso, garante o suprimento da energia elétrica nas regiões urbanas, caso ocorra uma interrupção no fornecimento, ou se for desejada uma economia na conta da luz.

Atualmente, nas residências, ao implantar painéis solares fotovoltaicos ocorre, na maioria das vezes, uma compensação no consumo de energia elétrica, ou seja, toda energia gerada pelos painéis solares é consumida na própria residência, porém, ainda não é suficiente para suprir toda a demanda da casa.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Ao instalar painéis solares fotovoltaicos, para utilizá-los, o mais comum seria implantar um banco de baterias e uma rede elétrica isolada. Porém, para uma residência já construída, isso seria mais difícil, pois a rede elétrica existente foi projetada de acordo com a planta da casa, o que gera complicações ao tentar inserir uma nova rede elétrica para os sistemas fotovoltaicos.

Outra forma para aplicação dos painéis solares fotovoltaicos é se adequar ao Sistema de Compensação de Energia (Resolução Normativa 482 da ANEEL). Este permite que sistemas fotovoltaicos se conectem à rede elétrica de forma simplificada, atendendo ao consumo local. Isto funciona da seguinte maneira (como ilustrado na Figura 1.1): 1- os painéis geram energia; 2- a energia gerada será consumida pela residência; 3- se a energia gerada não for totalmente consumida, será injetado o excedente na rede, gerando créditos; 4- caso a demanda for superior a quantidade total de energia gerada, será utilizada a energia elétrica da própria rede; 5- será calculada a quantidade de energia consumida ou gerada durante certo período. Porém, para que isto aconteça, é necessário um medidor bidirecional, que não é fácil de se encontrar no mercado brasileiro.

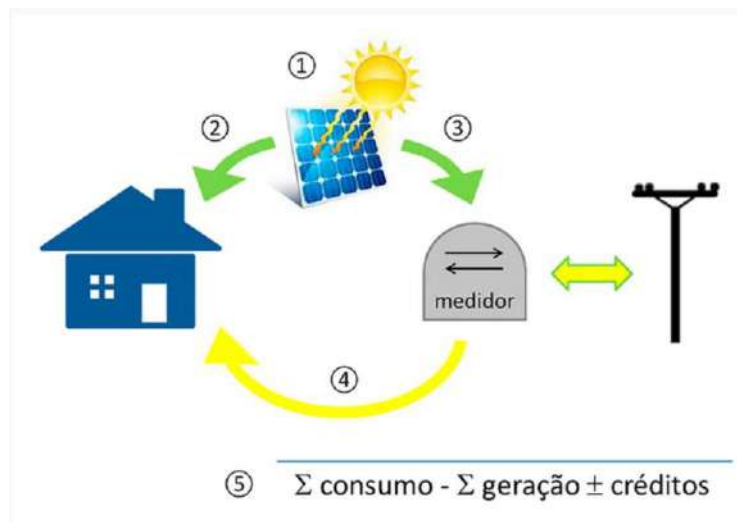


Figura 1.1: Funcionamento do Sistema de Compensação de Energia.

Fonte: [07]

Para evitar esses problemas, surgiu a ideia de criar uma “tomada portátil”, ou seja, um circuito que carrega baterias por meio de painéis solares fotovoltaicos, utilizando a energia gerada na alimentação dos eletrodomésticos ou equipamentos eletroeletrônicos.

1.2 MOTIVAÇÃO

No início de 2015, foi instalado um painel solar fotovoltaico para fins de estudo no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, *Campus V*, em Divinópolis. Após assistir algumas aulas da disciplina optativa “Tópicos Especiais em Circuitos Elétricos e Eletrônicos: Tecnologia de Geração de Energia Solar”, percebeu-se a importância da energia solar e a necessidade de solicitar-se à companhia elétrica local a instalação da rede elétrica isolada. Sendo assim, surgiu a ideia de implantar painéis fotovoltaicos que dispensam o uso do medidor bidirecional, e criar um sistema de rede isolada, isto é, ao invés de uma rede é utilizada a “tomada portátil”. O desenvolvimento do presente trabalho, será útil para se evitar problemas na utilização da energia solar tanto no consumo doméstico quanto no uso comercial. Desta forma, pode-se suprir uma demanda de energia em caso de falta, além de diminuir o custo da conta de luz e, assim, aproveitar a energia solar sem riscos.

1.3 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso é desenvolver um equipamento portátil que consiga fornecer energia elétrica para eletrodomésticos e aparelhos eletrônicos sem consumir energia da companhia elétrica, utilizando apenas a energia gerada pelo painel solar fotovoltaico e armazenada na “tomada portátil”.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar e simular o funcionamento das baterias, dos painéis e das cargas;
- Projetar e construir os circuitos da tomada portátil;
- Projetar o suporte do painel solar;
- Projetar e montar o suporte para conter os elementos dos circuitos elétricos;
- Testar o funcionamento do projeto.

2- REVISÃO DA LITERATURA

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O Sol é uma fonte de energia renovável, tornando possível várias maneiras de conversão para se adequarem melhor ao seu uso diário, nesse caso a energia fotovoltaica. [02]

Os sistemas da energia solar fotovoltaico são capazes de transformar a energia da radiação solar em energia elétrica através dos materiais que consigam realizar o efeito fotovoltaico. [01],[16]

Atualmente o mais comum é o silício, porém outros materiais semicondutores também são utilizados, como o arsenieto de gálio, telurieto de cádmio ou diselenieto de cobre e índio. [14]

Esse tipo de energia renovável tem muitas aplicações como ar condicionado, bombeamento de água, destilador de água, edificações comerciais/ industriais, naves espaciais, navios, veículos, vestimentas ou acessórios, entre outros. [04],[08],[10],[15],[17]

2.2 INVERSOR DE FREQUENCIA MONOFÁSICA

O inversor ou conversor **CC/CA** tem a função de converter uma fonte de tensão ou de corrente contínua em uma alternada, com amplitude simétrica, valor médio nulo e frequência fixa ou variável. [03]

Atualmente, os inversores são aplicados nos acionamentos dos motores **CA** com ajuste de rotação, fontes de alimentação sem interrupção e no funcionamento de aparelhos CA a partir da bateria de automóveis. [09]

O esquema elétrico do inversor monofásico é composto por uma fonte de alimentação, resistência de carga e 4 chaves seletoras, como mostra na Figura 2.1. Caso a carga seja indutiva, é necessário acréscimo de diodos ligados em paralelo com as chaves. [18]

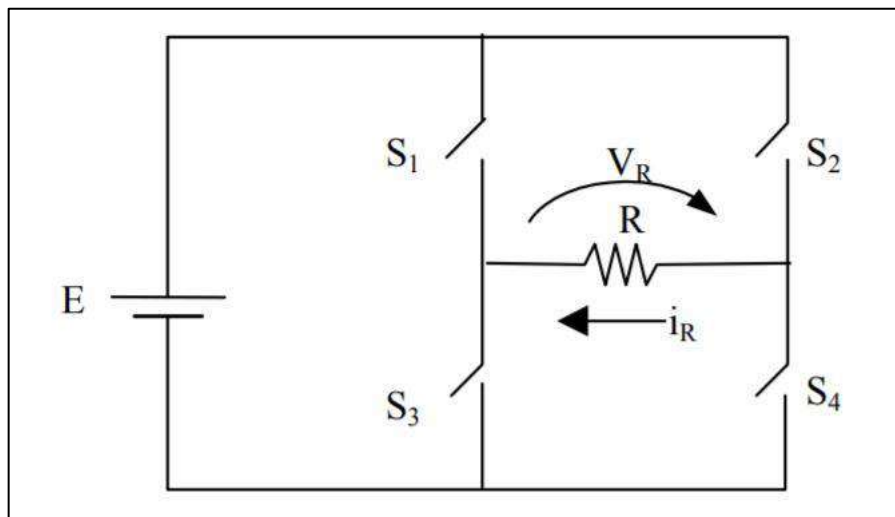


Figura 2.1: Esquema elétrico do inversor monofásico.

Fonte: [18]

O inversor controla a tensão de saída habilitando e desabilitando as chaves seletoras em pares, ou seja, S_1/S_4 e S_2/S_3 . Inicialmente S_1/S_4 estão habilitados e S_2/S_3 desabilitados, Figura 2.1(a), depois S_1/S_4 são abertos e S_2/S_3 são fechados, para evitar o curto circuito, há um delay entre a abertura de um e fechamento do outro, enquanto isso a corrente flui no sentido contrário, Figura 2.1(b), quando termina o delay o sentido da corrente é invertido novamente, Figura 2.1(c), e por último S_1/S_4 são fechados e S_2/S_3 são abertos, Figura 2.1(d).

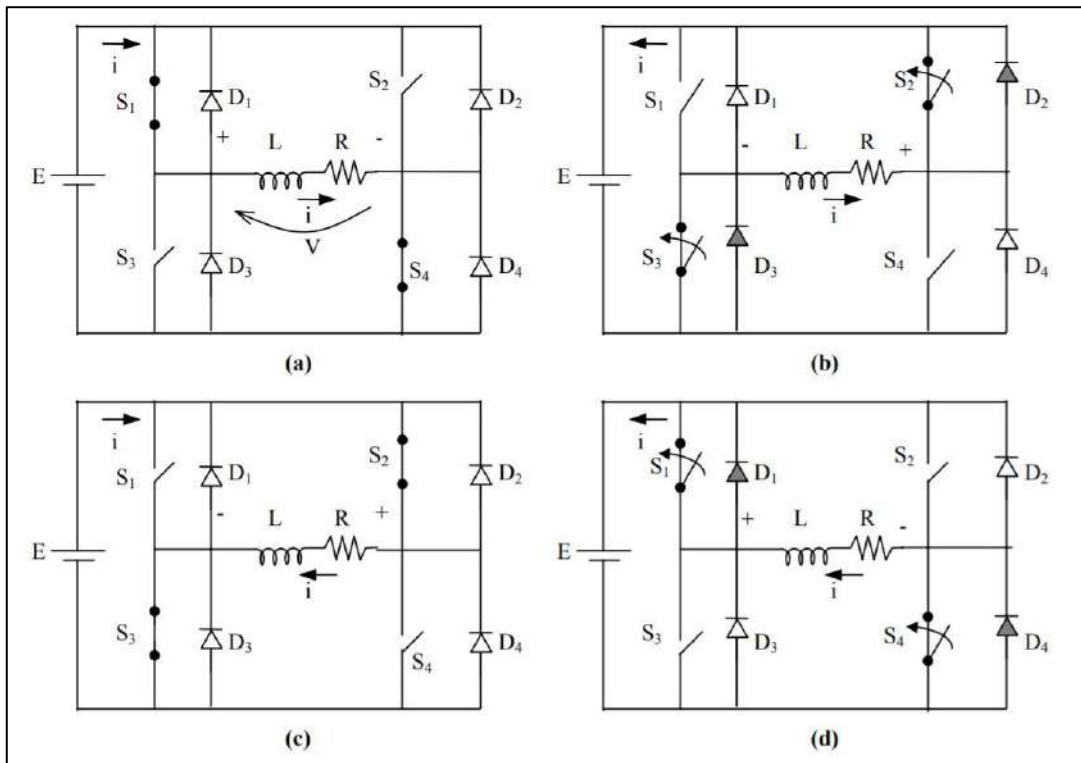


Figura 2.2: Etapas de funcionamento com carga indutiva.

Fonte: [18]

A forma de onda para o circuito da Figura 2.1 é mostrada na Figura 2.2 Nele mostra o comportamento da corrente nas quatro etapas, onde a 4ª e a 1ª acontecem no intervalo de 0 a $T/2$ e a 2ª e a 3ª no $T/2$ a T .

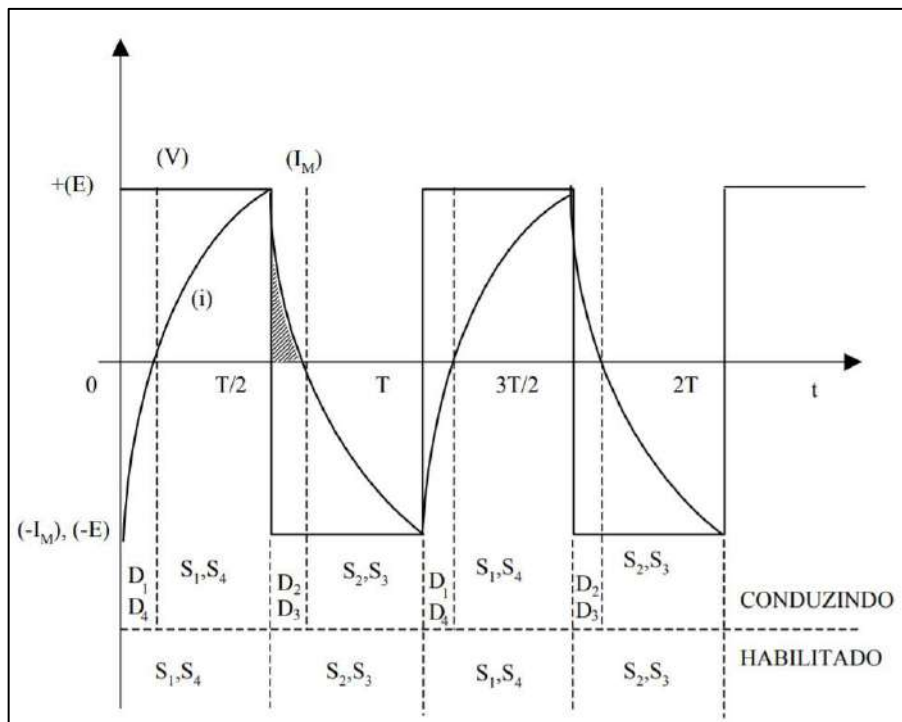


Figura 2.3: Forma de onda do circuito com carga indutiva.

Fonte: [18]

Onde D é quando a corrente passa por diodos enquanto ocorre o delay.

2.3 TRANSFORMADOR

Um transformador consiste em dois ou mais enrolamentos acoplados por meio de um fluxo magnético. Quando um dos enrolamentos, chamamos de primário, for conectado a uma fonte de tensão alternada, será produzido um fluxo magnético, que estabelece um enlace com o outro enrolamento, secundário, induzindo uma tensão nele. Essa tensão secundária pode ser calculada pela Equação 2.1. [06]

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{Equação 2.1}$$

Onde V_1 e V_2 são respectivamente, tensão primária e secundária e N_1 e N_2 são números de espiras dos enrolamentos primários e secundário.

Através dessa relação, se estabelecermos uma proporção adequada entre os números de espiras, podemos obter relações confiáveis entre tensões ou relações de tensões, ou relação de transformação, ou fator de transformação.

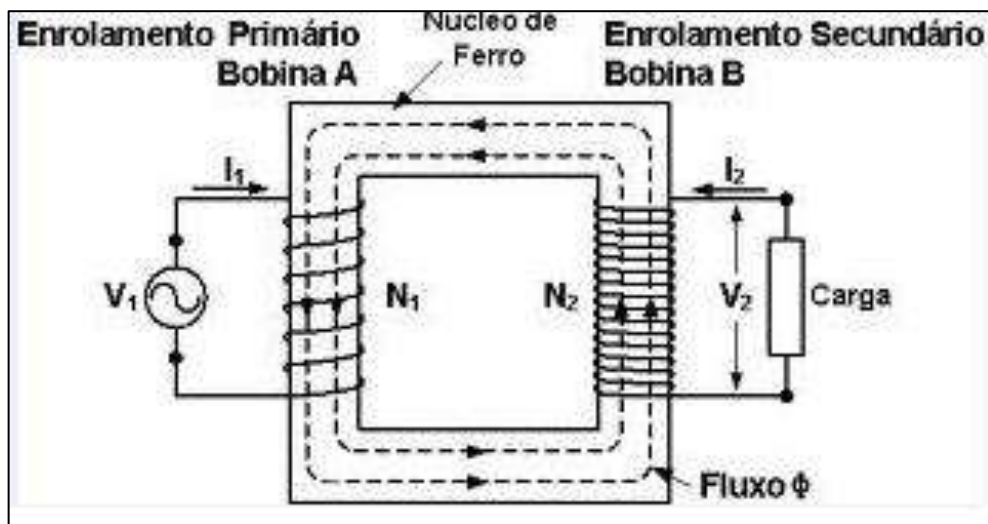


Figura 2.4: Esquema de um transformador.

Fonte: [06]

Um transformador pode ser representado por circuitos equivalentes, desenvolvidos por alguns passos, mostrado na Figura 2.5. [06]

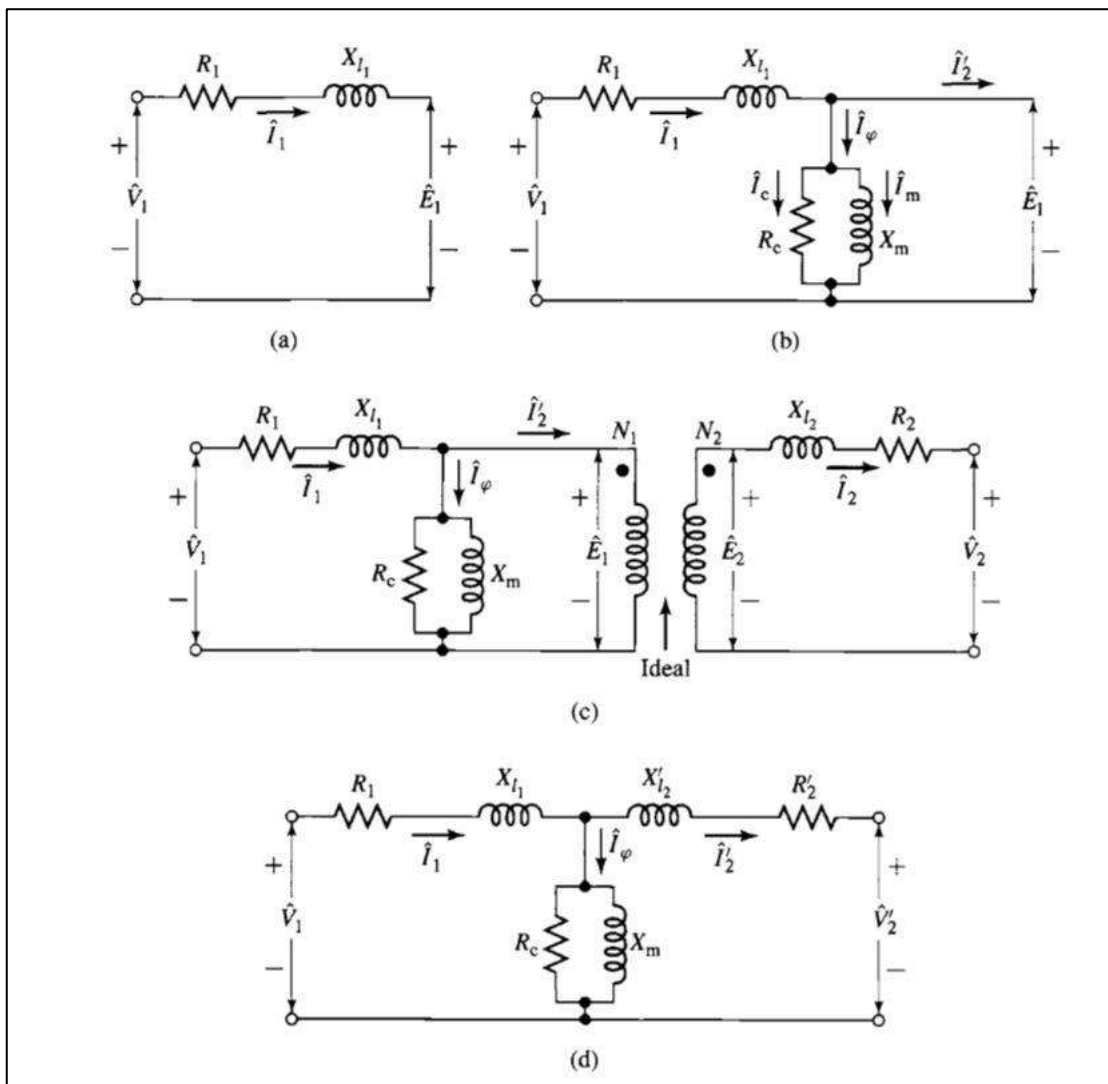


Figura 2.5: Passos do desenvolvimento do circuito equivalente do transformador.

Fonte: [06]

A Figura 2.5 mostra os passos para obter o circuito equivalente do transformador. Analisando o enrolamento primário, sabemos o fluxo total, Φ , nele contido e a tensão induzida, V , variam linearmente com a corrente do primário, I_1 , que podem ser representados por uma indutância de dispersão do primário L_1 pois:

$$\Phi = L * I \quad \text{Equação 2.2}$$

E como a reatância é dado por, [19]:

$$X = 2 * \pi * f * L \quad \text{Equação 2.3}$$

Logo no circuito equivalente analisamos a reatância X_{l1} como mostrado na Figura 2.5(a). Porém a corrente \hat{I}_1 é composto por duas partes: a corrente da carga, \hat{I}'_2 , e a corrente de excitação, \hat{I}_ϕ . Sendo a primeira é a corrente que contrabalança a FMM da corrente de secundário, \hat{I}_2 , e a outra é a corrente necessária para produzir fluxo mútuo resultante, obtido através dos fluxos primária e secundária.

A corrente de excitação, Figura 2.5(b), percorre por um ramo que compreende uma resistência de perda no núcleo, R_c , e uma reatância de magnetização, X_m , e é decomposto por I_c e I_m . As perdas no núcleo, devidos ao fluxo mútuo resultante, podem ser obtidos por:

$$P = \frac{E_1^2}{R_C} \quad \text{Equação 2.4}$$

A seguir, acrescentamos o segundo enrolamento no circuito equivalente, do mesmo modo, nele também tem a resistência, R_2 , e a reatância de dispersão, X_{l2} . Como o fluxo mútuo resultante concatena nos ambos os enrolamentos, então a razão entre as FEMs induzidas deve ser igual à razão entre as espiras dos enrolamentos, isto é, exatamente como em um transformador ideal.

$$\frac{\hat{E}_1}{\hat{E}_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{Equação 2.5}$$

Acrescentando um transformador ideal, Figura 2.5(c), temos circuito equivalente do transformador real, podemos dizer que ele é formado por transformador ideal mais impedâncias externas. Porém usualmente, o transformador ideal é ocultado nos circuitos equivalentes, Figura 2.5(d), e o novo circuito é conhecido como circuito equivalente T de um transformador. [06]

3 - METODOLOGIA

Este Trabalho de Conclusão do Curso foi desenvolvido no Laboratório de Sistemas Eletrônicos do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus V, Divinópolis.

A Figura 3.1 mostra a o posicionamento dos componentes do projeto e como são conectados.

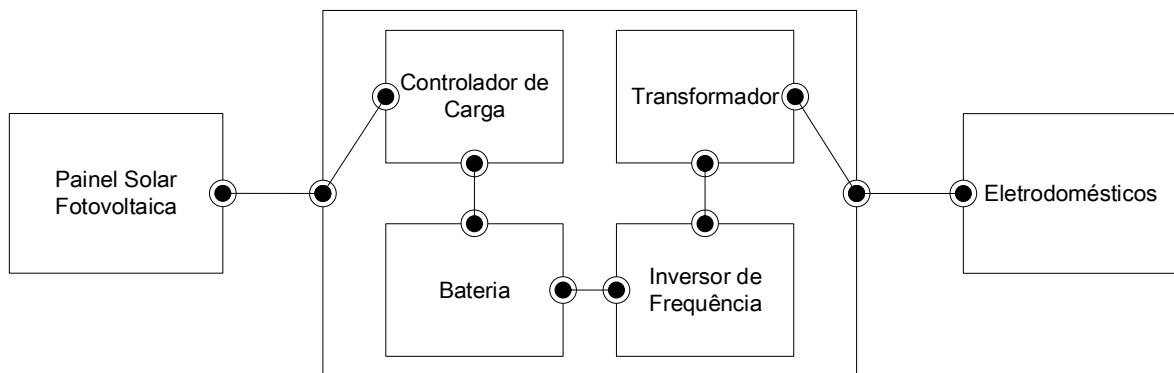


Figura 3.1: Diagrama do projeto

3.1 CIRCUITO ELÉTRICO

3.1.1 INVERSOR

O inversor de frequência, conectado na saída da bateria, converte a corrente contínua, DC, em corrente alternada, AC. Para que os equipamentos eletrodomésticos (de 110V) tenham bom desempenho, devem ser alimentados com tensão próximo ao 110V, para isso, usamos o PIC, com a programação, controlamos o PWM do circuito ponte H, desse modo a tensão será mantida no valor determinado.

A função do PIC nesse projeto é manter o valor de V_{rms} da saída do inversor em torno de 21V. Para isso usamos um *software* computacional *PIC C Compiler* para programarmos o PIC.

A tensão disponível para os equipamentos, não em valores médios nem máximos, mas sim o valor eficaz, V_{rms} , pois a tensão média de uma onda senoidal é zero. [05] Esse valor é dado por:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt} \quad \text{Equação 3.1}$$

onde T: período e V: tensão.

O valor de V_{rms} também pode ser calculado através de um gráfico de $V \times t$, esse valor é a área abaixo da curva, Figura 3.1. A área é dada pela base vezes altura, como o circuito é alimentado pela bateria, então a tensão é variável, logo, para que o valor de V_{rms} seja mantido constante devemos variar a base, a largura do pulso.

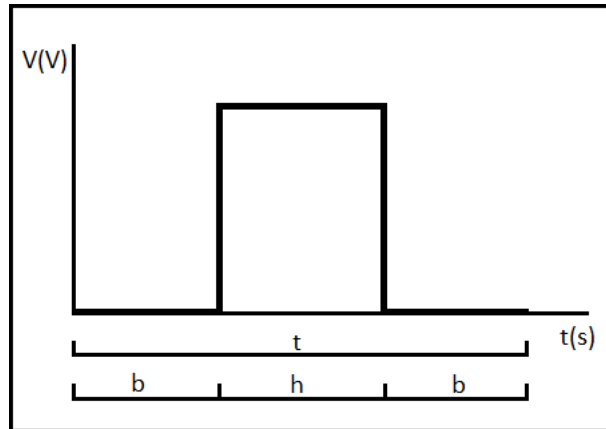


Figura 3.2: Forma de onda de um pulso.

Para encontrar a relação entre a largura do pulso e o valor de V_{rms} , o gráfico da Figura 3.1 serviu como base e estabelecemos as seguintes condições:

$$V(t) = \begin{cases} 0, & 0 \leq t < b \\ V_{dc}, & b \leq t < b + h \\ 0, & b + h \leq t \leq 2b + h \end{cases}$$

onde: t : tempo; b : é o tempo em que está em baixa; h : é o tempo em que está em alta.

Como em uma onda senoidal é formado por duas partes indênticas porém inversas, consideramos o período T como o tempo gasto para meia onda. Através da Figura 3.1, têm-se:

$$\begin{aligned} T &= t \\ T &= 2 * b + h \end{aligned} \qquad \text{Equação 3.2}$$

Substituindo a Equação 3.2 em Equação 3.1 e desenvolvendo-a considerando as condições, temos:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^b (0)^2 dt} + \sqrt{\frac{1}{T} \int_b^{b+h} V_{dc}^2 dt} + \sqrt{\frac{1}{T} \int_{b+h}^{2b+h} (0)^2 dt}$$

$$V_{rms} = 0 + \sqrt{\frac{1}{T} \int_b^{b+h} V_{dc}^2 dt} + 0$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_b^{b+h} V_{dc}^2 dt}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^h V_{dc}^2 dt}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} V_{dc}^2 (t)_0^h}$$

$$V_{rms} = V_{dc} \sqrt{\frac{h}{T}}$$

Equação 3.3

Tendo a relação entre a largura do pulso, o valor de V_{rms} e V_{dc} , podemos programar o PIC para que a saída V_{rms} seja mantido em constante. Porém o PIC utilizado é do tipo 12F com 8bits, ou seja, tem memória limitada. Devido a isso, criou-se uma tabela de relação entre V_{rms} e largura do pulso.

Tabela 3.1: Relação entre V_{dc} e largura do pulso

| Vrms(V) | T(%) | Vdc(V) | h(%) |
|---------|------|--------|-------|
| 21 | 100 | 22 | 91,12 |
| 21 | 100 | 23 | 83,36 |
| 21 | 100 | 24 | 76,56 |
| 21 | 100 | 25 | 70,56 |
| 21 | 100 | 26 | 65,24 |
| 21 | 100 | 27 | 60,49 |
| 21 | 100 | 28 | 56,25 |
| 21 | 100 | 29 | 52,44 |

Mas essa tabela ainda contém muita informação, por isso foi feita uma outra tabela com V_{dc} intermediários.

Tabela 3.2: Relação entre V_{dc} e largura do pulso.

| Vrms(V) | T(%) | Vdc(V) | h(%) |
|---------|------|--------|-------|
| 21 | 100 | 22,5 | 87,24 |
| 21 | 100 | 23,5 | 79,96 |
| 21 | 100 | 24,5 | 73,56 |
| 21 | 100 | 25,5 | 67,89 |
| 21 | 100 | 26,5 | 62,86 |
| 21 | 100 | 27,5 | 58,37 |
| 21 | 100 | 28,5 | 54,34 |

Portanto, para diminuir mais ainda o memória ocupado no PIC, invés de usar números reais, arredondou-se para números inteiros.

Tabela 3.3: Relação entre V_{dc} e largura do pulso.

| Vdc(V) | h(%) |
|--------|------|
| 22,5 | 87 |
| 23,5 | 80 |
| 24,5 | 74 |
| 25,5 | 68 |
| 26,5 | 63 |
| 27,5 | 58 |
| 28,5 | 54 |

Após isso, foi feito programação, cujo código mostrado abaixo, gravação no PIC e testes do funcionamento do programa.

O código programado para gravar no PIC é mostrado a seguir com explicações, iniciando com "//".

```
#include "C:...main.h"
```

```
// Declaração dos variáveis.
```

```
int8 count = 0, V = 0, x1 = 0, x2 = 0, x3 = 0, x4 = 0, h1 = 0, h2 = 0;
```

```

#int_TIMER2

// Criando uma função de TIMER
void TIMER2_isr(void)
{
    set_adc_channel(0);
    //leitura da tensão de entrada
    V = read_adc();
    //Definindo os valores da largura do pulso para cada tensão, de 22.5V a 28.5V
    //Os valores do V são convertido de acordo com os intervalos:
    //PIC de 8bits: 0 – 256; Tensão de entrada: 0 – 40V (valor máximo que o circuito possa
    suportar)
    //Os valores de h1 são retirados da tabela e h2 é a metade do h1
    if (V<147) {h1=0;h2=0;} //V = 147 = 23V
    if((V>=147)&&(V<153)){h1=80;h2=40;} //V = 153 = 24V
    if((V>=153)&&(V<159)){h1=74;h2=37;} //V = 159 = 25V
    if((V>=159)&&(V<166)){h1=68;h2=34;} //V = 166 = 26V
    if((V>=166)&&(V<172)){h1=64;h2=32;} //V = 172 = 27V
    if((V>=172)&&(V<179)){h1=58;h2=29;} //V = 179 = 28V
    if((V>=179)&&(V<186)){h1=54;h2=27;} //V = 186 = 29V

    //Definindo os valores dos intervalos: x1/x2 são parametros a primeira metade da onda e
    x3/x4 são do outra metade. Comparando com a Figura 3.2: o intervalo de x1 ~ x2 e x3 ~ x4
    é o h; o intervalo 0 ~ x1 e 0 ~ x3 é o b e intervalos depois dos x2 e x4 é o b posterior do h.
    x1 = 50-h2;
    x2 = x1 + h1;
    x3 = x1 + 100;
    x4 = x2 + 100;

    //Definindo os intervalos em que o pulso deve permanecer em alta ou baixa.
    //O valor de 200 é considerado como parâmetro do periodo de uma onda.
    count++;
    if(count == 200){count = 0;}
    if((count >= 0)&&(count <= x1)){Output_low(pin_a1);}

```

```

    if((count > x1)&&(count <= x2)){Output_high(pin_a1);}
    if(count > x2){Output_low(pin_a1);}
    if((count >= 0)&&(count <= x3)){Output_low(pin_a2);}
    if((count > x3)&&(count <= x4)){Output_high(pin_a2);}
    if(count > x4){Output_low(pin_a2);}
}

```

//Função principal do código, os comando são criados automaticamente pelo software PIC C Compiler de acordo com configurações iniciais, podem ser alterados manualmente ou alterando configurações.

```

void main()
{
    setup_adc_ports(sAN0/VSS_VDD);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_64);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL/RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,32,1);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
    // This device COMP currently not supported by the PICWizard
    enable_interrupts(INT_TIMER2);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    //Setup_Oscillator parameter not selected from Intr Oscillotar Config tab
    // TODO: USER CODE!!
    while(true){}
}

```

Depois da gravação do PIC, foram feitos testes para ter a certeza de que o código estivesse funcionando como programado. Esses experimentos são realizados ao alimentar o inversor diretamente da fonte de alimentação com tensões entre intervalo de 22,5V a 29,5V aumentado 1V a cada teste.

A tensão que o PIC suporta é de 5V, porém a tensão de alimentação é superior que isso, por isso foi adicionado um amplificador operacional (AOP), Figura 3.4, com divisor de tensão para assegurar que o sinal entre em PIC seja no intervalo de 0V a 5V.

Depois dos testes, passamos para seleção dos componentes para a placa de circuito impresso. Os componentes utilizados para projeto do inversor são:

- Amplificador Operacional LM358 * 1: o que está disponível e atende a necessidade.
- Capacitor 100 η F (SMD) * 8: são denominados Capacitor de Desacoplamento, tendo a função de mitigar as indutâncias das trilhas. Escolheu 100 η F, pois é o mínimo para exercer sua função.
- Capacitor 1 μ F(SMD) * 2: usa-se esse capacitor para que o *getdriver* possa chavear os dois pinos de sua saída.
- Capacitor 18 p F * 2: esses capacitores foram escolhidos por fácil acesso e estarem na faixa fornecida no *datasheet* do PIC.
- Capacitor cerâmico 1 p F * 2: usados para barramento CC.
- Cristal 20MHz * 1: indicado pelo *datasheet* do PIC.
- Diodos Mur460 * 4: usados para chaveamento, o motivo da sua escolha é devido ao funcionamento em alta frequência de chaveamento.
- Diodos * 2: usados nos CIs.
- Mosfet IRFP90N20D * 4: o motivo por sua escolha é por suportar alta corrente e alta tensão.
- PIC12F615 * 1: usa-se esse por estar disponível e atende a necessidade;
- Regulador de Tensão LM7805 * 1 e LM7812 * 1: são reguladores de tensão de 5V e 12V respectivamente, utilizados para alimentação do PIC e dos CIs.
- Resistor 10 Ω (SMD) * 4: a escolha de 10 ohms é por ser o limite máximo para não atrasar o chaveamento do *Mosfet*, o sugerido no *datasheet* é 1,2V, mas o disponível no momento é 10 Ω .
- Resistor 470 Ω (SMD) * 2: esses resistores têm como função de prevenir que o PIC seja queimado caso a tensão vinda do AOP seja superior ao 5V.
- Resistores 10K Ω (SMD) * 3 + 150K Ω * 1: usados para ter ganho de 2 no amplificador operacional.

Após os componentes serem escolhidos e adquiridos, usou-se uma ferramenta computacional *Proteus 8 Professional* para projetar circuito do inversor.

Na interface *ISIS* do *Proteus*, cria-se o esquemático do circuito e na *ARES*, o layout, onde roteia-se a localização dos componentes e das trilhas.

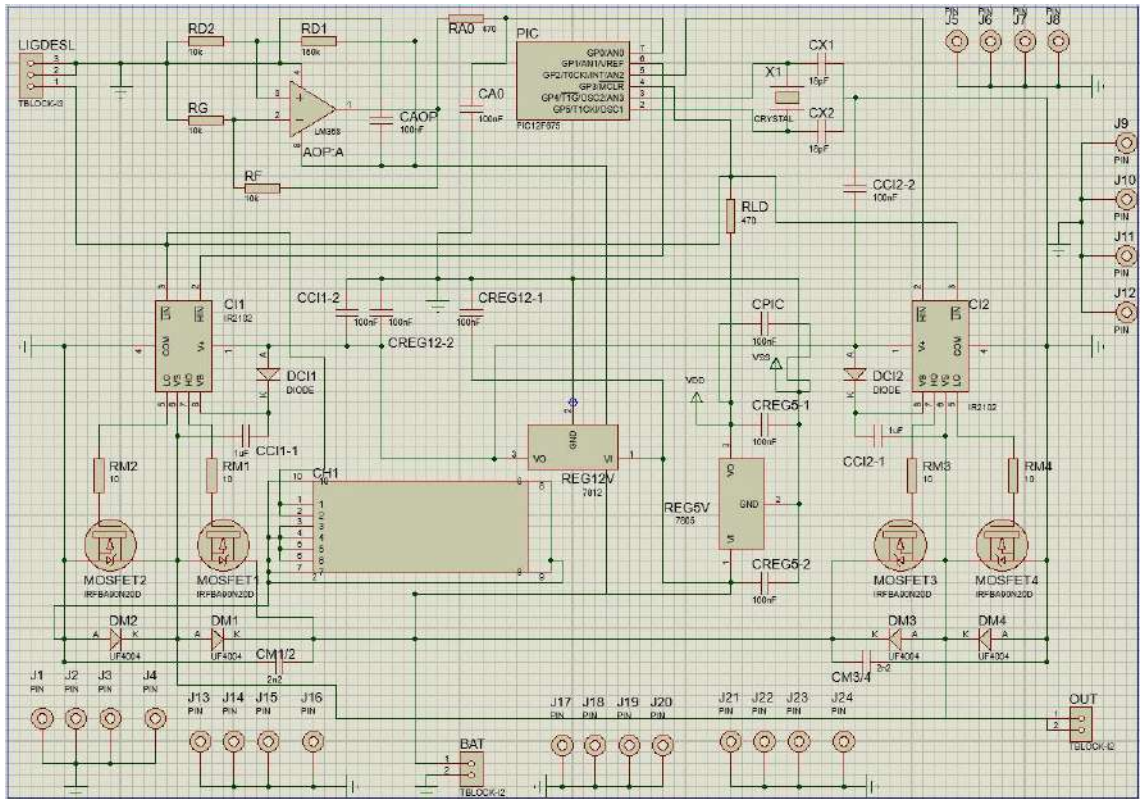


Figura 3.3: Esquemático do circuito.

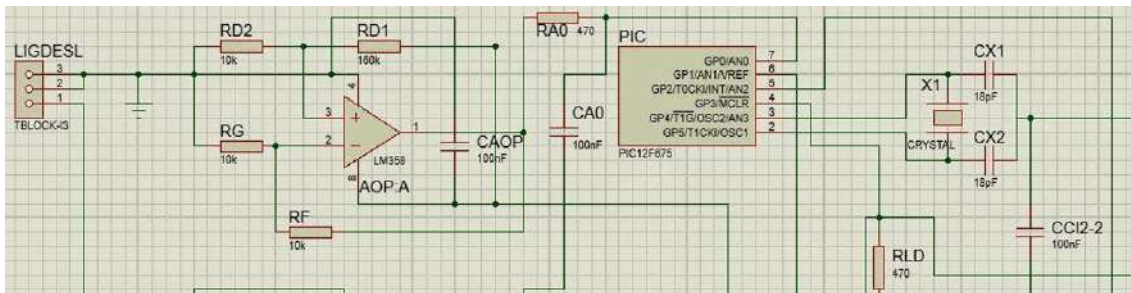


Figura 3.4: Esquemático do AOP e PIC

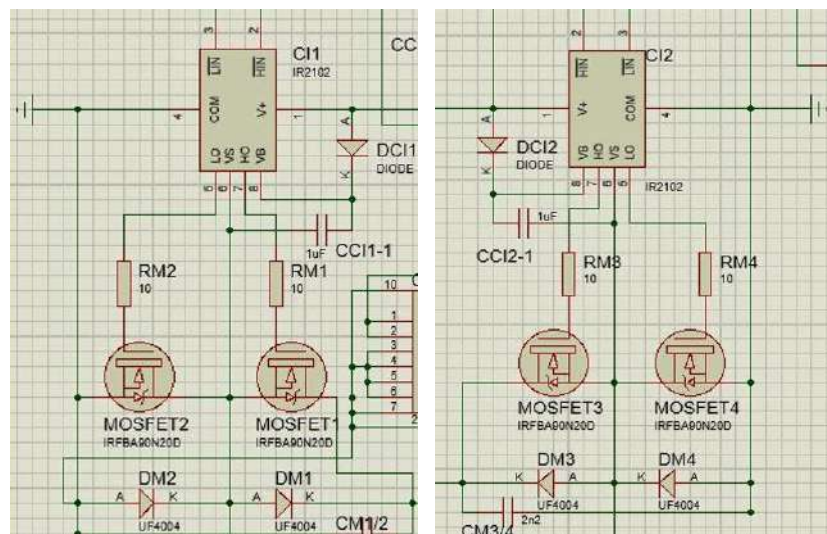


Figura 3.5: Esquemático do ponte H

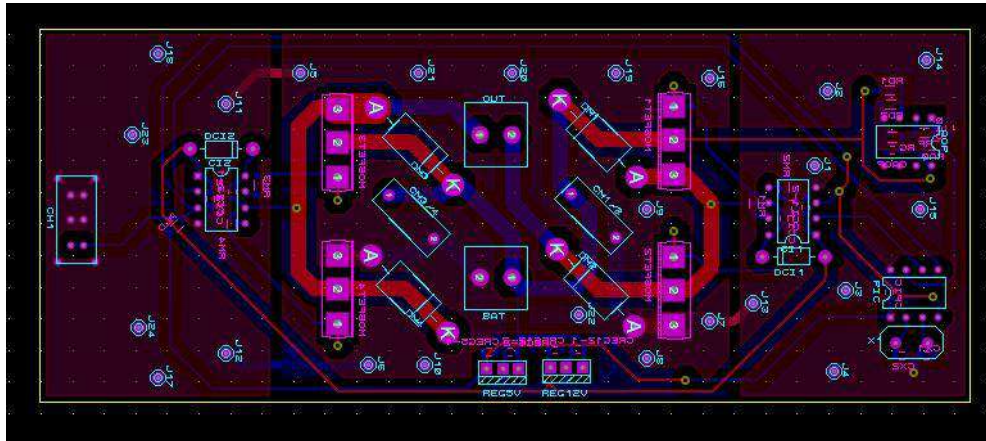
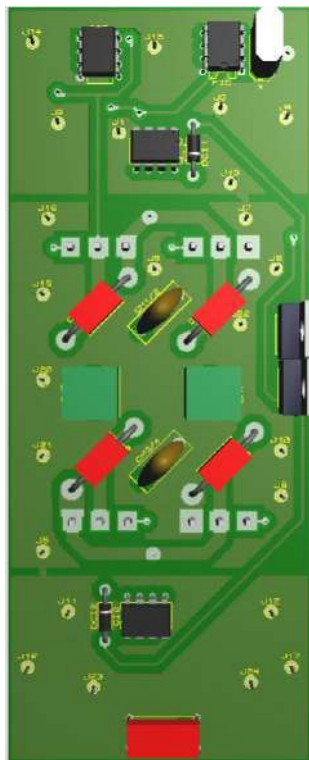


Figura 3.6: Layout do circuito.

O software *Proteus* possui a ferramenta *3D Visualizer* que possibilita a visualização da placa com os componentes montados.



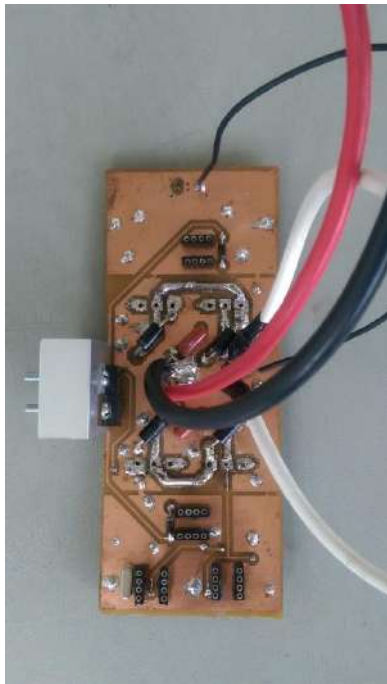
(a)



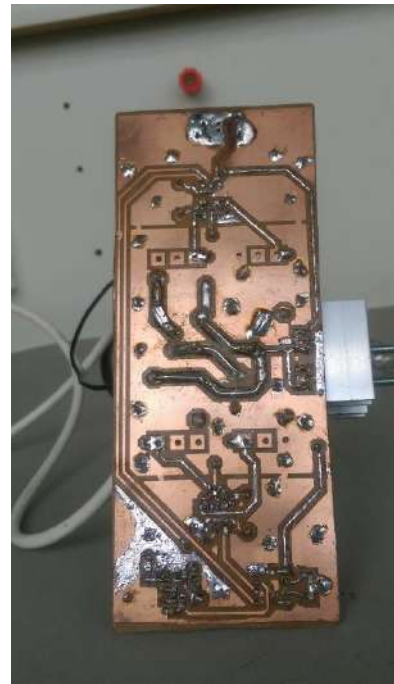
(b)

Figura 3.7: (a) Vista frontal da placa; (b) Verso da placa.

Depois disso, confecciona-se a placa impressa, como mostra nas figuras a seguir.



(a)



(b)

Figura 3.8: Placa do circuito impressa. (a) frente. (b) verso.

Depois que a placa estiver pronta, acoplamos um dissipador nele para evitar a queima dos componentes, os Mosfets.

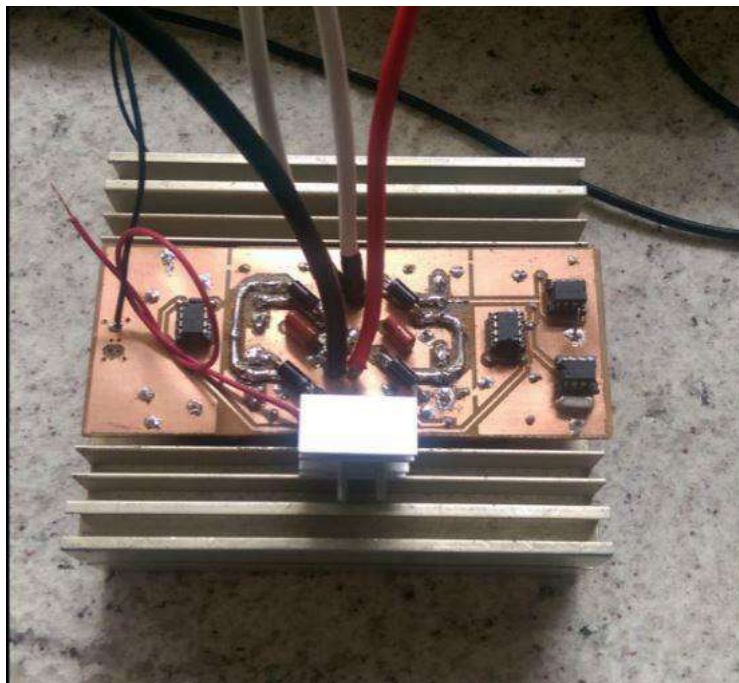


Figura 3.9: Montagem final da placa. Bloco “Inversor” da Figura 3.1

3.1.2 TRANSFORMADOR

Na seleção do transformador, inicialmente estabelecemos uma especificação de 24V/120V – 1kW, o motivo dessa escolha é para que o transformador consiga suportar quando a residência liga vários equipamentos ao mesmo tempo, com a condição de que tenha carga suficiente na bateria.

Com o intuito de reduzir custo do projeto resolvemos utilizar transformador dos micro-ondas, pois suportam alta corrente, o que é necessário para obtermos alta potência.

Depois de conseguirmos dois transformadores de micro-ondas, tivemos um problema, eles só funcionam de um lado, conseguem abaixar a tensão de 120V para 24V, mas não conseguem elevar a tensão, o que é essencial para o projeto. Após vários testes, o defeito não foi encontrado, então a única solução foi desmontá-lo e substituir uma das bobinas. A bobina substituída foi aquela que tem cabo mais fino, ou seja, de baixa tensão.

Inicialmente usou-se o fio de cobre AWG nº14 para fazer bobina primária, pois suporta corrente em torno de 6A, porém nos testes experimentais descobriu-se que não consegue fornecer fator de transformação o suficiente, o necessário é acima de 5 e o obtido foi 2. Depois usou-se o fio de cobre AWG nº20, já existente no laboratório e atende a necessidade pois aguenta em torno 1,6A o suficiente para bobina secundário. Após cálculo obtêm-se a quantidade de espiras que deverá conter nele:

$$N_1 * V_2 = N_2 * V_1 \quad \text{Equação 3.4}$$

Bobina Primário: $N_1 = 90$ espiras / $V_1 = 24V$

Bobina Secundário: $N_2 = x$ espiras / $V_2 = 120V$

Como consideramos o *Duty-cycle* de 33,33%, um terço, então a tensão V_1 usada para cálculo será:

$$(1 - 0,3333) * 24 = 16V$$

Usando a Equação 3.4 [13], tem-se o $N_2 = 690$
Entretanto após enrolar 600 espiras, já se obtêm o fator de transformação desejada.

3.2 ANÁLISE TÉRMICA

3.2.1 INVERSOR

Após a montagem da placa, foi feita uma análise térmica para verificar se o dissipador adquirido atende a necessidade.

Para analisarmos o comportamento térmico, montamos o seguinte esquemático:

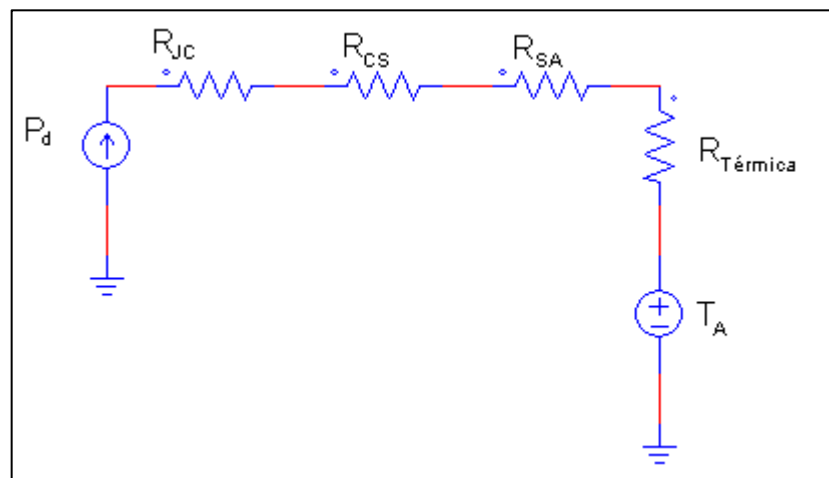


Figura 3.10: Representação elétrica do dissipador.

onde: P_d : potência dissipada; R_{JC} : resistência da junção-case; R_{CS} : resistência do case-sink; R_{SA} : resistência do sink-ambiente; $R_{Térmica}$: resistência térmica e T_A : temperatura ambiente.

A resistência da junção-case, R_{JC} , é a resistência entre o material no interior do Mosfet com o acoplamento externo e do case-sink, R_{CS} , é a resistência entre o acoplamento externo e o material isolante. Esses valores são fornecidos pelo fabricante e encontrado no *datasheet*. E a resistência do sink-ambiente, R_{SA} , é a resistência entre material isolante e o ambiente. Como esse valor é muito pequeno comparando com os outros dois, foi desconsiderado.

Para a verificação é necessário obter os seguintes dados:

- comprimento do dissipador;
- fator de correção, f_c , varia com o comprimento do dissipador;
- potência dissipada, P_d ;
- resistência térmica, $R_{T,tabelado}$, varia para cada modelo de dissipador;

- resistência térmica, $R_{T\acute{e}rmica}$, dado por $R_{T\acute{e}rmica} = f_c * R_{T,tabelado}$;
- resistência total, R_{Tot} , dado por $R_{Tot} = f_c * R_{T\acute{e}rmica} + R_{JS} (R_{JC} + R_{CS})$; [11]
- temperatura do ambiente, T_A .

Na figura seguinte mostra a forma de onda de uma ponte H, onde dois Mosfet são responsáveis por cada meia onda, por isso a potência dissipada pelo Mosfet, P_d , pode ser calculada por: [11]

$$P_d = 2 * R_{on} * I_d^2 \quad \text{Equação 3.5}$$

onde: R_{on} é a resistência interna do Mosfet, e é encontrado no *datasheet*; I_d é a corrente que passa pelo Mosfet.

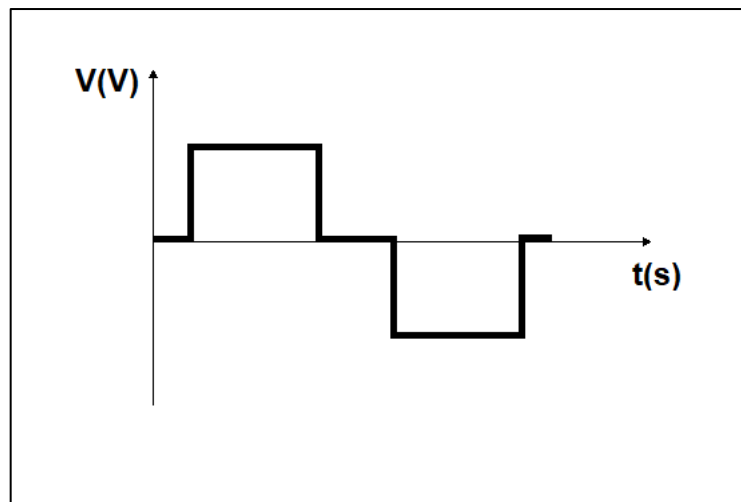


Figura 3.11: Forma de onda quadrada.

A corrente I_d foi obtida nos teste experimentais, tendo valor de $I_d = 6A$ e a resistência $R_{on} = 0,023 \Omega$. Com esses valores substituindo na Equação 3.5 a potência dissipada tem o valor de $P_d = 1,656 W$.

O dissipador adquirido é do tipo HS12643 e tem 79,25mm de comprimento, com essas informações consultamos o catálogo da empresa HS Dissipadores, temos:

$f_c = 1,22$ para comprimentos de 70mm a 99mm;

$R_{T,tabelado} = 1,72^{\circ}C/W/4''$.

O valor de $R_{T,tabelado} = 1,72^{\circ}\text{C}/\text{W}$ é para um dissipador de 4" (polegadas) = 101,6mm, porém o dissipador acoplado só tem 79,25mm = 3,12", logo:

$$R_{T,tabelado} = \frac{3,12 * 1,72}{4}$$

$$R_{T,tabelado} = 1,34^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Tendo novo valor de $R_{T,tabelado}$, calcula-se $R_{T\acute{e}rmica}$:

$$R_{T\acute{e}rmica} = f_c * R_{T,tabelado}$$

$$R_{T\acute{e}rmica} = 2,098^{\circ}\text{C}/\text{W}$$

Após consultar o *datasheet* do Mosfet IRFP90N20D, obtemos:

$$R_{JC} = 0,26\ \Omega$$

$$R_{CS} = 0,24\ \Omega$$

Para calcular a temperatura final do Mosfet após acionado dissipador, usa-se a seguinte equação, [11]:

$$T_{final} = T_A + P_d(R_{Tot})$$

$$T_{final} = 26 + 1,656 * (2,098 + 0,26 + 0,24)$$

$$T_{final} = 30,30^{\circ}\text{C}$$

Esse valor está no intervalo de temperatura em que o Mosfet opera (*datasheet*, em anexo), logo o dissipador adquirido atende a necessidade.

3.2.2 TRANSFORMADOR

Para analisarmos o comportamento térmico do transformador, primeiro montamos a sua representação elétrica, mostrado na Figura 3.10.

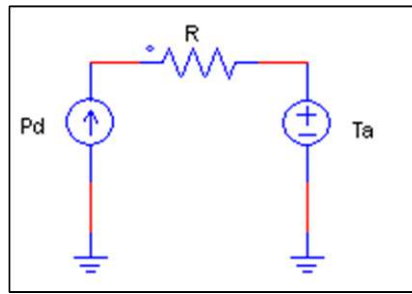


Figura 3.12: Representação elétrica do transformador.

Onde, Pd é a potência dissipada no transformador; R a resistência térmica e Ta, a temperatura ambiente.

As Pd foram adquiridas através dos testes experimentais alimentando o transformador com tensão fixa de 25V e corrente variando de 1A em 1A, de 3A até 6A, com multímetros conectados na saída do transformador, mede-se as tensões e correntes de saída. O teste foi mantido durante dez minutos e mediu-se a temperatura no transformador.

O motivo desse último procedimento é devido a temperatura máxima em que o transformador possa suportar para não ocorrer a fusão dos revestimentos de verniz nos fios de cobs. Segundo catálogo fornecido pela empresa IBT (Indústria Brasileira de Transformadores Ltda), em anexo, o transformador utilizado pode suportar até 55°C acima da temperatura ambiente.

Tabela 3.4: Valores de corrente e tensão na entrada e saída do transformador

| | | | | |
|--------------------|------|-----|------|------|
| I _i (A) | 3,1 | 4 | 5 | 6 |
| V _i (V) | 25 | 25 | 25 | 25,3 |
| I _o (A) | 0,52 | 0,7 | 0,89 | 1,08 |
| V _o (V) | 110 | 103 | 94,5 | 88,6 |

*I_i/V_i são os dados da entrada e I_o/V_o os da saída

A potência dissipada pode ser calculada por, [12]:

$$P_D = P_i - P_o \quad \text{Equação 3.6}$$

Onde:

P_D = potência dissipada [W];

P_i = Potência da entrada [W];

P_o = potência da saída [W];

O rendimento do transformador e a resistência térmica, são dados pelas equações seguintes, [11]:

$$\eta = \left(1 - \frac{P_D}{P_i}\right) * 100 \quad \text{Equação 3.7}$$

$$R_{T\acute{e}rmica} = \frac{(T - T_{amb})}{P_D} \quad \text{Equação 3.8}$$

η = rendimento;

$R_{t\acute{e}rmica}$ = resistência térmica [°C/W]

T = temperatura [°C];

T_{amb} = temperatura ambiente [25°C].

Com os dados calculados são encontrados na tabela abaixo:

Tabela 3.5: Dados calculados do transformador.

| I_i (A) | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| P_D (W) | 20,3 | 27,9 | 40,9 | 56,11 |
| T(°C) | 33 | 38 | 44 | 54 |
| η (%) | 73,8 | 72,1 | 67,28 | 63,03 |
| $R_{t\acute{e}rmica}$ (°C/W) | 0,394 | 0,466 | 0,464 | 0,517 |

Analisando as tabelas acima, percebe-se que a medida que aumenta a corrente de entrada no transformador, a potência dissipada aumenta muito, isso é devido ao calor no interior do transformador estar retido por isso a temperatura também cresce e o seu rendimento diminui. Para minimizar essa queda no rendimento, foi instalado dois coolers de 3A/12V.

3.3 SUPORTE

Para facilitar o deslocamento do circuito, criou-se um suporte. Inicialmente, é necessário determinar as posições dos componentes, cooler, transformador e placa do circuito impresso.

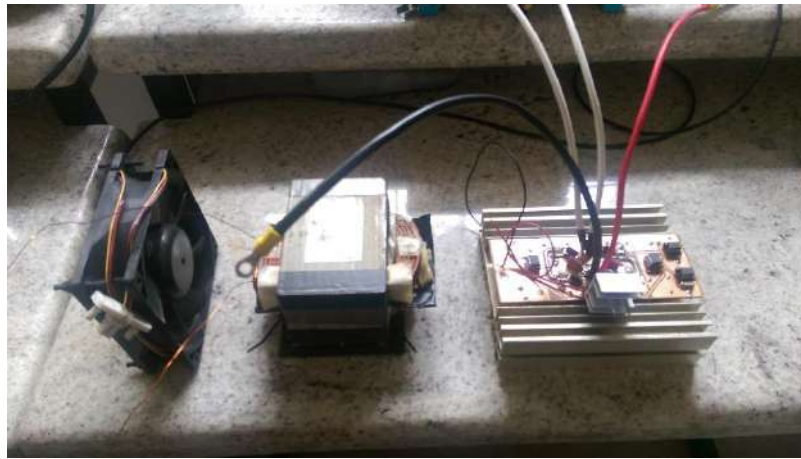


Figura 3.13: Posicionamento dos componentes.

Na Figura 3.11, mostra a posição ideal para os componentes, pois o que tem maior peso dentre eles é o transformador, por isso está localizado no meio. Depois foi feita uma caixa para contê-los, como mostra na Figura 3.12.



Figura 3.14: Suporte para circuito.

4 - RESULTADO E DISCUSSÕES

4.1 INVERSOR

O inversor, tal como os circuitos que os compõem, foram testados e os resultados são mostrados a seguir.

Depois da gravação do **PIC**, foram feitos testes para ter a certeza de que o código estivesse funcionando como programado. Esses experimentos são

realizados ao alimentar o inversor diretamente da fonte de alimentação com tensões de 22,5V a 29,5V aumentado 1V a cada teste.

Na Figura 4.1 mostra forma de onda das tensões que entram nos CIs, ou seja, pulso da saída do PIC, são obtidos ao alimentar o circuito diretamente da fonte de alimentação. Ao observar atentamente as figuras, percebe-se que com o aumento da tensão, a largura da forma de onda diminui gradativamente, esse é o resultado desejado, uma vez que a intenção é obter uma tensão constante na saída do inversor.



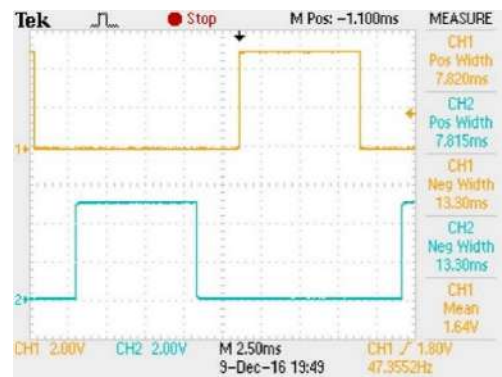
(a)



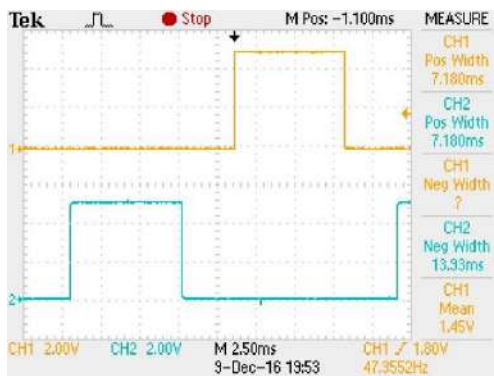
(b)



(c)



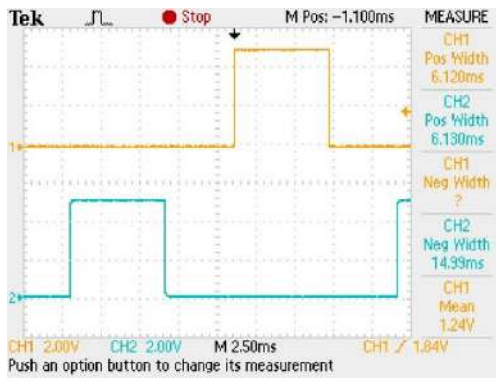
(d)



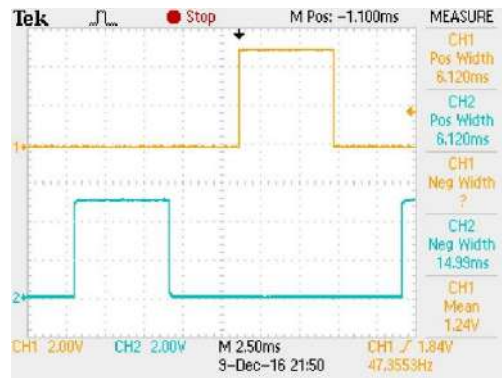
(e)



(f)



(g)



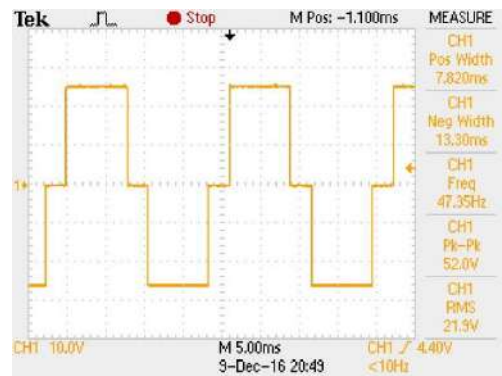
(h)

Figura 4.1: Forma de Onda na entrada dos CI's com (a) $V_{dc} = 22,5V$; (b) $V_{dc} = 23,5V$; (c) $V_{dc} = 24,5V$; (d) $V_{dc} = 25,5V$; (e) $V_{dc} = 26,5V$; (f) $V_{dc} = 27,5V$; (g) $V_{dc} = 28,5V$; (h) $V_{dc} = 29,5V$.

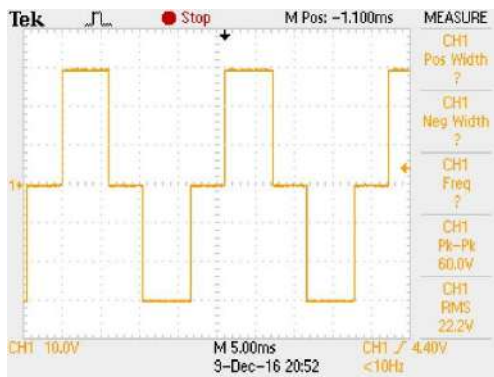
Na Figura 4.2 mostra os resultados obtidos na saída do inversor, pode-se perceber que o código gravado está funcionando, pois, a largura do pulso está diminuindo com o aumento da tensão de entrada e o valor eficaz está sendo mantido em torno de 22V.



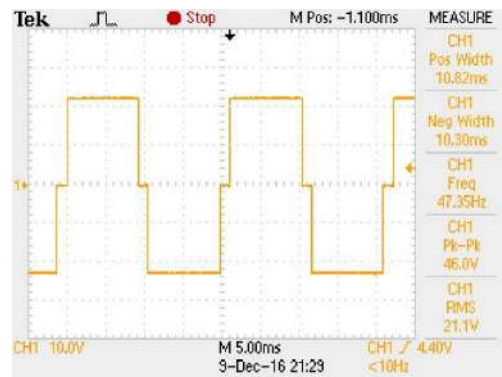
(a)



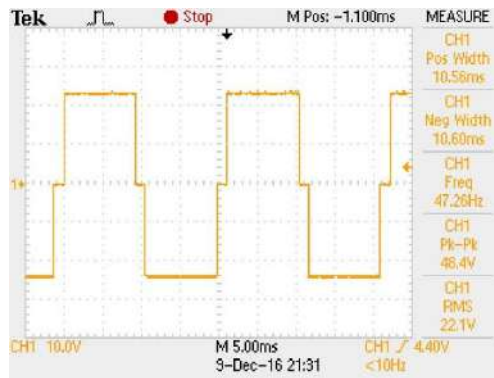
(b)



(c)



(d)



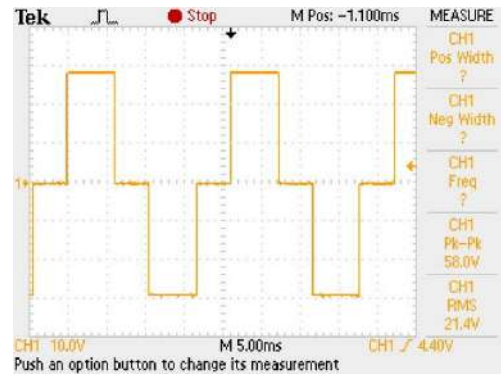
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 4.2: Forma de onda na saída do inversor com (a) $V_{dc} = 22,5V$; (b) $V_{dc} = 23,5V$; (c) $V_{dc} = 24,5V$; (d) $V_{dc} = 25,5V$; (e) $V_{dc} = 26,5V$; (f) $V_{dc} = 27,5V$; (g) $V_{dc} = 28,5V$; (h) $V_{dc} = 29,5V$.

4.2 TRANSFORMADOR

Para estar ciente do limite mínimo aceitável, para esse projeto, do transformador, foram feitos testes alimentando com várias tensões e conectados aos 5 reostatos ligados em paralelos como mostra a Figura 4.3.

O teste foi feito conectado a entrada do transformador em um multímetro (da direita) ligado em série com uma fonte de alimentação (superior direito), o primeiro mede a corrente de entrada e o segundo ajuste da tensão de alimentação. Na saída do transformador, conecta-se outro multímetro (da esquerda) e em série com os 5 reostatos ligados em paralelo. O primeiro fornece a corrente da saída e o outro ajuste da carga.



Figura 4.3: Testes no transformador.

Na Figura 4.4 mostra as formas de ondas coletadas na entrada, verde, e na saída, amarela. Para alimentação de 21,1V, ainda se obtém tensão de saída aceitável, pois o fator de transformação ainda está superior ao 5. Porém ao continuarmos a diminuir a tensão, o transformador já não consegue garantir fator de transformação acima do 5, com a alimentação de 20,9V ele decai para 4,37, isso já não satisfaz a condição estabelecida no início.

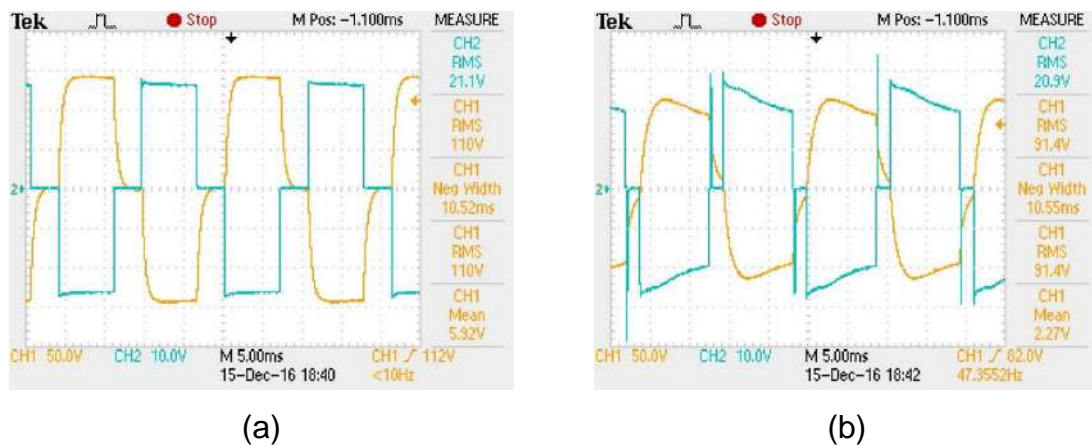


Figura 4.4: (a) Forma de onda da entrada de 21,1V e saída de 110V do transformador.

(b) Forma de onda da entrada de 20,9V e saída de 91,4V do transformador.

4.3 SAÍDA DO CIRCUITO

O osciloscópio utilizado para coletar resultados, além de salvar forma de onda na forma da figura, também fornece arquivo dos pontos para formar a onda. Com esses arquivos, utilizou-se MatLab para a junção dos dados para comparação.

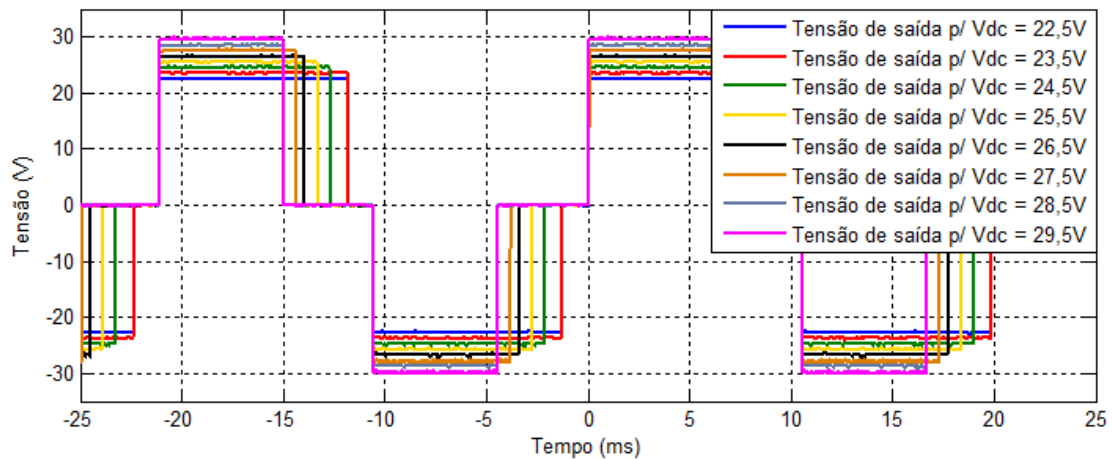


Figura 4.5: Comparação da onda da tensão de saída com tensão de entrada de 22,5V a 29,5V.

Na Figura 4.5, podemos observar que o controle está sendo feito como estipulado. Analisando-a, a largura do pulso da onda de tensão da saída para V_{dc} de 22,5V e 23,5V são iguais e o mesmo acontece para V_{dc} de 28,5V e 29,5V. Isso acontece devido às tensões máxima e mínima estabelecidas na programação do PIC são 23V e 28V respectivamente.

5 - CONCLUSÕES

Na Figura 4.5, são mostradas formas de onda de saída do inversor em função da entrada. Pode-se notar que conforme a tensão de entrada diminui, a tensão de saída tem a largura de pulso aumentada para compensar a queda de tensão de entrada. Isto é feito para garantir na saída do transformador uma tensão a mais próxima de 110V, em função do descarregamento da bateria. As baterias estacionárias costumam operar de 22V (mínima tensão antes de ser desligada do circuito para manter a vida útil) até o limite máximo de carga (em torno de 28V). As

tensões superiores a 28V costumam aparecer durante uma etapa de carga. Desta forma, conforme a tensão varia durante a descarga, a largura do pulso se adapta para atender a tensão de saída. A vantagem desta abordagem é de se ter uma tensão fixa na saída pouco dependente da tensão de carga das baterias, a desvantagem é de as larguras diferentes da largura padrão de 2 terços do meio ciclo, possuem distorção harmônica maior, incluindo até múltiplos do terceiro harmônico. Porém, esta distorção costuma não afetar os tipos de equipamentos que devem ser conectados em redes isoladas.

6 - PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando os procedimentos já concluídos, pode-se indicar alguns melhorias para o projeto:

- Desenvolver nova sistema de ampliação da tensão, utilizando arranjos de transformadores para aumentar o rendimento;
- Adaptar o circuito para conectar direto com o pannel fotovoltaica possibilitando que a bateria possa ser dispensada;
- Melhorar a sistema de refrigeração, já que o calor no interior do transformador tem dificuldade de ser dissipada.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[01] ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>>. Acesso em: 28 nov. 2017.

[02] ANGELIS-DIMAKIS, A.; Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Golden, v. 15, n. 2, p. 1182-1200, 2011.

- [03] ARRABAÇA, D. Aparecido & GIMENEZ, S. Pinillos; Eletrônica de Potência: conversores de energia (CA/CC): teórica, prática e simulações. 1ª Ed. São Paulo: Érica, 2011.
- [04] BECKMAN, W. A. & DUFFIE, J. A.; Solar Engineering of Thermal Processes. 4ª Ed. New Jersey: Hoboken, 2013.
- [05] DORF, Richard C. & SVOBODA, James A.; Circuitos Elétricos. 8ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- [06] FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY Jr, Charles & UMANS, S. D.; Máquinas Elétricas. 6ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- [07] FOTOVOLTEC: Sistemas Fotovoltaicos. Energia Fotovoltaica. Disponível em: <<http://www.fotovoltec.com.br/front/tecnologia>>. Acesso em: 28 nov. 2017.
- [08] FRANCISCO, I.; GONZÁLES, L.; JUAN, I. & RODRIGUES, C. Aplicación de la energía solar y la luz ultravioleta en la portabilización del agua en escuelas primarias. Energética, v. XXIV, n. 1, p. 60-67, 2003.
- [09] HART, Daniel W. Power Electronics. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [10] LUNA, A.; VELÁZQUEZ, N.; GALLEGOS, R. & BOJORQUEZ, G.; Aire acondicionado solar, para conjunto de viviendas en Mexicali, México. Información Tecnológica, v. 19, n. 1, p. 45-46, 2008.
- [11] NED MOHAN, Tore M. Undeland & WILLIAM P. Robbins. Power electronics: Converter, Applications and Design. 2ª Ed. New York: John Wiley&Sons, INC, 1995.
- [12] NILSSON, James W.; SUSAN, A. Ridel; Circuitos Elétricos. 8ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- [13] SANDRINI, W.; MARKUS, O. & CIPELLI, A. M.; Teoria e desenvolvimento de projetos de circuitos eletrônicos. 23ª Ed. São Paulo: Érika, 2014.

- [14] SANTOS, F. F. *Utilização de energia fotovoltaica para a eficiência energética de uma moradia*. 2011. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.
- [15] SANTOS, J. B. & JABBOUR, C. J.; Adoção da energia solar fotovoltaica em hospitais: revisando a literatura e algumas experiências internacionais. *Saúde e Sociedade São Paulo*, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 972-977, 2013.
- [16] SIDAWI, F.; Electrical properties in photovoltaic solar modules. *Microelectronics International*, Southampton, v. 28, n. 1, p. 12-16, 2011.
- [17] SILVA, J. A.; LIMA, V.; MARINHO, F.; PEREIRA, B.; ALEXANDRIA, A. & LIMA, T.; Uso de destiladores solares para fornecer água potável no semiárido Paraibana. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. Pombal, v. 11, n. 3, p. 91-97, 2016.
- [18] UNESP; Teoria básica dos inversores de tensão. Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/lepnovo/curso2002/cap9.pdf>> Acesso em: 28 nov 2017.
- [19] VELASCO, J. A. Martínez & LEÓN, Francisco de; Circuito equivalente de un transformador con regulación. *Ingeniare*, v. 19, n. 1, p. 93-109, 2011.