



**Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza**  
**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**  
**Etec “Júlio de Mesquita”**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO TÉCNICO EM**  
**ELETRÔNICA**

**Alan Gustavo da Silva de Souza**  
**Giovanna Andrade de Souza Santana**  
**Leonardo Reis de Brito**

**INVERSOR DE FREQUÊNCIA CLASSE R**

**Santo André**  
**2020**

**Alan Gustavo da Silva de Souza  
Giovanna Andrade de Souza Santana  
Leonardo Reis de Brito**

## **INVERSOR DE FREQUÊNCIA CLASSE R**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso Técnico em  
Eletrônica da Etec Júlio de Mesquita  
orientado pelo Prof. Robson Soares  
Fractucello como requisito parcial  
para obtenção do título de técnico em  
Eletrônica.**

**Santo André**

**2020**

**Candidatos:** Alan Gustavo da Silva de Souza, Giovanna Andrade de Souza Santana e Leonardo Reis de Brito.

**Título:** Inversor de Frequência Classe R.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do grau de técnico em Eletrônica, à Etec Júlio de Mesquita, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, Curso de Eletrônica.

Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_.

Prof.(a) Dr.(a). \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura

Prof.(a) Dr.(a). \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura

Prof.(a) Dr.(a). \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_ Assinatura

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente queríamos agradecer a Deus e nossos familiares que nos apoiaram e incentivaram para que tudo desse certo.

Agradecemos nossos colegas de classe pelo tempo de curso juntos e que estiveram do nosso lado durante os estudos.

Aos professores que nos orientaram e abraçaram a ideia do projeto compartilhando seus conhecimentos e dando total apoio para que a entrega fosse possível.

## RESUMO

Esse projeto tem como principal objetivo a praticidade de controlar a rotação de um motor, em casos de usos residenciais. Com base de ser de uso mais simples, para que pessoas sem conhecimento técnico possa utilizá-lo em qualquer situação.

O circuito teve resultados satisfatórios.

**Palavras chave:** Inversor de frequência. Eletrônica. Monofásico. Motor. IGBT. Residencial.

## **ABSTRACT:**

This project has as main objective the practicality of controlling the rotation of an engine, in cases of residential uses. On the basis of being simpler to use, so that people without technical knowledge can use it in any situation.

The circuit had satisfactory results.

**Keywords:** Frequency inverter. Electronics. Single phase. Motor. IGBT. Residential.

# Sumário

|   |    |
|---|----|
| 1 – INTRODUÇÃO .....                                      | 7  |
| 2 – JUSTIFICATIVA .....                                   | 8  |
| 3 – OBJETIVO .....  | 9  |
| 4 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....                           | 10 |
| 5 – DESENVOLVIMENTO .....                                 | 12 |
| 5.1 – COMPONENTES .....                                   | 12 |
| 5.1.1 – DIODO RETIFICADOR .....                           | 12 |
| 5.1.2 – DIODO ZENER .....                                 | 12 |
| 5.1.3 – RESISTOR .....                                    | 13 |
| 5.1.4 – CAPACITOR .....                                   | 13 |
| 5.1.5 – CAPACITOR ELETROLÍTICO .....                      | 13 |
| 5.1.6 – TRANSFORMADOR .....                               | 14 |
| 5.1.7 – IGBT .....  | 14 |
| 5.1.8 – DRIVE DE DISPARO DO IGBT .....                    | 15 |
| 5.1.9 – CONTROLADOR PWM .....                             | 15 |
| 5.1.10 – OPTACOPLADOR .....                               | 16 |
| 5.1.11 – REGULADOR DE TENSÃO .....                        | 16 |
| 5.1.12 – MICROCONTROLADOR .....                           | 17 |
| 5.1.13 – CRISTAL OSCILADOR .....                          | 17 |
| 5.2 – DIAGRAMA DE BLOCOS .....                            | 18 |
| 5.3 – DIAGRAMA DO PROJETO .....                           | 19 |
| 5.3.1 – POTÊNCIA .....                                    | 19 |
| 5.3.2 – DISPARO .....                                     | 20 |
| 5.3.3 – FONTES .....                                      | 21 |
| 5.3.4 – COMANDO .....                                     | 22 |
| 5.3.5 – DIAGRAMA COMPLETO .....                           | 23 |
| 5.4 – PROGRAMAÇÃO .....                                   | 24 |
| 5.4.1 – CÓDIGO .....                                      | 24 |
| 5.4.2 – TABELA DE ATIVAÇÃO DOS IGBT's .....               | 25 |
| 5.5 – TABELA DE COMPONENTES E RELAÇÃO DE PREÇOS .....     | 26 |
| 5.6 – CUSTO FINAL DO PROJETO .....                        | 26 |
| 6 – CONCLUSÃO .....                                       | 27 |
| 7 – REFERÊNCIAS .....                                     | 28 |
| 8 – ANEXOS .....  | 29 |
| 8.1 – ANEXO A: IGBT FGD3N60UNDF .....                     | 29 |
| 8.2 – ANEXO B: Microcontrolador ATmega328P .....          | 30 |
| 8.3 – ANEXO C: Drive de disparo do IGBT 6ED003L06-F ..... | 31 |
| 8.4 – ANEXO D: Controlador PWM UC3842A .....              | 32 |

## 1 – INTRODUÇÃO

Este projeto tem como base partir do ponto que pessoas queiram utilizar motores elétricos trifásicos em suas casas, porém não tem condições nem conhecimento de utilizar um inversor de frequência industrial, tanto por não ser um técnico especializado, quando o preço nada atrativo dos inversores convencionais, além do mais que a maioria das pessoas não tem uma rede trifásica em suas residências.

Tendo este consentimento, foi decidido montar um circuito mais simples e que trabalhe com tensões residenciais, ou seja, este projeto não será destinado a trabalho em indústrias, assim o projeto poderá ser mais eficiente onde ele se encaixa.

Um projeto mais simples que os concorrentes do mercado terá o seu lado positivo, como o preço de varejo, e também o valor das manutenções mais abaixo do preço de outras marcas, já que usuários com menos experiências há de adquirir o nosso projeto.



## **2 – JUSTIFICATIVA**

Já existem no mercado vários inversores de frequência, porém para o consumidor casual não é muito explorado.

Tendo em vista esta situação, foi aplicado os conhecimentos adquiridos durante o curso de eletrônica, na ETEC Júlio de Mesquita, buscando um projeto que visa principalmente em projetar uma linha de inversores de frequência de baixo custo, e um preço justo para possíveis manutenções, sem deixar de ter uma grande eficácia, para onde foi projetado, em casas onde falta recursos para utilizar motores trifásicos, onde é quase unanime em residências. Este projeto aumentara a acessibilidade entre consumidores casuais de automação e afins e motores trifásicos.

### **3 – OBJETIVO**

O grande objetivo desta ideia, é criar um circuito Inversor de Frequência para motores trifásicos com tensões de entrada residenciais, então foi pensado em fazer um inversor de frequência com entrada de 110/220V e uma saída capaz de ajustar um motor trifásico sem uma rede tradicionalmente usadas em inversores de frequência.

Ser capaz de suprir a necessidade do consumidor casual, ou em suprir tarefas educacionais, partindo de um ponto que o este projeto foi pensado para satisfazer um consumidor não tradicional ao mercado existente.

## 4 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

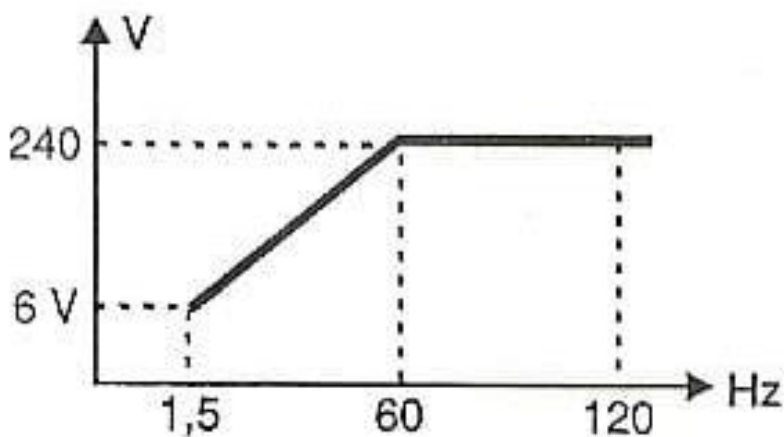
A principal função de Inversor de frequência é variar a rotação de um motor trifásico, que não será possível se for ligado diretamente na rede de distribuição de energia.

Este dispositivo trabalha transformando a tensão da rede elétrica em um sinal de corrente contínua, na sequência, esta tensão será chaveada, assim pode-se controlar a velocidade do motor.

Um inversor de frequência pode ser ajustado para ter uma frequência maior do que a tensão de rede, assim elevando o trabalho do motor utilizado.

Há muitas vantagens em um motor acionado por inversor de frequência, como um consumo de energia menor, um grande ganho de desempenho dos equipamentos que utilizam esse circuito, além de uma maior vida útil do motor, por ser possível programar uma partida mais lenta assim forçando-o menos.

A velocidade de um motor trifásico está diretamente proporcionada a frequência da rede, como podemos ver no gráfico abaixo:



*Figura 01*

### **Diferencial do projeto**

O nosso circuito pode projetar a alimentação de um motor não usual em indústrias, assim atingindo um público que grandes empresas não se interessam.

Nosso projeto tem como ideia ser um circuito com alimentação bivolt (220V ou 127V) na entrada, e irá trabalhar com um motor de indução trifásico 220V.

Neste projeto estamos com foco em usuários mais leigos, trazendo um conforto de usabilidade sem níveis técnicos. Assim sendo, uma pessoa que apenas necessita de uma função de um inversor de frequência poderá usar tranquilamente em sua residência, pois sua tensão de trabalho se encaixa em redes domiciliares.

Também foi pensado em outras alternativas para nosso equipamento, como ser utilizados em instituições de ensino, onde há de saber que um circuito mais simples pode ter menos defeitos em mentes em desenvolvimento, e caso o mesmo apresente problemas por mal uso, também será de fácil manutenção, por ser um circuito mais simples do que os convencionais.

Sendo um circuito mais simples do que os existentes no mercado, o seu preço será um diferencial muito positivo.

## 5 – DESENVOLVIMENTO

### 5.1 – COMPONENTES

#### 5.1.1 – DIODO RETIFICADOR

Um componente que permite a passagem de corrente elétrica conforme ele está polarizado.

Sendo polarizado positivamente, irá passar tensão positiva, e sendo polarizado inversamente, irá passar tensão negativa.

O anodo do diodo será ligado do lado positivo, e o catodo do lado negativo do circuito.

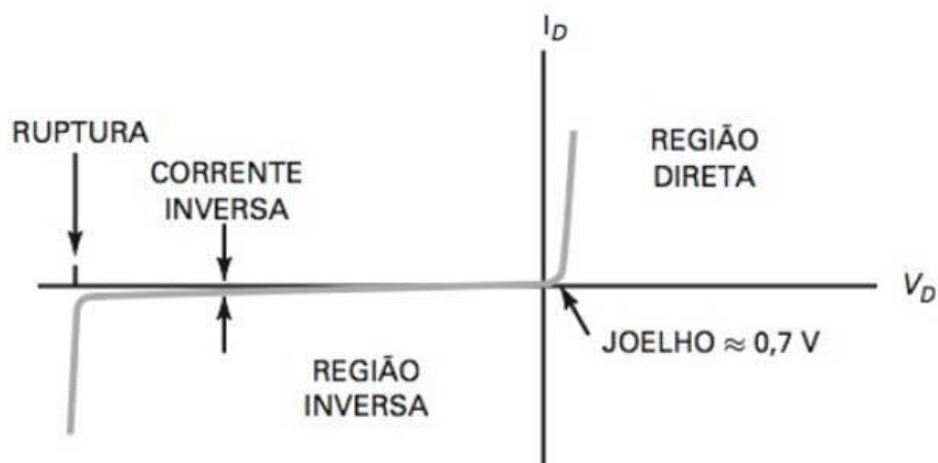


**Figura 02**

#### 5.1.2 – DIODO ZENER

O diodo Zener, também conhecido como diodo regulador de tensão, ele foi o primeiro diodo que opera ao contrário da região de condução, sendo assim, o Zener opera polarizado reversamente.

O diodo Zener tem uma melhor compreensão quando visualizamos a sua curva característica:



**Figura 03**

### 5.1.3 – RESISTOR

O resistor é um componente elétrico passivo, ou seja, não é necessário alimentá-lo para exercer a sua função de limitar o fluxo da corrente elétrica em um circuito.

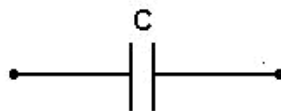
Pode calcular a resistência desejada pela Lei de Ohm expressada abaixo:

$$R = \frac{U}{I}$$

**Figura 04**

### 5.1.4 – CAPACITOR

Capacitores são um tipo de componente reativo, que reagem à passagem de corrente com o acúmulo de cargas elétricas, ou seja, o capacitor é capaz de armazenar energia eletrostática, sendo carregado e descarregado muito rapidamente.

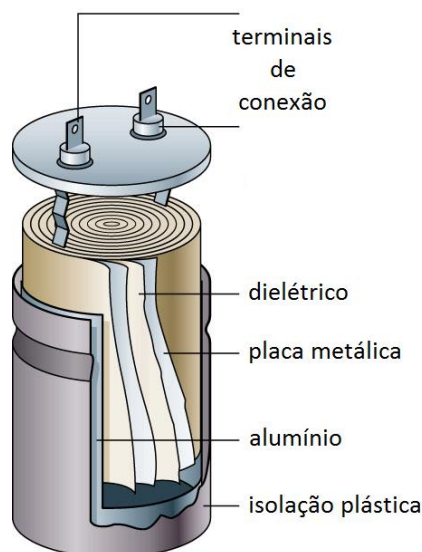


**Figura 05**

### 5.1.5 – CAPACITOR ELETROLÍTICO

Um capacitor eletrolítico é um capacitor polarizado, ou seja, tem lado positivo e negativo onde o metal sofre uma reação de anodização com um óxido isolante. A camada de óxido é a parte dielétrica do capacitor.

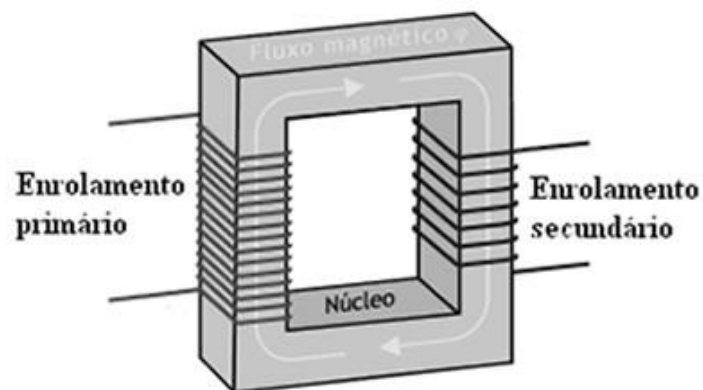
Segue abaixo imagem explicativa:



**Figura 06**

### 5.1.6 – TRANSFORMADOR

Usado para transformar a tensão de entrada para uma tensão específica na saída, podendo ser maior ou menor que antes, dependendo da estrutura do transformador.

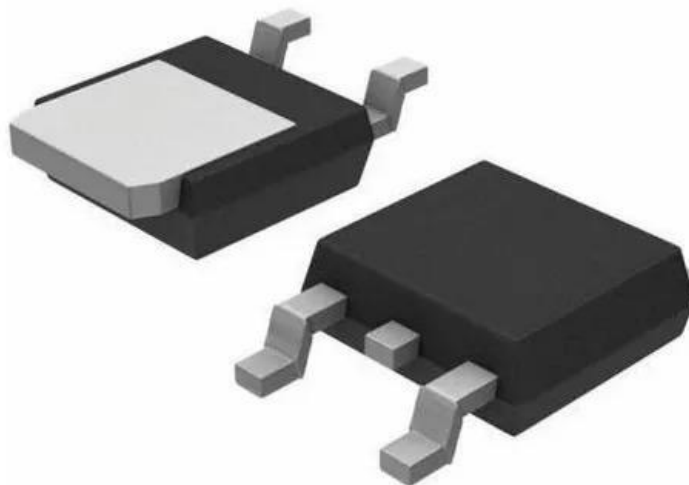


**Figura 07**

### 5.1.7 – IGBT

Traduzindo, Transistor Bipolar de Porta Isolado. O IGBT é um semicondutor de potência que junta o chaveamento dos transistores bipolares com a impedância dos MOSFETS.

. O IGBT destaca-se por possuir alta eficiência e rápido chaveamento.



**Figura 08**

### 5.1.8 – DRIVE DE DISPARO DO IGBT

É um dispositivo que faz o chaveamento dos IGBT's com as fases defasadas em 120° (graus) que geram a saída para o motor. Além disso, protege de curto circuitos, sobrecorrente, e subtensão.

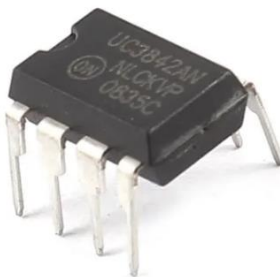


**Figura 09**

### 5.1.9 – CONTROLADOR PWM

A sigla PWM (Pulse Width Modulation) significa Modulação por Largura de Pulso. A técnica PWM consegue substituir outras técnicas de controle de potência, como a técnica on off.

Basicamente, com base na frequência que o circuito manda sinal positivo e negativo (digital), ele será lido como uma tensão variante, assim podendo ser interpretado como tensão analógica, mas na realidade continua sendo um sinal digital.



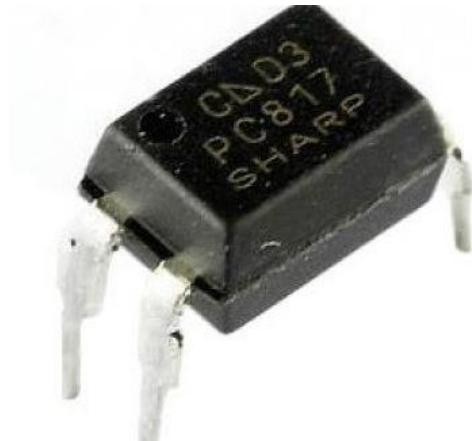
**Figura 10**



#### 5.1.10 – OPTACOPLADOR

Optoacoplador é um componente capaz de fazer o isolamento de algumas partes do circuito, por necessitar de baixa potência de operação, ser muito mais rápido, aprova de interferência.

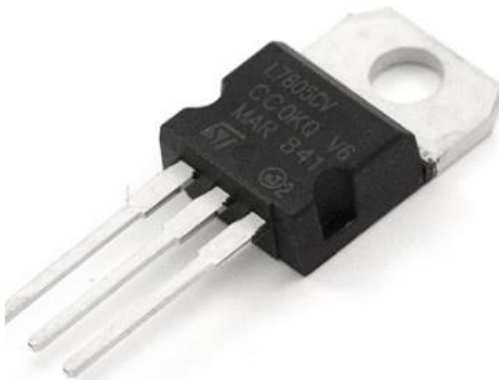
uma grande vantagem é que a sua entrada é isolada da sua saída, assim uma possível sobrecarga pode não passar por ele, fazendo assim um circuito mais seguro.



**Figura 11**

#### 5.1.11 – REGULADOR DE TENSÃO

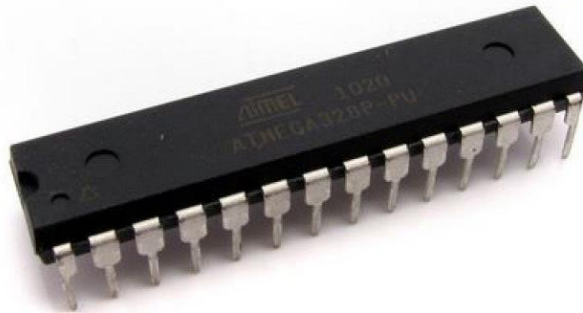
Um regulador de tensão tem um nome autoexplicativo, ele é feito de dispositivos semicondutores, como diodos e CI's, tem como a função de manutenção da tensão de um circuito elétrico.



**Figura 12**

### 5.1.12 – MICROCONTROLADOR

Os microcontroladores são “minicomputadores” que podem ser programados com várias linguagens de programação. Na maioria das vezes usados para tarefas específicas, ou como placas para ser a placa mãe de circuitos. Em seu interior encontra um processador e uma base de memória para armazenar os seus comandos. Além de entradas e saídas de sinais.



**Figura 13**

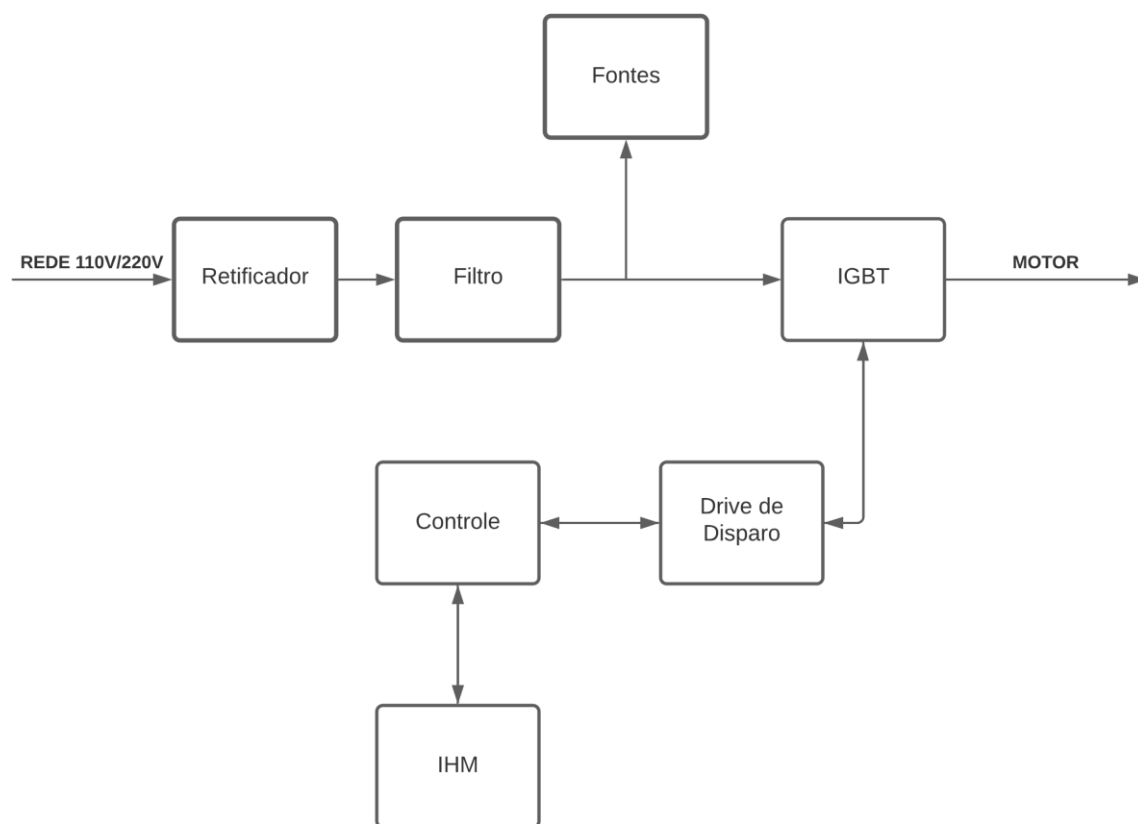
### 5.1.13 – CRISTAL OSCILADOR

O cristal Oscilador é um componente responsável para mandar uma sincronia de tempo extremamente preciso para o microcontrolador, indispensável a ser utilizado com ATMEga ou PIC.



**Figura 14**

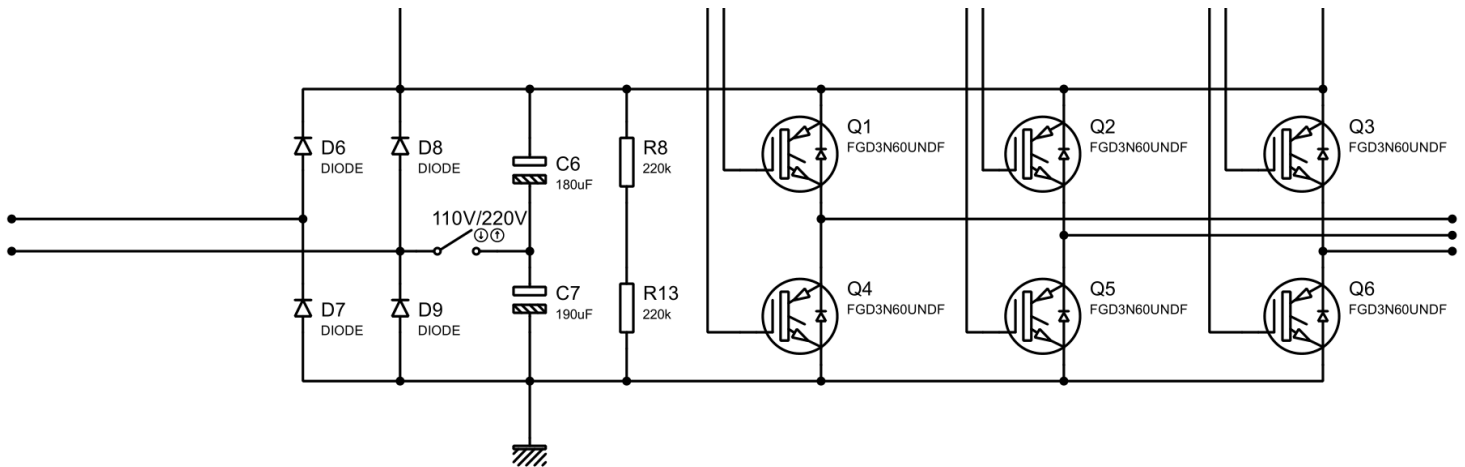
## 5.2 – DIAGRAMA DE BLOCOS



**Figura 15**

## 5.3 – DIAGRAMA DO PROJETO

### 5.3.1 – POTÊNCIA



**Figura 16**

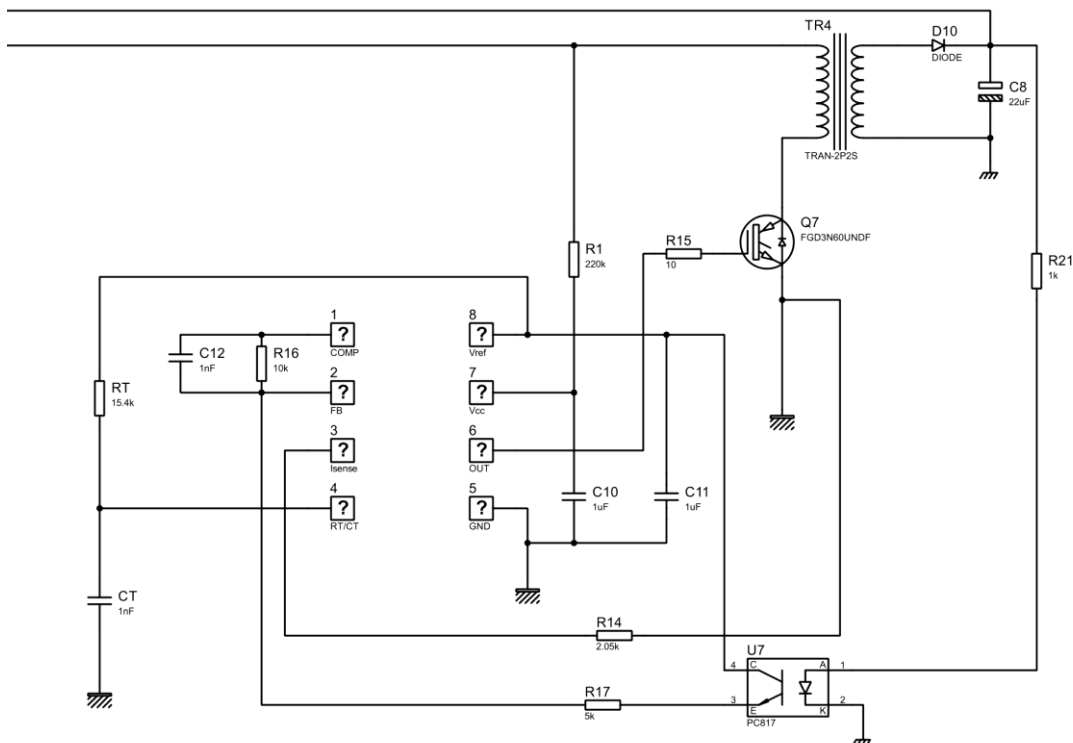
Nesta parte do circuito, consta a entrada de energia da rede para o circuito e o seu processo de retificação. Há de se ver uma ponte de diodos, um par de capacitores e de resistores, onde estão sendo usados para transformar a corrente alternada da entrada em corrente contínua e sem variações expressivas, é necessário retificar a entrada pois os IGBT's trabalham em corrente contínua.

Estes IGBT's são responsáveis por mandar energia para o motor, que é de corrente alternada, então, é com base nestes IGBT's que podemos variar a velocidade do motor, pois quando a energia passar pelos IGBT's, o sinal antes contínuo passara a ser alternado novamente, porém, conforme a velocidade de disparo dos IGBT's, pode variar a frequência da tensão e assim variar a velocidade do motor.

Podemos ver cada IGBT com suas respectivas entradas, é muito importante ressaltar que os IGBT's Q12, Q14 e Q16 estarão com tensão positiva em relação ao drive de disparo, e os demais (Q13, Q15 e Q17) estão com tensão negativa em relação ao drive de disparo.



### 5.3.3 – FONTES



**Figura 18**

Nesta parte do circuito há o controle das fontes. Existem 8 pinos, sendo eles:

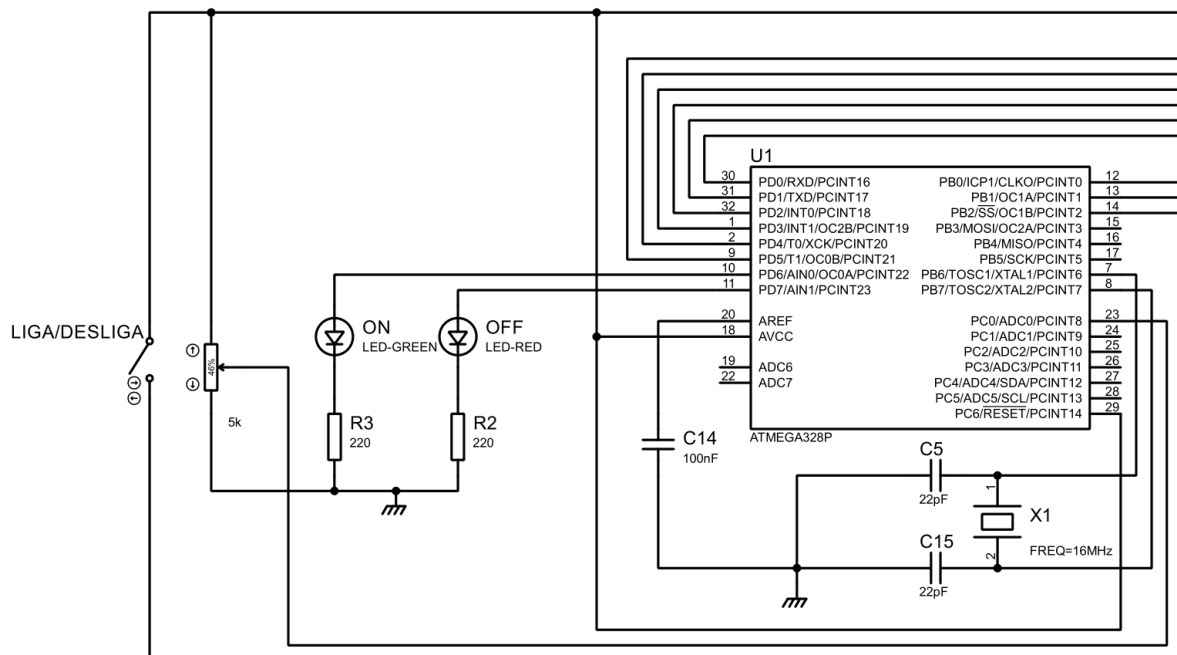
- Pinos VCC e GND: Pinos de alimentação;
- Pino Vref: Obtém a tensão de referência gerada pelo CI;
- Pino COMP: O pino de referência do feedback;
- Pino FB (feedback): O pino que gera as fontes e deve estar sempre ligado, pois caso ele esteja desligado, o CI deve desligar;
- Pino INSENSE: Pino de corrente;
- Pino RC/CT: Pino de controle de resistência e capacitância, onde controla-se a frequência que vai ao IGBT;
- Pino OUTPUT: Pino de saída que gera onda quadrada;

Existe um regulador de tensão para a alimentação do microcontrolador. O transformador está ligado no barramento positivo e no terra do circuito, passando pelo IGBT pois a corrente continua do transformador precisa ser transformada em alternada.

Há um resistor de 220K puxado diretamente do barramento positivo, que segura a tensão para que não sobrecarregue o CI, e um capacitor paralelo com a fonte para a potencialização do terra. O optoacoplado é ligado no pino feedback, para que o

O optoacoplado é um componente eletrônico capaz de fazer o isolamento de algumas partes do circuito, e serve para verificar o que ocorre. Ele é ligado na fonte de 5 volts (Vref), e consequentemente sempre está fornecendo feedback para o CI. Quando ocorre algum problema no circuito, a entrada deixa de ser 5 volts e não aciona o foto transistor, logo, corta a alimentação que vai ao pino de feedback e o gerador de PWM para de funcionar.

### 5.3.4 – COMANDO



**Figura 19**

Nesta etapa do circuito, está localizado o microcontrolador do projeto, graças a este componente e a programação que foi aferida, é possível controlar os disparos dos IGBT's.

Foi integrado um cristal no microcontrolador (X1), esse componente é utilizado como um oscilador extremamente preciso, para que o microcontrolador tenha um temporizador, muito comum em circuitos que usam o ATMEGA328P.

Para variar a frequência do projeto, foi utilizado um potenciômetro, uma opção segura e bem resistente, como o foco é de pessoas sem experiencia, um modelo que usa um controle simples como esse é excelente. Também foi utilizado dois LEDs, que mostram o status do projeto, nas cores verde (ligado), e vermelho (desligado).

### 5.3.5 – DIAGRAMA COMPLETO

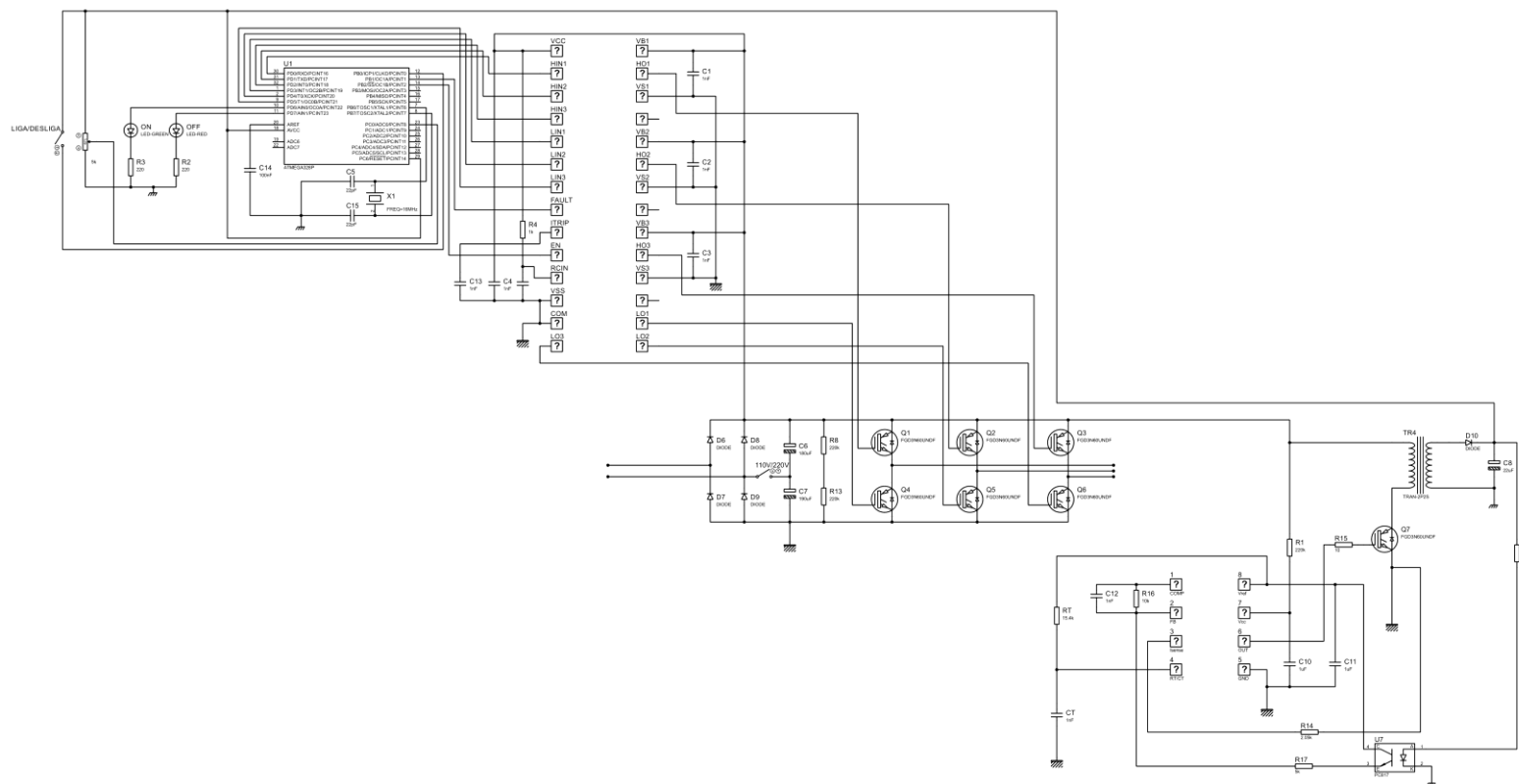


Figura 20



## 5.4 – PROGRAMAÇÃO

### 5.4.1 – CÓDIGO

```
#define g1 0
#define g2 1
#define g3 2
#define g4 3
#define g5 4
#define g6 5
#define chave 8
#define pot A0
#define ledON 6
#define ledOFF 7
#define falha 9
#define EN 10

int vel;

void setup()
{
  pinMode(g1, OUTPUT);
  pinMode(g2, OUTPUT);
  pinMode(g3, OUTPUT);
  pinMode(g4, OUTPUT);
  pinMode(g5, OUTPUT);
  pinMode(g6, OUTPUT);
  pinMode(chave, INPUT);
  pinMode(ledON, OUTPUT);
  pinMode(ledOFF, OUTPUT);
  pinMode(falha, INPUT);
  pinMode(EN, OUTPUT);
}

void loop()
{
  if (chave == 0 || falha == 0)
  {
    digitalWrite(EN, LOW);
    digitalWrite(ledOFF, HIGH);
    digitalWrite(ledON, LOW);
  }

  if (chave == 1 && falha == 1)
  {
    digitalWrite(EN, HIGH);
    digitalWrite(ledON, HIGH);
  }
}
```

```

digitalWrite(ledOFF, LOW);

vel = map(pot, 0, 1023, 400, 1);

digitalWrite(g1, HIGH);
digitalWrite(g2, HIGH);
digitalWrite(g3, HIGH);
digitalWrite(g6, LOW);
delayMicroseconds(416 * vel);
digitalWrite(g1, LOW);
digitalWrite(g4, HIGH);
delayMicroseconds(416 * vel);
digitalWrite(g2, LOW);
digitalWrite(g5, HIGH);
delayMicroseconds(416 * vel);
digitalWrite(g3, LOW);
digitalWrite(g6, HIGH);
delayMicroseconds(416 * vel);
digitalWrite(g4, LOW);
digitalWrite(g1, HIGH);
delayMicroseconds(416 * vel);
digitalWrite(g5, LOW);
digitalWrite(g2, HIGH);
delayMicroseconds(416 * vel);

// 1/400 = 0,0025/6 = 0,000416

}
}

```

#### 5.4.2 – TABELA DE ATIVAÇÃO DOS IGBT's

| 1º tempo   | 2º tempo   | 3º tempo   | 4º tempo   | 5º tempo   | 6º tempo   |
|--|--|--|--|--|--|
| T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> | T <sub>2</sub> , T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> | T <sub>3</sub> , T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> | T <sub>4</sub> , T <sub>5</sub> , T <sub>6</sub> | T <sub>5</sub> , T <sub>6</sub> , T <sub>1</sub> | T <sub>6</sub> , T <sub>1</sub> , T <sub>2</sub> |

## 5.5 – TABELA DE COMPONENTES E RELAÇÃO DE PREÇOS

| Componentes              | Modelo         | Valor nominal  | Quantidade | Preço      |
|--------------------------|----------------|----------------|------------|------------|
| IGBT                     | FGD3N60UNDF    |                | 7          | R\$ 30,00  |
| Controlador PWM          | UC3842A        |                | 1          | R\$ 4,00   |
| Microcontrolador         | ATmega328P     |                | 1          | R\$ 25,00  |
| Optoacoplador            | PC817          |                | 1          | R\$ 0,50   |
| Drive de disparo do IGBT | 6ED003L06-F    |                | 1          | R\$ 22,00  |
| LED                      | Verde          |                | 1          | R\$ 0,30   |
| LED                      | Vermelho       |                | 1          | R\$ 0,30   |
| Potenciômetro            | Logaritmo      | 5K $\Omega$    | 1          | R\$ 2,10   |
| Cristal                  | ART423         | 16Mhz          | 1          | R\$ 2,50   |
| Capacitor                | Eletrolítico   | 22uF           | 1          | R\$ 1,50   |
| Capacitor                | SMD            | 22pF           | 2          | R\$ 0,20   |
| Capacitor                | SMD            | 1uF            | 6          | R\$ 0,60   |
| Capacitor                | Eletrolítico   | 180uF          | 2          | R\$ 12,00  |
| Capacitor                | SMD            | 1nF            | 2          | R\$ 0,10   |
| Chave                    | Gangorra       |                | 2          | R\$ 2,10   |
| Transformador            | C/ center tape | 220/5Vca       | 1          | R\$ 20,00  |
| Diodo Retificador        | 1N4007         |                | 5          | R\$ 0,50   |
| Resistor                 | 5W             | 220K $\Omega$  | 3          | R\$ 4,50   |
| Resistor                 | 1/4W           | 15.4K $\Omega$ | 1          | R\$ 0,05   |
| Resistor                 | 1/4W           | 10K $\Omega$   | 1          | R\$ 0,05   |
| Resistor                 | 1/4W           | 10 $\Omega$    | 1          | R\$ 0,05   |
| Resistor                 | 1/4W           | 220 $\Omega$   | 2          | R\$ 0,10   |
| Resistor                 | 1/4W           | 1K $\Omega$    | 1          | R\$ 0,05   |
| Resistor                 | 1/4W           | 2,05K $\Omega$ | 1          | R\$ 0,05   |
| Resistor                 | 1/4W           | 5K $\Omega$    | 1          | R\$ 0,05   |
| Total                    |                |                |            | R\$ 128,60 |

## 5.6 – CUSTO FINAL DO PROJETO

|                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| Horas                         | 4 horas           |
| Mão de obra (cada integrante) | R\$ 15,00         |
| Mão de obra total             | R\$ 180,00        |
| Componentes                   | R\$ 128,60        |
| Valor final                   | <b>R\$ 308,60</b> |

## 6 – CONCLUSÃO

Com base em todo o projeto, o grupo concluiu que a ideia do projeto teve êxito, pois foi desenvolvido um projeto mais simples, compacto e de baixo custo, do jeito que foi destinado a ser projetado.

Ao ser finalizado o Inversor de Frequência Classe R, o grupo pode perceber que a base para um inversor é muito parecida, onde cada marca adiciona o que lhe convém, logo, foi pego o simples e funcional, assim simplificando e barateando o projeto.

Em virtude a situação que foi passado em meio ao desenvolvimento do projeto, o grupo não conseguiu desenvolvê-lo fisicamente, porém a bagagem teórica adquirida no curso de eletrônica na ETEC Júlio de Mesquita, foi possível concluir o projeto do inversor de frequência.

## 7 – REFERÊNCIAS

Livro: Inversores de frequência - Teoria e aplicações

Claiton Moro Franchi

Livro: Conversores e inversores: Fundamentos e aplicações

Marcos Antonio Felizola

<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-inversor-de-frequencia-e-qual-a-sua-aplicacao>

Acesso em: 07 de setembro, 2020;

<https://www.mundodaeletrica.com.br>

Acesso em: 08 de novembro, 2020;

[https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Curva-caracteristica-do-diodo-Fonte-2-Para-boa-parte-dos-diodos-trabalhar\\_fig2\\_309644229](https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Curva-caracteristica-do-diodo-Fonte-2-Para-boa-parte-dos-diodos-trabalhar_fig2_309644229)

Acesso em: 08 de novembro, 2020;

<https://www.tubemaster.com.br/driver-disparo-igbt>

Acesso em: 08 de novembro, 2020;

<https://americaflextec.com/blog/igbt-componente-eletronico/>

Acesso em: 08 de novembro, 2020;

<https://www.baudaeletronica.com.br/optoacoplador-4n25.html#:~:text=Optoacoplador%20%C3%A9%20um%20componente%20eletr%C3%B4nico,lugar%20no%20mercado%20de%20automa%C3%A7%C3%A3o.>

Acesso em: 08 de novembro, 2020;

<http://www.roboliv.re/conteudo/microcontroladores>

Acesso em: 13 de novembro, 2020;

## 8 – ANEXOS

### 8.1 – ANEXO A: IGBT FGD3N60UNDF



April 2013

## FGD3N60UNDF

600 V, 3 A

Short Circuit Rated IGBT

### Features

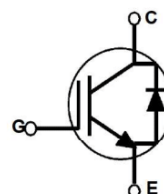
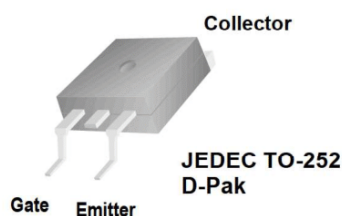
- Short Circuit Rated 10us
- High Current Capability
- High Input Impedance
- Fast Switching
- RoHS Compliant

### Applications

- Sewing Machine, CNC, Home Appliances, Motor Control

### General Description

Using advanced NPT IGBT technology, Fairchild's the NPT IGBTs offer the optimum performance for low-power inverter-driven applications where low-losses and short-circuit ruggedness features are essential.



### Absolute Maximum Ratings

| Symbol      | Description   | Ratings     | Unit             |
|-------------|---|-------------|------------------|
| $V_{CES}$   | Collector to Emitter Voltage  | 600         | V                |
| $V_{GES}$   | Gate to Emitter Voltage   | $\pm 20$    | V                |
| $I_C$       | Collector Current @ $T_C = 25^\circ\text{C}$                            | 6           | A                |
|             | Collector Current @ $T_C = 100^\circ\text{C}$                           | 3           | A                |
| $I_{CM(1)}$ | Pulsed Collector Current @ $T_C = 25^\circ\text{C}$                     | 9           | A                |
| $I_F$       | Diode Forward Current @ $T_C = 25^\circ\text{C}$                        | 3           | A                |
| $P_D$       | Maximum Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$                    | 60          | W                |
|             | Maximum Power Dissipation @ $T_C = 100^\circ\text{C}$                   | 24          | W                |
| $T_J$       | Operating Junction Temperature  | -55 to +150 | $^\circ\text{C}$ |
| $T_{stg}$   | Storage Temperature Range   | -55 to +150 | $^\circ\text{C}$ |
| $T_L$       | Maximum Lead Temp. for soldering Purposes, 1/8" from case for 5 seconds | 300         | $^\circ\text{C}$ |

Notes:

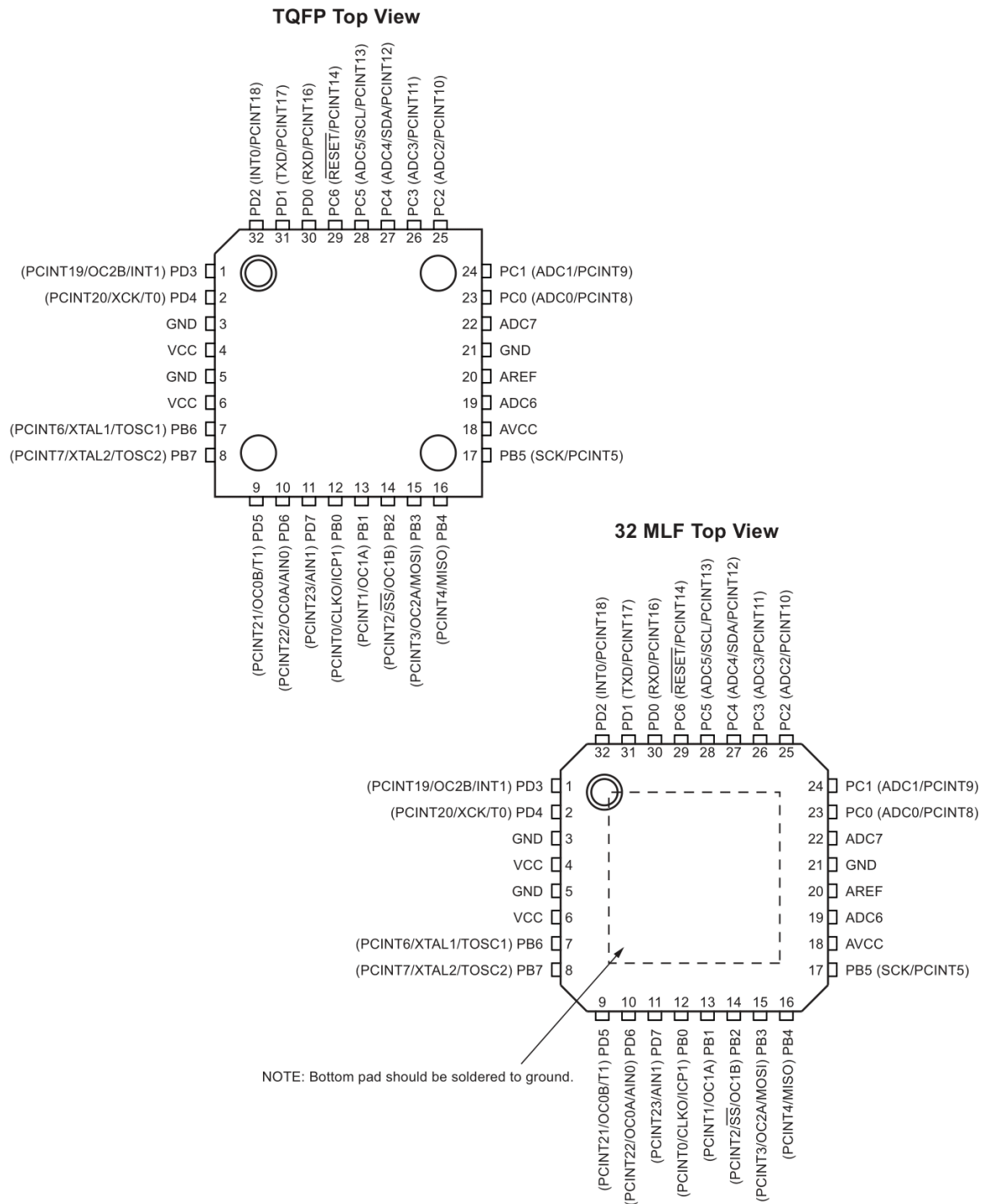
1: Repetitive rating: Pulse width limited by max. junction temperature

### Thermal Characteristics

| Symbol                        | Parameter  | Typ. | Max. | Unit               |
|-------------------------------|--|------|------|--------------------|
| $R_{\theta JC}(\text{IGBT})$  | Thermal Resistance, Junction to Case                   |      | 2.08 | $^\circ\text{C/W}$ |
| $R_{\theta JC}(\text{Diode})$ | Thermal Resistance, Junction to Case                   |      | 5.0  | $^\circ\text{C/W}$ |
| $R_{\theta JA}$               | Thermal Resistance, Junction to Ambient (PCB Mount)(2) |      | 150  | $^\circ\text{C/W}$ |

Fonte: Fairchild Conductor (2013. p.2)

## 8.2 – ANEXO B: Microcontrolador ATmega328P



### 8.3 – ANEXO C: Drive de disparo do IGBT 6ED003L06-F

#### 6ED003-F2 family

200 V & 600 V three-phase driver with Over Current Protection, Enable and Fault



## 2 Lead definitions

Table 2 6ED003-F2 family lead definitions

| Pin no.  | Name      | Function  |
|----------|-----------|---|
| 1        | VCC       | Low side power supply   |
| 2,3,4    | /HIN1,2,3 | High side logic input   |
| 5,6,7    | /LIN1,2,3 | Low side logic input  |
| 8        | /FAULT    | Indicates over-current and under-voltage (negative logic, open-drain output)        |
| 9        | ITRIP     | Analog input for over-current shut down, activates FAULT and RCIN to VSS            |
| 10       | EN        | Enable I/O functionality (positive logic)   |
| 11       | RCIN      | External RC-network to define FAULT clear delay after FAULT-Signal ( $T_{FLTCLR}$ ) |
| 12       | VSS       | Logic ground  |
| 13       | COM       | Low side gate driver reference  |
| 28,24,20 | VB1,2,3   | High side positive power supply   |
| 27,23,19 | HO1,2,3   | High side gate driver output  |
| 26,22,18 | VS1,2,3   | High side negative power supply   |
| 16,15,14 | LO1,2,3   | Low side gate driver output   |
| 21,25    | nc        | Not connected   |

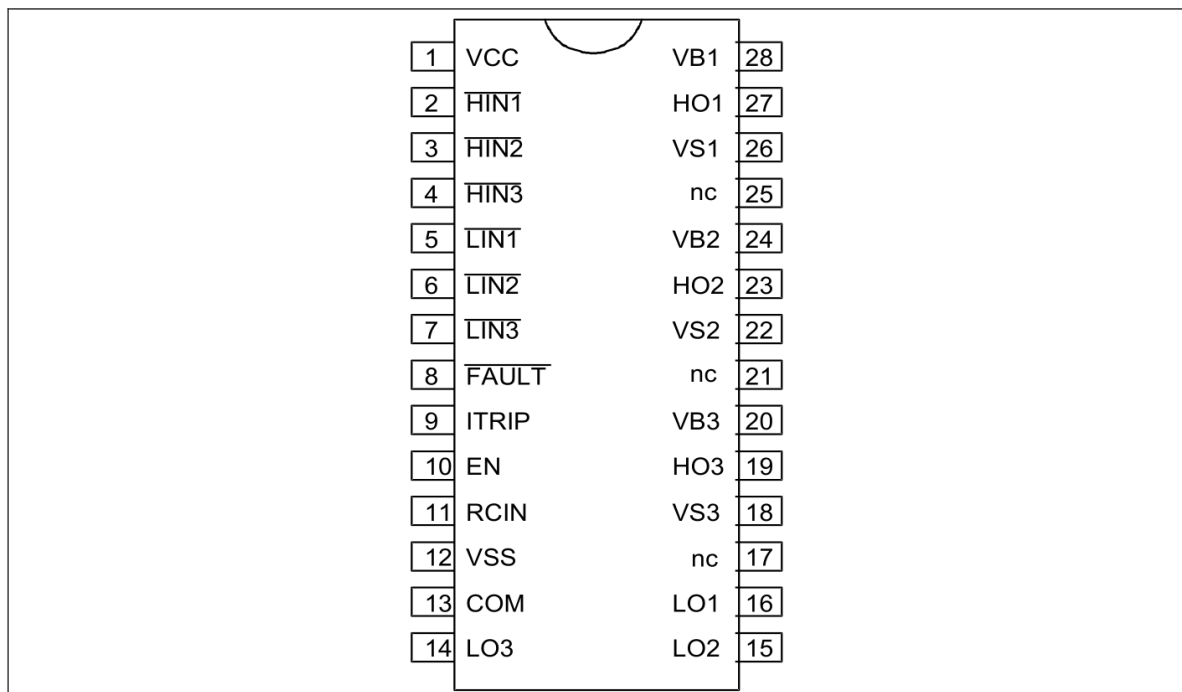


Figure 3 Pin Configuration of 6ED003L06-F2 and 6ED003L02-F2

Fonte: Infineon (2019. p.4)



## 8.4 – ANEXO D: Controlador PWM UC3842A



UC1842, UC2842, UC3842, UC1843, UC2843, UC3843  
UC1844, UC2844, UC3844, UC1845, UC2845, UC3845

www.ti.com

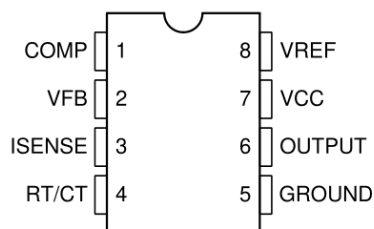
SLUS223F – APRIL 1997 – REVISED APRIL 2020

## 5 Device Comparison Table

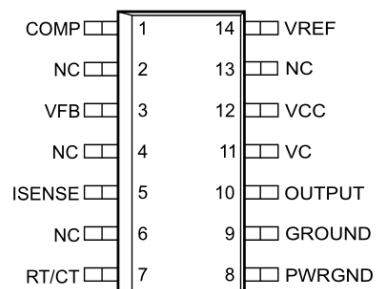
| UVLO   |   | TEMPERATURE RANGE | MAX DUTY CYCLE |
|--|---|-------------------|----------------|
| TURNON AT 16 V<br>TURNOFF AT 10 V<br>SUITABLE FOR OFF-LINE<br>APPLICATIONS | TURNON AT 8.4 V<br>TURNOFF AT 7.6 V<br>SUITABLE FOR DC-DC<br>APPLICATIONS |                   |                |
| UC1842   | UC1843  | –55°C to 125°C    | Up to 100%     |
| UC2842   | UC2843  | –40°C to 85°C     |                |
| UC3842   | UC3843  | 0°C to 70°C       |                |
| UC1844   | UC1845  | –55°C to 125°C    | Up to 50%      |
| UC2844   | UC2845  | –40°C to 85°C     |                |
| UC3844   | UC3845  | 0°C to 70°C       |                |

## 6 Pin Configuration and Functions

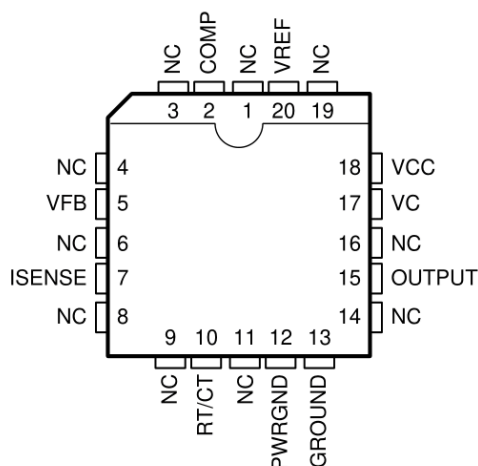
D, JG, and P Packages  
8-Pin SOIC, CDIP, and PDIP  
Top View



D and W Packages  
14-Pin SOIC and CFP  
Top View



FK Package  
20-Pin LCCC  
Top View



Fonte: Texas Instruments (1997. p.3)