

# POWER INVERTERS USING SINUSOIDAL PWM MODULATION TECHNIQUE

**Gustavo Benedetti, Julio C. S. da Silva, Lucas M. Luza, Luiz H. Arpini, Vilson J. Petry Jr., Edson S. Acco**

Universidade de Passo Fundo – UPF  
Curso de Engenharia Elétrica – Passo Fundo - RS  
129591@upf.br, 102072@upf.br

***Abstract.** This paper presents the PWM modulation technique, which is a train of square pulses with varying time width, for use as DC-AC inverter. The DC-AC inverter switched mode is widely used in AC motors, to produce a sine wave amplitude and frequency variants. The advantage of using this modulation is the reduced number of harmonics produced, which generate heat in rotating machinery and electrical losses. To generate PWM signals, two different approaches were used, the first one consists of generating two triangular and sine waves with low amplitude, which are compared to generate the PWM pulse train. The second approach is to use a microcontroller system, which generates the PWM pulses from a code using C programming language. After the stages of generating pulses, those pulses trigger power switches to generate higher voltage. This last stage is responsible to generate a modulated output for the extraction of the sine wave. The use of a passive filter is able to extract the sine wave in the output.*

**Palavras-chave:** Modulation, PWM, Inverter.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda de máquinas elétricas no mercado, o uso de inversores

CC-CA tem sido fundamental para as mais diversas aplicações. Assim, o estudo de técnicas para aplicação nos inversores é de vital importância para obter melhores resultados, como maior eficiência e melhor precisão.

Nesse contexto, a técnica de modulação PWM é de fácil aplicação e de bons resultados. Tal técnica permite obter uma onda senoidal de frequência desejada, com reduzido número de componentes quando comparada com inversores de onda quadrada.

Uma possibilidade de obter esta modulação PWM é com a utilização de um sinal de baixa amplitude tipo senoidal, o qual será o sinal de referência da modulação. Com isso, o sinal de referência é comparado com um sinal triangular de alta frequência, denominado portadora. A partir desta comparação, geram-se os pulsos necessários para o acionamento das chaves da ponte completa, gerando o *duty-cycle* e frequência desejadas.

Outra possibilidade é a utilização de um sistema microcontrolado, capaz de gerar os pulsos de acordo com os tempos de duração necessários para a aplicação e assim, acionar as chaves de potência.

## 2. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

O projeto é composto por duas montagens distintas, cada uma abordando

uma maneira diferente para obter um inversor CC-CA monofásico.

## 2.1 Inversor CC-CA utilizando modulação PWM com portadora

Primeiramente, foi necessário gerar a modulação PWM. A modulação é feita a partir da comparação de dois sinais. Um sinal senoidal de frequência referente a solicitada da carga, e um sinal triangular com frequência 30 vezes maior que a do sinal senoidal, garantindo um sinal muito modulado, como sugere Mohan *et. al.* [1] em seu livro. Para o projeto, foi utilizado o circuito integrado (CI) ICL8038, o qual é um gerador de sinais em que se pode obter sinais senoidais, quadrados e triangulares. Tal CI tem seu ajuste de frequência determinado por um capacitor e uma configuração de resistores. A Figura 1 representa a configuração utilizada para a obtenção de um sinal senoidal com frequência de 100 Hz.

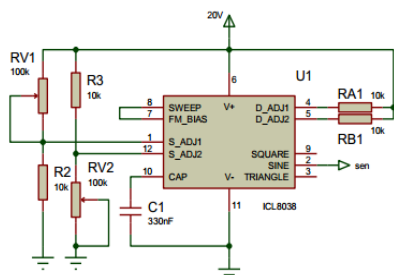


Figura 1: Circuito para sinal senoidal

Adotando os valores de  $RA1 = RB1 = 10 \text{ k}\Omega$ , o cálculo de frequência é dado pela Eq. (1):

$$f = 0,33 / (R * C) \quad (1)$$

Assim, obteve-se o valor de C igual à 330 nF.

Para a geração da onda triangular, utilizou-se o mesmo circuito integrado alterando alguns componentes necessários, já que tal CI também possibilita a geração de tal.

Logo após a geração dos dois sinais, foi feita a comparação com um amplificador operacional. Utilizou-se o CI LM318, o qual possui um bom slew rate para gerar uma resposta rápida ao sistema. A Figura 2 ilustra o circuito comparador.

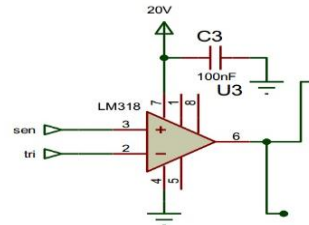


Figura 2: Circuito comparador

Assim, obtiveram-se as seguintes formas de onda senoidal, triangular e PWM para o circuito de acionamento, conforme a Figura 3.

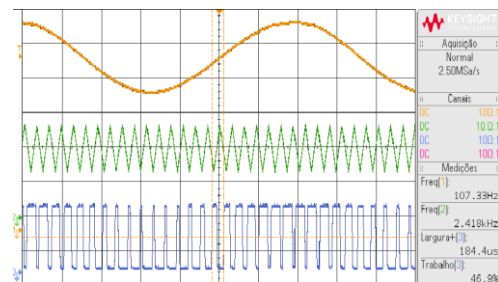


Figura 3: Formas de onda geradas.

Com a geração do primeiro sinal PWM, foi necessário também obter uma saída PWM inversa da anterior. Foi utilizado um transistor mosfet IRF620 para inverter o sinal.

Após este estágio, foram utilizados circuitos de *gate drivers* IR2184 os quais são circuitos de interface entre o circuito de controle e o circuito de potência, cujas funções são: amplificar os níveis de corrente e tensão para acionar as chaves de saída. Além disso, realizam a proteção das mesmas e garantem um tempo morto necessário para evitar possíveis curtos-circuitos entre as chaves de saída de um mesmo.

As chaves de saída se encontram na configuração do tipo completa, a qual conta com 4 transistores mosfet de potência, IRF620.

Para extrair a onda de saída senoidal desejada, foi implementado um filtro do tipo passa-baixa passivo capaz de atenuar as frequências harmônicas de ordem superior, garantindo maior qualidade para o sinal gerado. A Figura 4 ilustra o estágio final do projeto.

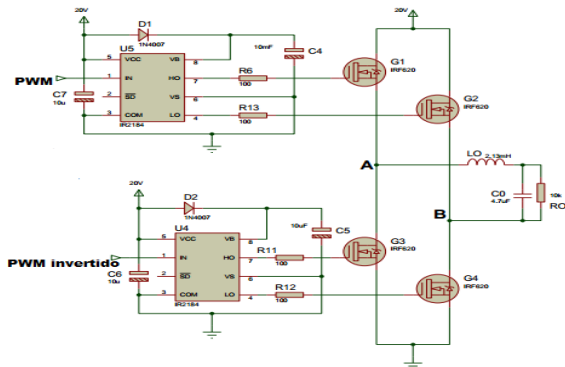


Figura 4: Acionamento das chaves e filtro

Assim, obteve-se a seguinte onda senoidal da Figura 5.

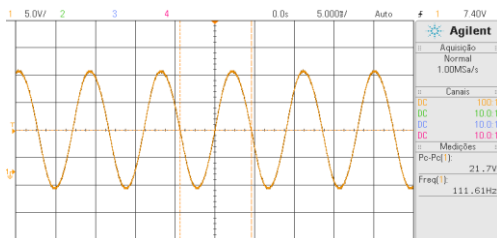


Figura 5: Forma de onda da saída

Após as medições necessárias, obteve-se uma onda com frequência de 100 Hz e tensão de 20 Vpp, aproximadamente. Para este experimento, foi confeccionada uma placa de circuito impresso, conforme a Figura 6.

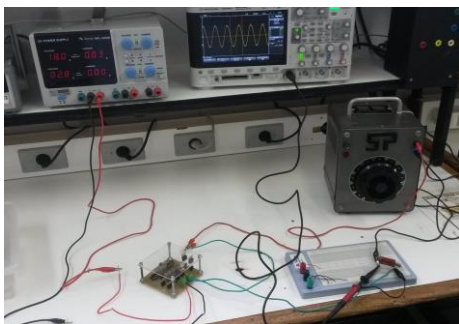


Figura 6: Montagem final do circuito.

## 2.2 Inversor CC-CA utilizando sistema microcontrolado

Esta técnica utiliza um microcontrolador PIC16F887 para gerar os sinais de PWM. A implementação dos pulsos foi feita através de um software escrito em linguagem C, capaz de gerar duas saídas moduladas com pulsos inversos.

A implementação do firmware foi feita a partir da simulação das ondas senoidal e triangular, com o auxílio do software PSIM, conforme a Figura 7.

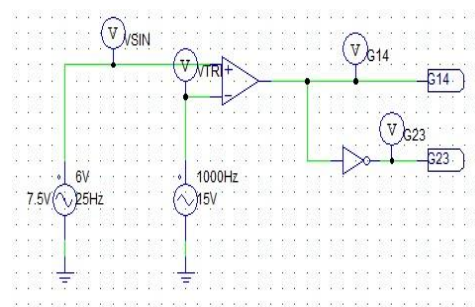


Figura 7: Circuito PSIM

Assim, com as ondas quadradas geradas na simulação, utilizou-se a função em C *delay\_us* para simular tais ondas no microcontrolador. Com essa implementação, reduz-se consideravelmente o número de componentes eletrônicos utilizados e obtém-se resultados similares à abordagem anterior. A Figura 8 apresenta a forma de onda gerada pelo microcontrolador.

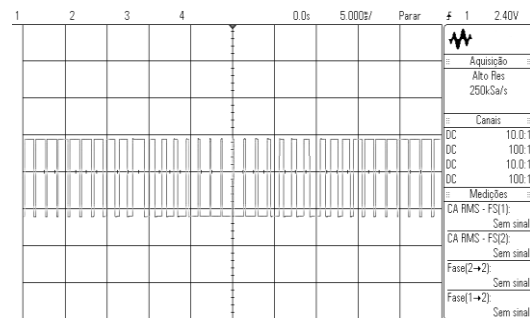


Figura 8: Saída PWM do microcontrolador

Para o circuito de *gate drivers* e acionamento das chaves em ponte completa, foi utilizado um circuito muito semelhante

ao da abordagem anterior, conforme a Figura 9.

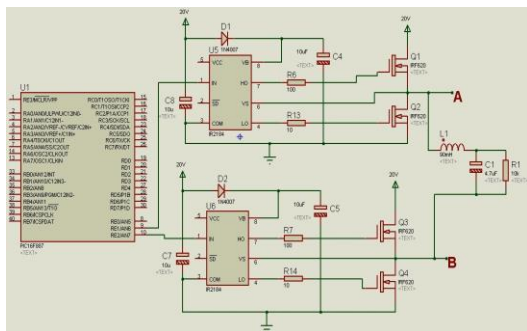


Figura 9: Inversor utilizando PIC16F887

Com isso, obteve-se a forma de onda da Figura 10, com tensão de 40 Vpp.

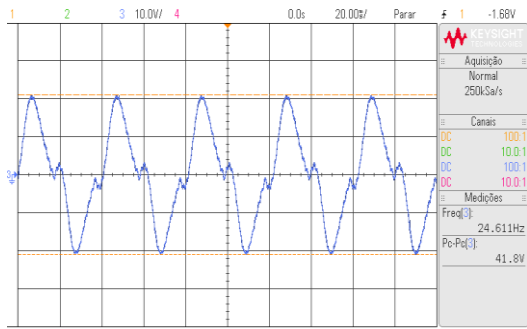


Figura 10: Forma de onda de saída

Como foi citado anteriormente, uma característica importante deste circuito é o reduzido número de componentes harmônicos quando comparado com um inversor de onda quadrada. A Figura 11 ilustra os harmônicos desta abordagem.

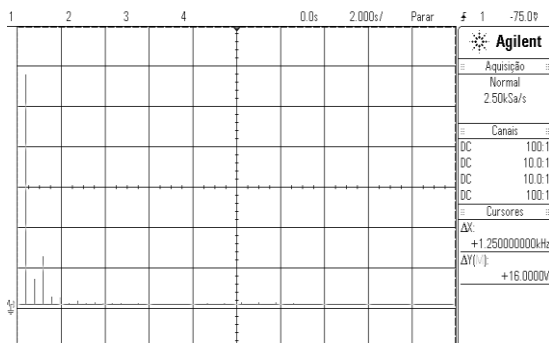


Figura 11: FFT do sinal

Este experimento foi montado em *protoboard* e após foi confeccionada uma placa de circuito impresso, conforme a Figura 12.

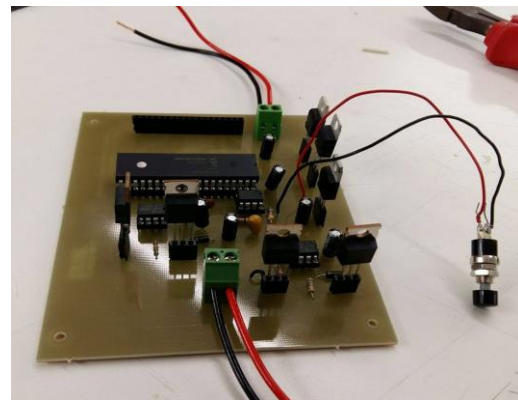


Figura 12: Montagem final do circuito

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho são apresentadas duas abordagens para implementação de inversores com modulação PWM senoidal.

Com os resultados obtidos através das duas abordagens discutidas neste projeto, pode-se constatar que ambos os circuitos têm possibilidades reais de aplicação. De acordo com as referências tomadas como base, as diferentes modulações realizadas corresponderam bem às expectativas iniciais deste projeto.

Após os pulsos gerados pela ponte completa e com o auxílio de um filtro passa-baixa passivo, foi possível obter uma onda de saída com poucas distorções causadas por harmônicas de ordem superior. Assim, garantiu-se um sinal de saída satisfatório para um experimento didático.

### REFERÊNCIAS

[1] Mohan *et. al.*, *Electrónica de Potencia: Convertidores, aplicaciones y diseño*, Mc Graw Hill, México D.F.: 2009, p. 176.