



Inversor de tensão microcontrolado para aplicação em alimentação de cargas em sistemas de captação de energia solar

Amiron Wolff dos Santos Serra¹, Jéssica Almeida dos Santos², Washington Luís Santos Silva³, Lucilene Ferreira Mouzinho⁴,

¹Graduando em Engenharia Elétrica Industrial – IFMA. Bolsista da FAPEMA. e-mail: wolffnfs@hotmail.com

²Graduando em Engenharia Elétrica Industrial – IFMA. Bolsista da FAPEMA. e-mail: jessica.almeida.santos@hotmail.com

³Doutorando do Programa de Pós-Graduação da UFMA - IFMA. e-mail: washington.wlss@ifma.edu.br

⁴Doutora em Engenharia Elétrica – IFMA. e-mail: mouzinho@ifma.edu.br

Resumo: Este trabalho tem por finalidade o desenvolvimento de um circuito inversor de tensão monofásico, para aplicação em alimentação de cargas em sistemas de captação de energia solar. O inversor de tensão foi elaborado utilizando-se um sistema de modulação (PWM) Microcontrolado. Para tanto, utilizou-se o microcontrolador AT89S52 da família 8051 da Atmel, transistores de efeito de campo metal – óxido – semicondutor (MOSFET), resistores, capacitores, transistores de junção bipolar, diodos e cristal. O circuito inversor funciona a partir do disparo do pino ‘gate’ do MOSFET, esse disparo é controlado pelo microcontrolador. Os resultados obtidos serão apresentados neste artigo na forma de gráficos e imagens.

Palavras-chave: energia solar, inversor de tensão, microcontrolador, PWM.

1. INTRODUÇÃO

A Energia Solar é a captação e transformação da energia proveniente do sol (na forma de luz ou calor), em alguma forma utilizável pelo homem, seja diretamente para aquecimento de água ou como energia elétrica ou mecânica. Essa energia (conceituada como radiação solar) é um dos tipos de energias renováveis disponível no planeta. Apenas uma minúscula fração da energia solar disponível é utilizada.

Devido à energia solar ser de fácil obtenção, possui grande potencial para ser explorada, de acordo com um estudo publicado em 2007 pelo Conselho Mundial da Energia (**World Energy Council**), em 2100, 70% da energia consumida será de origem solar (CLARKE, 2007).

Pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina mostraram que, entre 2012 e 2013, algumas regiões do Brasil já poderão ter preços equivalentes de energia fotovoltaica e energia convencional. Os dados são resultado de simulações de cenários para um eventual Programa Solar Brasileiro. As simulações identificam, entre diversos itens, o custo total do programa, o impacto tarifário que terá através da diluição dos custos aos consumidores finais e o momento em que o preço da energia fotovoltaica e da energia convencional será o mesmo para o usuário final (JANNUZZI, 2005).

Os inversores de tensão são conversores estáticos, isto é, não têm partes móveis, destinados a controlar o fluxo de energia elétrica entre uma fonte de tensão contínua e uma carga em corrente alternada monofásica ou polifásica, com controle dos níveis do valor eficaz da tensão e da frequência, dependendo da aplicação (KONISHI, 2008).

A tensão de saída tem uma forma de onda periódica que, embora não-senoidal, pode, com uma boa aproximação, chegar a ser considerada como tal (KIFUNE, 2009).

Há muitos tipos de inversores, classificados de acordo com o número de fases, com a utilização de dispositivos semicondutores de potência, com os princípios de comutação e com as formas de onda de saída. (AHMED, 2000)

Os circuitos inversores são de importantíssima funcionalidade, já que diversos aparelhos presentes no cotidiano da população são alimentados por tensão alternada. Poderia se aproveitar a tensão alternada fornecida pela própria concessionária de energia, no entanto, é um valor fixo de tensão, para aplicações onde se necessita de diferentes valores de tensão e frequência, nada mais adequado do que circuitos inversores, onde se aproveita a tensão contínua fornecida por uma bateria.

Esse modelo acaba se tornando bem mais prático que o fornecido pela concessionária, onde há um processo de produção de energia a partir de usinas hidrelétricas, termelétricas ou nucleares (HART, 2011).

Este trabalho tem por finalidade a elaboração de um circuito inversor de tensão contínua em tensão alternada, monofásico, para aplicação em alimentação de cargas em sistemas de captação de energia solar. O inversor de tensão foi desenvolvido utilizando um sistema microcontrolado por modulação de largura de pulso. Para tanto utilizou-se um microcontrolador, transistores de efeito de campo metal – óxido – semiconductor (MOSFET), resistores, capacitores, transistores de junção bipolar, diodos e cristal. O circuito inversor funciona a partir do disparo do pino ‘gate’ do MOSFET, esse disparo é controlado pelo microcontrolador. Os resultados obtidos serão apresentados neste artigo na forma de gráficos e imagens.

2. LEVANTAMENTOS REALIZADOS

2.1 Inversor

O circuito inversor consiste no esquema da figura 1, onde a partir de uma fonte DC nós conseguimos gerar uma tensão AC que terá por finalidade alimentar cargas. O processo de conversão consiste em dois tempos:

Primeiro tempo- MOSFET’s T1 e T4 ligados, e T3 e T2 desligados. Nesse caso, a corrente circula no sentido de A para B (figura abaixo):

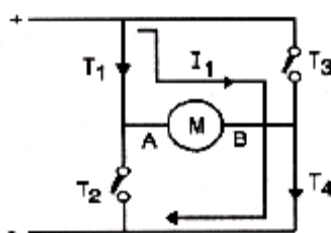


Figura 1 – 1º ciclo de corrente

Segundo tempo- MOSFET’s T1 e T4 desligados, e T3 e T2 ligados. Nesse caso, a corrente circula no sentido de B para A (figura abaixo).

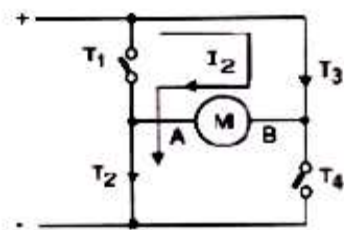


Figura 2 – 2º ciclo de corrente

Ao inverter-se o sentido de corrente, a tensão na carga passa a ser alternada, mesmo estando conectada a uma fonte DC.

2.2 Microcontrolador

Um microcontrolador é um sistema computacional completo, no qual estão incluídos uma CPU (Central Processor Unit), memória de dados e programa, um sistema de clock, portas de I/O (Input/Output), além de outros possíveis periféricos, tais como, módulos de temporização e conversores A/D entre outros, integrados em um mesmo componente. As partes integrantes de qualquer computador, e que também estão presentes, em menor escala, nos microcontroladores são: unidade Central de Processamento (CPU); sistema de clock para dar sequência às atividades da CPU; memória para armazenamento de instruções e para manipulação de dados; entradas para interiorizar na



CPU informações do mundo externo; saídas para exteriorizar informações processadas pela CPU para o mundo externo; programa (firmware) para definir um objetivo ao sistema (MARTINS, 2005).

2.3 PWM

O circuito utiliza modulação por largura de pulso (PWM), em inglês, *pulse-width modulation*. O PWM baseia-se no fato de um sinal periódico permitir que o seu tempo de ligado (*on*) e tempo de desligado (*off*), sejam modificados sem alterar o período (ARRABAÇA, 2011).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

- 1 microcontrolador ATMEL AT89S52
- 4 MOSFET's IRF640
- 1 indutor de 11mH
- 2 transistores BC548
- 4 transistores TIP29
- 4 diodos 1N4007
- 2 LED's verdes
- 1 capacitor eletrolítico 10 μ F/35V
- 1 capacitor cerâmico 10nF, 2 capacitores cerâmicos 33nF
- 1 cristal 12MHz
- 4 resistores 1K Ω 1/4W, 3 resistores 10K Ω 1/4W, 1 resistor 100 Ω /5W
- Compilador PINNACLE 52
- Gravador de AT89S52 – CERNE
- Simulador - PROTEUS
- Fonte regulável de tensão DC
- Osciloscópio digital
- Fios para contato
- Multímetro

3.2 Métodos

Para se chegar à montagem do circuito inversor de tensão foi necessário identificar os pontos principais do mesmo. Que se subdividiu no levantamento bibliográfico, definição dos componentes, elaboração do programa, simulação do circuito e implementação desse no protoboard.

No levantamento bibliográfico foi pesquisada sobre a teoria dos inversores de tensão, tal pesquisa foi feita mediante livros e material da internet, que contribuíram para realização da montagem final.

Posteriormente ao levantamento bibliográfico foi definido o balanço dos componentes a serem utilizados para montagem do circuito, os materiais utilizados foram sendo testados até a conclusão da montagem, onde foram feitas as modificações necessárias para se obter os resultados desejados.

Uma parte muito importante do circuito foi o desenvolvimento do programa que controla o disparo dos MOSFET'S, sendo esse desenvolvido na linguagem de programação ASSEMBLY, que é considerada uma linguagem de baixo nível, diferentemente do C, C++, Pascal, Java, dentre outras. O programa foi feito e compilado no compilador Pinnacle 52, mas foi gravado no microcontrolador utilizando-se o programa de gravação e o gravador da Cerne via porta USB do computador.

O objetivo principal do programa era que a cada intervalo de tempo determinado, um par de MOSFET's disparasse, ou seja, num intervalo de tempo T um par era acionado, no outro intervalo, também T, o outro par era acionado. Vale ressaltar que o PWM é feito também nesse programa, algumas linhas de código fazem o controle do tempo com que o sinal fique em nível lógico alto ou baixo.

Depois do programa feito, foi realizada a simulação do circuito inversor completo com todos os componentes necessários, no programa de simulação de circuitos Proteus.

Mediante a boa execução do circuito virtualmente, chegou-se a hora de implementá-lo fisicamente num protoboard, que é uma matriz de contato para montagem de circuitos eletrônicos. Nele estava presente o circuito com o microcontrolador e com os demais componentes.

Após todas as ligações, o circuito foi posto para execução, e para caráter de visualização dos valores que eram esperados na simulação, foi utilizado um multímetro e um osciloscópio para medições de tensão, corrente e visualização das formas de ondas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo do circuito inversor é que a partir de uma tensão contínua de entrada fosse possível obter um sinal alternado na saída. Com o projeto finalizado foi obtido na saída um sinal alternado de caráter senoidal, que é o fornecido pela concessionária às nossas residências.

Os sinais que se aproximaram mais de uma senóide foram obtidos com frequências entre 12kHz e 15kHz e obtiveram valores de tensão na saída de até 12V, como mostram as figuras 3 e 4, sinais obtidos para frequências de 12.19kHz e 15.15kHz respectivamente.

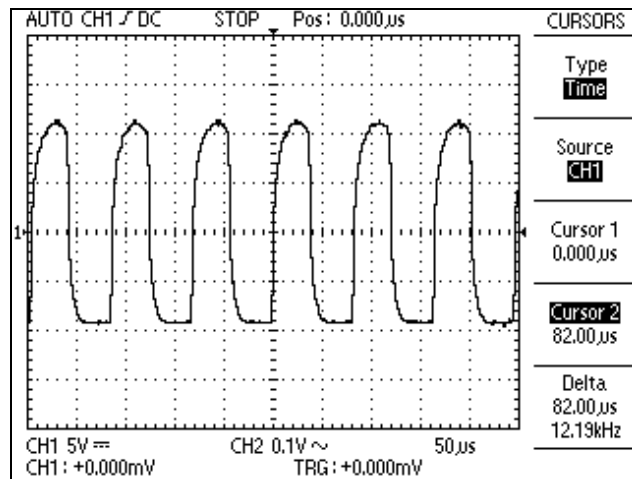


Figura 3 – Sinal de onda AC para frequência de 12.19kHz

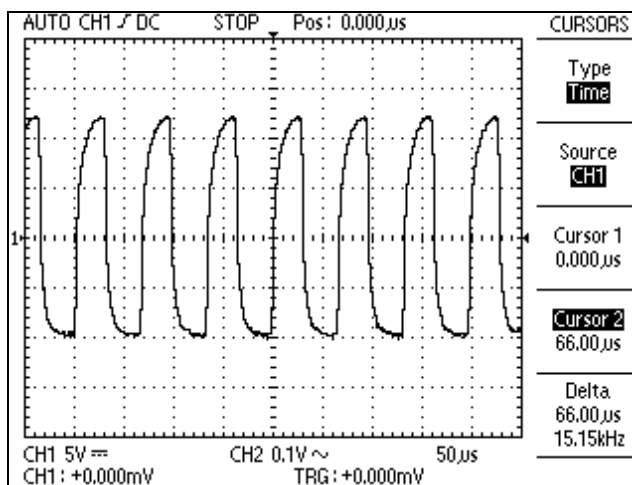


Figura 4 – Sinal de onda AC para frequência de 15.15kHz

Foram feitos testes também para frequências entre 26kHz e 30kHz, nesse segundo intervalo de frequência foram obtidos valores de tensão de até 13.5V, porém o sinal obtido já não se apreça tanto como uma senóide, e sim como um “dente de serra”. Segue a seguir nas figuras 5 e 6 os sinais obtidos para frequências de 26.04kHz e 29.76kHz respectivamente.

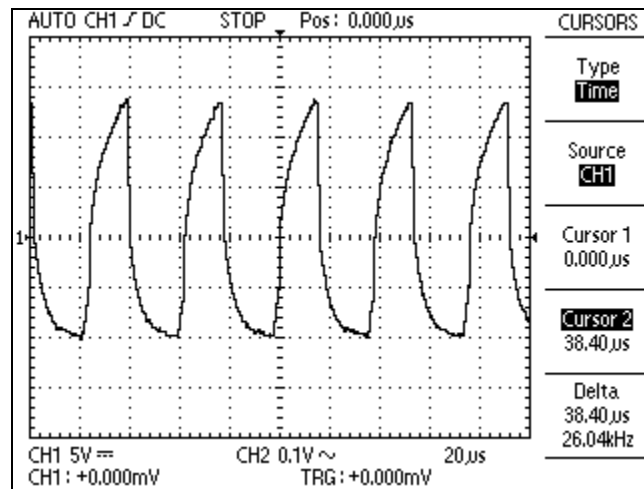


Figura 5 - Sinal de onda AC para frequência de 26.04kHz

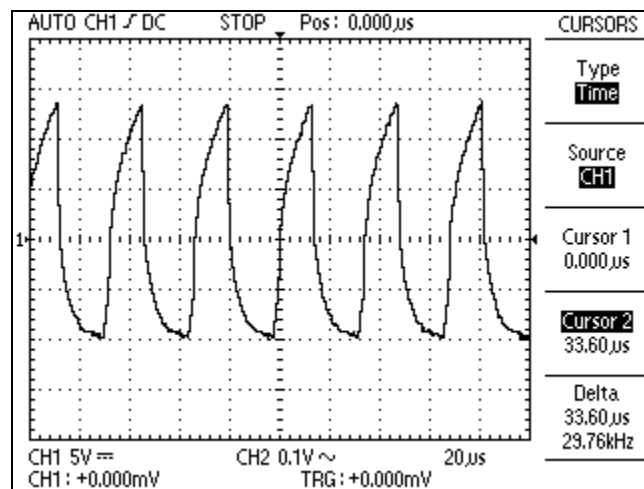


Figura 6 - Sinal de onda AC para frequência de 29.76kHz

Como foi dito no artigo, o circuito usa MOSFET'S para fazer o chaveamento, no entanto, isto pode ser feito também utilizando-se transistores de potência(TIP 29 no caso). Foi feito um gráfico com a utilização desses transistores, e ele é apresentado na figura a seguir:

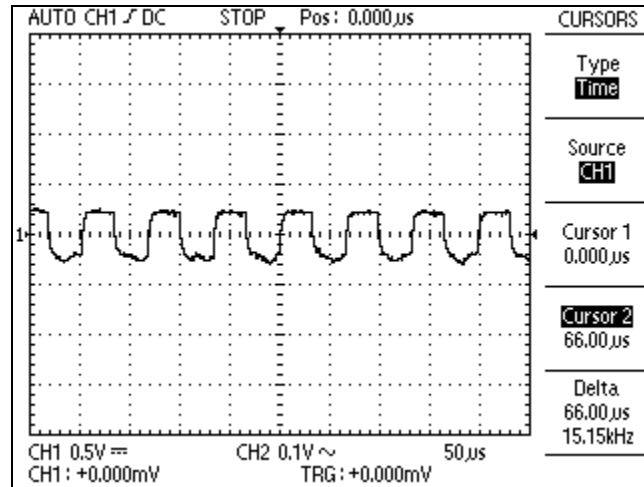


Figura 7 – Sinal de onda AC para frequência de 15.15kHz

A partir da Figura 7 percebe-se que usando esses transistores o rendimento foi extremamente baixo, não foi possível obter nem 0.5V e o sinal apresentado era bastante instável.

Todos os resultados obtidos foram possíveis graças ao circuito inversor, cujo seu esquemático é mostrado na Figura 8 a seguir:

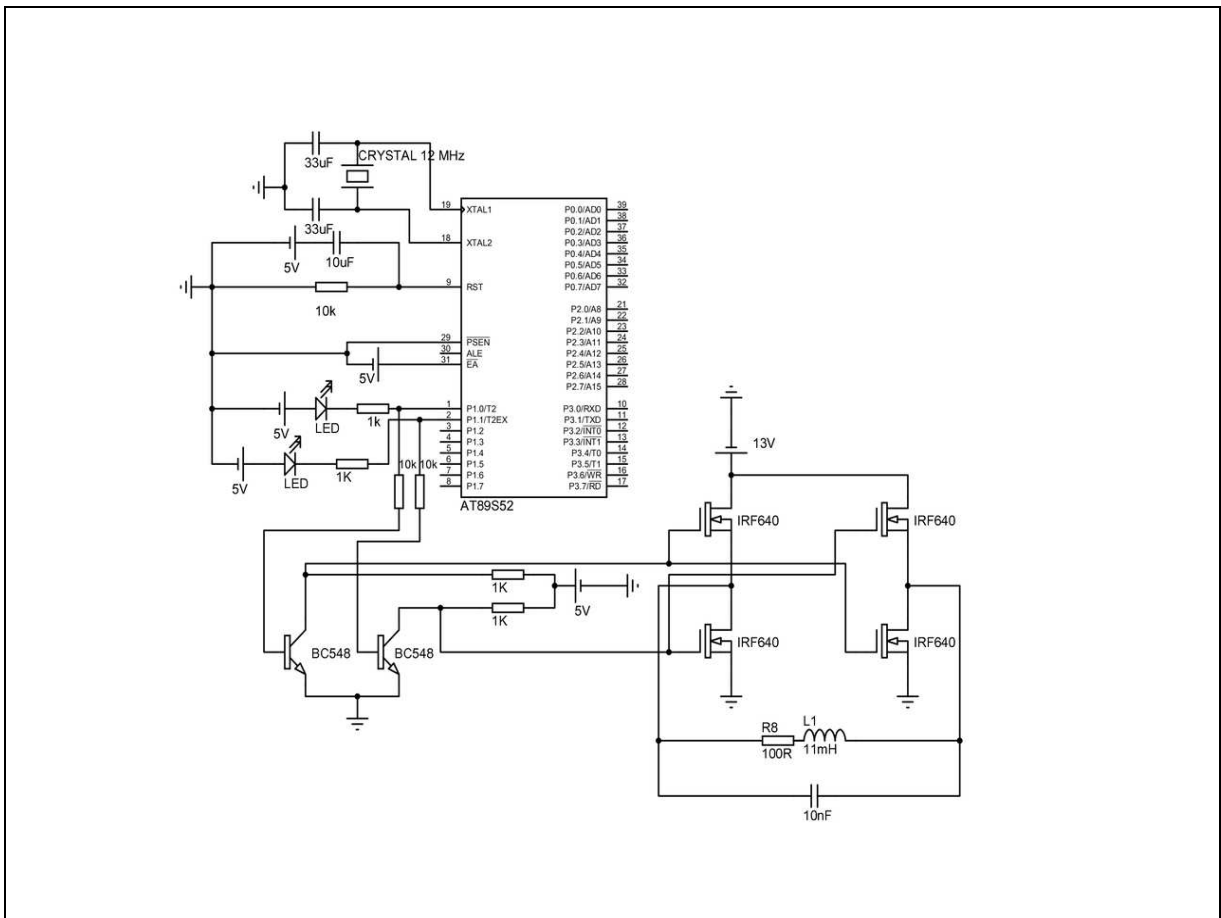


Figura 8 – Circuito esquemático



5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido um inversor de tensão para alimentação de cargas em sistemas de captação de energia solar.

O circuito obteve bons resultados, já que seguiu de forma bem coerente as especificações de potência necessária para acionar uma carga AC. Ainda se faz necessário algumas modificações para melhor a forma de onda final, entretanto observou-se que o valor do indutor influencia diretamente na forma de onda e na potência do sinal de saída.

Observou que os resultados obtidos pelo uso dos MOSFET'S no circuito de chaveamento foram melhores que os resultados alcançados com a utilização de Transistores de Junção Bipolar.

Com o inversor de tensão proposto é possível alimentar motores de baixa potência, lâmpadas de pequeno porte, dentre outros equipamentos.

Para trabalhos futuros pretende-se utilizar componentes de chaveamentos mais rápidos, tais como os IGBTs, alimentar o circuito com fontes CC com entrada multiníveis, além disso, através do uso de indutores adequados pretende-se melhorar a forma de onda AC para uma senoidal pura.

REFERÊNCIAS

AHMED, A. **Eletrônica de Potência**, Editora Prentice Hall, 2000.

ARRABAÇA, A.D., GIMENEZ, S.P., **Eletrônica de Potência: Conversores CA-CC-Teoria, Prática e Simulação**. Editora Érica. São Paulo-SP (2011).

CLARKE, A.W. **World Energy Council**. Disponível em:

http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/default.asp,

Acesso em: 28 jun 2012.

HART, D. W. **Eletrônica de Potência: Análise e Projetos de Circuitos**. McGraw Hill – Artmed. São Paulo-SP (2011)

JANNUZZI, G.D.M. **A energia solar**. Disponível em:

www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/Asfontesalternativasdeenergia-solar.doc:

Acesso em: 3 jul 2012.

KIFUNE, H.; HATANAKA, Y., **Resonant frequency tracking control by using one CT for high frequency inverter**. Power Electronics and Applications, 2009. 13th European Conference on, pp. 1 – 7 (2009)

KONISHI, Y., HUANGONISHI, Y., **High-Frequency Link Single-Phase Grid-Connected Inverter using LCL Resonant Tank for Photovoltaic AC Module**. Industrial Electronics, 2008. IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE. pp. 2184 – 2188 (2008).

MARTINS, N. A., **Sistemas Microcontrolados**. Novatec Editora. São Paulo-SP (2005)