

CONVERSOR CC/CA COM 3 ESTÁGIOS UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA CONTROLAR UM SISTEMA AUTÔNOMO DE IRRIGAÇÃO

ZITO PALHANO DA FONSECA^{1*}, JONATHAN DE MATOS²
ROSANE FALATE³; ARIANGELO HAUER DIAS⁴

¹Me. em Engenharia Elétrica, UEPG, Ponta Grossa-PR, zpfonseca@uepg.br;

²Me. em Ciência da Computação, UEPG, Ponta Grossa-PR, jonathan@uepg.br;

³Dr. em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, UEPG, Ponta Grossa-PR, rfalate@uepg.br;

⁴Dr. em Agronomia (Energia na Agricultura), UEPG, Ponta Grossa-PR, ariangelo@uepg.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

RESUMO: Este trabalho propõe um conversor CC/CA de 3 estágios utilizando painéis fotovoltaicos para alimentar um sistema autônomo de irrigação. O primeiro estágio do conversor CC/CA é composto por um conversor *boost* com comutação suave utilizado para adequar a tensão dos painéis para um sistema de baterias. O segundo estágio se utiliza de um conversor *boost* de alto ganho com comutação suave e tendo como função elevar a tensão de saída. O terceiro estágio é composto por um inversor ponte completa utilizado para entregar energia senoidal para uma bomba de irrigação. O sistema autônomo de irrigação utiliza tecnologia de monitoramento de dados físicos sem fio, também alimentados por painéis fotovoltaicos.

PALAVRAS-CHAVE: Conversor de alto ganho, Sistema de Irrigação, Energia solar, Monitoramento sem fio, Agricultura de Precisão.

DC/AC CONVERTER WITH 3 STAGES USING PHOTOVOLTAIC PANELS TO CONTROL STAND-ALONE IRRIGATION SYSTEM

ABSTRACT: This work proposes a 3-stage DC/AC converter using photovoltaic panels to power an autonomous irrigation system. The first stage of the DC/AC converter consists of a soft switching boost converter used to match the voltage of the panels to a battery system. The second stage uses a high gain boost converter with soft switching and having the function of raising the output voltage. The third stage consists of a complete bridge inverter used to deliver sinusoidal power to an irrigation pump. The autonomous irrigation system utilizes wireless physical data monitoring technology, also powered by photovoltaic panels.

KEYWORDS: High Gain Converter, Irrigation System, Solar Energy, Wireless Monitoring, Precision Agriculture.

INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda global de energia, o aumento na crise do petróleo e preocupação mundial com a poluição ambiental motivou um grande investimento na investigação de energias renováveis. Entre as fontes de energias renováveis, a tecnologia fotovoltaica recebeu investimentos exponenciais, desta forma reduzindo o seu preço consideravelmente. Com a evolução dos painéis fotovoltaicos, houve um amplo desenvolvimento no campo da eletrônica de potência aplicada a sistemas fotovoltaicos. Várias topologias e configurações de sistemas fotovoltaicos foram propostas na literatura.

Atualmente, os sistemas fotovoltaicos são amplamente utilizados em várias áreas e regiões do mundo. No entanto, o preço desta energia ainda não é competitivo no mercado de energia, devido ao seu alto custo em relação a outras fontes de energia, como a hidrelétrica. Por outro lado, na aplicação em áreas isoladas, onde a rede elétrica é difícil de alcançar, o sistema fotovoltaico torna-se a boa

opção. Desta forma um sistema de monitoramento aliado a um sistema utilizando energia fotovoltaica é uma boa alternativa para áreas rurais, onde existe a necessidade irrigação.

Fatores como umidade e temperatura são críticos para o crescimento de certas culturas (Aziz et al., 2010; Lopez, 2012). Este é um dos principais desafios e problemas de culturas em grande escala, não é viável monitorar a extensão da cultura por métodos manuais, e como consequência vastas áreas de cultivo são irrigadas sem necessidade. Utilizando a instrumentação eletrônica para monitoramento, a correção pode ser setorizada, evitando desperdício de recursos (Rani, 2014; Watthanawisuth et al., 2009).

Com a coleta precisa de dados através do sensoriamento remoto poderá ser feita a redução correta do uso de recursos como água e energia, o que irá reduzir os custos de produção da cultura.

Este trabalho propõe um sistema eletrônico de instrumentação eletrônica sem fio, utilizando uma topologia de rede, conversor CC/CA de três estágios para processar a energia de painéis fotovoltaicos de forma mais eficiente, para alimentar um sistema de irrigação e um circuito auxiliar conectado a bateria para alimentar o sistema de monitoramento sem fio e com isso alçando uma vasta área de monitoramento. Resultados são demonstrados para validar o sistema de monitoramento sem fio e alimentação através de energia renovável proposto.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema proposto é formado por um conversor de CC/CA de três estágios para acionar um sistema de irrigação, alimentado com células fotovoltaicas, um sistema de monitoramento de dados sem fio e uma fonte auxiliar para alimentar o sistema de monitoramento. A Fig. 1 apresenta o sistema de monitoramento de dados sem fio utilizando o Xbee para transmissão dos dados, composto por duas estações, a primeira localiza-se no escritório da propriedade (mestre), e a segunda no campo (escravo) coletando os dados através de sensores. A Fig. 2 ilustra o conversor CC/CA de três estágios proposto.

Figura 1. Sistema de monitoramento sem fio.

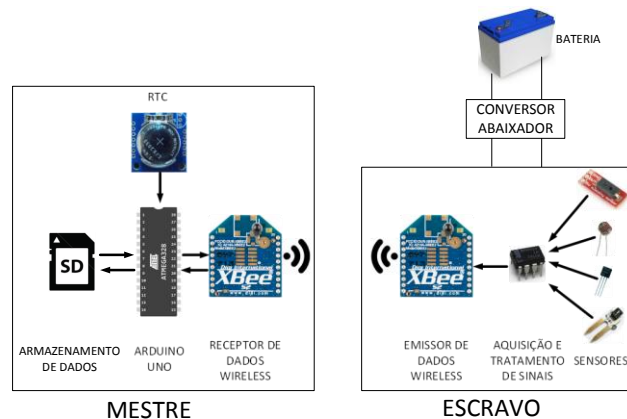
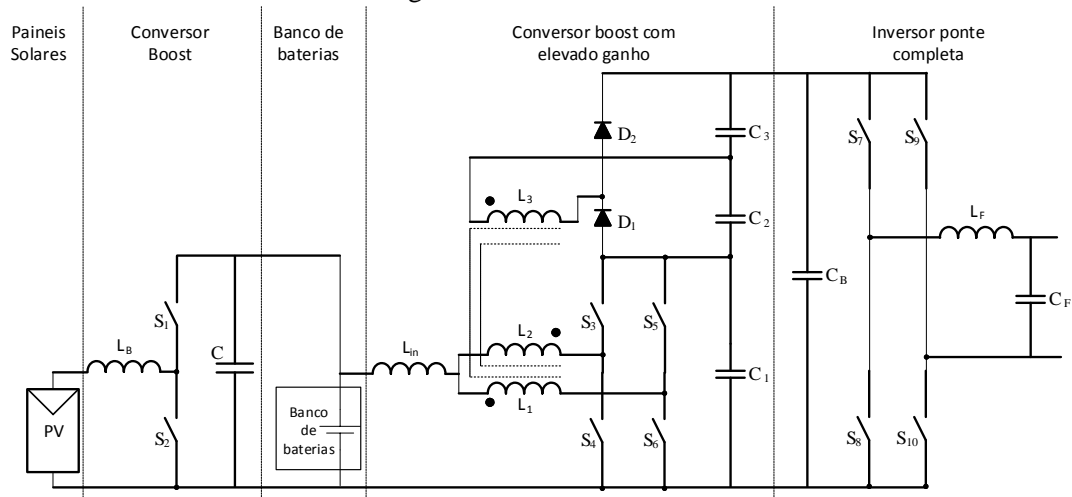
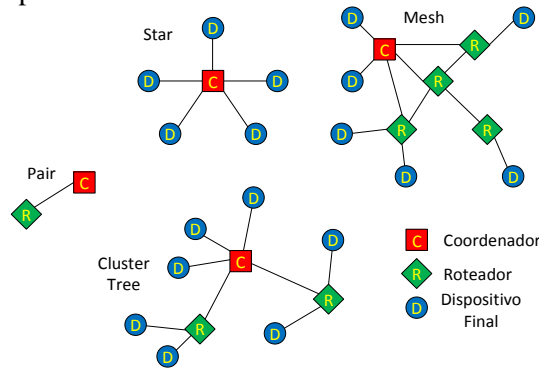


Figura 2. Conversor CC/CA de três estágios.



O Xbee é um módulo para comunicação sem fio, que possibilita transmitir dados de longas a curtas distâncias, variando de acordo com o ambiente em que está inserido, é muito utilizado em técnicas de sensoriamento remoto, neste caso para a coleta de dados de uma área de cultivo, seja ela pequena ou ampla. O Xbee pode ser configurado para varias topologias de rede, como é demonstrado na Fig. 3.

Figura 3. Topologias de rede possíveis com o Xbee.



DESCRIÇÃO DO CONVERSOR CC/CA TRÊS ESTÁGIOS

A Fig. 2 mostra o circuito completo do sistema fotovoltaico autônomo proposto. O primeiro conversor elevador é responsável por carregar as baterias. O segundo estágio é baseado na topologia modificada do conversor *Boost* que emprega uma célula de comutação de três estados (Bascope, 2000). Esta topologia apresenta como vantagem de baixa tensão nos interruptores controlados, que permitem o uso de interruptores de baixa resistência em série, diminuindo as perdas de potência. A terceira etapa, responsável pela conversão CC-CA, é baseada no inversor clássico de ponte completa. O conversor *Boost* de alto ganho e o estágio inversor são comandados a entrarem em operação através da estação mestre.

PRIMEIRO ESTÁGIO

A primeira etapa do processamento de energia é baseada no conversor *boost* clássico. Este conversor é responsável por carregar as baterias. Para melhorar a eficiência deste conversor, foi-lhe adicionado um interruptor eletrônico para substituir o diodo no conversor clássico, desta forma acrescentando capacitores em paralelo aos interruptores é possível obter comutação suave e assim reduzir as perdas por comutação.

Através da equação (1) é possível calcular o valor do indutor L_B .

$$L_B = \frac{V_{IN} D}{\Delta i_{L_{B1}} f_s} \quad (1)$$

Onde: V_{IN} - Tensão dos painéis fotovoltaicos, D - Razão cíclica, $\Delta i_{L_{B1}}$ - Ondulação de corrente em L_B , f_s - frequência de comutação.

Através da equação (2) é possível calcular o valor do capacitor C .

$$C = \frac{I_o D}{f_s \Delta v_{C_o}} \quad (2)$$

Onde: I_o - Corrente de saída do primeiro estágio, D - Razão cíclica, Δv_{C_o} - Ondulação de tensão em C_o .

SEGUNDO ESTÁGIO

O segundo estágio é baseado na topologia modificada do conversor *boost* que emprega uma célula de comutação de três estados, mostrada na Fig. 2. É responsável para aumentar o nível de tensão das baterias de 48V para fornecer 400V para o barramento que alimenta o inversor ponte completa.

Através da equação (3) é possível calcular o valor do indutor L_{in} da célula de comutação.

$$L_{in} = \frac{V_{BAR}}{16(n+1)f_s} \quad (3)$$

Onde: V_{BAR} - Tensão de barramento, n - relação de transformação do transformador.

Através das equações (4), (5) e (6) é possível calcular o valor da área do núcleo transformador da célula de comutação de três estados e o número de espiras do primário e secundário. O transformador tem a função de dividir a corrente através do indutor em partes iguais para aliviar os esforços e também de elevar a tensão usando um secundário.

$$A_e A_w = \frac{P_o \left(\frac{2n+1}{1+n} \right) 10^4}{k_u k_p J_{max} \Delta B_{max}} \quad (4)$$

$$N_{P1} = \frac{V_{BAR}}{4(n+1)A_e \Delta B f_s} 10^4 \quad (5)$$

$$N_S = 2N_{P1} \quad (6)$$

Onde: $A_e A_w$ - Área do núcleo, P_o - Potência de saída, η - Rendimento, K_u - Fator de ocupação do carretel, K_w - Fator de ocupação da janela, ΔB_{MAX} - Variação de campo magnético, J_{MAX} - Densidade de corrente, N_S - Número de espiras do secundário, N_{P1} - Número de espiras do primário.

A máxima tensão sobre o capacitor de filtro C_1 é dada pela tensão mínima da bateria em relação a razão cíclica complementar entregue a este elemento, desta forma é possível calcular C_1 através da expressão (7).

$$C_1 = \frac{P_o}{16(n+1)V_o \Delta C_1 f_s} \quad (7)$$

Onde: V_o - Tensão de saída, ΔV_{C1} - Ondulação de tensão em C_1 .

A máxima tensão sobre os capacitores C_2 e C_3 é dada pela tensão mínima da bateria multiplicada pela relação de transformação em relação ao dobro da razão cíclica complementar entregue a este elemento, desta forma é possível calcular C_2 e C_3 através da expressão (8).

$$C_2 = C_3 = \frac{P_o}{4(n+1)V_{BAR} \Delta C_2 f_s} \quad (8)$$

Onde: ΔV_{C2} - Ondulação de tensão em C_2 .

O capacitor de saída C_B possibilita que o conversor possa alimentar um inversor monofásico de tensão. Logo a função desse capacitor é minimizar os afundamentos na tensão do barramento nos momentos em que houver elevados picos de corrente de curta duração. Além disso, é também uma fonte de energia reativa para cargas indutivas. Desta forma a equação (9) representa este elemento.

$$C_B \geq \frac{P_o \left(\frac{1}{2f_{60Hz}} \right)}{V_{BAR}^2 - (V_{BAR} - \Delta V_{BAR})^2} \quad (9)$$

Onde: f_{60Hz} - Frequência da rede elétrica, ΔV_{BAR} - Ondulação de tensão de barramento.

TERCEIRO ESTÁGIO

O terceiro estágio é responsável por entregar a carga tensão e corrente sinodais, com amplitude e frequência controladas e condizente com as características da carga, baixa taxa de distorção harmônica e elevado fator de potência. Como a tensão entregue a carga é maior do que a metade da tensão sobre o capacitor C_B a equação (10) pode ser utilizada para o projeto do indutor L_f .

$$L_f = \frac{V_{BAR}}{8f_s \Delta L_f} \quad (10)$$

Onde: ΔL_f - Ondulação de corrente em L_f .

Assim como o indutor L_f o capacitor C_f processa uma tensão maior que $V_B/2$, então a equação (11) representa o cálculo de C_f .

$$C_f = \frac{V_{saída}}{128f_s^2 L_f \Delta C_f} \left(1 - \frac{V_{saída}}{V_{BAR}} \right) \quad (11)$$

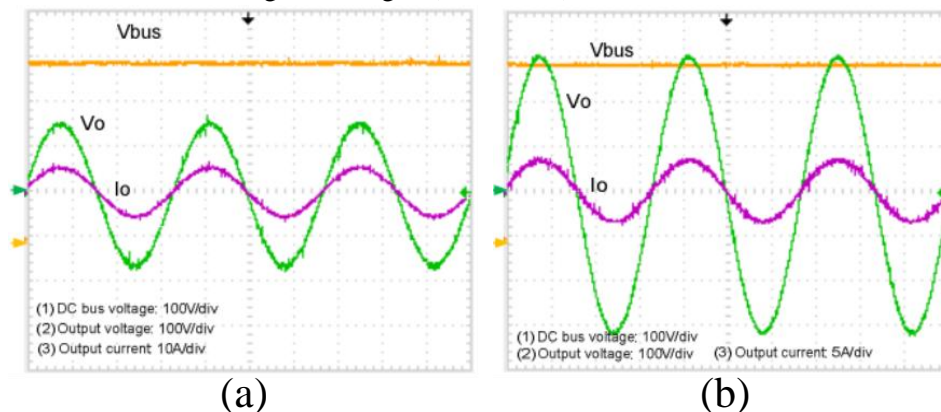
Onde: ΔV_{Cf} - Ondulação de tensão em C_f , $V_{SAÍDA}$ - Tensão senoidal de saída.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes com o sistema proposto foram feitos para uma potência específica de 700W, que possui tensão variável de 110V e 220V, desta forma podendo alimentar bombas de irrigação com até

aproximadamente 1HP (*Horse Power*). As Figuras 4a e 4b apresentam os resultado de tensão e corrente entregues a carga para uma potência de 700W.

Figura 4. Tensão e corrente entregues a carga: a) 110V e b) 220V.



A corrente entregue a carga possui distorção harmônica de 3,2% para a carga operando com tensão de 110V e de 4% operando com 220V. O fator de potência para 110V é de 0.992 e de 0.996 para 220V. A eficiência global do sistema proposto operando com comutação suave é de 90,2% para 110V e de 92% para uma saída de 220V. A seguir são apresentados os parâmetros utilizados para o conversor de três estágios. $L_B=190\mu\text{H}$, $C=22\mu\text{F}$, $L_{IN}=170\mu\text{H}$, $C_1=8,2\mu\text{F}$, $C_2=C_3=33\mu\text{F}$, $C_B=220\mu\text{F}$, $L_F=10\text{mH}$, $C_F=330\text{nF}$, $F_S=50\text{kHz}$, $V_{BAR}=400\text{V}$, $V_{SAÍDA}=110\text{V}/220\text{V}$, $n=2$, $\eta=94\%$, $D=0,75$ e $I_O=14,6\text{A}$.

CONCLUSÕES

Este artigo propôs um sistema fotovoltaico autônomo com uma ampla gama de funcionamento de tensão de saída, adequado para aplicação em áreas isoladas de plantio, onde a rede elétrica não pode atingir. A principal vantagem deste sistema é a possibilidade de operar com grande faixa de tensão de saída. O sistema consiste de uma combinação de três conversores para processar a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, aliado a um sistema de monitoramento de dados sem fio. A análise teórica de cada estágio do conversor foi apresentada. A topologia proposta é adequada para aplicação em um sistema de irrigação. Os resultados para uma potência de 700W ou aproximadamente 1HP, operando em 110V e 220V foram apresentados para verificar o desempenho do sistema fotovoltaico proposto.

Estes resultados mostram a alta qualidade do sistema de tensão de saída, apresentando distorção harmônica inferior a 5% para toda a faixa de operação. Um bom desempenho foi alcançado, cerca de 92%, o que poderia ser melhorado pela otimização do projeto. Além do sistema proposto possuir elevada eficiência em relação a energia processada o sistema também otimiza o consumo de recursos naturais, visto que uma devida correção (irrigação, pulverização e correção do solo) pode ser efetuado pontualmente e não necessariamente em uma vasta área de plantio.

REFERÊNCIAS

- Aziz, N.H.A.; Sarnin, S.S.; Othman, K.A.; Wahab, N.; Misman, N.; Hashim, A.T. Supervisory Data Acquisition of Temperature and Humidity in Oil Palm Tissue Culture Laboratory, Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIMSIM), Second International Conference on, vol., no., pp.470,475, 28-30, 2010.
- Bascope, G.V.T.; Barbi, I.; , Generation of a family of non-isolated DC-DC PWM converters using new three-state switching cells, in Proc. of IEEE PESC 00, pp.858-863 vol.2, 2000.
- Lopez, F.R.J.; Lopez, AJ. Field variables monitoring in real time (GPS, soil moisture, temperature) with precision farming applications, Telematics and Information Systems (EATIS), 6th Euro American Conference on, vol., no., pp.1-5, 23-25, 2012.
- Rani, M.U.; Kamalesh, S., Web based service to monitor automatic irrigation system for the agriculture field using sensors, Advances in Electrical Engineering (ICAEE), International Conference on, vol., no., pp.1,5, 9-11, 2014.
- Watthanawisuth, N.; Tuantranont, A; Kerdcharoen, T., Microclimate real-time monitoring based on ZigBee sensor network, Sensors, IEEE, vol., no., pp.1814,1818, 25-28, 2009.