



SISTEMA SUPERVISÓRIO DE UM CONVERSOR ELÉTRICO DE BAIXO CUSTO

Lisandra Kittel Ries¹, João Pedro Regis², Celso Valentim³

Resumo: Este artigo apresenta o projeto de um conversor elétrico de baixo custo monitorado por um sistema supervisório. O conversor elétrico foi desenvolvido para fins didáticos, com o objetivo de carregar uma bateria e alimentar uma carga em corrente alternada. O sistema supervisório tem a função monitorar o conversor elétrico, a partir de uma interface homem máquina. A aquisição dos sinais elétricos monitorados foi desenvolvida utilizando um Arduino Mega, o protocolo de comunicação utilizado foi o MODBUS e o *software* supervisório Indusoft Web Studio. Além do monitoramento de alguns sinais elétricos, o sistema supervisório faz o acionamento de dois relés, que coordenam os estágios do conversor elétrico: ele pode funcionar como um sistema ininterrupto de fornecimento de energia, como um carregador de baterias ou para alimentar a carga diretamente da bateria caso o fornecimento de energia elétrica seja interrompido. O sistema foi simulado e montado, com o *design* de placas de circuito impresso e corrosão em ácido.

Palavras-chave: Conversor elétrico. Sistema Supervisório. MODBUS.

Abstract: *This paper presents the design of a low-cost voltage converter monitored by a supervisory system. The electric drive is designed with educational purposes, in order to charge a battery and to deliver power to an AC load. The supervisory system has a function of monitoring the power converter from a human machine interface. The acquisition of the monitored electrical signals was developed using an Arduino Mega, the communication protocol used was the MODBUS and the supervisory software InduSoft Web Studio. In addition of monitoring some electrical signals, the supervisory system drives two relays, which coordinate the voltage converter stages: it can function as an uninterrupted power supply system, such as a battery charger or power the load directly from the battery if the electricity supply is interrupted. The system was simulated and assembled, with the design of printed circuit boards and corrosion in acid.*

Keywords: *Electrical converter. Supervisory System. MODBUS.*

¹ Professora do Curso de Eletroeletrônica, IFSC/Itajaí, <lisandra.ries@edu.ifsc.br>

² Acadêmico do Curso de Eletroeletrônica, IFSC/Itajaí, <joao---100@hotmail.com>

³ Acadêmico do Curso de Eletroeletrônica, IFSC/Itajaí, IFSC/Florianópolis, <celsoitj@hotmail.com>

1 INTRODUÇÃO

Mundialmente, a demanda por energia elétrica vem crescendo, levando a busca de soluções que aumentem a capacidade de oferta de energia elétrica, considerando questões ambientais. As fontes alternativas de energia elétrica renováveis mais importantes, no momento, são a energia eólica e a solar. O enfoque do sistema utilizado é o eólico, dado que a instituição possui um gerador eólico NOTUS 128. Quanto às aplicações para produção de eletricidade o sistema eólico pode ser classificado como isolado, de apoio ou interligado a rede elétrica (REIS,2011). O conversor elétrico

desenvolvido neste trabalho é dispositivo elétrico ligado ao gerador que converte a característica alternada de energia elétrica sob uma forma de corrente contínua para o carregamento de uma bateria e que permite alimentar uma carga em corrente alternada em uma etapa de inversão CC/CA. O sistema desenvolvido é um sistema isolado, uma vez que através do carregamento de baterias a energia proveniente desse gerador se torna reutilizável. O gerador eólico está travado devido a um deslocamento na posição dos ímãs permanentes e para fins de testes do funcionamento do sistema utiliza-se a rede elétrica como fonte de

energia alternada. O conversor elétrico é apresentado na seção 1.

O sistema isolado de energia elétrica normalmente é de pequeno porte e o custo mais elevado do sistema são o gerador eólico e o sistema de armazenamento. O conversor utilizado no sistema possui custo reduzido, facilidade de montagem e é didático, uma vez que o objetivo principal do projeto é desenvolver o sistema supervisor do sistema eólico isolado completo, como mostrado na Figura 1.

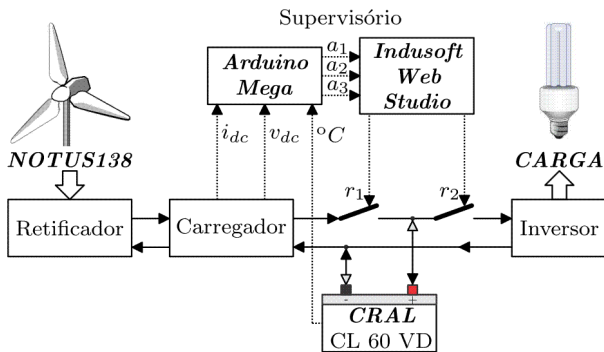


Figura 1 – Diagrama simplificado da integração do sistema.

O sistema supervisor captura informações como corrente, tensão e temperatura da bateria e toma decisões baseado nas variáveis medidas. Todas as informações são mostradas na tela do computador do usuário. Por exemplo, se a temperatura da bateria estiver muito elevada, o sistema supervisor abre o relé r_1 e interrompe o processo de carga da bateria. Se a bateria estiver descarregada a mesma não será utilizada para a alimentação da carga em corrente alternada, através da abertura do relé r_2 . Além da tomada de decisões o sistema supervisor gera relatórios sobre o processo de carga, possui botões de acionamento dos relés que podem ser utilizados se as variáveis estiverem dentro dos limites definidos por segurança. As variáveis são fornecidas através de um circuito de medidas elétrico que é conectado ao Arduino. Através de um protocolo de comunicação os dados do Arduino são transmitidos ao supervisor. O sistema supervisor é explicado na seção 2.

Na seção 3 alguns resultados são mostrados, assim como a foto das placas de circuito impresso montadas.

2 CONVESOR ELÉTRICO

O conversor elétrico é composto por três estágios, que são detalhados a seguir. O primeiro estágio é um retificador de tensão, o segundo estágio por um carregador de baterias e o terceiro estágio por um inversor que alimenta uma carga em

corrente alternada (MOSKO; RIBAS; RAMOS, 2004).

2.1 Retificador

O retificador de tensão faz a conexão da fonte CA e da carga CC, transformando a corrente e tensão alternada em corrente e tensão contínua, o circuito é representado na Figura 2. A retificação pode ser feita de inúmeras maneiras, no presente projeto utilizou-se a retificação em ponte completa, utilizando quatro diodos.

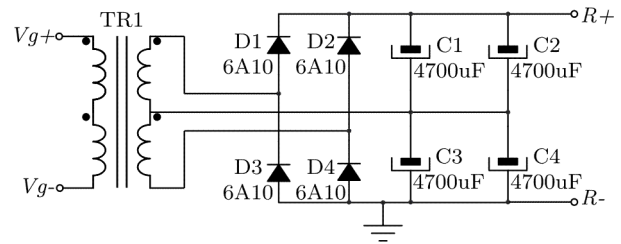


Figura 2 – Circuito retificador.

O transformador é responsável por rebaixar a tensão da fonte para alimentar o circuito, ele tem tensão dupla primária de 127V e saída dupla de 12V, com corrente máxima de 5A. A relação de transformação é calculada de acordo com a Equação 1.

$$a = \frac{V_{\text{prim}}}{V_{\text{sec}}} = \frac{2 \times 127V}{2 \times 12V} = 10,6 \quad [1]$$

A tensão da fonte de entrada é dada pela Equação 2, onde $V_p = \sqrt{2} \times 220V$ é o valor de pico e f é a frequência de operação, fixada em 60Hz.

$$V_{\text{in}} = V_p \sin 2\pi ft \quad [2]$$

O valor médio da tensão de saída após a ponte retificadora, se não houvesse a conexão de capacitores, seria dada pela Equação 3. A tensão de pico é dada pela Equação 4.

$$V_{\text{out(méd)}} = \frac{2 \times V_p}{\pi \times a} = \frac{2 \times \sqrt{2} \times 220V}{\pi \times 10,6} = 18,7 V \quad [3]$$

$$V_{\text{out(pico)}} = \frac{V_p}{a} = \frac{\sqrt{2} \times 220V}{10,6} = 29,4 V \quad [4]$$

Com a adição de capacitores, elimina-se o ripple e o valor médio da tensão de saída possui o mesmo valor do resultado dado pela Equação 4. Com a utilização de uma carga, deve-se lembrar de que existirá uma queda de tensão produzida pelos diodos. A associação dos capacitores conectados equivale a um capacitor de $4700\mu F$ com o dobro de capacidade de tensão e de corrente. Essa associação foi escolhida pelos materiais a disposição para construção do protótipo. Uma regra prática é utilizar $1000\mu F$ por ampère de corrente de saída. Como a

corrente de saída está limitada em 5A, respeita-se a regra prática com a conexão escolhida.

2.2 Carregador

Para recarga das baterias com corrente constante é aconselhado limitar a corrente de carga em no mínimo 5% e em no máximo 10% da capacidade nominal Ah da bateria. De acordo com os dados técnicos da bateria modelo CL60 VD (CRAL, 2014), a capacidade da mesma é 60Ah, logo a corrente de carga deve estar limitada entre 3A e 6A.

Para o método de recarga com tensão constante, a tensão imposta deve estar entre o limite da sobrecarga (14,5V) e subcarga (13,5V). Outro parâmetro que deve estar sendo constantemente monitorado é a temperatura, durante o processo de recarga a mesma não deve ultrapassar 50°C. O tempo de carga da bateria varia de acordo com o método de recarga e com o nível da tensão das mesmas em vazio.

Utiliza-se o método de carga com corrente constante, através do circuito mostrado na Figura 3.

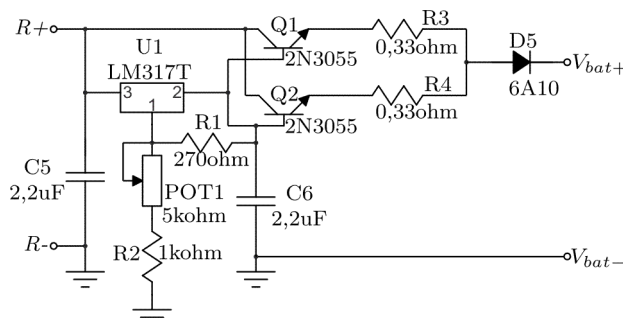


Figura 3 – Circuito carregador.

Através do regulador de tensão LM317, polariza-se os transistores de potência 2N2055 na sua região ativa. Com a variação do potenciômetro, a tensão de saída do regulador de tensão varia, entre o valor máximo e mínimo dado, aproximadamente, pelas Equações 5 e 6 (TEXAS INSTRUMENTS, 2014). O resistor fixo é o resistor R1 (270Ω) enquanto que o resistor variável é a associação série do resistor R2 (1kΩ) e do potenciômetro RV3 (5kΩ).

$$V_{reg(mín)} = 1,25 \times \left(1 + \frac{R_{var1(mín)}}{R_{fix}} \right) V \quad [5]$$

$$V_{reg(mín)} = 1,25 \times \left(1 + \frac{1k\Omega}{270\Omega} \right) V = 5,88 V$$

$$V_{reg(máx)} = 1,25 \times \left(1 + \frac{R_{var1(máx)}}{R_{fix}} \right) V \quad [6]$$

$$V_{reg(máx)} = 1,25 \times \left(1 + \frac{(1k + 5k)\Omega}{270\Omega} \right) V = 29,0 V$$

A corrente de base dos transistores de potência é modificada de acordo com o nível do potenciômetro, logo a corrente que passa entre o coletor e o emissor é controlada. Mede-se a corrente durante todo o processo de carga, com um amperímetro conectado em série. A corrente máxima permitida é 5A. O diodo em série com o amperímetro e a bateria, na saída do circuito, serve como proteção, para impedir um fluxo de carga do sentido da bateria para o circuito.

2.3 Inversor

O inversor tem como função básica converter a tensão contínua em tensão alternada. O circuito receberá um determinado valor DC que será oscilado em uma frequência pré-estabelecida, por um circuito oscilador. O circuito oscilador é utilizado para controlar os semicondutores de potência que irão chavear na frequência estabelecida do oscilador com níveis de tensão mais elevados. Um transformador elevador de tensão é utilizado para alimentar uma carga em corrente alternada, no presente trabalho utilizou-se uma lâmpada fluorescente compacta de 11W como carga (Figura 4).

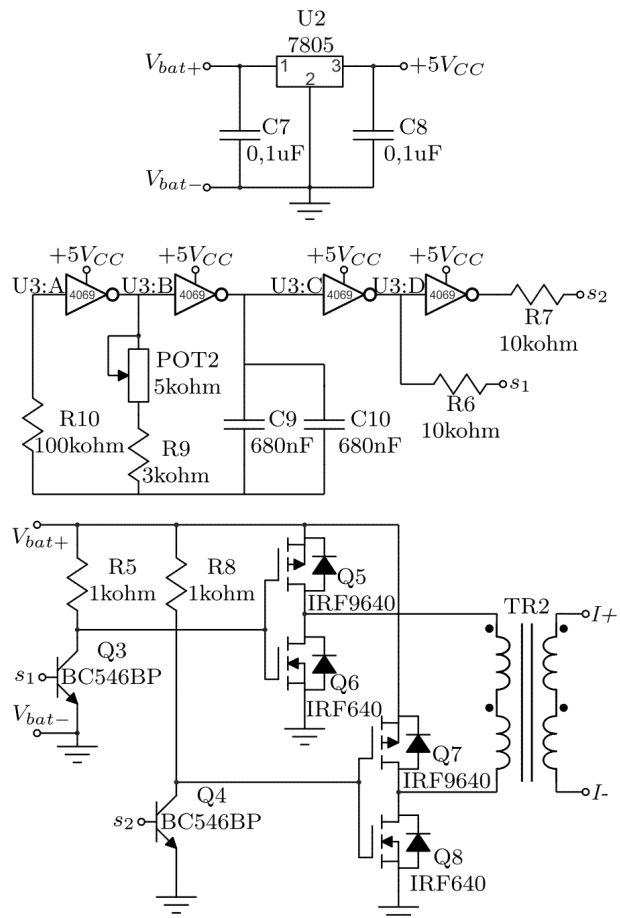


Figura 4 – Circuito inversor.

O circuito oscilador RC utilizou-se o CI 4069 (SABER ELETRÔNICA, 2014). A associação dos

capacitores C5 e C8 é equivalente ao capacitor de 1,36µF. O resistor R10 (100kΩ) deve ser pelo menos 10 vezes maior que o resistor variável, que é a associação série do resistor R9 (3kΩ) e do potenciômetro RV2 (5kΩ). Este é um circuito integrado CMOS inversor, sua frequência de operação depende dos valores do circuito RC, logo varia de acordo com a posição do potenciômetro. A frequência máxima e mínima são calculadas através das Equações 7 e 8.

$$f_{\min} = \frac{1}{2,2 \times R_{\text{var2}(\text{máx})} \times C} \text{ Hz} \quad [7]$$

$$f_{\min} = \frac{1}{2,2 \times (3\text{k}\Omega + 5\text{k}\Omega) \times 1,36\mu\text{F}} = 41,8 \text{ Hz}$$

$$f_{\text{máx}} = \frac{1}{2,2 \times R_{\text{var2}(\text{mín})} \times C} \text{ Hz} \quad [8]$$

$$f_{\text{máx}} = \frac{1}{2,2 \times 3\text{k}\Omega \times 1,36\mu\text{F}} \text{ Hz} = 111,4 \text{ Hz}$$

Os transistores Q3 e Q4 são utilizado para elevar o sinal produzido pelo circuito oscilador em 12V em nível alto e 0V em nível baixo. Dessa maneira, dois sinais invertidos, de mesma frequência, são produzidos e aplicados aos MOSFETs de canal N (Q6 e Q8) e de canal P (Q5 e Q7) que estão conectados em ponte-H com os terminais do transformador elevador de tensão. A tensão de entrada do transformador será uma forma de onda quadrada de +12V/-12V com a frequência especificada pelo oscilador. É importante ressaltar que o os MOSFETs Q6 e Q8 nunca conduzem ao mesmo tempo, assim como Q5 e Q7, o que ocasionaria em um curto-circuito na carga.

O CI 7805 é um regulador de tensão fixa de 5V, alimentado com 12V e fornecendo uma corrente de até 1A os capacitores são usados para reduzir o *ripple* da tensão de saída. Este regulador de tensão tem função de apenas alimentar o CI 4069 e o LM324 do circuito de medidas explicado na Seção 3.

3 SISTEMA SUPERVISÓRIO

Para o sistema supervisório foi utilizado o *software* Indusoft Web Studio Educacional. Ele permite construir aplicações completas SCADA (Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados) ou IHM (Interface Homem Máquina) para a Indústria de Automação. O sistema supervisório consiste em uma tela com interfaces animadas de operação conectada em tempo real com máquinas, equipamentos ou processadores através de controladores lógicos programáveis, equipamentos de entrada e saída remotos e outros equipamentos de aquisição de dados. As principais funcionalidades desse sistema consistem na criação

de um banco de dados das *tags* do projeto, monitores de alarmes, lógica, gráficos de tendências, receitas (INDUSOFT, 2014).

Para o projeto três variáveis são medidas em tempo real a partir de um circuito de medidas:

- **Corrente elétrica:** será medida a partir de um resistor *shunt* e o sinal é em seguida amplificado;
- **Tensão elétrica:** será medido através de um divisor de tensão;
- **Temperatura:** a temperatura será dada através de um circuito integrado o LM35, este é um CI de precisão bastante popular, tem o encapsulamento TO-3, converte energia térmica em elétrica, na razão de 1°C/ 10mV, ou seja, a cada grau Celsius que o CI detectar será acrescido na saída 10mV. O sinal elétrico medido também é amplificado.

Os sinais medidos são enviados aos pinos de entrada analógica de um Arduino Mega, que através de uma conexão USB se comunica com o sistema supervisório em tempo real.

3.1 Circuito de medidas

O circuito de medidas é composto por um divisor de tensão, um sensor de temperatura LM35, um resistor de precisão *shunt* e pelo circuito integrado LM324 que é utilizado como amplificador de sinal ou como buffer (Figura 5).

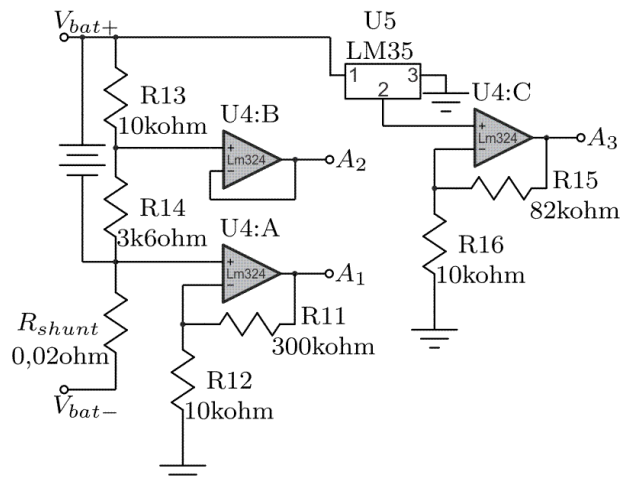


Figura 5 – Circuito de medidas.

O ganho total da medição de corrente é definido na Equação 9, considera-se o valor do resistor *shunt* e do ganho da amplificação.

$$G_{\text{idc}} = R_{\text{shunt}} \times \left(1 + \frac{R_{12}}{R_{13}} \right) \quad [9]$$

$$G_{idc} = 0,02\Omega \times \left(1 + \frac{300k\Omega}{10k\Omega}\right) = 0,62 \Omega$$

O ganho total da medição de tensão é definido na Equação 10.

$$G_{vdc} = \frac{R_{15}}{R_{14} + R_{15}} = \frac{3,6k\Omega}{3,6k\Omega + 10k\Omega} = 0,265 \quad [10]$$

O ganho total da medição de temperatura é definido na Equação 11, considera-se o valor do sensor de temperatura e do ganho da amplificação.

$$G_{temp} = \frac{10mV}{1^\circ C} \times \left(1 + \frac{R_{16}}{R_{17}}\right) \quad [11]$$

$$G_{temp} = \frac{10mV}{1^\circ C} \times \left(1 + \frac{82k\Omega}{10k\Omega}\right) = \frac{92mV}{1^\circ C}$$

3.2 Tela principal do sistema supervisório

A tela principal do sistema supervisório é apresentada na Figura 6.

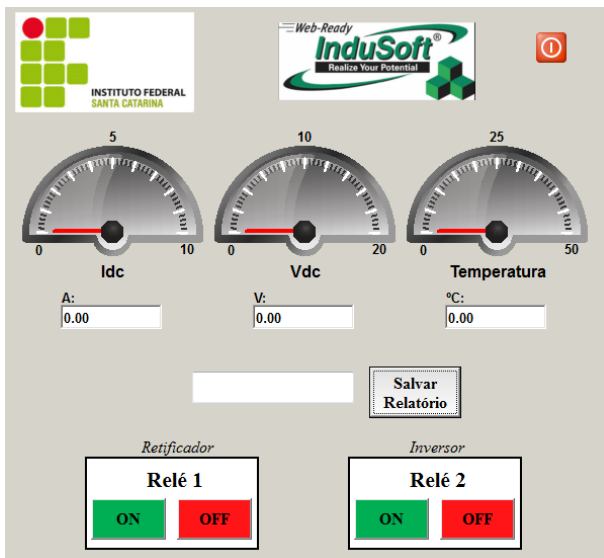


Figura 6 – Tela principal do sistema supervisório.

Nela, as três variáveis medidas são constantemente monitoradas, a corrente I_{dc} possui o limite de 5A, a tensão V_{dc} é limitada em 14,5V e a temperatura em 50°C. No sistema supervisório, essas variáveis foram nomeadas como tags a_1 para corrente, a_2 para tensão e a_3 para temperatura. Quando esses limites não são respeitados alarmes são ativados. Através de operações de lógica envia-se um comando a duas tags, r_1 e r_2 , que servem como proteção do sistema. Essas tags são saídas digitais do Arduino Mega, que comandam os relés 1 e 2, conectados na saída do retificador e na entrada do inversor, respectivamente.

Além das operações de lógica de proteção, que modificam o valor das tags r_1 e r_2 , os botões de liga e desliga na tela também permitem o usuário de coordenar o sistema elétrico quando nenhum sistema de alarme está operando: para funcionar

como um sistema ininterrupto de fornecimento de energia os relés 1 e 2 são ativados, como um carregador de baterias somente o relé 1 é ativado, para alimentar a carga diretamente da bateria caso o fornecimento de energia elétrica seja interrompido somente o relé 2 é ativado.

Outra funcionalidade do sistema é a criação de relatórios. O usuário salva o estado de todas as variáveis do sistema num arquivo de extensão TXT.

3.3 Interface utilizando o Arduino Mega

A placa Arduino Mega possui 54 pinos de entradas e saídas digitais onde 15 destes podem ser utilizados como saídas PWM. Os pinos operam com tensão de 5V e podem fornecer ou drenar até 40 mA. As 16 entradas analógicas (pinos A0 a A15) podem servir como interface entre o sistema elétrico e o sistema supervisório. A resolução da medida é de 10 bits, ou seja, o valor será convertido entre 0 e 1023 (SOUZA, 2014). A Equação 12 define o ganho desta conversão.

$$G_{Arduino} = \frac{1024}{5V} \quad [12]$$

A alimentação da placa Arduino Mega pode ser feita tanto pela USB, como por uma alimentação externa.

O Arduino foi programado utilizando a biblioteca Modbus Slave que permite a comunicação na rede RS485 através do protocolo MODBUS (SARMENTO, 2014), os detalhes da programação podem ser encontrados na referência fornecida. Os pinos de entrada analógica do Arduino utilizados são A1, A2 e A3, equivalentes as variáveis corrente, tensão e temperatura. Os pinos de saída PWM do Arduino utilizados são o 2 e o 4, equivalentes as variáveis de comando do relé um e dois.

A Tabela 1 resume como foi feita a configuração MODBUS no sistema supervisório, com uma coluna que define o endereço utilizado no Indusoft Web Studio para cada tag monitorada. A coluna divisão considera os ganhos definidos pelo circuito de medidas e a conversão digital, basta multiplicar o resultado das Equações 9, 10 e 11 pela Equação 12.

Tabela 1 – Configuração do protocolo MODBUS utilizando o Arduino.

Nome da Tag	Endereço	Divisão
a1	2	127,0 (1/A)
a2	3	54,0 (1/V)
a3	4	19,0 (1/°C)
r1	13	–
r2	14	–

O endereço no *software* é sempre definido com um valor +1 em relação ao endereço definido no Arduino. Por exemplo, o endereço no Arduino para a variável corrente é o endereço 1, porém no sistema supervisorio a *tag* a_1 que representa esta variável possui o endereço $1+1 = 2$. Essa é uma particularidade do *software* supervisorio.

4 RESULTADOS

O sistema elétrico foi primeiramente simulado no *software* Proteus 8.1 e depois montado em uma matriz de contatos para verificação do desempenho do conjunto. O layout da placa de circuito impresso foi também elaborado no Proteus, para confecção das placas utilizou-se o método de corrosão com o ácido perclorato de ferro.

Priorizou-se a reutilização de materiais descartados na montagem da placa, a Figura 7 mostra os estágios do protótipo do sistema elétrico montado (retificador, carregador e inversor). O dissipador do carregador foi posteriormente trocado por um maior, pois o componente 2N3055 aqueceu bastante.

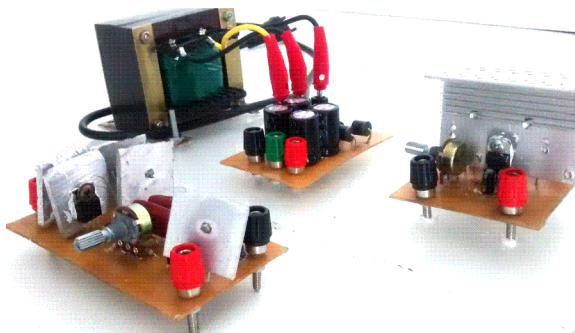


Figura 7 – Fotos do protótipo do conversor elétrico montado.

Na Figura 8 mostra-se que a tensão retificada possui o valor médio de 28,8V, muito próximo do valor calculado pela Equação 4, com um erro relativo de 2%. Lembrando que considerando a queda de tensão nos diodos da ponte completa, o valor do erro relativo diminui ainda mais. Na mesma Figura, mostra-se o valor da tensão do regulador de tensão, valor mínimo de 5,61V. Em relação ao valor calculado na Equação 5 o erro relativo é de 4,6%. O valor máximo de 27,0V também foi medido na prática, com erro relativo de 6,9% em relação ao valor calculado na Equação 6.

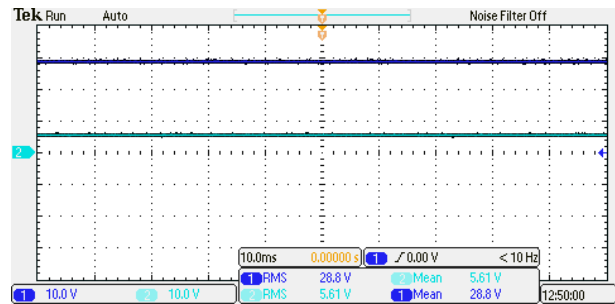


Figura 8 – Tensão retificada e tensão do regulador de tensão (10V/div e 10ms/div).

Na Figura 9 apresenta-se a forma de onda da tensão de saída do inversor, antes da elevação de tensão feita pelo transformador. A tensão de saída varia entre os valores de +12 e -12V, com razão cíclica próxima de 50% e frequência mínima de 40,08Hz. Em relação ao valor calculado na Equação 7, o erro relativo é de 4,1%. A frequência máxima medida foi de 86,22Hz, com um erro relativo de 22,6% em relação ao valor obtido na Equação 8. Como a carga será operada com valores de frequência convencionais da rede elétrica comercial, em 50 ou 60 Hz, o resultado se mostrou satisfatório.

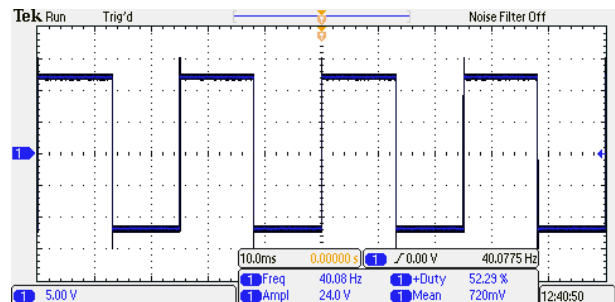


Figura 9 – Tensão de saída do circuito inversor (5V/div e 10ms/div).

Após os testes dos estágios do sistema elétrico, os testes com o sistema completo foram realizados: a bateria foi carregada e o acionamento da lâmpada fluorescente foi feito, através do monitoramento do sistema supervisorio.

Para testar se as medidas mostradas pela tela principal do sistema supervisorio estavam corretas, com a aplicação dos ganhos de conversão mostrados na Tabela 1, um teste simples foi feito: verificaram-se os resultados a partir de medições em paralelo, com alicate amperímetro, ponteira de tensão e termômetro.

Para o acionamento dos relés, não houve nenhuma dificuldade, porém recomenda-se fazer testes de conexão antes de colocar o sistema completo em funcionamento, tomando cuidado para não colocar a bateria em curto-circuito.

5 CONCLUSÕES

Os resultados foram muito satisfatórios, mostrou-se que a partir da confecção de um sistema elétrico e um sistema supervisorio, duas áreas distintas foram abordadas em único projeto.

É importante ressaltar que o conversor elétrico estudado, simulado e fabricado deveria ser simples, de baixo custo e que abordaria questões essenciais no que concerne a geração de energia elétrica e sua utilização. O maior objetivo foi a didática dos assuntos englobados, principalmente das funcionalidades de um sistema supervisorio na área da Eletroeletrônica.

Como trabalho futuro objetiva-se unir todos os estágios do conversor elétrico e do circuito de medidas em uma única PCI, melhorando o dimensionamento dos dissipadores utilizados. Para a tela do sistema supervisorio pode-se incluir novas funcionalidades, porém como projeto inicial priorizou-se a simplicidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Indusoft pelo apoio fornecido através da doação de licenças do *software* Indusoft Web Studio.

REFERÊNCIAS

REIS, L. B. **Geração de Energia Elétrica**. 2. ed. Barueri: Manole, 2011. 460 p.

MOSKO, F. L.; RIBAS, H. R. O.; RAMOS, L. F. **Conversor Elétrico para o Gerador Eólico de Baixo Custo**. 2004. 99 f. Monografia (Projeto Final de Graduação) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba. 2004.

CRAL. **Catálogo de Apresentação, Especificação Técnica do Produto e Catálogo de Aplicação do Produto**. Disponível em: <<http://www.cral.com.br/>>. Acesso em: 05 dez. 2014.

TEXAS INSTRUMENTS. **Folha de dados do componente LM317**. Disponível em: <<http://www.ti.com/>>. Acesso em: 05 dez. 2014.

SABER ELETRÔNICA. **10 projetos práticos de osciladores**. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/artigos/2803-10-projetos-prticos-de-osciladores>>. Acesso em: 05 dez. 2014.

INDUSOFT. **Guia de Introdução**. Disponível em: <<http://www.indusoft.com/br/>>. Acesso em: 05 dez. 2014.

SOUZA, F. **Arduino Mega 2560**. Disponível em: <<http://www.embarcados.com.br/arduino-mega-2560/>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

SARMENTO, A. REDE DE AUTOMAÇÃO RS-485/MODBUS COM ARDUINO. **DISPONÍVEL EM:** <[HTTP://WWW.ANDRESARMENTO.COM/2011/11/REDE-DE-AUTOMACAO-RS-485MODBUS-COM-ARDUINO/](http://www.andresarmiento.com/2011/11/rede-de-automacao-rs-485modbus-com-arduino/)>. **ACESSO EM: 15 NOV. 2014.**