



Sistema de armazenamento de energia solar com controle microprocessado para dispositivos eletrônicos

Juliana de Oliveira Mota¹, Ciro Dal Bianco Lopes², Washington Luís Santos Silva³, Tiago Millioli Pereira Almeida⁴

¹Graduanda em Engenharia Elétrica Industrial – IFMA. Bolsista do IFMA. e-mail: julimota07@gmail.com.

²Graduando em Engenharia Elétrica Industrial – IFMA. Bolsista do IFMA. e-mail: ciro.bianco@hotmail.com.

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

⁴Graduando em Engenharia Elétrica Industrial – IFMA. Bolsista da FAPEMA. e-mail:tiagomillioli@hotmail.com

Resumo: O trabalho apresentado teve por finalidade a criação de um sistema de controle e monitoramento do armazenamento da energia proveniente de módulos solares. Uma grande parte dos sistemas de carga vistos no mercado utiliza métodos inadequados para carregamento destes dispositivos armazenadores, o que resulta em uma considerável redução do número de ciclos, ou seja, na redução da vida útil dos mesmos. Com a proposta de otimização da carga das bateria - o que leva ao aumento da vida útil, ao aumento da eficiência no processo de suprimento de energia, e consequentemente a uma melhor relação custo benefício - foi elaborado um sistema de armazenamento baseado em estudos acerca da bateria B00924 - UNIPOWER. Para atingir tal meta foi utilizado um algoritmo amplamente conhecido, o de método duplo nível de tensão, ou quatro estados, que se mostrou mais eficiente para tal processo. Implementado no microcontrolado ATMEL AT89S52, utiliza a modulação por largura de pulso – PWM – para controlar o nível de tensão e corrente fornecidos para a bateria, através de um conversor DC/DC do tipo buck.

Palavras-chave: BUCK, CARREGAMENTO DE BATERIAS, CONVERSOR DC/DC MICROCONTROLADOR, PWM

1. INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade repousa na utilização racional dos recursos naturais disponíveis no presente, de modo que estes não se esgotem e estejam disponíveis da mesma forma para gerações futuras. A obtenção de energia elétrica como conhecemos hoje é um dos principais contribuintes para as alterações climatológicas que causam o desequilíbrio ambiental que presenciamos. A ferramenta para que este cenário seja revertido é a utilização de energias renováveis, que produzam energia elétrica de forma limpa, permitindo um crescimento sustentável.

Dentre todas as formas de energias renováveis apontadas como solução final para a problemática da geração de energia elétrica, a energia solar tem chamado maior atenção. Entende-se por energia solar toda e qualquer energia proveniente do Sol - seja ela térmica ou luminosa – que possa ser posteriormente transformada em alguma forma utilizável pelo homem, quer seja de forma direta – para aquecer líquidos, quer seja de forma indireta – transformando-se em outra energia utilizável, como a energia mecânica ou a energia elétrica.

Praticamente inesgotável e abundante em grande parte do planeta – em especial no Brasil – a energia solar é a forma de obtenção de energia mais limpa que existente. Não necessita utilização de qualquer forma de combustível, e consequentemente não participa minimamente da emissão de gases de carbono ou outros resíduos químicos, nem causa interferência em aparelhos eletrônicos – como pode acontecer durante a produção de energia eólica. Os sistemas utilizados para a captação da energia solar também apresentam vantagens. Uma vez que podem trabalhar de forma independente, completamente desligados da rede de distribuição elétrica proveniente das hidrelétricas (off grid), estes podem ser instalados em locais remotos, comunidades isoladas nas quais o fornecimento de energia elétrica convencional é dificultado; havendo a possibilidade de montagem de sistemas de captação mais perto de onde há a necessidade há a redução da dependência de fontes estrangeiras e/ou centralizadas de energia.



A implantação e consequente desenvolvimento desta forma de energia alternativa ainda esbarram em algumas questões que não permitem sua utilização de forma plena. Dentre elas as principais são o custo elevado de implantação e a limitação do sistema quanto ao baixo rendimento devido à forma de armazenamento da energia. O custo de implantação da geração solar pode chegar a cinquenta vezes o custo de uma pequena central hidrelétrica, entretanto o custo da energia gerada durante a vida útil do sistema – aproximadamente 30 anos – mostra-se dez vezes maior para sistemas isolados e três vezes maior para sistemas de geração ligados à rede elétrica.

Quanto ao armazenamento da energia captada, observou-se que as baterias são elemento vital na confiabilidade de sistemas de energia, uma vez que é esta energia que elas armazenam que manterá a carga em funcionamento, e para cumprir bem este papel as mesmas devem apresentar-se com boa qualidade e devidamente carregadas. Grande parte dos sistemas de armazenamento de energia solar utiliza baterias estacionárias de chumbo-ácido que, sob condições adequadas de uso, possuem uma vida útil entre três e quatro anos, segundo fabricantes. Há dois problemas na operação desse tipo de baterias: o primeiro é que um processo de carga inadequado pode propiciar uma recarga insuficiente ao banco de baterias, diminuindo sua capacidade; e o segundo e mais grave, a recarga com níveis inadequados de tensão, descargas profundas e problemas de sulfatação podem reduzir em mais de 50% a vida útil das baterias.

Ao analisar os sistemas responsáveis pelo carregamento e monitoramento das baterias de sistemas de energia solar já existentes, foi observado que muitos deles não realizam o processo de carregamento de forma adequada, por vezes as danificando de forma irreversível. Este processo traz danos ao usuário do sistema, uma vez que acarreta aumento dos gastos com a compra de baterias em um intervalo de tempo menor que o previsto e diminui a confiabilidade no sistema, tendo ele sido projetado para possuir um nível de autonomia que não é alcançado na prática.

O trabalho apresentado foi pensado de modo atuar diretamente no controle de carga e recarga das baterias armazenadoras de energia. Ao monitorar tensões e correntes fornecidas às baterias durante as etapas do processo de recarga, bem como as cargas – consumidoras – ligas a elas, procurou-se evitar tanto a recarga insuficiente quanto a sobrecarga das baterias, de forma a garantir o maior número de ciclos de carga/descarga possíveis para o modelo escolhido, a bateria B00924 – UNIPOWER.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

- 1 microcontrolador ATMEL AT89S52
- 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
- Fonte regulável de tensão DC
- Osciloscópio digital
- Fios para contato
- Protoboard
- Multímetro
- Datasheet bateria B00924 – UNIPOWER.
- Datasheet dos componentes

2.2 Métodos

Após estudos sobre os armazenadores de energia comumente utilizados nos sistemas solares, foi escolhida a bateria de chumbo-ácido selada (SLA – Sealed Lead Acid) modelo B00924 – UNIPOWER, de onde foram retirados os valores para serem parâmetros dos cálculos para determinação de componentes e para o próprio algoritmo. Devido ao baixo custo e a mínima manutenção, baterias SLA são a melhor escolha para sistemas confiáveis. No entanto, elas são projetadas com um baixo potencial de sobretensão para evitar que a bateria alcance um ponto de geração de gases durante o processo de recarga, o que significa que elas não podem ser descarregadas abaixo de um nível muito baixo de tensão ou recarregadas até seu máximo potencial.

A partir deste problema, pesquisou-se alguns métodos de carga para as baterias de chumbo ácido, e percebeu-se que há, fundamentalmente, dois métodos diferentes: a Carga de Tensão Constante, processo que demanda uma quantidade de tempo maior no qual a tensão na bateria é mantida constante e o estado da bateria determina a corrente de carga; e a Carga com Corrente Constante, processo que demanda uma quantidade menor de tempo, geralmente empregada em aplicações cíclicas e que iguala as cargas das células de chumbo-ácido da bateria. No entanto, após análise de cada um destes métodos básicos, bem como de variações deles percebeu-se a vantagem em associar a operação de corrente constante com a operação de tensão contínua, a fim de promover um método de carga completo para a bateria. Foi então que decidiu-se utilizar o Algoritmo de Carga de Quatro Estados, ou Método Duplo Nível de Tensão, que combina a vantagem da carga com corrente constante para igualar as células da bateria de forma rápida e segura, com a carga com tensão constante, para realizar o controle da sobrecarga e recuperar a capacidade de carga completa da bateria, garantindo o melhor desempenho da mesma.

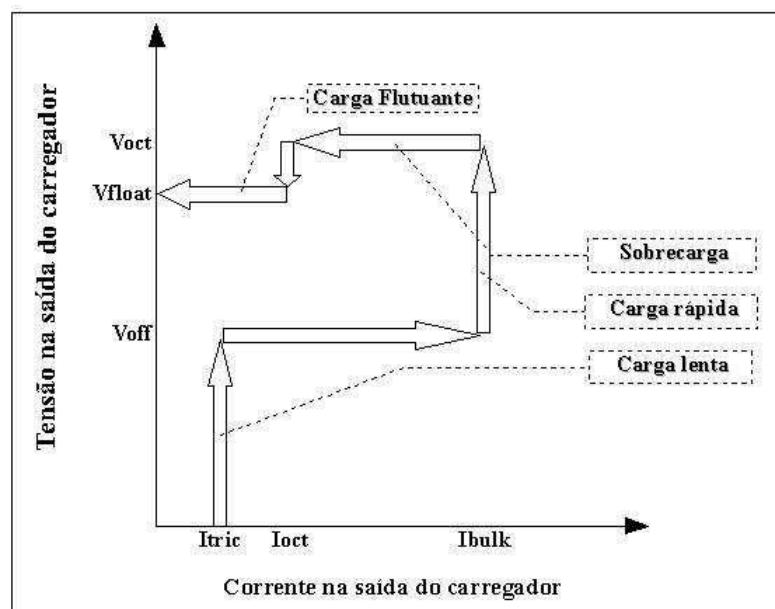


Figura 1 – Algoritmo de carga de quatro estados

Os quatro estados de operação do algoritmo são: carga lenta, carga rápida, sobrecarga e carga flutuante, como mostrado na Figura 1. Ao considerar uma bateria completamente descarregada, as sequências entre os estados seriam:



1º ESTADO: Carga Lenta

Se a tensão da bateria estiver abaixo da tensão limite, deverá ser aplicada a corrente de carga lenta, denominada I_{TRICK} . Após o período de carga lenta a tensão nominal atinge o valor de descarga profunda, denominada V_{OFF} . Quando a tensão da bateria atinge um nível acima da tensão limite, o estágio de carga lenta é abandonado e passa-se então para o processo de carga rápida.

2º ESTADO: Carga Rápida

A corrente máxima permitida, denominada I_{BLK} é aplicada à bateria, e durante o tempo no qual ela é aplicada a carga da bateria é rapidamente restaurada. Quando a tensão da bateria atinge o nível de tensão de sobrecarga o estado de carga rápida é abandonado.

3º ESTADO: Sobrecarga

Durante este período a tensão da bateria é regulada. O valor inicial da corrente é igual ao de carga rápida, no entanto à medida que a tensão da bateria aproxima-se da tensão máxima, denominada V_{OCT} , este valor de corrente é diminuído até atingir o valor de corrente de limiar I_{OCT} , finalizando o processo de sobrecarga. O decrescimento da corrente é importante neste estágio para que a tensão não ultrapasse o limite de tensão máxima.

4º ESTADO: Carga Flutuante

Neste estágio somente será suprida corrente a fim de compensar a descarga própria da bateria, que ocorre naturalmente em função da temperatura.

Uma vez conhecendo os parâmetros necessários para o monitoramento com o algoritmo, foi preciso encontrar os valores de tensão entre os terminais para a bateria escolhida, que são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Níveis de tensão da bateria

Estados	Tensão da bateria (V)
Descarregado	Abaixo de 10,5 (V_{OFF})
Flutuação	Entre 12,9 e 13,8 (V_{FLOAT})
Equalização	Entre 14,16 e 15 (V_{OCT})
Sobretensão	Acima de 15

De forma análoga, precisou-se definir alguns níveis de corrente, mostrados na Tabela 2, que devem ser colocados como parâmetros no processo de carga a fim de não comprometer a bateria. Os valores foram obtidos a partir do datasheet da bateria escolhida.

Tabela 2 – Níveis de corrente da bateria

Corrente	Valor (A)
Corrente máxima permitida (I_{BLK})	10% da capacidade nominal
Corrente de carga lenta (I_{TRICK})	1% da capacidade nominal
Corrente de limiar (I_{OCT})	$I_{BLK}/5$

Para fornecer os diferentes níveis de tensão e corrente necessários à bateria durante seu processo de carga, o algoritmo faz uso da técnica da modulação por largura de pulso (PWM – Pulse Width Modulation). Esta técnica pulso utiliza-se do chaveamento para variar a largura de pulso do sinal e também o intervalo entre os pulsos, tornando possível o controle da tensão aplicada à uma carga.



O mecanismo de chaveamento resulta em uma onda quadrada como a ilustrada na Figura 2.

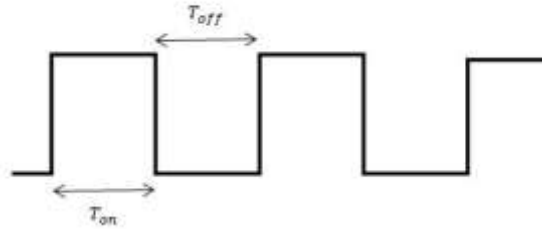


Figura 2 – Onda quadrada

O tempo de T_{on} indicado na figura corresponde intervalo no qual a chave estará aberta, fornecendo a voltagem necessária, e T_{off} indica o tempo no qual a chave permanecerá aberta, não fornecendo nível de tensão algum. A tensão média fornecida à bateria será determinada pelo T_{on} . As figuras abaixo são resultado da implementação do PWM, e mostram diferentes larguras de pulso obtidas a partir da mesma rotina.

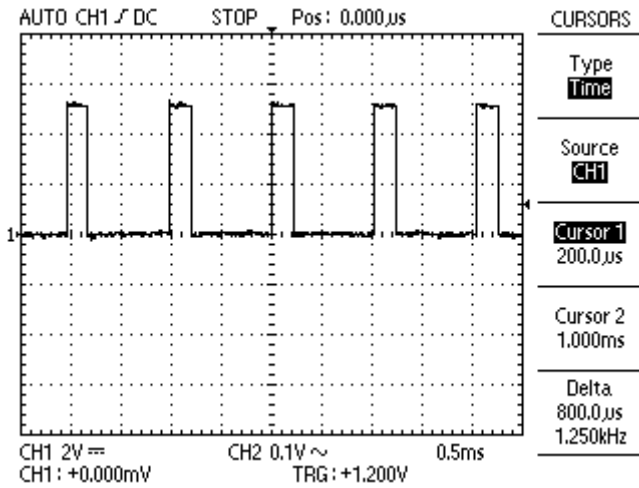


Figura 3 – PWM com T_{on} de 20%

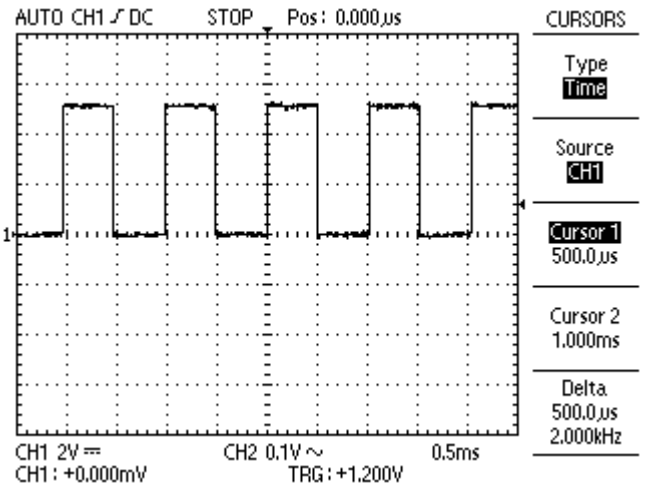


Figura 4 – PWM com T_{on} de 50%

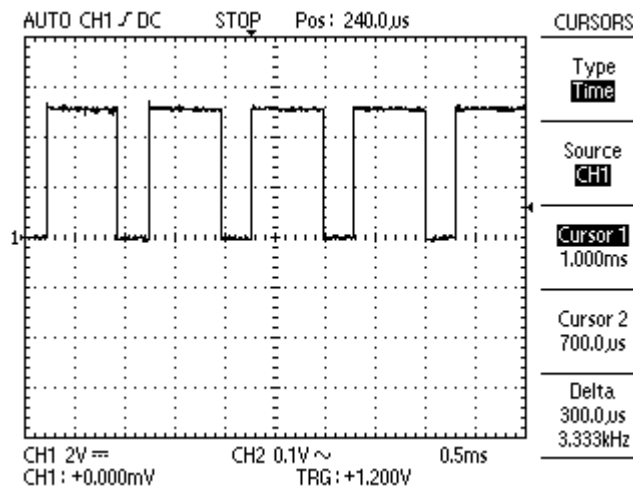


Figura 5 – PWM com T_{on} de 70%

A Figura 3 ilustra uma onda quadrada de PWM com 20% de T_{on} , garantido a entrega de 20% do valor de tensão total para a bateria. De forma análoga, a Figura 4 ilustra uma onda com 50% de T_{on}



,garantindo a entrega de 50% do valor total de tensão para a bateria e a Figura 5 ilustra uma onda com 70% de T_{on} , garantindo a entrega de 70% do valor total de tensão para a bateria.

Foi visto ainda que o chaveamento é feito por de um conversor DC-DC do tipo buck, como o ilustrado na Figura 6.

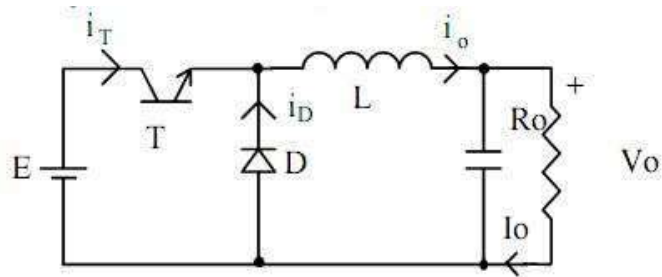


Figura 5 – Conversor DC-DC do tipo buck

Esta topologia de conversor foi escolhida porque sua tensão de saída dependerá apenas da largura de pulso do PWM quando ele estiver operando em modo contínuo. Este modo de condução é definido pela corrente que flui através do indutor quando o diodo conduz. Quando a corrente não vai a zero é dito que o buck está operando em modo de condução contínua, e quando esta condição não é verificada é dito que o modo de condução é descontínuo.

Por meio do uso dos recursos citados acima, o sistema de controle de carga/recarga da bateria percorre as etapas ilustradas através do fluxograma da Figura 6.

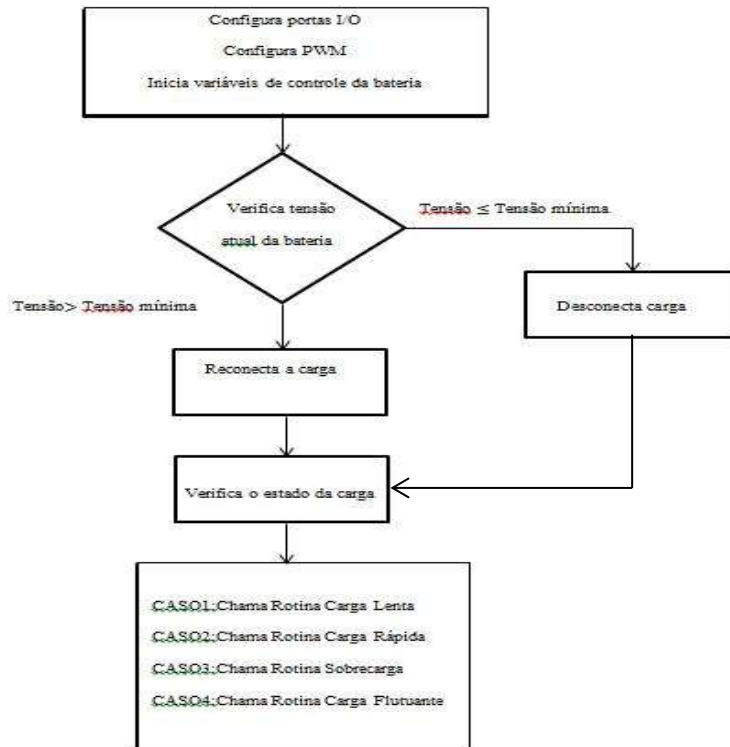


Figura 6 – Fluxograma de funcionamento do sistema de controle



3. CONCLUSÃO

A elaboração deste controle de carga/recarga para baterias de chumbo ácido deixou bem clara a complexidade do processo de recarga das baterias. Dentre os métodos de carga estudados, o método de dupla tensão ou algoritmo de quatro estados foi o que demonstrou maior controle dos diversos parâmetros a serem monitorados e respeitados para que o processo aconteça em sua forma ótima, garantindo um maior número de ciclos de recarga e consequentemente obtendo a melhor relação custo benefício. O conversor buck, ainda que apresente topologia simples, quando trabalhando em modo contínuo garante uma relação direta entre a largura de pulso e a tensão de saída. Algumas melhorias podem ser apontadas para este sistema, como a utilização de um display para que o usuário/proprietário do sistema possa acompanhar as etapas do processo de carga/recarga e um sistema de monitoramento da temperatura das baterias, a fim de eliminar alguma perda causada pela variação desta temperatura.

REFERENCIAS

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

CLARKE, A. W. **World Energy Council**. Disponível em: <http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/default.asp> Acessado em JUN 2012

JANNUZZI, G. de M. **As fontes alternativas de energia solar**. Disponível em: www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/Asfontesalternativasdeenergia-solar.doc. Acessado em JUL 2012

JUNIOR,C. **Curso de microcontroladores Família MCS51® - Hardware e Software**. 2009. Disponível em: www.corradi.junior.nom.br

LAZZARIN, T.B. **Estudo e implementação de um carregador de baterias com uma técnica de avaliação de sua vida útil**. 2006 Tese (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006

SILVA, J. V. P. **Aplicações práticas do microcontrolador 8051**. 7. Ed. São Paulo, Érica, 1998.