

Evento: IX Seminário de Inovação e Tecnologia - BOLSISTAS DE GRADUAÇÃO UNIJUI

**CONTROLADOR DE CARGA DE BATERIAS COM CONVERSOR BUCK
SÍNCRONO PARA UTILIZAÇÃO NA VALIDAÇÃO DE MODELOS
MATEMÁTICOS¹
BATTERY CHARGE CONTROLLER WITH SYNCHRONOUS BUCK
CONVERTER TO BE USED IN THE VALIDATION OF MATHEMATICAL
MODELS**

**Leonardo Antônio Brum Viera², Paulo Sérgio Sausen³, Douglas Flores
Copetti⁴, Rodrigo Augusto Sônego⁵, Leonardo Armando Frizzo⁶**

¹ Pesquisa Institucional desenvolvida no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias (DCEEng), pertence ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC)

² Aluno do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da UNIJUI, bolsista PIBITI/CNPq

³ Professor da Pós-graduação em Modelagem Matemática e da Ciência da Computação da UNIJUI, Orientador do Projeto

⁴ Aluno do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da UNIJUI, bolsista PIBIT/FAPERGS

⁵ Aluno do Curso de Graduação em Ciências da computação da UNIJUI, bolsista PIBIT/UNIJUI

⁶ Aluno do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da UNIJUI, bolsista PIBEX/UNIJUI

1. INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico nas últimas décadas tem aumentado de forma exponencial, acarretando mudanças positivas para toda a sociedade (KUSIAK, 2016). Neste contexto tecnológico encontram-se os dispositivos móveis, que permitem a comunicação entre pessoas e o acesso rápido à informação. A mobilidade destes dispositivos é obtida com auxílio de uma fonte de energia, denominada bateria (FRANSOZI et. al, 2015). Assim, pode-se afirmar que a utilização destes dispositivos é condicionada ao tempo de vida das baterias que o alimentam (SCHNEIDER, 2011). Este tempo pode ser definido como o tempo em que a bateria leva para atingir determinado nível de carga (nível de *cutoff*) (RAKHMATOV & VRUDHULA, 2001). A partir do momento em que o nível de *cutoff* é alcançado as reações eletroquímicas cessam e não é mais fornecida energia ao sistema. Por isso, torna-se importante a existência de métodos capazes de prever o tempo de vida de baterias, assim como representar seu comportamento dinâmico (FRANSOZI, 2015).

Um dos métodos de estimar o tempo de vida de uma bateria é a realização de experimentos físicos, executando medições e, posteriormente, a análise de dados, porém este processo apresenta um alto custo de implementação e em algumas condições torna-se inviável. Uma solução é a utilização de modelos matemáticos que descrevem a bateria em situações de carga e descarga. Desta forma é possível utilizar os modelos para estimar parâmetros e realizar previsões sobre as características das baterias.

Durante o processo de modelagem matemática das baterias, existem várias etapas que devem ser seguidas, visando encontrar o modelo mais realista do sistema. Uma destas etapas, é a

Evento: IX Seminário de Inovação e Tecnologia - BOLSISTAS DE GRADUAÇÃO UNIJUI

validação do modelo, pois exige a necessidade de um conjunto de dados obtidos a partir de experimentos físicos reais, que são comparados com os resultados obtidos da simulação computacional dos modelos desenvolvidos. Desta forma, são desenvolvidas plataformas de teste, que mantêm as baterias sobre ciclos periódicos de carga e descarga, monitorando e armazenando as variações de suas características ao longo do processo. O objetivo deste artigo é apresentar o desenvolvimento de um controlador de carga de baterias de Litio-Ion, que posteriormente será embarcado em uma plataforma de teste de baterias (testbed).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do controlador foi dividido em partes, e estas serão apresentadas no decorrer da seção.

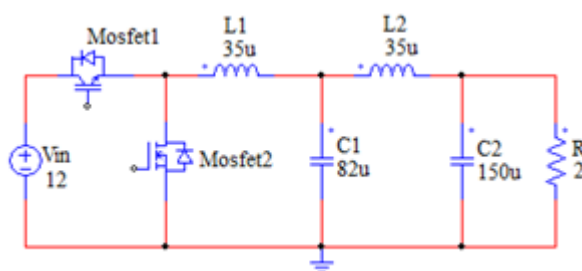
2.1 Sistema de Potência e Acionamento

Inicialmente é necessário atribuir as características do conversor buck, de acordo com o as especificações demandadas pelo projeto. Na carga de baterias de lito-íon deseja-se uma baixa ondulação residual (*ripple*) de tensão concomitantemente um nível de corrente constante durante o processo de carga. Além disso, a plataforma de testes necessita que a corrente de carga seja adaptativa durante o processo, desta forma, necessitando que o conversor tenha uma resposta relativamente rápida. As células de bateria submetidas aos testes são de 3,7 V - 4,2 V, e sua corrente de carga pode variar de 0 a 4 A, ou seja, o carregador deve operar nesse alcance.

2.1.1 Parâmetros do Conversor

Para alcançar a performance descrita anteriormente foram selecionados os parâmetros e posteriormente as características do conversor. Considerando uma variação de tensão (ΔV_o) de 0,1% e uma variação de corrente no indutor (ΔI_L) de 0,25 %, optou-se por utilizar um filtro de quarta ordem na saída do conversor com as seguintes características: dois indutores de 35 μ F, um capacitor de 82 μ H e mais um capacitor de 150 μ H. Desta forma, utilizando também uma frequência de chaveamento de 50 kHz o conversor garantiu um sinal CC de ótima qualidade na saída. O circuito de potência pode ser visualizado na Figura 1.

Fig. 1. Circuito de potência - Conversor Buck



Evento: IX Seminário de Inovação e Tecnologia - BOLSISTAS DE GRADUAÇÃO UNIJUI

2.1.2 Circuito de acionamento

Para gerar os sinais de controle das chaves, foi utilizado o microcontrolador PIC18F14K50, o mesmo possibilita a configuração de um sinal PWM complementar, possibilitando o acionamento do MOSFET superior e inferior de forma síncrona. Além disso, esse microcontrolador permite o uso de *dead time* entre os comandos de acionamento das chaves, desse modo, evitando *crossover* entre fechamento e abertura das mesmas.

Estão sendo utilizados dois MOSFET de canal tipo N, devido à estes possuírem RDS (*drain-source on resistance*) inferior e custo reduzido comparado com os MOSFET canal tipo P. Desta maneira, necessita-se fazer uso de um driver de acionamento que seja capaz de acionar as duas chaves suprindo a corrente de comporta da mesmas. Neste caso utilizou-se o CI IR2110, este apresenta também um circuito de *bootstrapping* que garante o acionamento correto da chave superior. Após a seleção dos componentes do circuito utilizou-se o software Multisim™ para simulação do mesmo em malha aberta, com objetivo de estimar o comportamento e perdas dos componentes, pois à ferramenta disponibiliza componentes com características reais.

2.3 Projeto do Controlador

Após definição dos parâmetros e características do circuito, iniciou-se o projeto de controle do conversor buck. Optou-se pela utilização de um controlador PI, pois é robusto, preciso e de fácil projeto.

O primeiro passo para calcular os ganhos de um compensador é encontrar a função de transferência (*ft*) que represente a planta do sistema a ser controlado. Neste caso a planta é o conversor buck, como o mesmo utiliza um filtro LC de quarta ordem na saída, a análise analítica do sistema se torna mais complexa. Desse modo, utilizou-se uma abordagem distinta para obter a *ft*. Essa abordagem consiste em submeter o circuito buck montado em prática a uma entrada em degrau, e monitorar a resposta através do osciloscópio. Em ambos os casos a função de transferência do sistema tem o *duty cycle* (Razão cíclica do conversor) como entrada e a corrente na carga como saída. Após levantar os dados da resposta transitória utilizou-se o software Matlab® com a ferramenta *System Identification*, que faz a análise dos dados e com alguns parâmetros de entrada retorna à função de transferência do sistema. Como a ferramenta *System Identification* utiliza métodos numéricos, a função de transferência obtida e apresentada na Equação (1) teve aproximação de 97,89%, comprovando que esta representa de forma fiel o comportamento do sistema.

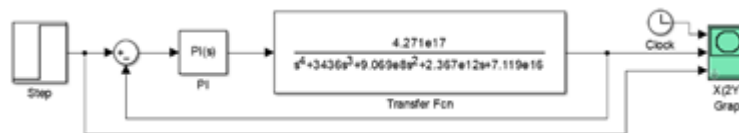
$$\frac{I_o(s)}{V_{in}(s)} = \frac{4,271 \times 10^{17}}{s^4 + 3436 s^3 + 9,069 \times 10^8 s^2 + 2,367 \times 10^{12} s + 7,119 \times 10^{16}} \quad (1)$$

Utilizando a ferramenta *Simlink* do Matlab® foi possível montar o sistema e simular em malha fechada, esse processo está ilustrado na Figura 2. Através da opção *Tune* do bloco PI é possível fazer a sintonia dos ganhos, baseando-se nos critérios de projeto. Os ganhos encontrados para o

Evento: IX Seminário de Inovação e Tecnologia - BOLSISTAS DE GRADUAÇÃO UNIJUI

controlador foram $K_p = 0.1$ e $K_i = 21$.

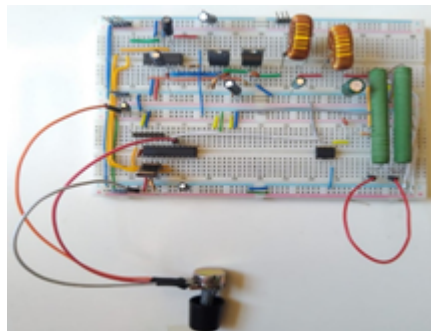
Fig. 2. Diagrama de blocos do modelo simulado



2.5 Montagem prática

A montagem prática do circuito foi realizada com auxílio da Protoboard conforme Figura 3.

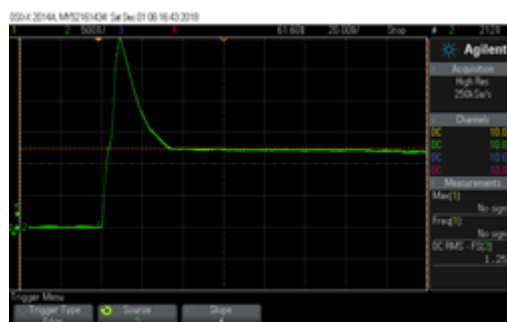
Fig. 3. Circuito implementado na Protoboard



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validar a solução proposta foram realizados testes utilizando um *setpoint* de 1,25 A, e a bateria foi simulada a partir de uma carga resistiva. Os dados foram obtidos com o auxílio do osciloscópio. A resposta para um degrau do conversor está ilustrada na Figura 4.

Fig. 4. Forma de onda da corrente de saída do conversor quando submetido a uma entrada degrau



Evento: IX Seminário de Inovação e Tecnologia - BOLSISTAS DE GRADUAÇÃO UNIJUI

Pode se observar que em regime transitório a mesma apresenta um considerado *overshoot*, porém é durante um pequeno instante de tempo de aproximadamente 30ms, já em regime permanente a forma de onda permanece contínua e controlada mantendo um nível de corrente de 1,38 A.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados obtidos observou-se a necessidade de empregar sensores de maior resolução e sensibilidade, para garantir uma equipotencialização entre a leitura do microcontrolador e o sinal de saída. Concomitantemente devido ao sobressinal apresentado durante o período transitório, mesmo contrariando a bibliografia, torna-se necessário aplicar um controlador do tipo D (derivativo) de forma atenuar o sobre sinal transitório. Analisando o sinal de saída torna-se evidente a necessidade da confecção de uma PCI para amenizar ou até eliminar ruídos presentes durante a mediação. O próximo passo do projeto é testar o conversor utilizando as baterias de Litio-Ion.

REFERÊNCIAS

KUSIAK, Rita Salete. **Modelagem Matemática do Tempo de Vida de Baterias de Lítio Íon Polímero a partir de Modelos Híbridos considerando Correntes de Descarga Variáveis**. 2016. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem Matemática, Departamento das Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2016. Cap. 1.

FRANSOZI, Luana; SAUSENN, Airam; SAUSEN, Paulo S. **Desenvolvimento de um Modelo Híbrido de Baterias**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMATICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 3., 2015. Anais.... Natal: Páginas & Letras, p.1-2.

SCHNEIDER, Keila Kleveston. **Baterias Utilizadas em Dispositivos Móveis**. 2011. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem Matemática, Departamento das Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2011. Cap. 1

Palavras-chave: Conversor Buck; Baterias; Controle.

Keywords: Buck Converter; Battery; Control.