



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE O MODELO ELÉTRICO *BATTERY* E DADOS EXPERIMENTAIS DE UMA BATERIA DE ÍON LÍTIO¹

Cleber Mateus Duarte Porciuncula²; Paulo Sérgio Sausen³; Airam Sausen⁴

¹Descrição do trabalho: Trabalho resultante da atuação de bolsista em projeto de dissertação do Mestrado em Modelagem Matemática da UNIJUI;

²Estudante do Curso de Mestrado em Modelagem Matemática e bolsista CAPES do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUI; E-mail: cleber.porciuncula@gmail.com

³Professor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUI; Email:paulosausen@unijui.edu.br

⁴Professora do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUI ; E-mail: airam@unijui.edu.br

Resumo

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise comparativa entre os resultados das simulações para o tempo de vida de uma bateria utilizada em dispositivos móveis, considerando o modelo elétrico *Battery*, e dados experimentais de uma bateria de íon lítio Nokia BL-5F. O modelo elétrico *Battery*, foi simulado considerando três curvas de calibração, sendo que para a curva obtida a partir de uma corrente de 550 foi obtido o seu melhor erro médio do tempo de vida que foi de 2,60%.

Palavras-chave: simulações; tempo de vida; descargas contínuas; erro médio.

Introdução

As baterias eletroquímicas têm sido um dos principais focos de estudo e pesquisa para o ambiente de sistemas elétricos. Estas baterias, que alimentam a grande maioria dos dispositivos eletrônicos portáteis atuais, permitem armazenar energia em forma química para posteriormente converter a mesma em energia elétrica, objetivando o fornecimento de energia ao sistema [Chen 2006]. Atualmente, são inúmeras as áreas de aplicação destas baterias, por exemplo, na área da saúde, em marca passos; na área automotiva, em veículos híbrido-elétricos; na área de dispositivos eletrônicos portáteis, em celulares, câmaras digitais, *notebooks*, *ipads*; entre outras.

Considerando o crescimento, nos últimos anos, na utilização de dispositivos eletrônicos portáteis, tem ocorrido um aumento na necessidade de baterias cada vez menores, mais leves e de melhor desempenho. Porém, esta evolução ainda não acompanha a progressiva demanda de energia e de limitação de tamanho, exigida pelos dispositivos móveis atuais [Chen 2006].

É importante destacar que o funcionamento de um dispositivo móvel eletrônico está condicionado ao estado de carga da bateria que o alimenta. Por este motivo, no projeto deste dispositivo, existe a preocupação com o tempo de vida da bateria, que é por definição o tempo



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

que a mesma demora para atingir um determinado nível de capacidade de carga denominado nível de *cutoff*, quando este nível é alcançado a bateria não é mais capaz de fornecer energia elétrica ao sistema, sendo considerada descarregada.

Surge então a necessidade de haver um método capaz de prever o tempo de vida das baterias, e conseqüentemente, do sistema que é alimentado por elas. Uma das formas citadas na literatura de realizar esta previsão é a partir da utilização de modelos matemáticos que simulam a descarga de energia das baterias.

Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é realizar um estudo comparativo entre o modelo elétrico *Battery*, presente no aplicativo *MatLab/Simulink*, e resultados obtidos a partir de uma plataforma de teste [Nonemacher *et al.* 2010] construída especialmente para avaliar modelos de descarga de baterias. A bateria utilizada para executar os experimentos reais e as simulações é uma bateria de íon lítio Nokia, modelo BL-5F, utilizada na alimentação de telefones celulares da marca Nokia (e.g., Nokia N95).

O modelo elétrico *Battery* representa os mais populares tipos de baterias recarregáveis (i.e., íon lítio, níquel cádmio, níquel metal hidreto e chumbo ácido), e a partir dele é possível simular o comportamento de descarga de um tipo específico de bateria, mediante a introdução de parâmetros [Mathworks 2010].

O restante deste resumo está organizado como segue. Na Seção 2 é apresentada a metodologia utilizada neste trabalho. Na Seção 3 é apresentada a comparação entre os resultados das simulações do modelo elétrico *Battery*, com os resultados obtidos a partir da plataforma de testes. E por fim, na Seção 4 são apresentadas as conclusões.

Metodologia

Nesta seção é apresentada a metodologia utilizada nos testes experimentais e nas simulações computacionais, considerando uma bateria de íon lítio Nokia, modelo BL-5F, de 950 - 3,7 . Todas as simulações computacionais são comparadas com dados experimentais obtidos a partir de uma plataforma de testes, especialmente desenvolvida para esta finalidade. A plataforma de testes é constituída por três componentes: sistema de controle, circuito e bateria. O sistema de controle (*software*) apresenta uma interface intuitiva, disponibilizando a partir de gráficos as informações coletadas pelos sensores de tensão e corrente. O circuito é composto por um microcontrolador e possui a tarefa de realizar a comunicação com o computador, bem como de administrar os módulos de sensoriamento e controle de descarga [Nonemacher *et al.* 2010]. Mais detalhes sobre o funcionamento da plataforma podem ser obtidos em [Nonemacher *et al.* 2010].

Nos testes experimentais, foi realizada uma série de ensaios utilizando uma bateria de íon lítio Nokia modelo BL-5F, empregando-se uma metodologia na qual foram utilizadas dez descargas contínuas, e para cada uma destas descargas foram realizados dez ensaios objetivando a obtenção de uma amostragem estatística satisfatória. A partir destes ensaios, foi possível calcular as médias do tempo de vida para cada descarga contínua [Schneider 2011].

Para a realização das simulações do tempo de vida do modelo elétrico *Battery*, os parâmetros do modelo podem ser obtidos a partir de uma única curva de descarga da bateria

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

de íon lítio Nokia BL-5F, denominada curva de calibração, em conjunto com os dados do seu *datasheet*. Neste trabalho, objetivando verificar a partir de qual curva o modelo elétrico *Battery* apresenta os melhores resultados de simulação, foram escolhidas três curvas de calibração com descargas contínuas de 150 mA, 550 mA e 950 mA. Os parâmetros obtidos a partir destas três curvas, bem como os dados de seu *datasheet*, são apresentados na Seção 3.

Para as simulações do modelo elétrico *Battery*, na ferramenta computacional *Matlab/Simulink*, é utilizado o método numérico de *Bogacki Shampine* com o tamanho do passo fixado em 1 segundo. Nas simulações, a resistência interna da bateria é considerada constante. Devido a isto, para a definição do parâmetro de resistência interna, foi utilizado um valor que corresponde a 1% do produto da tensão nominal ou *cutoff* pela capacidade típica da bateria, conforme proposto em [Mathworks 2010]. O valor do parâmetro capacidade máxima foi considerado como 105% da capacidade típica da bateria, conforme também sugerido em [Mathworks 2010].

No primeiro momento, as simulações do modelo elétrico *Battery* foram realizadas considerando uma corrente nominal de descarga de 150 mA e parâmetros extraídos da curva experimental referente a uma descarga contínua de 150 mA. Logo em seguida, foi considerada uma corrente nominal de descarga de 550 mA e por fim, uma corrente nominal de descarga de 950 mA.

Resultados e Discussões

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos neste trabalho. Nas Tabelas 2, 3 e 4 são apresentados os tempos de vida médios da bateria de íon lítio modelo BL-5F adquiridas de forma experimental e os tempos de vida estimados, obtidos através de simulações realizadas a partir do modelo elétrico *Battery*, considerando as correntes nominais de descarga de 150 mA,

550 mA e 950 mA respectivamente. Os parâmetros conseguidos a partir das curvas reais de descarga, para as três correntes nominais de descarga, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros utilizados nas simulações de descarga da bateria de íon lítio BL-5F

Parâmetros	Descarga de 150	Descarga de 550	Descarga de 950
Tensão de <i>cutoff</i>	3,10	3,10	3,10
Capacidade típica	0,950	0,950	0,950
Estado de carga	100%	100%	100%
Capacidade máxima	0,9975	0,9975	0,9975
Tensão com carga completa	4,20	4,20	4,20
Corrente de descarga nominal	0,150	0,550	0,950
Resistência interna	0,02945	0,02945	0,02945
Capacidade na tensão nominal	0,8129	0,7912	0,7365

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

Zona Exponencial (tensão, capacidade)	3,7 - 0,5032	3,7 - 0,2105	3,7 - 0,0240
---------------------------------------	--------------	--------------	--------------

Tabela 2. Resultados experimentais e simulados (150)

Descarga contínua ()	Experimento	Simulação	
	Tempo de vida ()	Tempo de vida ()	Erro no tempo de vida (%)
100	29022,6	29565	1,88
250	11539,2	11467	0,63
350	8175	8019	1,91
450	6342	6103	3,77
550	5148	4882	5,17
650	4243,8	4037	4,87
750	3644,4	3417	6,24
850	3102	2942	5,16
950	2802	2567	8,39
Erro médio (%)			4,22

Tabela 3. Resultados experimentais e simulados (550)

Descarga contínua ()	Experimento	Simulação	
	Tempo de vida ()	Tempo de vida ()	Erro no tempo de vida (%)
100	29022,6	30732	5,89
150	19540,2	20324	4,01
250	11539,2	11997	3,97
350	8175	8428	3,09
450	6342	6444	1,61
650	4243,8	4305	1,44
750	3644,4	3663	0,51
850	3102	3171	2,22
950	2802	2783	0,68
Erro médio (%)			2,60

Tabela 4. Resultados experimentais e simulados (950)

Descarga contínua ()	Experimento	Simulação	
	Tempo de vida ()	Tempo de vida ()	Erro no tempo de vida (%)
100	29022,6	30779	6,05
150	19540,2	20357	4,18
250	11539,2	12019	4,16
350	8175	8445	3,30
450	6342	6458	1,83

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

550	5148	5193	0,87
650	4243,8	4317	1,72
750	3644,4	3674	0,81
850	3102	3181	2,55
Erro médio (%)			2,83

A aproximação entre os tempos de vida experimentais e simulados nas Tabelas 2, 3 e 4 indica que o modelo elétrico *Battery* prediz o tempo de vida da bateria com uma precisão razoável. Observa-se que para as três calibrações consideradas (i.e., com corrente nominal de descarga de 150 , 550 e 950) o modelo continua apresentando um erro médio que não ultrapassa 5%, que é um erro esperado no caso de modelos elétricos [Chen 2006].

Considerando que a bateria de íon lítio utilizada possui uma capacidade típica de 950 , para as simulações primeiramente foi feita a calibração do modelo com parâmetros baseados em uma corrente nominal de descarga baixa (150), posteriormente em uma corrente nominal intermediária (550) e finalmente em uma corrente nominal alta (950). O modelo apresentou um erro médio menor quando sua calibração foi realizada com parâmetros da curva experimental de descarga baseada na corrente nominal de descarga de 550 . Este erro foi de 2,6%.

Observa-se também, principalmente nas Tabelas 2 e 4, que os erros no tempo de vida apresentados pelo modelo, aumentam à medida em que os valores das descargas contínuas se afastam do valor da corrente nominal de descarga utilizada para calibrar o modelo. Embora isto não esteja evidente na Tabela 3, nota-se que os erros apresentados em cada uma das três Tabelas possuem uma diferença considerável entre o mínimo e o máximo de erro no tempo de vida. E isto acontece, justamente, devido ao modelo elétrico *Battery* não capturar um efeito não-linear importante, que ocorre na bateria durante seu processo de descarga, chamado de efeito de taxa de capacidade.

É importante destacar que todas as simulações executadas pelo modelo elétrico *Battery* podem ser baseadas em uma única curva experimental de descarga. Os parâmetros obtidos a partir desta curva são utilizados para inicializar o modelo elétrico, e após esta inicialização basta alterar a corrente de descarga do modelo, para que ele simule outro tempo de vida. Mas neste trabalho, as simulações foram baseadas em três curvas de descarga, objetivando verificar a partir de qual delas, o modelo apresentou melhores resultados simulados.

Conclusão

Neste trabalho foi realizada a análise e comparação do modelo elétrico *Battery*, presente na ferramenta computacional *MatLab/Simulink*, com dados reais obtidos a partir de uma plataforma de testes. Primeiramente foram apresentados os parâmetros utilizados nas simulações, e logo em seguida, os resultados simulados do modelo considerando três correntes nominais de descarga (i.e., 150 , 550 e 950), comparados com dados experimentais. O menor erro médio na estimação do tempo de vida apresentado pelo modelo elétrico *Battery* foi de 2,60% quando utilizados os parâmetros obtidos a partir da corrente nominal de descarga de 550 . Este erro médio está



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 JP - XVI Jornada de Pesquisa

dentro dos limites de erro esperado para um modelo elétrico. Neste contexto, pode-se concluir que o modelo elétrico *Battery* apresenta bons resultados, na estimação do tempo de vida da bateria considerada, utilizando-se somente três curvas experimentais de descarga para a obtenção de seus parâmetros.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro da CAPES, à Unijuí pelo curso de Mestrado e à comissão organizadora deste evento.

Referências

Chen, M. (2006), *Student Member, IEEE*, and Gabriel A. Rincón-Mora, *Senior Member, IEEE*. “Accurate Electrical Battery Model Capable of Predicting Runtime and $I-V$ Performance”. IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 21, NO. 2.

Jongerden, M.R. and Haverkort, B.R.H.M. (2008) “Which battery model to use?” In: 24th UK Performance Engineering Workshop, 3-4 Jul 2008, London, UK. pp. 76-88. Technical Report Series of the Department of Computing, Imperial College London (DTR08-9). Imperial College London. ISSN 1469-4166 ISBN 978-0-9559703-0-6.

Mathworks online. Disponível em:

<<http://www.mathworks.nl/access/helpdesk/help/toolbox/physmod/powersys/ref/battery.html>> Acesso em 15 dez. 2010.

Nonemacher, H. B., Minelli, L., Sausen, P. S., Sausen, A. (2010) “Desenvolvimento de um *testbed* para avaliação de modelos matemáticos utilizados na predição do tempo de vida de baterias”. Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, 24., Rio Grande. Anais. Universidade Federal do Rio Grande. p. 2-4.

Sausen, P. S. (2008) “Gerenciamento Integrado de Energia e Controle de Topologia em Redes de Sensores Sem Fio”. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande - Campus de Campina Grande, Paraíba, Brasil.

Schneider, K. K. (2011) “Avaliação de Modelos Analíticos na Predição do Tempo de Vida de Baterias Utilizadas em Dispositivos Móveis”. Trabalho de dissertação. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - Campus de Ijuí, RS, Brasil.

Projeto: Aplicação de Modelos Matemáticos na Predição do Tempo de Vida das Baterias que Alimentam Dispositivos Móveis.

