

Estimação em Tempo Real de Estados e Parâmetros de Bateria de Íons de Lítio

A. Nassabay, alexmagnus_000@hotmail.com¹

H. K. Kuga, helio.kuga@inpe.br²

R. O. Magalhães, renato.magalhaes@inpe.br¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, endereço para correspondência,

²Instituto Tecnológico da Aeronáutica, endereço para correspondência,

Resumo: Este trabalho obteve a identificação dos parâmetros elétricos de uma bateria de íons concomitantemente à obtenção do estado de carga mesma por meio do GIF - Generalized Identification Filter, derivado do Filtro de Kalman. A massa de dados utilizada são de baterias de íons de lítio do mesmo modelo, das embarcadas em satélites como os da série CBERS - China-Brazil Earth Resources Satellite. A análise dos dados foi feita em ambiente de simulação computacional, os parâmetros obtidos se mostraram em conformidade com os valores tipicamente esperados para a bateria analisada e o modelo adotado se mostrou capaz de prever adequadamente as tensões nos terminais da bateria e seu estado de carga.

Palavras-chave: Identificação de Sistema, Filtro de Kalman, Bateria

1. INTRODUÇÃO

Um satélite cuja fonte primária de energia seja o Sol, necessita de um meio de armazenamento de energia para absorver os impactos da intermitência tanto da disponibilidade de luz solar quanto do uso das cargas úteis embarcadas. O período de rotação é inversamente proporcional ao quadrado da altitude média de cruzeiro, o que leva a ciclos de iluminação-eclipse menores para satélites mais próximos à Terra. Satélites de órbita baixa (LEO - Low Earth Orbit), orbitam entre 500km e 1000km de altitude, e em especial os do programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite) fazem seu cruzeiro à 750km, com um período de aproximadamente 100 minutos e cerca de um terço deles em eclipse. Tal fato implica que o satélite se submete a 5256 ciclos de iluminação-eclipse/ano, estresse que é aplicado diretamente como ciclos de carga-descarga às baterias que atendem ao satélite (FREIRE, 2009).

Dado o papel central das baterias no sistema elétrico de um satélite, conhecimento sobre seu estado de carga e saúde são fundamentais. Por ser um sistema eletroquímico, baterias não constituem um sistema linear e seus parâmetros elétricos e estados são dependentes de múltiplas variáveis (MAGALHÃES et. al, 2008). Neste trabalho, a partir das informações de tensão e corrente da bateria, que são submetidas a monitoramento em tempo real, serão inferidos os estados e parâmetros do modelo elétrico de uma bateria.

2. PROCEDIMENTO COMPUTACIONAL

2.1. Modelo Elétrico de uma Bateria

O modelo adotado é um modelo de Thévenin (CHEN et. al, 2006), conforme apresentado na Fig. 1 e descrito no espaço de estados pelas Equações 1 e 2.

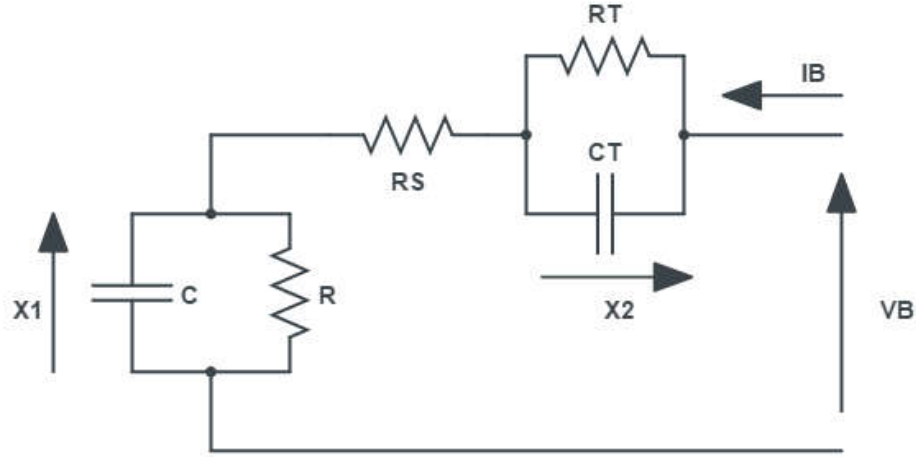


Figura 1. Modelo elétrico da bateria.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{RC} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{RTCT} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{C} \\ \frac{1}{CT} \end{bmatrix} [IB] \quad (1)$$

$$[VB] = [1 \quad 1] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + [RS][IB] \quad (2)$$

No modelo apresentado, C é a capacitância que armazena a carga da bateria, R é a resistência de descarga interna da bateria, RS é a resistência em série da bateria, CT é a capacitância em série apresentada nos terminais, RT é a resistência de descarga de CT, IB é a corrente pelos terminais e VB a tensão entre os terminais da bateria.

2.2. “Generalized Identification Filter” - GIF

Best (2015) apresenta o GIF como uma variante do Filtro Estendido de Kalman onde os parâmetros a serem identificados são agregados como estados em um modelo estendido, o qual é linearizado antes de ser submetido ao processamento pelo Filtro de Kalman. Para o modelo apresentado, tem-se as equações 3 a 5:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} [u] \quad (3)$$

$$[y] = [c_1 \quad c_2] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + [d][u] \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Z^T &= [z_1 \quad z_2 \quad z_3 \quad z_4 \quad z_5 \quad z_6 \quad z_7 \quad z_8 \quad z_9] = \\ &= [x_1 \quad x_2 \quad a_{11} \quad a_{22} \quad b_1 \quad b_2 \quad c_1 \quad c_2 \quad d] = \\ &= \left[x_1 \quad x_2 \quad -\frac{1}{RC} \quad -\frac{1}{RTCT} \quad \frac{1}{C} \quad \frac{1}{CT} \quad 1 \quad 1 \quad RS \right] \end{aligned} \quad (5)$$

onde z é o vetor de estados aumentado. Fazendo $z_{1-2} = f(z_{1-2}) = Ax + Bu$, $z_{3-9} = f(z_{3-9}) = 0$ e $h = C'z + Du$, tem-se os jacobianos das Equações 6 e 7. A elas se aplica o Filtro de Kalman, expresso pelas Equações 8 à 11, nas quais T é o intervalo de tempo entre medidas consecutivas e P* é a matriz de covariâncias estimada.

$$F = \frac{\partial f}{\partial z} = \begin{bmatrix} z_3 & 0 & z_1 & 0 & u & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & z_4 & 0 & z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$H = \frac{\partial h}{\partial z} = [1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad u] \quad (7)$$

$$K_k = P_k H_k^T [H_k P_k H_k^T + R]^{-1} \quad (8)$$

$$P_k^* = [I - K_k H] P_k \quad (9)$$

$$P_{k+1} = P_k^* + T[F_k P_k^* + P_k^* F_k^T + Q] \quad (10)$$

$$\hat{z}_{k+1} = \hat{z}_k + T f_k + K_k (y_k - h_k) \quad (11)$$

3. RESULTADOS

O algoritmo do GIF foi aplicado a um ciclo de carga. As Figuras 2 a 4 apresentam respectivamente IB, IV e a tensão estimada nos terminais, a evolução da tensão estimada nos terminais de sua variância, e a estimativa de carga da bateria. A Tabela 1 sintetiza o valor dos parâmetros elétricos encontrados.

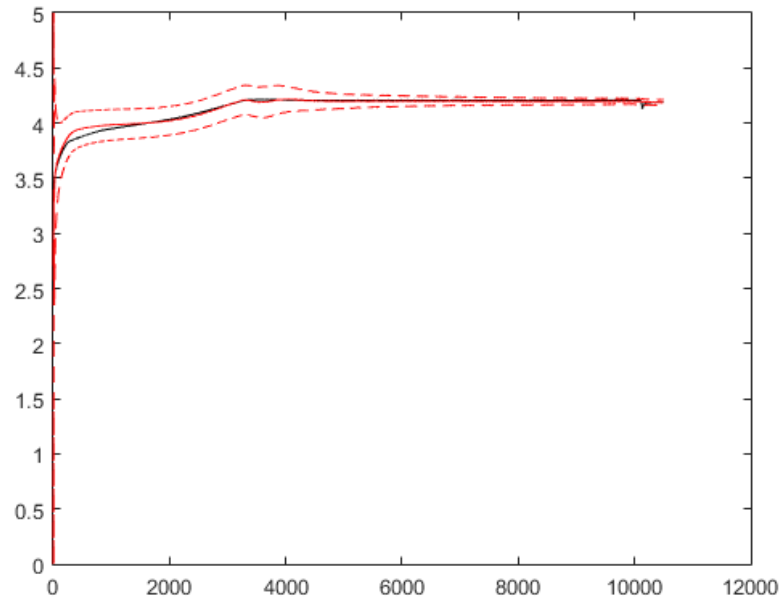


Figura 2. Convergência da estimativa da tensão entre os terminais. Em preto: VB, em Volts; Em vermelho, linha contínua: Estimativa de VB, em Volts; Em vermelho, linha tracejada: Tensões e $\pm\sigma$; Tempo em segundos.

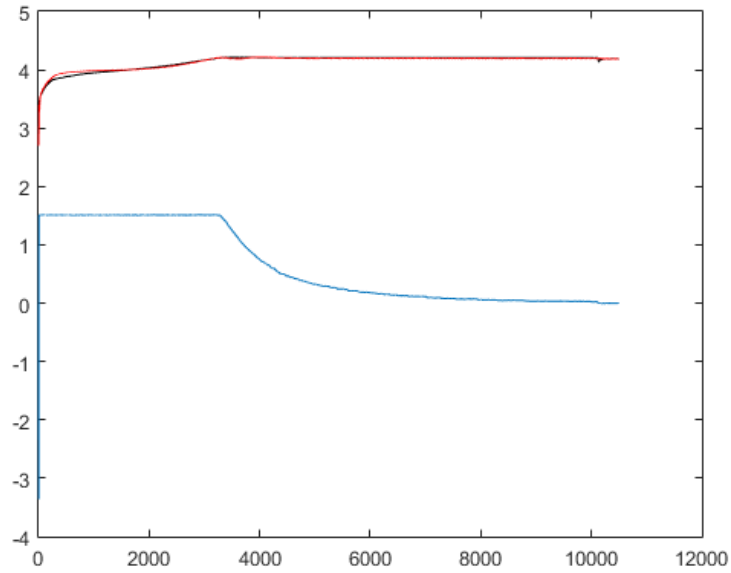


Figura 3. Estimativa da tensão entre os terminais. Em azul: IB, em Amperes; Em preto: VB, em Volts; Em vermelho: Estimativa de VB, em Volts; Tempo em segundos.

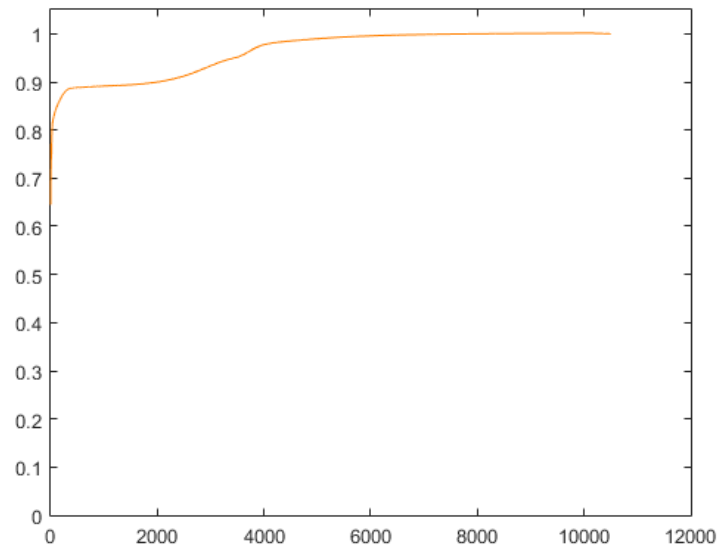


Figura 4. Evolução do estado de carga. Tensões em fração do valor de fim de carga e tempo em segundos.

Tabela 1. Parâmetros elétricos estimados.

Parâmetro	C	R	RS	CT	RT
Valor	3557,3 F	202,0 Ω	1,0 m Ω	1,0 μ F	182,7 m Ω

4. CONCLUSÃO

Este trabalho aplica com sucesso o Generalized Identification Filter para identificar os parâmetros de uma bateria e estimar concomitantemente o estado de carga, convergindo para valores razoáveis dos parâmetros elétricos com exceção do parâmetro R, para o qual se esperava um valor mais elevado. A análise contínua dos parâmetros da bateria pelo filtro

permite acompanhar como esta envelhece durante seu uso e, com isso, inferir sua saúde, permitindo prever uma possível falha ou necessidade de substituição.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao SPG-INPE e à CAPES pelo apoio, e a Dawn McIntosh e a equipe do Dashlink da NASA pela massa de dados utilizada

6. REFERÊNCIAS

- Best, M.C., “Linear MIMO Model Identification Using an Extended Kalman Filter”. 17th International Conference on Modelling, Identification and Control Engineering, 2015, Prague, Czech Republic.
- Chen, M. and Rincón-Mora, G. A., “Aa Accurate Electrical Battery Model Capable of Predicting Runtime and I-V Performance”. IEEE Transactions on Energy Conversion (TEC), vol. 21, no. 2, pp. 504-511, Jun. 2006.
- Freire, C. F. S., “Estudo de Topologias de Subsistemas de Suprimento de Energia de Satélites e Desenvolvimento de um Procedimento de Projeto da Topologia Híbrida”. São José dos Campos; INPE, 2009.
- Kuga, H. K. “Noções Práticas de Técnicas de Estimacão”. Notas de Aula. São José dos Campos, INPE, 2005. Disponível em: <http://www2.dem.inpe.br/hkk>. Acesso em: 21/02/2017
- ordalo, S.N., Ferziger, J.H. and Kline, S.J., 1989, “The Development of Zonal Models for Turbulence”, Proceedings of the 10th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Vol. 1, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 41-44.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelo conteúdo deste trabalho”.

REAL TIME ESTIMATION OF SATATES AND PARAMETERS OF A LI-ION BATTERY

A. Nassabay, alexmagnus_000@hotmail.com¹

H. K. Kuga, helio.kuga@inpe.br²

R. O. Magalhães, renato.magalhaes@inpe.br¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, endereço para correspondência,

²Instituto Tecnológico da Aeronáutica, endereço para correspondência,

Abstract. *This work estimates the state of charge and identifies the electrical parameter of a lithium-ion battery simultaneously through the use of GIF - Generalized Identification Filter, based on Kalman Filter. The data mass refers to batteries of the same model as the ones used on CBERS - China-Brazil Earth Resources Satellite – program. The data analysis was made in a computational simulation environment and the obtained parameters were in conformation with typical values expected for this battery type and the adopted model was able to properly predict the battery terminal voltage and state of charge.*

Keywords: *System Identification, Kalman Filter, Battery*