

APLICAÇÃO DE MODELOS ARX E ARMAX DA TEORIA DE IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS PARA PREDIÇÃO DO TEMPO DE VIDA DE BATERIAS QUE ALIMENTAM DISPOSITIVOS MÓVEIS¹

Joelson Lopes Da Paixão², Airam Teresa Zago Romcy Sausen³, Angélica Benetti Cezimbra⁴, Paulo Sérgio Sausen⁵.

¹ Projeto de pesquisa realizado no Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) da UNIJUI

² Aluno do curso de Engenharia Elétrica, Bolsista CNPq; E-mail: joelson.paixao@hotmail.com

³ Professora Doutora do Departamento das Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUI; E-mail: airamsausen@gmail.com

⁴ Aluna do curso de Engenharia Elétrica, Bolsista CNPq; E-mail: angelica.cezimbra@gmail.com

⁵ Professor Doutor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUI, Coordenador do Projeto; E-mail: paulosausen@gmail.com

Introdução

As baterias eletroquímicas têm considerável importância nos mais diversos tipos de sistemas elétricos, pois a sua energia química armazenada é convertida em energia elétrica, podendo ser fornecida para estes sistemas onde e quando a energia é necessária [5]. Atualmente, é grande a quantidade e a variedade de aparelhos eletrônicos móveis que estão inseridos no dia-a-dia da população. Estes aparelhos têm o objetivo de facilitar a comunicação, o acesso à informação e também proporcionar lazer e entretenimento. São exemplos de dispositivos eletrônicos móveis: celulares, smartphones, tablets, ipads, notebooks, mp3, mp4, câmeras fotográficas, entre outros. Com o avanço da tecnologia na fabricação destes equipamentos, eles estão adquirindo mais funções.

A bateria pode fornecer energia para o aparelho até atingir sua capacidade mínima, isto é, até que não seja mais possível realizar reações eletroquímicas internamente. Este ponto é denominado nível de cutoff, ao atingir este nível a bateria é considerada descarregada. Sendo assim, torna-se necessário prever por quanto tempo os dispositivos ficarão em funcionamento, ou seja, é preciso saber qual o tempo de vida da bateria. Para isso, podem-se usar modelos matemáticos, os quais apresentam uma boa precisão. Podem-se citar, para a predição do tempo de vida de baterias, os Modelos Eletroquímicos [5], os Modelos Analíticos [5], os Modelos Elétricos [4] e os Modelos Estocásticos [5], e o modelo via teoria de Identificação de Sistemas [1].

Neste trabalho, é realizada a aplicação de modelos ARX (AutoRegressivo com entradas eXternas) e ARMAX (AutoRegressivo com MédiA móvel e entradas eXternas) da Teoria de Identificação de

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXII Seminário de Iniciação Científica

Sistemas para predição do tempo de vida de baterias [1]. Estes modelos são de fácil utilização pelo usuário e apresentam boa precisão. Para a modelagem matemática, é utilizado o Toolbox Ident, o qual tem uma interface gráfica (GUI) prática e intuitiva, incluso na ferramenta computacional Matlab [2,3].

Metodologia

Primeiramente, é realizada uma revisão bibliográfica dos principais tipos de modelos matemáticos para predição do tempo de vida de baterias e dos principais tipos de baterias da literatura técnica. Em seguida são escolhidas para os experimentos as baterias do tipo Lithium-Íon, modelo BL – 5F fabricadas pela Nokia e utilizadas no aparelho celular Nokia N95, por ser uma tecnologia comum, de baixo custo, e bastante utilizada em dispositivos móveis. Vale destacar que foram compradas pelo GAIC 12 baterias novas, visando assim, evitar quaisquer influências dos desgastes causados pelo uso. Estas baterias são carregadas através de duas fontes de tensão DC (i.e., corrente contínua), as quais são previamente ajustadas para efetuar o carregamento de modo lento. Assim as baterias são carregadas com 20% de sua capacidade nominal, ou seja, 190 mA. E é considerado que a carga está completa quando a bateria atinge o nível de tensão de 4,2 V e a corrente drenada da fonte cai para 0 A. A partir de então as baterias já podem ser removidas na fonte e conectadas à plataforma para que seja efetuada a descarga.

Com a plataforma é possível coletar uma grande quantidade de dados, referentes às descargas de baterias, de forma autônoma e flexível, visto que ela permite a descarga de quatro baterias simultaneamente. De modo geral, a plataforma é composta por um hardware e por um software, os quais são responsáveis pela aquisição dos dados experimentais. Conectando-se as baterias à plataforma, deve-se abrir o software de controle no PC para configurar como ocorrerá a descarga. Nos experimentos, as descargas são realizadas com correntes constantes, a qual é configurada para cada descarga. Os parâmetros usados nas descargas são os seguintes: (a) Tipo de bateria: Lithium-Íon; (b) Tensão nominal 3,7 V; (c) Capacidade nominal: 950 mAh; (d) Correntes de descarga: [950; 900; 850; 800; ... ;200;150;100;50] mA; (e) Tensão cutoff: 3,1V a qual é definida, pelo fabricante, como menor tensão em que a bateria fornece energia ao aparelho; (f) Duração: é o tempo que a bateria leva descarregando até atingir os 3,1 V. Durante as descargas, a temperatura do local foi mantida próximo aos 21° C.

Após a coleta de dados é realizada a obtenção de um modelo ARX e um modelo ARMAX para predição do tempo de vida de baterias usadas em dispositivos móveis a, partir de estruturas de modelos matemáticos presentes na teoria de Identificação de Sistemas, por fim os modelos são validados e comparados.

Resultados e discussão

Na realização das descargas procedeu-se da seguinte maneira: foram coletas oito amostras para cada perfil constante considerado. As baterias são descarregadas e as respectivas durações, em minutos, das descargas são colocadas em uma Tabela no Microsoft Excel e, então, é realizada a média e o desvio padrão para analisar o comportamento das descargas. Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos experimentos.

Perfis (mA)	Bateria #1	Bateria #2	Bateria #3	Bateria #4	Bateria #5	Bateria #6	Bateria #7	Bateria #8	Tempo Médio (min)	Desvio Padrão Geral
50	1190,33	1200,07	1184,45	1180,14	1191,27	1164,11	1157,26	1166,31	1179,24	15,16
100	596,32	600,56	574,58	589,17	599,2	603,42	599,54	600,11	595,36	9,39
150	394,24	394,55	395,31	397,49	400,38	392,48	396,52	398,53	396,19	2,56
200	309,16	315,28	286,16	292,29	291,52	293,31	298,33	295,03	297,64	9,77
250	241,19	247,02	224,27	241,19	239,5	237,15	226,53	226,58	235,43	8,47
300	197,59	201,27	183,03	196,51	200,2	192,33	188,33	191,21	193,81	6,25
350	173,52	172,47	168,43	169,17	170,34	170,17	162,48	164,3	168,86	3,79
400	156,16	148,2	140,22	144,05	145,56	147,51	141,49	142,53	145,72	5,06
450	132,17	130,51	131,02	130,31	132,17	128,27	125,57	129,14	129,90	2,21
500	125,26	122,02	120,09	117,56	118,47	115,11	113,08	117,13	118,59	3,86
550	107,35	109,06	96,25	105,06	107,16	104,54	99,32	104,02	104,10	4,31
600	94,49	97,36	91,31	101,34	96,01	93,33	92,06	96,42	95,29	3,24
650	90,32	89,31	85,21	89,4	90,16	87,23	82,26	88,33	87,78	2,80
700	83,37	82,29	73,3	81,56	81,36	79,23	70,31	80,59	79,00	4,67
750	79,12	77,38	73,1	76,35	74,44	74,17	69,25	76,37	75,02	3,02
800	73	70,47	65,18	71,42	71,57	68,17	59,56	70,2	68,70	4,40
850	70,24	67,07	64,57	65,51	67,29	64,03	54,48	65,4	64,82	4,61
900	64,04	62,12	58	61,45	64,48	59,44	52,31	61,39	60,40	3,91
950	60	59,14	52,13	58,28	59,45	57,11	49,41	58,27	56,72	3,85

Tabela 1: Perfis e tempos de descargas.

A partir dos dados coletados é realizada a modelagem matemática do tempo de vida de baterias utilizando a teoria de Identificação de Sistemas. As estruturas de modelos paramétricos lineares obedecem a seguinte equação geral dada por:

$$A(q)y(k) = \frac{B(q)}{F(q)}u(k) + \frac{C(q)}{D(q)}v(k)$$

onde: $A(q), B(q), C(q), D(q)$ e $F(q)$ são, respectivamente os polinômios:

$$\begin{aligned} A(q) &= 1 - a_1 q^{-1} - \dots - a_{n_y} q^{-n_y}; \\ B(q) &= b_1 q^{-1} + \dots + b_{n_u} q^{-n_u}; \\ C(q) &= 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{n_c} q^{-n_c}; \\ D(q) &= 1 + d_1 q^{-1} + \dots + d_{n_d} q^{-n_d}; \\ F(q) &= 1 + f_1 q^{-1} + \dots + f_{n_f} q^{-n_f}. \end{aligned}$$

onde: $q^{(-n)}$ é o operador de atraso, de forma que $y(k)q^{(-1)}=y(k-1)$, $a_1 \dots a_{n_y}$, $b_1 \dots b_{n_u}$, $c_1 \dots c_{n_c}$, $d_1 \dots d_{n_d}$ e $f_1 \dots f_{n_f}$ são parâmetros que precisam ser estimados, e n_y, n_u, n_c, n_d, n_f são as ordens dos polinômios. A ordem do modelo é dada pela ordem do polinômio A.

Em seguida utilizou-se os dados da Tabela 1, divididos em dois conjuntos, e o Toolbox Ident, incluso na ferramenta computacional Matlab para a realização da modelagem matemática. Os perfis de descarga [100, 200, 300, ..., 800, 900] mA são usados para a estimação dos parâmetros dos modelos ARX e ARMAX, e os perfis de descarga [50, 150, 250, ..., 850, 950] mA são usados para a validação dos modelos ARX e ARMAX. Neste trabalho foram investigados modelos com diferentes ordens, e constatou-se que a melhor ordem, para o modelo ARX é 3, com um erro de 1,41%, e para o modelo ARMAX, é 2, com erro médio de 5,09%.

O modelo ARX é obtido da equação geral fazendo $C(q)=D(q)=F(q)=1$, a equação do modelo para ordem 3 é dada por:

$$y(k) = \frac{0,007041q^{-1}}{1 - 0,708q^{-1} - 0,1517q^{-2} + 0,06427q^{-3}} u(k) + \frac{1}{1 - 0,708q^{-1} - 0,1517q^{-2} + 0,06427q^{-3}} v(k)$$

O modelo ARMAX é obtido da equação geral fazendo $D(q)=F(q)=1$, a equação do modelo para ordem 2 é dada por:

$$y(k) = \frac{0,005353q^{-1}}{1 - 1,048q^{-1} + 0,1992q^{-2}}u(k) + \frac{1 - q^{-1}}{1 - 1,048q^{-1} + 0,1992q^{-2}}v(k)$$

A Figura 1 apresenta as curvas dos modelos autorregressivos com o respectivo grau de precisão das ordens dos modelos com maior exatidão usados na estimação.

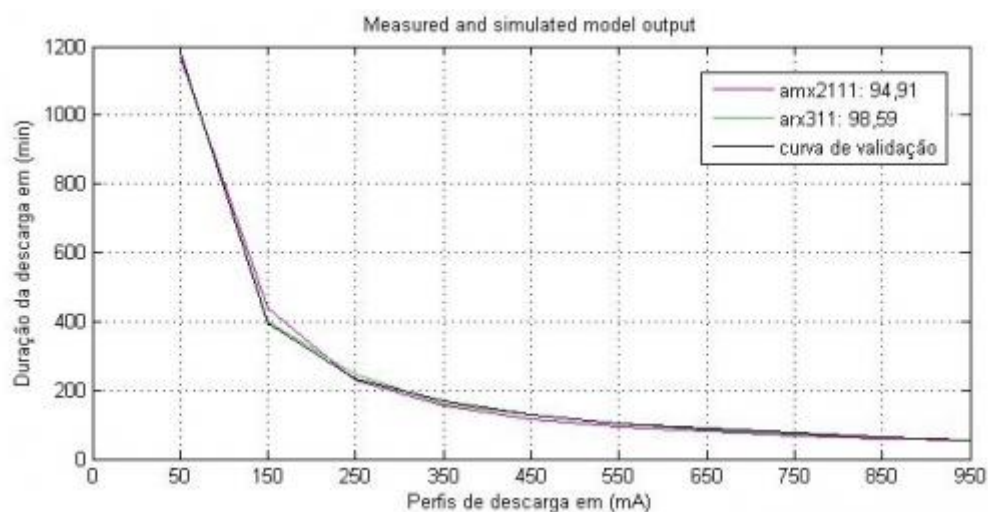


Figura 1: Modelos ARX, ARMAX e curva de validação.

Os modelos ARX e ARMAX tiveram um bom desempenho na predição do tempo de vida de uma bateria. Isto é, as curvas das melhores ordens representaram, quase fielmente, o comportamento de descarga.

Conclusões

A atividade de pesquisa esteve voltada ao estudo do funcionamento, comportamento, características físicas e uso de baterias em dispositivos móveis. O estudo de caso, análise do tempo de vida, foi

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXII Seminário de Iniciação Científica

aprofundado utilizando uma bateria BL – 5F da Nokia. Desta forma, constatou-se que quanto maior for a corrente de descarga aplicada, ou então quanto mais energia for drenada da bateria, menor será seu tempo de vida. Nos experimentos feitos, a maior corrente de carga utilizada foi a de 950 mA, com a qual o tempo de vida das baterias ficou, em média, 56,72 minutos. Os modelos ARX e ARMAX, da teoria de Identificação de Sistemas, são bem eficazes para representar a curva de descarga da bateria e estimar seu tempo de vida. O modelo ARX(3,1,1) apresentou menor erro relativo entre a curva estimada e a curva real de descarga. Este erro é de apenas 1,05%, o que garante grande acurácia e confiabilidade do modelo.

Palavras-Chave: Tempo de Vida da Bateria, Modelos Matemáticos, Plataforma de Testes, Modelos ARX e ARMAX.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPQ pelo fomento à pesquisa, e à UNIJUI pela assistência laboratorial concedida ao desenvolvimento deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- [1] L. A. Aguirre, _Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais_, 3a Ed., Belo Horizonte: UFMG, 2007
- [2] L. Ljung, _System Identification: Theory for the User_, Second Edition, Prentice Hall, 1999.
- [3] __, _System Identification Toolbox - User's Guide_, MATHWORKS, Disponível em: http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/pdf_doc/ident/ident.pdf, Acesso em: 16 de junho de 2014.
- [4] Porciuncula, Cleber M. D., “Aplicação de modelos elétricos de bateria na predição do tempo de vida de dispositivos móveis”. Dissertação de Mestrado. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI, 2012.
- [5] A. Oliveira, “Análise comparativa de metodologias de estimação de parâmetros aplicada a modelos analíticos utilizados na predição do tempo de vida de uma bateria,” Mestrado, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí-RS, Março 2012.