XXIII Seminário de Iniciação Científica
XX Jornada de Pesquisa
XVI Jornada de Extensão
V Mostra de Iniciação Científica Júnior
V Seminário de Inovação e Tecnologia

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

COLETA DE DADOS DO TEMPO DE VIDA DE BATERIAS DE LÍTIO ÍON POLÍMERO E DETERMINAÇÃO DA ORDEM DE MODELOS ARX E ARMAX ATRAVÉS DE FUNÇÕES DE AUTOCORRELAÇÃO.[1]

Joelson Lopes Da Paixão[2], Airam Sausen[3], Eduardo Toniazzo[4], Paulo Sausen[5], Alisson Beerbaum[6].

[1] Projeto de pesquisa realizado no Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) da Unijuí.
[2] Aluno do curso de Engenharia Elétrica, bolsista CNPq; E-mail: jlopesdapaixao@gmail.com
[3] Professora Doutora do Departamento das Ciências Exatas e Engenharias da Unijuí, orientadora; E-mail: airamsausen@gmail.com
[4] Aluno do curso de Engenharia Elétrica, bolsista CNPq; E-mail: eduardotoniazzo29@gmail.com
[5] Professor Doutor do Departamento das Ciências Exatas e Engenharias da Unijuí, coordenador do projeto; E-mail: paulosausen@gmail.com
[6] Aluno do curso de Matemática, bolsista Unijuí; E-mail: a.v.beerbaum@gmail.com

Introdução

O uso de baterias, como fonte de alimentação, em dispositivos móveis, é cada vez mais crescente e necessário, pois permite a mobilidade do aparelho. Podem-se citar como dispositivos eletrônicos dependentes de baterias: celulares, smartphones, notebooks, câmeras digitais, brinquedos eletrônicos, tablets, entre outros. Todos estes aparelhos têm diversas funções que são essenciais para o trabalho, o lazer e a comunicação no dia-a-dia. [3]

A bateria pode fornecer energia para o aparelho até atingir sua capacidade mínima, isto é, até que não se consiga mais realizar reações eletroquímicas internamente. Esse ponto é considerado como nível de cutoff, neste momento a bateria é considerada descarregada. Deste modo, é necessário conhecer algum método capaz de predizer qual o tempo de vida da bateria. Para isso, podem-se usar modelos matemáticos os quais apresentam uma boa precisão. Neste trabalho, será modelada a descarga de uma bateria através do uso da Teoria de Identificação de Sistemas. Com a aplicação de modelos ARX (AutoRregressivo com entradas eXternas) e ARMAX (AutoRregressivo com MédiA móvel e entradas eXternas). [2]

Na determinação dos parâmetros desses modelos, será utilizada a ferramenta Ident presente no software Matlab. [2] Para escolha da melhor ordem para os modelos, será desenvolvida uma metodologia através de funções de autocorrelação - FACs.

Metodologia na coleta dos dados

As baterias de Lítio Íon Polímero de 3,7V e 800mAh foram adquiridas novas pelo GAIC, visando assim, evitar quaisquer influências dos desgastes causados pelo uso. Essas baterias são carregadas através de fontes de tensão DC (i.e., corrente contínua), as quais foram previamente ajustadas para

efetuar o carregamento de modo lento. Assim as baterias foram carregadas com 20% de sua capacidade nominal, ou seja, 160 mA. 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 podiam ser removidas da fonte e conectadas à plataforma (a qual é composta pelo hardware e por um software, os quais são responsáveis pela aquisição dos dados experimentais) para que seja efetuada a descarga.

As descargas foram realizadas da seguinte maneira: 1º) conectavam-se as baterias carregadas à plataforma; 2º) escolhia-se o perfil de corrente para a descarga [800; 775; 750; 725;...;125; 100; 75; 50] mA; 3º) colocava-se no software a tensão de corte da descarga, que nesse caso conforme o fabricante era de 2,7V. Depois de transcorrida a descarga o perfil de corrente e a duração da descarga eram anotados em uma planilha. Os resultados das doze descargas por perfil e sua média são mostrados na Tabela 1. Nos testes, manteve-se constante a temperatura do ambiente em 21ºC.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

Perfis(mA)	1 (P1)	2(P1)	3(P1)	4(P1)	5(P2)	6(P2)	7(P2)	8(P2)	9(P3)	10(P3)	11(P3)	12(P3)	Média (min)
50	964,07	980,42	860,4	922,15	920,43	993,96	931,38	950,08	916,85	996,54	933,08	972,32	945,14
75	593,06	607,28	627	599,75	586,9	652,15	582,58	606,78	585,5	632,58	598,55	646,83	609,91
100	464,71	474,42	460,5	466,3	470,75	459,03	445,53	486,62	466,72	450,93	439,17	467,13	462,65
125	388,48	392,93	375	367,4	380,9	393,65	381,55	398,17	365,58	363,12	351,65	372,86	377,61
150	283,02	311,72	303	307,58	345,03	297,62	279,48	305,38	338,25	319,1	300,93	305,92	308,08
175	280,85	274,5	271,3	285,07	297,07	253,5	246,43	269,1	281,83	261,28	257,6	269,73	270,69
200	232,2	219,18	214	236,18	218,83	235,7	239,72	228,12	221,72	229,23	229,93	235,02	228,32
225	206,45	191,38	188,4	207,45	199,83	211,8	214,07	208,58	193,98	201,38	201,62	207,95	202,74
250	191,23	173,47	167,7	188,93	182,78	190,15	193,12	184,65	180,43	184,07	186,2	188,3	184,25
275	170,48	159,63	145,2	168,08	165,87	171,35	175,63	165,1	161,22	166,6	166,07	172,5	165,65
300	156,15	148,23	142,3	156,65	157,58	140,68	138,83	155,37	153,23	154,62	157,62	158,08	151,61
325	141,57	145,68	149,5	143,47	148,45	129,85	126,4	145,33	138,47	140,67	140,22	145,02	141,22
350	126,53	137,71	139,6	131,23	133,43	123,65	118,67	132,97	132,22	130,63	133,03	135,15	131,23
375	118,63	128,93	130,7	123,57	127,72	111,52	118,87	124,96	121,92	122,08	124,4	126,35	123,30
400	115,55	117,75	121,5	115,78	118,8	107,9	101,9	117,5	119,23	119,02	119,33	117,42	115,98
425	111	113,72	94,47	110,13	105,3	109,03	114,4	109,01	106,77	107,13	108,17	110,98	108,34
450	102,45	105,05	109,6	103,15	106,82	89,8	87,28	103,15	102,58	103,23	104,67	104,17	101,83
475	97,28	98,67	91,68	97,54	101,72	86,11	82,9	98,18	96,3	96,5	97,28	99,67	95,32
500	91,98	93,93	97,11	92,68	96,7	83,13	78,65	90,45	92,78	93,15	93,92	93,82	91,53
525	88,57	91,3	93,15	85,28	92,63	78,67	74,11	85,85	87,08	84,43	85,6	89,27	86,33
550	83,77	85,06	88,77	82,48	87,46	72,67	68,9	84,42	84,95	84,63	85,18	85	82,77
575	80,42	83,11	82,88	80	83,13	68,13	65,85	79,23	79,12	78,4	78,12	81,37	78,31
600	77,1	77,98	81,31	76,15	80,57	65,5	62,68	76,25	77,62	77,87	78	77,4	75,70
625	73,6	74,38	77,58	72,4	77,3	62,42	59,83	73,12	72,9	72,03	72,35	74,45	71,86
650	71,05	71,67	74,67	70,03	74,13	59,42	55,9	70,38	71,52	71,57	71,5	70,63	69,37
675	68,35	69	71,68	67,78	71,63	57,18	53,42	68,73	67,32	66,6	66,87	68,83	66,45
700	65,9	66,37	69,48	64,73	69,76	54,73	51,85	65,28	66,45	66,26	66,5	64,92	64,35
725	63,53	63,77	66,68	62,27	66,42	51,62	48,27	62,98	62,78	61,98	59,17	63,98	61,12
750	64,12	50,2	47,06	60,87	61,32	61,72	64,42	59,72	61,78	61,77	61,28	60,92	59,60
775	62,35	47,96	44,04	58,87	59,73	59,8	62,08	58,23	58,6	56,05	55,25	59,53	56,87
800	60,1	46,32	42,5	56,92	57,3	57,78	60,07	56,13	58	57,65	56,85	56,22	55,49

Tabela 1: Perfis para estimação dos parâmetros e para validação dos modelos.

Na Tabela 1, são mostrados os resultados das descargas. Os perfis de descargas ímpares serão utilizados na estimação dos parâmetros dos modelos, já os perfis pares serão usados para validação dos mesmos.

Metodologia de análise

Os modelos paramétricos lineares têm, como forma geral, a seguinte estrutura:

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXIII Seminário de Iniciação Científica

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

onde q^(-1) como o operador de atraso, sendo que y(k) q^(-1)= y(k-1); y(k) é a saída, u(k) é a entrada do sistema, v(k) é o ruído branco e A(q), B(q), C(q), D(q) e F(q) são os polinômios a ser determinados A ordem do modelo é dada pela ordem do polinômio A(q) [1,3].

A determinação da ordem do modelo é uma das etapas mais importantes na determinação do modelo paramétrico linear a ser utilizado. A ordem irá determinar o grau do polinômio assim como o número parâmetros que necessitam ser incorporados ao modelo. Tais modelos paramétricos, que tem como origem o modelo principal ARIMAX (p, d, q e r), possuem letras p, d, q e r com um significado específico. A letra p significa a ordem do modelo AR do polinômio de autorregressores, a letra d representa o número de vezes que a série precisa ser diferenciada até se tornar estacionária, o q representa por sua vez, a ordem do polinômio relativo às medias móveis e o r significa a ordem do polinômio que representa a entrada exógena. [4,5]

Assim sendo, é proposta uma metodologia para encontrar a ordem p do modelo, ou seja, a ordem do polinômio autorregressivo usando-se a FAC. O objetivo é tornar a modelagem do tempo de vida de baterias via Identificação de Sistemas mais precisa e com maior velocidade para a escolha do tipo de modelo. O tipo de modelo e a determinação de sua ordem se dão através da análise gráfica da FAC, a qual é realizada a partir de um conjunto de dados. A compreensão da noção de autocorrelação necessita uma breve discussão a respeito da correlação. [4,5]

A correlação identifica a medida de associação entre duas variáveis. Esta associação entre variáveis distintas é tratada em termos de intensidade e de direção. A correlação varia de -1 a 1, quanto mais próximo de 0, mais fraca é a correlação. O sinal negativo indica que o comportamento das duas variáveis varia inversamente (ou seja, quando uma aumenta a outra diminui na intensidade indicada). Se o sinal obtido na análise da correlação for positivo indica que as variáveis variam diretamente (ou seja, se uma aumenta a outra aumenta; se uma diminui, a outra diminui). [4,5]

Na construção do correlograma define-se um intervalo de confiança. Na literatura é aconselhado o uso de 90% para este intervalo, ficando os limites positivo e negativo em 0,45 e -0,45; respectivamente. Nas defasagens em que a FAC estiver dentro do intervalo de confiança, considera-se que a autocorrelação é fraca e está próxima de zero. A ordem do modelo é considerada igual a defasem que se repete mais vezes, fora do intervalo de confiança, do conjunto de dados analisados. Os correlogramas foram gerados a partir de um algoritmo desenvolvido para este fim. Na Figura 1 é mostrado o correlograma da média de tempo por perfil.

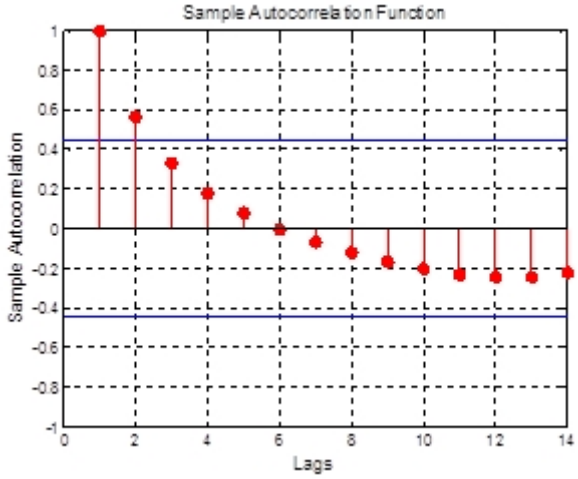

Figura 1: Correlograma da FAC.

Nas doze descargas por perfil de corrente se observou que a defasagem que sempre ficou fora do intervalo de confiança era a segunda. Assim, na escolha da melhor ordem do modelo, com o uso da FAC, pode-se afirmar que a ordem obtida é 2, pois este é o valor mais significativo, não nulo e fora do intervalo de confiança presente no correlograma da FAC.

Resultados e discussão

As curvas dos modelos ARX e ARMAX, de ordem 2, geradas através do Ident, são apresentadas na Figura 2.

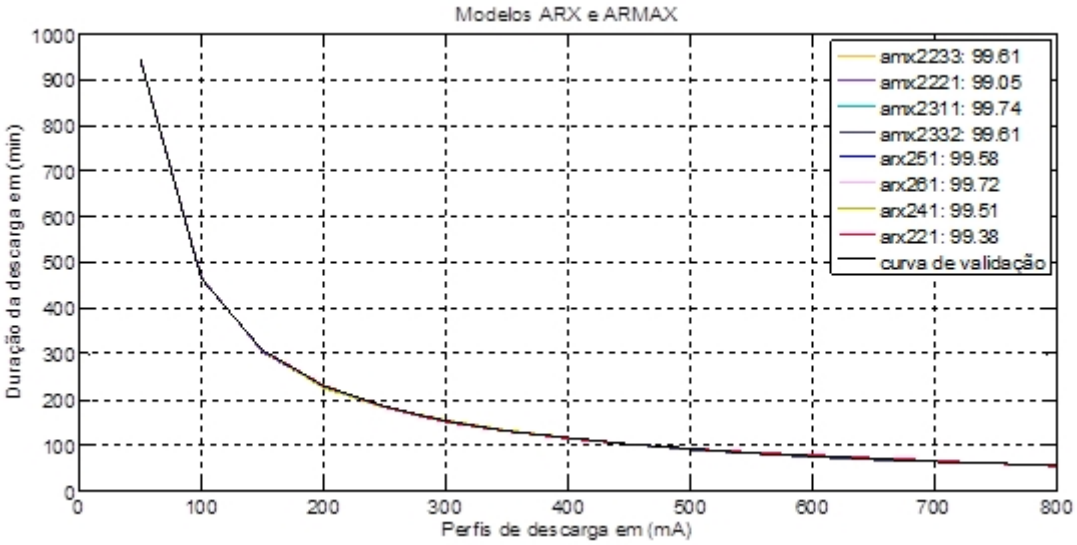

Figura 2: Curvas dos modelos ARX e ARMAX.

Dentre os modelos ARX e ARMAX investigados, os que apresentaram melhor acurácia, foram o ARX(2,6,1) e o ARMAX(2,3,1,1). Sendo que o ARX(2,6,1) apresentou um erro de apenas 0,28%. A equação que descreve este modelo é a seguinte:

$$y(k) = \frac{0{,}08025q^{-1} - 0{,}09373q^{-6}}{1 - 0{,}3672q^{-1} - 0{,}315q^{-2}}\,u(k) + \frac{1}{1 - 0{,}3672q^{-1} - 0{,}315q^{-2}}\,v(k)$$

Já o melhor modelo ARMAX é o ARMAX(2,3,1,1), o qual apresentou um erro de apenas 0,26%. A equação que descreve este modelo é a seguinte:

$$y(k) = \frac{0{,}07705q^{-1} - 0{,}001457q^{-2} - 0{,}07996q^{-3}}{1 - 1{,}188q^{-1} + 0{,}3113q^{-2}}\,u(k) + \frac{1 - q^{-1}}{1 - 1{,}188q^{-1} + 0{,}3113q^{-2}}\,v(k)$$

Pode-se afirmar que as curvas das melhores ordens representaram, quase fielmente, o comportamento de descarga com boa exatidão.

Conclusões

Considerando a determinação da ordem através do Método da Função de Autocorrelação, observou-se que o processo que representa o descarregamento de uma bateria e consequentemente a determinação dos seus tempo de vida, deve ser descrito por um processo do tipo AR e que a ordem indicada para os modelos é a 2. Neste caso foram implementados, validados e avaliados os modelos ARX e ARMAX de ordem 2, sendo verificado que o modelo ARX (2,6,1) apresentou um erro de 0,28% e que o modelo ARMAX (2,3,1,1) apresentou um erro de apenas 0,26%.

Palavras-Chave: Tempo de vida da bateria; Modelos Matemáticos; Autocorrelação; Ordem de modelos; Modelos ARX e ARMAX.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo fomento à pesquisa, e à Unijuí 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] M. V. Machado. "Modelagem matemática do tempo de vida de baterias utilizando modelos autorregressivos", Dissertação de Mestrado, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí-RS, Abril 2014.
[4] P. A. Morettin; C.M. Toloi. "Análise de Séries Temporais", 2ª Ed., São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 2006.
[5] Í. Kühn, "Predição do tempo de vida de baterias utilizadas em dispositivos móveis: aplicação de uma metodologia para determinar a melhor ordem dos modelos em identificação de sistemas", Dissertação de Mestrado, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí-RS, Novembro 2014.