

Evento: XXVII Seminário de Iniciação Científica

DEMONSTRAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS NA CARGA E DESCARGA EM BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO, ÍONS DE LÍTIO E CÉLULAS COMBUSTÍVEL.¹

DEMONSTRATION OF THE MATHEMATICAL MODELS APPLIED IN THE LOAD AND DISCHARGE OF BATTERIES OF LEAD-ACID, LITHIUM AND FUEL CELLS.

Fernando Da Cruz Schultz²

¹ PROJETO DE PESQUISA REALIZADO POR EGRESSO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

² Egresso do curso de Engenharia Elétrica

INTRODUÇÃO.

A bateria de chumbo-ácido foi inventada em 1859 por Raymond Gaston Planté usando condutores de chumbo (anodo) e dióxido de chumbo (catodo), separados por um material isolante (madeira ou borracha porosa) e mergulhados em uma solução de ácido sulfúrico (LOPES, 2010).

Em 1980 Goodenough criou o catodo de óxido de cobalto considerado o “coração” das baterias de íon-lítio. A evolução desse modelo de baterias se disseminou com sua utilização nos dispositivos móveis, sejam eles Laptops ou Smartphones, contribuindo para melhorar a qualidade dos aparelhos. Atualmente é uma bateria presente em todos os equipamentos que necessitam de uma fonte de energia portátil (MOMESSO, 2018).

Quando se trata de células combustíveis sua aplicação prática é datada de 1960 quando Thomas Grubb e Leonard Niedrach da GE (General Elétric) desenvolveram a primeira célula PEM (membrana de troca de prótons). Iniciando assim um ciclo de aplicações tecnológicas desenvolvidas principalmente no ramo automobilístico. O desenvolvimento de tais modelos de baterias acarreta os modelos matemáticos aplicados a cada um deles, assim, será tratado cada um individualmente quanto a carga e descarga das baterias (DOS REIS, 2017).

METODOLOGIA.

A modelagem de sistemas como baterias e células combustíveis pode ser aplicado nos mais diversos sistemas em que elas são utilizadas, uma vez obtendo um modelo matemático de um sistema qualquer, inúmeros testes e simulações podem ser efetuados. As baterias são aplicadas a processos automobilísticos e também outros como por exemplo baterias de chumbo ácido e íons de lítio são utilizadas em grande escala em sistemas fotovoltaicos como armazenamento de energia provinda das placas solares para utilização quando não ocorre insolação direta. (MOMESSO, 2014)

As células a combustível podem ser projetadas e confeccionadas de acordo com sua aplicação, a mais estudada até o momento são as de membrana polimérica, porém outras podem ser

Evento: XXVII Seminário de Iniciação Científica

confeccionadas como alcalinas, ácido fosfóricas, carbonato fundido e óxido sólido.

BATERIAS DE CHUMBO ÁCIDO

As baterias de chumbo ácido dominam o mercado principalmente automotivo, cada célula da bateria fornece 2 volts, possui um ânodo de dióxido de chumbo e um cátodo de chumbo poroso, Imersa em uma solução eletrolítica de ácido sulfúrico. Esse modelo de bateria possui uma alta taxa de descarga de pico e baixo custo de produção, porém, tem baixa densidade energética e rápida degradação pela sulfatação. (OLIVEIRA, 2016)

O tipo de bateria analisado para o projeto foi a VRLA - Valve Regulated Lead Acid Batteries - (Baterias de chumbo ácido de válvula regulada), considerada de baixa manutenção uma vez que não se utiliza água em suas células. O modelo dinâmico da bateria desenvolvido por (JAYNE, M.G; MORGAN, C., 1986).

$$e_{tb} = V_{oc} - \left(R_b + \frac{k}{SOC} \right) i_{tb}$$

A vantagem desse modelo é a característica não-linear da resistência interna como também a tensão de circuito aberto representado pelo componente K/SOC. Pode ser modelado por arranjos utilizando essa equação a carga e descarga da bateria. Em todos os casos SOC é o estado da carga, sendo percentual de capacidade máxima disponível na bateria estando em 0% e 100%. O modelo matemático aplicado ao desenvolvimento da bateria chumbo ácido pode ser simulado no software Simulink utilizando o diagrama de blocos (OLIVEIRA, 2016)

BATERIAS DE ÍONS DE LÍTIO

Uma bateria utilizada quando se deseja alta densidade de energia e pouco peso. Seu funcionamento se baseia no processo de descarga dos átomos de lítio que se “desprendem” do ânodo e se movimentam para a solução do eletrólito na forma de íons, até a reação com o cátodo onde o íon volta ao estado sólido. O modelo da carga da bateria pelo capacitor C_cap que possui capacitância equivalente a capacidade nominal da bateria, a resistência a capacitância e a tensão da bateria dependem do valor de SOC assim como na bateria de chumbo ácido (MOMESSO, 2018).

O valor do estado da carga (SOC) do modelo é dado pela relação.

$$SOC = \frac{Q(t)}{C_{cap}} = SOC_0 - \left(1 - \frac{1}{C_{cap}} \int_0^t I_{bat} dt \right)$$

Com os modelos matemáticos aplicados aos dois primeiros casos se pode comparar as baterias a um modelo simplificado de célula a combustível que será descrito a seguir. Observa-se a variação dos parâmetros e as diferenças do modelo mesmo que ambas podem ser empregadas aos mesmos

Evento: XXVII Seminário de Iniciação Científica

fins.

CÉLULAS COMBUSTÍVEIS

Analisando por um ponto de vista a célula combustível se difere da bateria pois nesta última a energia é acumulada nos componentes existentes em seu interior, ao passo que, na célula a combustível a energia é produzida enquanto for mantido o fluxo de reagentes (hidrogênio e oxigênio). Não existe nenhum componente acumulador de energia em seu interior (DOS REIS, 2013).

Por outro lado, estas células são dispositivos eletroquímicos similares as baterias, fornecem eletricidade em Corrente Contínua (CC) a partir de uma reação química e a possibilidade de empilhamento de elementos em conjuntos. Cada célula combustível é aplicada a um sistema e assim surgem suas peculiaridades, estas serão descritas abaixo:

Célula combustível do tipo alcalina (AFC); Célula combustível do tipo ácido fosfórico (PAFC); Célula combustível tipo carbonato fundido (MCFC); Célula combustível óxido sólido (SOFC); Célula combustível tipo metanol direto (DMFC); Célula combustível do tipo membrana de troca de prótons (PEMFC) (DOS REIS, 2013) (RIASCOS, 2010)

A tensão de saída de uma célula é dada pela expressão.

$$V_{FC} = E_{Nernst} - V_{act} - V_{ohmic} - V_{con}$$

E_{Nernst} representa a tensão reversível de circuito aberto.

$$E_{Nernst} = 1,229 - 0,85 * (T - 298,15) + 4,3 * 10^{-5} * T * \left[\ln(P_{H_2}) + \frac{1}{2} * \ln(P_{O_2}) \right]$$

Onde P_{H_2} e P_{O_2} são pressões de hidrogênio e oxigênio e T é a temperatura de operação V_{act} é a queda de tensão dos eletrodos pela equação:

$$V_{act} = -[\xi_1 + \xi_2 * T + \xi_3 * T * \ln(C_{O_2}) + \xi_4 * T * \ln(I_{FC})]$$

Sendo ξ_i ($i=1...4$) são coeficientes de cada tipo de célula I_{FC} (A) é a corrente elétrica C_{O_2} (atm) é a concentração de oxigênio V_{ohmic} é a queda de tensão da condução dos prótons pelo eletrólito e elétrons pela resistência interna.

$$V_{ohmic} = I_{FC} * (R_M + R_C)$$

Sendo R_M e R_C (Ω) são respectivamente resistência ao fluxo de elétrons e a transferência de prótons pela membrana. V_{con} é a queda de tensão resultante dos efeitos de transporte de

Evento: XXVII Seminário de Iniciação Científica

massa, que afeta a concentração dos gases reagentes.

$$V_{con} = -B * \ln\left(1 - \frac{j}{j_{max}}\right) * (R_M + R_C)$$

Onde B(V) é uma constante que depende do tipo de célula, j_{max} é a máxima densidade de corrente elétrica, j é a densidade de corrente produzida pela célula.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

É um fato a inserção das células combustíveis no ramo da engenharia eletromecânica seja ela para aplicação desejada, um estudo mais aprofundado pode demonstrar onde e porque determinadas células são utilizadas em determinados aparelhos ou na geração de energia. O intuito do projeto é utilizar os parâmetros matemáticos e de modelagem e aplicar os mesmos a um sistema real e determinar a coerência deles, este estudo pode ser aplicado a modelos simples com poucas grandezas. O simulink é um grande aliado nesse tipo de modelagem pois seu diagrama de blocos pode ser alterado com a preferência do projetista.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a modelagem matemática de um processo é possível desenvolver vários métodos de análise complementares para que todo o sistema funcione de maneira eficiente. A modelagem das baterias e das células a combustível podem ser aplicadas a metodologia de controle que mais se adequa ao processo, esta vem a ser a mais importante aplicação do conhecimento e desenvolvimento do modelo matemático de um processo (Planta). Tendo o mesmo em mãos e conhecendo seus parâmetros é possível desenvolver um processo físico (real) com uma maior qualidade, eficiência e com uma considerável redução de custos.

Palavras-chave: Baterias, modelo matemático, célula hidrogênio.

Keywords: Batteries, mathematical model, hydrogen cell.

REFERÊNCIAS

Lopes, Daniel Gabriel. **Determinação dos parâmetros térmicos de um sistema de purificação de hidrogênio para aplicação em células combustível**, dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campinas, São Paulo, 2010.

Momesso, Guilherme Andriotti. **Estimativa do estado de carga de baterias de íons-lítio com aplicação em sistemas isolados de geração fotovoltaica**, trabalho de conclusão de curso, São Carlos, 2018.

Oliveira, Arthur Filgueiras de. **Modelagem, parametrização e otimização de baterias chumbo-ácido em aplicações ferroviárias via análise de big data**, trabalho de conclusão de



Evento: XXVII Seminário de Iniciação Científica

curso, Juiz de Fora, MG, 2016.

Reis, Leineu Belico dos. **Geração de Energia Elétrica**, 3ª edição. Rio de Janeiro, Editora MANOLE, 2017;

Riascos, Luis A. M. **Controle de temperatura de operação em células a combustível tipo PEM (membrana eletrolítica polimérica)**, Artigo publicado na Universidade federal do ABC, São Paulo, 2010.

LISTA DE SIGLAS

e_{tb} =Tensão nos terminais da bateria;

V_{oc} =Tensão de circuito aberto;

R_b =Resistência nos terminais da bateria, tipicamente $0,4\Omega$;

k =Constante de polarização, tipicamente $0,1\Omega$;

i_{tb} =Corrente de descarga da bateria;

SOC=Estado da carga.

C_{cap} =Carga da bateria;

$Q(t)$ =Capacidade disponível;

R_{in} e R_1 =Resistência nos terminais da bateria;

I_{bat} =Corrente de descarga da bateria;

E_o =Tensão da bateria;