https://eventos.utfpr.edu.br//sei/sei2020

Introdução ao dimensionamento de um banco de baterias para um veículo Fórmula SAE elétrico

Introduction to the design of a battery pack for an electric formula SAE vehicle

Lucas Braggião Calligaris
lucascalligaris@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Frederic Conrad Janzen
fcjanzen@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar como funciona a área de baterias em uma equipe de fórmula SAE, introduzindo os métodos e procedimentos necessários para dimensionar o banco de baterias que fornecerá energia para todo o carro, especialmente voltado ao sistema de tração. A escolha de materiais, química da célula, parâmetros, algumas fórmulas essenciais e simulações em Optimum Lap e Simulink necessárias para estimar o arranjo correto de células em série e em paralelo também serão abordadas. Além disso será mostrado porque optou-se pelos materiais escolhidos para a montagem do pack de baterias e a escolha do íon lítio como a química das células utilizadas.

PALAVRAS-CHAVE: MATLAB. Acumuladores. Carro Elétrico.

ABSTRACT

This work aims to present how the battery area works in a Formula SAE team, introducting the methods and procedures needed to design the battery pack that will suply energy for the whole car, specially focused on the car's tractive system. The choice of materials, cell chimestry, parameters, some essencial formulas and simulations on Optimum Lap and Simulink that are necessary to estimate the arrengement of cells in series and in paralel will also be covered. Furthermore it will be shown why we opted for the materials choosen for the assembly of the battery pack and the choice of Lithium-ion as the cell chemistry used.

KEYWORDS: MATLAB. Accumulator. Eletric Car.

Recebido: 19 ago. 2020.
Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

INTRODUÇÃO

A fórmula SAE é uma competição universitária que ocorre anualmente em diversos países, dentre eles o Brasil, onde estudantes de engenharia projetam e montam protótipos de carros elétricos de corrida para serem avaliados pelos juízes presentes. Essas avaliações ocorrem por meio de provas, sendo elas estáticas ou dinâmicas. Conforme a equipe é aprovada nas provas estáticas, ela poderá avançar para as dinâmicas.

Para essa competição existe um regulamento que é extremamente específico que é atualizado a cada 2 anos e, por si só, define diversos parâmetros não apenas ao sistema de tração e baterias como também para áreas como chassi, aerodinâmica, rede CAN e telemetria.

NORMAS

Como dito anteriormente, as normas impostas pela SAE são bem específicas e são basicamente o ponto de partida para definir os parâmetros que o banco de baterias deve seguir. Dentre esses parâmetros destacam-se as seguintes limitações que o banco de baterias deve atender: “EV.1.3.1 – A potência máxima puxada do acumulador não pode exceder mais de 80kW” (FSAE, 2019), “EV.1.3.2 – A tensão máxima permitida que possa ocorrer entre 2 pontos é de 600V CC” (FSAE, 2019), “EV.4.1.2 – Cada segmento do banco de baterias deve conter no máximo 120V CC e 6MJ” (FSAE, 2019).

Além de limitações, as normas também definem diversas medidas de segurança que devem ser tomadas para que não ocorram acidentes. Dentre todas essas normas, se destacam: “F.10.2.4 – Os anexos do acumulador contidos no contêiner devem ser separados por uma barreira eletricamente isoladora e que seja de um material não inflamável” (FSAE, 2019), “EV.4.2.2 – Todo contêiner do acumulador deve conter pelo menos 1 fusível e 2 relés de isolação [...]” (FSAE, 2019), “EV.6.1.1 – Cada acumulador deve ser monitorado por um *Accumulator Management System (*Sistema de monitoramento do acumulador) quando o sistema de tração estiver ativado ou o acumulador estiver ligado a um carregador” (FASE, 2019).

Como é possível observar, o regulamento define todos os tipos de parâmetros de segurança e limitações que a equipe deve seguir para montar o carro. Esses requisitos são severamente testados e avaliados nas inspeções para que não haja quase nenhum risco de acidentes durante as provas dinâmicas.

1. MATERIAIS

QUÍMICA DAS CÉLULAS:

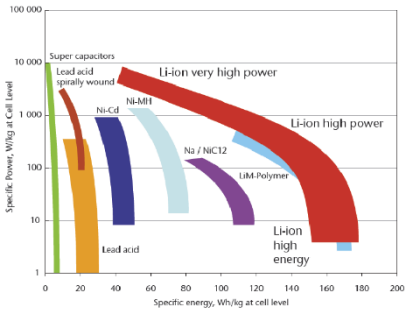
A escolha da química das células a serem utilizadas é uma das partes mais importantes no dimensionamento de baterias, pois suas propriedades variam significativamente de acordo com sua composição. Baterias de Lítio são as mais utilizadas entre as equipes de fórmula SAE e companhias automotivas por causa

da suas altas densidades de potência e energia. Porém, dentro das baterias de lítio existem subcategorias, tais como as baterias de íon de lítio (íon de Li) e fosfato de ferro de lítio (LiFePO4). Apesar de ambas serem de lítio suas composições diferem. Uma é composta de lítio ionizado com um outro componente genérico (Por exemplo LiCoO2 [LCO]) e a outra é uma mistura de lítio (Li) com ferro (Fe) e fósforo (P).

Para saber qual a composição química mais adequada é necessária a observação da densidade de energia da célula, isso é, o quanto de energia ela consegue armazenar por cada kg. Para um projeto de fórmula SAE é interessante que as células tenham alta densidade de energia. Assim o carro fica mais leve e mais veloz. Entretanto células que tem alta densidade de energia são mais perigosas, sendo necessário tomar medidas de segurança e arrefecimento, essas células não podem passar de uma temperatura limite. Geralmente não podendo ficar abaixo de -30°C nem acima de 60°C.

A Figura 1 mostra a densidade de potência de alguns dos armazenadores de energia existentes, é possível observar que as células de Íon de Lítio de alta potência conseguem cobrir uma área muito maior que as células de outras composições, se tornando a opção mais interessante dentre as outras composições químicas.

Figura 1 – Comparação entre densidade de potência e densidade de energia entre alguns tipos de armazenadores existentes.



Fonte: ZIEMANN, S.; et al. (2013).

Outros fatores muito importantes quando se trata na escolha da química da célula é o preço. Normalmente, quanto maior a densidade de energia mais cara será a célula, quantos ciclos ela consegue aguentar, sua capacidade nominal, sua tensão máxima e nominal, corrente máxima contínua e taxa C (corrente máxima contínua dividida pela sua capacidade). Todas essas informações são encontradas no datasheet da célula e este será requisitado na documentação do carro. Por isso, é extremamente necessário verificar se a célula possui um datasheet disponível.

BATERY MANAGEMENT SYSTEM (BMS)

Quando se está montando uma bateria de alta tensão e com um arranjo grande de células, é extremamente necessário a utilização de um sistema de gerenciamento. Este por sua vez, dará informações sobre a tensão de cada célula (ou no arranjo em paralelo, tendo em vista que toda as células de bateria em

paralelo tem a mesma tensão), SOC (*State Of Charge* – estado de carga), temperatura e possíveis erros o banco de bateria e seus seguimentos podem apresentar.

Ele não só fará o balanceamento de tensão nas células, não deixando que elas apresentem uma discrepância muito grande de tensão, como também assegurará sua segurança e longevidade durante sua carga e descarga, não deixando que elas se descarreguem abaixo da tensão mínima ou absorvam uma corrente muito alta durante a carga e acabem sofrendo danos irreparáveis.

Estes equipamentos são específicos para um tipo específico de química, um BMS para baterias de íon de lítio só funcionará corretamente para baterias com a mesma composição, mas não dependem da marca utilizada.

2. MÉTODOS

OPTIMUM LAP

O software Optimum Lap permite que o usuário consiga simular o carro em uma pista pré-determinada a partir de informações como raio dos pneus, composição das células, massa, coeficiente aerodinâmico e coeficiente de arrasto.

Figura 2 – Simulação da potência do motor em cada canto da pista onde é feita a prova de autocross.

Fonte: autoria própria (2020).

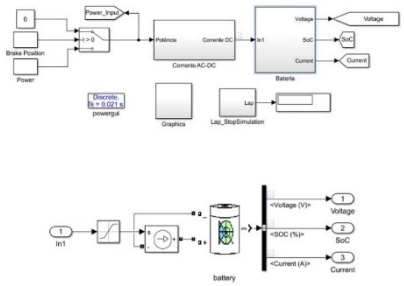
A Figura 2 mostra como o motor de um carro de fórmula SAE deve variar sua potência durante uma volta no autódromo do Esporte Clube Piracicabano de Automobilismo (ECPA) para conseguir realizar a melhor volta possível. É possível também analisar diversos outros fatores como velocidade, aceleração e frenagem.

Além de disponibilizar diversos gráficos sobre como o carro vai atuar durante uma volta sobre a pista, ele também apresenta, em uma tabela geral, uma estimativa de quanto de energia, em kWh (kilo-watt hora), o carro utilizou para completar uma volta. Este dado é extremamente importante, pois é com ele que se começa a ter uma estimativa de quanto deverá ser a capacidade do banco de baterias. Em uma prova de enduro na competição, o carro tem que dar 22 voltas pela pista principal no autódromo de Piracicaba. Portanto, após simular o carro nesta pista pelo software, é necessário multiplicar o valor da energia utilizada por 22 e por um fator de segurança, geralmente 20%.

SIMULINK

Simulink é uma extensão do software Matlab. Com ele é possível realizar cálculos complexos com a utilização de blocos que representam equações matemáticas básicas ou que representam o funcionamento de algum objeto (uma célula de bateria por exemplo).

Figura 3 – Diagrama de blocos no Simulink simulando um pack de baterias de íon de lítio



Fonte: TRUDES, G; MONTEIRO, P (2019)

Este software possibilita a realização de cálculos mais complexos e com variáveis dinâmicas necessárias para simular o banco de baterias sendo carregado e descarregado. Com essas informações é possível estimar, a partir de gráficos da corrente e tensão pelo tempo, como será o comportamento das baterias durante todo o percurso a ser realizado. A Figura 3 exemplifica como ocorre esta modelagem a partir do fluxograma de blocos no Simulink.

MODELAGEM DE DESCARGA:

O cálculo de modelagem de descarga mostrará o comportamento da tensão enquanto a corrente varia. Para isso acontecer leva-se em consideração a tensão de circuito aberto e por consequência estima-se o estado de carga da bateria. Seu cálculo é dado pela fórmula abaixo:

$$Vbatt = Vo - K\frac{C}{C - it} \cdot it - R \cdot I + A^{-B \cdot it} - K\frac{C}{C - it} \cdot I* \quad (1)$$

Onde:

K = constante de polarização (V/Ah) ou resistência de polarização (Ω)

it = $\int i \cdot dt$ = carga atual da bateria (Ah)

A = zona de amplitude exponencial (V)

B = inversa da zona exponencial de tempo constante ($Ah{-}1$)

R = resistência interna (Ω)

I*= corrente filtrada (A)

ARRANJO DE CÉLULAS

Para definir quantas células ficarão em série ou paralelo é necessário obter o consumo total de energia que o carro por inteiro precisa para se movimentar e realizar a prova de *autocross.* O Optimum Lap já faz grande parte do trabalho ao estimar o consumo de 1 volta com o carro, ainda são necessários cálculos para estimar quanto de energia o carro precisa para sair da inercia e o consumo do conjunto motor inversor/conversor.

Associar células em paralelo aumenta a capacidade de energia que o banco de baterias conseguirá armazenar, porém sua tensão ficará inalterada, por outro lado, associar as células em série aumenta a tensão total, mas não altera a capacidade.

Para saber o arranjo de células utiliza-se as seguintes fórmulas:

$$N°_{série} = \frac{Vconversor}{Vbateria} \quad (2)$$

$$N°_{paralelo} = \left(Energia \cdot \frac{1}{Vconversor}\right) \div Capacidade\ da\ célula \quad (3)$$

Caso a energia que o carro utiliza não seja o bastante para suprir a corrente que o inversor necessita, divide-se a corrente nominal do inversor pela corrente nominal de descarga da célula para obter o número de células em paralelo necessárias para suprir essa corrente.

$$N°_{paralelo} = \frac{Corrente_{conversor}}{Corrente_{Bateria}} \quad (4)$$

3. RESULTADOS

Como é possível observar na Tabela 1, a energia utilizada para realizar uma volta na pista de *autocross* foi de 577,31 KJ. Multiplicando este valor pelo número total de voltas (22) e por um fator de segurança de 20% obtém-se aproximadamente 4,2334kWh. Supondo que a energia necessária para tirar o carro da inercia, evitar eventuais problemas e para ter mais um pouco de energia restante ao final da corrida esse valor passe a ser 6kWh.

Tabela 1 – Uma parte da tabela criada na simulação do Optimum Lap

Vehicle	UTForce2019
Lap time [s]	78,78
Percent in Corners [%]	37,99
Percent Accelerating [%]	74,51
Percent Braking [%]	24,70
Percent Coasting [%]	0,00
Percent 100% Throttle [%]	54,47
Percent TCS Enabled [%]	37,18
Lowest Speed [km/h]	19,62
Highest Speed [km/h]	76,13
Average Speed [km/h]	54,21
Energy Spent [kJ]	577,31

Fonte: Autoria própria (2020)

Uma célula de íon de Lítio cilíndrica apresenta uma capacidade aproximada de 2500mAh, uma tensão nominal de 3,7V, corrente de descarga de 20A e um inversor necessita de 500V e 160A nominais para suprir o motor correspondente. Aplicando o dado da tensão do inversor e a tensão da célula na Fórmula (2) é possível obter um arranjo de 136 células em série.

Pela Fórmula (3), seriam necessárias apenas 5 células em paralelo para suprir a energia necessária para o carro completar o percurso. Porém não é o suficiente para fornecer a corrente necessária para o funcionamento do inversor que precisa de 160A enquanto o arranjo de 5 células em paralelo fornece apenas 100A. Portanto utiliza-se a Fórmula (4) para descobrir quantas células serão necessárias no total. Realizando a divisão obtemos 8 células em paralelo, totalizando uma configuração de 136s8p.

4. DISCUSSÃO

É notável que, a partir das simulações e equações apresentados neste trabalho é possível ter uma estimativa de qual será o arranjo de células necessário para que o carro que está sendo projetado possa concluir o percurso desejado.

5. CONCLUSÃO

A partir das informações apresentadas é possível concluir que, para começar o dimensionamento de um banco de bateias para um carro de fórmula SAE elétrico, é necessária a pesquisa de materiais e equipamentos, assim como a leitura das normas e a realização de simulações com as informações adquiridas para que, só após todos esses dados forem coletados, seja possível realizar os cálculos de energia e associação de células de bateria e descobrir quantas células serão necessárias para a montagem do equipamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela infraestrutura e pelos recursos disponibilizados para realizar esta pesquisa e a equipe UTForce por todo o aprendizado e oportunidades proporcionados.

REFERENCIAS

FSAE. ***Formula SAE Rules 2020.*** [S.l.], 2019. Disponível em: http://fsaeonline.com/cdsweb/gen/downloaddocument.aspx?documentid=d9fa3638-59f8-411c-a487-e27abc2d9022. Acesso em: 10 de agosto de 2020. Citado 6 vezes na página 2.

OPTIMUMG. **Software Optimumlap.** [S.l.], 2019. Disponível em: https://optimumg.com/product/optimumlap/. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 4.

SALDO, R. **Banco de baterias de lítio**, como fazer seu banco de baterias de lítio. [S.l.:s.n.], 2017. Disponível em: http://teslabrasil.com/wp-content/uploads/2017/04/E-book-Roberto-Saldo-Aprenda-a-fazer-seu-pr%C3%B3prio-banco-de-baterias.-final-edit.pdf. Acesso em: 10 de agosto de 2020

TRUDES, G. P.; MONTEIRO, P. E. S. **Dimensionamento e projeto de banco de baterias para um protótipo fórmula SAE elétrico.** – PR. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica e Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta grossa, 2019. Citado na página 5.

ZIEMANN, S.; et all. **O futuro da mobilidade e suas críticas matérias-primas**. Revisão de Metalurgia. [S.l.:s.n.], 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257984459_The_future_of_mobility_and_its_critical_raw_materials. Acesso em: 10 de agosto de 2020. Citado na página 3.