



Sistemas de Engenharia -
Automação e Instrumentação

Grupo 1

2012/2013

Estado de Arte – Sistemas de Armazenamento de
Energia

<versão 1.0>

Elaborado por: Afonso Lopes
Rui Marcelino

Índice

1. Introdução	3
2. Tecnologias de Armazenamento de Energia.....	4
2.1. Flywheels.....	4
2.2. Hidrogénio	5
2.3. Super Conducting Magnetic Energy Storage (SMES)	6
2.4. Baterias.....	7
2.4.1 Níquel Cádmio (NiCd)	9
2.4.2 Níquel Hidreto Metálico (Ni-MH).....	10
2.4.3 Bateria de Chumbo-ácido.....	12
2.4.4 Bateria de Iões-Lítio (Li-On)	13
2.4.5 Baterias de Iões-Lítio Polímero (Li-Pos).....	14
2.4.6. Baterias de Iões-Lítio Ferro Fosfato (LiFePO ₄)	15
2.5. Ultra-Condensadores.....	17
3. Conclusão	18
Anexos	18

1. Introdução

O principal obstáculo que dificulta a comercialização dos veículos elétricos prende-se com a autonomia destes.

O sucesso do veículo elétrico está intimamente ligado com o desenvolvimento das tecnologias de armazenamento de energia existentes, como por exemplo, a melhoria das propriedades das baterias.

Este documento tem como objectivo a escolha do tipo de fontes de energia a serem implementadas no veículo eléctrico protótipo Formula student.



2. Tecnologias de Armazenamento de Energia

2.1. Flywheels

Um volante de inércia é um elemento mecânico antigo e bem conhecido, que adiciona uma inércia a um sistema de modo a armazenar energia cinética quando está sob movimento rotativo.

São elementos usados em grande parte das máquinas motrizes que continuam o movimento, por inércia, quando varia o conjugado do motor que os movimenta.

Desta forma, o volante de inércia opõe-se a acelerações bruscas de um movimento rotativo conseguindo, então, diminuir as flutuações de velocidade angular do conjunto ou retardar a perda de velocidade.

Este tipo de sistema é conhecido por Flywheel. Facilmente se converte energia mecânica em energia elétrica e vice-versa, utilizando um simples motor elétrico (ou gerador).

Vantagens:

- Impacto ambiental mínimo
- Capacidade de Armazenamento elevada
- Carregamento rápido
- Durabilidade

Desvantagens:

- Pouca resistência a choques mecânicos exteriores que provocam vibrações que resultam em perda de energia (desajustado para um ambiente automóvel)
- Tensão e frequência de saída com grandes variações de amplitude
- Efeito giroscópio
- Insegurança (as "Flywheel's" têm níveis de energia eléctrica e mecânica muito elevados e, por isso, têm que se ter em conta questões de segurança relativamente às mesmas)

2.2. Hidrogénio

A energia do hidrogénio é a energia que se obtém da combinação do hidrogénio com o oxigénio produzindo vapor de água e libertando energia que é convertida em electricidade.

Existem alguns veículos que são movidos a hidrogénio.

O hidrogénio é o elemento químico mais abundante no Universo, o mais leve e o que contém o maior valor energético.

Além disso, este elemento químico permite através de pilhas de combustível produzir electricidade e voltar a vapor de água, eliminando a emissão de gases de efeito de estufa na produção de electricidade.

Vantagens:

- Grande densidade energética por massa
- Não emite de gases que provocam o efeito de estufa;
- Capacidade de armazenamento
- Redução da poluição sonora, pois as células de hidrogénio trabalham silenciosamente;

Desvantagens:

- Tecnologia dispendiosa;
- Dependência de hidrocarbonetos, petróleos e seus derivados;
- Inexistência de boa relação preço-eficiência;



2.3. Super Conducting Magnetic Energy Storage (SMES)

São sistemas que armazenam energia através de um campo magnético, criado circulação de corrente contínua numa indutância supercondutora, que foi criogenicamente arrefecida até uma temperatura abaixo da sua temperatura crítica supercondutora.

Um sistema SMES típico inclui três partes: indutância supercondutoras, o sistema de conversão de energia e uma câmara de refrigeração criogenicamente arrefecida.

Uma vez que a indutância supercondutora é carregada, a corrente não irá decair e a energia magnética pode ser armazenada indefinidamente.

A energia armazenada pode ser aproveitada para alimentar a rede, através de um sistema de conversão de energia de inversor/rectificador, fazendo desse modo descarregar a indutância.

O mesmo conversor também pode ser usado para carregar a indutância (funcionando como rectificador).

As perdas de energia resultantes do sistema de conversão em cada direcção estimam-se entre 2-3% . São perdas bastantes inferiores quando comparado com outros métodos de armazenamento de energia.

São sistemas altamente eficiente, a eficiência bi-direccional é superior a 95%. Devido às necessidades de refrigeração e do alto custo de fio supercondutor, as SMES é atualmente usado para armazenamento de energia de curta duração.

Vantagens:

- Rendimento (material indutivo, menos perdas causadas pela circulação de corrente)
- O tempo de carga e descarga é muito curto
- Fornece um elevado fluxo de potência

Desvantagens:

- Elevado custo do fio supercondutor (indutância)
- Necessidade de refrigeração



2.4. Baterias

É o conjunto de duas ou mais células electroquímicas (eléctrodo positivo e eléctrodo negativo em contacto através de um electrólito) que permite obter energia eléctrica a partir de energia química.

As características eléctricas de uma bateria definem o seu comportamento no circuito e as características físicas têm um impacto importante no seu tamanho e peso.

Tensão da célula

A tensão potencial da bateria varia com o tempo quer devido ao uso quer devido à descarga espontânea (a concentração das espécies electroactivas altera-se).

A tensão nominal de uma pilha indica a tensão aproximada da célula quando esta produz corrente eléctrica.

As células podem ser ligadas em série de modo a produzir a tensão global pretendida para determinado efeito. A tensão da célula é dada pela diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo

.

Capacidade de carga

É a capacidade deste elemento de fornecer uma corrente com uma determinada intensidade e durante um determinado tempo, medido em hora. Exemplo: Capacidade de uma bateria = 10Ah – significa que a bateria pode fornecer 1 A durante 10h ou 2 A durante 5h ...

A capacidade nominal é definida pelo fabricante para condições de descarga específicas (intensidade da corrente, temperatura).

Energia Armazenada

O objectivo de uma bateria é armazenar energia.

A energia armazenada na bateria depende da sua tensão e da carga armazenada.

Energia (Wh) = Voltagem (V) × Carga (Ah)



A tensão e a capacidade de carga da bateria variam consideravelmente dependendo do modo como a bateria é usada (temperatura e velocidade de descarga).

Quer a voltagem quer a capacidade de carga diminuem se a corrente eléctrica aumentar e a bateria gastar-se-á rapidamente.

Densidade de Energia

A densidade de energia gravimétrica é a quantidade de energia eléctrica armazenada por kg de massa.

Uma vez conhecida a energia necessária, esta pode ser dividida pela energia específica para determinar a massa (aproximada) de bateria que é necessária da bateria (unidade – Wh/kg).

$$\text{massa bateria (Kg)} = \frac{\text{energia (Wh)}}{\text{energia específica (Wh / kg)}}$$

Densidade de Energia Volumétrica

A densidade de energia volumétrica é a quantidade de energia eléctrica armazenada por metro cúbico de volume da bateria.

$$\text{Volume (m}^3\text{)} = \frac{\text{Energia (Wh)}}{\text{Densidade de energia (Wh / m}^3\text{)}}$$

Potência Específica

É a quantidade de potência por Kg de bateria. Embora a bateria tenha uma potência máxima, não é aconselhável que funcione perto deste ponto durante mais do que alguns segundos, uma vez que isso implicaria uma curta duração da bateria e uma operação ineficiente.



Observações

Algumas baterias têm uma energia específica muito boa, mas têm uma potência específica baixa. Significa que estas baterias armazenam uma grande quantidade de energia, mas apenas a conseguem libertar lentamente.

Uma elevada densidade de potência resulta normalmente numa baixa densidade de energia para qualquer tipo de bateria.

Se a energia for retirada da bateria rapidamente (densidade de potência elevada) a energia disponível será reduzida.

2.4.1 Níquel Cádmio (NiCd)

A bateria de níquel cádmio (também conhecida pelo seu acrónimo NiCd) foi o segundo tipo de pilha ou bateria recarregável a ser desenvolvida.

O pólo positivo e o pólo negativo encontram-se no mesmo recipiente, com o pólo positivo (ou cátodo) coberto de Hidróxido de níquel, e o pólo negativo (ou ânodo) coberto de material sensível ao cádmio. São isolados por um separador.

Os pólos estão imersos em uma substância eletrolítica, que conduz íons, geralmente uma solução de Hidróxido de potássio (KOH).

As pilhas NiCd são geralmente mais baratas. Contudo, têm menor tempo de vida útil, além de menor capacidade de carga, e podem sofrer de um problema chamado "efeito memória".

Quando isso ocorre, a pilha deixa de ser carregada totalmente devido à sua composição química dar sinal de que a carga está completa.

O efeito memória acontece quando resíduos de carga na pilha induzem a formação de pequenos blocos de cádmio.

A melhor maneira de evitar o problema é não fazer recargas quando a bateria está parcialmente descarregada. Espera-se que a bateria descarregue totalmente, ie: espera-se que o aparelho deixe de funcionar.



As pilhas NiCd estão cada vez mais em desuso, pois para além do efeito memória, de terem menor capacidade e menor tempo de vida útil, esse tipo de bateria é muito poluente, já que o cádmio é um elemento químico altamente tóxico e prejudicial ao meio ambiente.

As principais aplicações são telefones sem fio, walkie-talkies, equipamentos médicos, câmaras de vídeo profissionais e ferramentas elétricas.

Vantagens:

- Custo reduzido
- Leve

Desvantagens:

- Poluente (cádmio)
- Tempo de vida útil reduzido
- Efeito de Memória
- Menor Capacidade

2.4.2 Níquel Hidreto Metálico (Ni-MH)

A bateria de níquel-hidreto metálico (Ni-MH), apresenta características operacionais similares às da bateria de níquel cádmio, sendo a principal diferença o uso de hidrogénio absorvido numa liga, na forma de hidreto metálico, como material ativo no eléctrodo negativo, ao invés de cádmio utilizado nas baterias de níquel cádmio.

O sucesso das baterias NiMH tem sido dirigido por sua alta densidade de energia pelo uso de metais não tóxicos.

As modernas baterias de NiMH oferecem até 100% a mais de densidade de energia em comparação com as baterias de NiCd. Tanto as baterias NiCd como as baterias NiMH têm uma alta taxa de autodescarga.

A bateria de NiCd perde aproximadamente 10% de sua capacidade dentro das primeiras 24 horas, após o que a autodescarga é de 10% ao mês. A autodescarga das baterias de NiMH é 1,5 a 2 vezes a autodescarga das baterias NiCd



As baterias de NiMH têm substituído as baterias de NiCd nos mercados de comunicações sem fio e computação móvel.

Em muitas partes do mundo o consumidor é encorajado a usar baterias NiMH ao invés de baterias NiCd.

Isto deve-se a preocupações ambientais com o descartar das baterias em fim de vida útil.

Inicialmente mais caras que as baterias NiCd, atualmente as baterias NiMH têm preço bem próximo ao das baterias NiCd.

Devido aos problemas ambientais, o consumo e a produção de baterias NiCd têm diminuído, o que provavelmente fará o seu preço crescer.

Vantagens:

- 50 a 100% maior capacidade que as baterias NiCd
- Menor efeito memória
- Não tóxica e não causa danos para o meio ambiente

Desvantagens:

- Repetidos ciclos de carga e descarga profunda reduzem a vida útil da bateria. O desempenho degrada-se após 200 a 300 ciclos
- Descargas parciais no lugar de descargas profundas são preferidas pelas baterias NiMH
- Corrente limitada de descarga. Melhores resultados são conseguidos com correntes de descarga da 0,2 C a 0,5 C (20 a 50 % da corrente nominal).
- Alta taxa de autodescarga. As baterias de NiMH se autodescarregam em torno de 50 % mais rápido que as baterias NiCd
- São mais caras que as baterias NiCd. As baterias NiMH projetadas para alta corrente são ainda mais caras



2.4.3 Bateria de Chumbo-ácido

A bateria chumbo-ácida foi inventada pelo francês Gaston Planté em 1860 e é uma associação de pilhas ligadas em série, e a tensão elétrica de cada pilha é de aproximadamente dois volts.

A bateria de chumbo-ácido é constituída por dois elétrodos, um de chumbo esponjoso, e outro de dióxido de chumbo em pó, ambos mergulhados numa solução de ácido sulfúrico com densidade aproximada de 1,28g/mL dentro de uma malha de liga chumbo-antimónio, esta liga é mais resistente à corrosão que o chumbo puro.

Para recarregar a bateria fornece-se corrente contínua no elétrodo de dióxido de chumbo para o de chumbo no que resulta na inversão das reações, neste processo o ácido sulfúrico é regenerado, por isso a percentagem de ácido sulfúrico indica o grau de carga ou descarga da bateria.

É a bateria mais económica quando o problema do peso pode ser desprezado.

É bastante usada em equipamentos hospitalares, cadeira de rodas elétricas, luz de emergência.

Vantagens:

- Custo baixo
- Tecnologia madura, confiável e bem-compreendida
- Auto-descarga baixa - a auto-descarga está entre as mais baixas em sistemas de baterias recarregáveis
- Exigências de manutenção baixas – sem memória; nenhum eletrólito para encher
- Capaz de taxas elevadas de descarga.

Desvantagens:

- Não pode ser armazenada em uma condição descarregada – a tensão da célula não pode cair abaixo de 2,10 Volts
- Densidade baixa da energia
- Permite somente um número limitado de ciclos cheios de descarga -- bemadequado para aplicações de espera que requerem somente descargas profundas ocasionais

- Meio hostil - o eletrólito e o conteúdo da carga podem causar danos ambientais.

2.4.4 Bateria de Iões-Lítio (Li-On)

É a tecnologia mais recente e em desenvolvimento/crescimento.

A bateria Li-íon é usada quando se deseja alta densidade de energia e peso leve.

São mais caras e precisam ser utilizadas dentro de padrões rígidos de segurança – são frágeis e requerem um circuito de proteção para manter uma operação segura.

Embutido dentro de cada conjunto, o circuito de proteção limita a tensão de pico de cada célula durante a carga e previne que a tensão da célula caia muito durante a descarga.

Além disso, a máxima corrente de carga e descarga tem de ser limitada e a temperatura da célula tem que ser monitorizada para prevenir temperaturas extremas.

O envelhecimento é uma preocupação com a maioria das baterias.

Alguma deterioração da capacidade é perceptível após 1 ano, se a bateria estiver em uso ou não.

Após de 2 ou 3 anos, a bateria frequentemente falha.

Deve-se mencionar que os outros tipos de baterias também têm efeitos de degradação do desempenho relacionados com a idade.

Armazenar a bateria num lugar fresco retarda o processo de envelhecimento da bateria de Lítio-Íon (e outras). Fornecedores recomendam armazenar a 15°C (59°F).

Além disso, a bateria só deve ser carregada quando armazenada e esse carregamento deve ser parcial.

Vantagens:

- Densidade da energia elevada - potencial para capacidades ainda maiores
- Auto-descarga relativamente baixa - a auto-descarga é menor do que a metade da NiCd e NiMH
- Manutenção Baixa - nenhuma descarga periódica é necessária; sem memória



Desvantagens:

- Requer circuito de proteção - o circuito da proteção limita a tensão e a corrente. A bateria é segura se não sobrecarregada ou sobreaquecida (risco de explosão ou incêndio).
- Sujeito ao envelhecimento, mesmo se não estiver em uso - armazenar a bateria num lugar fresco e a 40 por cento de estado de carga reduz o efeito do envelhecimento
- Moderada corrente de descarga
- Caro de se fabricar - aproximadamente 40 por cento maior no custo do que a de NiCd. Melhores técnicas de fabricação e recolocação de metais raros com alternativas de custo mais baixo, provavelmente reduzirão o preço
- As baterias do Li-íon têm uma alta densidade de energia. Não fazer curto-circuito, não sobrecarregar, não esmagar, não bater, não mutilar, não aplicar polaridade reversa, não expor a altas temperaturas e não desmontar

2.4.5 Baterias de Iões-Lítio Polímero (Li-Pos)

É uma versão mais barata da Lítio-Íon.

A química é similar à de Lítio-Íon em termos de densidade de energia. Pode ser fabricada com uma geometria muitofina e permite uma embalagem simplificada.

O Lítio é o mais leve de todos os metais usados em baterias, tem o maior potencial eletroquímico e fornece a maior densidade de energia por peso.

O projeto de polímero seco oferece simplificações no que diz respeito à fabricação, rugosidade, segurança e geometria de perfil fino.

São baterias recarregáveis que usam anodos de metal de lítio (eletrodos negativos) são capazes de fornecer tanto alta tensão quanto excelente capacidade, resultando numa extraordinária densidade de energia alta.

No entanto, as baterias de Lithium Polímero só podem ser carregadas em carregadores específicos para Lithium Polímero, por causa de suas características especiais que diferem completamente das demais baterias.



Existe a possibilidade delas pegarem fogo se não forem carregadas corretamente

Vantagens:

- Perfil muito baixo e leves- baterias que se assemelham a um perfil de cartão de crédito são praticáveis
- Maior Potência Específica (Relação Potência/Peso)
- Baixa auto-descarga e elevada potência específica
- Segurança ligeiramente melhorada – um pouco mais resistente à sobrecarga; menor possibilidade de esvaziar o eletrólito

Desvantagens:

- Densidade de energia mais baixa e contagem de ciclo diminuída comparada à bateria de Lítio-Íon - potencial para melhorias existem.
- Continua a não suportar sobre-carregamentos e descarregamentos excessivos , mantendo-se o risco de explosão ou de incêndio

2.4.6. Baterias de Iões-Lítio Ferro Fosfato (LiFePO₄)

A tecnologia mais recente de bateria. Reune as vantagens das baterias de NiCd de segurança e durabilidade com a elevada capacidade e baixo peso das baterias iões lítio e iões lítio polímero.

Têm uma densidade de energia ligeiramente inferior às baterias Li-On, Li-Pos, mas são bastante mais resistentes/tolerantes a condições de sobre-carga, ou sub-carga.

Numa situação onde a LiPo poderia explodir, a célula LiFePO₄ resistiria e, no pior dos casos, libertaria um gás não nocivo.

As células LiFePO₄ apresentam vantagens não só pela segurança, mas também por terem uma maior durabilidade.

Vantagens:

- Segurança e Fiabilidade
- Muito baixa auto-descarga
- Maior tolerância a sobre-carregamentos e descarregamentos excessivos
- Maior ciclo de vida

Desvantagens:

- Gama limitada de baterias deste tipo (características)

	Energia específica (Wh/kg)	Densidade de Energia volumétrica(Wh/l)	Potência Específica (W/kg)	Ciclo de Vida (nº ciclos)	Eficiência (%)	Tempo de Carregamento (h)
NiCd	40-60	50-150	150	2000	70-90	1
Ni-Mh	60-120	140-300	250-1000	1000	66	2-4
Chumbo	30-40	60-75	180	500-800	70-92	8-16
Li-On	90-160	250-730	250-340	1200	94	2-4
Li-Pos	130-200	300	2000-5000	1000	97	1-2
LiFePO4	90-110	220	>300	2000	92	1-2

2.5. Ultra-Condensadores

São condensadores eletroquímicos que tem uma extraordinária capacidade de armazenamento de energia relativo a seu tamanho quando comparado a condensadores comuns.

Estes são de interesse particular em aplicações a automóveis para armazenamento suplementar para bateria de veículos elétricos.

Em regimes transitórios como acelerações acentuadas ou travagens bruscas, os ultra-condensadores conseguem fornecer elevadas correntes de descarga ou receber elevadas correntes de carga. Dessa forma, podem ter grande utilidade no sentido poupar as baterias a esses regimes, prolongando o tempo de vida útil das baterias cujo nº de ciclos carga/descarga é mais reduzido.

Vantagens:

- Grandes taxas de carga/descarga
- Centenas de milhares de ciclos.
- Reversibilidade boa
- Peso Leve
- Eficiência de ciclo alta
- Baixa toxicidade dos materiais

Desvantagens:

- A energia específica (quantidade de energia por Kg) é consideravelmente mais baixa que o de uma bateria eletroquímica
- A tensão varia com a energia armazenada. Para armazenar efetivamente e recuperar energia é necessário controlo eletrónico sofisticado, que resulta em perda de energia.

3. Conclusão

O sistema de armazenamento de energia irá ser composto por duas fontes de energia.

Serão usadas baterias e ultra-condensadores.

O banco de baterias será a principal fonte de energia, responsável por fornecer a potência média solicitada pelo veículo eléctrico.

O banco de ultra-condensadores terá um papel auxiliar/complementar, no sentido de actuar nos regimes transitórios de operação do veículo onde são solicitadas elevadas potências de pico.

A escolha do tipo de baterias foi a bateria de lões-Lítio ferro fostato (LiFePO_4). Do ponto de vista de obter o melhor desempenho possível, a escolha poderia passar pelo uso de baterias do tipo lões Litíio Polímero.

No entanto, existem riscos associados à utilização deste tipo de baterias (como por exemplo o risco de incêndio) que fazem com que esta não seja a solução mais adequada a adoptar num veículo.

As baterias LiFePO_4 representam uma solução mais segura a adoptar num veículo eléctrico.

O equivalente em baterias LiPo até pode ser mais leve, mas não oferece as características de robustez e segurança que as baterias LiFePO_4 oferecem.

Bibliografia

http://www.ipv.pt/millenum/arq8_fly.htm

<http://www.veiculoselectricospt.com/baterias-de-litio-fonte-de-esperanca/>

<http://www.rcmodelreviews.com/baffledbybatteries4.shtml>

http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery

http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_polymer_battery

<http://www.batteryspace.com/powerizer-lifepo4-battery-12v-12ah-144wh-30a-rate-with-balancing-pcm.aspx>