

DELPHI

Especificação e Modelagem de Baterias NiMH
e seu Algoritmo de Recarga utilizando:

MATLAB/Simulink/StateFlow/Targetlink



Relatório de Estágio

Orientadores:

Cursino Brandão Jacobina

Professor da Universidade Federal de Campina Grande

Gérard GIMENEZ

Professor do Institut National des Sciences Appliquées de LYON

Nicolas MARTINS

Engenheiro de Sistemas DELPHI Electronics and Safety

Aluno:

Vanderley Maia Gomes
vanderleymaia@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço aos meus orientadores de estágio: Gérard Gimenez (Professor da INSA de Lyon-França), Nicolas Martins (Engenheiro de Sistemas – DELPHI Electronics and Safety), Cursino Brandão Jacobina (Professor da Universidade Federal de Campina Grande), que me guiaram e me aconselharam ao longo do estágio, mas me deixando suficientemente independente sobre como conduzir o estágio.

Eu agradeço Raphaël Pezet (Engenheiro de Sistemas de Controle e Modelagem – DELPHI Electronics and Safety) por me fornecer vários documentos e pela formação em MatLab/Simulink/Stateflow/TargetLink.

Eu agradeço a Yannis Sinope (DELPHI Electronic and Safety) por sua preciosa ajuda na utilização das baterias NiMH, e por sua ajuda durante os testes com as baterias nos laboratórios da DELPHI.

Eu agradeço a CAPES por ter me dado a oportunidade de realizar parte de minha formação na França, através do programa BRAFITEC.

Eu agradeço ao professor Carlos José de Araújo, então coordenador do BRAFITEC, por ter confiado em meu potencial.

Enfim, eu agradeço a Kamel Maaziz (Responsável da Competência de Sistemas – DELPHI Electronics and Safety) e a toda equipe DELPHI que me permitiram realizar meu estágio em um ambiente particularmente agradável.

Sumário

| | |
|---|----|
| Sumário | 3 |
| Lista de Figuras | 5 |
| 1. Introdução..... | 6 |
| 2. Apresentação da Empresa | 6 |
| 2.1 Descrição | 6 |
| 2.2. Histórico e Atualidade..... | 7 |
| 2.3 Implantação | 9 |
| 2.4 Organização..... | 10 |
| 3. Apresentação do estágio..... | 11 |
| 3.1 Descrição | 11 |
| 3.2. Objetivos | 11 |
| 3.2.1. Estudo detalhado sobre as baterias de NiMH "Nickel-Métal Hydride Battery" | 11 |
| 3.2.2. Especificação de um novo algoritmo de recarga..... | 12 |
| 3.2.3. Modelagem das baterias NiMH..... | 12 |
| 3.2.4. Modelagem do algoritmo de recarga..... | 12 |
| 3.2.5. Geração automática dos códigos | 12 |
| 4. Estudo detalhado sobre as baterias de NiMH..... | 13 |
| 4.1. Características gerais..... | 13 |
| 4.2. A reação química..... | 13 |
| 4.3. Características de descarga..... | 14 |
| 4.3.1. Auto-descarga e retenção de carga. | 15 |
| 4.4. Características de recarga | 15 |
| 4.5. Os modos de recarga | 18 |
| 4.6 – Os algoritmos para o controle da carga..... | 18 |
| 4.6.1 Controle da recarga através do tempo de recarga | 19 |
| 4.6.2 – Controle da recarga utilizando a tensão e temperatura da bateria..... | 19 |
| 4.6.3. Controle da recarga através de $-\Delta V$ | 20 |
| 4.6.4. Controle de recarga utilizando DT/dt | 21 |
| 5. Especificação de um novo algoritmo de recarga..... | 22 |
| 5.1. Gerenciamento Interno | 22 |
| 5.2. Tipos de Recarga..... | 22 |
| 5.2.1. Carga Longa | 22 |
| 5.2.2. Carga em Modo Armado | 22 |
| 5.2.3. Carga Rápida | 22 |
| 5.2.4. Carga Lenta | 23 |
| 5.2.5. Considerações sobre a temperatura da bateria. | 23 |
| 5.2.6. Algoritmo de aproximação da temperatura da bateria. | 24 |
| 6. Modelagem | 25 |
| 6.1. Modelagem das baterias NiMH..... | 25 |
| 6.2. Aquisição de dados..... | 27 |
| 6.3. Material utilizado | 27 |
| 6.4. Resultados dos testes..... | 28 |
| 7. Desenvolvimento do algoritmo de recarga..... | 29 |
| 7.1. StateFlow..... | 29 |
| 7.2. As funções do algoritmo de recarga | 29 |
| 7.3. A função UpdateTemperature | 30 |
| 7.4. Os limites de tensão e temperatura..... | 31 |

Especificação e Modelagem de Baterias NiMH e seu Algoritmo de Recarga

| | |
|---|----|
| 7.5.A função UpdateVoltage | 32 |
| 7.6. A função Control_Charge | 33 |
| 8. Geração do Código | 35 |
| 8.1. Maiores Vantagens da geração do código utilizando TargetLink | 35 |
| 9. Conclusão | 36 |
| 10. Referências Bibliográficas | 37 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Fig. 1 - Implantação de DELPHI na Europa | 9 |
| Fig. 2 – Alguns números importantes | 9 |
| Fig. 3 – Competências | 10 |
| Fig. 4 – Arquitetura de um Sistema de Alarme | 11 |
| Fig. 5 – Descarga de bateria cilíndrica NiMH a 20°C. | 14 |
| Fig. 6 – Descarga de bateria cilíndrica NiMH a 45°C. | 14 |
| Fig. 7 – Auto-descarga de baterias NiMH..... | 15 |
| Fig. 8 – Tensão durante a recarga de uma bateria NiMH (linha contínua) e NiCd..... | 16 |
| Fig. 9 – Temperatura durante a recarga de uma bateria NiMH (linha contínua) e NiCd..... | 16 |
| Fig. 10 – Tensão x Quantidade de Carga, corrente constante | 17 |
| Fig. 11 – Tensão x Quantidade de Carga, temperatura constante | 17 |
| Fig. 12 – Temperatura x Quantidade de Carga (%) | 18 |
| Fig. 13 – Recarga Trickle | 18 |
| Fig. 14 – Diagrama de blocos, Alg. Temperatura e Tensão..... | 20 |
| Fig. 15 – Algoritmo para aproximar a temperatura da bateria | 20 |
| Fig. 16 – Variação negativa de tensão durante a recarga | 21 |
| Fig. 17 – DT/dt durante uma recarga | 21 |
| Fig. 18 - Trickle charge como função da tensão | 23 |
| Fig. 19 - Algoritmo de aproximação da temperatura da bateria..... | 24 |
| Fig. 20 – Modelo da Bateria..... | 25 |
| Fig. 21 – Modelo detalhado da Bateria | 26 |
| Fig. 22 – Detalhe do bloco SOC | 26 |
| Fig. 23 – Tabela 2D..... | 26 |
| Fig. 24 – Curvas obtidas com temperatura de 0°C | 28 |
| Fig. 25 – Conjunto de curvas fornecidas por GP | 28 |
| Fig. 26 – Esquema em StateFlow..... | 29 |
| Fig. 27 – Função em StateFlow..... | 30 |
| Fig. 28 – Limites de Tensão X Limites de Temperatura..... | 31 |
| Fig. 29 - Exemplo StateFlow..... | 31 |
| Fig. 30 – Atualização dos limites de temperatura e tensão | 32 |
| Fig. 31 – Atualização da variável CHARGE_AUTH_VOLT..... | 33 |
| Fig. 32 – Atualização da variável CHARGE_TYPE | 34 |

1. Introdução

O Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande abre para os seus alunos a possibilidade de realizar um estágio em tempo integral, de duração de seis meses em uma empresa do setor privado ou público.

Este estágio permite aplicar os conhecimentos práticos e teóricos adquiridos durante todo o curso, o estágio fornece também ao aluno uma primeira experiência no mercado de trabalho.

Foi então nessas condições que eu efetuei um estágio de seis meses nas instalações da DELPHI Corporation na divisão de Système et Sécurité, na cidade de Tremblay na França.

2. Apresentação da Empresa

2.1 Descrição

DELPHI é um dos líderes mundiais na área de sistemas para automóveis, trabalhando essencialmente na área automobilística e na indústria de transportes. Sua clientela internacional se estende dentro dos setores de alta tecnologia como, Telecomunicações, Material Médico e Informática.

A empresa é formada por divisões as quais são associadas a uma ou diversas competências:

Divisão Électronique & Sécurité - Comunicação, Controle & Proteção e Sistemas de Segurança;

Divisão Systèmes Thermiques – Sistemas térmicos para automóveis, mercados térmicos semelhantes;

Divisão Powertrain – Sistemas de gestão do motor, produtos eletrônicos associados e gestão do combustível;

Divisão Architecture Électrique/ Électronique – Sistemas de distribuição elétrico-eletrônica, centrais elétricas e sistemas de conexão;

Divisão Solutions Produits & Services – Eletrônica para público em geral e equipamentos médicos;

Division Systèmes de Direction – Sistemas de direção e transmissão.

2.2. Histórico e Atualidade

1912 – Primeira partida elétrica.

1929 – Primeiro aquecimento para automóveis.

1936 – Primeiro aparelho de som no painel do automóvel.

1951 – Primeiro sistema de direção assistida.

1963 – Primeiro regulador de velocidade.

1973 – Primeiro fornecedor de Airbag série.

1975 – Primeiro catalisador, o escapamento começa a ficar limpo.

1988 - Criação da Grupo ACG Worldwide.

1993 – Primeiro sistema de alerta anti-colisão.

1994 - ACG Worldwide se estabelece como setor de atividade independente.

1995 - ACG Worldwide se torna Delphi Automotive Systems.

1998 – Delphi se torna uma filial.

1999 - 5 de fevereiro. Abertura de capital de Delphi na bolsa de New York (DPH).

2002 - 28 maio. Delphi se torna totalmente independente de GM.

2004 – Primeiras portas motorizadas em automóvel de pequeno porte (Peugeot 1007).

2005 – Primeiro regulador de velocidade adaptativo.

Na tentativa de sair do capítulo que trata da falência de empresas americanas, também conhecido como capítulo 11, DELPHI se separa de uma parte de suas atividades. As divisões Steering e Powertrain são vendidas.

Anúncios em 2005:

- DELPHI equipa o novo Ford Explorer com novas tecnologias de segurança e conforto, sistemas de multimídia para os bancos traseiros e receptor de rádio via satélite.
- Porta elétrica para os Mercedes Vito et Viano.
- DELPHI fornece um sistema avançado de alerta de colisão para o grupo Ford na Europa.
- DELPHI confirma sua posição de líder mundial no domínio de sistemas eletrônicos, com novos contratos assinados em 2005 chegando a 5 milhões de dólares.

Anúncios em 2006:

- DELPHI assina novos contratos de sistemas de direção por um montante de 3,3 milhões de dólares em 2006.
- Conforto à la carte a bordo do luxuoso SUV Audi Q7 graças a climatização 4 zonas DELPHI.
- A suspensão semi-ativa MagneRide de DELPHI melhora o conforto e o comportamento do novo Audi TT.
- O novo Jaguar XK é equipado de um Modulo Central DELPHI (30 de Maio de 2006).

Anúncios em 2007:

- DELPHI equipa a nova Mercedes Classe C: As tecnologias DELPHI relativas a segurança, proteção e outros sistemas nos modelos mais vendidos da Mercedes.
- O Sistema de recepção TV Fuba de DELPHI foi escolhido por BMW para seus futuros modelos.
- O sistema híbrido de DELPHI é ou analógico ou digital.

Anúncios em 2008:

- DELPHI oferece um HUB para múltiplas conexões de sistemas de veículos e interfaces de consumo.
- DELPHI mostra o novo « Dual-View-Navigation » a CES.
- DELPHI é reconhecido no Luxembourg American Business Award 2008.
- DELPHI fornece sistema de injeção eletrônica para os motores comerciais Kohler.

Anúncios em 2009:



- DELPHI ganha o prêmio Toyota.
- DELPHI apresenta à Volvo os novos sistemas de segurança ativa para a próxima geração do SEDAN S60.

2.3 Implantação

DELPHI é uma sociedade internacional, tendo como origem a cidade de Troy nos Estados Unidos. Nosso interesse neste trabalho será particularmente as unidades de DELPHI na França.

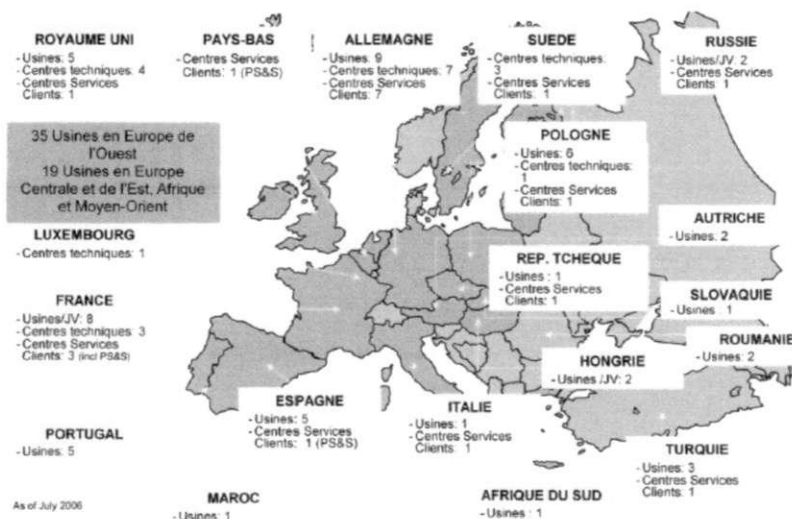


Fig. 1 - Implantação de DELPHI na Europa

Como ilustrado na Fig. 1, a DELPHI dispõe de 54 usinas distribuídas por toda Europa. Diversos centros técnicos e centros de serviço são implantados próximos dos clientes. O núcleo social de DELPHI-Europe se situa em Luxemburgo e o de DELPHI-France em Tremblay na França. DELPHI emprega mais de 175000 pessoas em todo o mundo, das quais 50000 na Europa e 5000 na França.

Na Fig. 2 são ilustrados alguns números da sociedade DELPHI.

| | Mundo | Europa | França |
|---------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| Sedes | Troy, Michigan (USA) | Luxemburgo | Paris (France) |
| Número de Indústria | 161 | 54 | 9 |
| Centros Técnicos | 32 | 14 | 3 |
| Empregados | 177000 | 49500 | 4916 |
| Países presentes | 38 | 21 | - |
| Números | 21,3 Milhões US\$ | 6.7 Milhões US\$ | 1.435 Milhões US\$ |

Fig. 2 – Alguns números importantes

2.4 Organização

A DELPHI é organizada em divisões, que agrupam varias competências separadas em linhas de produtos. Dentro de cada linha de produto, encontram-se uma atividade de sistema, uma atividade de desenvolvimento de programa e uma de desenvolvimento de hardware.

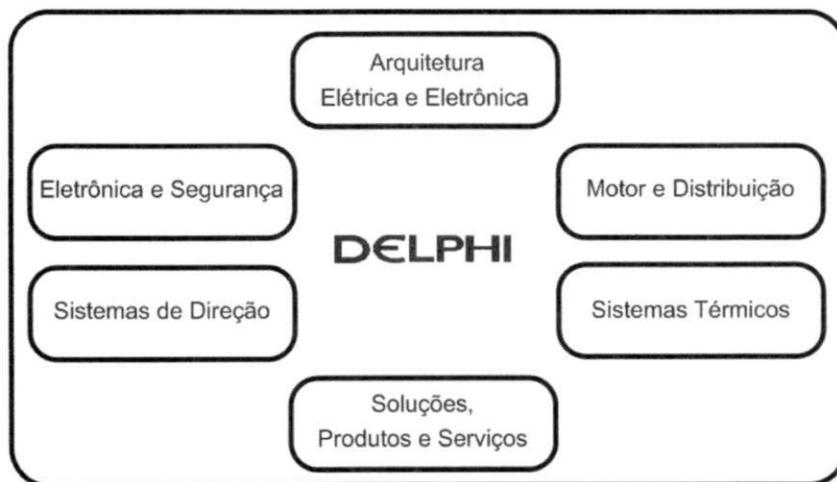


Fig. 3 – Competências

3. Apresentação do estágio

3.1 Descrição

Entre os diversos produtos que a DELPHI oferece aos seus clientes, encontram-se os sistemas de alarme. Para estes sistemas a DELPHI utiliza um módulo de ultrassom e um sensor de inclinação para detectar mudanças de estado do veículo.

Na Fig. 4, é ilustrada a arquitetura de um sistema de alarme DELPHI.

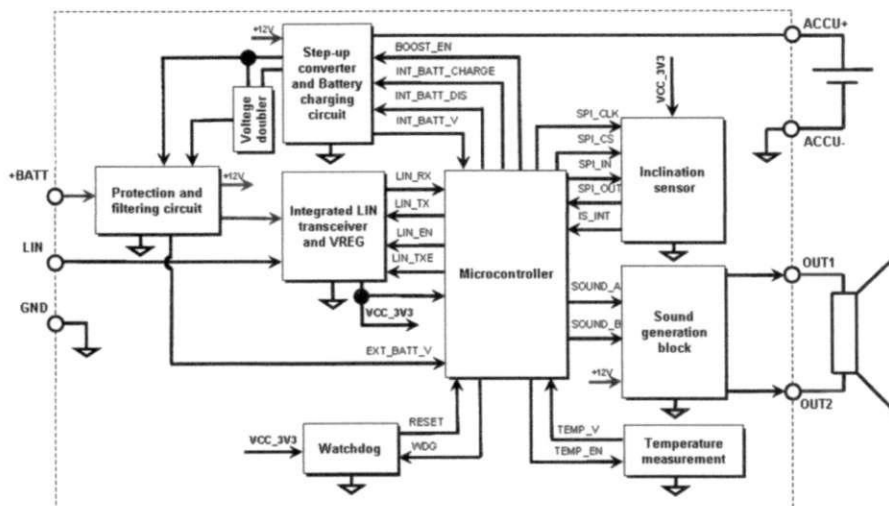


Fig. 4 – Arquitetura de um Sistema de Alarme

Esses alarmes monitoram também a conexão elétrica com a bateria do automóvel, com a finalidade de detectar qualquer tentativa de desconexão desta bateria, no caso da desconexão ocorrer o alarme deve soar utilizando a energia da bateria interna.

3.2. Objetivos

3.2.1. Estudo detalhado sobre as baterias de NiMH "Nickel-Métal Hydride Battery"

Nesta etapa foi realizado um estudo sobre a tecnologia NiMH. O estudo foi dividido em :

- Características gerais;
- Reação química;
- Características de descarga;
- Características de recarga;
- Métodos de recarga;
- Técnicas para o controle da recarga.

3.2.2. Especificação de um novo algoritmo de recarga

Uma especificação é um documento que descreve todas as características de um sistema, suas funções, suas variáveis e condições. Uma nova especificação para a carga foi escrita com as novas características que vão permitir melhorar os sistemas de alarme DELPHI.

3.2.3. Modelagem das baterias NiMH

A modelagem das Baterias NiMH é uma das etapas mais importantes desse projeto, pois todas as outras etapas são fortemente dependentes de um bom modelo da bateria. O algoritmo de carga só poderá ser validado se um modelo próximo da bateria real for utilizado.

A modelagem foi realizada em duas etapas:

- O estudo dos modelos existentes;
- A utilização da metodologia Model Based Design MBD.

3.2.4. Modelagem do algoritmo de recarga

O algoritmo de recarga foi desenvolvido utilizando MatLab/Simulink/Stateflow. Ele possui todas as regras relativas a recarga da bateria, ou seja, quando a bateria deve ser carregada, que módulo de corrente aplicar durante a carga, etc.

3.2.5. Geração automática dos códigos

Uma vez que o algoritmo de carga seja finalizado, é possível gerar o código utilizando a ferramenta TargetLink.

Normalmente, depois que o código é gerado, o mesmo pode não estar totalmente de acordo com o que se esperava. Seja em relação a nomenclatura das variáveis, ou como estão organizadas as funções, sendo importante fazer uma leitura completa para que possam ser realizadas as devidas correções.

4. Estudo detalhado sobre as baterias de NiMH

4.1. Características gerais

A bateria de NiMH é uma tecnologia relativamente nova e similar a Ni-Cd Cádmio".

O eletrodo Metal Hídrico tem uma densidade de energia maior que o Metal Cádmio, ou seja, necessitamos de um eletrodo menor nas baterias NiMH para conseguir a mesma capacidade de armazenamento que baterias de NiCd.

A tecnologia NiMH é livre de Metal Cádmio, sendo uma tecnologia que causa menores impactos a natureza, por outro é menos tolerante a sobrecarga e isso demanda um sistema mais eficiente de carga.

Algumas vantagens e inconvenientes das baterias NiMH são mostradas na Tab. 1.

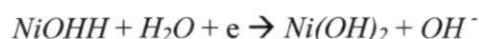
| Vantagens | Inconvenientes |
|--|--|
| Maior capacidade que as baterias de <i>Ni-Cd</i> | Efeito memória mais intenso que nas baterias de Ni-Cd |
| Ausência de metal cádmio | Má retenção de energia |
| Grande ciclo de vida | Os elétrodos negativos mais caros que os utilizados nas baterias Ni-Cd |

Tab. 1 – Vantagens e Inconvenientes das baterias de NiMH

4.2. A reação química

O metal ativo do eletrodo positivo presente nas baterias de NiMH é o *NiOOH*, e no eletrodo negativo temos o *MH*.

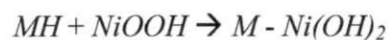
Durante a descarga temos a seguinte:



e:



Resultando na seguinte reação:



Durante a carga a reação é inversa.

O processo de modelagem utilizando o comportamento químico é muito complicado, resultando em modelos bastante complexos. Por esta razão a maior parte dos trabalhos acadêmicos disponíveis não trata do comportamento químico.

4.3. Características de descarga

As características de descarga são dependentes do formato da bateria. As baterias cilíndricas em forma de botão e prismáticas possuem comportamentos diferentes.

Nas atividades de estágio foi utilizada apenas a bateria no formato cilíndrico, pois este modelo utilizado nos alarmes DELPHI.

Na Fig. 5 são ilustradas as curvas de capacidade em ampere-hora de uma bateria durante a descarga utilizando diversas correntes a uma temperatura de 20°C, $I_a = 0.2C$, $I_b = 1C$, $I_c = 2C$, $I_d = 3C$, onde C é a capacidade da bateria em mAh, e no caso dessa bateria $C = 550\text{mAh}$.

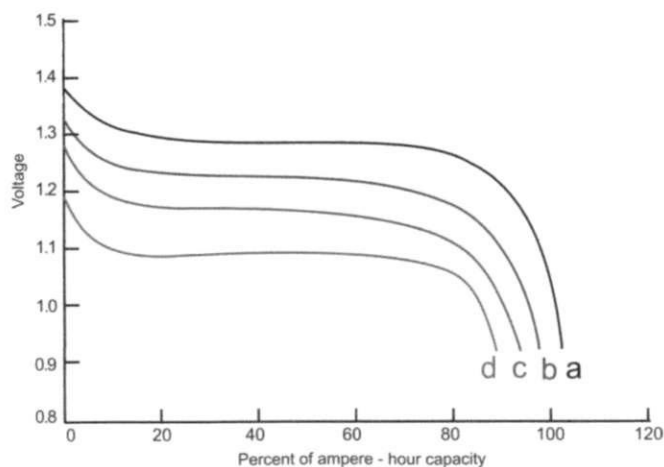


Fig. 5 – Descarga de bateria cilíndrica NiMH a 20°C.

Na Fig. 6 são ilustradas as mesmas curvas, a uma temperatura de 45°C.

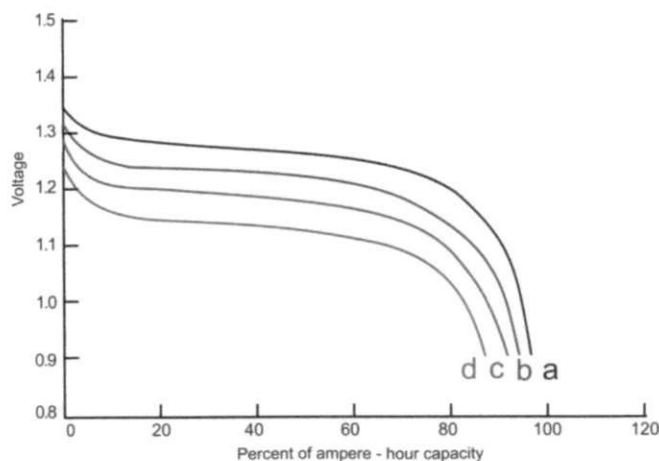


Fig. 6 – Descarga de bateria cilíndrica NiMH a 45°C.

Como é possível observar nas curvas ilustradas nas Fig. 5 e Fig. 6, a capacidade de uma bateria é dependente da temperatura e da corrente de descarga.

A quantidade de energia que pode ser fornecida por uma bateria, depende também da tensão de cutoff. Esta tensão, é um parâmetro que indica o menor valor que deve restar na bateria. Para uma bateria de NiMH seu valor é por volta de 0.8V por célula.

4.3.1. Auto-descarga e retenção de carga.

O "state of charge - SOC" indica a quantidade de carga que resta na bateria, em uma bateria NiMH o SOC diminui durante o período de estocagem, resultado da corrente de auto-descarga.

A taxa de auto-descarga é dependente da temperatura de estocagem. Quanto maior a temperatura maior a corrente de auto-descarga. Fig. 7 são ilustradas algumas curvas de auto-descarga a diferentes temperaturas.

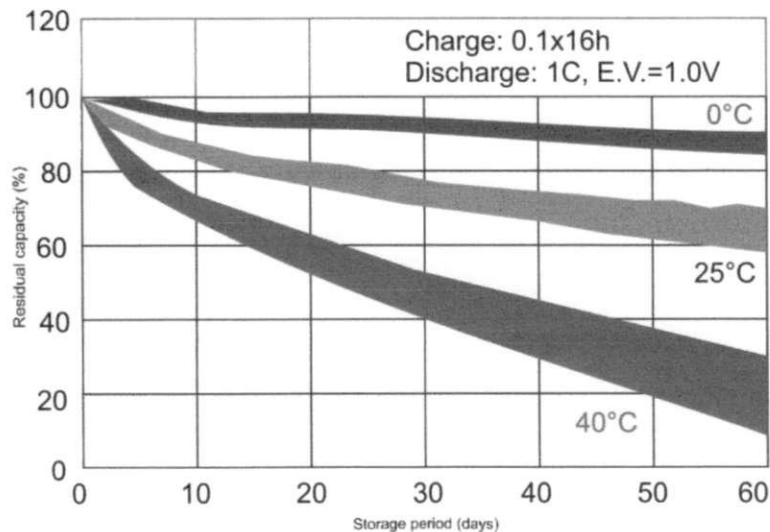


Fig. 7 – Auto-descarga de baterias NiMH.

4.4. Características de recarga

Recarregar uma bateria é o processo de repor a energia que foi perdida ou utilizada, O desempenho de uma bateria e sua vida útil são fortemente dependentes de um regime de recargas eficientes, uma recarga eficiente pode ser caracterizada como:

- Recarregar a bateria até sua capacidade total;
- Evitar a sobrecarga da bateria;
- Evitar carregar em altas temperaturas.

O método mais utilizado para recarregar baterias de NiMH é a utilização de uma corrente de carga constante e pequena para evitar uma elevação excessiva de temperatura e uma alta taxa de recombinação de oxigênio.

Os comportamentos da tensão e da temperatura de uma bateria de NiMH e uma Ni-Cd durante uma recarga, são ilustrados nas figuras 8 e 9.

Durante a primeira etapa da recarga a temperatura da bateria Ni-Cd é praticamente constante, pois a reação é endotérmica. Por outro lado, nas baterias NiMH a reação é exotérmica por isso a temperatura sobe durante o mesmo intervalo, quando as baterias chegam a uma carga de 75~80% a temperatura sobe mais rapidamente devido a recombinação de oxigênio.

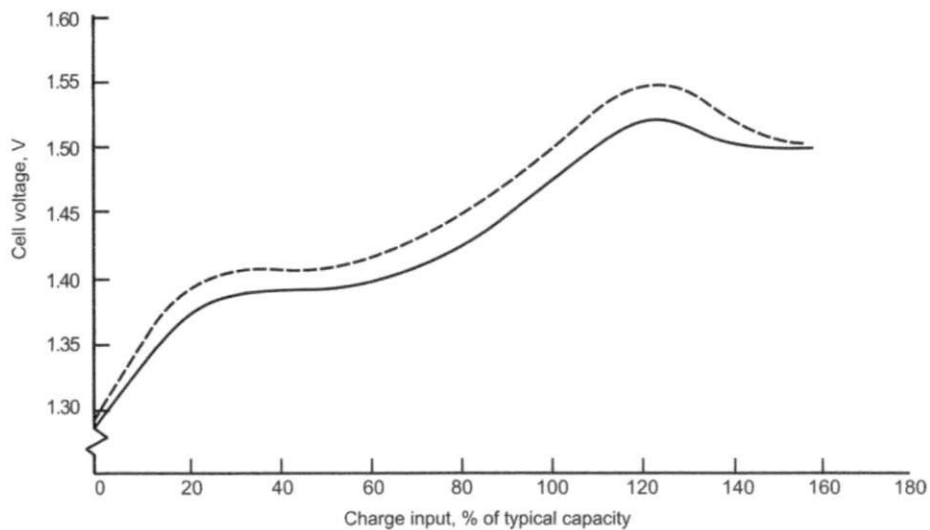


Fig. 8 – Tensão durante a recarga de uma bateria NiMH (linha contínua) e NiCd.

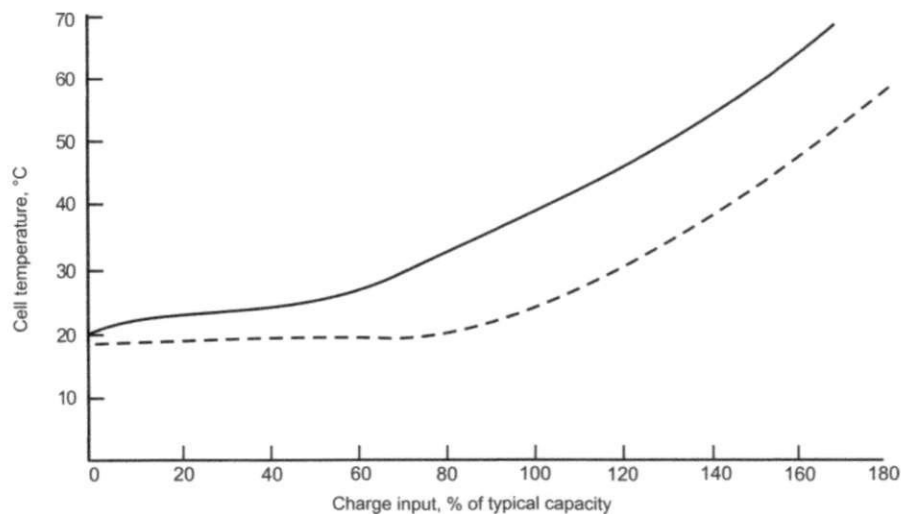


Fig. 9 – Temperatura durante a recarga de uma bateria NiMH (linha contínua) e NiCd.

São ilustradas na Fig. 10 as curvas "Tensão x Quantidade de Carga %" para uma mesma corrente de recarga e três temperaturas diferentes, ao analisar as curvas conclui-se que, a recarga depende da temperatura.

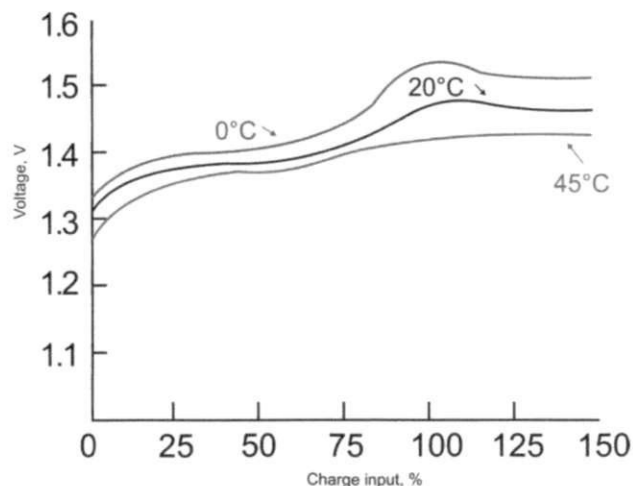


Fig. 10 – Tensão x Quantidade de Carga, corrente constante

São ilustradas na figura 11 as curvas "Tensão x Quantidade de Carga %" para uma mesma temperatura "20°C" e três correntes diferentes "1C, 0.3C, 0.1C, onde C é a capacidade da bateria em mAh". Pode-se concluir que o comportamento da recarga também depende da corrente utilizada.

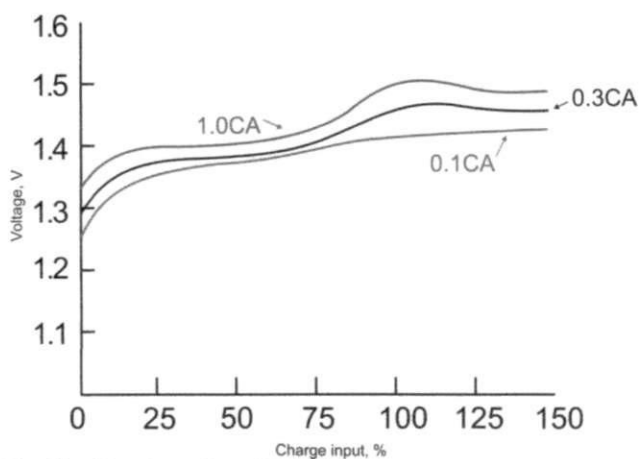


Fig. 11 – Tensão x Quantidade de Carga, temperatura constante

Na figura 12 são ilustradas as curvas "Temperatura x Quantidade de Carga (%)" para três correntes diferentes. Quanto mais intensa é a corrente de recarga, mais rapidamente a temperatura se eleva, devido a uma maior taxa de recombinação de oxigênio.

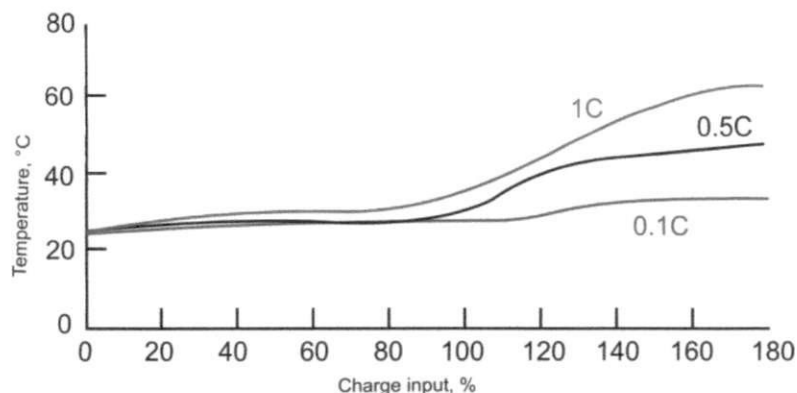


Fig. 12 – Temperatura x Quantidade de Carga (%)

4.5. Os modos de recarga

Existem diferentes modos de recarregar a bateria, por exemplo:

Recarga lenta: Modo de recarga aconselhado pelos fabricantes, utiliza uma corrente muito fraca, $I = C/10$ por essa razão a recarga deve ser feito por 14 horas em média.

Recarga Rápida: Modo de recarga rápida, neste modo utilizamos uma corrente forte $I = C/2$ ou maior, a recarga dura cerca de 2 horas, a utilização freqüente deste modo de recarga diminui a vida útil das baterias.

Recarga Trickle: Deve ser utilizado quando a bateria esta carregada para compensar a auto-descarga.

O valor da corrente para este modo de carga é aproximadamente $0.03C$. Na figura 14 são ilustrados dois modos de realizar a recarga trickle.

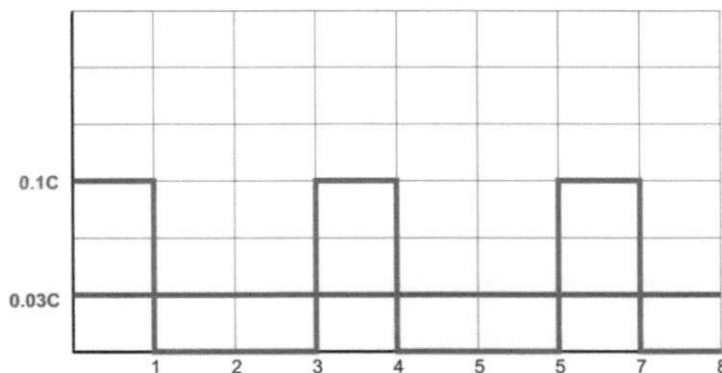


Fig. 13 – Recarga Trickle

4.6 – Os algoritmos para o controle da carga

Para evitar a sobrecarga da bateria é necessário utilizar um algoritmo de carga, esse algoritmo será responsável por interromper a carga uma vez que for identificado que a bateria esta carregada.

O controle da recarga depende do modo da recarga, existem varias formas de realizar este controle:

- A quantidade de tempo da recarga;
- O valor da temperatura da bateria;
- O valor da tensão da bateria;
- A variação negativa de tensão da bateria;
- A taxa de aquecimento da bateria.

4.6.1 Controle da recarga através do tempo de recarga

Nesse modo de controle interrompe-se a recarga quando passado um tempo pré-estabelecido e suficiente para se considerar a bateria carregada.

Esse modo de controle pode ser utilizado tanto para recarga rápida quanto para recarga lenta.

- Para a recarga lenta deve-se carregar em média por 14 horas.
- Para a recarga rápida deve-se carregar em média por 2 horas.

Um problema desse modo de recarga é que, quando a bateria não se encontra totalmente descarregada, o tempo de recarga pré-estabelecido pode ser grande e a bateria pode acabar por ser sobrecarregada. Para solucionar este problema pode-se desenvolver um algoritmo de SOC.

O algoritmo SOC deve analisar o estado de carga da bateria e informar ao controle de carga, de posse desse valor o algoritmo de carga deve ser capaz de calcular quanto tempo é necessário carregar a bateria.

O calculo para encontrar o tempo necessário de recarga deve levar em conta, temperatura atual, tensão atual e SOC atual.

4.6.2 – Controle da recarga utilizando a tensão e temperatura da bateria

Na figura 14 é ilustrado um diagrama de blocos para esse algoritmo de controle. Pode-se utilizar esse modo de controle para a carga rápida e lenta.

A diferença entre a temperatura medida e a temperatura da bateria representa um problema desse algoritmo para os sistemas de alarme DELPHI, pois nesses sistemas a temperatura medida é a do ambiente próximo a bateria.

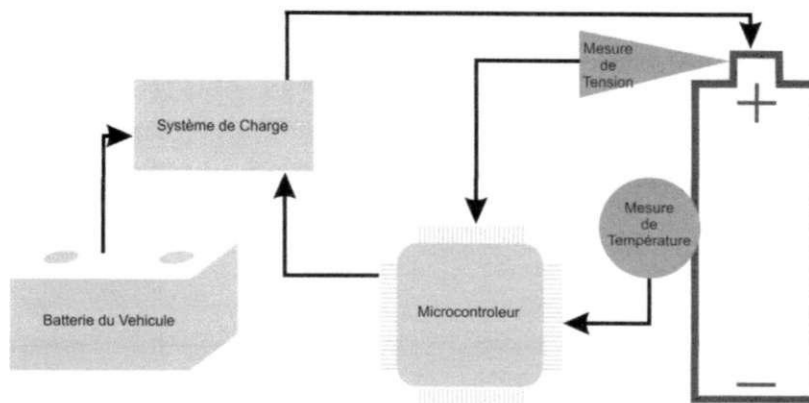


Fig. 14 – Diagrama de blocos, Alg. Temperatura e Tensão.

Esse problema é atenuado através do uso de um algoritmo para prever a temperatura da bateria. Utilizando o ultimo valor de temperatura lido e o atual, o algoritmo pode encontrar um valor aproximado para a temperatura da bateria, como ilustrado na figura 15.

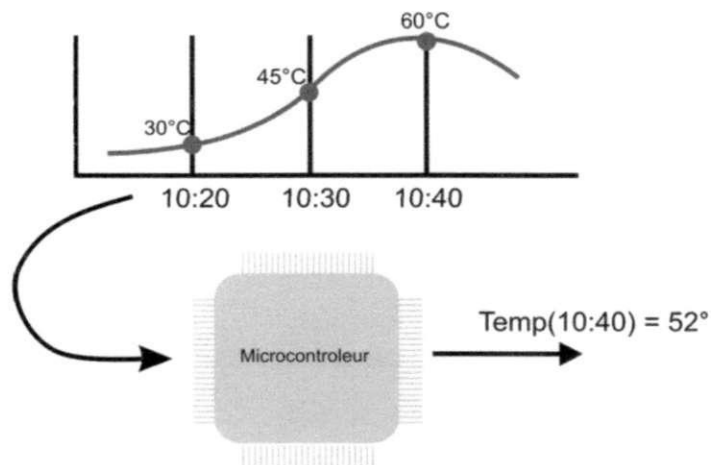


Fig. 15 – Algoritmo para aproximar a temperatura da bateria

4.6.3. Controle da recarga através de $-\Delta V$

O valor $-\Delta V$ é maior quando a recarga é realizada de forma rápida, facilitando dessa forma o uso desse algoritmo. Para uma corrente de recarga $I = C/10$ o valor de $-\Delta V$ é praticamente zero impossibilitando o uso desse algoritmo para o modo de recarga lenta.

Durante os primeiros 10 minutos de recarga o valor de $-\Delta V$ deve ser desconsiderado, isso ocorre porque no início da recarga é esperado que ocorram variações na tensão da bateria.

Na figura 16 são ilustradas duas curvas, para uma corrente de recarga igual a 0.5 e outra para uma corrente de recarga de 1C.

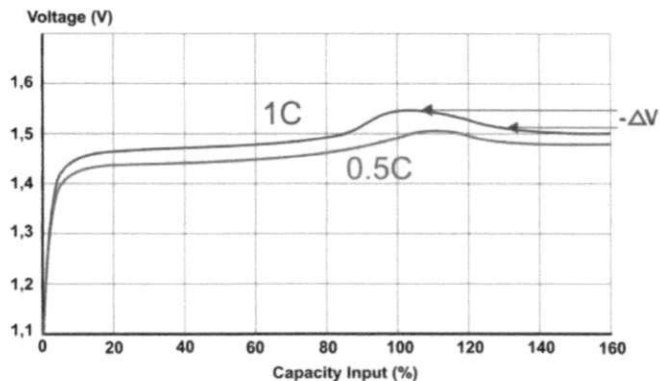


Fig. 16 – Variação negativa de tensão durante a recarga

4.6.4. Controle de recarga utilizando DT/dt

É possível utilizar o DT "variação de temperatura" por dt "variação de tempo" para controlar a recarga.

Para aperfeiçoar uso desse algoritmo, deve-se utilizá-lo com o algoritmo de aproximação da temperatura da bateria.

Esse algoritmo deve ser utilizado apenas para controlar a recarga rápida, pois para a recarga lenta DT/dt é pequeno.

Na figura 17 são ilustradas duas curvas com DT/dt, uma para uma corrente de recarga de 0.1 e outra para uma corrente de recarga de 1C.

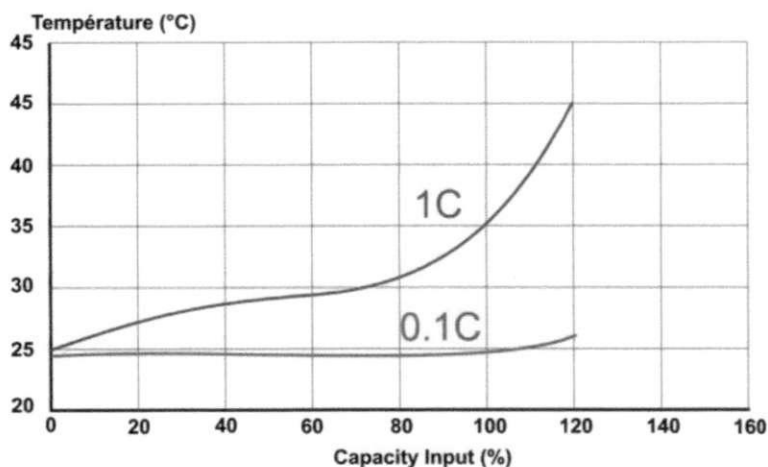


Fig. 17 – DT/dt durante uma recarga

5. Especificação de um novo algoritmo de recarga

A especificação do algoritmo de recarga é um documento que descreve todas as funções e parâmetros do algoritmo de recarga.

Uma especificação é dividida em exigências, em seguida serão mostradas as exigências da especificação para o novo algoritmo de recarga.

5.1. Gerenciamento Interno

A sirene é alimentada pela bateria do veículo, mas também por uma bateria interna de NiMH, a bateria interna é ativada quando a bateria externa é desconectada ou chega a uma tensão muito baixa.

O algoritmo de carga é responsável por carregar e manter a bateria, o algoritmo de recarga vai utilizar os valores de tensão e temperatura para evitar que a bateria seja sobrecarregada.

5.2. Tipos de Recarga

A nova especificação de recarga PDD-CDD S57 descreve alguns tipos de recarga:

5.2.1. Carga Longa

Este modo de recarga deve ser utilizado somente uma vez, trata-se de uma recarga longa, em média 14 horas, a utilização desse modo de recarga é ativado através do parâmetro "LONG_CHARGING".

5.2.2. Carga em Modo Armado

Este modo de recarga é utilizado quando o alarme encontra-se ativado, ou seja, o proprietário saiu de seu veículo e ativou o alarme. A Carga em Modo Armado evita que a bateria seja totalmente descarregada pela auto-descarga quando o alarme permanece ativado por um longo período, por exemplo, durante um mês de férias.

5.2.3. Carga Rápida

Neste modo de carga, é utilizada para recarregar a bateria uma corrente constante de $C/10$ esse tipo de recarga é utilizado somente quando a bateria é considerada descarregada, ou seja sua tensão está abaixo de 'UL', onde 'UL' é um parâmetro dependente da temperatura da bateria.

5.2.4. Carga Lenta

Neste modo de recarga é utilizado um método chamado "Trickle Charge" que é mostrado na figura 14, a corrente neste modo de recarga se assemelha a um sinal PWM, a "Carga Lenta" deve ser ativada enquanto a tensão da bateria é maior que 'UL' e menor que 'UH'.

A nova especificação para o algoritmo de recarga descreve melhorias para a "Trickle Charge", o tempo no qual a corrente é diferente de zero é a agora dependente da tensão da bateria como ilustrado na figura 18, essas melhorias reduzem o tempo de recarga.

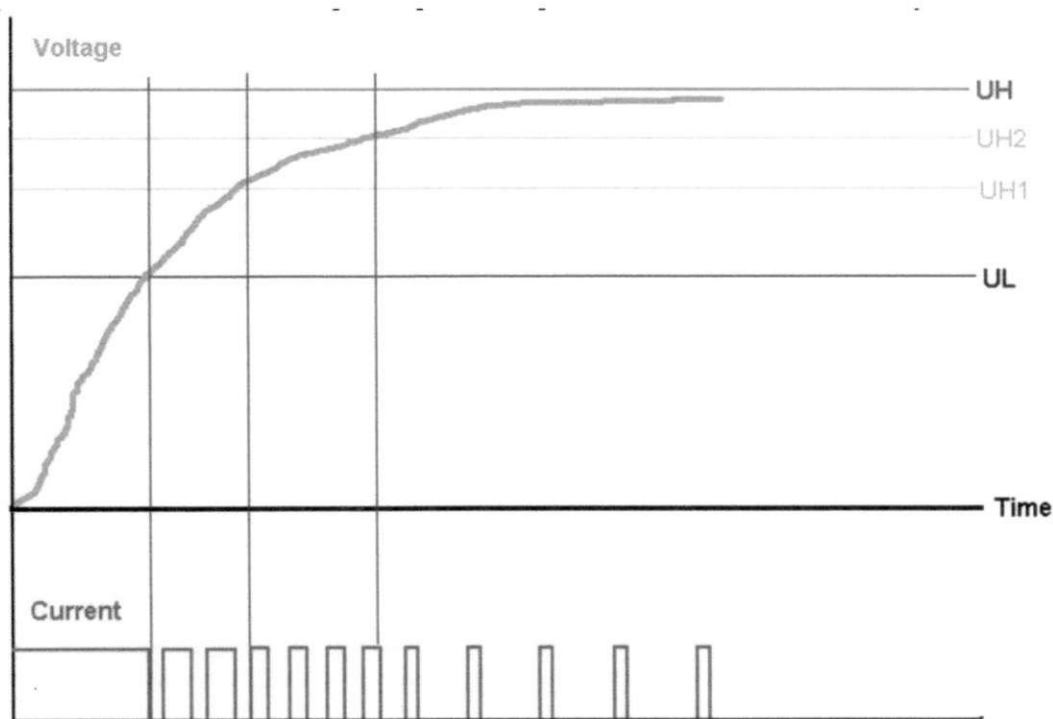


Fig. 18 - Trickle charge como função da tensão

5.2.5. Considerações sobre a temperatura da bateria.

A temperatura é uma variável muito importante neste algoritmo de controle de recarga, uma recarga realizada quando a bateria se encontra em uma temperatura muito alta ou abaixo de zero pode danificar a bateria e vai certamente diminuir a vida útil da bateria.

Por esta razão todas as autorizações de recarga são dependentes da temperatura da bateria.

A tensão da bateria muda também com a temperatura, por esta razão os limites 'UH' e 'UL' são função da temperatura.

Para medir a tensão da bateria, o algoritmo de recarga autoriza uma pequena descarga a cada leitura de tensão, o novo algoritmo de recarga descreve uma função que permite interromper essas leituras de tensão nos momentos em que a recarga seja proibida por motivos

de condições adversas de temperatura. Isso foi feito para evitar que a bateria seja fortemente descarregada quando a recarga é proibida durante um longo tempo.

5.2.6. Algoritmo de aproximação da temperatura da bateria.

O sensor de temperatura, que é utilizado para medir a temperatura da bateria, realiza sua leitura no ambiente próximo a bateria, deste modo quando as leituras forem realizadas em um momento de transição da temperatura, os valores lidos não representarão a temperatura da bateria, pois existe uma inércia até que a bateria esteja na mesma temperatura do meio na qual está inserida.

Para remediar este problema um algoritmo para aproximar o valor da temperatura da bateria foi desenvolvido, bastante simples o algoritmo funciona da seguinte forma, a temperatura da bateria será a média entre a leitura atual e a última leitura realizada.

Na figura 19 é ilustrado como funciona este algoritmo.

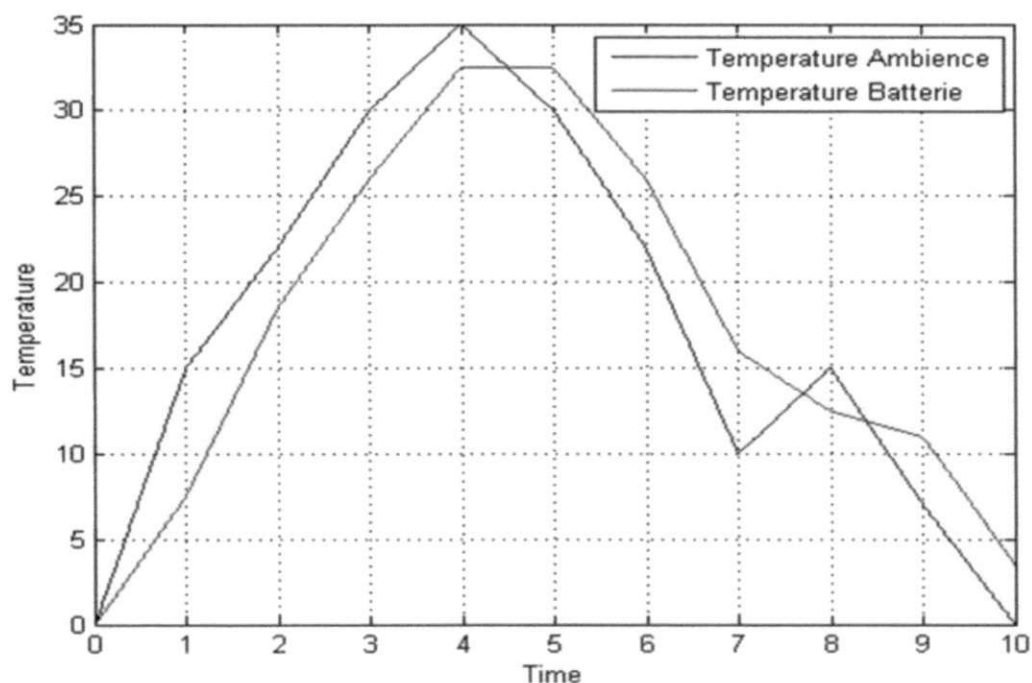


Fig. 19 - Algoritmo de aproximação da temperatura da bateria

6. Modelagem

O Model Based Design (MBD) é um método matemático e visual muito útil em engenharia de controle, aplicações automotivas, aeroespaciais e industriais.

As duas grandes etapas dentro do método MBD são:

Identificação do sistema, trata-se de um processo iterativo no qual o modelo do sistema é identificado através do uso de um conjunto de sinais de entrada e saída do sistema real, existem vários métodos de identificação de sistemas cada um com suas vantagens e limitações. Neste projeto é necessário identificar um modelo para a bateria de NiMH, será utilizado para isso as curvas de recarga da bateria em diversas temperaturas.

Sintetizar o Controlador, As características dinâmicas do controlador podem ser ajustadas através do uso do modelo da planta que será controlada.

6.1. Modelagem das baterias NiMH

A modelagem das baterias NiMH é uma das etapas mais importantes deste projeto, pois o desenvolvimento de um algoritmo de recarga eficaz só será possível se o modelo de bateria utilizado for próximo da bateria real.

Existem alguns modelos de bateria na literatura, mas a maioria deles constitui modelos bastante complexos que se destinam a modelagem de grandes conjuntos de baterias, os quais são utilizados, por exemplo, em automóveis elétricos ou híbridos.

A modelagem da bateria neste trabalho foi realizada usando o MatLab/Simulink e testes com baterias reais, esses testes forneceram curvas de recarga sob diversas condições de temperatura. Foi feita também uma demanda de curvas de recarga diretamente ao fabricante GP Bateries, o qual atendeu ao pedido. O modelo final da bateria possui então três entradas e duas saídas como ilustrado na figura 20.

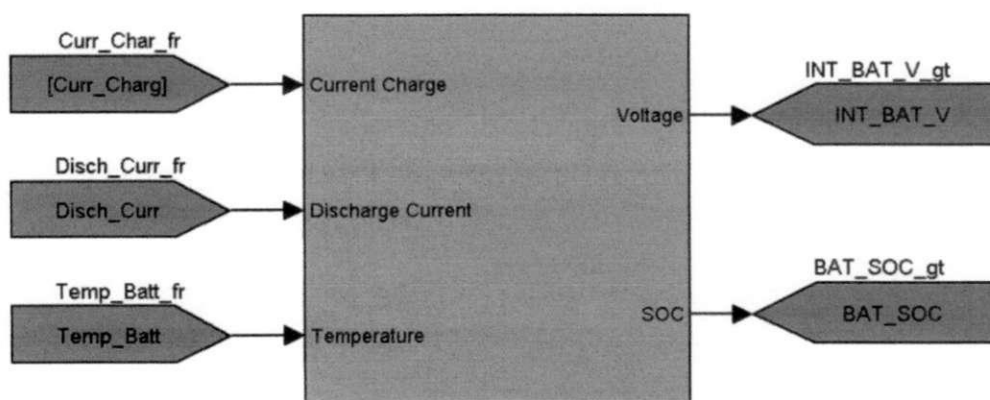


Fig. 20 – Modelo da Bateria

Se descermos um nível no modelo, veremos que o mesmo é composto por três partes, como ilustrado na figura 21.

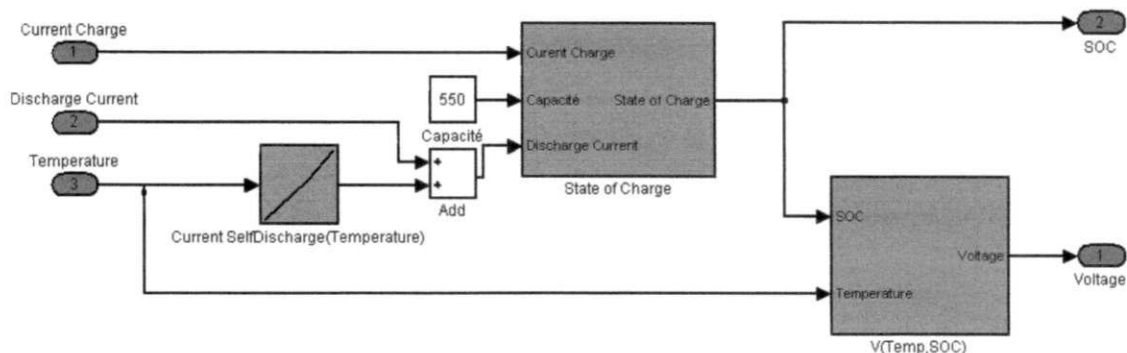


Fig. 21 – Modelo detalhado da Bateria

Current Self Discharge, Bloco responsável por simular a corrente de auto descarga, note que esse bloco tem como entrada a temperatura, pois a auto-descarga depende da temperatura, quanto maior a temperatura mais intensa a auto-descarga.

State of Charge, Bloco responsável por informar a quantidade de carga que foi injetada na bateria, é importante observar que este bloco informa a quantidade de carga que foi enviada a bateria, mas uma parte desta carga não foi armazenada pela bateria, sendo responsável pelo aquecimento da bateria e pela geração de oxigênio, o interior deste bloco é ilustrado na figura 22.

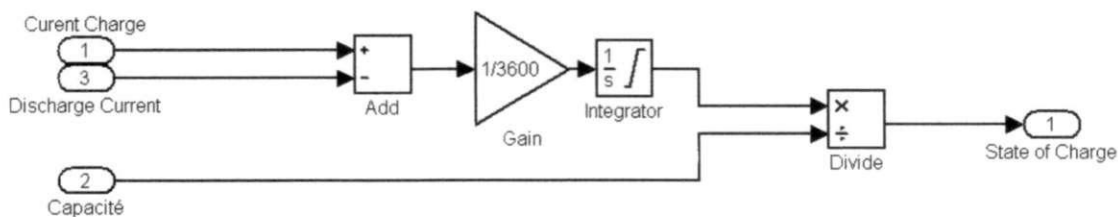


Fig. 22 – Detalhe do bloco SOC

Tensão em função do SOC e da Temperatura, bloco composto por uma tabela 2D, onde as entradas são o SOC e a temperatura, a saída é a tensão da bateria. A tabela 2D foi construída utilizando as curvas de recarga coletadas nos ensaios com baterias reais, os ensaios foram realizados nas temperaturas, 0°, 10°, 20°, 30°, 40° e 50°, é utilizado então um processo de interpolação para o calculo da saída para as outras temperaturas, a tabela 2D é ilustrada na figura 23.

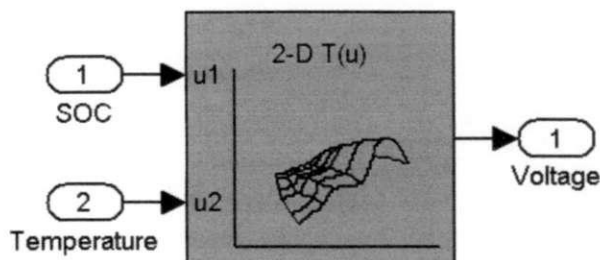


Fig. 23 – Tabela 2D

6.2. Aquisição de dados

Para que o modelo se tornasse o mais próximo possível das baterias reais, fizemos testes para aquisição de curvas de recarga, as quais forneciam o valor da tensão x SOC, os testes foram realizados sob diversas condições de temperatura.

6.3. Material utilizado

- Estufa WEISS TECHNIK YE2041;
- HP 34970A Data Acquisition/Switch Unit
- AGILIENT 34901A - 20 Channel Multiplexer
- Fonte de Tensão - AX322 METEIX;
- Baterias NiMH Peacabay;
- Sondas de Temperatura;
- Computador Desktop ;
- Software de aquisição Benchlink Dataloger 3.

6.4. Resultados dos testes

Durante cada teste foi realizada a recarga de duas baterias totalmente descarregadas, os dados colhidos foram; tensão, corrente de recarga, temperatura das baterias e temperatura da estufa, os dados eram colhidos a cada minuto durante 14 horas em média, uma das curvas encontradas é ilustrada na figura 24.

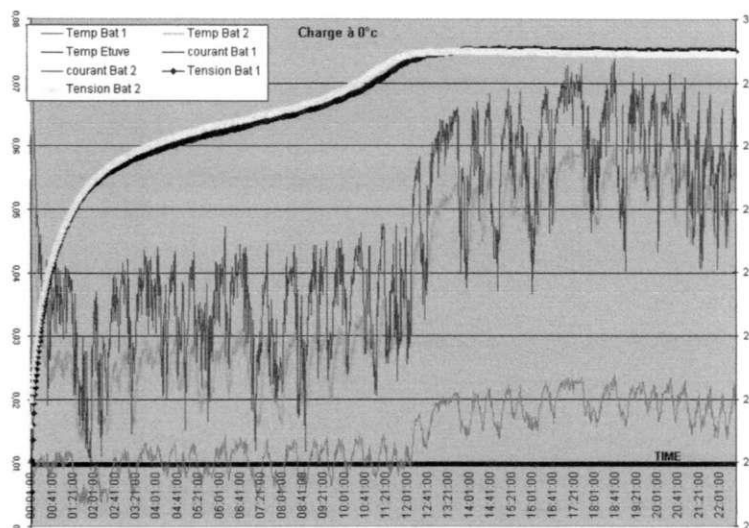


Fig. 24 – Curvas obtidas com temperatura de 0°C

Durante os testes foram enfrentados alguns problemas de modo que não pudemos obter todas as curvas necessárias para o desenvolvimento do modelo da bateria, por esta razão foi feita a demanda de curvas diretamente ao fabricante, GP Batteries, que nos forneceu algumas curvas suplementares ilustradas na figura 25.

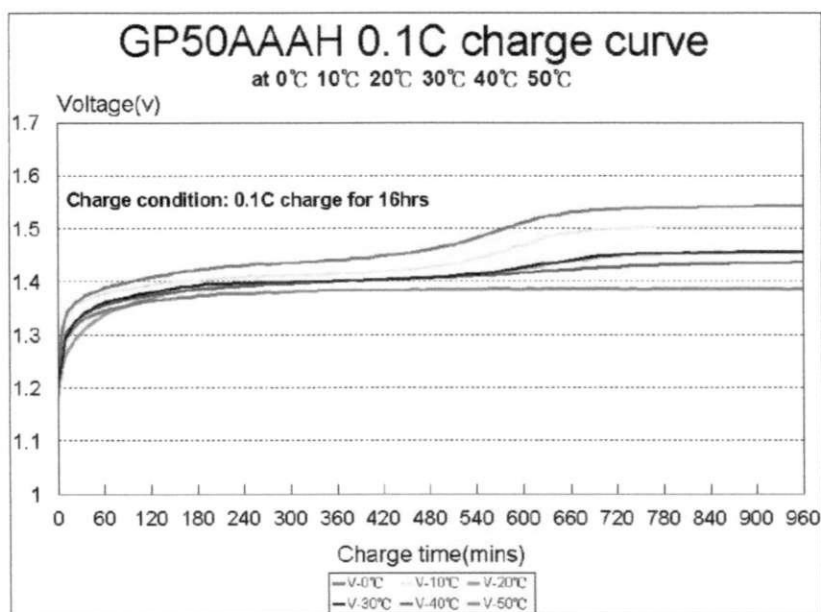


Fig. 25 – Conjunto de curvas fornecidas por GP

7. Desenvolvimento do algoritmo de recarga

O algoritmo de carga é responsável por controlar a recarga da bateria e evitar que a mesma seja sobrecarregada, o desenvolvimento será realizado em Matlab/Simulink/Stateflow.

7.1. StateFlow

StateFlow é uma ferramenta interativa de concepção de sistemas baseados em eventos, ele permite desenvolver graficamente sistemas de lógica e de controle. Totalmente integrado ao Simulink, ele completa de forma eficaz este ambiente de simulação.

É ilustrado na figura 26 o esquema do algoritmo de recarga desenvolvido no ambiente do StateFlow.

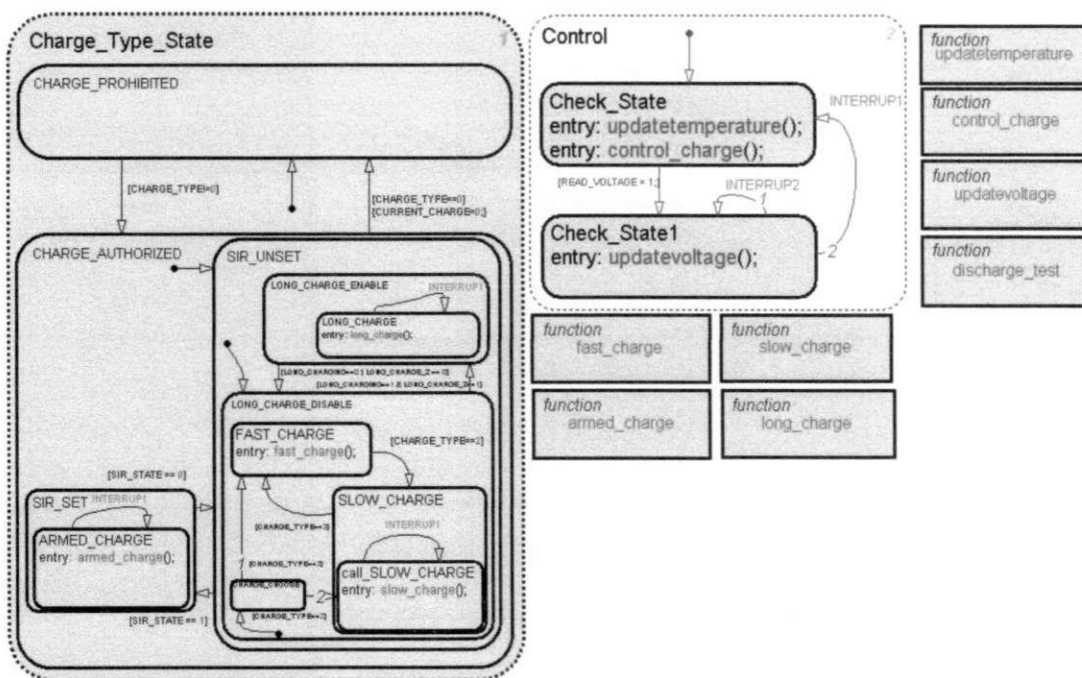


Fig. 26 – Esquema em StateFlow

7.2. As funções do algoritmo de recarga

No ambiente StateFlow é possível desenvolver funções com entradas e saídas, as principais funções desenvolvidas neste trabalho são ilustradas na figura 27.

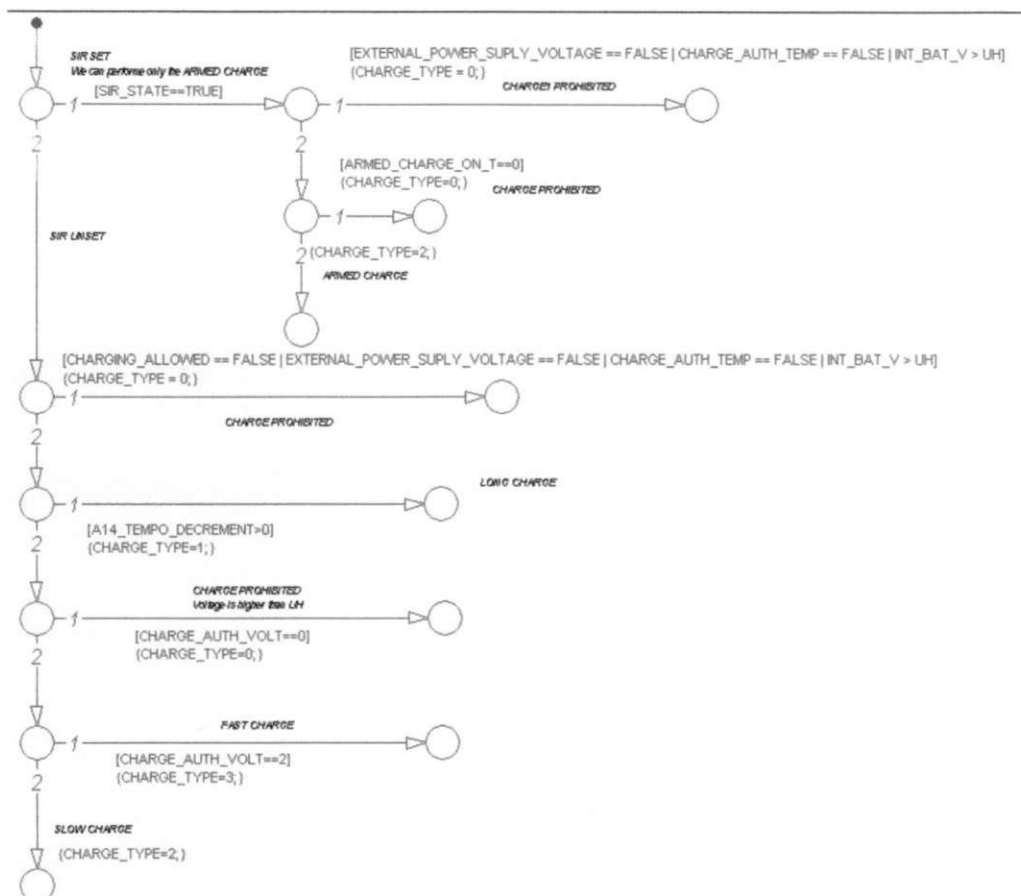


Fig. 27 – Função em StateFlow

7.3. A função UpdateTemperature

Neste algoritmo de carga a bateria será considerada carregada quando sua tensão chegar a um valor pré-determinado, como a tensão da bateria é dependente de sua temperatura, a bateria será considerada carregada a diferentes valores de tensão de acordo com a temperatura atual.

Essa função é responsável por atualizar os valores limites de tensão que são usados para detectar se a bateria esta descarregada, parcialmente carregada ou completamente carregada, a tensão atualiza também a variável CHARGE_AUTH_TEMP a qual é utilizada pela função Charge_Control, trata-se de uma variável booleana e quando a temperatura esta muito alta ou abaixo de zero seu valor será FALSE e será utilizado pela função Charge_Control para interromper a recarga.

UpdateTemperature é também responsável por atualizar o valor da variável booleana VOLT_MESUR_PROH, quando a recarga é interrompida por razão dos limites de temperatura serem ultrapassados, nós teremos, VOLT_MESUR_PROH = TRUE a leitura de tensão será então interrompida por Charge_Control com o intuito de evitar a descarga da bateria.

7.4. Os limites de tensão e temperatura

A atualização dos limites de tensão e temperatura é realizada pela função UpdateTemperatura, cada vez que a temperatura da bateria muda, a nova temperatura é comparada com os limites UL “limite de temperatura inferior” e UH “limite de temperatura superior”

É ilustrada na figura 28 o comportamento dos limites de tensão em relação a temperatura da bateria de NiMH.

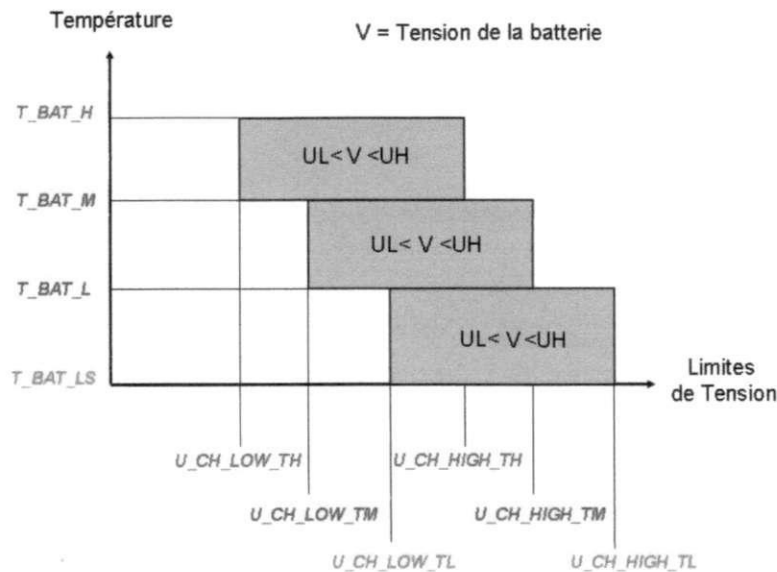


Fig. 28 – Limites de Tensão X Limites de Temperatura

Na figura 29 é ilustrado uma parte da função UpdateTemperature em StateFlow.

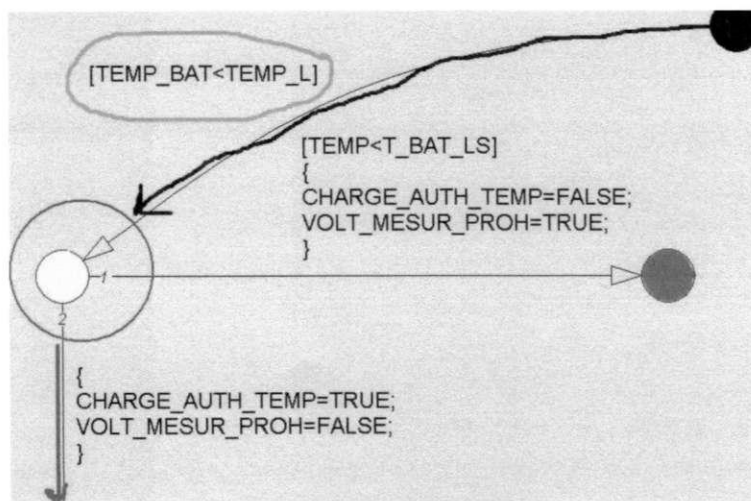


Fig. 29 - Exemplo StateFlow

Uma vez que a execução da função chegou ao círculo preto 'figura 30', a condição: [TEMP_BAT<TEMP_L] será verificada, si verdadeira, a execução parte para o círculo amarelo, agora temos duas possibilidades que são enumeradas de acordo com sua ordem de execução, a condição do arco numerado como 1 é testada primeiro.

CHARGE_AUTH_TEMP = FALSE; significa que a recarga é interrompida.

VOLT_MESUR_PROH = TRUE; significa que a leitura de tensão é interrompida.

Se a recarga continua sendo autorizada, mas a tensão da bateria esta abaixo de UL, então os limites de temperatura devem ser atualizados, isso é realizado pela parte da função UpdateTemperature que é ilustrada na figura 30.

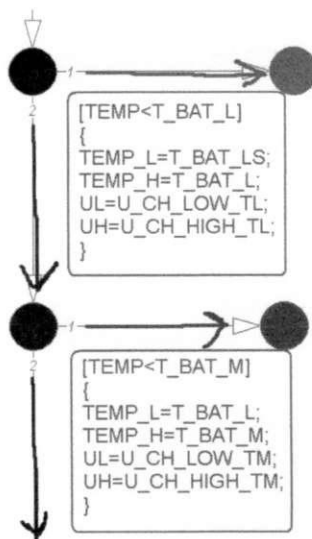


Fig. 30 – Atualização dos limites de temperatura e tensão

Uma vez que a execução chega ao círculo preto mostrado na figura 31, o arco vermelho será executado, se a condição: [TEMP<T_BAT_L] for verdadeira teremos as seguintes atualizações:

- TEMP_L = T_BAT_LS
- TEMP_H = T_BAT_L
- UL = U_CH_LOW_TL
- UH = U_CH_HIGH_TL

7.5.A função UpdateVoltage

Esta função é responsável por simular uma pequena descarga que é realizada a cada vez que uma leitura de tensão é realizada, lembrando que a leitura de tensão é realizada somente quando VOLT_MESUR_PROH = FALSE.

A função UpdateTemperature é também responsável por atualizar a variável CHARGE_AUTH_VOLT, essa variável pode ter três valores:

CHARGE_AUTH_VOLT=0, parar recarga
CHARGE_AUTH_VOLT=1, recarga rápida
CHARGE_AUTH_VOLT=2, recarga lenta

A variável CHARGE_AUTH_VOLT será utilizada pela função Charge_Control para decidir de que modo a bateria deve ser carregada, seja utilizando a recarga rápida "fast charge", seja utilizando a recarga lenta "slow charge" a recarga pode ser também interdita quando temos CHARGE_AUTH_VOLT=0.

É ilustrado na figura 31 uma parte test montré dans la figure 32 une partie de la fonction

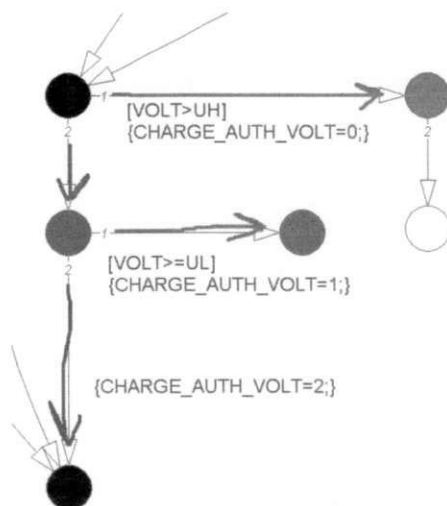


Fig. 31 – Atualização da variável CHARGE_AUTH_VOLT

7.6. A função Control_Charge

Trata-se da função mais importante do algoritmo de recarga, para controlar a recarga ela utiliza as seguintes variáveis, CHARGE_AUTH_VOLT e CHARGE_AUTH_TEMP e os sinais de status:

- SIR_STATE: Quando TRUE a sirene esta armada.
- EXTERNAL_POWER_SUPLY_VOLTAGE: Quando TRUE a tensão da bateria do automóvel é maior que 7.7V.
- CHARGING_ALLOWED: Quando TRUE a recarga é autorizada pelo computador de bordo do automóvel.
- A14_TEMP_DECREMENTS\$: Quando seu valor é maior que zero LONG_CHARGE a recarga longa deve ser sempre executada no lugar das recargas rápida e lenta

Essa função é responsável pela atualização do valor da variável CHARGE_TYPE essa variável será utilizada pelo algoritmo de recarga para escolher qual o tipo de recarga a utilizar

É ilustrado na figura 32 uma parte da função Control_Charge.

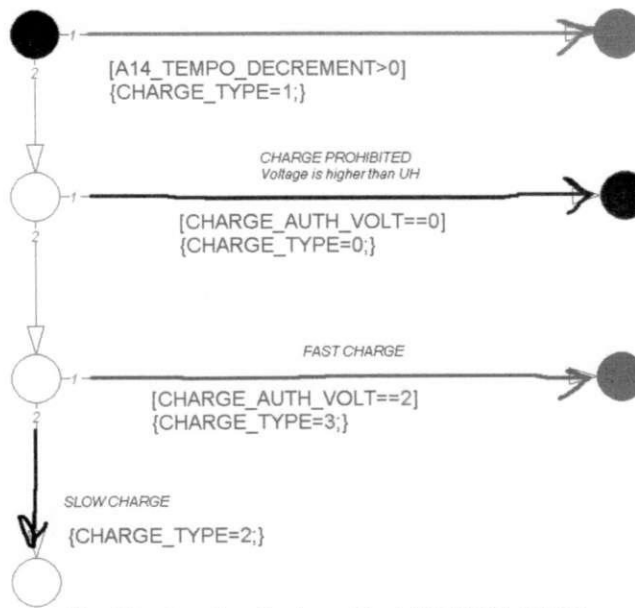


Fig. 32 – Atualização da variável CHARGE_TYPE

CHARGE_TYPE pode ser:

- CHARGE_TYPE = 0: recarga proibida;
- CHARGE_TYPE = 1: recarga longa ativada;
- CHARGE_TYPE = 2: recarga lenta ativada;
- CHARGE_TYPE = 3: recarga rápida ativada;
- CHARGE_TYPE = 4: Armed Charge ativada;

8. Geração do Código

Na última etapa do estágio utilizamos a ferramenta dSPACE/TargetLink para gerar automaticamente um código em linguagem C, o ponto de partida foi o algoritmo de carga desenvolvido em MatLab/StateFlow.

- TargetLink é uma ferramenta geradora de códigos em C diretamente partindo do ambiente de desenvolvimento gráfico MATLAB/Simulink/Stateflow .
- As opções da geração do código incluem dentre diversas características a escolha do uso de Ponto Fixo ou Flutuante de acordo com o processador onde se deseja usar o código, assegurando dessa forma que o código se adapte a diversos processadores.
- A geração do código foi a etapa que permitiu passarmos dos modelos em MatLab a um código em C que após revisto poderia ser adicionado ao código do software dos sistemas de alarme.

8.1. Maiores Vantagens da geração do código utilizando TargetLink

- A conversão dos modelos gráficos diretamente em código C assegura uma coerência perfeita entre o modelo e o código.
- Cada etapa pode ser testada em relação as especificações graças as ferramentas de simulação integradas ao TargetLink.
- É também possível efetuar mais cedo verificações que se traduzem diretamente em redução de custos.

9. Conclusão

Ao fim do estágio, todos os objetivos foram alcançados com sucesso, dentre os resultados obtidos podemos citar:

O modelo da bateria em MatLab/Simulink foi desenvolvido, e de acordo com as simulações podemos considerar o modelo bastante próximo da bateria real.

O algoritmo em MatLab/Simulink/StateFlow foi validado com base em varias simulações, que cobriram todas as possibilidades de mudanças de temperatura, combinações de sinais de controle, etc.

A nova especificação para a recarga da bateria foi concluída e os novos sistemas de alarme serão fabricados com algumas novas funcionalidades que foram propostas neste trabalho. As características adicionadas aos novos sistemas de alarme são: Limites de tensão dependentes da temperatura, leitura de tensão proibida quando a recarga estiver proibida por questão de temperaturas extremas.

As novas ferramentas StateFlow/TargetLink com as quais trabalhei durante todo o estagio servirão de ferramentas indispensáveis no desenvolvimento de futuros projetos.

A experiência de trabalhar em uma grande empresa como DELPHI foi realmente muito satisfatória.

10. Referências Bibliográficas

- 1) – A Matlab-Based Modeling and Simulation Package for Electric and Hybrid Electric Vehicle Design - Karen L. Butler, Mehrdad Ehsani, Preyas Kamath, members IEEE. – IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL 48, NO. 6, NOVEMBER 1999
- 2) – State of Charge Estimation for Batteries - Thesis – Baskar Vairamohan – The University of Tennessee – December 2002.
- 3) – GP BATTERIES – Technical NiMH Handbook.
- 4) – A simple but comprehensive Lead-Acid Battery Model for Hibrid System Simulation – Michael M. D. Ross.
- 5) – Modeling of Hibrid Electric Vehicle Batteries by Ramachandra Maddala, B. E.
- 6) – Modeling studies on Battery thermal behaviour, thermal runaway, Thermal management, and energy efficiency – Yufei Chen, Li Song, James W. Evans – University of California, Berkeley, CA94720
- 7) - Practical Matlab® Basics for engineers - Handbook of Practical MATLAB® for Engineers - Misza Kalechman.