

1.3.5 Como sensoriar a corrente do pacote de bateria em um BMS

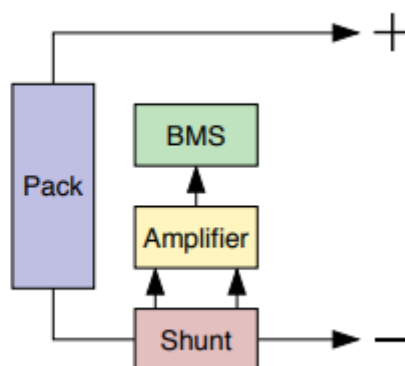
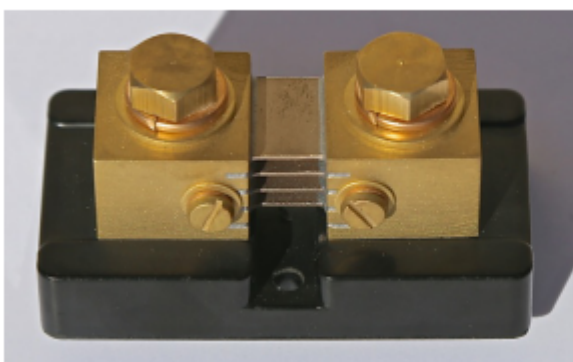
Tendo abordado a medição de tensão e temperatura, agora focamos no terceiro requisito de sensoriamento crítico para um Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS): a medição da corrente elétrica. Dados de corrente precisos e em tempo real são essenciais para várias funções chave do BMS:

- **Monitoramento de Segurança:** O BMS deve monitorar continuamente a corrente que entra e sai do pacote de bateria para garantir que ela não exceda os limites operacionais de segurança.
- **Registro de Condições de Abuso:** No caso de uma situação de sobrecorrente, o BMS deve ser capaz de registrar o evento para fins de diagnóstico.
- **Entrada para Algoritmos:** A medição de corrente é uma entrada indispensável para a maioria dos algoritmos de estimação de Estado de Carga (SOC) e Estado de Saúde (SOH), incluindo o método de contagem de Coulomb, que será explorado em cursos posteriores.

Assim como outras grandezas físicas, um sistema eletrônico pode medir a corrente diretamente. O BMS deve primeiro empregar um sensor que converta o fluxo de corrente em um sinal de tensão proporcional, que pode então ser medido por um Conversor Analógico-Digital (ADC). Esta aula detalhará as duas tecnologias principais usadas para realizar isso: o shunt resistivo e o sensor de efeito Hall.

Método 1: O Sensor de Shunt Resistivo

O primeiro e mais direto método para medir a corrente é usar um shunt resistivo.



Princípio de Operação e a Conexão Kelvin

Um shunt de corrente é um componente que é essencialmente um resistor de valor muito baixo, mas de altíssima precisão e cuidadosamente calibrado. Ele é colocado em série com o circuito de alta potência do pacote de bateria, tipicamente entre o terminal negativo principal das células e o terminal negativo da carga.

O princípio é baseado na Lei de Ohm ($V = I \times R$). À medida que toda a corrente do pacote de bateria (I) flui através da resistência conhecida do shunt (R), ela cria uma pequena, mas precisamente proporcional, queda de tensão (V) através dele. Ao medir essa tensão, o BMS pode calcular com precisão a corrente usando a fórmula $I = V/R$.

Para minimizar a potência desperdiçada como calor ($P = I^2R$), a resistência do shunt é projetada para ser extremamente baixa. Isso, no entanto, significa que a queda de tensão resultante também é muito pequena e deve ser amplificada antes de poder ser medida com precisão por um ADC.

Um aspecto crítico na implementação de um shunt é o uso de uma **conexão Kelvin**, também conhecida como medição a quatro fios. Um shunt de precisão tem quatro terminais: dois terminais grandes para o caminho de alta corrente e dois terminais menores para o sensoramento de tensão. A resistência é calibrada apenas entre os dois terminais pequenos. É imperativo que os fios de sensoramento de tensão sejam conectados a esses terminais menores. Se fossem conectados aos terminais grandes, a medição incluiria erroneamente a queda de tensão nos próprios terminais grandes e em suas conexões de alta corrente, que têm uma resistência não calibrada. Isso introduziria erros significativos e imprevisíveis no cálculo. A conexão Kelvin garante que apenas a tensão através da resistência precisamente calibrada seja medida.

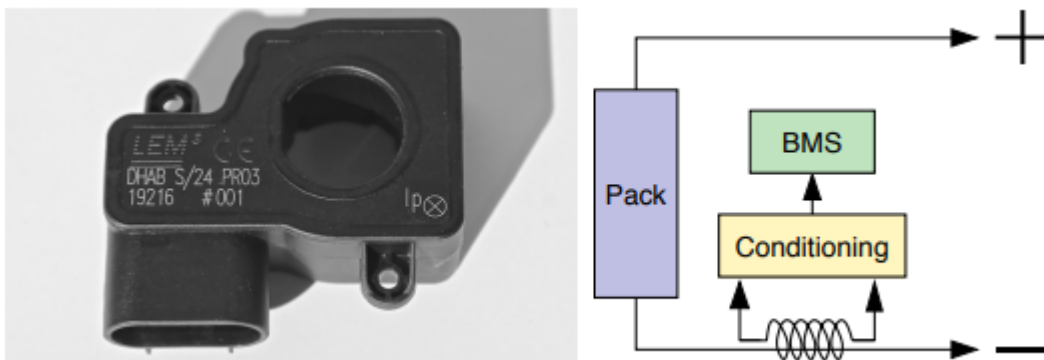
Vantagens e Desvantagens do Sensor de Shunt

- **Vantagem (Offset Zero):** O principal benefício de um shunt é sua exatidão inerente em corrente zero. Quando nenhuma corrente flui, a queda de tensão é exatamente zero volts. Isso é extremamente valioso para algoritmos como a contagem de Coulomb (que integra a corrente ao longo do tempo para rastrear o SOC), pois evita o acúmulo de erro de um desvio (drift) do offset do sensor.
- **Desvantagem (Não Isolado):** O shunt é fisicamente parte do circuito de alta tensão. Se a eletrônica do BMS precisar ser eletricamente isolada do pacote de bateria (um requisito comum em projetos automotivos para separar o sistema de alta tensão do sistema de 12V aterrado ao chassi), então circuitos de isolamento adicionais, complexos e caros devem ser adicionados.

- **Desvantagem (Perda de Potência):** Por sua própria natureza, o shunt sempre dissipa alguma energia na forma de calor, colocando uma carga adicional no sistema de gerenciamento térmico do veículo.
- **Desvantagem (Suscetibilidade a Ruído):** A necessidade de amplificar um sinal de tensão muito pequeno torna a medição suscetível à interferência eletromagnética (EMI). Os fios de sensoriamento muitas vezes precisam ser blindados para evitar que ruídos elétricos aleatórios sejam amplificados juntamente com o sinal desejado.

Método 2: O Sensor de Efeito Hall

A segunda abordagem para medir a corrente é baseada em um princípio do eletromagnetismo.



Princípio de Operação

Um sensor de efeito Hall funciona medindo o campo magnético que é gerado por uma corrente fluindo através de um condutor. Em uma implementação típica, o cabo de bateria de alta corrente é simplesmente passado através de uma abertura no sensor.

Dentro do invólucro do sensor, uma bobina e detectores de campo magnético sensíveis medem a força do campo, e a eletrônica interna gera uma tensão de saída que é proporcional à corrente no cabo.

Vantagens e Desvantagens do Sensor de Efeito Hall

- **Vantagem (Inerentemente Isolado):** A vantagem mais significativa de um sensor de efeito Hall é que ele é naturalmente isolado eletricamente. Não há conexão elétrica direta entre o cabo de alta tensão e a eletrônica do sensor. Isso simplifica muito o projeto da interface do BMS.
- **Desvantagem (Histerese e Desvio do Offset):** A principal desvantagem é um fenômeno magnético conhecido como histerese. A saída do sensor é influenciada não apenas pela corrente presente, mas também pelo histórico de correntes passadas. Isso significa que a leitura do sensor em corrente zero será diferente após um período de carga do que será

após um período de descarga. Isso cria um offset (deslocamento) na medição que não é constante; ele varia imprevisivelmente com o tempo, a temperatura e o histórico operacional. Este desvio do offset é um grande problema para os algoritmos de contagem de Coulomb, pois introduz um erro de integração que é muito difícil de compensar totalmente.

Devido à complexidade que isso adiciona aos algoritmos de controle, muitos engenheiros preferem a exatidão fundamental de um shunt. No entanto, os sensores de efeito Hall permanecem comuns em muitos produtos comerciais porque seu isolamento embutido é uma característica muito atraente para os projetistas de eletrônicos.

Conclusão: Um Resumo das Tecnologias de Sensoriamento de Corrente

Em conclusão, a capacidade de medir com precisão a corrente do pacote de bateria é uma função obrigatória do BMS, essencial para a segurança, o diagnóstico e os algoritmos de estimação de estado. Os dois métodos principais, o shunt de corrente e o sensor de efeito Hall, apresentam cada um um conjunto distinto de trade-offs de engenharia. O shunt oferece uma exatidão inerente superior e offset zero, ao custo de exigir isolamento elétrico e amplificação cuidadosa. O sensor de efeito Hall fornece um conveniente isolamento embutido, mas sofre de histerese e um desvio do offset que complica os algoritmos. A escolha final para uma aplicação específica depende de uma avaliação cuidadosa dessas vantagens e desvantagens concorrentes.