

1.3.3 Como sensoriar todas as tensões das células em um BMS

Iniciamos agora nosso exame detalhado das cinco áreas de requisitos essenciais de um Sistema de Gerenciamento de Bateria (BMS), começando pela primeira e mais fundamental categoria: Sensoriamento e Controle de Alta Tensão. Dentro desta área, a tarefa mais crítica é a medição precisa das tensões individuais das células.

Em qualquer pacote de bateria de íon-lítio, é absolutamente essencial medir a tensão de cada célula individualmente. Esta não é uma tarefa opcional ou trivial; é uma pedra angular do gerenciamento de bateria seguro e eficaz por várias razões:

- **Estado de Balanceamento:** A diferença de tensão entre as células é um indicador direto de seu estado de carga relativo e de quanta equalização elas necessitam.
- **Entrada para Algoritmos:** Medições de tensão precisas são uma entrada primária para quase todos os algoritmos de estimação de Estado de Carga (SOC) e Estado de Saúde (SOH).
- **Segurança:** Esta é a razão mais crítica. É possível que a tensão geral do pacote pareça normal enquanto uma ou mais células individuais estão em um estado perigoso. Se até mesmo uma única célula for inadvertidamente sobrecarregada, isso pode levar à fuga térmica — uma reação catastrófica e autossustentável onde o acúmulo de calor faz com que o separador derreta, levando a um curto-circuito interno e um potencial incêndio ou explosão. Para evitar isso, a tensão de cada célula deve ser conhecida em todos os momentos.



A Base da Medição: O Conversor Analógico-Digital (ADC)

A tecnologia central usada para medir uma tensão analógica e convertê-la em um número que um microprocessador possa entender é o **Conversor Analógico-Digital (ADC)**. Este circuito amostra o nível de tensão contínuo em sua entrada e o converte em um padrão binário discreto de uns e zeros.

Arquiteturas Comuns de ADC

Existem vários métodos comuns para realizar essa conversão, cada um com seus próprios trade-offs:

- **ADC Flash:** Esta arquitetura usa um grande banco de comparadores em paralelo para determinar o nível de tensão quase instantaneamente. É, de longe, o método mais rápido, mas também o mais caro e complexo de implementar.
- **ADC de Aproximação Sucessiva:** Esta é uma abordagem de ótimo custo-benefício que usa um Conversor Digital-Analógico (DAC) para fazer uma série de suposições fundamentadas. Ele compara sua tensão suposta com a tensão de entrada real e refina sua suposição a cada passo até convergir para o valor correto. É mais lento que um ADC flash, mas muito menos caro.
- **ADC Sigma-Delta:** Esta é uma abordagem híbrida, moderna e popular, muito comum em aplicações de BMS. Ele usa um simples ADC flash de 1 bit operando a uma taxa de amostragem muito alta para aproximar rápida e sucessivamente o sinal de entrada, oferecendo um bom equilíbrio entre velocidade, exatidão e custo.

Especificações Essenciais de ADC para o Projeto de BMS

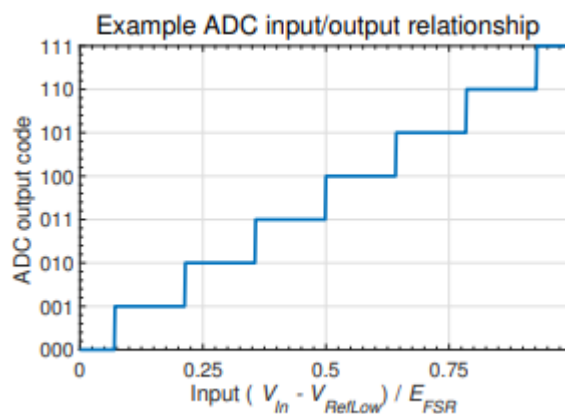
Ao seleccionar um ADC para um BMS, os engenheiros devem considerar cuidadosamente várias especificações de desempenho chave.

Resolução: O Menor Passo Mensurável

Resolução é a menor mudança na tensão de entrada que o conversor pode detectar. Para um ADC com M bits de saída, ele tem 2^M códigos de saída possíveis. Se estes forem distribuídos uniformemente sobre a faixa de tensão de fundo de escala (EFSR), a resolução (Q) é calculada como:

$$Q = \text{EFSR} / 2^M$$

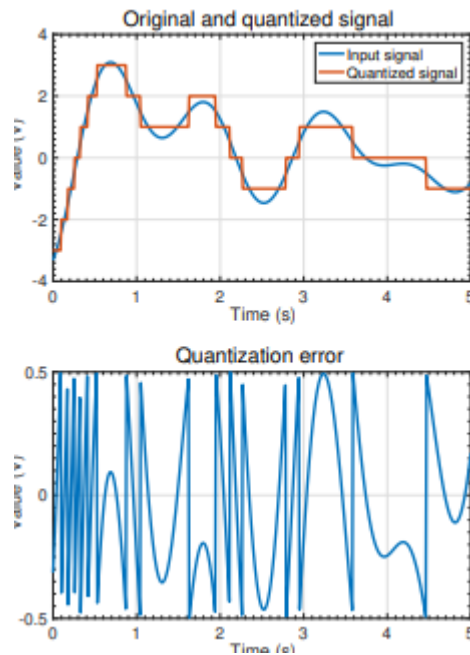
Por exemplo, um ADC de BMS típico de alta qualidade pode ter 16 bits de precisão ($M=16$) e uma faixa de medição de 0 a 5 volts. Sua resolução seria $5V / 2^{16} = 5V / 65.536 \approx 76$ microvolts. Este tamanho de passo é muitas vezes chamado de tensão LSB (Bit Menos Significativo).



Exatidão: Proximidade ao Valor Verdadeiro

Exatidão se refere ao quão próxima a medição reportada pelo ADC está da tensão real e verdadeira. A inexatidão pode surgir de várias fontes:

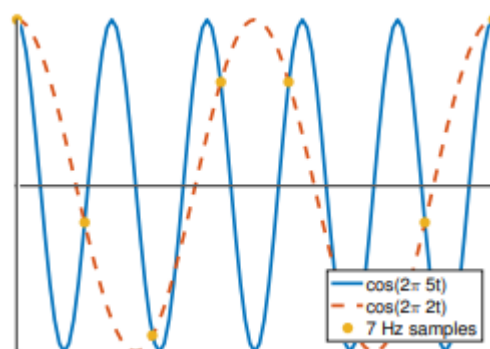
- **Erro de Quantização:** Um erro inerente causado pelo arredondamento da tensão analógica contínua para o código digital discreto mais próximo. Este erro está sempre dentro de $\pm \frac{1}{2}$ da tensão LSB.
- **Erro de Offset (Deslocamento):** Um viés ou diferença constante que é aplicado em toda a faixa de medição.
- **Erro de Ganho:** Um erro na inclinação da função de transferência de entrada-saída do ADC.
- **Erro Não Linear:** Um desvio das larguras de passo idealmente uniformes entre os códigos de saída.



Considerações Adicionais na Implementação de ADC

Além da resolução e da exatidão, outros fatores podem impactar a qualidade da medição.

- **Efeitos da Temperatura:** Todas as fontes de erro (offset, ganho, etc.) dependem da temperatura. O ADC escolhido deve manter sua exatidão exigida em toda a faixa de temperatura operacional da aplicação.
- **Jitter de Temporização:** Refere-se a inconsistências no tempo entre amostras consecutivas. Os modelos de bateria muitas vezes assumem uma taxa de amostragem perfeitamente constante, então um jitter de temporização significativo pode degradar a precisão dos algoritmos do BMS.
- **O Fenômeno do Aliasing:** De acordo com o Teorema da Amostragem de Nyquist, a taxa de amostragem deve ser pelo menos o dobro da frequência mais alta presente no sinal que está sendo medido. Se essa condição for atendida, um fenômeno chamado **aliasing** pode ocorrer, onde sinais de alta frequência (como ruído de um inversor de veículo) podem aparecer falsamente como sinais de baixa frequência nos dados amostrados, corrompendo a medição.

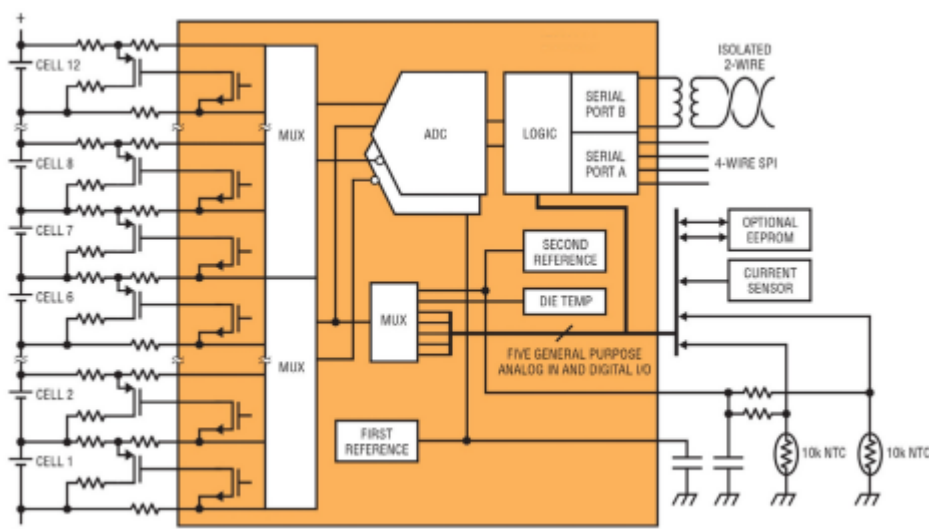


CIs Especializados: A Solução Moderna para Monitoramento Multicélula

Para um pacote de bateria de alta tensão com muitas células em série, usar um ADC separado e discreto para cada célula seria ineficiente e caro. Para resolver isso, os fabricantes de semicondutores desenvolveram circuitos integrados (CIs) ou chipsets especializados, projetados especificamente para a tarefa de monitoramento de baterias de alta tensão. Esses chips são o núcleo das unidades de BMS escravo. Eles são projetados para realizar sensoriamento de tensão de alta exatidão no agressivo ambiente automotivo (alta EMI, calor e vibração) e transmitir os resultados digitais a um BMS mestre para processamento.

Um Estudo de Caso: O Chipset LTC6811

Um bom exemplo de tal componente é o LTC6811 da Analog Devices.



- **Capacidades:** Um único chip pode monitorar até 12 células em série. Múltiplos chips podem ser conectados em uma cadeia (*daisy-chain*) para monitorar centenas de células em um pacote de bateria completo.
- **Recursos:** Inclui comunicação isolada imune a ruído para a cadeia, suporta circuitos de equalização de células tanto passivos quanto ativos, pode ser alimentado diretamente pelo módulo de bateria que está monitorando e pode medir múltiplas temperaturas.
- **Arquitetura Interna:** O chip usa dois ADCs sigma-delta internos que trabalham em paralelo. Através de uma série de multiplexadores, eles medem as 12 tensões das células duas de cada vez, permitindo que todas as 12 tensões sejam capturadas em apenas seis ciclos de conversão.

Um Guia Prático para Selecionar um Chipset de Monitoramento de BMS

Ao projetar um BMS, um engenheiro deve selecionar o chipset de monitoramento mais apropriado para sua aplicação. As principais considerações incluem:

- O número de células em série que o chip pode monitorar.
- O número total de células que o sistema pode suportar quando os chips são encadeados.
- Suporte para o esquema de balanceamento de células necessário.
- Exatidão de medição que atenda às necessidades dos algoritmos de SOC/SOH.
- O número de entradas de temperatura.
- Complexidade da fiação (menos fios entre os chips podem reduzir significativamente o custo do sistema).
- O custo e, talvez o mais importante, a real disponibilidade comercial do componente escolhido.