

2.2.2 Quais testes de célula são necessários para determinar a tensão de circuito aberto (OCV)

Detalhamos agora os experimentos de laboratório necessários para coletar os dados para determinar a relação da Tensão de Circuito Aberto (OCV) de uma célula de bateria. O procedimento geral envolve descarregar muito lentamente uma célula de um estado de carga máximo para um mínimo, e depois carregá-la muito lentamente de volta ao máximo.

Como não há um sensor que possa medir o Estado de Carga (SOC) diretamente, o teste é realizado entre as tensões de corte superior (V_{max}) e inferior (V_{min}) especificadas pelo fabricante. Durante todo o processo, o equipamento de teste registra continuamente a tensão terminal da célula e os Ampere-horas acumulados. A taxa de corrente utilizada é muito baixa (por exemplo, C/30) por duas razões principais: para garantir que a tensão medida seja o mais próxima possível da verdadeira OCV, e para que a geração de calor seja insignificante, permitindo-nos assumir que a temperatura da célula é igual à temperatura ambiente controlada. Como a OCV também é uma função da temperatura, todo o procedimento de teste é repetido em várias temperaturas diferentes para caracterizar completamente a célula em toda a sua faixa operacional.

0 Procedimento de Teste em Quatro Etapas

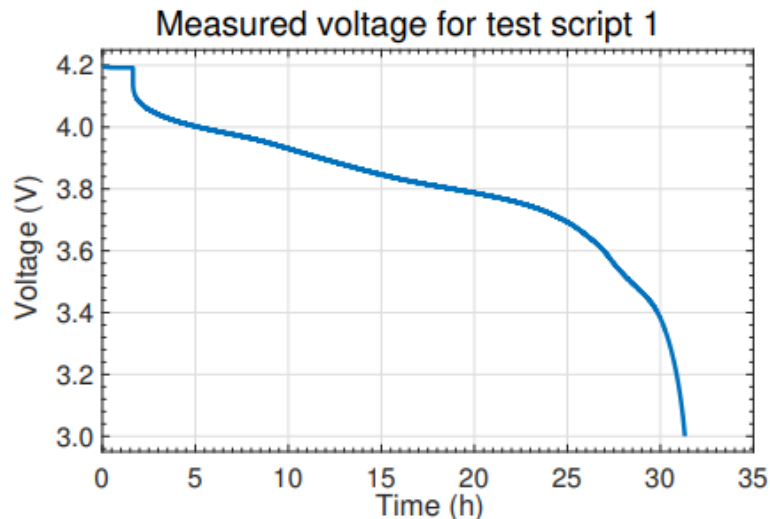
O processo completo de teste para uma única temperatura é dividido em uma sequência de quatro "scripts" ou programas executados no ciclador de bateria.

Parte 1: A Curva de Descarga (Etapas 1 e 2)

- **Etapas 1 e 2: Descarga na Temperatura de Teste**
 1. **Aclimação (Soak):** O teste começa com uma célula totalmente carregada (calibrada para 100% de SOC a 25°C de antemão). A célula é então colocada na câmara ambiental na temperatura de teste desejada (por exemplo, 35°C) e deixada em repouso por pelo menos duas horas para garantir que sua temperatura interna se torne uniforme.
 2. **Descarga:** A célula é descarregada a uma taxa de corrente constante e lenta (por exemplo, C/30) até que sua tensão terminal atinja o limite inferior, V_{min} . Este processo gera a curva de tensão de descarga para a temperatura de teste especificada.

- **Etapa 2: Calibração de 0% SOC a 25°C**

1. **Aclimação (Soak):** A célula (agora em V_{min} na temperatura de teste) é levada a uma temperatura padrão de **25°C** e deixada em repouso por pelo menos duas horas.
2. **Calibração:** A tensão terminal da célula é ajustada para exatamente V_{min} a 25°C, o que pode exigir uma pequena carga ou descarga adicional. Esta etapa é crítica, pois **calibra o ponto de 0% de SOC**. Por definição neste teste, 0% de SOC ocorre quando a OCV da célula é igual a V_{min} na temperatura padrão de 25°C.



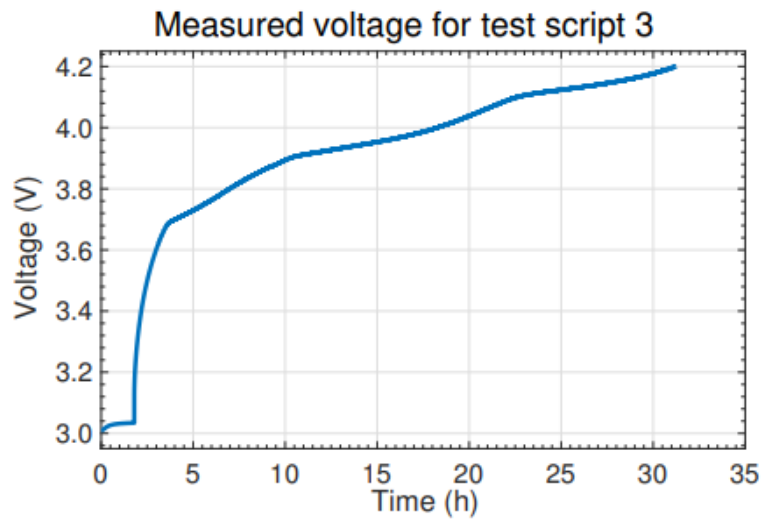
Parte 2: A Curva de Carga (Etapas 3 e 4)

- **Etapa 3: Carga na Temperatura de Teste**

1. **Aclimação (Soak):** A célula calibrada em 0% de SOC é novamente colocada na temperatura de teste (por exemplo, 35°C) e deixada em repouso por pelo menos duas horas.
2. **Carga:** A célula é carregada a uma taxa de corrente constante e lenta (por exemplo, C/30) até que sua tensão terminal atinja o limite superior, V_{max} . Este processo gera a curva de tensão de carga para a temperatura de teste.

- **Etapa 4: Calibração de 100% SOC a 25°C**

1. **Aclimação (Soak):** A célula (agora em V_{max} na temperatura de teste) é levada à temperatura padrão de **25°C** e deixada em repouso por pelo menos duas horas.
2. **Calibração:** A tensão terminal da célula é ajustada para exatamente V_{max} a 25°C. Esta etapa **calibra o ponto de 100% de SOC**. Na prática, esta etapa de calibração de 100% é realizada *antes* da Etapa 1 para garantir que todo o teste de descarga comece de um ponto de partida perfeitamente calibrado.



Um Refinamento Opcional: Neutralizando a Histerese com "Dithering"

Um desafio sutil neste procedimento é o efeito da **histerese**. As etapas de calibração visam ajustar a OCV da célula para V_{min} ou V_{max} , mas o que o equipamento de teste controla diretamente é a *tensão terminal*. Devido à histerese, a tensão terminal pode atingir o valor alvo enquanto a OCV interna ainda está ligeiramente diferente. Isso significa que os pontos de ajuste de 0% e 100% de SOC não são alcançados com perfeição.

Para neutralizar este efeito e obter uma calibração mais precisa, uma etapa opcional de **"dithering"** pode ser adicionada. Este processo, análogo à desmagnetização de materiais magnéticos, submete a célula a um sinal de tensão de pequena amplitude e oscilante (como um sinal "chirp") centrado na tensão alvo. Esta oscilação forçada ajuda a colapsar o laço de histerese eletroquímica da célula em direção a zero, resultando em uma calibração mais precisa dos pontos de extremidade do SOC.

