

Circuitos de Protección para Baterías de Litio: BMS y Balanceo de Celdas

Autor: EA4IPV

Fecha: 23/03/2026

Categoría: Trampas Defensivas

Etiquetas: Sin etiquetas

Circuitos de Protección para Baterías de Litio: BMS y Balanceo de Celdas

Las baterías de litio (Li-ion y LiFePO4) son la fuente de energía portátil más densa disponible, pero requieren circuitos de protección obligatorios para evitar incendios, explosiones y degradación prematura. Un BMS (Battery Management System) supervisa el voltaje, la corriente y la temperatura de cada celda, corta la carga o descarga si se exceden los límites seguros, y equilibra las celdas para maximizar la capacidad útil. Las celdas de litio operan en una ventana de voltaje estrecha: las Li-ion (NMC/NCA) entre 2,5 V y 4,2 V, y las LiFePO4 entre 2,5 V y 3,65 V. Exceder estos límites provoca desde pérdida permanente de capacidad hasta fuga térmica (thermal runaway) con temperaturas de 600-800 °C. Este artículo detalla el funcionamiento de los BMS, los circuitos de protección y las técnicas de balanceo para construir y mantener packs de baterías seguros.

Parámetros críticos de seguridad en celdas de litio

Cada química de litio tiene umbrales de voltaje y corriente específicos que el BMS debe respetar escrupulosamente. Operar fuera de estos rangos no solo reduce la vida útil sino que puede provocar situaciones peligrosas.

Parámetro

Li-ion NMC (18650/21700)

Li-ion LFP (LiFePO4)

Consecuencia de violar

Voltaje máximo de carga

4,20 V $\pm$ 0,05 V

3,65 V $\pm$ 0,05 V

Deposición de litio metálico, cortocircuito interno, incendio

Voltaje mínimo de descarga

2,50 V (2,80 V recomendado)

2,50 V (2,80 V recomendado)

Disolución del colector de cobre, cortocircuito irreversible

Corriente máxima de carga

0,5C-1C (ej: 1,7-3,4 A para 3.400 mAh)

1C-3C

Sobrecalentamiento, deposición de litio, degradación acelerada

Corriente máxima de descarga

1C-3C continua (5-10C pico)

3C-5C continua (10C+ pico)

Sobrecalentamiento, venteo de gases, posible ignición

Temperatura de carga

0 °C a 45 °C

-20 °C a 45 °C

Cargar bajo 0 °C deposita litio metálico (Li-ion NMC)

Temperatura de descarga

-20 °C a 60 °C

-30 °C a 60 °C

Reducción temporal de capacidad en frío, daño en calor extremo

La tasa C expresa la corriente en función de la capacidad. Para una celda de 3.400 mAh (como la Samsung INR21700-50E), 1C = 3,4 A, 0,5C = 1,7 A y 2C = 6,8 A. La tasa de carga recomendada por la mayoría de fabricantes es 0,5C para maximizar la vida útil (500-800 ciclos al 80 % de capacidad).

Funciones del BMS: protección, balanceo y monitorización

Un BMS completo realiza tres funciones fundamentales: protección (cortar la corriente ante condiciones peligrosas), balanceo (igualar el voltaje de todas las celdas) y monitorización (medir y reportar el estado de cada celda). Los BMS más simples solo protegen, mientras que los avanzados incluyen las tres funciones con comunicación digital.

Protección contra sobrecarga (OVP): El BMS desconecta el circuito de carga cuando cualquier celda alcanza el voltaje máximo (4,25-4,30 V para Li-ion, 3,70 V para LFP). Los chips de protección como el BQ29700 de Texas Instruments o el DW01A monitorizan el voltaje con precisión de ± 25 mV y activan un MOSFET de corte en menos de 100 ms.

Protección contra sobredescarga (UVP): Desconecta la carga cuando cualquier celda baja de 2,4-2,8 V. El umbral exacto es configurable: 2,4 V para máxima capacidad extraída (pero menor vida útil) o 2,8-3,0 V para preservar la batería. El consumo del BMS en estado de protección es de 2-10 μ A, por lo que no drena significativamente la batería.

Protección contra sobrecorriente (OCP): Mide la corriente mediante la caída de voltaje en la resistencia RDS(on) de los MOSFETs de potencia o una resistencia shunt dedicada. Cuando la corriente excede el umbral programado (típicamente 10-60 A), corta en 5-20 ms. También detecta cortocircuitos (corte en

Protección térmica (OTP): Un sensor NTC (termistor de coeficiente negativo) de 10 k Ω pegado a las celdas monitoriza la temperatura. El BMS corta la carga por encima de 45 °C y la descarga por encima de 60 °C. Un NTC de 10 k Ω a 25 °C mide $\sim 5,9$ k Ω a 40 °C y $\sim 3,6$ k Ω a 55 °C.

Balanceo pasivo y activo de celdas

En un pack de celdas en serie, las pequeñas diferencias de capacidad y resistencia interna entre celdas provocan que se carguen y descarguen a ritmos diferentes. Sin balanceo, la celda más débil limita todo el pack: se llena primero (impidiendo cargar las demás al 100 %) y se vacía primero (forzando el corte prematuro de descarga).

Característica

Balanceo pasivo

Balanceo activo

Principio

Disipar energía de celdas más cargadas como calor

Transferir energía de celdas más cargadas a las menos cargadas

Componentes

Resistencia + MOSFET por celda

Inductor o condensador + switches + controlador IC

Corriente de balanceo típica

50-200 mA

1-5 A

Eficiencia

0 % (toda la energía se pierde como calor)

80-95 %

Coste

Muy bajo (0,10 €/celda)

Medio-alto (2-10 €/celda)

Aplicación

Packs pequeños (2S-6S), diferencias

Packs grandes, celdas recicladas con alta dispersión

IC típico

BQ29209 (TI), HY2120 (Hycon)

BQ76940 (TI), LTC3300 (Analog Devices)

El balanceo pasivo es el más utilizado en BMS económicos para packs de 2S a 16S. Cada celda tiene una resistencia de balanceo (típicamente 68-100 Ω) y un MOSFET controlado por el chip BMS. Cuando una celda alcanza el voltaje objetivo antes que las demás, el BMS activa su resistencia de balanceo para disipar la corriente de carga excedente como calor, permitiendo que las demás celdas sigan cargándose.

Selección y conexión de BMS comerciales

El mercado ofrece BMS integrados para prácticamente cualquier configuración de pack. La selección correcta depende de la química de las celdas, el número de celdas en serie (S), la corriente máxima continua y la corriente de pico.

BMS para 1S Li-ion (3,7 V): El módulo DW01A + MOSFET FS8205A es el estándar de facto para protección de celdas individuales. Incluye OVP a 4,3 V, UVP a 2,4 V, OCP a 3 A y detección de cortocircuito. Es el circuito integrado en el 90 % de las baterías de teléfonos móviles y power banks. Coste: 0,10-0,30 € por unidad.

BMS para 3S-4S Li-ion (11,1-14,8 V): Los módulos basados en HX-3S-FL25A o similares gestionan packs de 3-4 celdas con corriente continua de 25-40 A y balanceo pasivo integrado. Incluyen sensor NTC para protección térmica. Son los más usados para baterías de herramientas eléctricas, bicicletas eléctricas pequeñas y sistemas de energía solar portátil.

BMS para LiFePO4 4S (12,8 V): Los packs de 4 celdas LFP sustituyen a las baterías de plomo-ácido de 12 V. El BMS JBD (Jia Bai Da) serie SP04S es popular con Bluetooth integrado para monitorización desde el móvil. Voltajes de protección: OVP 3,65 V/celda, UVP 2,50 V/celda, con corrientes de 30-200 A según modelo.

Conexión correcta del BMS: El BMS se conecta con un cable de potencia (B-, que es el negativo del pack) y cables de balanceo finos que van al punto de unión entre cada par de celdas. El cable B- pasa por los MOSFETs de protección del BMS. Los cables de balanceo (B0, B1, B2... Bn) permiten al BMS medir el voltaje individual de cada celda. Es crítico que el cable B0 se conecte al negativo total del pack y Bn al positivo de la última celda.

Riesgo de incendio: Nunca cargar celdas de litio sin BMS. Nunca cortocircuitar los terminales de un pack de litio. Nunca perforar, aplastar ni calentar las celdas por encima de 80 °C. Tener siempre un extintor de clase D o arena seca cerca de packs de litio grandes. En caso de venteo (humo blanco con olor dulce), alejarse inmediatamente y no intentar apagar con agua.

⚠ **Advertencia:** Esta información es orientativa y educativa. En situaciones de emergencia real, consulte a profesionales cualificados siempre que sea posible. No ponga en riesgo su vida ni la de otros sin la formación adecuada.