

Circuito de Carga para Baterías de Plomo-Ácido: Regulador de Carga Solar

Autor: EA4IPV

Fecha: 23/03/2026

Categoría: Trampas Defensivas

Etiquetas: Sin etiquetas

Circuito de Carga para Baterías de Plomo-Ácido: Regulador de Carga Solar

Un regulador de carga solar es el componente crítico entre el panel fotovoltaico y la batería de plomo-ácido: sin él, la batería se sobrecarga durante las horas de sol intenso y se daña irreversiblemente por sulfatación acelerada y pérdida de electrolito. Las baterías de plomo-ácido (de arranque, de ciclo profundo o AGM) requieren un perfil de carga específico de tres etapas: bulk (corriente constante a 14,4 V), absorción (voltaje constante a 14,4 V con corriente decreciente) y flotación (voltaje reducido a 13,6 V). Un regulador de carga casero basado en el circuito integrado comparador LM393 y un MOSFET de potencia puede gestionar paneles de hasta 100 W y baterías de 12 V con eficiencia superior al 95 %. Este artículo detalla el diseño completo con valores de componentes reales y verificados.

Perfil de carga de baterías de plomo-ácido

Las baterías de plomo-ácido son la tecnología de almacenamiento más accesible en supervivencia: baterías de coche, de moto, de SAI (UPS) y de sistemas solares están por todas partes. Su química ($\text{PbO}_2 + \text{Pb} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) requiere un voltaje de carga preciso para funcionar correctamente.

Etapas

Voltaje (bat. 12 V)

Corriente

Duración

Estado de carga

Bulk (carga masiva)

Máxima disponible (C/10 a C/5)

60-80 % del tiempo

0 % → 80 %

Absorción

14,4 V constante

Decreciente (de C/5 a C/20)

20-30 % del tiempo

80 % → ~98 %

Flotación

13,6 V constante

Muy baja (
Indefinida
~98 % → 100 %

Ecualización (opcional)
15,0-15,5 V
C/20
2-4 horas cada 30 días
Desulfatación

Para una batería típica de 100 Ah, C/10 es 10 A y C/20 es 5 A. El voltaje de 14,4 V es para baterías a 25 °C; debe compensarse por temperatura a razón de -18 mV/°C (es decir, a 35 °C se reduce a 14,22 V y a 0 °C se sube a 14,85 V). Cargar por encima de 14,8 V a 25 °C provoca gasificación excesiva (hidrólisis del agua) y pérdida de electrolito.

Gas explosivo: Las baterías de plomo-ácido con tapones (no selladas) liberan hidrógeno gaseoso durante la carga, especialmente en la etapa de absorción. El hidrógeno es explosivo en concentraciones del 4-75 % en aire. Cargar siempre en un espacio ventilado. No fumar ni generar chispas cerca de baterías en carga. Las baterías AGM y gel están selladas con válvula de seguridad y no liberan gases en condiciones normales.

Circuito regulador con LM393 y MOSFET

El corazón del regulador es un comparador de voltaje LM393 que monitoriza el voltaje de la batería y controla un MOSFET de potencia IRF4905 (P-channel, 55 V, 74 A, $R_{ds(on)} = 20 \text{ m}\Omega$) que conecta o desconecta el panel solar. El LM393 tiene dos comparadores independientes en un encapsulado DIP-8 alimentado a 5 V mediante un LM7805.

Divisor de voltaje sensor: Un divisor resistivo de $100 \text{ k}\Omega + 33 \text{ k}\Omega$ conectado a la batería reduce el voltaje a un rango medible: con batería a 14,4 V, el punto medio lee $14,4 \times 33 / (100 + 33) = 3,57 \text{ V}$. Con batería a 13,6 V (flotación), lee 3,37 V. Un potenciómetro multivuelta de $10 \text{ k}\Omega$ en serie con R2 permite ajuste fino del umbral.

Referencia de voltaje: Un diodo zener de 3,3 V (BZX55C3V3) alimentado a través de una resistencia de $1 \text{ k}\Omega$ desde los 5 V del regulador proporciona una referencia estable de 3,3 V al pin no inversor del primer comparador. Cuando el voltaje del divisor (pin inversor) supera 3,57 V (batería a 14,4 V), la salida del comparador conmuta a bajo y desactiva el MOSFET, cortando la carga.

Histéresis: Una resistencia de $1 \text{ M}\Omega$ entre la salida y el pin no inversor del comparador añade histéresis de ~0,15 V. Esto evita oscilaciones: el MOSFET se apaga a 14,4 V pero no se enciende hasta que la batería baje a ~14,0 V. Sin histéresis, el comparador oscilaría rápidamente en el punto de corte.

Driver del MOSFET P-channel: El IRF4905 (canal P) conduce cuando V_{gs} es negativo (gate más negativo que source). Su source se conecta al positivo del panel solar y su drain al positivo de la batería. Un transistor NPN 2N2222A controlado por el LM393 tira del gate a masa ($V_{gs} = -12 \text{ V}$) para activar conducción plena, o lo libera a V_{cc} mediante una resistencia de $10 \text{ k}\Omega$ pull-up para apagar el MOSFET.

Protección contra descarga profunda (LVD)

La descarga profunda (por debajo de 10,5 V en baterías de 12 V) causa sulfatación irreversible de las placas. El segundo comparador del LM393 se configura como protección de bajo voltaje (Low Voltage Disconnect) que desconecta la carga cuando la batería cae por debajo de 11,5 V.

Voltaje de batería 12 V

Estado de carga aproximado

Acción del regulador

> 14,4 V

Carga completa

Desconecta panel solar, mantiene carga conectada

12,8-14,4 V

75-100 %

Panel solar conectado (cargando), carga conectada

12,0-12,8 V

25-75 %

Panel solar conectado (cargando), carga conectada

11,5-12,0 V

10-25 %

Panel solar conectado, LED de advertencia encendido

Desconecta carga para proteger batería

0 % (descarga profunda)

Todo desconectado, batería posiblemente dañada

El circuito LVD utiliza un segundo MOSFET IRF4905 en la línea de carga. Un divisor de voltaje de 100 k Ω + 22 k Ω alimenta el segundo comparador con referencia de 2,07 V (zener de 2,0 V o divisor desde la referencia de 3,3 V). Cuando el voltaje de la batería cae por debajo de 11,5 V, la salida del comparador activa un relé que desconecta la carga. Un LED rojo en la salida del comparador indica estado de batería baja.

Consumo propio del regulador: El circuito del regulador consume corriente propia (quiescent current) incluso sin carga: el LM7805 consume 5-8 mA, el LM393 consume 0,4 mA, los divisores resistivos 0,1 mA y los pull-ups otros 0,5 mA. Total: ~10 mA, que equivale a 0,24 Ah/día o 7,2 Ah/mes. En una batería de 100 Ah es despreciable, pero en una de 7 Ah (tipo SAI) puede descargarla en un mes sin sol. Usar el AMS1117-5.0 (LDO de bajo consumo: 5 mA quiescent) en lugar del LM7805 para reducir el consumo propio.

Lista de materiales y montaje

Todos los componentes son fácilmente obtenibles en tiendas de electrónica o pueden recuperarse de equipos electrónicos desechados (fuentes de alimentación de PC, cargadores, UPS averiados).

Componente

Valor/Modelo

Cantidad

Función

LM393

Comparador dual DIP-8

1

Comparación de voltaje (bulk/float + LVD)

LM7805

Regulador 5 V TO-220

1

Alimentación del circuito de control

IRF4905

MOSFET P-ch 55 V 74 A

2

Interruptor panel→batería y batería→carga

2N2222A

NPN TO-92

2

Driver de gate para los MOSFET

BZX55C3V3

Zener 3,3 V 500 mW

1

Referencia de voltaje

1N5819

Schottky 1 A 40 V

1

Diodo anti-retorno del panel

Resistencias 1 %

100 k Ω , 33 k Ω , 22 k Ω , 10 k Ω , 1 k Ω

Varias

Divisores, pull-ups, limitadores

Potenciómetro multivuelta

10 kΩ

1

Ajuste fino del punto de corte

Condensadores

100 μF/25 V + 100 nF cerámico

2+2

Filtrado de alimentación

LED verde + rojo

5 mm estándar

1+1

Indicador de carga / batería baja

Portafusible + fusible

10 A vidrio 5×20 mm

1

Protección de sobrecorriente

Borneras atornillables

2 pines, paso 5 mm

3

Conexión panel, batería, carga

El montaje se realiza en placa perforada de baquelita (PCB de prototipo con agujeros a paso de 2,54 mm). Soldar primero los componentes de bajo perfil (resistencias, diodos) y después los más altos (condensadores electrolíticos, MOSFET con disipadores). Los MOSFET IRF4905 necesitan disipadores de aluminio si la corriente supera 5 A: a 10 A, la disipación es $P = I^2 \times 0,02 = 2 \text{ W}$, manejable con un disipador pequeño (10 °C/W).

 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.