



# Universal-Lade-/ Entladeschaltung

**Unabhängig vom Ladezustand erlaubt ein spezielles Battery-Charge-Control-IC von Telefunken die akkuschonende Schnell-Ladung von NC- und NiMH-Akkus ohne Überladung. Des weiteren verhindert eine Entlademöglichkeit den Memory-Effekt.**

## Allgemeines

Neben den altbekannten und bewährten NC-Akkus kommen immer mehr die umweltfreundlichen NiMH-Zellen zum Einsatz, die ohne giftiges Cadmium auskommen. Nickel-Metall-Hydrid-Zellen weisen bei gleicher Baugröße eine erheblich höhere Ladekapazität auf, sind jedoch im Gegensatz zu NC-Zellen für Hochstromanwendungen wie z. B. in Elektrowerkzeugen oder im Modellbau nicht geeignet. Des weiteren ist dieser Akkutyp besonders empfindlich gegen Überladung.

Oberstes Ziel eines modernen Akku-Management-Systems ist neben der bestmöglichen Ausnutzung der Akku-Kapazität die Optimierung der Lebensdauer der wertvollen Akkus.

Unter optimalen Bedingungen sind weit über 1000 Lade-/Entlade-Zyklen moderner NC- und NiMH-Akkus möglich, wäh-

rend sogenannte „Billig-Lader“ die Lebenserwartung drastisch auf unter 100 Zyklen drücken können und eine Falschbehandlung insbesondere bei NiMH-Akkus im Bereich der Überladung nicht einmal 10 Zyklen erreichen läßt.

Vor diesem Hintergrund ist die Anschaffung eines möglichst perfekten Ladesystems besonders wichtig und amortisiert sich bereits in kürzester Zeit.

Darüber hinaus ist die schnelle Verfügbarkeit eines entladenen Akkus, d. h. die Schnell-Ladung, eine wichtige Anforderung an ein modernes Ladesystem. Die 14stündige Ladung eines Akkus mit C/10 ist schon lange nicht mehr Stand der Technik.

Bei der Konzeption einer Ladeschaltung ist weiterhin zu bedenken, daß immer mehr Geräte mit Akkupacks, d. h. in Reihe geschalteten Einzelzellen, betrieben werden. Akkupacks, bestehend aus 2 bis 12 Zellen, sind grundsätzlich als komplette Einheit

## Technische Daten: Universal-Lade-/Entladeschaltung

- Intelligente Akku-Überwachung durch stromlose Spannungserfassung mit 6,5mV-Auflösung
- Ladeerkennung durch Spannungsgradientenmessung und zusätzlich  $-\Delta U$ -Überwachung
- Automatische Kurzschluß- und Leerlauf-Überwachung
- Entlademöglichkeit mit automatischer Umschaltung auf Laden bei Erreichen der Entladeschlussspannung
- Hoher Wirkungsgrad und geringe Verlustleistung durch PWM-Schaltregler
- Automatische Ablaufsteuerung: ..... Akku-Formierung, Schnell-Ladung, Übergangsladung, Erhaltungsladung
- Lade- und Betriebsspannung: ..... 9 V - 26 V
- Ladestrom: ..... Einstellbar 500 mA, 1 A, 2 A, 3 A
- Zellenzahl: ..... 1 - 12 in Reihe geschaltete Zellen (NC oder NiMH)

steigender Temperatur nimmt die Zellenspannung dann wieder ab (Überladung).

Als Hauptkriterium zur Beendigung des Schnell-Ladevorgangs wird beim U2402B bereits der Umkehrpunkt der Steigung ausgewertet. Sobald am Ende des Ladevorgangs die Steigungsgeschwindigkeit der Akkuspannung nicht mehr zunimmt, wird der Schnell-Ladevorgang beendet und der Akku durch Übergangsladung auf 100 % seiner speicherbaren Kapazität aufgeladen.

Ist die zweite Ableitung der Steigung ( $+d^2V/dt^2$ ) bei einem Akku nicht auswertbar, so erfolgt die Beendigung des Schnell-Ladevorgangs nach dem  $-\Delta U$ -Verfahren,

ladbar, so daß die Ladespannung des Ladegerätes an die jeweils vorhandene Zellenzahl anzupassen ist.

Zur Verringerung der Verlustleistung bei hohen Ladeströmen ist in modernen Ladeschaltungen der Einsatz eines Schaltreglers sinnvoll. Darüber hinaus erweitert ein großer Versorgungsspannungsbereich die Einsatzmöglichkeiten einer intelligenten Ladeschaltung.

### Das Ladekonzept

Alle zuvor aufgestellten Forderungen sind in optimierter Weise mit einem speziellen Battery-Charge-Controller von TEMIC (Telefunken Semiconductors) erfüllbar. Dieser Chip beinhaltet sämtliche aktiven Baugruppen, die für die Konzeptionierung eines intelligenten Ladegerätes erforderlich sind und ist für die Schnell-Ladung von NC- und NiMH-Akkus geeignet.

Der Schaltkreis unter der Bezeichnung U2402B schließt eine schädliche Überladung des Akkus bzw. Akkupacks sicher aus, so daß bis zu 3000 Ladezyklen mit einem Akkusatz erreichbar sind.

Die recht aufwendige, interne Struktur des Chips ist in Form eines Blockschaltbildes in Abbildung 1 dargestellt.

Neben einem 10-Bit-AD-Wandler (5 Bit grob / 5 Bit fein) mit 6,5mV-Auflösung, einer 6,5V-Referenzspannungsquelle sowie der kompletten Ablaufsteuerung ist auch ein Pulsweiten-Modulator zur Steuerung einer getakteten Ladestromversorgung integriert.

Die Ladeerkennung erfolgt beim U2402B durch Spannungs-Gradientenmessung, wobei mehrere Kriterien für die Beendigung des Schnell-Ladevorgangs herangezogen werden.

Betrachten wir den typischen Ladespannungsverlauf an einer NC- oder NiMH-Zelle. Zunächst steigt beim Laden des Akkus die Zellenspannung kontinuierlich an (Abbildung 2). Bei Erreichen der maximalen Ladung kann die Zelle die zugeführ-

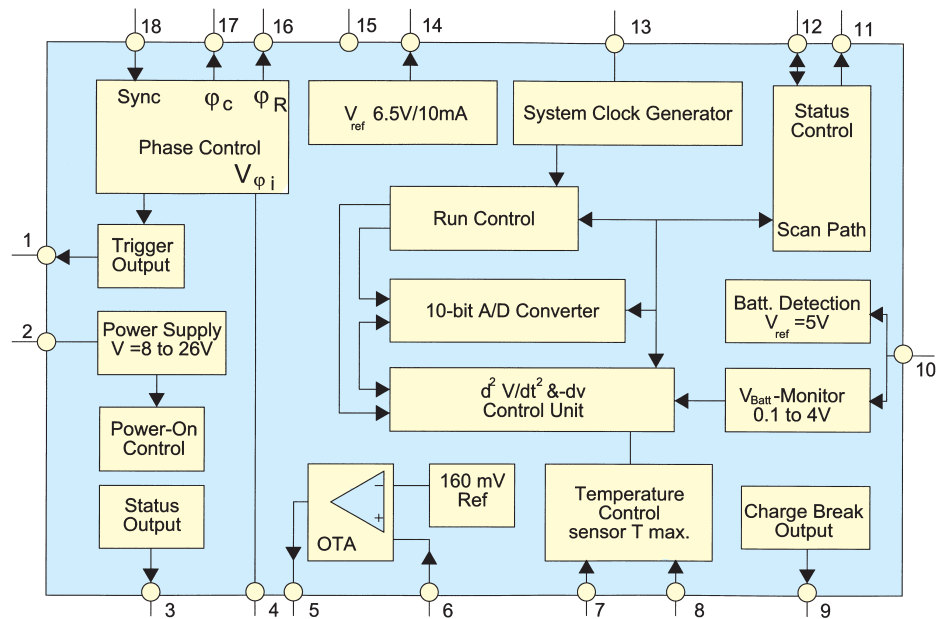
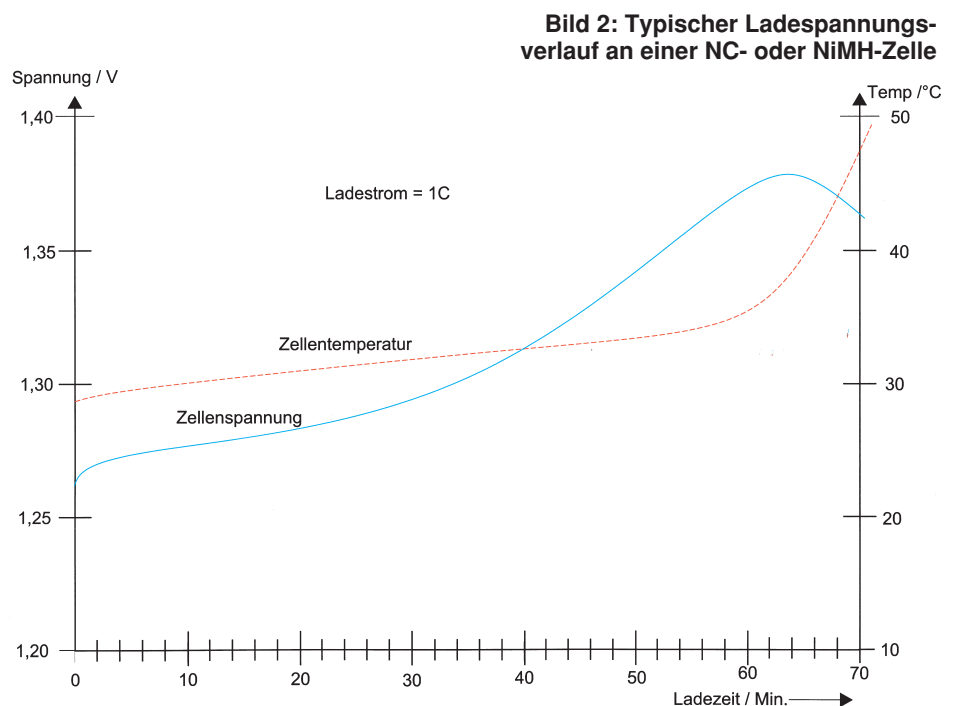


Bild 1: Interne Struktur des Battery-Charge-Controllers U2402B



d. h. wenn die Akkuspannung gerade das Maximum überschritten hat.

Als zusätzliche Schutzfunktion stehen beim U2402B ein Sicherheitstimer sowie eine Kurzschluß- und Leerlaufüberwachung zur Verfügung.

Die Abtastung der Akkuspannung erfolgt grundsätzlich im stromlosen Zustand. Übergangswiderstände an den Akkuklemmen bzw. an den Anschlußleitungen oder Spannungsabfälle innerhalb des Akkus beeinflussen somit nicht das Meßergebnis. Die dem Baustein an Pin 10 zugeführte Akkuspannung darf im Bereich von 0,1 V bis 4 V liegen.

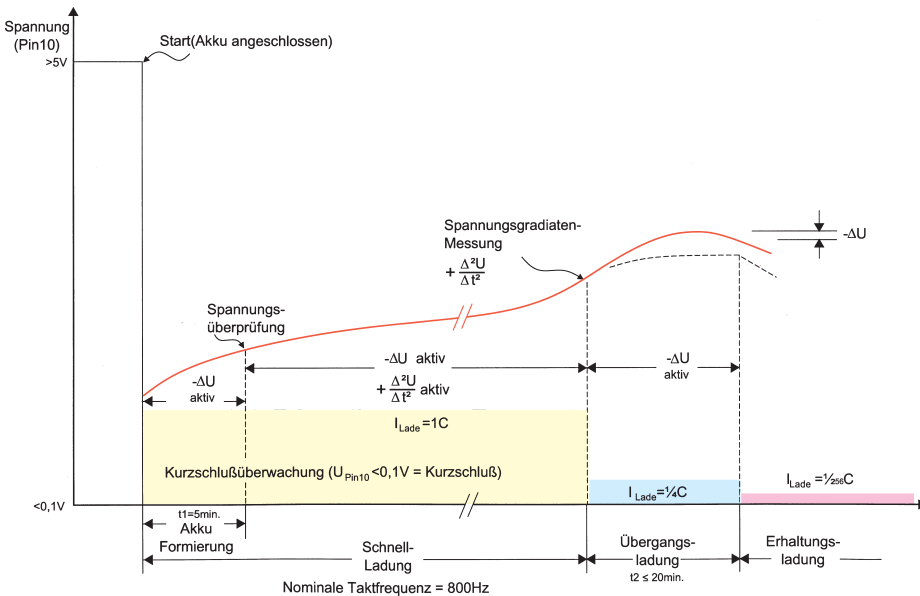
Abbildung 3 zeigt den Ladeablauf des Bausteines, bezogen auf einen Ladestrom von 1 C, d. h. der Akku wird mit einem Strom geladen der seiner Nennkapazität entspricht.

Bereits innerhalb von nur einer Stunde hat der angeschlossene Akku bei diesem

Tabelle 1	
Ladestrom	Oszillatorfrequenz
0,5 C	400 Hz
1 C	800 Hz
2 C	1600 Hz
3 C	2400 Hz

Wie bereits erwähnt, liegt der Eingangsmessbereich des Chips (Pin 10) zwischen 0,1 V und 4 V. Während bis zu 2 in Reihe geschaltete Zellen direkt über einen Vorwiderstand bzw. einen Tiefpaß zur Störunterdrückung anschließbar sind, ist bei größeren Akkupacks ein entsprechender Spannungssteiler vorzuschalten.

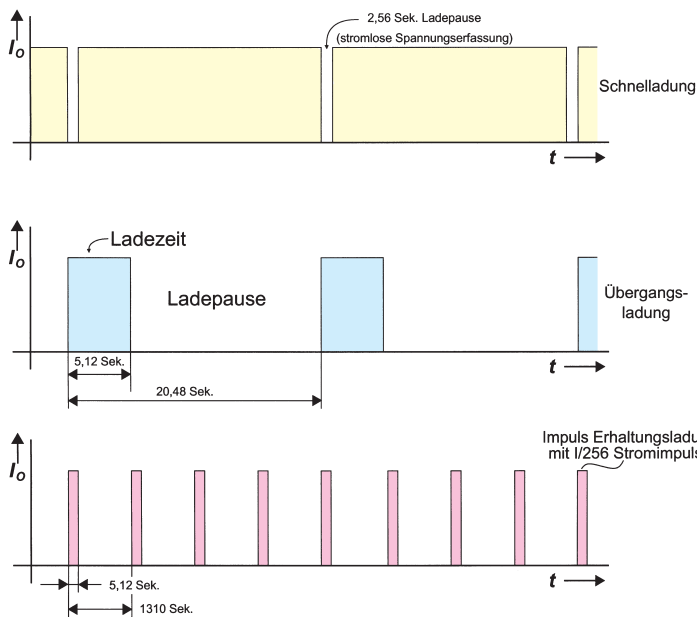
Doch nun zu Abbildung 3. Ohne angeschlossenen Akku ist zum Zurücksetzen des Controllers am Meßeingang eine Spannung von <0,1 V (Pull-down-Methode) oder >5 V (Pull-up-Methode) erforderlich.



**Bild 3: Ladespannungsverlauf an Pin 10 des U2402B, bezogen auf einen Ladestrom von 1 C**

hohen Ladestrom den größten Teil seiner Nennkapazität erreicht.

Der an Pin 13 extern zugängliche chipinterne Oszillator des U2402B, der auch die Meßrate, die maximale Schnell-Ladzeit, die Wiederholrate und die Länge der Stromimpulse sowohl bei der Übergangsladung als auch bei der Erhaltungsladung bestimmt, soll bei 1 C-Ladestrom mit Hilfe eines externen R-Gliedes auf nominal 800 Hz eingestellt werden. Des weiteren werden sämtliche Systemzeiten von der Oszillatorfrequenz bestimmt. Entsprechend Tabelle 1 ist die Oszillatorfrequenz direkt proportional zum Ladestrom zu wählen.



**Bild 4: Puls/Pausenverhältnis des Ladestromes bei Schnell-Ladung, Übergangsladung und Erhaltungsladung**

Die bei der Pull-up-Methode über einen Vorwiderstand zugeführte Spannung wird durch eine chipinterne Z-Diode auf 7 V begrenzt.

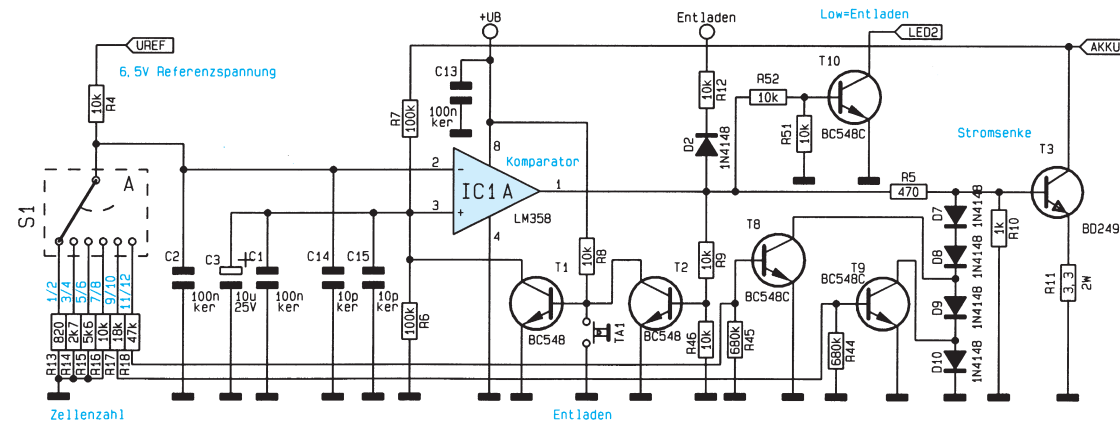
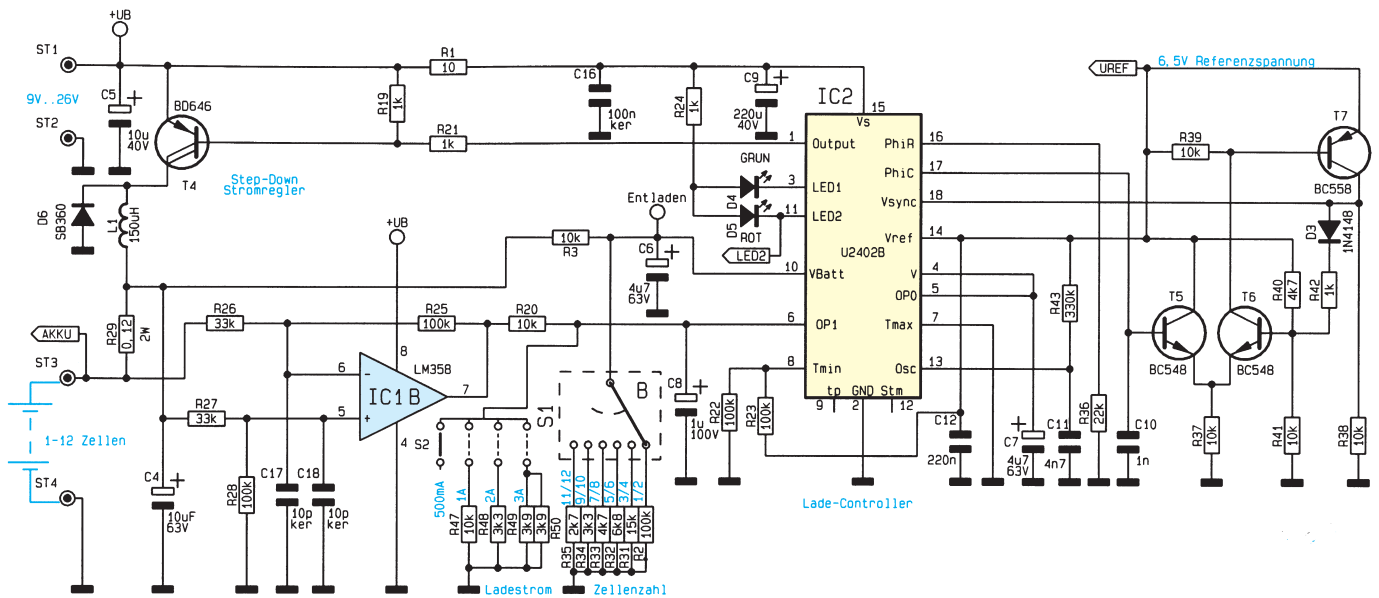
Nach Anschluß des Akkus bzw. Akkupacks sinkt oder steigt (je nach Reset-Methode) die Meßspannung an Pin 10 auf den Wert der Zellenspannung bzw. einen zum Akkupack proportionalen Spannungswert. Sobald der Meßwert innerhalb der zulässigen Grenzen liegt, wird der Schnell-Ladevorgang automatisch gestartet.

Da Spannungen <0,1 V und >5 V grundsätzlich zum Reset führen, ist beim U2402B gleichzeitig eine Kurzschluß- und Leerlaufüberwachung realisiert.

Zu Beginn des Schnell-Ladevorgangs tritt ebenfalls eine Steigungsumkehr innerhalb der Ladekurve auf. Für die ersten 5 Minuten Schnell-Ladung ist daher die zweite Ableitung der Steigung deaktiviert. Während dieser Zeit erfolgt ausschließlich die Auswertung nach der Methode der negativen Spannungsdifferenz (-ΔU-Verfahren), um einen bereits geladenen Akku auch innerhalb der ersten 5 Minuten sicher zu erkennen.

5 Minuten nach Ladebeginn wird zusätzlich während jeder Meßphase, d. h. bei nominaler Taktfrequenz in 20,48 Sekunden Abstand die zweite Ableitung der Steigung vorgenommen. Sobald der Umkehrpunkt der Steigung (die Steigungsgeschwindigkeit der Akkuspannung nimmt ab) detektiert wird, ist dies das Zeichen für einen nahezu vollständig geladenen Akku. Nun schaltet der U2402B für ca. 20 Minuten auf Übergangsladung um (Abbildung 4).

In jeder 20,48 Sekunden langen Ladeperiode (bei nominaler Oszillatorfrequenz) erfolgt die Ladung dann nur noch für jeweils 5,12 Sekunden, entsprechend 0,25 · C.



**Bild 5: Gesamtschaltbild der Lade-/Entladeschaltung mit dem U2402B**

Nach Beendigung der „Top-Off-Charge“-Phase wird die Erhaltungsladung mit I/256 Stromimpulsen vorgenommen.

## Schaltung

Das Gesamtschaltbild des universell einsetzbaren Lade-/Entlademoduls ist in Abbildung 5 zu sehen. Der im oberen Bereich des Schaltbildes dargestellte, weitgehend auf einer Telefonfunken-Applikation basierende Ladezweig, erlaubt die Akku-Schnell-Ladung mit Ladeströmen bis zu 3 A.

Die im unteren Bereich des Gesamtschaltbildes dargestellte Entladeschaltung dient zur Vorentladung eines angeschlossenen Akkus. Zur Verhinderung des gefürchteten Memory-Effektes ist es sinnvoll, Akku vor jedem fünften bis zehnten Ladeprozess bis zur Entladeschlussspannung zu entladen.

Betrachten wir zunächst den im oberen Bereich des Gesamtschaltbildes dargestellten Ladezweig.

Die unstabilierte Lade- und Versorgungsspannung der Schaltung darf zwischen 9 V und 26 V liegen und wird mit

dem Pluspol an ST 1 und dem Minuspol an ST 2 (Schaltungsmasse) angeschlossen.

Die Spannungsversorgung des Ladechips (IC 2) erfolgt über den Widerstand R 1, wobei der Elko C 9 zur Pufferung dient.

Der zu ladende Akku bzw. Akkupack ist mit dem Pluspol an ST 3 und dem Minuspol ebenfalls an die Schaltungsmasse (ST 4) anzuschließen.

Betrachten wir zuerst die Messung der Akkuspannung. Der Meßeingang des chip-internen 10-Bit-AD-Wandlers ist an Pin 10 extern zugänglich. Ohne angeschlossenen Akku liegt der Meßeingang des integrierten AD-Wandlers über einen Widerstand (R 2, R 31 - R 35) auf Massepotential (Pull-

down-Reset-Methode), wodurch der Controller zurückgesetzt wird.

Sobald ein Akku angeschlossen wird, liegt über den mit R 3 und C 6 aufgebauten Tiefpaß zur Störunterdrückung die Akkuspannung am Meßeingang des U2402B an.

Bei Akkupacks mit mehr als 2 in Reihe geschalteten Zellen arbeitet R 3 in Verbindung mit den Widerständen R 2, R 31 bis R 35 als Spannungsteiler, wobei die Anpassung an die jeweilige Zellenzahl mit Hilfe des 6fach-Umschalters S1B möglich ist.

Jede Schalterstufe deckt 2 Zellen ab, so daß maximal 12 in Reihe geschaltete Zellen ladbar sind. Die Eingangsspannung

**Tabelle 2: Status-Anzeige des Lade-Moduls**

Rote LED (D5)	Grüne LED (D 4)	Funktion
blinkt	aus	Kein Akku angeschlossen Kurzschluß/Zellenschluß
an	aus	Entlade-Modus eingeschaltet
aus	blinkt	Schnell-Lademodus aktiviert
aus	an	Übergangsladung, Erhaltungsladung

des AD-Wandlers liegt dann immer in einem optimalen Bereich. Der aktuell fließende Ladestrom wird über den Shunt-Widerstand R 29 im Pluszweig gemessen. Über den als Differenzverstärker arbeitenden Operationsverstärker IC 1 B mit ca. 3facher Verstärkung gelangt die stromproportionale Spannung auf den mit R 20 sowie R 47 bis R 50 aufgebauten, umschaltbaren Spannungsteiler.

Die am Spannungsteilerabgriff bzw. an Pin 6 des IC 2 anliegende Spannung wird mit einer chipinternen Referenzspannung von 160 mV verglichen. Über einen integrierten OTA (Spannungs-Stromwandler), der im übrigen auch zur Steuerung eines Linearreglers nutzbar ist, wird ein mit T 5 bis T 7 und externer Beschaltung sowie chipinternen Komponenten realisierter Pulsweiten-Modulator (PWM) gesteuert.

Der PWM-Ausgang steht an Pin 1 des Bausteins zur Verfügung und steuert den mit T 4, D 6 und L 1 aufgebauten sekundärgetakteten Schaltregler (Step-down-Wandler).

Der Leistungstransistor T 4 wird periodisch geschaltet. In der Phase, in der T 4 durchgeschaltet ist, fließt der Strom über die Drosselspule L 1 und den Shunt-Widerstand R 29 zum Akku. Wird nun der Transistor T 4 gesperrt, kann die Speicherdrossel den Stromfluß aufrecht erhalten, da in dieser Betriebsphase die Diode D 6 leitend ist.

Das Tastverhältnis des Pulsweiten-Modulators, mit dem der Leistungs-Schalttransistor (T 4) angesteuert wird, ist abhängig vom eingestellten Ladestrom und von der Eingangsspannung des Lademoduls.

Die Taktfrequenz des Schaltreglers beträgt ca. 23 kHz und ist in erster Linie von der Dimensionierung des Widerstandes R 36 und des Kondensators C 10 abhängig. Die Oszillatorfrequenz des U2402B beeinflusst nicht die Taktfrequenz des Abwärtswandlers.

Des weiteren besteht beim U2402B die Möglichkeit, die Akku-Temperatur durch einen an Pin 8 des Bausteins anschließbaren externen NTC-Temperatursensor zu überwachen. Da jedoch der thermische Kontakt an den meisten Akkus recht schwierig herzustellen ist, wird diese Möglichkeit bei unserer Ladeschaltung nicht genutzt.

Zur Statusanzeige dienen die beiden Leuchtdioden D 4 und D 5. In Tabelle 2 ist die zur jeweiligen Funktion gehörende Anzeige zu sehen.

Nach der detaillierten Erläuterung der

## Stückliste: Universal-Lade-/Entladeschaltung

### Widerstände:

0,1Ω/2W .....	R29
3,3Ω/2W .....	R11
10Ω .....	R1
470Ω .....	R5
820Ω .....	R13
1kΩ .....	R10, R19, R21, R24, R42
2,7kΩ .....	R14, R35
3,3kΩ .....	R34, R48
3,9kΩ .....	R49, R50
4,7kΩ .....	R33, R40
5,6kΩ .....	R15
6,8kΩ .....	R32
10kΩ .....	R3, R4, R8, R9, R12, R16, R20, R37-R39, R41, R46, R47, R51, R52
15kΩ .....	R31
18kΩ .....	R17
22kΩ .....	R36
33kΩ .....	R26, R27
47kΩ .....	R18
100kΩ .....	R2, R6, R7, R22, R23, R25, R28
330kΩ .....	R43
680kΩ .....	R44, R45

### Kondensatoren:

10pF/ker .....	C14, C15, C17, C18
1nF .....	C10
4,7nF .....	C11
100nF/ker .....	C1, C2, C13, C16
220nF .....	C12
1µF/100V .....	C8

4,7µF/63V .....	C6, C7
10µF/25V .....	C3, C5
10µF/40V .....	C4
220µF/40V .....	C9

### Halbleiter:

LM358 .....	IC1
U2402B-C .....	IC2
BC548C .....	T1, T2, T5, T6, T8-T10
BD249C .....	T3
BD646 .....	T4
BC558 .....	T7
1N4148 .....	D2, D3, D7-D10
SB360 .....	D6
LED, grün, 3mm .....	D4
LED, rot, 3mm .....	D5

### Sonstiges:

Lorlin-Drehschalter, 2 x 6 Stellungen .....	S1
Ringkernspule, 150µH .....	L1
Print-Schiebeschalter (4fach) .....	S2
1 Kühlkörper, SK104	
1 Glimmerscheibe für TO220	
1 Isolier nipple	
1 Zylinderkopfschraube, M3 x 10mm	
1 Mutter, M3	
2 Kabelbinder, 90mm	
4 Lötstifte mit Lötöse	
1 Ringkern, Ø 21,2mm	
2m Anschlußblitze, 2 x 0,4mm	
6cm Silberdraht	

Ladefunktion kommen wir nun zum Entladezweig im unteren Bereich des Schaltbildes.

Nach dem Einschalten der Betriebsspannung wird T 1 sofort über den Widerstand R 8 durchgesteuert und der nicht-invertierende Eingang des Operationsverstärkers IC 1 A auf Massepotential gezogen. Dem invertierenden Eingang des OPs

zahlabhängigen Referenzspannung an Pin 2. Solange die Akkuspannung oberhalb der eingestellten Referenzspannung liegt, führt der Ausgang des Komparators High-Pegel und aktiviert die mit T 3, R 11 sowie D 7 bis D 10 aufgebaute Stromsenke.

Für die Zeit, in der am Ausgang des Komparators ein High-Pegel anliegt, bleibt T 1 über den ebenfalls als Schalter arbeitenden Transistor T 2 gesperrt. Gleichzeitig steuert T 10 die rote Status-LED

(D 5), so daß diese ständig leuchtet.

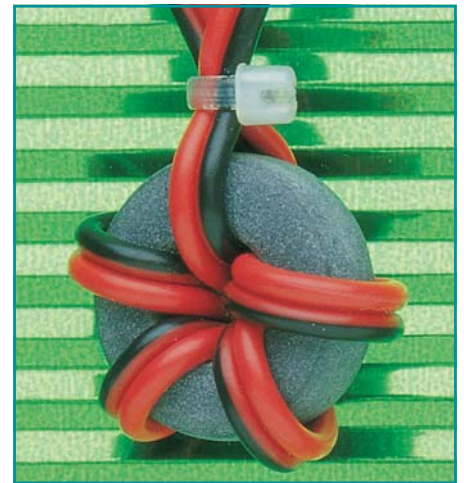
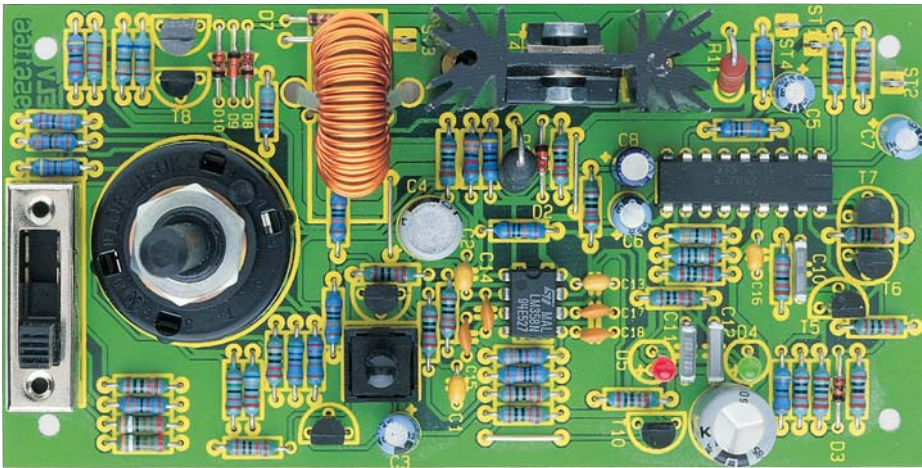
Über D 2 und R 12 wird der Lade-Controller (IC 2) für die Dauer der Entladung im Reset-Mode gehalten.

Um die Verlustleistung an T 3 bei Akkupacks mit mehr als 8 in Reihe geschalteten Zellen in Grenzen zu halten, erfolgt mit T 9 bei 9 und 10 Zellen die Reduzierung des Entladestromes von 700 mA auf ca. 500 mA. Eine weitere Reduzierung des Entladestroms auf ca. 350 mA erfolgt mit

(Pin 2) wird eine mit S 1 A einstellbare, zellenzahlabhängige Referenzspannung zwischen 0,49 V und 5,36 V zugeführt. Der Ausgang des OPs (Pin 1) führt Low-Pegel, und der Transistor T 3 ist gesperrt.

Sobald der Taster TA 1 betätigt wird, sperrt der Transistor T 1. Nun arbeitet IC 1 A als Komparator und vergleicht über den Spannungsteiler R 6 / R 7 die Akkuspannung mit der einstellbaren, zellen-

## Intelligente Ladeüberwachung durch Spannungsgradientenmessung, Step-down-Wandler und Entlademöglichkeit



Ansicht der fertig aufgebauten Leiterplatte

**Bild 6: Ringkern zur Verringerung der leitungsgebundenen Störstrahlung**

Zugabe von ausreichend Lötzinn auf die Platine zu löten.

Kommen wir nun zur Montage der beiden Leistungstransistoren T 3 und T 4 am Kühlkörper. Da die Transistoren grundsätzlich nicht gleichzeitig in Betrieb sind, erfolgt die Montage mit einer einzigen Schraube M3 x 10 mm und zugehöriger Mutter am selben Kühlkörper. Während die Kühlfahne des Transistors T 3 direkt am Kühlkörper anliegt, ist T 4 mit einer Glimmerscheibe und einem Isoliernippel isoliert zu montieren.

Danach sind die beiden Status-LEDs, der Taster TA 1 und der 4fach-Umschalter S 2 einzusetzen.

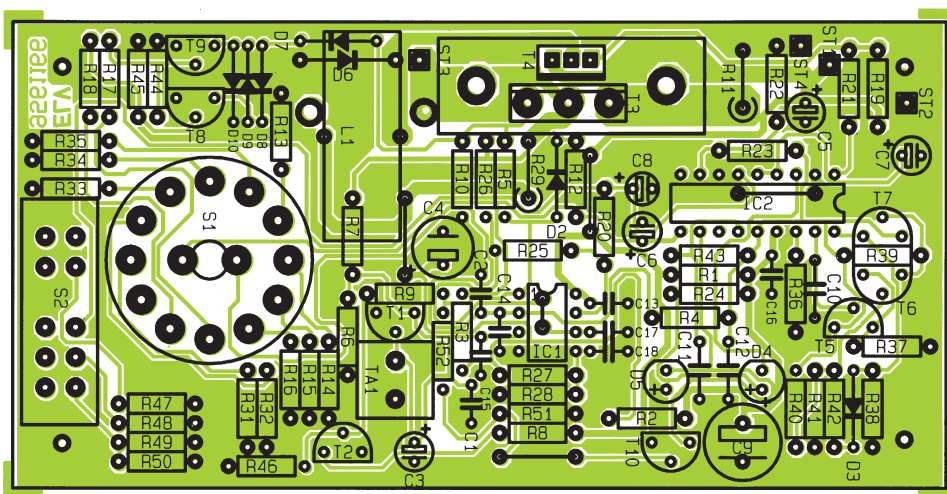
Vor dem Einlöten des 2x6fach-Umschalters S 1 sind die Lötösen mit einem scharfen Seitenschneider abzutrennen.

Die Leiterplatte des Lade-Entlademoduls ist so konstruiert, daß der Einbau in ein Universal-Kunststoffgehäuse (z. B. ELV-Best.Nr.: 16-173-18) mit den Abmessungen 131 x 69 x 46 mm möglich ist. Für den Gehäuseeinbau sind die Anschlußbeinchen der Leuchtdioden mit isolierten Silberdrahtabschnitten so zu verlängern, daß ein Abstand von 35 mm zwischen Anschlußbeinchen-Austritt der LEDs und der Platinenoberseite entsteht. Zwei 30 mm lange Bundhülsen dienen zur Verlängerung der Tasteranschlüsse.

Soll auch der 4fach-Umschalter S 2 von außen zugänglich sein, so ist dieser an einer geeigneten Stelle mit 2 Schrauben M2,5 x 5 mm direkt in das Gehäuse zu setzen. Die Verdrahtung ist dann entsprechend dem Schaltbild mit 4 einadrigen isolierten Leitungen vorzunehmen.

Zur Verringerung der leitungsgebundenen Störstrahlung sind die zum Akku führenden Anschlußleitungen 4 mal, gemäß der Abbildung 6, durch einen Ringkern zu führen. Der Abstand des Ringkerns zu den Anschluß-Lötösen der Platine soll dabei ca. 5 - 10 cm betragen.

ELV



Bestückungsplan der Universal-Lade-/Entladeschaltung

Hilfe des Transistors T 8 bei 11 und 12 in Reihe geschalteten Zellen.

### Nachbau

Für die praktische Ausführung dieser innovativen Lade-Entladeschaltung steht eine einseitige Leiterplatte mit den Abmessungen 124 mm x 62 mm zur Verfügung, die sämtliche Komponenten einschließlich Schalter und Kühlkörper aufnimmt. Da die Schaltung keinen Abgleich erfordert, ist der Aufbau besonders einfach und schnell erledigt.

Zuerst werden 4 Drahtbrücken entsprechend dem Bestückungsplan eingelötet.

Die Anschlußbeinchen der Widerstände sind mit Ausnahme der beiden Shunt-Widerstände R 4 und R 29 ca. 1 mm hinter dem Gehäuseaustritt abzuwinkeln und durch die zugehörigen Bohrungen der Leiterplatte zu führen. Auf der Lötseite werden die Anschlußbeinchen leicht angewinkelt und nach dem Umdrehen der Platine in einem Arbeitsgang verlötet.

Nach dem Abschneiden der überstehenden Drahtenden sind in gleicher Weise die Dioden unter Beachtung der korrekten Ein-

baulage (Polarität) zu bestücken.

Als dann sind die 4 Lötstifte mit Öse zum Anschluß der Versorgungsspannung und des Akkus stramm in die entsprechenden Bohrungen der Platine zu pressen und mit ausreichend Lötzinn festzusetzen.

Danach werden die Keramik- und Folienkondensatoren eingelötet.

Bei den Elektrolytkondensatoren ist unbedingt die richtige Polarität zu beachten. Üblicherweise sind Elkos am Minusanschluß gekennzeichnet.

Als dann sind die 8 Kleinsignaltransistoren einzusetzen. Vor dem Verlöten sind die Anschlußbeinchen so weit wie möglich durch die zugehörigen Platinenbohrungen zu führen.

Die beiden Shunt-Widerstände R 4 und R 29 sind mit einem Mindestabstand von 5 mm zur Platinenoberfläche einzulöten.

Es folgen die beiden integrierten Schaltkreise, die so einzusetzen sind, daß deren Gehäusekerben mit den zugehörigen Symbolen im Bestückungsdruck übereinstimmen.

Die Speicherdrossel L 1 wird nach dem Einlöten mit einem Kabelbinder festgesetzt.

Als nächstes ist der Kühlkörper unter