

Akku-Monitor für NC- und NiMH-Zellen AM 2

Diese Miniaturschaltung, aufgebaut mit einem hochintegrierten Akku-Management-IC von Philips, kann den aktuellen Energieinhalt von NC- und NiMH-Akkus erfassen und anzeigen, wobei auch die Selbstentladung des Akkus berücksichtigt wird.

Allgemeines

Mobile Geräte benötigen auch mobile Stromversorgungen, wobei die äußerst robusten und ausgereiften NC- und NiMH-Akkus nach wie vor, auch beim größer werdenden Angebot an verschiedenen Akkutypen, eine dominierende Rolle spielen.

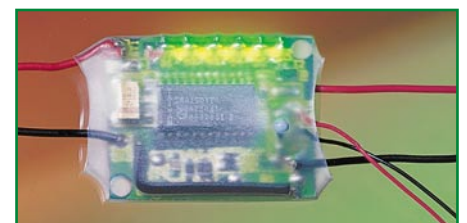
Das Problem ist jedoch, dass man einem Akku, bzw. Akkupack den noch zur Verfügung stehenden Energieinhalt nicht ansehen kann und somit die verbleibende Nutzungsdauer des Energiespenders kaum abzuschätzen ist. Selbst eine Messung ist, ohne den Akku zu entleeren, nicht möglich.

Erschwerend hinzu kommt die Selbstentladung, die zudem noch temperaturabhängig ist. Die längere Lagerung eines Akkus im vollgeladenen Zustand ist daher nicht möglich. Bereits nach kurzer Zeit ist ein Großteil der ursprünglich zur Verfügung gestandenen Energie verloren.

Die Tatsache, dass der Ladungsinhalt eines Akkus bzw. eines Akkupacks nur direkt nach dem Ladevorgang einigermaßen zuverlässig kalkuliert werden kann, führt in der Praxis dazu, dass Akkus wesentlich häufiger geladen werden als normalerweise notwendig. Oft wird dabei eine Vorentladung durchgeführt und somit eine erhebliche Menge an Restenergie einfach in

Abwärme umgesetzt. Dies kostet unnötig Zeit und verringert unter Umständen auch die Lebensdauer des Akkus.

Das hier vorgestellte kleine Modul (Abmessungen nur: 32 mm x 26 mm) arbeitet nach dem Ladungsbilanz-Verfahren mit



Schaltung des AM 2 mit transparentem Schrumpfschlauch geschützt

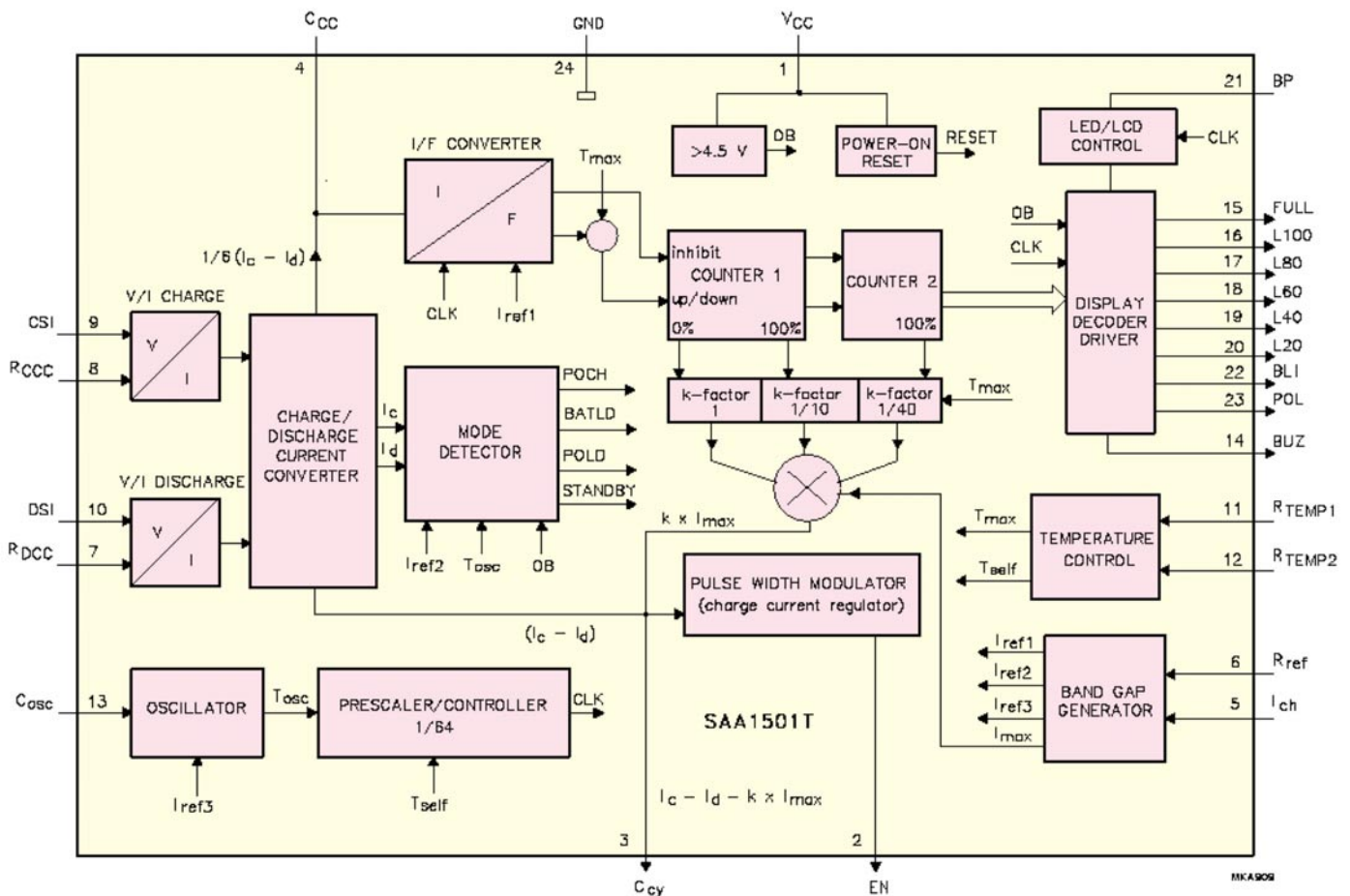


Bild 1: Interne Struktur des SAA 1501

einem hochintegrierten Baustein von Philips und zeigt über Leuchtdioden den Energieinhalt des Akkus in 20%-Schritten an. Die noch zur Verfügung stehende Betriebsdauer des Energiespeichers ist somit einfach kalkulierbar. Einzige Bedingung: Die kleine Schaltung muss ständig mit dem Akku bzw. Akkupack verbunden bleiben.

Damit die Akku-Lade-Zustandsüberwachung selbst keine nennenswerte Energie aus dem Akku zieht, erfolgt die Anzeige des Energieinhalts mittels der Leuchtdioden jeweils nur für kurze Zeit (ca. 8 Sek.) nach jedem Ein- und Ausschalten des Verbrauchers.

Aus den zu- und abfließenden Strömen, die nicht konstant sein müssen, wird dann die Ladungsbilanz erstellt, wobei auch die temperaturabhängige Selbstentladung vom SAA 1501 berücksichtigt wird.

Im Prinzip wird beim Aufladen des Akkus proportional zum Ladestrom ein Zähler hochgezählt und beim Entladen proportional zum Entladestrom wieder heruntergezählt, wobei auch die durch externe Beschaltung veränderbare Ladeeffektivität mit in die Berechnung eingeht.

Die Lade- und Entladeströme werden dabei über einen niederohmigen Shunt-Widerstand erfasst, an dem ein Spannungsabfall von 4 mV bis 400 mV für die Berechnung der Energiebilanz entstehen muss.

Der Dynamikbereich bei der Lade- und Entlade-Stromerfassung beträgt somit 100:1.

Die im SAA 1501 integrierten Aufwärts-/Abwärtszähler werden letztendlich mit lade- bzw. entladestrom-proportionalen Taktfrequenzen angesteuert, wobei der aktuelle Zählerstand den Energie-Inhalt des Akkus repräsentiert. Die daraus berechnete Ladungsbilanz wird mit fünf direkt am Baustein anzuschließenden Leuchtdioden in 20%-Abstufungen angezeigt.

Alternativ ist auch eine individuelle Umrechnung in Minuten oder Stunden Betriebszeit möglich.

Zur Spannungsversorgung des Bausteins sind zwei in Reihe geschaltete Zellen vorgesehen, während bei größeren Akkupacks

ein entsprechender Abgriff erfolgen muss.

In diesem Fall wird die Kapazitätsanzeige über zwei beliebige Zellen des Akkupacks angeschlossen, und die Verbindungsleitung zur nächsten Zelle kann durch den Shunt-Widerstand (zur Erfassung der Lade- und Entladeströme) ersetzt werden (siehe Abbildung 2).

Bei größeren Akkupacks, wie z. B. im Modellbau-Bereich, ist die Unterbringung der kleinen Leiterplatte meistens kein Problem, da diese zusammen mit dem Akku eingeschumpft werden kann. Natürlich ist dazu ein transparenter Schrumpfschlauch zu verwenden.

Die Ausgabe eines akustischen Signals mit Hilfe eines optional anzuschließenden

Technische Daten: Akku-Monitor für NC- und NiMH-Akkus AM 2	
Kapazitätsanzeige:	20 % - 100 % in 5 Stufen (5 grüne LEDs)
Anzeige aktiv:	jeweils 8 Sekunden nach Ein- und Ausschalten der Last
Akku-Leer-Anzeige:	rote LED
Akustisches Warnsignal:	Anschluß für externen Piezo-Signalgeber (bei weniger als 10 % Rest-Energiegehalt ertönen nach jedem Ein- und Ausschalten 4 Warnsignale)
Laderaten:	0,05 C bis 5 C
Oszillatorfrequenz:	4,3 kHz ±10 %
Zulässiger Spannungsabfall am Shunt:	4 mV - 400 mV
Stand-by-Mode:	bei <4 mV am Shunt
Betriebsspannung:	2 V - 4,3 V (2 Zellen)
Stand-by-Stromaufnahme:	ca. 90 µA
Abmessungen:	32 mm x 26 mm

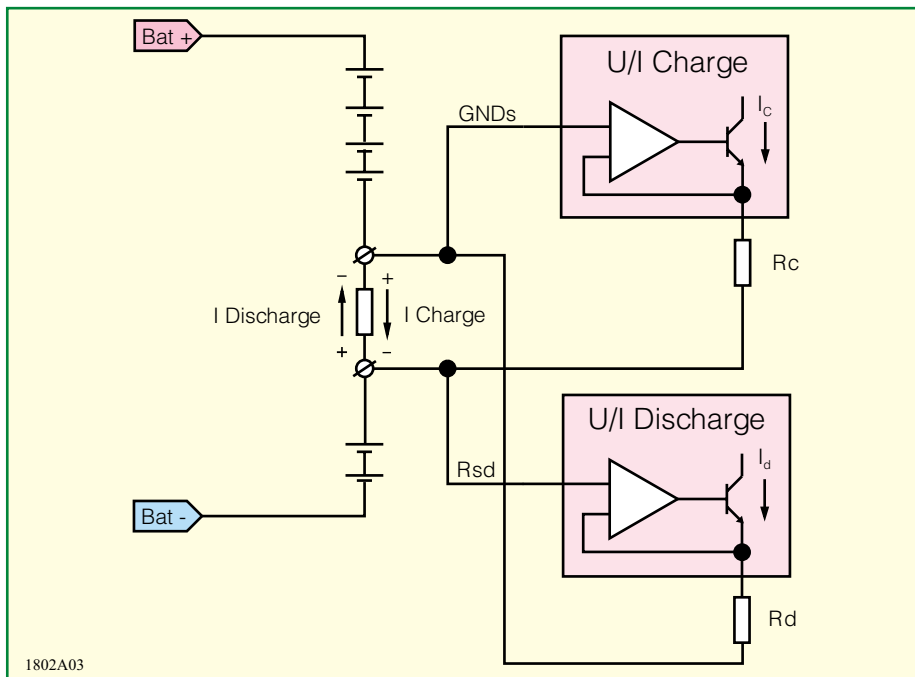


Bild 2: Funktionsweise der im SAA 1501 integrierten U/I-Konverter für den Lade- und Entlade-Mode

Piezo-Signalgebers bei Unterschreiten von 10 % Rest-Energie-Inhalt, die Möglichkeit, die Umgebungstemperatur über einen externen Sensor zu erfassen und ein Steuerausgang für ein externes Ladegerät runden die Funktionsvielfalt dieses interessanten Schaltkreises ab.

In dem in Abbildung 1 dargestellten Blockschaltbild ist die recht aufwendige interne Struktur des SAA 1501 zu sehen. Alle aktiven Baugruppen, die zur Lade-Zustandsüberwachung erforderlich sind, wurden in einem einzigen Chip integriert.

Unter der Bezeichnung BICMOS kommt dabei sowohl die CMOS-Technologie als auch die Bipolar-Technologie zum Einsatz.

Trotz der Tatsache, dass alle aktiven Komponenten im SAA 1501 integriert sind, ist der Baustein sehr flexibel in der Anwendung, da durch wenige externe Bauelemente alle wichtigen Parameter den individuellen Bedürfnissen angepasst werden können.

Der SAA 1501 ist für eine Betriebsspannung von 2 V bis 5,5 V konzipiert. Beim Anlegen der Betriebsspannung setzt die interne Logik den Digitalteil bei Erreichen von 1,7 V (0,85 V je Zelle) zurück. Ausgehend von einem entladenen Akku beginnt ab diesem Pegel dann die Energiezählung. Im Entlade-Mode gelten ebenfalls 1,7 V zum Zurücksetzen des Systems.

Zunächst ist für die Erfassung der Lade- und Entladeströme ein niederohmiger Shunt-Widerstand in Serie zum Akku erforderlich. Je nachdem, ob der Akku geladen oder entladen wird, erhalten wir hier einen Spannungsabfall mit umgekehrter Polarität. Der Spannungsabfall während des Ladevorgangs wird dabei vom Schal-

tungsblock U/I-Charge und der Spannungsabfall während des Entladevorgangs vom Schaltungsblock U/I-Discharge ausgewertet. Auch pulsierende Stromaufnahmen (Lastschwankungen) oder schwankende Ladeströme sind dabei kein Problem.

Abbildung 2 zeigt die prinzipielle Funktionsweise der beiden integrierten U/I-Konverter.

Der Spannungsabfall am Shunt, der mindestens 4 mV betragen muss, wird sowohl im Lade- als auch im Entlade-Mode jeweils mit Hilfe eines Widerstandes in einen für das IC vertretbaren proportionalen Strom umgewandelt.

Im Schaltungsblock I/F-Konverter erfolgt die Wandlung in stromproportionale Frequenzen sowie die Erzeugung eines Schaltsignals für die Zählrichtung. Der Zählerstand der nachgeschalteten Up-/Down-Counter repräsentiert dann den aktuellen Ladungsinhalt.

Der Mode-Detektor arbeitet abhängig von den Lade- und Entladeströmen. Fließt weder ein Ladestrom, noch ein Entladestrom (Spannungsabfall am Shunt < 4 mV), schaltet der SAA 1501 in den Stand-By-Mode. Die Stromaufnahme des Bausteins beträgt dann nur noch ca. 90 μ A, was im Verhältnis zur Selbstentladung des Akkus sehr wenig ist.

Bei einer Oszillatorfrequenz von 4 kHz geht nun der SAA 1501 von einer vollständigen Selbstentladung des Akkus innerhalb von 200 Tagen aus.

Wird optional ein Temperatursensor zur Erfassung der Umgebungstemperatur benutzt, so ist eine temperaturabhängige Selbstentladungsrate in drei Stufen (200 Tage, 100 Tage und 33 Tage) möglich.

Die Temperaturschwellen werden durch externe Dimensionierung festgelegt. Für die korrekte Arbeitsweise muss der Sensor die gleiche Umgebungstemperatur wie der Akku haben. Die Auswertung der Temperatur erfolgt intern im Schaltungsblock Temperature-Control. Bei 4kHz-Oszillatorfrequenz erfolgt die Abfrage des Temperatursensors alle 16 Sekunden.

Das komplette Timing des SAA 1501 ist von dem an Pin 13 lediglich mit einem Kondensator zu beschalteten Oszillator abhängig. Der nachgeschaltete Prescaler/Controller-Block liefert die erforderlichen internen Taktsignale.

Ein integrierter Bandgap-Generator dient zur Erzeugung von hochgenauen Referenzspannungen für die verschiedenen internen Funktionsgruppen des Chips.

Der SAA 1501 kann zur Anzeige des Energie-Inhalts wahlweise ein LC-Display oder Leuchtdioden ansteuern. Werden, wie in unserem Fall, Leuchtdioden verwendet, sind keine Vorwiderstände erforderlich, da eine interne Strombegrenzung auf ca. 10 mA erfolgt.

Neben der Anzeige von 20 % bis 100 % in fünf Stufen ist eine zusätzliche „Low-Batt“-Anzeige vorhanden, die bei Unterschreiten von 10 % Rest-Energie-Inhalt aktiviert wird. Mit jedem Ein- und Ausschalten des Verbrauchers werden dann zusätzlich über den optional zu nutzenden Buzzer-Ausgang vier Signaltöne ausgegeben.

Damit die Schaltung keine unnötige Energie verbraucht, erfolgt während des normalen Betriebs die Anzeige für jeweils ca. 8 Sek. nach dem Ein- oder Ausschalten des Verbrauchers.

Während des Ladevorgangs hingegen bleiben die LEDs in Form einer Balkenanzeige ständig aktiviert, wobei der Lade-fortschritt jederzeit erkennbar ist.

Schaltung

Abbildung 3 zeigt die mit dem SAA 1501 realisierte Schaltung der Ladungsinhalts-anzeige, die mit wenigen externen Komponenten auskommt.

Die Dimensionierung der externen Bauelemente ist wesentlich vom individuellen Einzelfall abhängig und muss im Bedarfsfall entsprechend angepasst werden. Auf die Berechnung wollen wir nachfolgend noch detailliert eingehen. Zum Betrieb der Schaltung sind zwei in Reihe geschaltete Zellen erforderlich. Bei größeren Akkupacks muss dann ein entsprechender Abgriff erfolgen, wobei der Pluspol an ST 1 und der Minuspol an ST 2 anzuschließen ist.

Laut Datenblatt sind bei der nominalen Oszillatorfrequenz von 4,3 kHz mit dem SAA 1501 Lade-/Entladeraten zwischen

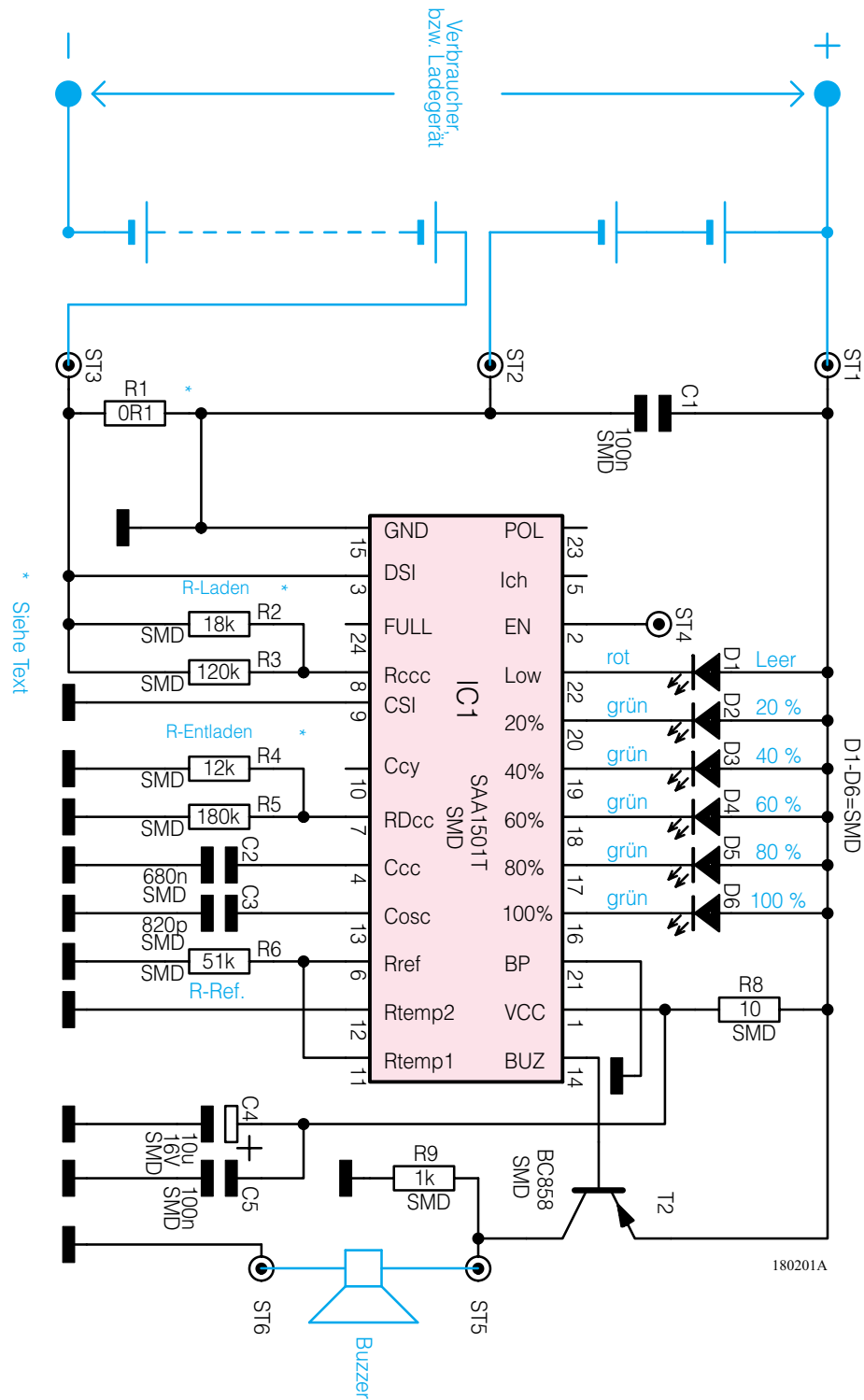


Bild 3: Schaltbild des Akku-Monitors AM 2

0,05 C und 5 C realisierbar. Die minimal mögliche Lade-/Entladezeit beträgt somit 12 Minuten.

Durch Verändern der Oszillatorfrequenz sind zwar andere Laderaten realisierbar, jedoch verändert sich dann das gesamte Timing und somit auch die Selbstentladungsrate. Durch eine externe Schaltung muss der Oszillator dann im Stand-by-Mode auf ca. 4 kHz umgeschaltet werden.

Die Erfassung der Lade-/Entladeströme wird mit Hilfe eines Shunts (R 1) im Minuszweig vorgenommen. Bei der Berech-

nung der Ladungsbilanz werden lade- und entladestrom-proportionale Spannungsabfälle am Shunt zwischen 4 mV und 400 mV berücksichtigt. Für eine hohe Genauigkeit ist ein Spannungsabfall von 100 mV oder mehr zu empfehlen. Ein kleines Beispiel soll nun für die Berechnung der externen Komponenten dienen.

Wir gehen in unserem Beispiel davon aus, dass der Akku eine Nennkapazität von 1500 mAh aufweist. Der Ladestrom ist nicht stabilisiert und schwankt in unserem Beispiel zwischen 1 A und 2 A. Die Strom-

aufnahme der angeschlossenen Last kann in unserem Beispiel zwischen 100 mA und 3 A schwanken.

Der Maximalwert des Shunt-Widerstandes R 1 ergibt sich nun einfach nach dem Ohmschen-Gesetz bei maximalem Strom (3 A) und beim maximal zulässigen Spannungsabfall am Shunt.

$$R_{1\max} = \frac{U_{R1\max}}{I_{\text{last}}} = \frac{400 \text{ mV}}{3 \text{ A}} = 133,3 \text{ m}\Omega$$

Wir wollen unterhalb des zulässigen Grenzwertes bleiben und wählen somit einen Widerstand von 100 mΩ.

Die maximale Verlustleistung am Shunt beträgt bei 300 mV Spannungsabfall 0,9 W, so dass ein 1 Watt-Typ einzusetzen ist.

Da der minimal zu erfassende Strom in unserem Beispiel 100 mA beträgt, errechnet sich der Spannungsabfall am Shunt bei der geringsten Last einfach nach der Formel:

$$U_{R1\min} = R_1 \cdot I_{\min} = 0,1 \Omega \cdot 100 \text{ mA} = 10 \text{ mV.}$$

Auch da liegen wir mit dem gewählten Shunt-Widerstand von 100 mΩ noch gut im zulässigen Bereich.

Für größere Lastströme ist der Wert des Shunt-Widerstandes entsprechend zu verringern. Unsere Schaltung ist nun so ausgelegt, das anstatt eines bedrahteten Widerstandes auch ein Manganin-Widerstandsdrath einzusetzen ist. So ist für einen Shunt-Widerstand von z. B. 50 mΩ ca. 33 mm Manganindrath mit 1,531 Ω/m erforderlich. Nun betrachten wir die an Pin 6 zur Verfügung stehende Referenzspannung von 207 mV, die für eine hohe Genauigkeit an einem Widerstand einen Referenzstrom zwischen 3,5 µA und 8 µA hervorrufen soll. Mit 51 kΩ in unserer Schaltung stellt sich dann ein Strom von 4 µA ein.

Wie zuvor erwähnt, sind mit der nominalen Oszillatorfrequenz Laderaten von 0,05 C bis 5 C realisierbar. Die Lade-/Entladeraten in unserem Beispiel betragen somit bei 1,5 Ah Nennkapazität und Ladeströme von 1 A bis 2 A dem zufolge 0,667 C bis 1,33 C und bei Entladeströmen von 100 mA bis 3 A sind Entladeraten von 0,0667 C bis 2 C zu berücksichtigen. Da alle Minimal-/Maximalwerte im erlaubten Bereich liegen, kann mit der nominalen Oszillatorfrequenz (4,3 kHz) gearbeitet werden.

Im Anschluss hieran sind der Ladestrom-Konvertierungswiderstand an Pin 8 und der Entladestrom-Konvertierungswiderstand an Pin 7 zu berechnen. Um mit Standard-Widerständen aus der Normreihe nahezu jeden beliebigen Widerstandswert realisieren zu können, ist hier im Bedarfsfall jeweils die Parallelschaltung von zwei Widerständen vorzunehmen (R 2, R 3 und R 4, R 5). Die Parallelschaltung aus R 2 und R 3 nennen wir im weiteren Verlauf dieses Artikels R_{Lade} und die Parallelschaltung aus

R 4 und R 5 demzufolge $R_{Entlade}$. Der Strom durch diese Widerstände darf bei 4,3 kHz Oszillatorfrequenz zwischen 0,6 μ A und 60 μ A liegen. Um die Berechnung möglichst einfach zu gestalten, gelten die nachfolgenden Formeln ausschließlich für diese Oszillatorfrequenz (4,3 kHz).

Die Lade- bzw. Entladeeffektivität ist natürlich stark vom verwendeten Akkutyp abhängig, wobei grundsätzlich keine Ladeeffektivität von 100 % erreicht werden kann. In unserem Berechnungsbeispiel gehen wir nun von 80 % Ladeeffektivität aus, d. h., dem Akku muss zur Vollladung eine Energie zugeführt werden, die 125 % der Nennkapazität entspricht. Die Entladeeffektivität soll 95 % betragen, was bedeutet, dass die aus dem Akku entnehmbare Energie 95 % der Nennkapazität entspricht. Unter Berücksichtigung dieser Gegebenheiten sieht die Berechnung der entsprechenden Widerstände dann folgendermaßen aus:

$$R_{Lade} = \frac{\text{Nennkapazität} \cdot R_{shunt}}{12 \cdot 10^{-6} \text{ Ah} \cdot \text{Ladeeffektivität}}$$

$$= \frac{1,5 \text{ Ah} \cdot 0,1 \Omega}{12 \cdot 10^{-6} \text{ Ah} \cdot 0,8} = 15,63 \text{ k}\Omega$$

$$R_{Entlade} = \frac{\text{Nennkapazität} \cdot R_{shunt} \cdot \text{Entladeeffektivität}}{12 \cdot 10^{-6} \text{ Ah}}$$

$$= \frac{1,5 \text{ Ah} \cdot 0,1 \Omega \cdot 0,95}{12 \cdot 10^{-6} \text{ Ah}} = 11,25 \text{ k}\Omega$$

Der Oszillator ist an Pin 13 mit einem Kondensator zu beschalten, dessen Wert sich nach folgender Formel errechnet:

$$C_o = \frac{1}{5,6 \cdot R_{ref} \cdot f_{osz.}} = \frac{1}{5,6 \cdot 51 \text{ k}\Omega \cdot 4,3 \text{ kHz}}$$

$$= 812 \text{ pF}$$

Um einen Normwert einsetzen zu können, wählen wir einen Wert von 820 pF.

Wie bereits zuvor beschrieben ist mit Hilfe der beiden Eingänge R_{Temp1} (Pin 11) und R_{Temp2} (Pin 12) die Selbstentladungsrate in 3 Stufen (200 Tage, 100 Tage und 33 Tage) veränderbar. Die Selbstentladungsrate ist jedoch stark vom verwendeten Akkutyp abhängig und somit schwer zu bestimmen. Im Allgemeinen muss für eine Selbstentladungsrate von 100 Tagen bereits eine Akku-Umgebungstemperatur von ca. 35° C herrschen und bei einer Selbstentladung in



33 Tagen ist eine ständige Umgebungstemperatur von ca. 45° C erforderlich. Da in der Praxis diese Umgebungsbedingungen im Stand-by-Betrieb wohl eher selten auftreten, haben wir in unserer Applikation auf die Nutzung der beiden Temperatur-Eingänge verzichtet. Hinzu kommt, dass für die Nutzung der Eingänge eine aufwendige Berechnung des Sensors und der externen Widerstände erforderlich ist.

Die zur Anzeige dienenden Leuchtdioden D 1 bis D 6 sind jeweils mit den Anoden an der positiven Betriebsspannung und mit den Katoden direkt an Pin 16 bis Pin 20 sowie Pin 22 des SAA 1501 angeschlossen.

Über R 8 erhält der Baustein seine Betriebsspannung, wobei C 4 und C 5 zur Stabilisierung und Störunterdrückung dienen.

An die Platinenanschlusspunkte ST 5 und ST 6 ist optional ein akustischer Signalgeber anschließbar, der bei Unterschreiten von 10 % Rest-Energieinhalt mit jedem Ein- und Ausschalten des Verbrauchers ein Warnsignal abgibt. Die Transistorstufe T 2 dient dabei als Treiber.

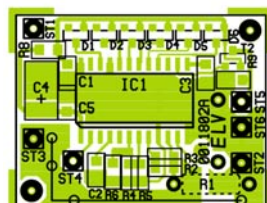
Nachbau

Trotz SMD-Technologie und den geringen Abmessungen von 32 mm x 26 mm ist der Aufbau nicht schwierig. Bei etwas Praxis im Aufbau elektronischer Schaltungen sind die Bestückungsarbeiten in ca. 1/2 Stunde zu bewerkstelligen.

Für das Arbeiten mit SMD-Bauelementen ist unbedingt ein LötKolben mit sehr feiner Lötspitze erforderlich, der im unregelmäßigen Fall 16 W nicht überschreiten sollte. Des Weiteren wird dünnes SMD-Lötzinns und eine SMD-Pinzette zum Fassen der Miniatur-Bauelemente benötigt.

Anstatt dünnen SMD-Lötzinns kann auch eine SMD-Lötpaste verwendet werden, die mit einer Dosierspritze besonders gut dosierbar an die entsprechenden Lötstellen gebracht werden kann.

Beim Bestücken der wenigen Bauelemente halten wir uns genau an die Stückliste und den Bestückungsplan. Entgegen der sonst üblichen Vorgehensweise ist zuerst der integrierte Schaltkreis aufzulöten. Dazu wird ein LötPad, vorzugsweise an einer Gehäuseecke, vorverzinnt, dann das IC mit der Pinzette polaritätsrichtig positioniert und am vorverzinnten LötPad an-



Ansicht der fertig bestückten Platine mit zugehörigem Bestückungsplan

Stückliste: Akku-Monitor AM 2

Widerstände:

0,1 Ω /1W/1%	R1
10 Ω /SMD	R8
1k Ω /SMD	R9
12k Ω /SMD	R4
18k Ω /SMD	R2
51k Ω /SMD	R6
120k Ω /SMD	R3
180k Ω /SMD	R5

Kondensatoren:

820pF/SMD	C3
100nF/SMD	C1, C5
680nF/SMD	C2
10 μ F/16V/SMD	C4

Halbleiter:

SAA1501T/SMD	IC1
BC858/SMD	T2
LED, grün, SMD	D2-D6
LED, rot, SMD	D1

Sonstiges:

20 cm Schalllitze, 0,22 mm ² , rot
20 cm Schalllitze, 0,22 mm ² , schwarz

gelötet. Das weitere Verlöten des ICs erfolgt dann, wenn alle Pins exakt auf den zugehörigen LötPads aufliegen. Danach wird in der gleichen Weise der Transistor T 2 aufgelötet.

Beim Auflöten der SMD-Leuchtdioden ist zu beachten, dass D 1 rot (Akku leer) und D 2 bis D 6 grün sind.

Vorsicht ist bei den SMD-Kondensatoren geboten. Diese Bauteile sind nicht durch einen Aufdruck gekennzeichnet. Sobald die Teile aus der Verpackung entnommen werden, besteht daher eine hohe Verwechslungsgefahr.

Als dann ist der Elko C 4 aufzulöten. Während bedrahtete Elkos üblicherweise am Minuspol gekennzeichnet sind, ist bei SMD-Elkos der Pluspol durch einen Strich markiert.

An Bauelementen bleibt jetzt nur noch der Shunt-Widerstand zu bestücken. Je nach Anwendung der Schaltung ist hier ein bedrahteter Widerstand oder ein Manganin-Widerstandsdraht in entsprechender Länge einzulöten, der jedoch keine anderen Bauteile berühren darf.

Nun bleibt nur noch der Anschluss des Akku-Monitors an den zu überwachenden Akkupack. Beim ersten Anlegen der Betriebsspannung geht die Schaltung von einem vollständig entladenen Akkupack aus, so dass zuvor unbedingt eine Entladung durchzuführen ist. Danach steht dem Einsatz des Akku-Monitors nichts mehr entgegen, der jedoch ständig mit dem Akkupack verbunden bleiben muss. 