

# Komplettes Management für Akkus auf Lithium-Ionen Basis

Stefan Baurle  
Tekelec Airtronic GmbH  
Kapuzinerstrasse 9  
D-80337 München  
Tel. (0 89) 51 64-0, Fax ( 0 89) 51 64-110

## Einführung

Durch den stark wachsenden Markt für tragbare Geräte, wie z.B. Camcorder, Notebooks oder Mobiltelefone, entwickelt sich auch die Technik der wiederaufladbaren Batterien ständig weiter. Dabei spielen sich die Lithium-Ionen-Akkus (Li-Ion) immer mehr in der Vordergrund. Die Gründe dafür sind leicht verständlich: Mit einer Energiedichte von 80-100 W/kg sind Li-Ion-Akkus den bisher üblichen NiCd- bzw. NiMH-Zellen, welche Energiedichten von rund 50 W/kg bzw. 60 W/kg aufweisen, deutlich überlegen. Damit ist es möglich, bei den für tragbare Anwendungen so wichtigen Punkten Gewicht und Größe, Fortschritte zu erzielen. Zudem haben Li-Ion-Zellen eine wesentlich kleinere Selbstentladung und sind umweltfreundlicher als auf Nickel basierende Akkus.

Benchmarq Microelectronics ist mit der Vorstellung der neuen bq205x-Familie dieser Entwicklung gerecht geworden. Diese Familie baut dabei auf das bestehende Konzept der bereits in großer Zahl von Benchmarq erhältlichen ICs für das Management anderer Akkutechnologien auf. Sie besteht aus drei Bausteinen mit folgender Aufgabenteilung: Für die Messung und Anzeige der jeweiligen Kapazität eines Li-Ion-Akkupakets ist der bq2050 zuständig. Zum Überwachen und zum Schutz im Fehlerfall dient das Supervisor-IC bq2053. Der bq2054 ist ein Laderegler-IC, das im Gegensatz zu den bisher verfügbaren Bausteinen von Benchmarq, ausschließlich für die sichere Schnellladung von Li-Ion-Akkus entwickelt worden ist.

## Überwachen und schützen

Li-Ion-Zellen reagieren sehr empfindlich auf zu hohe bzw. zu niedrige Zellenspannungen. Das Supervisor-IC bq2053 überwacht deshalb die Spannung während einer Ladung bzw. einer Entladung von zwei bis vier in Reihe liegenden Zellen und schützt diese zusätzlich sicher vor einem Kurzschluß. Zu diesem Zweck vergleicht der bq2053 ständig die Spannung jeder Zelle mit internen Schwellen, die abhängig sind von der jeweiligen Anwendung und durch Benchmarq programmiert werden, und trennt das Akkupaket im Fehlerfall mittels zweier externer N-FETs von der Last bzw. der Ladeinheit ab. **Bild 1** zeigt eine typische Applikation mit dem bq2053.

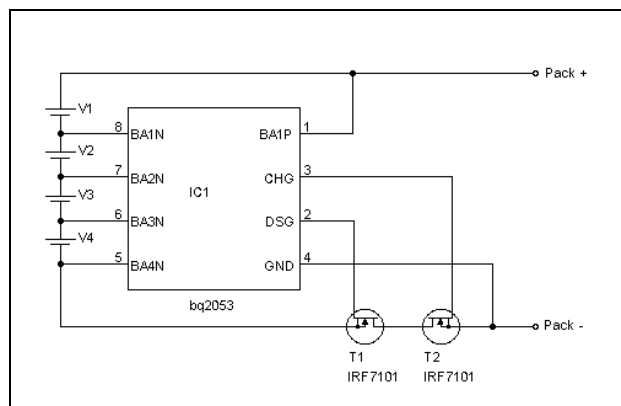


Bild 1: Überwachungsschaltung für vier Li-Ion-Zellen

Durch die Eingänge BA1P und BA1N bis BA4N werden die jeweiligen Zellenspannungen durch den bq2053 überwacht. Eine Ladung des Akkupakets ist nur erlaubt, wenn die Zellenspannung unter der internen Schwelle  $V_{ce}=4.15V$  (charge enable voltage) liegt. Steigt während der Ladung auch nur eine Zellenspannung über die Schwelle  $V_{ov}=4.25V$  (overvoltage limit), schaltet der CHG-Ausgang den MOSFET T2 ab und unterbricht somit die Ladung. Eine Überladung einer der Zellen wird damit wirksam verhindert. Liegen die einzelnen Zellenspannungen über der Schwelle  $V_{uv}=2.3V$

Der bq2053 hat einen maximalen Stromverbrauch von  $1\mu\text{A}$  im Standby und von  $15\mu\text{A}$  im Normalbetrieb und ist im 8-poligen DIP- oder SOIC-Gehäuse verfügbar. Er eignet sich daher sehr gut für die direkte Integration im Akkupaket.

Zum exakten Feststellen der noch verfügbaren Kapazität dient das Power Gauge™ IC bq2050. Mittels einem mit dem Akku in Reihe liegenden Widerstand wird eine dem Strom proportionale Spannung gemessen, um Lade- bzw. Entladeaktivitäten zu erkennen. Je nach Polarität dieser Spannung, wird vom bq2050 die zugeführte bzw. entnommene Kapazität ermittelt und interne Zähler entsprechend geändert. Zusätzlich kann der bq2050 optional dazu veranlaßt werden, die Selbstentladung des Akkupaketes während Ruhezeiten zu berücksichtigen. Um die Genauigkeit weiter zu steigern, gehen in die Berechnung der Kapazitätsänderung auch Korrekturfaktoren ein, die die jeweilige Temperatur der Li-Ion-Zellen sowie die Höhe des Entladestromes berücksichtigen. Beim Anodenmaterial der Zellen, kann zwischen Ruß und Graphit gewählt werden.

Der bq2050 speichert alle Daten in Registern, die über die serielle Schnittstelle zur Weiterverarbeitung ausgelesen werden können. Während der Initialisierung des bq2050 wird im Register PFC (programmed full count) die Nominalkapazität des Akkupacks abgelegt. Dazu werden in einem speziellen Programmierzyklus beim Anlegen der Versorgungsspannung die LED-Ausgänge als Tristate-Eingänge verwendet. Das Register NAC (nominal available capacity) enthält die noch verfügbare Kapazität, welches sich beim Laden erhöht und bei einer Ent- bzw. Selbstentladung erniedrigt. Das Register DCR (discharge count register) wird während einer Entladung unabhängig vom NAC erhöht und zählt auch dann weiter, wenn NAC bereits 0 erreicht hat. Dieses Register dient als Update für das Register LMD (last measured discharge) falls zwischen einer Vollladung und einer kompletten Entladung keine Zwischenladung stattgefunden hat. Es wird also die reelle Kapazität des jeweiligen Akkupacks gelernt, welche durchaus von der Nominalkapazität abweichen kann. Beim Initialisieren des bq2050 wird LMD mit PFC gleichgesetzt. In den Registern SAE (scaled available

energy) und CAC (compensated available capacity) steht, wieviel verfügbare Energie bzw. Kapazität unter Berücksichtigung der Temperatur und der Höhe der Entladeströme noch vorhanden ist.

In **Bild 2** ist eine typische Schaltung zur Bestimmung der Akkukapazität dargestellt. In diesem Beispiel ist der bq2050 über die Eingänge S/P1..5 und den Pullup- bzw. Pulldown-Widerständen R4 und R5 für zwei Li-Ion-Zellen mit einer Rußanode und einer nominellen Kapazität von 1000mAh konfiguriert worden. Die Angabe des Anodenmaterials bestimmt die Korrekturfaktoren für die Kompensation der Selbstentladung und der Temperatur [2]. R12 wandelt die Ströme durch den Akkupack in eine Spannung um, welche am SR-Eingang erfaßt und ausgewertet wird.

Über den Spannungsteiler R10 und R11 wird die Spannung einer einzelnen Zelle im Akkupaket erfaßt. Unterschreitet diese Spannung die Schwelle EDV1=3.04V (first end-of-discharge warning) wird ein entsprechendes Flag gesetzt, welches anzeigt, daß der Akku ziemlich leer ist. Sinkt diese Spannung nun weiter unter die Schwelle EDVF=2.94V (final end-of-discharge-voltage warning), wird ein weiteres Flag zur Anzeige des Fehlerfalles gesetzt. Natürlich hängen diese Werte von den eingesetzten Li-Ion-Zellen ab und können deshalb auch verändert werden. Da Li-Ion-Akkus größere Innenwiderstände als z.B. NiCd-Zellen aufweisen, spielt auch die Höhe der Entladeströme für die Abnahme der verfügbaren Kapazität und der Zellenspannung eine Rolle und ist entsprechend zu berücksichtigen [3].

Zur Anzeige der verfügbaren Kapazität dienen Low-Power-LEDs, welche nach Betätigen von S1 die Restkapazität anzeigen. Jede LED entspricht 20% vom Register LMD. Das Zeitglied R8 und C3 legt die Dauer der Anzeige fest. Zusätzlich können die Registerinhalte über das serielle Interface ausgelesen werden. Der Referenz Ausgang des bq2054, zusammen mit T1 und R9 bildet einen preiswerten Spannungsregler, um die direkte Versorgung vom Akkupaket unabhängig von der Zellenzahl zu ermöglichen.

### Sicher und schnell laden

Der Ladealgorithmus für Li-Ion-Akkus ist im Vergleich zu NiCd- oder NiMH-Zellen weniger aufwendig. Es müssen keine Umkehrpunkte der Ladekurve, Spannungsdifferenzen oder Temperaturgradienten erfaßt und ausgewertet werden. **Bild 3** zeigt den Verlauf von Ladespannung- und -strom bei der Ladung eines Li-Ion-Akkus.

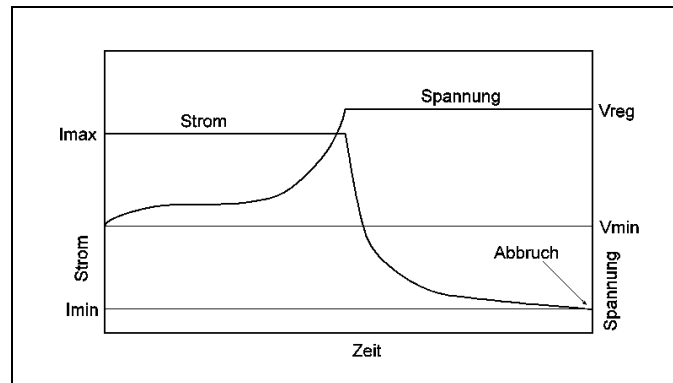


Bild 3: Ladeprofil einer Li-Ion-Ladung

Die Schnellladung beginnt mit einem konstanten Strom, der üblicherweise dem Einstundenladestrom entspricht [3]. Sobald die Zellenspannung den Wert  $V_{reg}$  erreicht, wird auf Konstantspannung umgestellt und der Ladestrom sinkt exponentiell ab. Wird die Spannung auf kleiner 1% Abweichung ausgeglichen, kann keine Überladung der Zellen auftreten. Der Wert für  $V_{reg}$  ist abhängig vom verwendeten Anodenmaterial und liegt bei typisch 4.2V [3]. Als Abbruchkriterium kann das Erreichen eines bestimmten Bruchteiles des Startstromes, z.B.  $1/30 I_{max}$  [3], verwendet werden.

Der bq2054 verfährt exakt nach dem oben beschriebenen Ladeverfahren: Liegt zu Beginn eines Ladezyklus die Zellenspannung unterhalb  $V_{min}$ , wird das Akkupaket für rund 16% der maximalen Ladezeit mit 20% des maximalen Ladestromes beaufschlagt, um ihn für die Schnellladung vorzubereiten. Gleichzeitig kann optional über einen Temperaturwiderstand die Temperatur der einzelnen Zellen erfaßt werden. Liegt diese nicht in einem vorgeschriebenen Fenster, wird die Schnellladung solange unterbrochen, bis die Temperatur wieder die zulässigen Werte erreicht hat.

Hat die Zellenspannung den Wert  $V_{min}$ , erreicht wird der Akku mit einem konstanten Strom  $I_{max}$  geladen, bis die Zelle die maximal zulässige Spannung  $V_{reg}$  erreicht hat. Zu diesem Zeitpunkt sind bis zu 70% der Nennkapazität wieder zugeführt worden. Nach Erreichen dieser Schwelle schaltet der bq2054 auf Konstantspannungsladung um. Die Regelabweichung beträgt dabei weniger als die geforderten 1%. Als Abbruchkriterium kann entweder 1/10, 1/20 oder 1/30 des maximalen Ladestromes programmiert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, eine maximale Ladezeit, die zwischen einer und 24 Stunden liegen kann, mittels einem RC-Netzwerk einzustellen.

Der bq2054 eignet sich sowohl für eine lineare als auch für eine getaktete Stromregelung. Sind hohe Wirkungsgrade gefragt, ist natürlich die getaktete Regelung vorzuziehen. Zu diesen Zweck stellt der bq2054 einen PWM-Ausgang zur Verfügung, dessen Schaltfrequenz über einen externen Kondensator eingestellt werden kann.

Eine Ladeschaltung für zwei Li-Ion-Zellen mit einer Kapazität von 1000mAh ist in **Bild 4** dargestellt. Die Schaltung arbeitet als Abwärtsregler mit einer Versorgungsspannung von 12V. Dabei bilden der P-Kanal-MOSFET T1 zusammen mit der Treiberschaltung bestehend aus T2 und T3 sowie D5 und L1 die Schaltstufe, die durch den MOD-Ausgang so angesteuert wird, daß sich am SNS-Eingang eine Spannung von 0.275V während der Ladung mit Konstantstrom einstellt. Als maximaler Ladestrom  $I_{max}$  ergibt sich durch R14 der Einstundenladestrom von 1A.

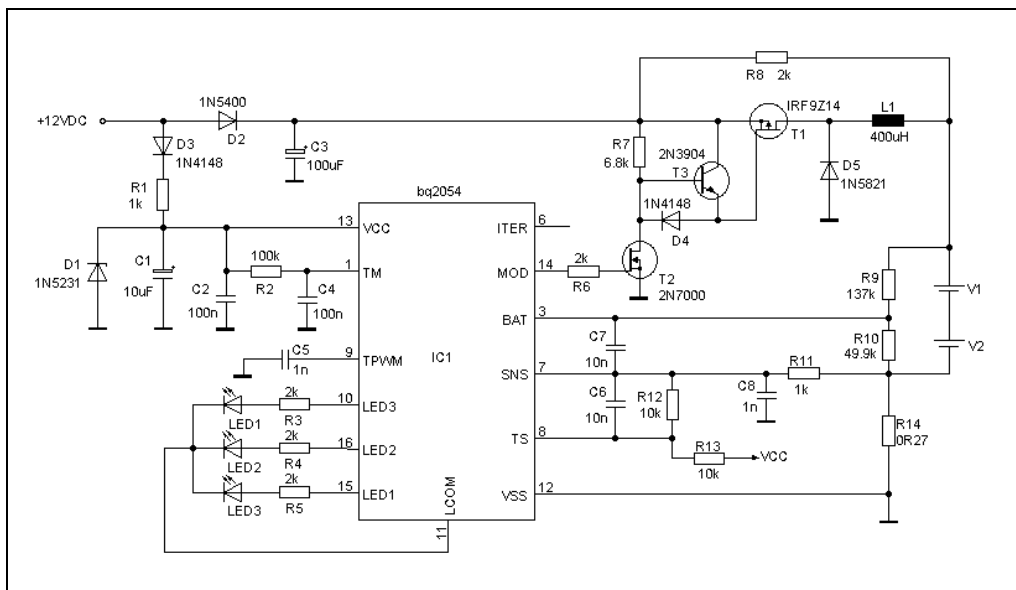


Bild 4: Ladeschaltung für Li-Ion-Akkus

Über den Spannungsteiler wird die einzelne Zellenspannung vom BAT-Eingang überwacht. Liegt diese zu Beginn einer Ladung unter 2V, wird der Akku zuerst mit einem Strom von 200mA beaufschlagt, bis die Grenze  $V_{min}$  erreicht ist. Danach beginnt die Ladung mit einem Strom von 1A. Als maximale Zellenspannung wurde mit 4.125V der geeignete Wert für Li-Ion-Zellen mit Graphitanode gewählt [3]. Beendet wird die Ladung entweder durch die maximale Ladezeit, welche durch R2 und C4 auf fünf Stunden festgelegt ist, oder aber durch das Absinken des Ladestromes auf 1/30 des maximalen Ladestromes. Dies entspricht in etwa 33mA.

Die Leuchtdioden informieren während des gesamten Ladevorganges über momentane Aktivitäten, wie z.B. fehlender Akku, Vorbereitung zur Schnellladung, Ladung mit Konstantstrom oder -spannung durch Kombinationen von Ein, Aus und Blinken. Der Widerstand R8 sorgt dafür, daß beim Entfernen des Akkupacks die zulässige Zellenspannung am BAT-Eingang überschritten wird und der bq2054 einen Akkuwechsel erkennt.

## **Literatur**

- [1] Benchmarq 1995 Databook
- [2] Benchmarq 1995 Mid-Year Supplement
- [3] „Charge and Capacity Monitoring for Advanced Rechargeable Chemistries“, Applications Staff, Benchmarq Microelectronics Inc., 1995
- [4] „Using NiMH and Li-Ion Batteries in Portable Applications“, Benchmarq Microelectronics, 1995