



# NC/NiMH-Akku-Monitor für 4 bis 10 Zellen NAM10

*Diese Miniaturschaltung (Abmessungen 32 x 27 mm) zeigt den Energieinhalt von vier- bis zehnzelligen Akku-Packs mit fünf Leuchtdioden an und berücksichtigt dabei auch die Selbstentladung und die Umgebungstemperatur.*

## Allgemeines

Die noch verfügbare Ladung eines NC/NiMH-Akkus ist schwer kalkulierbar, da viele Faktoren einen wesentlichen Einfluss haben und der Ladungsinhalt nicht wie bei Lithium-Akkus proportional zur Zellenspannung ist.

Wird die Energie in mehreren Phasen entnommen oder der Akku zwischen den Entnahmephase sogar gelagert, ist der noch zur Verfügung stehende Energieinhalt und somit die noch verbleibende Nutzungsdauer nicht mehr abzuschätzen.

In der Praxis bedeutet das, dass der Energieinhalt von Akku-Packs, die nicht direkt vor der Nutzung geladen wurden, weitestgehend unbekannt ist. Die meisten Akku-Packs werden daher viel häufiger geladen, als normalerweise notwendig. Da bei NC-Akkus dadurch der gefürchtete Memory-Effekt gefördert wird, erfolgt oft noch zusätzlich eine Vorentladung bis zur Entladeschluss-Spannung. Dadurch wird dann eine erhebliche Menge an Restenergie

einfach ungenutzt in Abwärme umgesetzt. Diese Vorgehensweise verschwendet unnötig Energie und kostet viel Zeit.

Die hier vorgestellte kleine Schaltung arbeitet nach dem Ladungsbilanz-Verfahren mit einem hochintegrierten Baustein, der auf einfache Weise mit Hilfe von Widerständen programmiert und konfiguriert werden kann. Die Anpassung an unterschiedliche Akku-Packs von 4 bis 10 Zellen ist somit recht einfach möglich.

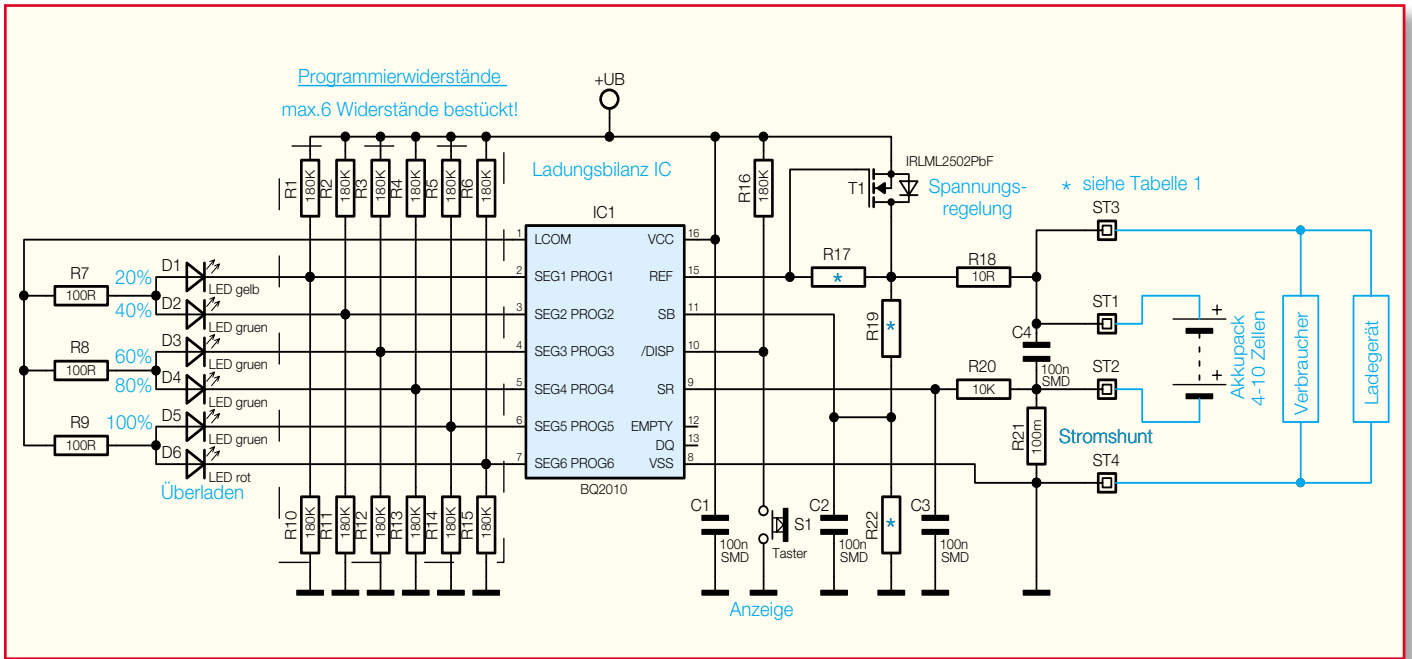
Damit der zur Verfügung stehende Energieinhalt des Akku-Packs in 20%-Schritten mit fünf Leuchtdioden angezeigt werden kann, muss die Schaltung ständig mit dem zu überwachenden Akku-Pack verbunden bleiben. Die Ladungsbilanz erstellt der Baustein aus den zu- und abfließenden Strömen, wobei die Ströme in einem weiten Bereich (500:1) variieren dürfen.

Die Erfassung erfolgt dabei über einen niederohmigen Shuntwiderstand, an dem dann zum Stromfluss proportionale Spannungsabfälle entstehen. Das Funktionsprinzip des Ladungsbilanzbausteins beruht darauf, dass proportional zum Ladestrom

ein Zähler hoch zählt und beim Entladen proportional zum Entladestrom wieder herunter zählt.

Ein chipinterner Temperatursensor ermittelt die Umgebungstemperatur, um die von der Akku-Temperatur abhängige Selbstentladung zu berücksichtigen. Wahlweise kann eine absolute oder eine relative Kapazitätsanzeige erfolgen. Im Absolut-Mode ist die Anzeige immer ein proportionaler Wert zur programmierten Nennkapazität des angeschlossenen Akku-Packs. Bei Alterung des Akkus oder Kapazitätsverlusten aus anderen Gründen wird die 100%-Anzeige dann nicht mehr erreicht.

Im Relativ-Mode wird hingegen die bei der letzten Entladung vom Vollzustand bis zur Entladeschluss-Spannung ermittelte Kapazität als 100%-Wert genommen. Das System ist in diesem Mode „selbstlernend“, da die 100%-Anzeige abhängig ist von der noch speicherbaren Energiemenge des Akku-Packs. Der Nachteil in diesem Betriebsmode ist allerdings, dass Kapazitätsverluste durch Alterung oder Teildefekte nicht erkennbar sind.



**Bild 1: Schaltbild des NC/NiMH-Akku-Monitors**

In beiden Betriebsmoden ist die Grundvoraussetzung für die Erstellung der Energiebilanz, dass die Schaltung ständig mit dem zu überwachenden Akku-Pack verbunden bleibt. Da die Stromaufnahme der Schaltung unter 0,2 mA liegt, führt dies zu keiner nennenswerten Entladung des Akku-Packs.

Die Anzeige des aktuellen Energieinhalts erfolgt, wie bereits erwähnt, mit Hilfe von 5 Leuchtdioden in Form einer Balkenanzeige. Während die 4 grünen LEDs immer proportional zum Energieinhalt dauerhaft leuchten, beginnt die untere gelbe LED zu blinken, wenn die Entladespannung den Wert von 1,05 V je Zelle unterschreitet („first empty warning“). Sobald die Akku-Spannung 0,9 V je Zelle unterschreitet, gilt der Akku als vollständig entladen und die LED-Anzeige erlischt.

Eine zusätzliche rote LED ist ausschließlich im Absolut-Mode aktiv und dient zur Überladungsanzeige. Im Relativ-Mode ist diese LED dauerhaft deaktiviert.

Die Anzeige des Ladungsinhalts kann je nach Konfiguration auf Tastendruck erfolgen oder während der Ladung und

Entladung automatisch, sobald am Stromshunt ein Spannungsabfall von mehr als 4 mV entsteht.

### Schaltung

Die mit dem hochintegrierten Ladungsbilanz-IC BQ2010 realisierte Schaltung ist in Abbildung 1 dargestellt, wobei die geringe externe Beschaltung und die Dimensionierung wesentlich vom individuellen Einzelfall abhängig sind und entsprechend der nachfolgenden Beschreibung angepasst werden müssen

Der Akku-Pack, der aus 4 bis 10 in Reihe geschalteten Einzelzellen bestehen darf, wird mit dem Pluspol an ST 1 und dem

Minuspol an ST 2 angeschlossen. Über den Shuntwiderstand R 21 ist der Akku-Pack dann direkt mit dem Verbraucher oder dem Ladegerät verbunden. Am Shunt sind maximal 250 mV Spannungsabfall zulässig, so dass bei unserer Dimensionierung der maximal zulässige Lade-/Entladestrom 2,5 A beträgt. Über den mit R 20, C 3 aufgebauten Tiefpass wird der stromproportionale Spannungsabfall des Shunts Pin 9 (SR) des BQ2010 zugeführt.

Zur Spannungsversorgung benötigt IC 1 eine Spannung zwischen 3 V und 6,5 V, die direkt über den Schutzwiderstand R 18 vom zu überwachenden Akku-Pack geliefert wird. T 1, R 17 übernehmen dann in Verbindung mit der Referenzspannung

**Tabelle 2: Anzeigemode**

DISP	LED-Anzeige
H	deaktiviert
offen	aktiviert beim Laden und Entladen, wenn Spannungsabfall am Shunt >4 mV
L	aktiviert

**Tabelle 1: Zellenzahl des Akku-Packs**

Zellenzahl	R 17	R 19	R 22
4	47 k	100 k	33 k
5	150 k	100 k	27 k
6	330 k	120 k	24 k
7	470 k	200 k	33 k
8	560 k	150 k	22 k
9	680 k	220 k	27 k
10	820 k	220 k	24 k

**Tabelle 3: Kapazitätsanzeige**

PROG 6	Kapazität
H	absolute Kapazitätsanzeige NVK = PVZ bei Reset
offen	absolute Kapazitätsanzeige NVK = 0 bei Reset
L	relative Kapazitätsanzeige NVK = 0 bei Reset

NVK = nominal verfügbare Kapazität  
PVZ = programmierter Voll-Zähler

**Tabelle 4: Programmierter Voll-Zähler (PVZ)**

PVZ	PROG 1	PROG 2	PROG 4 = L			PROG 4 = offen			Einheit
			PROG 3 = H	PROG 3 = offen	PROG 3 = L	PROG 3 = H	PROG 3 = offen	PROG 3 = L	
–	–	–	Teiler = 1/80	Teiler = 1/160	Teiler = 1/320	Teiler = 1/640	Teiler = 1/1280	Teiler = 1/2560	mVh/ count
49152	H	H	614	307	154,0	76,8	38,4	19,2	mVh
45056	H	offen	563	282	141,0	70,4	35,2	17,6	mVh
40960	H	L	512	256	128,0	64,0	32,0	16,0	mVh
36864	offen	H	461	230	115,0	57,6	28,8	14,4	mVh
33792	offen	offen	422	211	106,0	53,0	26,4	13,2	mVh
30720	offen	L	384	192	96,0	48,0	24,0	12,0	mVh
27648	L	H	346	173	86,4	43,2	21,6	10,8	mVh
25600	L	offen	320	160	80,0	40,0	20,0	10,0	mVh
22528	L	L	282	141	70,4	35,2	17,6	8,8	mVh
Spannungsabfall am Shunt für 2 Zählschritte/Sek.			90	45	22,5	11,25	5,6	2,8	mV

an Pin 15 die Spannungsbegrenzung auf zulässige Werte. Die Dimensionierung des Widerstandes R 17 ist dabei abhängig von der Zellenzahl des angeschlossenen Akku-Packs und entsprechend Tabelle 1 auszuwählen.

Für die Spannungsüberwachung insbesondere der Entladeschluss-Spannung, wird die Akku-Spannung mit dem Spannungsteiler R 19, R 22 auf einen Wert heruntergeteilt, der der Spannung einer Zelle des Akku-Packs entspricht. Bei korrekter Dimensionierung beginnt die unterste LED bei 1,05 V je Zelle zu blinken. Sobald die Spannung unter 0,95 V je Zelle abfällt, wird der Akku als leer erkannt und alle LEDs werden deaktiviert. Die korrekte Dimensionierung für Akku-Packs mit 4 bis 10 Zellen ist ebenfalls Tabelle 1 zu entnehmen.

Mit dem Widerstand R 16 an Pin 10 kann der Anzeigemodus des BQ2010 programmiert werden. Solange der Widerstand R 16 bestückt ist, leuchten die Anzeige-LEDs entsprechend Tabelle 2 ausschließlich wenn die Taste S 1 gedrückt wird. In diesem Fall erfolgt weder beim Laden noch beim Entladen eine automatische Lade-Zustandsanzeige. Ohne R 16 hingegen werden die Anzeige-LEDs automatisch aktiviert, wenn beim Laden oder Entladen am Shunt ein Spannungsabfall von mehr

als 4 mV entsteht. In diesem Betriebsmode kann auch weiterhin mit dem Taster S 1 die Anzeige aktiviert werden, wenn kein Lade-/Entladestrom fließt.

Die IC-Anschlüsse Pin 2 bis Pin 7 des Bausteins sind mit einer Doppelfunktion belegt. Zum einen werden über diese Pins die Anzeige-LEDs angesteuert und zum anderen arbeiten die Anschlüsse direkt nach dem Anlegen der Betriebsspannung als Tristate-Eingänge zum Programmieren des Bausteins.

Je nach gewünschter Programmierung sind bei R 1 bis R 6 und R 10 bis R 15 maximal 6 Widerstände zu bestücken. Ausgewertet wird dabei, ob der Eingang

offen ist oder ein Widerstand nach Masse oder Plus  $U_B$  geschaltet ist.

Betrachten wir zuerst den Eingang PROG 6, wo mit R 6 oder R 15 entsprechend Tabelle 3 festgelegt werden kann, ob die absolute oder die relative Kapazitätsanzeige erfolgen soll. Des Weiteren kann bei der absoluten Kapazitätsanzeige bestimmt werden, ob mit dem Anlegen der Betriebsspannung (Reset) der Akku als „voll“ oder „leer“ angenommen werden soll. Ein Reset wird durchgeführt, wenn an Pin 11 (Spannung einer Zelle) die Spannung bei einer steigenden Flanke 0,25 V übersteigt oder bei einer fallenden Flanke unter 2,25 V je Zelle abfällt.

**Tabelle 6: Temperaturabhängige Selbstentladungsrate**

Temperaturbereich	PROG 5 = offen	PROG 5 = L
<10 °C	NVK/256	NVK/188
10–20 °C	NVK/128	NVK/94
20–30 °C	NVK/64	NVK/47
30–40 °C	NVK/32	NVK/23,5
40–50 °C	NVK/16	NVK/11,8
50–60 °C	NVK/8	NVK/5,88
60–70 °C	NVK/4	NVK/2,94
>70 °C	NVK/2	NVK/1,47

NVK = nominal verfügbare Kapazität

**Tabelle 5: Programmierung der Selbstentladungsrate**

PROG 5	Selbstentladung pro Tag bei 20 °C bis 30 °C
H	deaktiviert
offen	NVK/64
L	NVK/47

NVK = nominal verfügbare Kapazität

**Tabelle 7: Temperaturabhängiger Ladefaktor**

Temperatur	Erhaltung	Schnellladung
<30 °C	1,25	1,05
30–40 °C	1,33	1,11
>40 °C	1,54	1,25

**Tabelle 8:  
Temperaturabhängiger  
Entladefaktor**

Temperatur	Entladekapazität
>10 °C	100 %
0 bis 10 °C	95 %
-10 bis 0 °C	91 %
-10 bis -20 °C	87 %
-20 bis -30 °C	83 %

Mit PROG 1 bis PROG 4 an Pin 2 bis Pin 5 des Bausteins wird der Voll-Zähler programmiert (Tabelle 4). Im absoluten Displaymode entspricht der programmierte „Voll-Zählerwert“ (PVZ) immer der 100%-Referenz. Im relativen Displaymode gilt der 100%-Wert nur nach dem ersten Anlegen der Betriebsspannung oder einem Reset. Danach wird der Zählerwert durch den Wert ersetzt, der bei der letzten Entladung von „voll“ nach „leer“ gemessen wurde.

Die Programmierung des „Voll-Zählers“ entsprechend der Akku-Nennkapazität erfolgt nach folgender Formel:

$$\text{Nennkapazität (mAh) x Shuntwiderstand R 21 (Ohm) = PVZ (mVh)}$$

Die erforderliche Programmierung für PROG 1 bis PROG 4 ist dann einfach der Tabelle 4 zu entnehmen. Dazu ein einfaches Beispiel:

Beim Shuntwiderstand R 21 sind 100 mOhm fest vorgegeben, daher benötigen wir nur noch die Angabe der Akku-Nennkapazität. Wenn wir zum Beispiel von 1500 mAh ausgehen, erhalten wir:

$$1500 \text{ mAh} \times 0,1 \text{ Ohm} = 150 \text{ mVh}$$

Aus der Tabelle wird der nächste unterhalb von 150 mVh liegende Wert ausgewählt. In unserem Beispiel ist das der Wert 141 mVh. Dieser Wert ist aber in der Tabelle beim Zählerstand 22.528 und beim Zählerstand 45.056 zu finden. Für eine hohe Genauigkeit sollte dann immer der Zählerstand mit dem höchsten Wert genommen werden.

In unserem Beispiel sind somit PROG 1 bis PROG 4 folgendermaßen zu setzen:

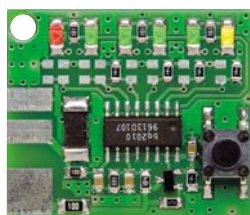
PROG 1 = H

PROG 2 = offen

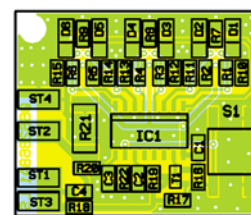
PROG 3 = L

PROG 4 = L

Nun bleibt nur noch PROG 5 zu setzen, um entsprechend Tabelle 5 die temperaturabhängige Selbstentladungsrate des Akkus zu berücksichtigen. Wird R 5 bestückt, (PROG 5 = H) erfolgt keine Berücksichtigung der Selbstentladung. Die maximal verfügbare Kapazität reduziert sich um 1/64 pro Tag, wenn weder R 5 noch R 14 bestückt sind, und um 1/47 pro Tag, wenn



**Fertig aufgebaute Platine  
(links) mit zugehörigem  
Bestückungsplan (rechts)**



R 14 bestückt ist (PROG 5 = L). Diese Angaben beziehen sich auf eine Umgebungstemperatur von 20 °C bis 30 °C.

Die Selbstentladungsrate ist bei NC- und NiMH-Akkus stark temperaturabhängig. Je 10 °C Temperaturerhöhung kann man von einer Verdopplung der Selbstentladungsrate ausgehen. Da der BQ2010 mit einem integrierten Temperatursensor ausgestattet ist, wird dies entsprechend Tabelle 6 berücksichtigt.

Des Weiteren wird beim Ladevorgang die Ladeeffektivität in Abhängigkeit von der Akku-Temperatur berücksichtigt (Tabelle 7). Unterschieden wird dabei zwischen Erhaltungsladung und Schnellladung. Als Schnellladung ist beim BQ2010 definiert, wenn die nominal verfügbare Kapazität (NVK) um mehr als zwei Zähler in der Sekunde steigt. Abhängig von der Programmierung des „Voll-Zählers“ (Tabelle 4) entspricht das einer Laderate von 0,15 C bis 0,32 C. Entsprechend der Tabelle muss bei einer Akku-Temperatur von 30 bis 40 °C bei der Schnellladung die 1,11fache Energie eingeladen werden, als später wieder entnommen werden kann.

Bei Temperaturen unter 10 °C berücksichtigt der Baustein die Verringerung der Entlade-Effektivität entsprechend Tabelle 8.

### Nachbau

Trotz SMD-Technologie ist der praktische Aufbau nicht schwierig, da nur noch die konfigurationsabhängigen Widerstände R 1 bis R 6, R 10 bis R 15, R 17, R 19 und R 22 von Hand aufzulöten sind. Alle anderen Komponenten sind bereits werkseitig bestückt.

Für die Verarbeitung der SMD-Teile ist unbedingt ein LötKolben mit sehr feiner Lötspitze, dünnes SMD-Lötzinn und eine Pinzette zum Fassen der kleinen Widerstände erforderlich.

Zuerst ist jeweils ein LötPad der Leiterplatte vorzuverzinne und dann das Bauteil mit der Pinzette exakt zu positionieren und am vorverzinnten LötPad anzulöten. Wenn das Bauteil einwandfrei auf den zugehörigen LötPads aufliegt, ist der zweite Anschluss zu verlöten.

Nach der individuellen Konfiguration mit den entsprechenden Widerständen bleibt nur noch der Anschluss der Schaltung an den zu überwachenden Akku. Um die Energiebilanz erstellen zu können, muss

die Schaltung, wie bereits erwähnt, ständig mit dem Akku verbunden bleiben.

Die Anschlussleitungen zum Akku und zum Verbraucher bzw. Ladegerät sind an die dafür vorgesehenen LötPads anzulöten. Um ein versehentliches Lösen zu verhindern, sind alle Leitungsanschlüsse zusätzlich mit einem geeigneten Klebstoff zu sichern. Letztendlich kann das kleine Modul einfach auf den zu überwachenden Akku-Pack aufgeklebt werden. **ELV**

### Stückliste: NC/NiMH-Akku-Monitor für 4 bis 10 Zellen NAM10

#### Widerstände:

0,1 Ω/1 %/SMD/2512/1 W	R21
10 Ω/SMD/0805	R18
100 Ω/SMD/0805	R7–R9
10 kΩ/SMD/0805	R20
22 kΩ/SMD/0805	R22*
24 kΩ/SMD/0805	R22*
27 kΩ/SMD/0805	R22*
33 kΩ/SMD/0805	R22*
47 kΩ/SMD/0805	R17*
100 kΩ/SMD/0805	R19*
120 kΩ/SMD/0805	R19*
150 kΩ/SMD/0805	R17*, R19*
180 kΩ/SMD/0805	R1–R6* oder R10–R15*, R16
200 kΩ/SMD/0805	R19*
220 kΩ/SMD/0805	R19*
330 kΩ/SMD/0805	R17*
470 kΩ/SMD/0805	R17*
560 kΩ/SMD/0805	R17*
680 kΩ/SMD/0805	R17*
820 kΩ/SMD/0805	R17*

#### Kondensatoren:

100 nF/SMD/0805	C1–C4
-----------------	-------

#### Halbleiter:

BQ2010SN/SMD	IC1
IRLML2502PbF/SMD	T1
LED, SMD, Gelb, low current	D1
LED, SMD, Grün, low current	D2–D5
LED, SMD, Rot, low current	D6

#### Sonstiges:

Mini-Drucktaster, 1 x ein	S1
---------------------------	----

\* = siehe Tabelle