

Ladeverfahren

Die korrekte Behandlung der Akkus bei der Ladung ist von allergrösster Bedeutung, da hiervon nicht nur die Lebenserwartung der Zellen, sondern auch deren „Einsatzfreude“ bei den Entladevorgängen abhängt. Auch sollten die NiCd-Akkus vor der Ladung vollständig entladen werden. Denn werden sie nur teilweise entladen und dann wieder geladen, so kann sich die Zelle das merken und zeigt den Memory-Effekt.

Normalladen

Im Standardladeverfahren werden NiCd- sowie für NiMH-Zellen mit einem Strom von $0,1CA$ aufgeladen. Aufgrund thermischer Verluste ist das 1,4fache der Nennkapazität einzuspeisen. Unter Berücksichtigung des Ladefaktors beträgt die Ladedauer deshalb $14 \leq 16h$ bei einer Umgebungstemperatur von $0^\circ C \leq +45^\circ C$. Eine länger dauernde Überladung von max. 100h ist zulässig. Besser ist es jedoch die Ladezeit nach $14 \leq 16h$ zu beenden. Die Zellenspannung stellt sich auf max. 1,55V ein. Ein Aufladen der Zellen ausserhalb des empfohlenen Temperaturbereiches hat einen ungünstigen Einfluss auf die Lebensdauer. Besonders bei tiefen Temperaturen unter $0^\circ C$ kann Wasserstoff freigesetzt werden. Der Ladestrom muss deshalb verringert werden, d.h. bei NiCd auf $0,05CA$ und bei NiMH auf $0,03CA$.

Beschleunigtes Laden

Ein Laden mit höherem Strom als $0,1CA$ ist nur dann zulässig wenn der Akku durch diesen höheren Ladestrom nicht überladen werden kann. Da hohe Laderaten im Falle von unkontrollierten Überladungen schwere Beschädigungen verursachen können, muss das Ladeverfahren den optimalen Zeitpunkt zur Abschaltung ermitteln. Bei einem Ladestrom von $0,3CA$ genügt ein Timer, der nach 5h (NiMH) bzw. 4h (NiCd) die Ladezeit beendet. Der Ladevorgang sollte innerhalb des Temperaturbereiches von $+10^\circ C \leq +45^\circ C$ stattfinden.

Schnell-Laden

Schnellladefähige Zellen besitzen eine verbesserte negative Platte mit erhöhter Fähigkeit zur Gasabsorption. Da sich die Ladeströme zwischen $0,5CA$ und $1CA$ bewegen sollte man sich bei der Ladekontrolle nicht mehr auf einen Timer verlassen. NiCd-Zellen besitzen einen negativen Temperaturkoeffizienten und somit sinkt die Zellenspannung mit zunehmender Erwärmung. Als Abschaltsystem kann deshalb eine Ladeschaltung welche nach dem $-\Delta U$ -Prinzip arbeitet eingesetzt werden. Die $-\Delta U$ -Methode wertet die Spannungsdifferenz (der Wert von $-\Delta U$ beträgt normalerweise $10mV/Zelle$ bei $20^\circ C$) zwischen zwei zeitlich nacheinander ermittelten Messwerten der Batteriespannung aus. Wenn nun nämlich die Zellenspannung nicht mehr steigt, oder sogar negativ wird, dann sind die Akkus vollständig geladen. Beim Temperatur Abschaltverfahren wiederum dient die Erwärmung der Zellen als Indikator für die Vollladung. Dabei wird die Ladung entweder bei einer Grenztemperatur (typ. $+45^\circ C$) oder bei einem gewissen Anstieg der Temperaturkurve abgeschlossen. Der Temperaturfühler befindet sich im direkten Kontakt mit den Zellen. Daneben gibt es auch noch Impuls-Schnellladeverfahren, bei denen ein Spannungsgradient (z.B. erste Ableitung des Ladespannungsverlaufs) über einen Mikrocontroller mit A/D -Wandler als Abschaltkriterium ausgewertet wird. Dieses Verfahren beruht auf dem Reflexladerprinzip bei dem zusätzlich auf jeden Ladestromimpuls ein kurzer Hochstrom-Entladepuls folgt. Der Sinn dieser Prozedur ist: Während des Ladens mit hohem Strom die entstandenen Sauerstoffbläschen an den Elektroden, welche die Fläche verringern und die Impedanz erhöhen durch einen Hochstromentladepuls abzulösen. Die Abschaltung des Ladevorgangs erfolgt nach der bekannten $-\Delta U$ -Methode.

Ultra-Schnellladung

Eine Ultra-Schnellladung ist bei NiMH-Zellen bis jetzt noch nicht zulässig. Hingegen eignen sich NiCd-Akkus für ein gepulstes Laden mit Strömen von $4CA \leq 6CA$, beispielsweise $4A \leq 6A$ bei einer Zellenkapazität von 1Ah. Dabei wird kurz vor Erreichen der Vollladung spannungsgesteuert abgeschaltet. Abschaltwert bei $20^\circ C$ ist eine Zellenspannung von 1,55V. Dieser Wert muss durch eine zuverlässige Temperaturkompensation pro Grad Temperaturanstieg um $4mV$ reduziert werden. Das Messen der Zellenspannung ist nur im stromlosen Zustand der Zelle möglich. Der Ladestrom wird für die Messpausen unterbrochen. Sobald während der Messpausen der Grenzwert festgestellt wird, erfolgt die Umschaltung auf Erhaltungsladung, die durch sehr kurze Ladeimpulse erfolgt.

Erhaltungsladung (Dauerladen)

Möchte man geladene NiCd-Akkus bei Vollladung erhalten, genügt es, ihnen einen Ladestrom zuzuführen, der eben so gross ist, dass die Verluste durch Selbstentladung gedeckt werden. Bei Zellen mit Masse-Elektroden ist der Dauerladestrom in der Grösse von $0,01 \leq 0,05CA$ zu halten (bei 500mAh-Batterien also $5 \leq 25mA$). Sinterzellen benötigen aufgrund ihrer höheren Selbstentladung einen Dauerladestrom von $0,02 \leq 0,1CA$ (bei 500mAh Batterien also $10 \leq 50mA$). Obwohl sich ein Dauerladen mit den oben genannten Strömen nicht nachteilig auf die Lebenserwartung der Zellen auswirkt, gibt es doch gewichtige Gründe, welche gegen die Praxis der Dauerladung sprechen. Dies gilt vor allem dann, wenn die Akkumulatoren nach längeren Ladephasen plötzlich grosse Ströme abgeben sollen. Es tritt dann eine Erscheinung zutage, welche als Memory-Effekt bekannt geworden ist. Legt man dennoch Wert darauf, ständig vollgeladene NiCd-Akkus zu haben, so ist es besser, den Ladestrom intermittierend, d.h. nur in bestimmten zeitlichen Abständen zuzuführen. Am einfachsten kann dies geschehen, indem das Ladegerät über eine handelsübliche Zeitschaltuhr periodisch ein- und ausgeschaltet wird.

Entladeverhalten

Ruhespannung

Sie liegt kurz nach vorausgegangener Ladung (je nach Laderate) - bei Raumtemperatur zwischen $1,3 \leq 1,4V$. Die Ruhespannung sinkt mit fortschreitender Entladetiefe nur geringfügig ab, so dass ihr Wert nicht als zuverlässiger Indikator für den Ladezustand herangezogen werden kann. Ist die Ruhespannung jedoch unter $1,2V$ gesunken, so kann die Zelle mit Sicherheit als entladen betrachtet werden. Interessant ist, dass die Ruhespannung einen negativen Temperaturbeiwert aufweist, und zwar sinkt sie um $3 \leq 4mV/^{\circ}C$.

Lastspannung und Innenwiderstand

Das Absinken der Zellenspannung unter Last ist von 3 Faktoren abhängig:

- 1) Entladestromstärke: Der Entladestrom erzeugt einen Spannungsabfall am Innenwiderstand der Zelle.
- 2) Entnommene Kapazität: Mit zunehmender Entladetiefe steigt der innere Widerstand der Zelle.
- 3) Zellentemperatur: Das günstigste Verhalten zeigt ein Akku bei Zimmertemperatur ($20 \leq 30^{\circ}C$).

Bei tieferen Temperaturen ist ein Ansteigen des Innenwiderstandes zu beobachten (gilt ganz besonders bei Massezellen). Höhere Temperaturen führen zu einem Absinken der Ruhespannung (negativer Temperaturbeiwert). Der Anteil der entnehmbaren Energie einer Zelle sinkt mit zunehmender Belastung, da ja ein Teil der gespeicherten Energie am Innenwiderstand in Wärme umgesetzt wird und einen Anstieg der Zellentemperatur zur Folge hat. Steigt nun die Zellentemperatur über $+45^{\circ}C$ an, so kann das Scheidervlies in der Zelle geschädigt werden und damit die Lebensdauer der Zelle rapide verkürzen. Wie zu ersehen ist, spielt der Innenwiderstand bezüglich des Entladeverhaltens eine sehr entscheidende Rolle. Der Innenwiderstand steigt während der Entladung anfangs leicht, kurz vor Entladeende aber stärker an. Weiter ist zu berücksichtigen dass die Lebensdauer des Akkus nach wiederholter Entladung bei extremen Temperaturen abnimmt. Die günstigsten Werte liegen bei $+20^{\circ}C \leq +30^{\circ}C$. Es sei noch erwähnt, dass der innere Widerstand eine kapazitive Komponente aufweist. Hieraus resultiert ein besonders günstiges Verhalten bei impulsförmigen Belastungen. Die Faradaysche Kapazität kann dazu beitragen, Störspannungen, welche von Motoren erzeugt werden, zu glätten.

Entnehmbare Kapazität

Lade- und Entladeströme werden als vielfaches oder als Teil der Nennkapazität C angegeben und mit dem Begriff CA bezeichnet. Ein Ladenennstrom von $0,1CA$ für einen Akku mit einer Nennkapazität C von $1Ah$ beträgt $100mA$. Üblicherweise wird bei Akkus der Kapazitätsangabe eine 10-stündige Entladedauer ($0,1CA$ -Rate) zugrunde gelegt. Auch beeinflusst die Grösse des Entladestromes die entnehmbare Kapazität. Eine 5-stündige Entladung ($0,2CA$ -Rate) führt bei Sinterzellen noch zu keiner messbaren Kapazitätseinbusse. Ausgesprochene Hochstrombelastung mit mehr als $3CA$ ist bei NiMH nicht zulässig, während gesinterte NiCd-Akkus damit keine Probleme haben. Auch hat die Temperatur des Akkus Einfluss auf die entnehmbare Kapazität. Die günstigsten Werte liegen bei $20^{\circ}C \leq 30^{\circ}C$. Ein weiterer Faktor bildet in diesem Zusammenhang die Art und Weise, wie die Zelle vorher geladen wurde.

Entladeschluss-Spannung

Breibt man mehrere NiCd-Zellen in Reihenschaltung als Batterie, so kommt es häufig vor, dass die einzelnen Zellen dieser Batterie etwas unterschiedliche Kapazitätswerte aufweisen. Dies führt am Ende der Entladung zwangsläufig dazu, dass manche Zellen schon entladen sind, während andere noch Ladung enthalten, also weiter Strom abgeben. Dieser wirkt jetzt für die bereits leeren Zellen als Ladestrom, der, und hier liegt das Problem, leider verkehrte Richtung hat! Die entladenen Zellen werden dann mit umgekehrter Polarität aufgeladen; sie polen um. Dies führt in der Zelle zur Entwicklung von Wasserstoff, ein Gas, welches chemisch nur in sehr geringem Masse wieder gebunden werden kann. Lang andauerndes oder wiederholt vorkommendes Umpolen kann zu sehr hohen Drücken und damit zum Öffnen des Sicherheitsventils und zum Austritt von Elektrolyt - letztlich also zur Beschädigung oder gar Zerstörung der Zelle führen. Bei wiederholtem Elektrolytverlust ist die Leistung und Lebensdauer der Zelle dauerhaft beeinträchtigt, weshalb man Tiefentladungen möglichst vermeiden sollte.

Um der beschriebenen Gefahr zu begegnen, ist anzuraten, nur bis zu einer Spannung von $0,9V \leq 0,8V/Zelle$ zu entladen. Bei einer 8-zelligen Batterie wären dies also $7,2 \leq 6,4V$. Wurden NiCd-Batterien versehentlich tiefentladen, so ist nach Lage der Dinge davon auszugehen, dass einzelne Zellen umgepolt wurden. Um alle Zellen wieder auf Gleichstand zu bringen, empfiehlt es sich, das Batteriepack $14 \leq 16$ Stunden lang mit $0,1CA$ zu laden.

Selbstentladeverhalten

Die Kapazitätsspeicherfähigkeit ist stark temperaturabhängig und nimmt mit steigender Temperatur überproportional ab. Die Selbstentladung von NiMH-Akkus ist grösser und steigt mit zunehmender Temperatur stärker an als bei NiCd-Akkus. Während NiCd-Zellen bei $+45^{\circ}C$ mehr als zwei Monate für die Selbstentladung benötigen, sind NiMH-Akkus binnen eines Monats entladen. Bei NiCd-Akkus liegt die Selbstentladung bei $20^{\circ}C$ ca. $20\%/Monat$. NiCd-Zellen mit Sinterelektroden weisen noch eine etwas grössere Entladerate auf, was hauptsächlich auf die grosse aktive Elektrodenfläche zurückzuführen ist. Durch die Alterung der Zelle beschleunigt sich die Selbstentladung noch weiter, was mit der allmählichen Zersetzung des Scheiders im Zusammenhang steht.

Der Memory-Effekt

Wird eine NiCd-Zelle öfter nur teilweise entladen und dann wieder voll aufgeladen, oder sogar deutlich überladen, so kommt es zum mittlerweile recht bekannten Gedächtniseffekt. Gleiches lässt sich beobachten wenn NiCd-Akkus über längere Zeit mit Ladestrom versorgt werden ohne ihnen gelegentlich Arbeit abzufordern. Dieser Effekt wird dadurch verursacht, dass sich an der Nickel-Elektrode grosse Kalium-Hydroxyd-Kristalle bilden, die die effektive Elektrodenfläche verkleinern. Das Resultat ist eine verminderte Akku-Kapazität und damit noch stärkere Überladungen, was den Effekt noch weiter verstärkt. Normalerweise kann man den Gedächtniseffekt durch zügige und vollständige Entladungen mit anschliessenden Aufladungen mehr oder weniger beseitigen. Es ist also zu beachten, dass Teilentladungen und anschliessende Überladungen zu vermeiden sind.