

CCS im Vergleich mit anderen Ladeverfahren

Dr. G. Wießpeiner

Einleitung

Durch die rasche Zunahme elektronischer und elektromechanischer Geräte erlangt der Akkumulator als Energieträger zunehmende Bedeutung.

Je nach Anwendungsfall finden unterschiedliche Akkutechnologien ihre Anwendung, die sich grundsätzlich durch die Art der Energiespeicherung unterscheiden. Während bei Bleiakku ein Materialtransport über den Elektrolyt zwischen den Elektroden stattfindet, wird die Energie bei den Nickel Zellen (NiCd, NiFe, NiMH) durch Umwandlung der kristallinen Elektrodenoberfläche gespeichert.

Dementsprechend haben z.B. NiCd-Zellen eine theoretisch unbegrenzte Lebensdauer. Die praktische Erfahrung zeigt aber meist, daß der Akku nach wenigen Monaten bzw. nach einer relativ geringen Zahl von Ladezyklen entweder defekt oder unbrauchbar geworden ist. Die Ursache dafür liegt meist nicht am Akku sondern an der falschen Behandlung, insbesondere beim Aufladen. Die Vielzahl der unterschiedlichen Lade-prinzipien, -verfahren, Stromformen beweist bereits, daß sie keine optimale Lösung zum Wiederaufladen darstellen.

Der größte Fehlschluß bei der Konstruktion von Ladegeräten dürfte dabei in der Annahme liegen, der Akku wäre so zu behandeln wie ein elektronisches Bauelement, d.h. nach vorgegebenen Spezifikationen. Der Akku verhält sich jedoch eher wie ein Individuum, welches je nach momentanem Zustand und Vorbedingungen unterschiedlich reagiert.

Im folgenden wird ein neues Ladeverfahren, das sog. CCS (=Computer Charge System) vorgestellt, welches die Energiezufuhr an den Akku genau anpaßt. Bei diesem Verfahren werden erstmalig die Vorgänge an den Elektroden ermittelt und überwacht und zur Bestimmung des Abschaltzeitpunktes verwendet.

Mit dem CCS Verfahren wurde nicht nur ein neues Ladeverfahren erfunden welches sich in gleicher Weise für alle bekannten Akkutechnologien eignet, sondern zusätzlich Schnell-Ladezyklen im Minutenbereich bei gleichzeitiger Erhöhung der Lebensdauer ermöglicht. Der Hauptvorteil ist jedoch die Zuverlässigkeit mit der Akkus auch unter extremen Betriebsbedingungen auf exakt 100% der verfügbaren Kapazität geladen werden.

Ladetechniken

Spannungskonstante Ladung

Das Ladegerät ist auf die Lade-Endspannung des Akkus eingestellt. Die Lade-Endspannung muß auf sehr genaue Werte (abhängig von Temperatur und Ladestrom) geregelt werden.

Geringfügige Abweichungen führen zu nur teilweiser Aufladung oder zur vollständigen Überladung (Zerstörung) des Akkus. Wegen des Innenwiderstandes wird eine 100%ige Aufladung erst nach unendlich langer Zeit (nie!) erreicht. Daher wird diese Methode in der Praxis bei Nickel Zellen kaum angewendet.

Anwendung: Bleiakku, RAM

Vorteil: Einfach, billig

Nachteil: Lange Ladedauer, unzuverlässig, Überladung

Stromkonstante Ladung mit Zeitabschaltung

Im einfachsten Fall bietet das Ladegerät eine gleichgerichtete Wechsellspannung mit Vorwiderstand zur Strombegrenzung an. Liegt der Ladestrom im Bereich von 0,1C dann ist eine geringfügige Überschreitung der Ladedauer unkritisch. Wegen ihrer Einfachheit wird diese Form der Aufladung bei Billiggeräten eingesetzt, ist aber wegen der langen Ladezeit in der Praxis unbeliebt. Problematisch werden Überladungen über 20%, was bei höheren Ladeströmen (z.B. 5 Stunden Ladezeit) und bei Akkus mit einer Vor- bzw. Restladung leicht auftreten kann. In diesem Fall ist eine vollständige Entladung vor der Ladung notwendig. Dadurch wird der Akku künstlich gealtert und die Gesamtladedauer erhöht.

Anwendung: NiCd, NiMH

Vorteil: Einfach, billig

Nachteil: Lange Ladedauer, unzuverlässig, Überladung

-dV (Delta Peak) Abschaltung

Nach Erreichen des Vollladezustandes beginnt der Akku zu gasen, wenn die Energiezufuhr anhält. Durch die Erhöhung des Innendruckes sowie der Temperatur kommt es zum Absinken der Klemmspannung. Dieser Spannungsabfall (z.B. -10mV/Zelle, -5%) wird beim -dV Verfahren verwendet um das Ladeende zu bestimmen. Da bei tiefentladenen, vollständig leeren Zellen oder bei Zellen mit Memory-Effekt ein Absinken der Akkuspannung auftritt, kommt es häufig zu Fehlabschaltungen und zur Anzeige "Akku voll" obwohl der Akku noch leer ist. Für den Anwender ist ein derartiges Akkupack scheinbar defekt bzw. unbrauchbar.

Anwendung: NiCd

Vorteil: Schnellladung, autom. Abschaltung

Nachteil: Überladung, Memory Effekt, Versagen bei leeren oder defekten Akkus,

Christie-Ladeverfahren

Bei diesem Ladeverfahren wird, ähnlich wie beim -dV Verfahren, bei Konstantstromladung der Spannungsverlauf an den Akkuklemmen gemessen. Die Abschaltung erfolgt im Wendepunkt des Spannungsanstieges vor Erreichen des Maximums. Der Akku wird also nie vollständig sondern nur bis ca. 3/4 der Kapazität aufgeladen.

Anwendung: NiCd

Vorteil: keine Überladung, Schnelladefähig

Nachteil: Akku nicht voll

Temperatur Abschaltung

Bei vollständig geladener Zelle setzt an den Elektroden Gasbildung ein und die Zelltemperatur steigt an (siehe Abb...). Die Temperatur oder der -Anstieg kann als Abschaltkriterium herangezogen werden, setzt aber eine Überladung (!) der Zelle voraus. Außerdem versagt diese Methode bei kleinen Ladeströmen und geringen bzw. veränderlichen Batterie- bzw. Umgebungstemperaturen.

Um exzessive Schäden bei Versagen des eigentlichen Ladeschluß-Kriteriums zu verhindern, wird meist eine übergeordnete Temperatur-Abschaltung als zusätzlicher Schutz vorgesehen.

Anwendung: NiCd, NiMH

Nachteil: Überladung, Temperaturkontakt, Umgebungseinfluß

Vorteil: einfach, Akkuunabhängig

Coulometrische Ladekontrolle

Die Aufladung erfolgt entsprechend der abgegebenen Kapazität. Die Stromabgabe der Zelle wird fortlaufend registriert. Damit ist der momentane Ladezustand bekannt. Störend wirkt sich dabei die Selbstentladung aus. Es wird auch nicht registriert ob die Zelle tatsächlich voll oder schon Überladen wird. In jedem Fall ist eine ständige Verbindung zwischen der Schaltung und dem Akku notwendig.

Anwendung: alle

Vorteil: Ladezustandkontrolle

Nachteil: kein Akkutausch

Kombinierte Verfahren

Zur Sicherheit und um Schäden bei Versagen einer Ladetechnik zu verhindern, werden oft Strombegrenzung, Spannungsbegrenzung, Temperaturbegrenzung und die Ladezeitbegrenzung kombiniert angewandt. Ladegeräte dieser Bauart führen oft eine 70%ige Schnell-Ladung (1-3h) durch und schalten dann auf 0,1C Dauerladestrom (5h) bzw. Trickle Charge um. Trotz des höheren Aufwandes ist dieses Ladegerät auch nur ein Kompromiß mit den bekannten Nachteilen.

Anwendung: alle

Nachteil: s.o.

Vorteil: Schutz bei Versagen

Tabelle 1: Schnelllade IC's mit mehreren Abschaltkriterien

Hersteller	Chip	Tec	Akku	1. Kriterium	2. Kriterium	Dauer (h)	E	TC
Bartec	LC2000	AL	NC	T	Tm	0,2-3	ja	0,1
Benchmarq	bq2003	AD	NC,NH,Pb	dT,dV	Vm,Tm,tm	0,2-2	opt	0,02
Enstore	ECS	AL	NC,NH,Pb		Vm,Tm,tm	0,1-1		
ICS	ICS1700	MP	NC,NH	dV,ddV,dT	Vm,Tm,tm	0,2-4	opt	0,02
Maxim	MAX713	AD	NC	dV	Vm,Tm,tm	0,3-3		0,06
Microchip	MTA11200	MP	NC,NH,Pb	dV,dT	Vm,Tm,tm	p	opt	p
Philips	TAE110	AD	NC,NH	X	Tm,tm	0,2-1		0,01
Temec	U2400	AL	NC	t	Vm,Tm	0,5-1	ja	0,1

Tec..Technologie A..Analog D..Digital L..Logik MP..Mikrocomputer

1.Kriterium=Methode 2.Kriterium=Sicherheitsabschaltung

dT..Temperaturanstieg dV..Delta Peak, ddV..Christie

Tm..max.Temperatur, Vm..max. Spannung, tm..Zeitbegrenzung

Dauer(h)..Ladedauer in Stunden, E..Entladen vor dem Laden

p..programmierbar, opt..optional, nnnichtnötig, i..intelligent

TC..Erhaltungsladestrom in C (Trickle Charge)

Pulsladen

Es wird behauptet, daß das Laden mit kurzen und hohen Strompulsen, wie beim Pulsladen den Memoryeffekt, und beim Reflexladen die Gasung des Akkus verhindern und so seine Lebensdauer erhöhen könne. Jedoch hat die Stromform beim Laden keine so hohe Bedeutung wie die exakte Abschaltung zum Schutz vor Überladung. Prinzipiell ungünstig ist die quadratisch steigende Verlustleistung im Akku ($P_v = I^2 \times R$) durch schmale und hohe Stromimpulse.

Für die negativen Stromimpulse beim Reflexladen gilt folgendes zu bedenken: Die Gasung entsteht erst, wenn der Akku bereits überladen wird. Gasblasen sind im Vergleich zum Elektrolyt hochohmig und können daher, selbst von hohen negativen Strömen nicht abgebaut werden.

CCS - herkömmliche Ladetechnik?

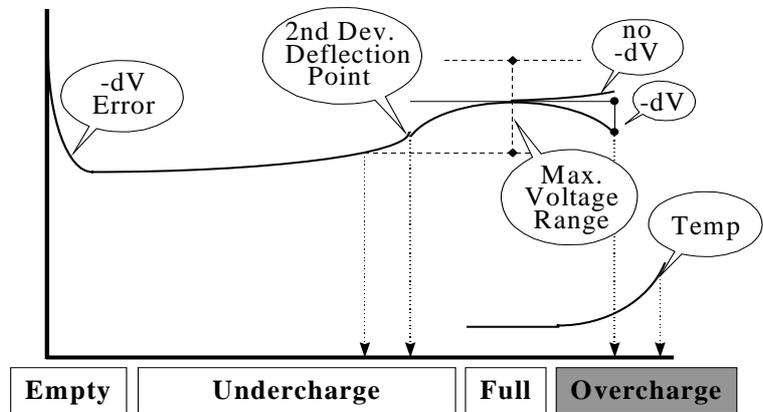
Das CCS-Verfahren ist ein grundlegend neuer Prozeß zur Aufladung von Akkus und hat mit anderen Ladeverfahren nichts gemeinsam. Erstmals wird vom Mikroprozessor mit Hilfe eines zeitvarianten Ladestroms (z.B. sinusförmige Halbwellen) der Verlauf der Vorgänge an den Elektroden im Inneren des Akkus errechnet und ausgewertet. Damit wird der Akku zuverlässig zu 100% voll geladen und höchste Lebensdauer erreicht. Dieses Prinzip ist weltweit durch Patente geschützt.

BTI	CCS9310	MP	NC,Nh,Pb	CCS	Vm	0,1-2	nn	i
Hersteller	Chip	Tec	Akku	1. Kriterium	2. Kriterium	Dauer (h)	E	TC

CCS Das CCS-Verfahren ist eine neue Methode zur vollautomatischen Steuerung der Energiezufuhr beim Laden von Akkumulatoren, zum Schutz vor Überladung und zur Verhinderung von Fehlfunktionen, verursacht durch Effekte, die vom Ladezustand unabhängig sind. Es basiert nicht auf einfachen, äußeren Meßwerten, sondern berücksichtigt erstmals die Vorgänge im Inneren der Zelle.

Stand der Technik

Der Ladezustand eines Akkus ist weder durch seine Klemmspannung noch durch die Zelltemperatur, die Ladezeit oder durch die zugeführte Lademenge gekennzeichnet. Daher sind alle bisher bekannten Ladeverfahren nur für vordefinierte Akkus geeignet und nur unter bestimmten Bedingungen einsetzbar und weisen Mängel auf, die entweder zu unvollständiger Aufladung oder zu Überladung führen.



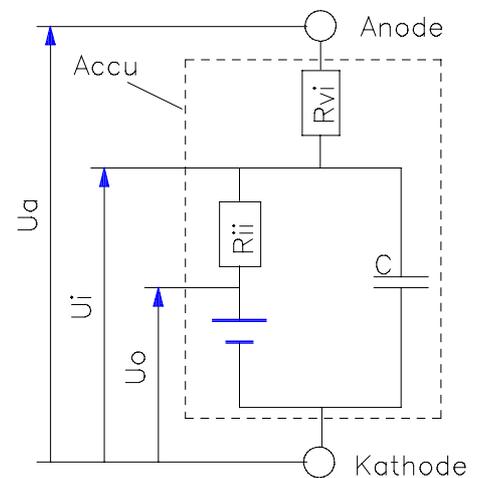
Einige Schnelllade-Verfahren (z.B. -dV Methode) nutzen jene Merkmale im zeitlichen Verlauf von Akkuspannung, Ladestrom oder Temperatur aus, die bei der Überladung und Gasung des Akkus auftreten. Dabei werden die Akkus bereits geschädigt und ihre Lebensdauer verringert.

Ein Nachteil aller bisher bekannten Verfahren ist, daß das Abschaltkriterium eine Summe von Effekten in sich vereinigt und dabei nicht unterscheiden kann, ob diese vom Ladezustand verursacht werden oder andere Ursachen haben.

CCS: Neues Verfahren zum Laden von Akkumulatoren

Die neue Erfindung grenzt sich von den bisher bekannten Verfahren dadurch ab, daß nicht eine einfache Meßgröße (z.B. Klemmspannung) zur Bestimmung des Ladezustandes verwendet wird, sondern daß unter Berücksichtigung des Akkuersatzschaltbildes, aus dem zeitlichen Verlauf von Akkuspannung und Ladestrom, eine Kenngröße ermittelt und ausgewertet wird, die den Ladeprozessen im Inneren des Akkus zugeordnet ist.

Diese Kenngröße wird vom CCS fortlaufend berechnet und überwacht. Sie weist im Vollladezustand einen charakteristischen Extremwert auf, der von der Zelltype, Exemplarstreuung, Zellenanzahl, Temperatur, parasitären Spannungsabfällen und Umgebungseinflüssen unabhängig ist. Das CCS erkennt die 100%ige Vollladung aus den elektrischen Ladeparametern durch digitale Musteranalyse des zeitlichen Verlaufes dieser Kenngröße.



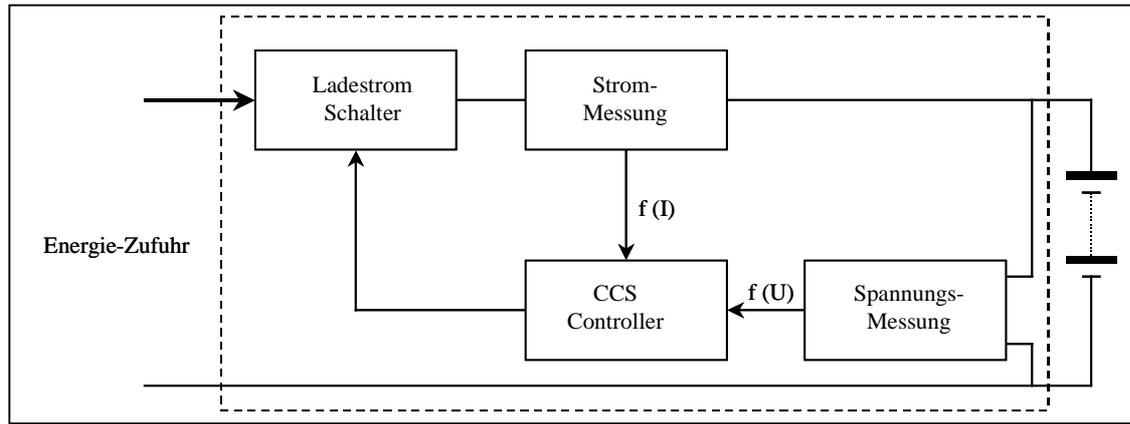
Akku-Ersatzschaltbild

Fehlfunktionen, wie sie von anderen Ladeverfahren bei vollständig leeren Zellen, bei Temperaturschwankungen oder schlechten Kontakten bekannt sind, können mit CCS vermieden werden.

Mit der Kenntnis der Reaktion der Komponenten des Ersatzschaltbildes während des Ladens ist es erstmalig auch möglich, geänderte Betriebsbedingungen (z.B. Stromschwankungen) zu berücksichtigen und vom Erreichen des Vollladezustandes zu unterscheiden. Damit ist eine weitere Abgrenzung gegenüber allen bisher bekannten Methoden gegeben, weil weder Ladestrom noch Ladespannung auf konstante Werte geregelt werden müssen.

Durch die selbstlernende Abstimmung des Ladegerätes auf die Zellen können erstmals beliebige (unbekannte) Akkus angeschlossen und geladen werden, ohne Vorkenntnisse oder Einstellungen.

CCS Prinzipschaltung



Fortschritt/Vorteile

- ☺ Das gleiche Verfahren ist für verschiedene Akkus geeignet.
- ☺ Unvollständige Ladung und Überladung werden vermieden.
- ☺ Für die Erkennung des Extremums werden keine zusätzlichen Sensoren benötigt.
- ☺ Zum Anschluß des Akkus genügt eine simple Zweidrahtleitung.
- ☺ Für verschiedene Akkus kann die gleiche Schaltungsanordnung verwendet werden und bedarf keines Abgleiches in der Produktion.
- ☺ Akkus können erstmals ohne besondere Stabilisierungsschaltungen direkt aus schwankenden Energiequellen geladen werden, was vor allem bei Solargeneratoren oder bei der Energierückgewinnung große Vorteile bringen.
- ☺ Durch die exakte Funktion wird die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Akkus deutlich erhöht.
- ☺ Mit dem elektronischen CCS-Akku wird höchste Zuverlässigkeit und Austauschbarkeit erreicht.

Akkuarten und Typen

Das BTI-CCS-Verfahren ist theoretisch für alle Akkuarten und -typen geeignet. Erprobt wurden:

NiCd: offene/gasdichte Zellen; Platten/Sinterzellen, Rund/prismatische/Knopfzellen

NiMH: gasdichte Rundzellen

Blei: Fahrzeugbatterien; Wartungsfreie; Gelbatterie

NiFe: offene Zellen

In Erprobung: **LiIon, RAM (Alkali Mangan)**

Ladestrom/Ladedauer

Entsprechend den Herstellerangaben liegt der Nennladestrom für NiCd-Akkus bei 0,1 CA und die Nennladedauer beträgt ca. 14 Stunden (min. 1 Stunde für schnellladefähige Zellen).

Diese Werte sind hauptsächlich durch die zulässige Energiezufuhr bei Überladung gegeben.

Es ist zu bedenken, daß die Energiemenge, die dem bereits vollen Akku zugeführt wird, nicht mehr geladen wird, sondern durch Zersetzung des Elektrolyten (Gasung) Druck und Temperaturen erzeugt, die zur irreversiblen Beschädigung des Akkus führen. Mit höheren Strömen nimmt diese Beschädigung überproportional zu.

Das neue BTI-Ladeverfahren (CCS) erkennt mit höchster Präzision den Moment der 100%igen Voll-Ladezustand und vermeidet auch eine geringfügige Überladung mit großer Zuverlässigkeit.

Damit sind bis zu 50fach höhere Ladeströme zulässig, die nur mehr durch den elektromechanischen Aufbau und durch den funktionellen Innenwiderstand der Zellen und der damit verbundenen zulässigen ($P=I^2R$) Temperaturerhöhung begrenzt sind.

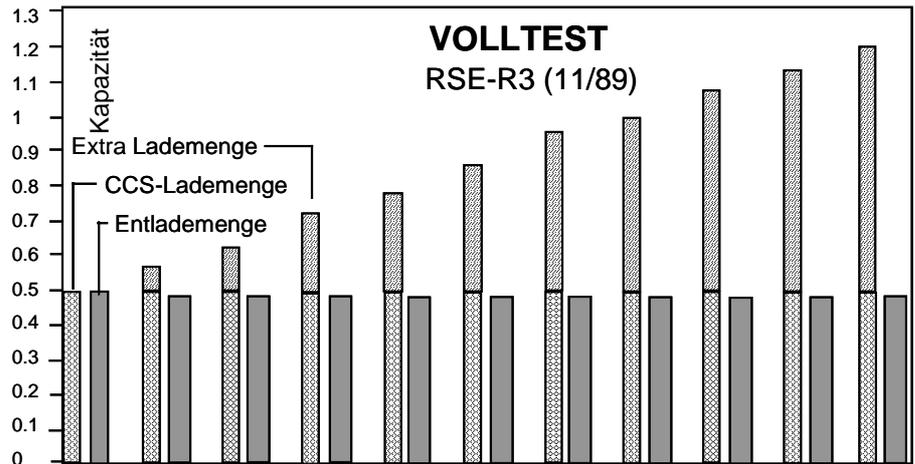
Normale NiCd-Sinterzellen (z.B. Varta RS) können mit dem BTI-CCS-Verfahren bedenkenlos mit Ladeströmen von 3CA, entsprechend einer Ladezeit von ca. 20 Minuten, vollgeladen werden. Dabei werden die Akkus nicht heiß und diese kurze Ladezeit hat keinen negativen Einfluß auf die Lebensdauer. Prinzipiell sind auch noch kürzere Ladezeiten möglich

Diese Angaben gelten jeweils zum Laden der vollen Kapazität. Die Ladedauer teilentleerter Akkus ist entsprechend kürzer.

100% Voll-Ladung

Der Volltest beweist, daß die Akkus exakt 100% vollgeladen werden. Auch durch zusätzliche Energiezufuhr kann keine höhere Kapazität entnommen werden. Abhängig von der Temperatur, vom Alter und vom Anodenzustand kann derselbe Akku unterschiedliche Lademengen abgeben bzw. aufnehmen.

Das BTI-CCS-Verfahren paßt sich diesem "Kapazitätsvermögen" an und lädt immer auf 100% der verfügbaren Kapazität.



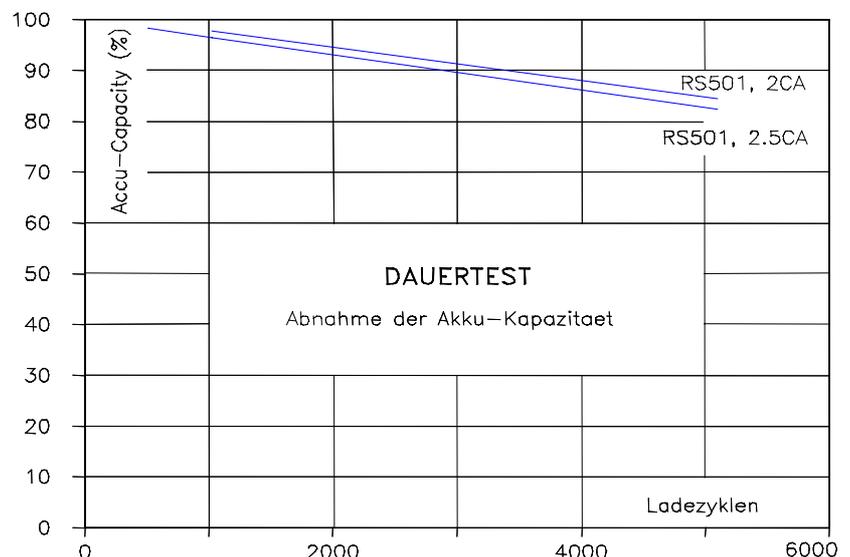
Der Abschaltzeitpunkt wird nicht mehr durch das Erreichen eines vordefinierten Wertes bestimmt, sondern durch digitale Musteranalyse aus dem Verlauf mehrerer Ladeparameter errechnet. Dadurch wird die 100%-Vollladung des Akkumulators unabhängig von Ladezustand, Temperatur etc. erreicht und sowohl unvollständige Ladung als auch Überladung sicher vermieden.

Lebensdauer

Durch die hohe Präzision des BTI-CCS-Ladeverfahrens wird die Lebensdauer der Akkumulatoren beträchtlich erhöht. Die Hersteller geben meist 500 bis 1000 Ladezyklen an. In der Realität liegt die Lebensdauer von Akkus eher bei 100 Lade- und Entladezyklen, oft wird der Akku jedoch in viel kürzerer Zeit "kaputtgeladen".

Mit dem BTI-CCS-Verfahren kann eine Lebensdauer von über 5000 Zyklen erreicht werden.

In einem sich über fünf Monate erstreckenden Dauertest wurden zwei handelsübliche NiCd-Akkus (Varta RS501, 500mAh) mit dem BTI-Ladegerät über 5000 mal mit 2CA (1,06A) bzw. 2,5CA (1,25A) geladen und anschließend jeweils 10 Minuten lang mit 2CA (1A) entladen. Danach verfügten die getesteten Akkus noch über mehr als 80 % ihrer ursprünglichen Kapazität.



Design von Ladegeräten mit CCS-Technologie

Zum Design von Ladegeräten in CCS-Technologie werden mehrere Chips als Standardausführung sowie kundenspezifisch (z.Bsp. für Mehrfachladegeräte) angeboten.

Der CCS9310 ist die einfachste und am weitesten verbreitete Ausführung eines CCS-Ladeprozessors. Mit einer einfachen Applikationsschaltung können Ladegeräte für 1-10 Zellen in Serienschaltung aufgebaut werden. Zur Erprobung der eigenen Applikation steht dem Designer diese Grundschaltung für Ladeströme zwischen 100mA und 3A auch in Form eines Bausatzes zur Verfügung. Für den Ladeprozessor selbst gibt es jedoch grundsätzlich keine Beschränkung hinsichtlich Ladespannung, Ladestrom, Akkukapazität.

Weil sich der Chip automatisch an das jeweilige Akkupack anpaßt, bringt der Einsatz des CCS-Verfahrens für den Designer von Ladegeräten bemerkenswerte und einzigartige Vorteile bei ein und derselben Schaltung:

- * Keine produktionsbedingten Einstellungen
- * Unterschiedliche Technologien NiCd, NiMH, Pb, NiFe
- * Weiter Kapazitätsbereich 0,5-2C
- * 100% Vollladung innerhalb von Minuten
- * Lange Lebensdauer (>5000 Zyklen)
- * Keine Entladung notwendig
- * Sichere Funktion auch bei tiefentladenen Akkus
- * Akku mit Memory Effekt wird regeneriert
- * Keine zusätzlichen Sensoren notwendig
- * Weiter Temperaturbereich (-20ø bis +60ø)
- * Akku-Defekt Erkennung
- * Standbyfunktion mit automatischer Nachladung
- * Einfaches Netzteil, unempfindlich bei Netzschwankungen

Anschrift des Verfassers:

Gerhard Wießpeiner
Dipl.Ing. Dr.techn.
Univ. Ass. Prof.
Technische Universität Graz
A-8010 Graz
Inffeldgasse 18
Tel: ++43/316/873-7392
Email: WP@BMT.TU-GRAZ.AC.AT

Fa. BTI- Büro für
Technologie und Innovation

A-8010 Graz, Austria
Rudolfstraße 14
Tel:++43/316/326031 FAX:381808

D-82194 Gröbenzell bei München
von Branca Straße 6b
Tel&FAX: 08142/57456