Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 87 (1996)

Heft: 15

Artikel: Moderne Laderegler für aktuelle Batterietypen

Autor: Junker, Thomas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902341

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Dank moderner Mikroelektronik ist es möglich, den Ladeprozess von Batteriesystemen zu beschleunigen. Die Ladegeräte werden zudem zuverlässiger und können erst noch billiger hergestellt werden. Gleichzeitig kann die Lebensdauer der Batterie erhöht werden. Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über die verschiedenen wiederaufladbaren Batterien und ihre Ladegeräte. Er mündet in ein Konzept für einen universell einsetzbaren Laderegler.

Moderne Laderegler für aktuelle Batterietypen

■ Thomas Junker

Die Wahl des Ladeprozesses hat einen entscheidenden Einfluss auf die Lebensdauer der oft teuren Batterien. Die Entwicklung von Ladestrategien basiert hauptsächlich auf der Erfahrung. Auf dem Markt findet man oft unterschiedliche Ladeprozessangaben für die gleichen Batteriesysteme. Der Anwender steht vor einem Berg von Informationen und Möglichkeiten. Ziel des vorliegenden Artikels ist, einen Überblick über die verschiedenen Systeme wiederaufladbarer Batterien und deren optimale Laderegelung zu erhalten. Die Evaluation einer Ladereglerschaltung ist aufwendig; hier soll der Artikel eine Entscheidungshilfe sein.

Moderne Batteriemanagementsysteme können die Lebensdauer von Batterien erhöhen. Das Soltaxi-Unternehmen in Solothurn beispielsweise arbeitet seit einigen Jahren mit Elektrofahrzeugen mit Blei-Säure-Batterien; es konnte dank dem Einsatz eines neuen Batteriemanagementsystems die mit einem Batteriesatz gefahrene Gesamtkilometerleistung stark erhöhen. Für marktgängige Batteriesysteme wie Nickel-Cadmium, Nickel-Metallhydrid und Blei-Säure existieren fixfertige Ladereglerschaltungen auf einem Chip; diese basieren jedoch auf unterschiedlichen Ladestrategien. Für die älteren Batteriesysteme gibt es sogar DIN-Normen mit entsprechenden Ladestrategieempfehlungen. Die Hersteller der Ladereglerchips halten sich jedoch oft nicht an diese Normen und gehen eigene, modernere Wege.

Auf die ganz neuen Batteriesysteme wie die Lithium-Luft- oder die Aluminium-Luft-Zellen geht der Artikel nicht näher ein, da diese in der geforderten Form noch nicht kommerziell erhältlich sind oder ihr Lade- und Entladeverhalten noch ungenügend bekannt ist. Dabei ist aber zu bemerken, dass die Lithium-Ionen-Zelle in nächster Zukunft mit hoher Wahrscheinlichkeit die grössten Fortschritte machen wird. Dieses System sollte also genau beobachtet werden. Es sind bereits Titan-Lithium-Ionen-Knopfzellen kommerziell erhältlich.

Wichtigste Batterietypen

Momentan sind auf dem Markt hauptsächlich drei Batteriesysteme vertreten, welche als weitgehend ausgereift bezeichnet werden können; es sind dies die Nickel-Cadmium-, die Nickel-Hydrid- und die Blei-Säure-Systeme. Die Lithium-Ionen-Zelle ist zwar erhältlich, befindet sich jedoch noch stark in einer Ausreifephase. Bei der Evaluation eines Batteriesystems spielen folgende Kriterien eine zentrale Rolle:

- Volumen, Baugrösse, Bauform
- Energieinhalt und Energiedichte

Adresse des Autors
Thomas Junker, El.-Ing. HTL
Microswiss-Zentrum Mittelland-Zentralschweiz
Sportstrasse 1, 2540 Grenchen

Begriffsdefinitionen

Leerlaufspannung U_o	Klemmenspannung im Leerlauf (temperatur-, standzeit- und ladezustandsabhängig)
Nennkapazität C_N	Energiemenge, welche einer vollgeladenen Batterie während 5 h mindestens entnommen werden kann
Nennstrom I_N	Strom, welcher einer vollgeladenen Batterie während 10 h mindestens entnommen werden kann: $I_N = C_N / 10$ h (auch als Nennlast oder als 10stündiger Entladestrom bezeichnet) *Beispiel:* Nennkapazität C_N = 100 mAh; I_N = 10 mA
Nennspannung U_N	Klemmenspannung bei einem Laststrom von I_N
einstündiger Entladestrom I_1	$I_1 = C_N / 1$ h; er wird oft auch als 1 *CA* bezeichnet
Entladeschlussspannung V_E	zulässige minimale Klemmenspannung nach der Entnahme der Nennkapazität
Kapazität C	Produkt aus Entladestrom I und Entladezeit t: $C = I \cdot t$
Ah-Wirkungsgrad η_{Ah}	η_{Ah} ist das Verhältnis aus effektiv entnehmbarer und eingelagerter Kapazität

- Lager- und Betriebstemperaturbereich
- Lagerfähigkeit
- Selbstentladerate
- Innenwiderstand
- Gasentwicklung bei Entladung und Ladung
- Schockbelastbarkeit, Impulsbelastbarkeit
- Dichtigkeit
- Lade- und Entladekurve
- Verfügbarkeit und Preis
- Umwelt

In den Tabellen I–III sind die wichtigsten technischen Daten des Nickel-Cadmium-, des Nickel-Hydrid- und des Blei-Säure-Systems angegeben. Die aufgeführten Nennströme entsprechen einem 10stündigen Entladestrom des Systems, also $I_N = I_{10} = C_N / 10$ h (Definitionen, siehe Kasten). Als *Nennstrom* wird normalerweise ein technisch nutzbarer (mittlerer) Strom festgelegt, den die Spannungsquelle (Zelle oder Batterie) liefern kann, ohne dass die Leistungsverluste an ihrem Innenwiderstand wesentlich in Erscheinung treten. Für niederohmige Batteriesysteme ist dies jeweils der 10stündige Entladestrom. Unter dieser Belastung stellt sich ebenfalls die *Nennspannung* der Spannungsquelle ein.

Ersatzschaltbild einer Batterie

Für die Entwicklung eines einfacheren Ladegerätes sollte das folgende Ersatzschaltbild einer Batterie hinreichend genau sein (Bild 1). Für hochfrequente Wechsellasten oder bei getakteten Gleichstromladegeräten ist es nicht ausreichend! Für diese Anwendungen muss die Impedanz des Systems genauer eruiert werden. Ab bestimmten Frequenzen dürfte sich eine Batterie induktiv verhalten. Die entsprechenden Werte müssen entweder den Herstellerangaben entnommen oder selber gemessen werden.

Ladeabbruchkriterien

Das Entladeverhalten der verschiedenen Systeme ist weitgehend bekannt, hingegen unterscheiden sich die Ladephilosophien grösstenteils. 100-%-Lademethoden werden in der Folge aufgezeigt, und im letzten Kapitel dieses Artikels wird ein Ladeverfahren vorgeschlagen, welches diesen Kriterien Rechnung trägt und nach Meinung des Autors einen optimalen Kompromiss

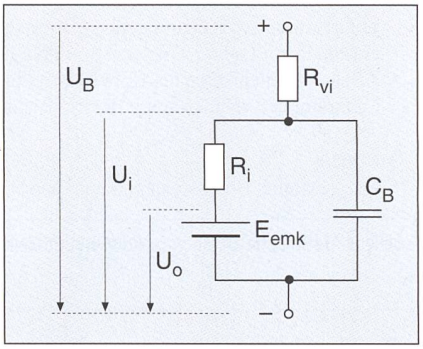

Bild 1 Ersatzschaltbild einer Batterie

für heute gängige und auch zukünftige Batteriesysteme darstellt. Folgende Ladeabbruchkriterien werden heute hauptsächlich verwendet:

Kapazitätsmessung (coulometric control): Mit der Coulometrischen Methode werden die kürzesten Ladezeiten erreicht. Bei dieser Methode wird einfach die mit dem Ah-Wirkungsgrad η_{Ah} multiplizierte entnommene Kapazität C nachgeladen. Wegen der sich fortpflanzenden Fehler dieser Methode, verursacht durch Temperaturunterschiede, Innenwiderstandsänderungen, Messfehler und dergleichen, müssen Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, dass die Batterie in jedem Fall sicher zu 100% aufgeladen wird.

Reine Ladezeitmessung (simple timed control): Dies ist die billigste und gleichzeitig die ungenaueste Variante. Während einer vorgegebenen Zeit wird die Batterie mit einem bestimmten Ladestrom geladen. Ladestrom und Zeit berechnen sich aus der Nennkapazität der Batterie. Nach Ablauf der Ladezeit wird in den Trickle-charge-Modus geschaltet (Nachladeprozess, bei

Nickel-Cadmium-Zellen

Technische Daten:

Leerlaufspannung	1,28–1,35 V
Spannung unter Nennlast	1,2 V
Entladeschlussspannung	1,0 V
negative Elektrode (entladen)	Cadmiumhydroxyd ($Cd(OH)_2$)
positive Elektrode (entladen)	Nickel(II)-Hydroxyd ($Ni(OH)_2$)
Elektrolyt	Kalilauge (KOH)
Energieinhalt	100 Wh/dm^3
Energiedichte	40 Wh/kg
Betriebstemperaturbereich	Laden: 10 bis 35 °C empfohlen; –20 bis 50 °C zulässig Entladen: –20 bis 50 °C empfohlen; –30 bis 50 °C zulässig
Innenwiderstand	0,9–2,2 mΩ, je nach Bauart

Vorteile:
- hohe Entladeströme möglich
- hohe Schock- und Vibrationsfestigkeit

Nachteile:
- Zellen enthalten umweltbelastendes Cadmium

Tabelle I Technische Daten von Nickel-Cadmium-Zellen
gasdichte Ausführung mit Sinterelektroden

Nickel-Hydrid-Zellen

Technische Daten:

Leerlaufspannung	1,28–1,35 V (im Mittel 1,30 V, temperatur- und standzeitabhängig)
Spannung unter Nennlast	1,2 V
Entladeschlussspannung	1,0 V für einen Entladestrom von bis zum zweifachen Nennstrom; für höhere Ströme 0,9 V
Dauerbelastung	30facher Nennstrom
negative Elektrode	Metallhydridspeicher-Elektrode
positive Elektrode	Nickel-Elektrode
Elektrolyt	Kalilauge (KOH), verdünnt
Energieinhalt	180 Wh/dm^3
Energiedichte	55 Wh/kg
Betriebstemperaturbereich	Laden: 10 bis 35 °C empfohlen; 0 bis 45 °C zulässig Entladen: 0 bis 45 °C empfohlen; –20 bis 50 °C zulässig Es sollte keine Schnelladung bei Temperaturen unter 10 °C erfolgen.
Innenwiderstand	ca. 25 mΩ

Vorteile:
- systemkompatibel mit Ni/Cd
- Entladung mit Strömen bis zum 30fachen Nennstrom möglich
- 30–50% höhere volumetrische Kapazität als Ni/Cd-Systeme
- begrenzt überladbar mit 10stündigem Nennstrom möglich
- umpolfest bei Tiefentladung bis zu 20% der Nennkapazität
- 1000 Lade-/Entladezyklen mit 100%iger Entladetiefe und zweistündigem Lade-/Entladestrom erreichbar, bevor die Kapazität unter 80% absinkt. 500 Zyklen mit einstündigem Lade-/Entladezyklus unter gleichen Bedingungen
- Zellen enthalten keine die Umwelt belastenden Stoffe wie Blei, Quecksilber oder Cadmium und erfüllen somit die EU-Richtlinien für schadstofffreie Batterien

Nachteile:
- keine extreme Hochstromentladung wie beim Ni/Cd-System möglich

Tabelle II Technische Daten von Nickel-Hydrid-Zellen

Blei-Säure-Zellen

Technische Daten:

Leerlaufspannung	2,08 V
Spannung unter Nennlast	2,00 V
Entladeschlussspannung	1,75 V
Impulsbelastung	100facher Nennstrom
negative Elektrode	Blei
positive Elektrode	Bleidioxyd
Elektrolyt	Schwefelsäure (H_2SO_4)
Energieinhalt	60–95 Wh/dm^3
Energiedichte	167 Wh/kg (theoretisch) 20 bis >45 Wh/kg
Betriebstemperaturbereich	–10 bis 60 °C; für Entladung bis –40 °C zulässig; Entladen: Achtung, Akkumulatoren frieren rasch ein; Nachladung oder Erhaltungsladung notwendig
Innenwiderstand	0,6–3,0 mΩ bei 100 Ah

Vorteile:
- hohe Entladeströme möglich
- die Recycling-Problematik ist bei den Blei-Säure-Systemen zuverlässig gelöst
- preisgünstig
- mehrere Ladeverfahren sind möglich
- das Blei-Säure-System ist weitgehend erforscht und bekannt
- hohe Spannungslage

Nachteile:
- hohe Selbstentladerate: 20–30% pro Monat (antimonhaltig); 2–3% pro Monat (antimonfrei)
- hohe Gasentwicklung beim Ladevorgang

Tabelle III Technische Daten von Blei-Säure-Zellen
wartungsfreie, geschlossene Kleinbatterien

dem mit einem kleinen Gleichstrom von z. B. 0,1 I_N oder kleiner oder mit Strompulsen weiter geladen wird), um die Selbstentladung zu kompensieren. War die Batterie vor dem Ladevorgang jedoch nicht vollständig entladen, erfährt sie mit dieser Methode eine entsprechende Überladung.

Ladezeitmessung mit vorgängiger Entladung (dump-timed control): Mit Hilfe einer vollständigen Entleerung der Batterie kann der Ladevorgang recht präzise und mit einfachen Mitteln via eine reine Ladezeitmessung durchgeführt werden. Der grosse Nachteil dieser Methode ist jedoch, dass sehr viel Energie im Entladevorgang unnötig verlorengeht. Diese Methode eignet sich für kleine Akkus.

Temperaturüberwachung (temperature cutoff ϑ_{CO}): Hier wird bis zum Erreichen einer bestimmten Batterietemperatur geladen. Diese Methode führt wegen der unterschiedlichen Umgebungstemperaturen zu ungenauen Ladeendzuständen, im einen Fall zu einer starken Überladung, im andern zu einer unvollständigen Ladung (Bild 2).

Temperaturanstiegsüberwachung (incremental temperature cutoff $\Delta\vartheta_{CO}$): Bei dieser Methode wird der Ladevorgang abgebrochen, nachdem zum Beispiel die Temperatur der Batterie um 10 °C gegenüber der Batterietemperatur zu Beginn des Ladevorganges angestiegen ist (Bild 3). Mit dieser Methode wird der Ladevorgang auch dann korrekt abgebrochen, wenn die Umgebungstemperatur von Ladevorgang zu Ladevorgang variiert, sofern sie während des Ladevorgangs konstant ist.

Differentielle Temperaturüberwachung (differential temperature cutoff ϑ_B–ϑ_E): Als Messgrösse interessiert hier die Temperaturdifferenz zwischen Batterie ϑ_B und Umgebung ϑ_E. Dieser Wert wird ständig neu bestimmt. Der Ladestrom wird so geregelt, dass nie eine Temperaturdifferenz von zum Beispiel 5 °C überschritten wird. Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass die Umgebungstemperatur während des Ladevorganges variieren darf. Bild 4 zeigt das Temperatur- und das Druckverhalten von Blei-Säure-Batterien bei unterschiedlichen Ladeströmen, aber konstanter Umgebungstemperatur.

Geschwindigkeit der Temperaturänderung (rate of temperature change control; $\Delta\vartheta/\Delta t$-control): Diese Methode macht sich die Tatsache zunutze, dass bei den Nickelsystemen die Batterietemperatur in der Nähe des Ladeendes stark ansteigt. Die Bestimmung des Temperaturgradienten ist recht einfach und zuverlässig. Im Vergleich zu den Bleisystemen ist der Temperaturgradient bei den Nickelsystemen grösser.

Ladeendspannung (voltage cutoff): Wenn bis zu einer bestimmten Ladeend-

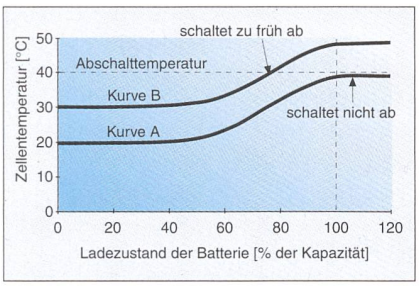

Bild 2 Temperatur als Ladeabbruchkriterium

Bei hohen Umgebungstemperaturen (Kurve *B*) wird unvollständig geladen, bei tiefen Umgebungstemperaturen (Kurve *A*) überladen.

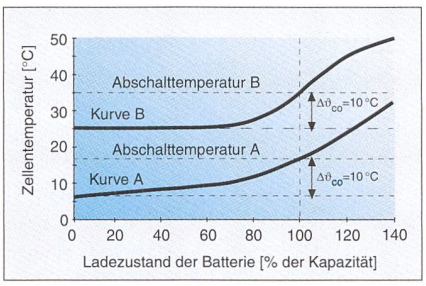

Bild 3 Temperaturanstieg als Ladeabbruchkriterium

Während des Ladevorgangs sollte die Umgebungstemperatur konstant bleiben.

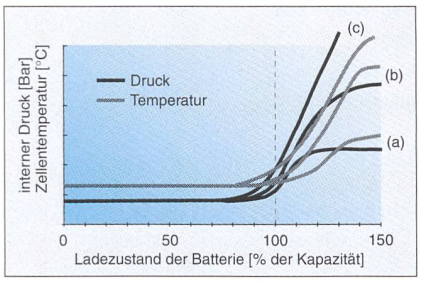

Bild 4 Temperatur- und Druckverhalten einer Blei-Säure-Batterie

a beim Laden mit I_N *b* beim Laden mit 3 I_N
c beim Laden mit 10 I_N

spannung geladen wird, riskiert man, dass die Batterie aufgrund von Toleranzen nicht voll geladen ist. Da die Spannung nach Überschreiten des vollgeladenen Zustandes wiederum sinkt, kann die Batterie mit dieser Methode auch gefährlich überladen werden. Der Spannungsverlauf vor dem vollgeladenen Zustand ist sehr flach und liegt nur wenig unterhalb des «Spannungshöckers», welcher als Abbruchkriterium genutzt werden könnte (Bilder 5 und 6). Ein Messfehler würde sich gravierend auswirken. Diese Methode wird hauptsächlich bei Blei-Säure-Systemen verwendet, da bei diesen der Spannungshöcker am deutlichsten erkennbar ist.

Ladespannungsanstieg (rate of voltage change $\Delta V/\Delta t$): Kurz vor dem vollgeladenen Zustand der Batterie steigt die Spannung an. Sobald ein Anstieg detektiert wird, wird der Ladevorgang abgebrochen. Die Methode ist somit unempfindlich gegenüber Spannungsabsolutwerten; sie setzt jedoch voraus, dass die Ladekurve der Batterie wiederholgenau ist. Dies ist aber nicht in allen Fällen so. In Wirklichkeit beeinflussen Alter, Temperatur und andere Einflüsse diesen Anstieg.

Ladespannungs-Wendepunkt (inflection point cutoff $d^2V/dt^2 = 0$): In der Nähe des 100-%-Ladezustands liegt immer ein Ladespannungs-Wendepunkt (Bilder 5 und 6). Die Spannung in der Nähe der Volladung steigt zunächst stark an (vor allem bei den Bleisystemen) und erreicht schliesslich einen Höhepunkt, um danach erneut zu sinken. Die Bestimmung und die Benützung des Ladespannungs-Wendepunktes als Ladeabbruchkriterium ist eine der zuverlässigsten Methoden, um Batterien sehr schnell und sicher zu laden. Sie setzt eine recht komplexe Mathematik voraus, die jedoch mit Hilfe eines Mikroprozessors einfach in den Griff zu bekommen sein sollte.

Ladespannungsabnahme (voltage-decrement cutoff $-\Delta V$): Die Spannung einer vollgeladenen Batterie nimmt ab, wenn ein Ladestrom fliesst (siehe Bild 8). Diese Tatsache kann zunutze gemacht werden, um einen neuen Ladevorgang einer bereits geladenen Batterie abzubrechen. Die Ladespannungsabnahme tritt aber erst nach dem Erreichen einer 100-%-Ladung ein. Sie sollte somit nicht generell als Abbruchkriterium verwendet werden, da damit die Batterie jeweils immer ein wenig überladen würde.

Batterietypen im Ladeprozess

Verhalten der Nickel-Systeme und der Blei-Säure-Systeme

Das Bild 5 zeigt schematisch den Spannungs-, Druck- und Temperaturverlauf eines Nickel-Systems beim Ladevorgang. Dabei ist der sprunghafte Anstieg der Spannung in der Ladeendphase deutlich zu erkennen. Die entsprechenden Kurven für den Spannungs-, Druck- und Temperaturverlauf eines Blei-Säure-Systems beim Ladevorgang zeigt das Bild 6. Der sprunghafte Anstieg der Spannung in der Ladeendphase ist hier grösser als bei den Nickel-Systemen.

Welche Ladegeräte und Laderegler-Chips gibt es heute am Markt?

Auf dem Markt werden heute einige recht ausgereifte Laderegler-Chips angeboten. Jeder dieser ICs arbeitet nach ähnlichen Prinzipien, jedoch ist keiner speziell auf die DIN-Normen zugeschnitten. Fast alle ICs beschränken sich auf das optimale Laden von Nickel-Cadmium- oder Nickel-Hydrid-Systemen. Bei den Blei-Säure-Systemen verwenden die ICs denselben Ladevorgang, jedoch mit unterschiedlichen Parametern. Das Laden von Batterien ist eine Philosophiefrage. Mindestens zwei Welten prallen hier aufeinander – jene der Chemiker und die der Elektroniker. Die Tabelle IV gibt eine Auflistung von Ladereglern; sie ist aber unvollständig, da fast monatlich neue Chips erscheinen.

Vorschlag für einen integrierten Laderegler

Zielsetzung

Die handelsüblichen Laderegler-IC und Ladegeräte haben den Nachteil, dass sie nur für bestimmte Applikationen entwickelt wurden und daher einen beschränkten Einsatzbereich haben. Die Mikroelektronik schafft nun aber die Möglichkeit, universelle Laderegler zu bauen, welche für alle aktuellen Batterietypen einsetzbar sind. Das folgende Konzept für einen solchen Laderegler könnte mit Hilfe der Mikroelektronik realisiert werden.

Allgemeine Überlegungen

Eine gute Methode, Batterien zu laden, ist die Nachladung der mit dem Ladefaktor oder Ah-Wirkungsgrad multiplizierten entnommenen Kapazität; diese Methode wird

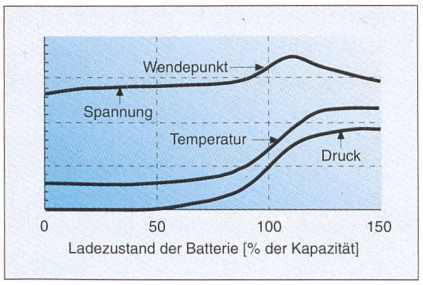

Bild 5 Ladekennlinien einer Nickel-Cadmium-Batterie

Kurvenverläufe für einen Ladestrom von I_N

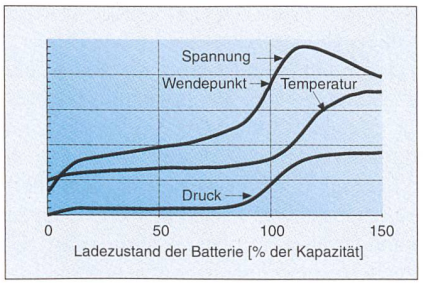

Bild 6 Ladekennlinien einer Blei-Säure-Batterie

Kurvenverläufe für einen Ladestrom von 3 I_N

auch als Coulometrische Methode bezeichnet. Leider führt sie zu einer unakzeptablen Fehlerfortpflanzung, so dass zusätzlich auf andere Weise detektiert werden muss, wann eine 100%ige Ladung erreicht ist. Die integrale Nachführung der zugeführten und entnommenen Kapazität ist somit nur ein Indiz für den Ladezustand der Batterie und gibt dem Anwender lediglich einen Anhaltspunkt, wie lange er beispielsweise mit seinem Vehikel noch fahren kann – oder wie lange sein Handy noch sendet. Nach einer durchgeführten Volladung muss der Kapazitätswert jeweils auf seinen Initialzustand, die Nennkapazität, gesetzt werden.

Auch Kapazitätsberechnungen mit Hilfe der Bestimmung des Innenwiderstandes sind sehr ungenau, da der Innenwiderstand der Batterie nicht nur von der Restkapazität, sondern auch von der Temperatur abhängt. Die Bestimmung des Innenwiderstandes gibt dagegen einen Anhaltspunkt über das Alter der Batterie (Bild 7). Sobald er über einen bestimmten Wert steigt – beispielsweise im vollgeladenen Zustand gemessen –, sollte die Batterie ausgewechselt werden. Mit dem Batteriealter ändert sich auch der Ladefaktor. Die Zusammenhänge sind jedoch kompliziert, und die Reproduzierbarkeit ist beschränkt. Das Laden einer Batterie bleibt eine empirische Angelegenheit und kann nur annähernd optimal erfolgen.

Alle Laderegler-IC haben zudem noch das Problem, dass sie einen einzelnen Zellenschluss bei in Serie geschalteten Zellen nicht signalisieren. Würde bei Zellenschluss aufgrund der Ladeendspannung geladen, so würden alle noch intakten Zellen überladen. Dies spielt zwar bei den meisten Laderegler-IC keine Rolle, da sie mit anderen Ladeabbruchkriterien arbeiten. In neuerer Zeit eröffnen preisgünstige Halbleiter aber mehr und mehr auch die Möglichkeit der Integration von Lade- und Überwachungsfunktionen direkt in die Batterie, so dass jede einzelne Zelle überwacht und geladen werden könnte. Speziell beim Parallelschalten von Zellenblöcken wäre dieses Vorgehen von grosser Wichtigkeit.

Konzept für universelles Ladegerät

Ein gutes Optimum wird durch ein programmierbares Konstantstrom-Ladegerät erreicht. Damit können eine Vielzahl von Ladevorgehen realisiert werden. Auch zukünftige Batteriesysteme mit möglicherweise speziellen Ladevorgängen könnten damit geladen werden. Allerdings ist bei einem solchen Gerät darauf zu achten, dass die Quellspannung der Stromquelle nicht allzu hoch liegt, vor allem dann nicht, wenn es sich um ein externes Ladegerät handelt

Gerät	Features	Nachteil
Temic U2400B automatic recharging of NiCd batteries (4)	• Ladezeitenvorwahl 0,5, 1 und 12 h • Überwachung der Batterietemperatur und des Batteriekontaktes • automatische Vorentladung der Batterie • Ladestromregelung mit PWM-Signal • Ladeabbruchkriterien: ϑ_{max}, V_{max} (Ladeendspannung) • trickle charge mode • Statusangabe via LEDs	keine Ladezustandsangabe; nur für NiCd-Akkus
Temic U2402B fast charge controller for NiCd/NiH batteries (4)	• Mehrfachgradientenüberwachung • Temperatur-Fenster-Überwachung • Batteriespannungs- und -temperaturüberwachung • Ladeabbruchkriterien: ΔV, $\Delta^2V/\Delta t^2$, V_{max} (Ladeendspannung) • trickle charge mode • Statusangabe via LEDs	keine Ladezustandsangabe
Philips U2402B battery monitor for NiCd/NiH chargers (5)	• stromlose Batteriespannungsmessung • Temperatur-Fenster-Überwachung mittels NTC • Ladeabbruchkriterien: $-\Delta V$, ϑ_{max}, V_{max} (Ladeendspannung) • trickle charge mode • Schnelladung mit 1–5 C • Statusangabe via LEDs	einfache Ladeabbruchkriterien
Zilog Z86B07 smart battery charging system (2)	• Batteriespannungs- und -temperaturmessung • Ladeabbruchkriterien: $-\Delta V$, $\Delta V/\Delta t$, $\Delta^2V/\Delta t^2$, $\Delta\vartheta/\Delta t$, V_{max} (Ladeendspannung), Ladezeit • serielles Interface • alle Parameter sind einstell- und skalierbar	
Benchmarq bq200x energy management unit (1)	• Restkapazitätsangabe in Prozent (mit LED-Ausgang) • Batteriespannungs-, -strom- und -temperaturmessung • Ladeabbruchkriterien: $-\Delta V$, $\Delta\vartheta/\Delta t$, ϑ_{max}, V_{max} (Ladeendspannung), t_{max} (maximale Ladezeit) • serielles Interface • alle Parameter sind einstell- und skalierbar	
Microchip MTA11200 intelligent battery management IC (3)	• digitaler Ah-Zähler integriert • Restkapazitätsangabe in Prozent (mit LED-Ausgang) • Batteriespannungs-, -strom- und -temperaturmessung • Ladeabbruchkriterien: $\Delta V/\Delta t$, $\Delta\vartheta/\Delta t$, V_{max} (Ladeendspannung), Ladezeit • serielles Interface RS 232 • alle Parameter sind einstell- und skalierbar	

Tabelle IV Technische Daten existierender Laderegler

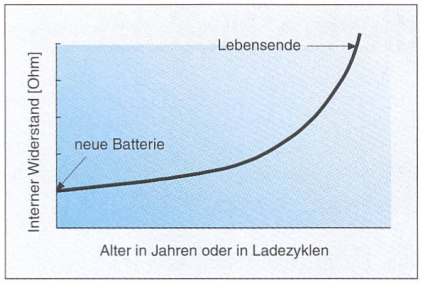

Bild 7 Innenwiderstand einer Batterie als Funktion ihres Alters

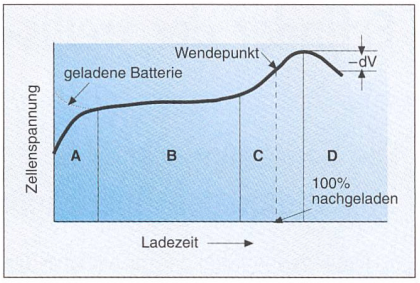

Bild 8 Phasen des Batterieladeprozesses

(Elektrisierungsgefahr). Die Quellspannung sollte ebenfalls einstellbar sein. Um einen hohen Grad an Universalität zu erhalten, muss ein Laderegler in der Lage sein, folgende Grössen zu erfassen und zu verarbeiten:

- Messung und Regelung der Lade- und Entladeströme
- Messung der Batteriespannung
- Messung der Batterietemperatur
- Messung der Lager-, Lade- und Entladezeiten
- Steuerung des Ladestromes und der Quellspannung mittels PWM
- Berechnung des Ladezustandes in Ah
- Berechnung der verbleibenden Kapazität in Prozent
- Detektion oder Berechnung eines Zellenschlusses
- Einstellmöglichkeiten für: Batterietyp, Zellenzahl, Ladeverfahren, Kapazität, Selbstentladerate, Ladefaktor (Verhältnis aus $Ah_{Nachzuladen}/Ah_{Entnommen}$), Initial-Ladezustand
- optional sollte der Innendruck einer Batterie überwacht werden können

Lade-/Entladezyklus und Funktionalitäten des Ladegerätes

Ein universelles Ladegerät sollte die folgenden Funktionen ausführen können. Dabei wird angenommen, dass während der Energieentnahme aus der Batterie nicht nachgeladen wird, das heisst, dass die Lade- und Entladezyklen zeitlich voneinander getrennt stattfinden.

1. Energieentnahme

- Kapazitätsbestimmung (Ah)
- Überwachung der Entladeschlussspannung
- Bestimmen des Innenwiderstandes. Der Innenwiderstand dient der Altersbestimmung der Batterie. Unmittelbar nach einem Ladevorgang wird der Innenwiderstand bestimmt. Sollte er einen gewissen Wert übersteigen, kann angenommen werden, dass die Batterie ausgewechselt werden muss.
- Temperaturüberwachung
- Signalisieren von Fehlerzuständen

2. Ladevorgang

- Sobald das Vorhandensein der externen Energieversorgung detektiert wird, beginnt die Ladephase.

2.1 Batteriezustandsbestimmung (Bild 8, Teil A)

- Test, ob die Batterie angeschlossen ist (V_{Min}-Bestimmung aufgrund der Zellenzahl und des Batterietyps)
- Temperaturmessung; die Batterie kann nur innerhalb eines bestimmten Temperaturfensters geladen werden: NiCd: zulässig –20 bis +50 °C, besser 10 bis 35 °C; Nickel-Hydrid: zulässig 0 bis 45 °C, besser 10 bis 35 °C; Blei-System: –10 bis +60 °C
- Test, ob Batterie nicht schon vollgeladen ist, mit Hilfe einer $-\Delta V$-Bestimmung. Dabei wird die Batterie während ungefähr 30 s mit Maximalladestrom geladen, und die Spannung wird beobachtet. Fällt die Spannung innerhalb dieser Zeit um einen bestimmten Betrag, kann angenommen werden, dass die Batterie bereits geladen ist.

2.2 Ladevorgang (Bild 8, Teil B)

- In dieser Phase wird mit Maximalstrom geladen. Dabei wird die Kapazität in Ah ständig nachgeführt, die Spannung, die Temperatur und die Ladezeit überwacht. Alle Angaben können auch als Abbruchkriterium aktiv werden, sobald diese gewisse Grenzwerte überschreiten. Als Grenzwerte können folgende Richtwerte angenommen werden: geladene Kapazität >1,4 Nennkapazität; Temperatur > Maximaltemperatur; Ladezeit >1,4 Nennkapazität/ Ladestrom; optional: Druck > zulässiger Batteriedruck.

2.3 Ladevorgang Endphase (Bild 8, Teil C)

- In der Ladeendphase wird versucht, den Ladespannungswendepunkt zu eruieren. Dies geschieht durch Bildung der zweiten Ableitung der Ladespannungskurve. Sobald dieser Wert Null wird, kann der Ladevorgang abgebrochen werden. In dieser Phase werden die unter Punkt 2.2 erwähnten Kriterien weiterhin nachgeführt!

2.4 Erhaltungsladung (Bild 8, Teil D)

- Trickle charge (gepulster Gleichstrom): Mit dieser Methode soll verhindert werden, dass nach einem erfolgten Ladevorgang die Batterie sich durch die Selbstentladung wieder entlädt. Bei Nickel-Systemen ist der Erhaltungsladestrom viel kleiner als bei Blei-Säure-Systemen.

Realisierung

Ein Gerät, welches den angegebenen Kriterien Rechnung trägt, dürfte einen optimalen Kompromiss eines universellen Ladereglers für heute gängige und auch zukünftige Batteriesysteme darstellen. Mit Hilfe moderner Mikroelektronik lassen sich die zahlreichen Funktionen ohne weiteres realisieren. Es kann erwartet werden, dass so hergestellte Geräte nicht nur zuverlässiger funktionieren, sondern sich auch noch kostengünstiger herstellen lassen. Bereits nach diesem Konzept realisiert – allerdings noch in konventioneller Mikroprozessortechnik – wurde das obenerwähnte Batteriemanagementsystem des Soltaxi-Unternehmens, welches seit bald zwei Jahren erfolgreich im Einsatz steht.

Des régulateurs de charge modernes pour les types actuels de batteries

La microélectronique moderne permet d'accélérer le processus de charge des systèmes de batteries. Les chargeurs deviennent en outre plus fiables et peuvent être fabriqués à moindres frais. En même temps, il est possible de prolonger la durée de vie des batteries. Le présent article donne un aperçu des différentes batteries rechargeables (voir tableaux I–III) et des chargeurs correspondants (tableau IV). Il décrit en particulier le comportement de charge de ces systèmes ainsi que les critères de fin de charge utilisés par les régulateurs de charge actuellement disponibles dans le commerce, avec leurs avantages et leurs inconvénients (fig. 1–8). En conclusion, il présente un concept de régulateur de charge universel destiné aux systèmes de batteries actuels et futurs, réalisable à l'aide de la microélectronique moderne.

Marconi-Preis 1996 für Erfinder der trellis-codierten Modulation

Die Marconi-Stiftung hat ihren mit 100 000 Dollar dotierten Marconi Fellowship Award 1996 Gottfried Ungerböck vom IBM Forschungslaboratorium Zürich verliehen. Zugesprochen wurde ihm diese hohe Anerkennung für die Entwicklung der «trellis-codierten Modulation», die in der modernen digitalen Übertragungstechnik und insbesondere für Telefonmodems fundamentale Bedeutung erlangte.

Der Marconi Fellowship Award gilt als «Nobelpreis der Telekommunikation» und wird seit 1974, dem 100. Geburtstag des Radiopioniers Guglielmo Marconi, jährlich für bahnbrechende Leistungen in Wissenschaft und Technologie der Telekommunikation verliehen. Gottfried Ungerböck begann die Entwicklung der trellis-codierten Modulation 1975, als es noch kaum für möglich gehalten wurde, digitale Daten über analoge Telefonverbindungen mit einer höheren Geschwindigkeit als 9600 Bit/s zu übertragen. Signalverzerrungen und Rauschen in der Leitung verhinderten den fehlerfreien Empfang von Datensignalen bei höheren Übertragungsraten. Zur Umsetzung von Daten in elektrische Signale erfand Ungerböck eine neue Methode, welche höhere Übertragungsraten ermöglichte. Trellis-codierte Modulation wurde erstmals 1984 in einem internationalen Standard für Telefonmodems eingeführt. Die weitere Entwicklung der Modemtechnologie und eine allgemeine Verbesserung der Übertragungsqualität im öffentlichen Telefonwahlnetz erlauben heute die zuverlässige Übertragung von Daten mit Raten bis zu 28 800 Bit/s. Die Technik der trellis-codierten Modulation hat für die Nachrichtentechnik allgemeine Bedeutung. Sie wird in zunehmendem Masse in neuen Systemen für drahtgebundene und drahtlose Nachrichtenübertragung eingesetzt.

Gottfried Ungerböck wurde am 15. März 1940 in Wien geboren. Er schloss 1964 das Studium der Elektro- und Nachrichtentechnik an der Technischen Universität Wien ab und promovierte 1970 zum Dr. sc. tech. an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich. Seit 1978 führt Gottfried Ungerböck Projekte im Bereich der Signalverarbeitung am IBM Forschungslaboratorium Zürich. Gegenwärtig leitet er eine Forschungsgruppe, die sich mit der digitalen Übertragung über Telefonkabel im lokalen Bereich mit Raten bis 100 MBit/s und mit Modems für Datenübertragung über TV-Kabelsysteme befasst. *IBM*

Die Bedeutung der TCM in der digitalen Übertragungstechnik

Die Geschwindigkeit, mit welcher Daten über Nachrichtenkanäle wie Telefonverbindungen oder Satellitenübertragungsstrecken mit hinreichend kleiner Fehlerhäufigkeit übertragen werden können, wird durch die Bandbreite des Übertragungsmediums und das Verhältnis der Leistung des empfangenen Nutzsignals zur Leistung der überlagerten Störsignale begrenzt. Die grundsätzlichen Zusammenhänge wurden von Claude E. Shannon in seinen richtungweisenden, in den Jahren 1948–59 veröffentlichten Arbeiten aufgezeigt. In der digitalen Übertragungstechnik wurden die Gebiete der Modulation und der Codierung lange getrennt betrachtet. Unter Modulation versteht man die Umsetzung von digitalen Nachrichtensymbolen in amplituden-, phasen- oder frequenzvariierte Einzelsignale, welche seriell vom Sender zum Empfänger übertragen und von letzterem aufgrund ihrer diskreten Eigenschaften erkannt werden. Die Häufigkeit dabei auftretender Entscheidungsfehler hängt von dem Abstand zwischen zugelassenen Modulationswerten und der Leistung der Störsignale ab. Der Begriff Codierung bezieht sich in der Regel auf Methoden zur Fehlererkennung und Fehlerkorrektur durch Übertragung zusätzlicher Prüfsymbole, welche die Erkennung von Fehlern in der empfangenen Folge von Nachrichtensymbolen und gegebenenfalls deren Korrektur ermöglichen.

Bei dem Verfahren der trellis-codierten Modulation (TCM, trellis = Gitter), welches erstmals 1976 von Gottfried Ungerböck vom IBM Forschungslaboratorium Zürich vorgeschlagen und 1982 in der Fachliteratur veröffentlicht wurde, handelt es sich um eine enge Verflechtung von Modulation und fehlerkorrigierender Codierung. Das wesentliche Merkmal besteht darin, dass anstelle zusätzlich zu sendender Prüfsymbole Einzelsignale mit einer erhöhten (redundanten) Anzahl von möglichen Modulationswerten (z. B. Achtphasen- anstelle von Vierphasen-Signalen) zugelassen werden. Daraus werden mit Hilfe eines sogenannten Faltungscodierers, wie er aus der fehlerkorrigierenden Codierung bekannt ist, nur solche Folgen von Signalen gebildet, die sich – als Folge betrachtet – aufgrund erzwungener Abhängigkeiten zwischen aufeinanderfolgenden Signalen möglichst stark voneinander unterscheiden. Als Unterscheidungskriterium wird nicht, wie bei fehlerkorrigierender Codierung üblich, die Anzahl von unterschiedlichen Symbolen verwendet, sondern die geometrische Distanz zwischen Folgen von Signalen. Zur Decodierung dient der von Andrew J. Viterbi 1967 vorgestellte Viterbi-Decodierungsalgorithmus. Bei Verwendung traditioneller fehlerkorrigierender Codierung musste eine Verringerung der Fehlerhäufigkeit wegen der zusätzlich zu sendenden Prüfsymbole stets mit einer Einbusse an effektiv erzielter Datenrate erkauft werden. Die neue Form einer «kombinierten Codierung und Modulation» ermöglicht die Erzielung niedriger Fehlerraten ohne Datenratenverlust oder die Erreichung höherer Datenraten bei gegebener Fehlerrate.

Zur Veranschaulichung der TCM kann der folgende Vergleich dienen: Ein Text, bestehend aus einer vorgegebenen Anzahl von Buchstaben aus einem 26-Zeichen-Alphabet, wird durch einen gleichbedeutenden Text gleicher Länge mit Buchstaben aus einem neuen 52-Zeichen-Alphabet ausgedrückt. Der grössere Zeichenvorrat ermöglicht die Einbringung von zusätzlichen grammatikalischen Regeln für zulässige Folgen von Buchstaben. Dadurch wird bei schlecht lesbaren Buchstaben die Erkennbarkeit des richtigen Textes gesamthaft verbessert, obwohl einzelne Zeichen des erweiterten Alphabets nun weniger leicht unterscheidbar sein können.

TCM fand erstmals 1984 Eingang in die Empfehlung V.32 der International Telecommunications Union (ITU) für die Datenübertragung über das öffentliche Telefonnetz mit einer Rate von 9600 Bit/s. Nach der neuesten ITU-Empfehlung V.34 werden Raten bis 28 800 Bit/s erreicht. TCM und davon abgeleitete Methoden finden zunehmend Verwendung in allen Gebieten der digitalen Nachrichtenübertragung. Einen ausführlichen Artikel über die trellis-codierte Modulation publizierte Gottfried Ungerböck bereits im Bull. SEV/VSE 78(1987)15, S. 904–910 und wurde dafür mit dem ITG-Preis 1987 ausgezeichnet.