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: 71 (1980)

Heft: 13

Artikel: Bereitschafts-Parallel-Betrieb mit Nickel-Kadmium-Akkumulatoren

Autor: Eberli, P.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905267

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: 09.12.2025

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

Bereitschafts-Parallel-Betrieb mit Nickel-Kadmium-Akkumulatoren

Von P. Eberli

621.355.82:621.354.322;

Es wird die Verwendung des nicht gasdichten Taschenplatten-Nickel-Kadmium-Akkumulators im Bereitschafts-Parallel-Betrieb sowie die sich aus dieser Betriebsart ergebenden Besonderheiten am Lade- und Speisegerät beschrieben.

Description de l'emploi de l'accumulateur ouvert au nickel-cadmium, à plaques à pochettes, pour fonctionnement de secours en parallèle, ainsi que des particularités de l'appareil de charge et d'alimentation, dues à ce mode de service.

1. Definition des Bereitschafts-Parallel-Betriebes

Bei dieser Betriebsart sind Lade- und Speisegerät, Akkumulator und Verbraucher dauernd parallel geschaltet. Bei Netzbetrieb hält das Lade- und Speisegerät den Akkumulator in geladenem Zustand und speist gleichzeitig die Verbraucher. Nur bei Netzausfall übernimmt der Akkumulator unterbruchslos während einer begrenzten Zeit die Weiterspeisung der Verbraucher. Bei Netzrückkehr liefert das Lade- und Speisegerät gleichzeitig den Akkumulatorenlade- und den Verbraucherspeisestrom.

2. Akkumulatorenlademethode bei Bereitschafts-Parallel-Betrieb

Ursprünglich wurde der Nickel-Kadmium-(NiCd)Akkumulator beinahe ausschliesslich für Lade- und Entladebetrieb (Zyklenbetrieb) eingesetzt, d.h. für eine Betriebsart, bei welcher das Ladegerät nie mit den Verbrauchern in elektrischer Verbindung steht. In neuerer Zeit wird aber auch dieser Akkumulator wegen seinen speziellen Eigenschaften für den Bereitschafts-Parallel-Betrieb verwendet. Das Ladegerät wird so gleichzeitig auch zum Speisegerät und muss nicht nur den Akkumulator aufladen und anschliessend geladen halten, sondern gleichzeitig auch für die Verbraucherspeisung innerhalb vorgeschriebener Spannungsgrenzen aufkommen.

Bei einer Anlage mit Bleiakkumulator können diese drei Erfordernisse bekanntlich in den meisten Fällen mit einem nach der Konstantstrom-Konstantspannungs-Charakteristik (IU-Kennlinie nach DIN 41 772) arbeitenden Gerät erfüllt werden. Die Spannungsregulierung des Gerätes verhindert den weiteren Spannungsanstieg, sobald der Bleiakkumulator bei der Wiederaufladung die sog. Schwebeladespannung erreicht hat. Trotz dieser Begrenzung lädt sich der Akkumulator wenn auch in etwas längerer Zeit vollständig auf und reduziert seine Stromaufnahme auf einen minimalen, für die Ladeerhaltung gerade ausreichenden Wert und dies, ohne dass die Geräte-Spannungsbegrenzung geändert wird. So wird auf eine verhältnismässig einfache Art erreicht, dass die Spannungsdifferenz zwischen der Endentladespannung des Bleiakkumulators und der für seine Wiederaufladung und Ladeerhaltung genügenden Schwebeladespannung für die meisten Verbraucherarten noch zuträglich bleibt.

Etwas anders liegt das Verhältnis beim NiCd-Akkumulator. Dieser unterscheidet sich vom Bleiakkumulator dadurch, dass die vom Lade- und Speisegerät vorgegebene Schwebeladespannung zwar zur Erhaltung der Ladung jedoch nicht zur Wiederaufladung nach der teilweisen oder vollen Entladung ausreicht. Wird ein NiCd-Akkumulator nach der Entladung an ein auf die normale Schwebeladespannung von 1,40...1,42 V pro Zelle eingestelltes Gerät angeschlossen, so kann selbst nach wochenlanger Ladezeit festgestellt werden, dass die einzelnen Akkumulatorzellen die Ladung nur ungleichmässig und unvollständig annehmen. Ein Lade- und Speisegerät mit IU-Kennlinie (DIN 41 772, Beiblatt 2) für Bereitschafts-Parallel-Betrieb mit Bleiakkumulatoren eignet sich daher nicht für den Einsatz mit NiCd-Akkumulatoren.

3. Bereitschafts-Parallel-Betrieb mit einem auf den NiCd-Akkumulator abgestimmten Lade- und Speisegerät

Um mit dem NiCd-Akkumulator trotzdem einen einwandfreien Bereitschafts-Parallel-Betrieb zu gewährleisten, werden die Eigenschaften des die Volladung erlaubenden Zyklusladegerätes mit denjenigen des den Dauerlade- und Speisebetrieb ermöglichenden Bleidauerladegerätes kombiniert. Das Lade- und Speisegerät wird grundsätzlich wie für eine Bleibatterie mit Konstantstrom-Konstantspannungscharakteristik ausgelegt. Zusätzlich enthält es aber die sog. Hochladeeinrichtung, deren Funktion anhand von Fig. 1 erläutert wird:

Bei einem Netzausfall wird der Akkumulator während der Zeit t_{11} mit dem Dauerverbraucherstrom I_2 bis auf die Entladespannung U_5 vor der Netzrückkehr entladen. Der Akkumulator befindet sich somit in einem meist undefinierten teilentladenen Zustand. Würde der Netzausfall länger andauern, so müssten die Verbraucher schliesslich beim Erreichen der Entladespannung U_6 abgeschaltet werden, um die Akkumulatorentiefentladung und das Unterschreiten der zulässigen Verbraucherspannung zu verhindern.

Bei der Netzrückkehr übernimmt das Lade- und Speisegerät erneut die Verbraucherspeisung und gleichzeitig die Akkumulatoraufladung. In der ersten Ladephase t_8 fliesst der vom Gerät begrenzte maximale Ausgangsstrom I_1, dessen Grösse meist so bemessen wird, dass neben dem maximal auftretenden Verbraucherstrom I_2 noch etwa 0,05...0,23 A/Ah Ladestrom für den Akkumulator verbleiben. Zum besseren Verständnis des Ladevorganges wird vorerst angenommen, dass das Lade- und Speisegerät über keine Spannungsbegrenzungseinrichtung verfügt. Dann steigt die Akkumulator- und damit die Verbraucherspannung langsam an. Wenn der Akkumulator etwa ⅔ der Ladung aufgenommen hat, beschleunigt sich dessen Spannungsanstieg merklich, um schliesslich wieder verlangsamt auf den Maximalwert U_7 anzusteigen. Diese Spannung wird nun vom Akkumulator beinahe unverändert beibehalten, bis er nach Aufnahme der ca. 1,4fachen der zuvor entladenen Strommenge den Volladezustand erreicht. In diesem Moment müsste der Ladestrom zur Vermeidung einer Überladung unterbrochen werden. Bei Zyklenbetriebsladegeräten wird dies auch tatsächlich meist automatisch mittels einer durch ein Spannungsrelais gesteuerten Abschaltzeituhr bewirkt. Das Relais wird so eingestellt, dass es während dem beschleunigten Spannungsanstieg bei dem Spannungswert U_1 anspricht und die Zeituhr einschaltet. Diese unterbricht die Ladung nach der erfahrungsgemäss ermittelten Nachlaufzeit t_7.

Fig. 1 zeigt, dass diese Konstantstromladung (Charakteristik Ia) im Falle eines Bereitschafts-Parallel-Betriebes nicht bis zum Ladeende durchgeführt werden darf, da einerseits die maximal zulässige Verbraucherspannung U_2 meistens überschritten wird (gestrichelte Spannungskurve) und anderseits die Ladung am Ende unterbrochen werden muss. Die Hochladeeinrichtung hat somit die Aufgabe, die Ladespannung automatisch zu begrenzen, sobald diese den an den Verbrauchern maximal zulässigen Wert U_2 erreicht. Um trotzdem eine sichere Volladung zu gewährleisten, muss die Zellenspannung wie in zahlreichen Versuchen ermittelt wurde, beim Erreichen von U_2 mindestens 1,55 V betragen. Deshalb darf die Zellenzahl des Akkumulators nie grösser als $U_2/1{,}55$ sein. Die Zeiteinstellung der Nachlaufuhr muss gegenüber der I_a Kennlinien-Ladung beträchtlich verlängert werden, da jetzt die Ladestromaufnahme des Akkumulators beim Erreichen der Spannungsbegrenzung U_2 nicht mehr konstant bleibt, sondern sinkt (Zeitabschnitt t_9). Die zu wählende Zeiteinstellung hängt im wesentlichen von der Ladestromstärke während der Zeit t_8, der Höhe der Hochladespannungsbegrenzung U_2 und der eingestellten Relaisansprechspannung U_1 ab. Wenn die Volladung

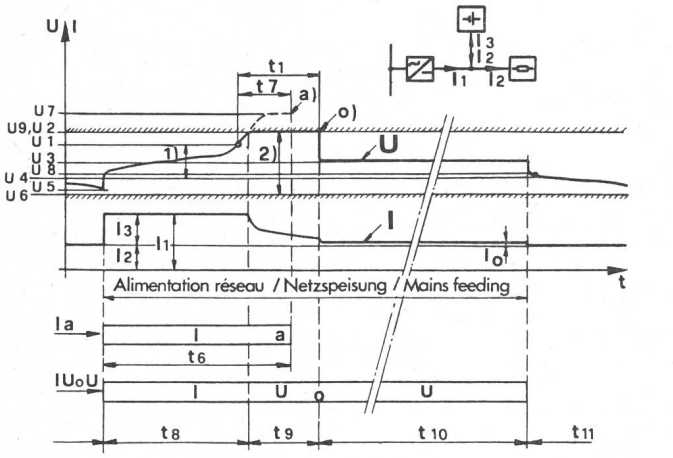

Fig. 1 Lade- und Entladevorgang mit Hochladeeinrichtung

Symbole der Figuren 1...4 und der Tabelle I

U_1 Steuerrelais-Ansprechspannung für Zeituhreinschaltung
U_2 Hochladespannungsbegrenzung
U_3 Schwebeladespannungsbegrenzung
U_4 Steuerrelais-Rückstellspannung
U_5 Entladespannung vor der Netzrückkehr
U_6 Endentladespannung und minimale Verbraucherspannung
U_7 Max. Akkumulatorenspannung, wenn Ladegerät nicht spannungsbegrenzt ist
U_8 Steuerrelais-Abfallspannung
U_9 Maximal zulässige Verbraucherspannung

I_0 Ladeerhaltestrom
I_1 Begrenzter Ladegerätstrom
I_2 Dauerverbraucherstrom
I_3 Ladestrom

t_1 Nachlaufzeiteinstellung bei IU_oU-Kennlinienladung
t_6 Totale Aufladezeit bei I_a-Kennlinienladung
t_7 Nachlaufzeiteinstellung bei einer I_a-Kennlinienladung
t_8 Hochladezeitdauer im Strombegrenzungsbereich
t_9 Hochladezeitdauer im Spannungsbegrenzungsbereich
t_{10} Schwebeladedauer
t_{11} Entladezeitdauer während Netzausfall
t_{12} Zeitspanne von Netzrückkehr bis Wegschalten des Nebenakkumulators

a) Ladeabschaltung
0) Spannungsbegrenzungs-Umschaltung durch Zeituhr
1) Steuerrelaishysterese
2) Verbraucherspannungstoleranz

I_a Charakteristik für Zyklenbetrieb
IU_oU Charakteristik für Bereitschafts-Parallel-Betrieb

Praktische Richtwerte der Hochladeeinrichtung Tabelle I

I_3 (A/Ah)	I_0 (A/Ah)	U_1 (V)	U_2 (V)	U_3 (V)	t_1 (h)	T_{tot} (h)
0,05	~ 0,001	1,50	1,55	1,40	30	52
0,05	~ 0,001	1,55	1,60	1,40	6	28
0,1	~ 0,001	1,50	1,55	1,40	37½	47
0,1	~ 0,001	1,60	1,65	1,40	14	24
0,1	~ 0,001	1,70	1,75	1,40	2½	14
0,2	~ 0,001	1,50	1,55	1,40	27½	32
0,2	~ 0,001	1,60	1,65	1,40	8½	13½
0,2	~ 0,001	1,70	1,75	1,40	2½	7½

$U_1 ... U_3$ Spannungen pro Zelle.

bei Punkt 0) abgeschlossen ist, schaltet die Zeituhr die Ladung nicht ab, sondern auf die sog. Schwebeladespannungsbegrenzung U_3 von 1,40...1,42 V pro Zelle um. Unter dieser verminderten Spannung U_3 nimmt der Akkumulator nur noch einen sehr kleinen Strom I_0 auf, der gerade zur Ladeerhaltung bzw. zur Kompensation der Selbstentladung genügt. Diese dauernd zulässige Spannung U_3 reduziert den Wasserverbrauch, die Wärmeentwicklung und den Energieverbrauch auf äusserst geringe Werte und stimmt meistens auch recht genau mit der Nennspannung der Verbraucher überein, was deren Lebensdauer günstig beeinflusst.

In Tabelle I sind die zur Funktion dieser Hochladeeinrichtung verwendbaren Richtwerte angegeben, und zwar für die häufig gewählten spezifischen Ladeströme I_3 von 0,05 A/Ah; 0,1 A/Ah und 0,2 A/Ah und die Hochladespannungsbegrenzungen U_2 von 1,55 V, 1,65 V und 1,75 V/Zelle. Diese wie auch andere Erfahrungswerte beziehen sich auf nicht gasdichte Taschenplatten NiCd-Akkumulatoren.

Die Werte gelten im Bereiche einer Umgebungstemperatur von 20 °C. Bei dauernd stärker abweichender Umgebungstemperatur sollen die Spannungen umgekehrt zur Temperatur verändert werden und zwar um ca. 3 mV pro Zelle und °C.

Der Akkumulator kann nun über Wochen und Monate (t_{10}) im Schwebeladebetrieb verbleiben. Bei einem Netzausfall übernimmt er wegen der Parallelschaltung ohne jeden Unterbruch die Verbraucherspeisung. Er wird somit vom passiven wieder zum aktiven Glied, was dessen Stromrichtungsänderung und eine sofortige Spannungsabsenkung auf den Anfangsentladewert U_8 zur Folge hat. Die maximale Entladezeitdauer t_{11} ist durch die Verbraucherstromstärke I_2, die minimal zulässige Verbraucherspannung U_6 und die Umgebungstemperatur gegeben. Damit bei Netzrückkehr das Lade- und Speisegerät wieder automatisch mit der Hochladung beginnt, muss das die Nachlaufzeituhr steuernde Relais bei der ebenfalls exakt einstellbaren Rückstellspannung U_4 abfallen. Je nach Wahl von U_4 kann bewirkt werden, dass die Hochladung bereits bei einem nur wenige Sekunden oder aber erst nach einem mehrere Minuten dauernden Netzunterbruch wirksam wird. Bei sehr kurzen Netzausfällen oder Netzspannungsabsenkungen, bei denen der Akkumulator kaum fühlbar entladen wird, bleibt damit die Hochladung aus. Bei etwas längerer Entladezeit, wo die Relaisrückstellspannung U_4 gerade unterschritten, der Akkumulator aber nur schwach entladen wird, kann es vorkommen, dass die zeitlich fix eingestellte Hochladephase t_1 eine kurzzeitige Überladung des Akkumulators verursacht. Solche gelegentliche Überladungen wirken sich günstig aus,

da sie zum Ausgleichen der einzelnen Zellenspannungen beitragen und besonders bei sehr selten entladenen Akkumulatoren einer möglichen Elektrodenpassivierung entgegenwirken.

Während der Hochladezeit t_9 muss weiter beachtet werden, dass die Zellen je nach gewählter Hochladespannung U_2 mehr oder weniger stark gasen. Das durch Elektrolyse des sich im Kaliumelektrolyten befindenden Wassers entwickelnde Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch kann explodieren, wenn der Wasserstoffanteil in der Batterieraumluft gleich oder grösser als 3,8 % wird. Nach DIN 57510 muss daher die Batterieschrank- oder Raumbelüftung folgendermassen bemessen werden:

$Q = 55 \times n \times I$ (Stationäre Anlagen und Landfahrzeuge)
$Q = 110 \times n \times I$ (Schiffe)

Q Belüftung in l/h
n Zellenzahl des NiCd-Akkumulators
I Ladestrom bei Hochladespannung $U_2 = 1{,}55$ V/Zelle: 4 A/100 Ah

Ladestrom bei Hochladespannung $U_2 > 1{,}55$ V/Zelle: Effektiver Ladestrom des IU_0U-Ladegerätes während der Hochladung, dann 4 A/100 Ah im Schwebeladebetrieb.

Ebenso muss kontrolliert werden, dass die Elektrolyttemperatur in der am ungünstigsten plazierten Zelle 45 °C nicht überschreitet, da sonst eine Lebensdauereinbusse zu befürchten ist. Als Richtwerte können angenommen werden:

Ladung $I_3 = 0{,}2$ A/Ah bis auf $U_2 = 1{,}55$ V/Zelle: $\Delta T \approx 1{,}5$ °C
Ladung $I_3 = 0{,}2$ A/Ah bis auf $U_2 = 1{,}65$ V/Zelle: $\Delta T \approx 2{,}5$ °C
Ladung $I_3 = 0{,}1$ A/Ah bis auf $U_2 = 1{,}55$ V/Zelle: $\Delta T \approx 1$ °C
Ladung $I_3 = 0{,}1$ A/Ah bis auf $U_2 = 1{,}65$ V/Zelle: $\Delta T \approx 2$ °C

Diese Kontrolle ist besonders wichtig bei Anlagen, die in tropischen Gegenden zum Einsatz kommen.

4. Enge Verbraucherspannungstoleranzen

Für zahlreiche Verbraucherarten ist das sich aus der Akkumulatorcharakteristik ergebende Spannungsband mit U_2 als maximale Spannung zu breit. Wenn z. B. bei einer in der Praxis häufig vorhandenen Verbraucherspannungstoleranz von U_n +10 % (= U_2), −15 % (= U_6) die Zellenzahl gemäss früher erwähnter Formel $n = U_2/1{,}55$ festgelegt wird, kann festgestellt werden, dass beim Erreichen von U_6 die Akkumulatorenzellenspannung erst auf U_6/n, d.h. 1,2 V, gesunken ist und dass der Akkumulator nur einen Teil seiner Energie abgegeben hat. Die Einhaltung der Verbrauchertoleranz führt daher zu einer schlechten Akkumulatorenausnützung. Besonders bei Anlagen mit hoher spezifischer Strombelastung (Kurzzeitentladungen) muss die Nennkapazität überdimensioniert werden, was zu grösserem Platzbedarf und hohen Kosten führt.

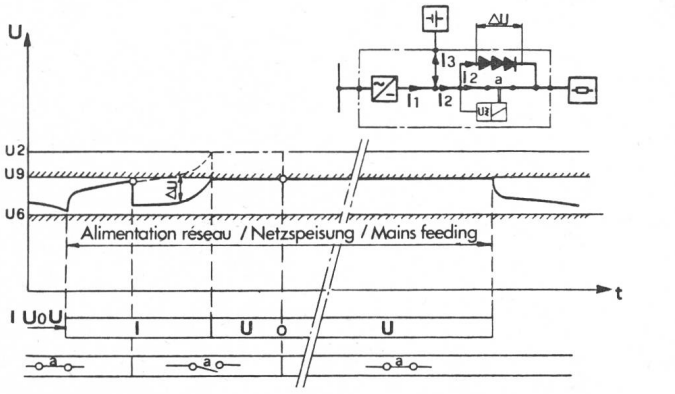

Fig. 2 Betrieb mit der Gegendiodenschaltung

Es gibt jedoch verschiedene Verfahren, die das bestmögliche Ausnützen des Akkumulators auch bei engeren Verbraucherspannungstoleranzen erlauben.

4.1 Lade- und Speisegeräte mit Gegendiodenschaltung

Bei kleineren Bereitschafts-Parallel-Betriebsanlagen wird mit Hilfe einer Anzahl in Serie geschalteten Selen-Gegendioden verhindert, dass die Spannung am Verbraucher über den zulässigen Wert ansteigt.

Wie in Fig. 2 ersichtlich, wird der Diodenüberbrückungsschütz geöffnet, sobald die Spannung U_9 überschritten wird. Damit vermindert sich die Spannung am Verbraucher um 0,6 V mal die Anzahl der Gegenzellen, und die Hochladespannung am Akkumulator darf weiter ansteigen, bis die maximal zulässige Verbraucherspannung U_9 erneut erreicht wird. In der Praxis wird angestrebt, die Schwebeladespannung U_3 nicht höher als die zulässige Verbraucherspannung U_2 festzulegen, damit die Energie verbrauchenden Gegendioden nur während der Akkumulatorenhochladung benötigt werden. Unter dieser Voraussetzung errechnet sich die Akkumulatorenzellenspannung bei der minimal zulässigen Verbraucherspannung U_6 für das Beispiel U_n + 10 %, −15 % mit $n = 1{,}1\ U_n/U_3$ zu U_6/n.

Bei einer Schwebeladespannung $U_3 = 1{,}4$ V pro Zelle ergibt sich somit eine minimale Zellenspannung von ca. 1,1 V, was bei nicht allzu hohen Entladeströmen und kurzen Entladezeiten eine noch vernünftige Ausnützung der Akkumulatorenkapazität erlaubt. Für die Normalplattenzellen der IEC-KPM.P-Typenreihe dürfen folgende prozentuale Ausnützungswerte bezogen auf die Nennkapazität C 5 angenommen werden:

5stündige Entladedauer: ca. 100 %
3stündige Entladedauer: ca. 93 %
1stündige Entladedauer: ca. 64 %

Die maximal auftretende Hochladespannung U_2 ergibt sich aus 1,55 V/Zelle × n. Die von den Gegendioden zu reduzierende Spannung beträgt $(U_2 - U_9) = \Delta U$ und die zu vernichtende Energie $\Delta U \times I_2$. Die Wärmeenergie, die nur während der Hochladephase abgegeben wird, muss von der Umgebungsluft abgeführt werden. Der Überbrückungsschütz kann durch das Hochladespannungsrelais und die Nachlaufzeituhr oder aber durch ein separates Spannungsüberwachungsrelais gesteuert werden. Besonders im ersten Fall muss immer geprüft werden, ob die Verbraucherminimalspannung U_6 beim Einschalten der Dioden nicht unterschritten und die Verbrauchermaximalspannung U_9 beim Ausschalten der Dioden nicht überschritten wird. ΔU muss stets kleiner als die Verbraucherspannungstoleranz sein. Wenn die Bedingung $\Delta U < (U_9 - U_6)$ nicht erfüllbar ist, lässt sich der Verbraucher nicht mit dieser Gegendiodenschaltung speisen.

Bei der Auslegung einer Anlage ist es oft möglich, die Verbraucher in zwei Gruppen aufzuteilen:

a) Verbraucher, die die gesamte Akkumulatorenspannungstoleranz ertragen und

b) Verbraucher, deren Spannungstoleranz durch Gegendioden verringert werden muss.

Das Speisegerät wird dann mit zwei Ausgängen ausgerüstet, so dass die Gegendioden und der Überbrückungsschütz nur für einen Teil des Gesamtstromes dimensioniert werden müssen. Da die durch die Gegendioden zu vernichtende Energie

bei hohen Verbraucherströmen ins Gewicht fallen kann, wird in solchen Fällen oft die Aufteilung des Akkumulators in Haupt- und Nebenzellen gewählt.

4.2 Betrieb mit Haupt- und Nebenakkumulator

Solche Anlagen arbeiten mit einem wie zuvor beschriebenen IU_0U-Lade- und Speisegerät, das nebst der Akkumulatorenhoch- und Schwebeladung auch die Verbraucherspeisung übernimmt. Die begrenzte Hochladespannung U_2 entspricht der maximal zulässigen Verbraucherspannung U_9 (Fig. 3).

Wenn während einem Netzausfall die Minimalspannung U_6 infolge der engen Verbraucherspannungstoleranz frühzeitig bei erst teilweise entladenem Akkumulator erreicht wird, wird diesem ein sog. Nebenakkumulator in Reihe zugeschaltet. Damit wird die Verbraucherspannung angehoben und die Weiterentladung ermöglicht. Der Nebenakkumulator, meist in der Nennkapazität mit dem Hauptakkumulator übereinstimmend, wird durch ein eigenes Nebenladegerät hoch- und dauergeladen. Das Zu- und Wegschalten des Nebenakkumulators geschieht unterbruchslos mit einem für den maximalen Verbraucherstrom I_2 ausgelegten Schütz mit parallelgeschalteter Sperrdiode. Während dem Umschaltvorgang verursacht letztere lediglich eine leichte bei der Berechnung zu berücksichtigende Spannungsabsenkung von etwa 0,7 V. Für die Bestimmung der Zellenzahlen des Haupt- und Nebenakkumulators gilt folgendes:

Die Zellenzahl n_1 des Hauptakkumulators wird so festgelegt, dass die Hochladespannung U_2 der maximal zulässigen Verbraucherspannung U_9 entspricht: $n_1 = U_9/1.55$. Es muss kontrolliert werden, dass die Schwebeladespannung U_3 des Hauptakkumulators über der Verbraucherminimalspannung U_6 liegt: $U_2 > U_6$. Wenn das nicht der Fall ist, kann diese Betriebsart nicht zur Speisung des Verbrauchers angewendet werden.

Die Zellenzahl n_2 des Nebenakkumulators wird so gewählt, dass sich nach der Entladung der beiden in Reihe geschalteten Akkumulatoren beim Erreichen der Verbraucherminimalspannung U_6 eine die bestmögliche Kapazitätsausnützung erlaubende Zellenminimalspannung U_{min} einstellt (z.B. 1,1 V/Zelle bei 5stündiger, 1,05 V/Zelle bei 3stündiger oder 1,00 V/Zelle bei 1stündiger Entladedauer). Die Zellenzahl des gesamten Akkumulators beträgt damit $n_1 + n_2 = U_6/U_{min}$. Daraus folgt $n_2 = U_6/U_{min} - n_1$.

Mit der so errechneten Zellenzahl n_2 muss erstens geprüft werden, ob bei einem Netzausfall, sobald die Hauptakkumulatorspannung auf die Verbraucherminimalspannung U_6 + 0,7 V (+ 0,7 V für Paralleldiode!) abgesunken ist und der Nebenakkumulator zugeschaltet wird, die Akkumulatorengesamtspannung nicht die maximal zulässige Verbraucherspannung U_2 überschreitet. Zweitens muss kontrolliert werden, ob bei der Akkumulatorenwiederaufladung die Spannung des Hauptakkumulators beim Wegschalten des Nebenakkumulators nicht unter die minimal zulässige Verbraucherspannung U_6 sinkt. Wenn dies der Fall ist, muss die Berechnung mit einer höheren Zellenendspannung wiederholt werden, so dass sich eine kleinere Zellenzahl n_2 für den Nebenakkumulator und damit eine engere Akkumulatorenspannungstoleranz ergibt. Allerdings wird die Kapazität weniger gut ausgenützt, was zur Überdimensionierung des Akkumulators zwingt. Der Berechner muss nun beurteilen, ob dies raum- und kostenmässig noch vertretbar oder ob eine andere Betriebsart zu wählen ist.

Im weiteren soll auch untersucht werden, wie lange es dauert, bis nach dem Wiederaufladebeginn der Nebenakkumulator weggeschaltet werden kann: Während der Zeit t_{12} (Fig. 3) fliesst in den beiden in Serie geschalteten Akkumulatorenteilen der gleiche Verbraucherstrom I_2. Dieser kann jedoch nur vom Hauptladegerät zusätzlich abgegeben werden, während das Nebenladegerät im allgemeinen nur für ca. 0,1...0,2 A/Ah Ladestrom ausgelegt wird. Daraus folgt, dass die Nebenbatterie während der Zeit t_{12} um den Verbraucherstrom I_2 zu schwach geladen wird. Wenn letzterer grösser ist als der Ladestrom des Nebengerätes, was meistens zutrifft, wird der Nebenakkumulator sogar um den Differenzstrom $(I_1 - I_2)$ weiterentladen. In der Praxis ergeben sich für die Zeit t_{12} meist Werte von nur einigen Sekunden oder Minuten, so dass auch bei Verzicht auf eine Nennkapazitätserhöhung der Nebenbatterie im allgemeinen keine Tiefentladung der letzteren befürchtet werden muss.

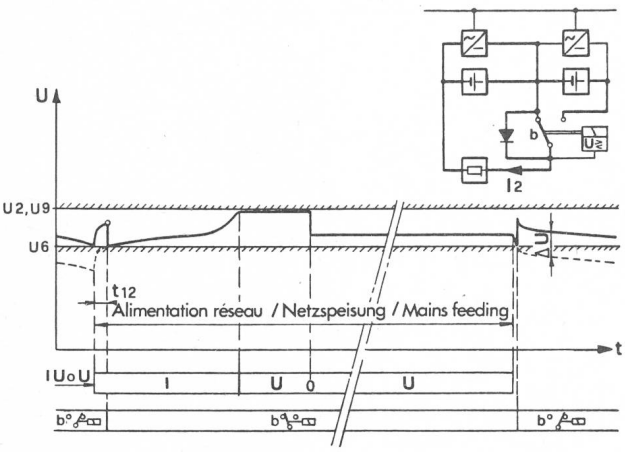

Fig. 3 Betrieb mit Haupt- und Nebenakkumulator

4.3 Betrieb mit Aufteilung in zwei parallele Akkumulatorhälften

Ein Schwebelade- und Speisegerät ohne Hochladeeinrichtung speist die Verbraucher. Die Schwebeladespannung U_9 entspricht der maximal zulässigen Verbraucherspannung U_2. Die Hochladung wird von einem zweiten unabhängigen Gerät ausgeführt. Der Akkumulator ist in zwei Einheiten mit je halber Nennkapazität aufgeteilt (Fig. 4).

Bei vorhandenem Netz sind die beiden Hälften untereinander und zum Schwebeladegerät parallel geschaltet. Bei Netzausfall übernimmt der Akkumulator unterbruchslos ohne jeden Schaltvorgang die Verbraucherweiterspeisung. Bei Netzrückkehr wird die eine Akkumulatorenhälfte durch Schützen abgetrennt und mit dem Hochladegerät verbunden. Da jetzt zwischen dieser Akkumulatorenhälfte und dem Verbraucher keine Verbindung mehr besteht, muss die Hochladespannung nicht begrenzt werden. Das Hochladegerät wird meist mit einer W-Kennlinie, d.h. einer Charakteristik ausgeführt, die bei steigender Akkumulatorenspannung einen leicht fallenden Ladestrom zur Folge hat. Die Zellenspannung kann so bis auf etwa 1,7...1,8 V ansteigen, was bei einem mittleren Strom von z.B. 0,2 A/Ah eine Ladezeit von nur 7 h bedingt. Die Ladezeit wird wie in Fig. 1 (Charakteristik Ia) mit Spannungsrelais und Zeituhr begrenzt.

Nach Volladung der ersten Hälfte wird diese wieder vom Hochladegerät abgetrennt und auf die noch ungeladene mit dem Schwebeladegerät verbundenen Akkumulatorenhälfte

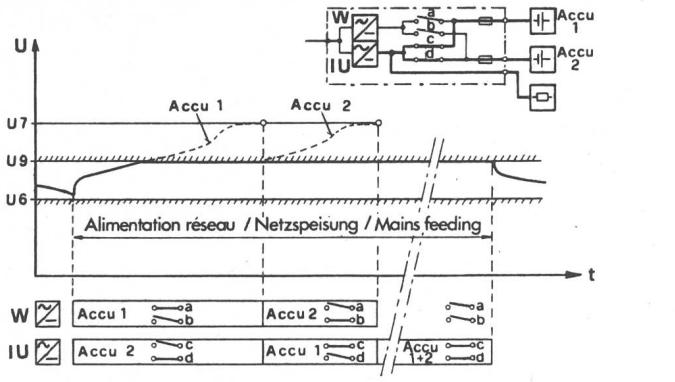

Fig. 4 Betrieb mit zwei parallelen Akkumulatorhälften

geschaltet. Anschliessend wird letztere im gleichen Sinne hochgeladen. Die Schaltschützen müssen so untereinander verriegelt werden, dass auch ein nur kurzzeitiges Abtrennen beider Akkumulatorenhälften vom Verbraucher vermieden wird.

Das Parallelschalten der vollgeladenen auf die entladene Akkumulatorenhälfte ist möglich, da beide Hälften die gleiche Zellenzahl aufweisen und die Zellenruhespannung der geladenen Hälfte von ca. 1,36 V noch keinen wesentlichen Ausgleichsstrom auf die entladene Hälfte verursacht.

Sobald sich jedoch in der entladenen Hälfte Zellen mit Kurzschluss befinden, kann der Ausgleichsstrom infolge des geringen Innenwiderstandes der Akkumulatoren stark anwachsen und die Sicherungen zum Ansprechen bringen. Diese Betriebsart setzt daher unbedingt fehlerfreie Akkumulatorenzellen voraus.

Bei der Dimensionierung der Akkumulatorenkapazität muss beachtet werden, dass ein Netzausfall auch auftreten kann, wenn sich eine der Akkumulatorenhälften noch in der Hochladung befindet. Während der kurzen Zuschaltzeit muss die bereits am Verbraucher liegende Akkumulatorenhälfte den gesamten Verbraucherstrom I_2 übernehmen, ohne dass die Verbraucherminimalspannung U_6 unterschritten wird.

Wenn das Hochladegerät für einen mittleren Ladestrom von 0,2 A/Ah dimensioniert ist, lässt sich der gesamte Akkumulator in 2×7 h = 14 h vollständig aufladen, was gegenüber der Betriebsart mit Gegendioden oder Haupt- und Nebenbatterie eine Zeitersparnis von über der Hälfte ergibt. Anderseits ist diese Umschaltschützen und zwei Akkumulatoren mit je nur etwa halber Kapazität erfordernde Ausführung wesentlich teurer in der Anschaffung.

4.4 Betrieb mit geregeltem Verbraucherausgang

Wenn die Verbraucher eine Spannungseinschaltung von $< \pm 10\,\%$ fordern, muss dem Akkumulator eine elektronische Spannungsregelungseinheit nachgeschaltet werden. Mit solchen Reglern sind Toleranzbänder von nur $\pm$ 0,5 % durchaus realisierbar, wobei aber die Kosten etwa denjenigen eines zweiten Lade- und Speisegerätes entsprechen können.

5. Glättung der Lade- und Speisegeräteausgänge

In diesem Artikel werden die Ausführungsarten und die Gründe für eine eventuell notwendige Glättung des Lade- und Speisegeräteausganges nicht erläutert. Es soll jedoch kurz an folgende Tatsachen erinnert werden: Aus dem Wechselstromnetz versorgte ungeglättete Lade- und Speisegeräte liefern am Ausgang einen pulsierenden Gleichstrom. Der Akkumulator wirkt als Glättungsglied zwischen dem Gerät und dem Verbraucher. Für verschiedene Verbraucherarten wird aber ein hoher Glättungsgrad verlangt, der nur durch eine zusätzliche aus Kondensatoren und Induktionsspulen aufgebauten Glättungseinrichtung erfüllt werden kann. Anderseits ist die zusätzliche Glättung auch oft erforderlich, wenn in einer Bereitschafts-Parallelbetriebsanlage ein im Verhältnis zum Verbraucherstrom kleiner für kurze Überbrückungszeit ausgelegter Akkumulator eingesetzt wird. Besonders bei einphasig angeschlossenen Lade- und Speisegeräten, wo die Gleichstromausgangsspannung und damit der Ausgangsstrom zwischen den einzelnen Sinushalbwellen stets auf null absinkt, wird der Akkumulator zur pulsierenden Stromab- und Stromaufnahme gezwungen. Der Wechselstromanteil kann den Akkumulator beträchtlich erwärmen und zu dessen Lebensdauerverkürzung beitragen.

Adresse des Autors
Ing. *Pierre Eberli*, Electrona S.A., 2017 Boudry NE.