

Lademangement für USV-Anlagen

Konventionelle Managementsysteme für Bleibatterien in USV-Anlagen führen zu vorzeitiger Alterung und hohen Energieverlusten. Ein selbstadaptierendes Ladeverfahren vermeidet diese Nachteile. Es kann für alle gängigen Bleibatterietechnologien eingesetzt werden und eignet sich für einen Temperaturbereich von -20 °C bis 50 °C .

FOTOS: Deutronic

Jede unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) besitzt ein mehr oder weniger komplexes Batteriemanagementsystem, das Ladung, Überwachung und Zustandsdiagnose der Batterie übernimmt. An der sogenannten IU-Kennlinien einer USV-Bleibatterie lässt sich erkennen, dass über die gesamte Lebensdauer der Batterie die sogenannte Erhaltungsladespannung (EHL-Spannung) an der Batterie anliegt. Folglich wird dem Versorgungsnetz auch permanent Energie für die Batterieerhaltungsladung entzogen. 80 Prozent dieser Energie wird sinnlos in Überladung vernichtet. Im Einzelnen ergeben sich daraus zudem folgende Nachteile:

- ▶ Beschleunigte Alterung aufgrund von Wasserverlust und Korrosion der positiven Gitter. Dies ist besonders für verschlossene Bleibatterien problematisch, da das Nachfüllen von Wasser nicht möglich ist.
 - ▶ Beschleunigte Alterung, weil die Klemmspannungen der Einzelzellen auseinanderlaufen. Die Egalisierung der Einzelzellspannungen senkt die Lebensdauer des Batteriesystems, da die Alterung sich dann inhomogen über die Zellen verteilt. Besonders sind Blei-AGM- und Blei-Gelbatterien (siehe Kasten nächste Seite) betroffen.
 - ▶ Die Forderung, bei verschlossenen Bleibatterien einerseits die Erhaltungsladespannung präzise zu wählen und andererseits den Sättigungsgrad innerhalb eines Blockes beziehungsweise Strangs bei der Herstellung innerhalb geringer Toleranzen zu halten, sind nicht gleichzeitig erfüllbar. Dies erklärt auch den hohen Anteil von 80 Prozent an Überladeverlusten, da die Erhaltungsladespannung größer als die Zelle mit maximaler Säuredichte gewählt werden muss.
- ▶ Auch heute noch enthalten viele der im industriellen Sektor angebotenen USV-Anlagen kein thermisches Management für die Batterien, insbesondere keinen Schutz vor einem thermischen Versagen oder eine automatisierte Ladespannungstemperaturkompensation.

Geschlossene und verschlossene Batterien

Da das Laden von Bleiakkumulatoren stets mit einer gewissen Gasung (und dadurch mit Wasserverlust) verbunden ist, besitzen geschlossene Bleibatterien einen Verschlussstopfen, der zum Nachfüllen des Elektrolyten geöffnet werden kann. Das bei der Ladung entstandene Gas kann dann nach außen entweichen. Verschlossene Bleibatterien hingegen haben statt der Verschlussstopfen Überdruckventile, die erst bei Überschreiten eines bestimmten Druckes das Gas aus der Batterie entweichen lassen. Da bei diesen Batterien kein Wasser nachgefüllt werden muss, bezeichnet man sie als wartungsfrei. Auch geschlossene Bleibatterien dürfen als wartungsfrei bezeichnet werden, wenn der Wasserverlust während der gesamten Betriebsdauer so gering ist, dass kein Nachfüllen notwendig wird.

Der Elektrolyt ist wie bei geschlossenen Typen wässrige (verdünnte) Schwefelsäure, die jedoch zusätzlich „immobilisiert“ wurde. Je nach Art der Immobilisierung unterscheidet man bei verschlossenen Bleibatterien Gel-Typen, bei denen durch Zugabe von SiO_2 der Elektrolyt zähflüssig wird, oder AGM-Typen, bei denen ein hochporöses Vlies (absorbent glass mat, kurz AGM) den Elektrolyt vollständig aufsaugt. Da er so nicht mehr austritt, kann die Batterie in jeder Lage betrieben werden.

Besonders bei Anwendungen im Solar- und Bahn-Bereich oder bei Alarm- und Brandmeldeanlagen, bei denen die USV-Anlage außerhalb klimatisierter Gebäude betrieben wird, ist eine manuelle Einstellung der Ladespannung für Sommer-Winter-Betrieb absurd.

- ▶ Beschleunigte Alterung aufgrund von Mangelladung und damit ein vorzeitiger Ausfall der Bleibatterie durch Sulfatierung durch eine nicht angepasste EHL-Spannung, zum Beispiel bei hohen oder niedrigen Temperaturen oder gealterten verschlossenen Bleibatteriesystemen und aufgrund einer schlechten Versorgungsqualität. Das bedeutet häufigere Netzausfälle mit hoher Entladetiefe.

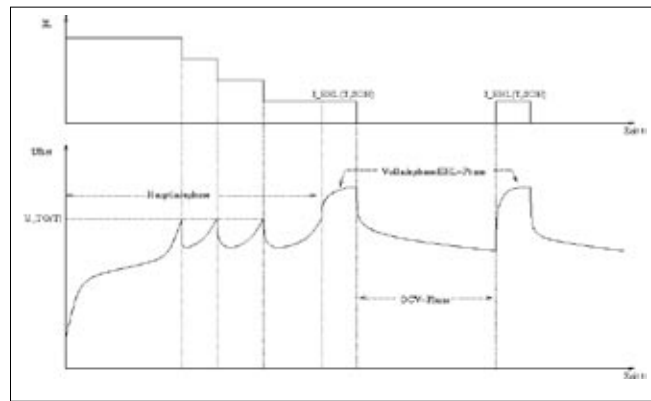
Mit zunehmender Alterung steigt bei verschlossenen Bleibatterien der für die Vollladung erforderliche Ladestrom exponentiell an. Entsprechend nimmt der permanente Energieverbrauch unter dem IU-Laderegime exorbitant zu, bis die Leistungsgrenze des Ladegerätes erreicht ist beziehungsweise die Batterie thermisch „durchgeht“ (überhitzt wird).

USV-Systeme verwenden auch die sogenannte IUoU-Ladekennlinie, bei der noch folgendes Problem hinzukommt: Nach einer gewissen Zeit erfolgt die Umschaltung aus der Starkladephase in eine zweite Ladephase mit kleinerer EHL-Spannung aufgrund der Alterung nicht mehr, weil der Ladestrom immer größer wird und schließlich den Schaltstrom übersteigt. Rudimentäre Schutzmechanismen, wie die Umschaltung über den Ladefaktor (LF) oder eine maximale Ladezeit, können die Auswirkungen etwas minimieren. Fehlende Feinregulierung führt in der Praxis jedoch meist dennoch zu einer beschleunigten Alterung der Bleibatterie. Jede Überladung trocknet das Vlies einer AGM-Batterie durch den Wasserverlust mehr und mehr aus, was den Sauerstoffkreislauf ankurbelt. Ist erst der kritische Sättigungsgrad von etwa 90 Prozent unterschritten, nehmen die oben beschriebenen Prozesse drastisch zu, so dass das Ende der Lebensdauer solcher Bleibatterien schnell erreicht wird.

Die Ladestrategie bestimmt die Lebensdauer

Die Ladestrategie hat also entscheidenden Einfluss auf die Gebrauchsdauer verschlossener Bleibatterien. Stand der industriellen Technik ist es immer noch, auch für verschlossene Bleibatterien die historisch gewachsenen starren Ladekennlinien einzusetzen. Dabei hat der Anteil verschlossener Bleibatterien, insbesondere in stationären Anwendungen, in den letzten 10 bis 15 Jahren drastisch zugenommen.

Diese Betriebsführung hat dramatischen Auswirkungen: Während geschlossene Systeme im Standard-EHL-Betrieb eine Lebensdauer von 15 bis 20 Jahren erreichen, sind es typischerweise bei den verschlossenen nur etwa drei bis sechs Jahre. Obwohl beide Batterietechnologien als elektrochemische Systeme identisch sind, gibt es aufgrund der höheren Sensibilität verschlossener Bleibatterien gegenüber gewissen Alterungsmechanismen und der Temperatur fundamentale Unterschiede in der Ladecharakteristik.



ACS-Verfahren (Adaptive Current Step): Beginnend mit dem Maximal-Ladestrom wird bei Erreichen einer temperaturkompensierten Umschaltsschwelle der Ladestrom schrittweise verringert. Ist eine wiederum von der Temperatur abhängige Stromschwelle unterschritten, beginnt die Vollladephase.

Ebenso haben die herstellungsbedingten Toleranzen der Einzelzellen innerhalb eines Blockes oder Stranges erheblichen Einfluss auf das Ladeverhalten, aber auch auf die Entladeperformance des Gesamtsystems. Schließlich ist es eine Tatsache, dass der Bleibatteriemarkt überschwemmt wird von Billigprodukten, die oft thermisch instabil sind und zudem eine deutlich schlechtere Entladecharakteristik bieten als vergleichbare Systeme etablierter Hersteller. Daher ist es erforderlich, das Batteriemanagementsystem einer USV-Anlage mit einem thermischen Management auszustatten. >

Batterien für USV-Anlagen

Die am häufigsten verwendeten Energiespeicher in USV-Anlagen (unterbrechungsfreie Stromversorgung) sind Bleibatterien wie Blei-AGM (absorbent glass mat), Blei-Gel, Reinblei oder gewöhnliche Bleibatterien mit flüssigem Elektrolyt.

Eine wesentliche Kenngröße von AGM- und Gelbatterien ist der Sättigungsgrad. Hierunter versteht man das Verhältnis des Flüssig-Volumens, also der verdünnten Schwefelsäure zwischen den Elektroden, zum Gesamt-Leervolumen einer ungefüllten Zelle, das heißt ohne Berücksichtigung des Materialvolumens. Der Sättigungsgrad wird erheblich von der Betriebsführung des Energiespeichers beeinflusst, und er stellt damit einen wichtigen Dreh- und Angelpunkt für die Ladetechnik und die Zustandsdiagnostik dar.

Beim Entladen wird an beiden Elektroden die geladene aktive Masse (Blei beziehungsweise Bleidioxid) in Bleisulfat umgewandelt und dabei Schwefelsäure verbraucht, so dass die Konzentration dieses Elektrolyts sinkt. Beim Laden laufen die Reaktionen umgekehrt ab. Die Beteiligung des Elektrolyten an den Elektrodenreaktionen ist eine Besonderheit von Bleibatterien und sie bildet die Grundlage verschiedener Alterungserscheinungen wie Säureschichtung, Sulfatierung oder Dendritenbildung.

Bei vielen Anwendungen werden die Batterien nicht nur bei 20 °C betrieben, sondern sind erheblichen Temperaturschwankungen ausgesetzt. Ebenso gibt es Anlagen, die dauerhaft bei über 40 °C oder unter 10 °C betrieben werden.

Frühwarnsystem für die Batteriequalität

Ein Batteriemanagementsystem soll Qualitätsminderungen des Energiespeichers möglichst frühzeitig anzeigen. Dazu wurde ein auf Innenwiderstandsmessungen basierendes Verfahren entwickelt. Der ohmsche Innenwiderstand einer Batterie hängt von Alterungszustand, Ladezustand und Temperatur ab.

Da bei Bleibatterien der Elektrolyt an den Elektrodenreaktionen teilnimmt, steigt mit dem Ladezustand die Ionenkonzentration, so dass der Innenwiderstand sinkt. Für die Zustandsanalyse ist das insofern irrelevant, als die Batterien in einer USV-Anlage praktisch immer voll geladen sind. Daher wird die Alterung bei einem Ladezustand von etwa 100 Prozent gemessen.

Die Hauptalterungsphänomene von USV-Batterien sind insbesondere am ohmschen Innenwiderstand erkennbar. Allerdings ist der Elektrolytwiderstand und damit der ohmsche Innenwiderstand einer Bleibatterie hochgradig nichtlinear temperaturabhängig. Ohne Temperaturkompensation würde ein Diagnosesystem fälschlicherweise bei tiefen Temperaturen auf eine fehlerhafte Batterie schließen.

Daher wurde nicht nur ein spezielles Messverfahren für den ohmschen Innenwiderstand einer Bleibatterie entwickelt, sondern auch eine Modellgleichung, die den bei einer bestimmten Temperatur gemessenen Widerstand auf eine feste Normtemperatur umrechnet. Anlagenbetreiber können die Alterung von USV-Batterien während der Betriebszeit durch eine Anzeige mitverfolgen und somit einen Austausch dann vornehmen, wenn es notwendig ist und nicht, wie in einigen Marktsegmenten üblich, pauschal nach etwa zwei bis vier Jahren.

ACS-Algorithmus: Variable Ladeparameter

Während die Ladeparameter für geschlossene Systeme über die gesamte Lebensdauer nahezu konstant bleiben können, sollten sie sich im Fall von verschlossenen Systemen mit fortschreitendem Alter der Batterie ändern. Verschlossene Bleibatterien benötigen intelligente selbstadaptierende Ladealgorithmen. Das hier dargestellte, patentrechtlich geschützte ACS-Verfahren (Adaptive Current Step) basiert auf einer Konstant-Strom-Ladung. Beginnend mit dem Maximal-Ladestrom wird bei Erreichen der temperaturkompensierten Umschaltsschwelle der Ladestrom sukzessiv verringert, bis wiederum eine von der Temperatur abhängige Stromschwelle unterschritten ist, die dann die Hauptladephase beendet und die Vollladephase (auch Nachlade-Phase genannt) einleitet (siehe Abbildung auf der Seite 159).

Das Besondere an diesem Verfahren ist, dass die Ladeparameter nicht starr vorgegeben sind, sondern mit der Temperatur und dem Batteriealter variieren. Gerade letzteres ist unter anderem für den sehr guten Ladewirkungsgrad von bis zu 98 Prozent verantwortlich. Die dynamische Adaptation der Ladeparameter wirkt Alterungseffekten entgegen, die sich insbesondere bei verschlossenen Bleibatterien vor allem gegen Ladeende einstellen. Damit erhält man insgesamt folgende Verbesserungen gegenüber den Standard-IU-Ladekennlinien:

- ▶ Ein hoher Ladewirkungsgrad von bis zu 98 Prozent (entspricht einem Ladefaktor von 1,02) konnte für die Batterien verschiedener Hersteller nachgewiesen werden. Daraus resultiert eine geringere Überladung, also auch ein geringerer Wasserverlust, so dass ein hoher Sättigungsgrad in verschlossenen Bleibatterien erhalten bleibt. Das wiederum bedeutet eine signifikant höhere Lebensdauer. Besonders Blei-AGM-Batterien weisen eine deutlich niedrigere Überladefähigkeit gegenüber Blei-Gel- oder Blei-Standard-Batterien auf. Aber gerade dieser technologische Typ ist kostengünstig und wird zunehmend im USV-Sektor eingesetzt.
- ▶ Keine permanent anliegende Ladespannung: Die Batterie verbleibt größtenteils im sogenannten OCV-Zustand (open circuit voltage), also im Leerlauf. Das Tastverhältnis der Nachladephase liegt unter 0,1 Prozent. Das führt zu einer geringeren Alterung, da weniger Wasserverlust und Korrosion auftreten, so dass eine signifikant höhere Lebensdauer zu erwarten ist. Innerhalb der OCV-Zeit sinkt der Ladezustand um 3 bis 5 Prozent, die Bleibatterie bleibt also nahezu voll geladen.
- ▶ Keine beschleunigte Alterung aufgrund auseinanderlaufender Klemmspannungen der Einzelzellen wie bei einer Ladung mit konstanter Spannung. Das Gesamtbatteriesystem altert daher homogen.
- ▶ Das thermische Management verhindert ein „thermisches Durchgehen“ und adaptiert die Ladeparameter selbsttätig, was eine bessere Vollladung sowohl bei hohen als auch bei niedrigen Temperaturen ermöglicht.
- ▶ Regeneration moderat sulfatierter Bleibatterien: Es konnte an einem konkreten Fall nachgewiesen werden, dass die aktuelle Kapazität nach nur fünf Tagen im EHL-Betrieb um etwa 12,5 Prozent anstieg.
- ▶ Erheblich niedrigerer Energieverbrauch im EHL-Betrieb, nämlich um einen Faktor 10 weniger gegenüber dem Standard-IU-Verfahren.

Zusammenfassung

Das ACS-Ladeverfahren wurde an verschiedenen USV-Batterien unterschiedlichen Alters bei verschiedenen Temperaturen erfolgreich optimiert und validiert. Es ist für alle gängigen Bleibatterietechnologien einsetzbar. Der in der DIPS-BM-Produktreihe (DC-USV) von Deutronic implementierte Ladealgorithmus ist adaptiv, das heißt es gibt einen Satz von Metaregeln, meist dargestellt durch Gleichungen, die auf diversen Ladeparametern operieren. Dadurch findet die Dynamik in der Ladecharakteristik verschlossener Bleibatterien Berücksichtigung. Insbesondere wird auf diese Weise eine bessere Vollladung über den gesamten Temperaturbereich von -20 °C bis 50 °C erreicht. Auffällig ist der gute Ladewirkungsgrad von bis zu 98 Prozent bei hohen Ladeströmen. Selbst AGM-Batterien von Billiganbietern können ohne Probleme mit dem neu entwickelten adaptiven Ladealgorithmus geladen werden. □

> MORE@CLICK E2K10705