

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: **A 328/2008**

(51) Int. Cl.⁸: **H01M 8/20** (2006.01)

(22) Anmeldetag: **28.02.2008**

(43) Veröffentlicht am: **15.02.2009**

(73) Patentinhaber:

CELLSTROM GMBH
A-7000 EISENSTADT (AT)

(72) Erfinder:

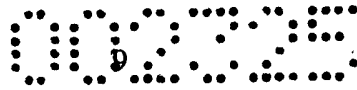
HARRER MARTIN
WIEN (AT)
WHITEHEAD ADAM DR.
EISENSTADT (AT)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER REDOX-DURCHFLUSSBATTERIE**

(57) Bei einem Verfahren zum Betreiben einer Redox-Durchflussbatterie mit Laderegler für das Laden aus einer externen Quelle, bei welcher Batterie beim Lade- und Entladevorgang Elektrolytflüssigkeiten durch elektrochemische Zellen gepumpt werden, wird die Energie für das Hochfahren der Batterie aus einem zusätzlichen Speicher bezogen, wobei ein angeschlossener Verbraucher bei einem vordefinierten ersten Wertes für den Ladegrad abgeschaltet wird, und wobei die Batterie bei Unterschreiten eines zweiten vordefinierten Wertes für den Ladegrad stillgelegt wird.

Um nun einen leistungs-optimierten Betrieb der Batterie zu ermöglichen, ist die Ermittlung der aktuellen potentiellen Ladeleistung der externen Quelle unabhängig vom Laderegler vorgesehen, welche Ladeleistung mit der aktuellen potentiellen Verlustleistung verglichen wird. Bei größerer Ladeleistung als Verlustleistung wird dann die Batterie wieder hochgefahren.

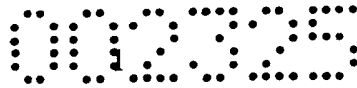
AT 505 559 A4 2009-02-15



Zusammenfassung:

Bei einem Verfahren zum Betreiben einer Redox-Durchflussbatterie mit Laderegler für das Laden aus einer externen Quelle, bei welcher Batterie beim Lade- und Entladevorgang Elektrolytflüssigkeiten durch elektrochemische Zellen gepumpt werden, wird die Energie für das Hochfahren der Batterie aus einem zusätzlichen Speicher bezogen, wobei ein angeschlossener Verbraucher bei einem vordefinierten ersten Wertes für den Ladegrad abgeschaltet wird, und wobei die Batterie bei Unterschreiten eines zweiten vordefinierten Wertes für den Ladegrad stillgelegt wird.

Um nun einen leistungs-optimierten Betrieb der Batterie zu ermöglichen, ist die Ermittlung der aktuellen potentiellen Ladeleistung der externen Quelle unabhängig vom Laderegler vorgesehen, welche Ladeleistung mit der aktuellen potentiellen Verlustleistung verglichen wird. Bei größerer Ladeleistung als Verlustleistung wird dann die Batterie wieder hochgefahren.



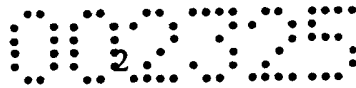
Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Redox-Durchflussbatterie mit Laderegler für das Laden aus einer externen Quelle, bei welcher beim Lade- und Entladevorgang Elektrolytflüssigkeiten durch elektrochemische Zellen gepumpt werden, wobei die Energie für das Hochfahren der Batterie aus einem zusätzlichen Speicher bezogen wird, wobei ein angeschlossener Verbraucher bei einem vordefinierten ersten Wertes für den Ladegrad abgeschaltet wird, und die Batterie bei Unterschreiten eines zweiten vordefinierten Wertes für den Ladegrad stillgelegt wird.

Für Blei-Säure-Batterien mit photovoltaischer Aufladung wurden Ladekontrollvorrichtungen entwickelt, die den Hauptanteil oder die Gesamtheit ihrer Energie aus der Photovoltaik beziehen, welche jedoch unter Stand-By-Bedingungen der Batterie Energie entziehen.

Bei einer Durchflussbatterie wird die Energie in zwei Flüssigkeiten, Anolyt und Katolyt gespeichert. Mit Hilfe von Pumpen werden die Flüssigkeiten in elektrochemische Zellen gepumpt, wo die beim Lade- bzw. Entladevorgang die elektrochemische Energiewandlung stattfindet. Eine Selbstentladung der Durchflussbatterie findet in erster Näherung vollständig in den elektrochemischen Zellen statt. Deshalb kann in einem Stand-By Betrieb mit deaktivierten Pumpen Energie nahezu unbegrenzt gelagert werden. Da die notwendige Leistung zum erneuten Hochfahren der Durchflussbatterie, hauptsächlich benötigt für das Wiederanlaufen der Pumpen, nicht aus den elektrochemischen Zellen bezogen werden kann, wird Energie zum Starten aus einem zusätzlichen Speicher, z.B. einem konventionellen Bleiakkumulator bezogen.

In Off-Grid Systemen zur Versorgung netzferner Verbraucher ist üblicherweise als Bindeglied zwischen der Energiequelle (z.B. Photovoltaik oder Wind) und der Batterie ein Laderegler zwischengeschaltet. Da das Energieaufkommen der Energiequelle stark schwankt, wird die Steuerung des Ladereglers bei marktüblichen Geräten ebenfalls von der Batterie versorgt. Ist in einer Zeitperiode die Energieentnahme durch den Verbraucher größer als die Summe aus Energiezufuhr und Verlustenergie entleert sich die Batterie. Dies ist typischerweise in Perioden mit statistisch unterdurchschnittlichen Energieaufkommen der Fall. Ein Beispiel dafür ist eine längere Nebelperiode in einem photovoltaisch versorgten Inselsystem. Sinkt die Spannung der Batterie unter die Abschaltschwelle des Ladereglers, ist keine Ladung mehr möglich. Deshalb ist es wichtig, mit einem geeigneten Batteriemanagement sicherzustellen, dass die Batteriespannung größer als die Einschaltsschwelle des Ladereglers ist, sobald die Ladeleistung größer als die Verlustleistung ist.

Um die Eigenversorgung des Batteriesystems und des Ladereglers über eine Zeitperiode ohne Energieeintrag zu gewährleisten, wird der Verbraucher bei bekannten Systemen bei einem bestimmten, vordefinierten Ladegrad SOCLL abgeschaltet. Die restliche Energie ist für die



Eigenversorgung reserviert. Sinkt der Ladegrad unter SOCmin wird die Batterie stillgelegt. Eine erneute Inbetriebnahme kann nur manuell erfolgen.

So beschreibt die JP 2004274981 einen Vorhersage-Algorithmus zur Steuerung der Pumpengeschwindigkeit in Abhängigkeit von der erwarteten Solarleistung und den Lastzuständen. In der JP 61218076 ist eine Kombination aus photovoltaischer Quelle, Blei-Säure-Batterie und Redox-Durchfluss-Batterie geoffenbart, wobei die Redox-Durchfluss-Batterie nur gepumpt wird, wenn der Strom eine bestimmte Größe übersteigt.

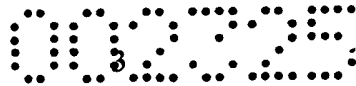
Eine Redox-Durchfluss-Batterie enthält üblicherweise eine Steuereinheit zur Bestimmung der Pumprate, zum Ausgleich der Fluid-Levels, der thermostatischen Steuerung, der Fernkommunikation (Datenübertragung, Fernsteuerung), und kann auf Notfallbedingungen (Elektrolytleckage, Feuer, Wasserstoffansammlung, usw.) reagieren, wie beispielsweise in "Field test results for a 1 kW, 50 kWh vanadium redox flow battery" von in A. H. Whitehead, M. Harrer and M. Schreiber in EESAT 2005, San Francisco, CF, 2005, pp. 41-42, beschrieben ist. Zusätzlich zur Pumpensteuerung kann jede beliebige Funktion oder können alle Funktionen deaktiviert (oder nur zeitweise aktiviert) werden, um noch weiter Energie zu sparen, wenn das System in den Schlaf-Zustand übergeführt wird. Die verbleibenden Funktionen würden von der herkömmlichen Batterie versorgt, die auch zum Wiederhochstarten des Systems oder einer Primär- oder Sekundär-Energieversorgung verwendet wird.

Natürlich wird auch jegliche Last abgetrennt, bevor das System in den Schlaf-Zustand übergeführt wird, um die Batterieenergie für volle Steuerfunktionalität zu erhalten, wie etwa in der JP 2006114360 beschrieben ist. Die Last kann auch in kritische oder unkritische Last unterschieden werden, die bei unterschiedlichen voreingestellten Werten abgetrennt werden, beispielsweise um eine Notbeleuchtung länger zu versorgen als etwa eine Klimaanlage.

Das Abkoppeln der Last bzw. Deaktivieren der Ladeeinrichtung kann durch alle bekannten Einrichtungen des Standes der Technik erfolgen (beispielsweise mechanische oder Halbleiter-Relais).

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es ein Verfahren anzugeben, mit welchem ein leistungs-optimierter Betrieb einer Redox-Durchflussbatterie gewährleistet ist.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist das eingangs dargestellte Verfahren erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, dass die aktuelle potentielle Ladeleistung der externen Quelle unabhängig vom Laderegler ermittelt, mit der aktuellen potentiellen Verlustleistung verglichen und bei größerer Ladeleistung als Verlustleistung die Batterie hochgefahren wird. Die Batterie wird also bei einem Ladegrad SOC unter einer Schwelle SOCmin in einen Stand-By Zustand versetzt, in dem die Pumpen abgeschaltet sind. Damit sinkt die Spannung in den elektrochemischen Zellen der Durchflussbatterie unter die Abschaltschwelle des Ladereglers und dieser schaltet sich ab. Natürlich könnte auch vorgesehen sein, dass der Laderegler zusammen



mit den Pumpen aktiv abgeschaltet wird, wenn das System in den Schlaf-Zustand versetzt wird. Sobald die potentielle Ladeleistung größer als die potentielle Verlustleistung ist, wird die Durchflussbatterie wieder gestartet. Da nun die potentielle Ladeleistung unabhängig vom Laderegler bestimmt werden kann und die Batteriesteuerung auch in den Schlaf-Zustand mit einbezogen wird, kann der Kapazitätsanteil (SOCLL-SOCmin) X Gesamtkapazität für die Versorgung essentieller Verbraucher und/oder der Pumpen, Sensoren, Steuereinrichtungen, Ladeeinrichtungen, usw. genutzt werden, so dass sich die nutzbare Kapazität deutlich erhöht. Zusätzlich ist eine manuelle Inbetriebnahme nicht erforderlich.

Gemäß einem vorteilhaften Merkmal ist vorgesehen, dass die aktuelle potentielle Ladeleistung zu vorbestimmten Zeitpunkten ermittelt wird. Vorteilhafterweise wird aber als Bedingung für die Bestimmung der potentiellen Ladeleistung ein Ladezustand unter der Schwelle SOCmin gewählt.

Vorzugsweise wird dabei die aktuelle potentielle Ladeleistung in allenfalls veränderlichen Zeitintervallen zwischen 0,1 s bis 3 h, vorzugsweise zwischen 10 s bis 30 min, ermittelt.

Dabei können unerwünschte Ein- und Abschaltvorgänge im Grenzbereich dadurch vermieden werden, dass die Batterie hochgefahren wird, wenn mehrere aufeinanderfolgende Ermittlungen eine größere Ladeleistung als Verlustleistung ergeben.

Natürlich kann aber auch eine Variante vorgesehen sein, bei welcher die aktuelle potentielle Ladeleistung kontinuierlich ermittelt und die Energie dafür aus der externen Quelle bezogen wird.

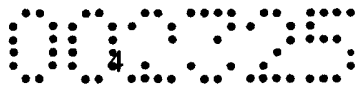
Gemäß einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Batterie auch bei Unterschreiten des zweiten vordefinierten Wertes aktiv gehalten wird, solange größere Ladeleistung aus der externen Quelle als potentielle Verlustleistung vorliegt.

Dabei wird vorzugsweise bei Unterschreiten des zweiten vordefinierten Wertes und geringerer aktueller Ladeleistung aus der externen Quelle als potentieller Verlustleistung die Batterie stillgelegt.

Vorteilhafterweise kann zwischen dem Abkoppeln und wieder Zuschalten der Last und/oder dem Stilllegen und Hochfahren der Batterie eine zeitliche Verzögerung, vorzugsweise zwischen 1 s bis 30 min, vorgesehen sein.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der Wert des Ladegrades für das Abkoppeln der Last bzw. der Wert für den Überschuss an Ladeleistung für das Hochfahren der Batterie gegenüber dem Wert des Ladegrades für das wieder Zuschalten der Last bzw. dem Wert für das Stilllegen der Batterie geringfügig höher angesetzt ist, vorzugsweise zwischen 0,1 bis 10%.

Gemäß bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung wird als externe Quelle eine photovoltaische Vorrichtung, vorzugsweise eine Solaranlage, vorgesehen.



Die potentielle Ladeleistung wird vorteilhafterweise über geeignete Sensoren, beispielsweise eine Solarzelle bestimmt.

In der nachfolgenden Beschreibung soll die Erfindung anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert werden.

Beispielsweise bei einer Solartankstelle wird als Pufferspeicher eine Vanadium-Redox-Durchflussbatterie eingesetzt. Der Ladegrad SOC wird durch Messung der Klemmenspannung bestimmt. Sinkt dieser Ladegrad unter 2%, werden der Verbraucher und die Redoxbatterie inklusive Steuerung abgeschaltet. Ein Zeitevent weckt die Steuerung in regelmäßigen Zeitabständen (z.B. tagsüber alle 5 Minuten) und bestimmt über die Messung der Strahlungsintensität für die Solarzellen die potentielle Ladeleistung. Der Schlaf-Zustand umfasst die Abtrennung der Last und der Ladevorrichtung und das Stoppen der Pumpen, allenfalls auch das Abschalten zusätzlicher Steuerelektronik für die Redox-Durchfluss-Batterie.

Sobald die potentielle Ladeleistung größer als die potentielle Verlustleistung ist, wird die Vanadium-Redox-Durchflussbatterie mit Hilfe einer Sekundär-Quelle mit niedriger Selbstentladung, beispielsweise einer Blei-Säure-Batterie, wieder hochgefahren, welche Energiequelle die erneute Aktivierung der Pumpen gewährleistet. Diese Ermittlung kann in vorbestimmten Zeitintervallen geschehen, um Energie zu sparen, wobei das Wiederhochstarten eingeleitet wird, wenn eine oder mehrere aufeinanderfolgende Ermittlungen diesen Grenzwert überschreiten. Alternativ dazu kann die Ermittlung auch kontinuierlich stattfinden, wenn beispielsweise eine nur geringen Energieverbrauch aufweisender oder durch Solarenergie versorgte fest verdrahtete Schaltung verwendet wird.

Die Energie für das Hochfahren könnte natürlich auch unmittelbar aus einer Photovoltaik- oder Solaranlage kommen. Die Kriterien für das Wiederhochstarten können sein, dass die (durch eine beliebige Anzahl von photosensitiven oder photovoltaischen Vorrichtungen und entsprechende Schaltungen gemäß dem Stand der Technik) ermittelte Lichtintensität über einen bestimmten Grenzwert steigt, so dass die Ladeeinrichtung voraussichtlich einen Überschuß-Strom (idealerweise einen deutlich übersteigenden) liefern kann.

Die Blei-Säure-Batterie oder jede andere Backup-Energiequelle, welche vorzugsweise bei ausreichendem Energieüberschuss im aktiven Zustand der Redox-Durchflussbatterie geladen wird, wird spezifisch nur dafür aktiviert, um für das Wiederhochstarten der Redox-Durchfluss-Batterie aus ihrem Schlaf-Zustand Energie zu liefern. Dabei kann ein bevorzugtes Entscheidungskriterium für das Abziehen von Strom aus der Blei-Säure-Batterie sein, dass die Solarintensität ausreichend ist und natürlich dass die Redox-Durchfluss-Batterie in den Schlaf-Zustand versetzt worden ist. Letzteres geschieht nur dann, wenn zu wenig Energie im Elektrolyt verblieben war.



Die Anordnung zur Deaktivierung der Redox-Durchfluss-Batterie von weiterer Entladung und zur Initiierung der periodischen oder kontinuierlichen Ermittlung der Ladebedingungen, insbesondere der Bedingungen an Photovoltaik- oder Solaranlagen, kann zusammen mit der Wiederhochstart-Routine durch eine fest verdrahtete Schaltung oder durch eine mikrocontrollerbasierte Schaltung realisiert sein.

Um zu bestimmen, ob die verbleibende Energie der Redox-Durchfluss-Batterie nicht ausreichend ist, kann die Klemmenspannung mit einem vorgegebenen Wert – mit oder ohne Korrektur aufgrund Flussrate, Temperatur und Strom – verglichen werden, oder es kann der Ladezustand (SOC, state-of-charge) des Elektrolyten mit bekannten Techniken ermittelt werden, insbesondere unter Verwendung eines „open-cell voltage (OCV) measurement“ mit Temperaturkorrektur.

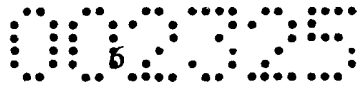
Ein Beispiel für einen Basis-Algorithmus könnte etwa wie folgt lauten:

- 1) Wenn $SOC > SOC_{LL}$ – System in vollem Betriebszustand, jede Last aktiv
- 2) Wenn $SOC_{min} < SOC < SOC_{LL}$ – System in Betriebszustand, alle nicht essentiellen Lasten sind abgekoppelt, lediglich essentielle Verbraucher und/oder Pumpen, Sensoren, Steuereinrichtungen, Ladeeinrichtungen, usw. sind aktiv
- 3) Wenn $SOC < SOC_{min}$ und Lichtintensität $>$ Vorgabewert – System in Betriebszustand, alle nicht essentiellen Lasten sind abgekoppelt, lediglich essentielle Verbraucher und/oder Pumpen, Sensoren, Steuereinrichtungen, Ladeeinrichtungen, usw. sind aktiv
- 4) Wenn $SOC < SOC_{min}$ und Lichtintensität $<$ Vorgabewert – System im Schlaf-Zustand, alle Lasten abgekoppelt

Prinzipiell sind nach außen hin, betreffend die essentiellen und nicht-essentiellen Verbraucher, die Zustände 2) und 3) gleichartig.

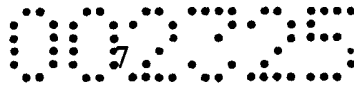
Selbstverständlich könnten vorteilhafterweise eine Hysterese oder eine Zeitverzögerung in den Wertevergleich eingebaut sein, so dass beispielsweise bei abnehmendem SOC die Last bei Wert 1 abgekoppelt wird, jedoch nicht wieder zugeschaltet wird, bevor nicht wieder ein Wert $1 + d$ erreicht wird. Damit kann zu schnelles Umschalten des Systems nahe den Schaltschwellen vermieden werden.

Für die Bestimmung des Ladezustands der Redox-Durchflussbatterie kann beispielsweise die offene Klemmenspannung (OCV, open-circuit voltage) ermittelt werden, vorzugsweise an einer speziell dafür vorgesehenen Zelle, die unabhängig von den energieliefernden Zellen betrieben wird. Die Zelle kann auch mit einer Elektronik zur Errechnung des Ladezustandes aus der offenen Klemmenspannung und zur Übermittlung dieses Wertes an die Hauptsteuereinrichtung ausgestattet sein.



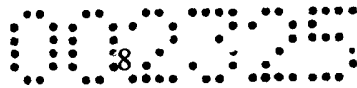
Die für die Ermittlung der offenen Klemmenspannung vorgesehene Zelle kann weiters vorzugsweise mit einem Temperatursensor ausgestattet sein, um den Ladezustand über die integrierte Elektronik betreffend der Temperatur zu korrigieren. Vorteilhafterweise ist die Elektronik galvanisch von den anderen Potentialen in der Zelle getrennt, so dass keine Shunt-Ströme durch diese Zelle fließen können. Damit ist eine besonders genau Ermittlung des Ladezustandes möglich.

In der Elektronik zur Ermittlung des Ladezustandes kann ein Mikrocontroller vorhanden sein, und können auch sogenannte Look-Up-Tables (LUT) abgelegt sein, mit Hilfe welcher der Ladezustand einfach und rasch ermittelt wird. Eine andere Alternative wäre eine Vergleich mit einer üblicherweise polynomischen „best-fit“-Kurve oder die Berücksichtigung der Nernst-Gleichung. Letztere kann auch modifiziert werden, um das Membranpotential zu berücksichtigen, welches durch den Unterschied in der Protonenaktivität über die Ionentauscher-Membran verursacht wird.



Patentansprüche:

1. Verfahren zum Betreiben einer Redox-Durchflussbatterie mit Laderegler für das Laden aus einer externen Quelle, bei welcher beim Lade- und Entladevorgang Elektrolytflüssigkeiten durch elektrochemische Zellen gepumpt werden, wobei die Energie für das Hochfahren der Batterie aus einem zusätzlichen Speicher bezogen wird, wobei ein angeschlossener Verbraucher bei einem vordefinierten ersten Wertes für den Ladegrad abgeschaltet wird, und die Batterie bei Unterschreiten eines zweiten vordefinierten Wertes für den Ladegrad stillgelegt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die aktuelle potentielle Ladeleistung der externen Quelle unabhängig vom Laderegler ermittelt, mit der aktuellen potentiellen Verlustleistung verglichen und bei größerer Ladeleistung als Verlustleistung die Batterie hochgefahren wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die aktuelle potentielle Ladeleistung zu vorbestimmten Zeitpunkten ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die aktuelle potentielle Ladeleistung in allenfalls veränderlichen Zeitintervallen zwischen 0,1 s bis 3 h, vorzugsweise zwischen 10 s bis 30 min, ermittelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Batterie hochgefahren wird, wenn mehrere aufeinanderfolgende Ermittlungen eine größere Ladeleistung als Verlustleistung ergeben.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die aktuelle potentielle Ladeleistung kontinuierlich ermittelt und die Energie dafür aus der externen Quelle bezogen wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Batterie auch bei Unterschreiten des zweiten vordefinierten Wertes aktiv gehalten wird, solange größere Ladeleistung aus der externen Quelle als potentielle Verlustleistung vorliegt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass bei Unterschreiten des zweiten vordefinierten Wertes und geringerer aktueller Ladeleistung aus der externen Quelle als potentieller Verlustleistung die Batterie stillgelegt wird.



8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Abkoppeln und wieder Zuschalten der Last und/oder dem Stilllegen und Hochfahren der Batterie eine zeitliche Verzögerung, vorzugsweise zwischen 1 s bis 30 min, vorgesehen ist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Wert des Ladegrades für das Abkoppeln der Last bzw. der Wert für den Überschuss an Ladeleistung für das Hochfahren der Batterie gegenüber dem Wert des Ladegrades für das wieder Zuschalten der Last bzw. dem Wert für das Stilllegen der Batterie geringfügig höher angesetzt ist, vorzugsweise zwischen 0,1 bis 10%.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass als externe Quelle eine photovoltaische Vorrichtung, vorzugsweise eine Solaranlage, vorgesehen ist.