



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 23 204 T2** 2005.04.21

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 998 778 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 23 204.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US98/15210**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 936 998.8**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/005766**

(86) PCT-Anmeldetag: **23.07.1998**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **04.02.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **10.05.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **14.04.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **21.04.2005**

(51) Int Cl.7: **H02J 7/00**
G01R 31/36

(30) Unionspriorität:
900928 25.07.1997 US

(73) Patentinhaber:
3M Innovative Properties Co., St. Paul, Minn., US;
Hydro-Quebec Corp., Montreal, Quebec, CA

(74) Vertreter:
Vossius & Partner, 81675 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT, SE

(72) Erfinder:
HAGEN, A., Ronald, Stillwater, US; CHEN, W.,
Kenneth, Fair Oaks, US; COMTE, Christophe,
Montreal, CA; KNUDSON, B., Orlin, Vadnais
Heights, US; ROUILLARD, Jean, Saint-Luc, CA

(54) Bezeichnung: **FEHLERTOLERANTES BATTERIESYSTEM WELCHES EINE NETZWERKARCHITEKTUR ZWISCHEN BATTERIEN VERWENDET**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Fachgebiet der Erfindung

[0001] Diese Erfindung betrifft im allgemeinen Energiespeichervorrichtungen und insbesondere ein verteiltes Batteriesystem, welches ein Kommunikationsnetzwerk zwischen Batterien und fehlertolerante Intelligenz verwendet.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Eine Anzahl fortgeschrittener Energiespeicher-Gerätetechnologien, wie etwa Metallhydrid- (z. B. Ni-MH), Lithiumionen- und Lithiumpolymerzellen-Technologien, wurden in letzter Zeit entwickelt, welche für einen großen Bereich an kommerziellen und Endverbraucheranwendungen die Bereitstellung einer hohen Energieerzeugung versprechen. In Hochenergie-Anwendungen werden typischerweise eine erhebliche Anzahl einzelner Energiespeichervorrichtungen oder Zellen in Reihe und parallel geschaltet, um jeweils höhere Spannungen und Ströme zu erzeugen. Die Kombination von Zellen erhöht in dieser Weise die Leistungskapazität des Energiespeichersystems. Beispielhaft wird angenommen, daß ein Batteriesystem, das geeignet ist, ein Elektrofahrzeug zu versorgen, wahrscheinlich eine Nennspannung in der Größenordnung von einigen hundert Volt und einen Nennstrom in der Größenordnung von einigen hundert Ampere (A) hat.

[0003] Ein Ansatz zur Konstruktion eines Hochleistungsbatteriesystems umfaßt das Miteinanderverbinden einer Anzahl von abgeschlossenen Energiespeichervorrichtungen in einer vorgeschriebenen Reihen- und/oder parallelen Anordnung, um eine gewünschte Nennspannung und einen gewünschten Nennstrom zu erreichen. Die Verwendung eines modularen Ansatzes beim Aufbau eines großen Batteriesystems sorgt im allgemeinen für eine erhöhte Flexibilität in der Konstruktion und verbesserte Wartbarkeit des Systems. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, daß das Erhöhen der Anzahl einzelner Energiespeichervorrichtungen in einem gegebenen Batteriesystem die Schwierigkeit erhöht, den Betriebszustand jeder Vorrichtung zu bestimmen. Die Schwierigkeit, vorhandene oder nahe bevorstehende Fehler in dem Batteriesystem zu erkennen und derartige Fehler zu beheben, wird ebenfalls erhöht.

[0004] In einem verteilten Batteriesystem, das mehrere in Reihe geschaltete Energiespeichermodule aufweist, von denen jedes eine Anzahl elektrochemischer Zellen enthält, wird es zum Beispiel als wünschenswert betrachtet, Zellen zu verwenden, die elektrochemisch und was die wesentlichen Spannungs/Stromeigenschaften anbetrifft äquivalent oder sehr ähnlich sind. Es ist bekannt, daß sich oft unerwünschte Folgen während des Ladens und Entladens ergeben, wenn eine Energiespeicherzelle in einem Reihenstrang von Zellen wesentliche Eigenschaften zeigt, die erheblich von denen anderer in Reihe geschalteter Energiespeicherzellen abweichen. Eine andere nachteilige Folge umfaßt zum Beispiel die Spannung einer anomalen Energiespeicherzelle in dem Reihenstrang, die während des Ladens schnell eine nominelle Maximalspannungsgrenze überschreiten kann. Ein derartiger Überspannungs- oder Überladungszustand kann die Zelle beschädigen und die Lebensdauer der Zelle und anderer Zellen in der Reihenschaltung erheblich verringern.

[0005] Es kann davon ausgegangen werden, daß die wesentlichen Eigenschaften von in Massen hergestellten Energiespeicherzellen in veränderlichen Ausmaßen von einem gegebenen Anforderungssatz abweichen. Ferner werden wesentliche Zelleigenschaften, selbst wenn sie zum Herstellungszeitpunkt als akzeptabel betrachtet werden, über die Zeit mit veränderlichen Geschwindigkeiten von den Herstellungsspezifikationen abweichen. Um leichte und ausgeprägte Unterschiede in der Zellenchemie und Leistung eines Reihenstrangs von Modulen oder Zellen, welche ein verteiltes Batteriesystem bilden, zu erkennen, ist ein umfassendes Datenerfassungsprogramm erforderlich, um ausreichend Informationen zu erfassen, welche die einzelnen Modul- und Zellenbetriebsbedingungen betreffen. Wenn diese Informationen einmal erfaßt wurden, müssen diese Informationen verarbeitet werden und eine Strategie für korrigierende Aktionen muß implementiert werden, um die anomalen Betriebsbedingungen, die in dem verteilten Batteriesystem auftreten, anzugehen. US-A-5 619 417 beschreibt ein System zur Verwaltung einer Vielzahl von miteinander verbundenen Batteriemodulen, in denen eine getrennte Batterieüberwachung in elektrisch bedienbarer und naher räumlicher Beziehung zu jeder einer Vielzahl von Batterieüberwachungen steht, um physikalische Parameter dieser Batterie zu ermitteln.

[0006] Es besteht ein Bedarf in der Batterieherstellungsbranche an einer Vorrichtung und einem Verfahren zum Manipulieren des Betriebs einer Anzahl einzelner in Reihe geschalteter Energiespeichermodule und Zellen und zum Implementieren einer Strategie für korrigierende Aktionen, um Fehler zu beheben, die in den in Reihe geschalteten Modulen und Zellen auftreten. Es besteht ein weiterer Bedarf an einem verteilten Batteriesystem, das für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb bei Vorhandensein von in dem Batteriesystem auf-

tretenden Fehlern sorgt. Die vorliegende Erfindung erfüllt dieses und andere Bedürfnisse.

Zusammenfassung der Erfindung

[0007] Die vorliegende Erfindung ist auf ein verteiltes Energiespeichersystem, das ein Kommunikationsnetzwerk verwendet, ausgerichtet. Ein verteiltes Batteriesystem weist eine Anzahl von Energiespeichermodulen auf, von denen jedes einen Prozessor und eine Kommunikationsschnittstelle aufweist. In einem Netzbetriebsmodus kommuniziert ein Batteriecomputer mit jedem der Modulprozessoren über ein Netzwerk zwischen Batterien und arbeitet mit einzelnen Modulprozessoren zusammen, um Modulüberwachungs- und Steuerungsarbeitsgänge zu koordinieren. Der Batteriecomputer überwacht eine Anzahl von Batterie- und Modulzuständen, einschließlich des Spannungs- und Stromzustands der Batterie und einzelner Module, und die Zustände des Wärmemanagementsystems der Batterie. Ein Überentladungs-Schutzsystem, ein Ausgleichsjustiersystem und ein Kommunikationssystem werden ebenfalls von dem Batteriecomputer gesteuert. Der Batteriecomputer protokolliert und berichtet verschiedene Zustandsdaten über Zustände auf Batterieebene, die an einen getrennten Systemplattformcomputer berichtet werden können.

[0008] Ein Modul geht in einen unabhängigen Betriebsmodus über, wenn das Modul das Nichtvorhandensein einer Kommunikationsverbindungsmöglichkeit mit dem Batteriecomputer feststellt. Ein Modul, das in einem unabhängigen Modus arbeitet, führt verschiedene Überwachungs- und Steuerungsfunktionen lokal in dem Modul durch, um einen sicheren und fortgesetzten Betrieb sicherzustellen. Der Modulprozessor koordiniert autonom die Überwachung der Strom-, der Spannungs- und Temperaturzustände, bewirkt eine Umgehung defekter Zellen, gleicht während Lade- und Entladungszyklen Zellspannungen aus und erkennt und protokolliert in dem Modul auftretende Fehlerzustände. Die Modulzustandsinformationen, die während der Dauer des autonomen Betriebs angesammelt werden, werden daraufhin nach Wiederherstellung der Kommunikationsverbindungsmöglichkeit zwischen dem Modulprozessor und dem Batteriecomputer an den Batteriecomputer übertragen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0009] Fig. 1 stellt eine Ausführungsform eines fehlertoleranten verteilten Batteriesystems, welches eine Anzahl von in Reihe geschalteten Energiespeichervorrichtungen aufweist, dar;

[0010] Fig. 2A ist eine Darstellung verschiedener Energiespeichervorrichtungskonfigurationen, einschließlich Zellen-, Zellenpaket-, Modul-, und Batteriekonfigurationen;

[0011] Fig. 2B stellt eine Ausführungsform eines Festkörper-Energiespeichermoduls dar, welches einen Stapel von elektrochemischen Dünnschichtzellen enthält, die unter Verwendung einer in einem hermetisch verschlossenen Gehäuse angeordneten Verdrahtungsleiterplatte selektiv in einer Reihen- und/oder parallelen Beziehung miteinander verbunden sind;

[0012] Fig. 2C stellt eine Oberfläche einer Verdrahtungsleiterplatte mit einem darauf angeordneten Verbindungsmuster dar, um eine selektive Verbindungsmöglichkeit in Reihe und/oder parallel mit einer Anzahl von elektrochemischen Zellen bereitzustellen;

[0013] Fig. 3 stellt eine Ausführungsform einer elektrochemischen Feststoff-Dünnschichtzelle mit einem prismenförmigen Aufbau dar;

[0014] Fig. 4 ist eine Darstellung eines Kommunikationsnetzwerkes zwischen Batterien mit einer Sterntopologie zur Verwendung in einem fehlertoleranten verteilten Batteriesystem;

[0015] Fig. 5 ist eine detailliertere Darstellung eines Kommunikationsnetzwerkes zwischen Batterien mit einer Sterntopologie;

[0016] Fig. 6 stellt ein Kommunikationsnetzwerk zwischen Batterien mit einer Bustopologie zur Verwendung in einem fehlertoleranten verteilten Batteriesystem dar;

[0017] Fig. 7 ist eine detailliertere Darstellung eines Kommunikationsnetzwerkes zwischen Batterien mit einer Bustopologie;

[0018] Fig. 8 stellt verschiedene Arbeitsschritte dar, die von Modul- und Batteriecomputern durchgeführt werden, die über ein Kommunikationsnetzwerk zwischen Batterien kommunizieren;

[0019] Fig. 9–11 bilden viele der von dem Batteriecomputer und den Modulcomputern eines fehlertoleranten verteilten Batteriesystems koordinierten Arbeitsschritte in Flußdiagrammform ab;

[0020] Fig. 12–13 sind schematische Darstellungen von elektronischen Überwachungs- und Steuerungsschaltungsanordnungen, die in einem Energiespeichermodul eines fehlertoleranten verteilten Batteriesystems gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung eingebaut sind;

[0021] Fig. 14 ist ein Flußdiagramm, das verschiedene von einem Batteriecomputer koordinierte Verfahrensschritte darstellt, welche die Steuerung eines Wärmemanagementsystems für ein fehlertolerantes verteiltes Batteriesystem umfassen;

[0022] Fig. 15 ist eine Abbildung eines aktiven Wärmemanagementsystems eines fehlertoleranten verteilten Batteriesystems; und

[0023] Fig. 16 stellt in schematischer Form eine Anzahl von Sensoren dar, die Temperaturinformationen für die Module und das Kühl-/Heizsystem eines fehlertoleranten verteilten Batteriesystems liefern.

Detaillierte Beschreibung der Ausführungsformen

[0024] Nun bezug auf die Zeichnungen und insbesondere auf Fig. 1 nehmend ist eine Ausführungsform eines fehlertoleranten verteilten Batteriesystems dargestellt, welches eine Anzahl von Energiespeichervorrichtungen **66** enthält, die durch einen Stromanschluß **67** als miteinander in Reihe geschaltet gezeigt sind. Jede der Energiespeichervorrichtungen **66** ist auch mit einer Kommunikationsinfrastruktur **64** verbunden, durch welche die Kommunikation zwischen einem Batterieplattformcomputer **62** und den Modulen **66** herbeigeführt wird. Jedes der Module **66** weist einen darin angeordneten Prozessor oder Computer auf, der über die Kommunikationsinfrastruktur **64** elektrisch mit dem Batteriecomputer **62** in Verbindung steht. Gemäß diesem Aufbau bilden der Batteriecomputer **62**, die Kommunikationsinfrastruktur **64** und das Modul **66** ein Netzwerk **68** zwischen Batterien. Der Batteriecomputer **62** kann ferner mit einem Systemplattformcomputer **60** kommunizieren.

[0025] In einer Ausführungsform überträgt der Batteriecomputer **62** über die Kommunikationsinfrastruktur **64** Steuerungs- und Konfigurationssignale an das Modul **66**, um den Betrieb der Module **66** während den Lade- und Entladearbeitsschritten zu koordinieren. Jedes der Module **66** überträgt Zustand, Fehler und andere Informationen an den Batteriecomputer **62**. Ansprechend auf die von den Modulen **66** und von anderen Quellen empfangenen Informationen steuert der Batteriecomputer **62** verschiedene elektrische und Wärmemanagementsysteme, die in dem Batteriesystem und den Modulen **66** vorgesehen sind, um sicherzustellen, daß das Batteriesystem im Nennbereich arbeitet.

[0026] Ein wichtiger Aspekt des in Fig. 1 abgebildeten verteilten Batteriesystems betrifft die Fähigkeit der Module **66**, in einem vernetzten Modus oder in einem unabhängigen Modus zu arbeiten. In einem typischen Szenario geht ein bestimmtes Modul **66** ansprechend auf einen in der Kommunikationsinfrastruktur **64** oder dem Batteriecomputer **62** auftretenden Fehler, der bewirkt, daß das bestimmte Modul **66** elektrisch oder logisch von dem Batteriecomputer **62** isoliert wird, von einem vernetzten Modus in einen unabhängigen Betriebsmodus über. Zum Beispiel verhindert eine Unterbrechung in der Kommunikationsverbindung zwischen dem Modul **66** und dem Batteriecomputer **62** typischerweise, daß der Batteriecomputer **62** Betriebsänderungen in dem isolierten Modul **66** hervorruft. In einem derartigen Fall erkennt das isolierte Modul **66** das Nichtvorhandensein einer Kommunikationsverbindungsmöglichkeit mit dem Batteriecomputer **62** und arbeitet ansprechend darauf in einem unabhängigen Modus.

[0027] Ein Modul **66**, das in einem unabhängigen Modus arbeitet, führt verschiedene Überwachungs- und Steuerungsarbeitsschritte lokal in dem Modul **66** durch, um einen sicheren und fortgesetzten Betrieb des isolierten Moduls **66** sicherzustellen. In dieser Hinsicht kann das in Fig. 1 gezeigte verteilte Batteriesystem als ein fehlertolerantes System gesehen werden, in dem Fehler, die auf der Batterieplattformebene oder zwischen dem Batteriecomputer **62** und einzelnen über ein Netzwerk **68** zwischen Batterien kommunizierenden Modulen **66** auftreten, von dem Batteriecomputer **62** oder von jedem der autonomen Module **66** effektiv gehandhabt werden.

[0028] Gemäß einer Ausführungsform eines verteilten Batteriesystems wird ein für die Verwendung in Hochenergieanwendungen gut geeignetes Energiespeichersystem oder Modul aufgebaut, indem eine Anzahl von prismenförmigen elektrochemischen Dünnschichtzellen in einer parallelen und/oder Reihenbeziehung miteinander verbunden werden, um eine gewünschte Nennspannung und einen gewünschten Nennstrom zu erreichen.

In der in **Fig. 2A** abgebildeten erläuternden Ausführungsform sind acht elektrochemische Zellen **70** zusammengruppiert und parallel geschaltet, um ein Zellenpaket **72** zu bilden. Eine Energiespeichervorrichtung **74** wird durch Zusammengruppieren von sechs Zellenpaketen **72** und In-Reihe-Schalten der Pakete **72** gebildet. Eine Batterie **76** kann unter Verwendung von 24 in Reihe geschalteten Modulen **74** aufgebaut werden.

[0029] Eine elektrochemische Zelle, die als das grundlegende energieerzeugende Element einer Energiespeichervorrichtung verwendet wird, kann eine prismenförmige Dünnschichtstruktur wie etwa die in **Fig. 3** dargestellte haben. Gemäß der in **Fig. 3** dargestellten Ausführungsform ist die elektrochemische Zelle **80** als ein flacher gewickelter prismenförmiger Aufbau gezeigt, in dem ein fester Dünnschicht-Elektrolyt **86** zwischen einer Folie **84**, die eine Anode bildet, und einer Folie **88**, die eine Kathode bildet, angeordnet ist. Ein zentraler Kathodenstromkollektor **89** ist zwischen jeder der Kathodenfolien **88** angeordnet, um einen zweiseitigen Zellaufbau zu bilden. Ein einseitiger Zellaufbau kann alternativ verwendet werden, wobei ein einziger Kathodenkollektor **89** mit einer einzigen Anoden-/Trenn-/Kathodenelementkombination verbunden wird. In diesem Aufbau ist typischerweise eine isolierende Folie zwischen einzelnen Anoden-/Trenn-/Kathoden-/Kollektorelementkombinationen angeordnet. Die Anodenfolien **84** sind relativ zu dem Kathodenstromkollektor **89** seitlich versetzt, um die Anode **84** entlang eines ersten Rands **85** der Zelle **80** freizulegen und den Kathodenstromkollektor **89** entlang eines zweiten Rands **83** der Zelle **80** freizulegen. Die in **Fig. 3** gezeigte Ausführungsform enthält ein krafterzeugendes Kernelement **82**, um das die elektrochemische Dünnschichtzelle **80** gewickelt ist.

[0030] Die in **Fig. 3** gezeigte elektrochemische Zelle **80** kann aufweisen: einen festen Polymerelektrolyten **86**, der eine ionentransportierende Membran bildet, eine Lithiummetallanode **84** und eine Vanadiumoxidkathode **88**. Diese Folienelemente werden hergestellt, um eine laminierte prismenförmige Dünnschichtstruktur zu bilden, die auch eine isolierende Folie, wie etwa eine Polypropylenfolie, aufweisen kann. Ein bekanntes Vakuumzerstäubungsmetallisierungsverfahren wird verwendet, um jeweils Strom sammelnde Kontakte entlang der Ränder **85**, **83** der Anoden- und Kathodenstromkollektorfolien **84**, **89** zu bilden. Es wird bemerkt, daß die metallgesprühten Kontakte für eine überlegene Stromsammlung entlang der Länge der Anoden- und Kathodenfolienränder **85**, **83** sorgen und gute elektrische Kontakt- und Wärmeübertragungseigenschaften zeigen.

[0031] Im allgemeinen behalten die aktiven Materialien, welche die in **Fig. 3** dargestellte feste elektrochemische Dünnschichtzelle bilden, bei Temperaturen gut oberhalb der typischen Betriebstemperatur ihre chemische und mechanische Integrität. Zum Beispiel können Temperaturen von bis zu 180°C toleriert werden. Die im allgemeinen in den Figuren abgebildeten Zellen können gemäß den in US-A-5 423 110, US-A-5 415 954 und US-A-4 897 917 offenbarten Verfahren hergestellt werden.

[0032] Wenn man die in **Fig. 2A** gezeigten Anordnungen hat und annimmt, daß jede der elektrochemischen Zellen **70** Abmessungen und wesentliche Eigenschaften hat, die den in **Fig. 3** abgebildeten äquivalent sind, sorgt jede einzelne Zelle **70** für eine Gesamtenergieabgabe von etwa 36,5 Wh. Jedes Zellenpaket **72** sorgt für eine Gesamtenergieabgabe von 292 Wh, während jedes Modul **74** für eine Gesamtenergieabgabe von 1,75 kWh sorgt. Eine Batterie **76**, die aus 24 in Reihe geschalteten Modulen **74** besteht, sorgt für eine Gesamtenergieabgabe von etwa 42 kWh. Es ist klar, daß die Struktur und Anordnung der elektrochemischen Zellen **70** und die Verbindung der Zellen **70** untereinander, welche ein Zellenpaket **72**, ein Modul **74** und eine Batterie **76** bilden, sich von den in **Fig. 2A** dargestellten Anordnungen unterscheiden können.

[0033] In **Fig. 4–5** ist eine Ausführungsform eines verteilten Batteriesystems gezeigt, in das ein Netzwerk **100** zwischen Batterien integriert ist, welches in einer Sternkonfiguration oder Topologie angeordnet ist. Die in **Fig. 4–5** dargestellte Sterntopologie sorgt für eine elektrische Verbindungsmöglichkeit zwischen jedem der mobilen Computer oder der Steuerungen **102** und dem zentralen Batteriecomputer **101** von System zu System. Ein Vorteil gegenüber einer Implementierung zwischen Batterien, die eine Sterntopologie verwendet, betrifft einen inhärenten Schutz gegen mehrfache Übertragungsleitungsfehler. Wenn zum Beispiel eine Kommunikationsverbindung **103** zwischen einem bestimmten Modulcomputer **102** und dem Batteriecomputer **101** ausfällt, bleibt eine Übertragungsleitung **104**, welche einen anderen Modulcomputer mit dem Batteriecomputer **101** verbindet, von dem Ausfall der Kommunikationsverbindung **103** unbeeinträchtigt. Verbindungsprobleme sind in einem Netzwerk zwischen Batterien mit Sternkonfiguration relativ einfach zu diagnostizieren, so daß der Batteriecomputer **101** den Ort einer fehlerhaften Kommunikationsverbindung innerhalb des Netzwerkes **100** zwischen Batterien zuverlässig identifizieren kann.

[0034] Ein anderer Vorteil der Verwendung einer Sternnetzwerktopologie umfaßt die Leichtigkeit, mit der der physikalische Ort eines bestimmten Moduls **102** innerhalb des verteilten Batteriesystems bestimmt werden kann. An sich erfordert das Einführen eines neuen oder der Ersatz eines Moduls in dem verteilten Batteriesys-

tem **100** keine Programmierung des physikalischen Ortes des neuen oder Ersatzmoduls in dem Batteriecomputer **101**. **Fig. 5** stellt die in **Fig. 4** abgebildete verallgemeinerte Sternnetzwerktopologie zwischen Batterien detaillierter dar. In dem in **Fig. 5** gezeigten Feld von Modulen **102** ist jedes unter Verwendung einzelner Übertragungsleitungen **104** mit dem (nicht gezeigten) Batteriecomputer **101** verbunden. Außerdem sind die positiven und negativen Anschlüsse der Module **102** unter Verwendung einer getrennten Stromleitung **106** in Reihe geschaltet. Die Stromleitung **106** endet an positiven und negativen Netzanschlüssen **107**, **108**.

[0035] In **Fig. 6–7** ist ein Netzwerk zwischen Batterien mit einer Buskonfiguration abgebildet, in dem eine einzige Übertragungsleitung oder ein Bus **104** jeden der Modulcomputer **102** mit dem Batteriecomputer **101** verbindet. Jeder der Modulcomputer **102** ist über eine getrennte Leitung **109** mit dem Bus **104** verbunden. Ein geeignetes Kommunikationsprotokoll, das ein Entscheidungsschema verwendet, welches in einem Busnetzwerk zwischen Batterien, wie etwa dem in der in **Fig. 6–7** dargestellten Ausführungsform gezeigten, verwendet werden kann, ist im MIL-Standard 1553 definiert. Wie ebenfalls in **Fig. 7** gezeigt, ist jedes der Module **102** mit einem Reihenstromanschluß **106** verbunden, der jeweils an positiven und negativen Batterieanschlüssen **107** und **108** endet. Es ist klar, daß eine andere Netzwerktopologie zwischen Batterien als in den Figuren dargestellte Stern- und Buskonfigurationen verwendet werden kann, um die Kommunikation zwischen dem Batteriecomputer **101** und jedem der Modulcomputer **102** zu bewirken. Zum Beispiel kann ein Ring mit Sternkonfiguration, eine Stern-/Buskonfiguration oder eine andere Standard- oder Hybridtopologie verwendet werden.

[0036] Es wird erwartet, daß die Datenübertragungsrate innerhalb des Netzwerkes zwischen Batterien unabhängig von der verwendeten bestimmten Netzwerktopologie relativ langsam sein wird. In einer Ausführungsform wird eine 26-Byte-Befehlsstruktur verwendet, um den Zustand und Befehlsparameter zwischen dem Batteriecomputer **62** und einzelnen Modulcomputern **102** zu übertragen. Wenn zum Beispiel in einem verteilten Batteriesystem, das 24 Energiespeichervorrichtungen **102** umfaßt, angenommen wird, daß ein einziger Befehl 26 Bytes bildet, ist die minimale Bandbreite, die benötigt wird, um die 24 Module abzufragen, 6240 Bit pro Sekunde $[(26 \text{ Byte/Modul}) \cdot (24 \text{ Module}) \cdot (10 \text{ Bit/Byte}) \cdot (P \text{ Hz}) = 6240 \cdot P \text{ Bit/Sekunde}]$. Es wird bemerkt, daß in diesem Beispiel eine asynchrone serielle Schnittstelle verwendet wird.

[0037] Eine allgemeine Gleichung zum Berechnen der minimalen Bandbreite B , die erforderlich ist, um eine Modulabfragefrequenz von P Hz zu erreichen, ist gegeben durch:

$$B = (x \text{ Byte/Modul}) \cdot (y \text{ Module}) \cdot (z \text{ Bit/Byte}) \cdot (P \text{ Hz}) \quad [1]$$

wobei x die Anzahl von Byte entsprechend dem Befehls- und Antwortformat darstellt, y die Anzahl von einzelnen Modulen darstellt, welche das verteilte Batteriesystem bilden, z die definierte Anzahl von Bits pro Byte darstellt und P die in Hertz gegebene Abfragefrequenz darstellt.

[0038] Tabelle 1 unten stellt die Bandbreite der Kommunikationsinfrastruktur **64** dar, die erforderlich ist, um bei verschiedenen Abfragefrequenzen P Hz Informationen über das Netzwerk **100** zwischen Batterien zu übertragen. Es wird bemerkt, daß die in Tabelle 1 bereitgestellten Bandbreitewerte nicht sämtliche Protokoll-Overheads enthalten, was einen zusätzlichen Overhead von bis zu 25% erfordern kann.

Tabelle 1

Frequenz (P)	Bandbreite
0,1 Hz	624 Bit/Sekunde
1,0 Hz	6240 Bit/Sekunde
10 Hz	62400 Bit/Sekunde
100 Hz	624000 Bit/Sekunde

[0039] Verdeutlichende Sätze von Batteriecomputerbefehlen und Modulcomputerantworten gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden jeweils unten in Tabelle 2 und 3 bereitgestellt:

Tabelle 2

Byte Nr.	Information
Byte 1	Moduladresse
Byte 2 - 3	Befehl
Byte 4 - 5	Zyklisches Blockprüfungsbyte

Tabelle 3

Byte Nr.	Information
Byte 1	Moduladressenidentifikation
Byte 2 - 5	Temperatur
Byte 6 - 11	Zellenpaket-Anschlußspannungen
Byte 12	Modulgehäusespannung
Byte 13	Modulanschlußspannung EIN
Byte 14	Modulanschlußspannung AUS
Byte 15	Vorrichtungsumgehungszustand
Byte 16	Warn- und Service-Anforderung für Batterie
Byte 17	Seriennummer
Byte 18 - 21	Zyklisches Blockprüfungsbyte

[0040] Wenn ein Modul von dem Netzwerk zwischen Batterien getrennt wird, wie etwa, wenn eine Wartung oder ein Austausch eines bestimmten Moduls erforderlich ist, wird ein neues Modul mit einer eindeutigen Identifikation, wie etwa einer eindeutigen Seriennummer in der Computerplattformbatterie **101** registriert. In einem Netzwerk zwischen Batterien mit einer Bustopologie, das die Identität eines eingeführten neuen Moduls registriert, kann das Netzwerk zwischen Batterien durch einen Batterietechniker, der den physikalischen Ort des Ersatzmoduls in den Batteriecomputer programmiert, manuell zustande gebracht werden.

[0041] Alternativ kann jeder auf dem Bus vorgesehene Stecker eine Ortsidentifikation zugeordnet haben, die in dem Netzwerk zwischen Batterien eindeutig ist. Eine Identifikationsschaltung kann eingebaut werden oder mit dem Busstecker verbunden werden, welche die eindeutige Ortsidentifikationsinformation in die Information kodiert, die zwischen einem bestimmten Modul und dem Batteriecomputer **101** übertragen wird. Es wird bemerkt, daß die Verwendung einer Sternnetzwerktopologie die Notwendigkeit vermeidet, den physikalischen Ort jedes Moduls in dem Netzwerk zu identifizieren.

[0042] Ein Netzwerk zwischen Batterien, das eine Sterntopologie verwendet, bietet gegenüber einer Bustopologie eine Anzahl von Vorteilen. Da zum Beispiel jede Übertragungsleitung auf einem Sternnetzwerk einen bekannten physikalischen Ort hat, ist der physikalische Ort jedes der Module, die über das Sternnetzwerk kommunizieren, bekannt. Im Gegensatz dazu erfordert eine Buskonfiguration zusätzliche Hardware bei jedem Modul, um zu bestimmen, wo das Modul in dem Netzwerk zwischen Batterien angeordnet ist. Ferner müssen alle Knoten, die auf einem Busnetzwerk kommunizieren, einem strengen Protokoll folgen, was den Verarbeitungsoverhead und die Speichernutzung vergrößert. Außerdem könnte ein Kurzschluß, der sich in einem Netzwerk mit Buskonfiguration entwickelt, möglicherweise alle Kommunikationen zwischen den Modulen und dem Batteriecomputer beenden. Ein offener Schaltkreis auf dem Bus wird typischerweise den Batteriecomputer von allen anderen Modulen trennen, die physikalisch außerhalb des offenen Schaltkreises sind.

[0043] Ein mit einer Sternnetzwerktopologie zusammenhängender Nachteil betrifft die Anzahl der Stecker,

welche auf dem Fachgebiet dafür bekannt sind, hohe Fehlerraten zu haben. Eine Sternkonfiguration erfordert im Vergleich zu einer Buskonfiguration mehr Stecker auf der Batterieplattformebene, aber die Anzahl der Stifte pro Stecker kann auf der Modulebene geringer sein. An sich kann die Anzahl der Gesamtkontakte, die erforderlich sind, um die Kommunikationen zwischen dem Batteriecomputer **101** und den Modulcomputern **102** zu erzielen, für beide Topologien etwa gleich sein.

[0044] In **Fig. 8** ist eine Ausführungsform eines fehlertoleranten verteilten Batteriesystems dargestellt, in dem ein Batteriecomputer **122** mit einer Anzahl von Modulcomputern **130** und auch mit einem Systemplattformcomputer **120** kommuniziert. Gemäß einer Ausführungsform wird das verteilte Batteriesystem als die Hauptstromquelle für ein Elektrofahrzeug verwendet. In diesem Aufbau kommuniziert der Batteriecomputer **122** mit dem Systemplattformcomputer **120** unter Verwendung eines Kommunikationsprotokolls, das äquivalent oder komplementär zu dem Protokoll ist, das verwendet wird, um die Kommunikationen zwischen anderen Vorrichtungen in dem Elektrofahrzeug zu erreichen. Zum Beispiel können die „Surface Vehicle Standard SAE-J 1850“-Spezifikation oder das „Vehicle Area Network (VAN)“-Protokoll verwendet werden. Alternativ kann ein Protokollübersetzer oder eine Bridge verwendet werden, um die Übersetzung zwischen inkompatiblen Protokollen zu bewirken. Es ist klar, daß ein hier beschriebenes hierarchisches Batteriesystem in anderen Systemen als einem Elektrofahrzeug, wie etwa zum Beispiel in Telekommunikationssystemen und Luftfahrtssystemen, verwendet werden kann.

[0045] Wie in **Fig. 8** weiter gezeigt ist, sorgt der Batteriecomputer **122** in Verbindung mit einer Anzahl von Modulcomputern **130** für die Überwachung, Steuerung und den Bericht von Arbeitsschritten in dem verteilten Batteriesystem. Einzelne Module sind auch fähig, autonom in einem unabhängigen Modus zu arbeiten. Der Batteriecomputer **122** überwacht **124** eine Anzahl von Batteriesystemzuständen, einschließlich das Potential und den elektrischen Stromzustand der Batterie und die Zustände des Wärmemanagementsystems der Batterie.

[0046] Eine Anzahl von Systemen auf Batterieebene, einschließlich zum Beispiel einem Schutzsystem vor übermäßiger Entladung, einem Wärmemanagementsystem, einem Ausgleichsjustiersystem und einem Kommunikationssteuerungssystem, werden von dem Batteriecomputer **122** verwaltet oder koordiniert **126**. Der Batteriecomputer **122** protokolliert und berichtet **128** auch verschiedene Zustandsdaten über Zustände auf Batterieebene, einschließlich der Spannung, restlichen „Brennstoffs“, Wartungs- und Serviceempfehlungen und Vorgeschichte, Temperaturen und anderer von dem Systemplattformcomputer **120** benötigter Informationen.

[0047] Jedes der Module umfaßt, wie bereits diskutiert, einen Mikroprozessor oder Computer **130**, der sowohl für den unabhängigen Betrieb als auch den zusammenwirkenden Betrieb mit dem Batteriecomputer **122** sorgt. Jeder der Modulcomputer **130** überwacht **132** verschiedene Arbeitsschritte und Zustandsbedingungen in dem Modul, einschließlich Potential, Strom und Temperaturzustände. Außerdem werden von dem Modul die Anzahl umgangener Zellenpakete und andere Fehlerzustände überwacht **132**. Ferner werden Ausgleichspotentiale, wie etwa die maximale und die minimale Zellenpaketspannung in einem Modul von dem Modulcomputer **130** überwacht.

[0048] Der Modulcomputer **130** steuert **134** eine Anzahl von Funktionen auf Modulebene, einschließlich der Veranlassung eines Umgehens eines fehlerhaften Zellenpakets und der Erleichterung des Potentialausgleichs zwischen in dem Modul enthaltenen Zellenpaketen während der Lade- und Entladearbeitsschritte. Verschiedene Modulzustandsinformationen, einschließlich Fehlerzuständen, Anzahl aktiver Zellenpakete, Garantiedaten, Seriennummerinformation und andere von dem Batteriecomputer **122** angefragten Informationen, werden von dem Modulcomputer **130** protokolliert oder berichtet **136**. Der Modulcomputer **130** sorgt für die Überwachung **138**, die Verwaltung **140** und den Bericht von Zustandsinformationen **142** hinunter zu der einzelnen Zellenpaketebene.

[0049] In **Fig. 9** werden verschiedene Arbeitsschritte in Flußdiagrammform dargestellt, die von dem Batteriecomputer **122** eines fehlertoleranten verteilten Batteriesystems, wie etwa dem in **Fig. 8** gezeigten, verwaltet werden. Der Batteriecomputer **122** bestimmt auf einer regelmäßigen Basis das Batteriepotential und den Strom **150**. Wenn das Anschlußpotential und der Strom innerhalb eines Nennbereichs **152** sind, wird die Überwachung dieser Parameter fortgesetzt, bis ein anomaler Zustand auftritt, oder falls ein Ladevorgang gefordert wird **154**. Der Batteriecomputer **122** löst einen Ladevorgang **156** aus, nachdem er einen Ladeanforderungsbeefehl typischerweise von dem Systemplattformcomputer **120** empfangen hat. Anschluß- und Stromparameter werden während und nach der Beendigung des Ladevorgangs **156** fortlaufend überwacht **150**.

[0050] Wenn der Batteriecomputer **122** feststellt, daß das Anschlußpotential oder der Strom nicht innerhalb eines Nennbereichs liegen **152**, fragt der Batteriecomputer **122** jedes der mit dem Netzwerk zwischen Batterien

verbundenen Module ab **158**, um den Betriebszustand der Module zu bestimmen. In einer Ausführungsform fragt der Batteriecomputer **122** jeden der Modulcomputer **130** unter Verwendung eines Master-slave-Abfrageverfahrens ab. In dieser Konfiguration wird angenommen, daß die Module nicht miteinander, sondern nur mit dem Batteriecomputer **122** kommunizieren. An sich ist ein Master-slave-Protokoll mit dem Batteriecomputer **122**, der als die Mastervorrichtung arbeitet, passend. In einer alternativen Ausführungsform kann es wünschenswert sein, neben der Bereitstellung einer Verbindungsmöglichkeit zwischen den Modulcomputern **130** und dem Batteriecomputer **122** eine Kommunikationsverbindung zwischen einzelnen Modulcomputern **130** zur Verfügung zu stellen. In dieser Konfiguration kann ein isoliertes Modul, das in einem unabhängigen Modus arbeitet, über ein anderes Modul, das in einem vernetzten Modus arbeitet, mit dem Batteriecomputer **122** kommunizieren.

[0051] In einer Ausführungsform veranlassen die Modulcomputer **130** mit einer vorbestimmten Rate fortlaufend verschiedene Messungen und Modulzustandsbestimmungen. Nach Empfangen eines Befehls von dem Batteriecomputer **122** antwortet jeder der Modulcomputer **130** auf den Befehl durch Übertragen der angeforderten Information über das Netzwerk zwischen Batterien an den Batteriecomputer **122**. Die Rate, mit der der Batteriecomputer **122** die Modulcomputer **130** abfragt **158**, kann bestimmt werden, indem die Anzahl der Module in dem verteilten Batteriesystem und die zwischen den Modulcomputern **130** und dem Batteriecomputer **122** kommunizierte Informationsmenge betrachtet werden. Eine Abfragerate von zum Beispiel einmal pro Sekunde kann für ein Netzwerk zwischen Batterien mit 24 Modulknoten ausreichend sein.

[0052] Wenn der Batteriecomputer **122** bestimmt **160**, daß ein Modul in einer anomalen Weise arbeitet, bestimmt der batteriecomputer **122** die Ursache der Anomalie **162** und versucht, den anomalen Zustand zu beheben. Wenn die Anomalie an Ort und Stelle, wie etwa durch Bewirken einer Umgehung eines defekten oder kurzgeschlossenen Zellenpakets, korrigiert werden kann **164**, gibt der batteriecomputer einen korrigierenden Aktionsbefehl an den betroffenen Modulcomputer **130** aus **166**. Wenn der anomale Zustand nicht korrigiert werden kann, protokolliert der batteriecomputer **122** den Fehlerzustand **168** und berichtet den Fehlerzustand an den Systemplattformcomputer **120**. Abhängig von der kritischen Bedeutung des Fehlerzustands kann der Systemplattformcomputer **120** ein Anzeigefeld oder einen anderen Alarmmechanismus auslösen, der die Aufmerksamkeit auf den bestimmten Fehlerzustand lenkt.

[0053] Wenn das Anschlußpotential oder der Strom nicht innerhalb eines Nennbetriebsbereichs sind **152**, und keines der Module in einer anomalen Weise arbeitet **160**, kann der batteriecomputer **122** bestimmen, daß ein Laden des Moduls erforderlich ist **170**. Wenn der batteriecomputer **122** bestimmt, daß ein Laden nicht erforderlich ist und daß die Quelle des anomalen Anschlußpotentials oder des Stromzustands nicht bestimmt werden kann, wird der anomale Zustand in dem batteriecomputer **122** protokolliert und berichtet **174**, falls die Abweichung von den Nennbedingungen nicht erheblich ist **172**. Wenn das Anschlußpotential oder der Strom erheblich bezüglich einer vorher eingerichteten Schwelle abweicht, dann wird der anomale Zustand unbekanntem Ursprungs in dem batteriecomputer **122** protokolliert und für eine weitere Auswertung an den Systemplattformcomputer **120** berichtet. Der Systemplattformcomputer **120** kann abhängig von der Schwere des Zustands weitere Maßnahmen ergreifen, um die Aufmerksamkeit auf den anomalen Zustand zu lenken.

[0054] Wenn der batteriecomputer **122** bestimmt, daß das Laden der Module erforderlich ist **170**, wird ein Signal für wenig Brennstoff an den Systemplattformcomputer **120** kommuniziert, welches den Zustand wenigen Brennstoffs anzeigt. Wenn der Systemplattformcomputer **120** die von dem batteriecomputer **122** ausgegebene Ladungsanforderung ignoriert oder überschreibt, wird der Zustand wenigen Brennstoffs in dem batteriecomputer **122** und typischerweise in dem Systemplattformcomputer **120** protokolliert und berichtet **176**. Wenn ein Ladungsanforderungsbefehlssignal von dem Systemplattformcomputer **120** empfangen wird, wird der Brennstoffpegelzustand ebenso wie die geschätzte Zeit, um den Ladevorgang zu beenden, berichtet **180**.

[0055] Der batteriecomputer **122** löst den Ladevorgang typischerweise durch Abfragen jedes der Modulcomputer **130** aus **182**, um die Potentiale der einzelnen Zellenpakete in den Modulen zu bestimmen. Der batteriecomputer **122** berechnet auf der Basis der erfaßten Zellenpaketspannungsinformationen Ladeparameter **184** und überträgt **186** die Ladeparameter an die verschiedenen Modulcomputer **130**. Der Zustand der Module wird während des Ladevorgangs von dem batteriecomputer **122** überwacht **188**. Nach Beendigung des Ladevorgangs werden Daten über die jedes Modul betreffende Vorgeschichte, wie etwa das Potential des Moduls nach dem Laden und die Gesamtzahl der Lade-/Entladezyklen, aktualisiert **190**. Nach Beendigung eines Ladevorgangs nimmt der batteriecomputer **122** den Normalbetrieb, der die Überwachung **150** des Batterieanschlußpotentials und des Stroms umfaßt, wieder auf.

[0056] Das in **Fig. 10** bereitgestellte Flußdiagramm beschreibt verschiedene Verfahrensschritte, die von dem

Batteriecomputer **122** durchgeführt werden, wenn er die Module abfragt, die über das Netzwerk zwischen Batterien kommunizieren. Der Batteriecomputer **122** wählt ein Modul in dem verteilten Batteriesystem aus **200** und fragt das Modul ab **202**, um den Kommunikationszustand des ausgewählten Moduls zu bestimmen **204**. Wenn das Modul online oder über das Netzwerk zwischen Batterien erreichbar ist **206**, kommuniziert **210** das Modul seine aktuelle Fähigkeit, mit dem Netzwerk zu kommunizieren. Jedes der Module bestimmt typischerweise, ob die Kommunikation mit dem Batteriecomputer möglich ist. Wenn ein bestimmtes Modul bestimmt, daß die Kommunikation mit dem Batteriecomputer nicht möglich ist, arbeitet das bestimmte Modul in einem unabhängigen Modus **208**, bis zu einem derartigen Zeitpunkt, zu dem das Modul die Kommunikation mit dem Batteriecomputer wieder herstellt. In einem unabhängigen Betriebsmodus überwacht ein Modul, wie bereits diskutiert, typischerweise das Potential, den Strom und Temperaturparameter, bewirkt ein Umgehen defekter Zellenpakete, gleicht während Lade- und Entladungsvorgängen Zellenpaketspannungen aus und ermittelt und protokolliert in dem Modul auftretende Protokollfehlerzustände.

[0057] Im Netzwerk- oder auch im unabhängigen Betriebsmodus wird der Betriebszustand des Moduls bestimmt **212**, und Betriebsparameter außerhalb des Wertebereichs werden ermittelt **214**, **216**, wobei ansprechend darauf eine korrigierende Maßnahme getroffen wird **218**. Betriebsdaten werden mit entsprechenden Datums- und Zeitstempelinformationen in dem Modul- oder dem Batteriecomputer oder in beiden protokolliert **220**. Der Batteriecomputer setzt das Abfrageverfahren, wenn noch weitere Module abzufragen sind **222**, bis zu einem Zeitpunkt fort, wenn das Abfrageverfahren beendet werden soll **224**. Es wird bemerkt, daß das Abfrageverfahren auf einer fortlaufenden Basis oder auf einer ausgewählten Basis nach Feststellen eines anomalen Zustands in dem verteilten Batteriesystem durchgeführt werden kann.

[0058] In Fig. 11 sind verschiedene Verfahrensschritte detaillierter dargestellt, welche von dem Batteriecomputer durchgeführt werden, wenn er eine Anordnung von Energiespeichervorrichtungen abfragt, die das verteilte Batteriesystem bilden. Wenn der Batteriecomputer ein bestimmtes Modul in dem Batteriesystem abfragt **230**, werden verschiedene Betriebsparameter für das Modul gemessen **232**. In einer Modulkonfiguration, in der eine Anzahl von Zellenpaketen innerhalb des Moduls miteinander verbunden sind, wird jedes der einzelnen Zellenpakete abgefragt, um die Spannung jeweils an jedem Zellenpaket **234**, **236**, **238** zu bestimmen. Nach dem Bestimmen des Potentials jedes der Zellenpakete wird ein Differenzstrom für das bestimmte Modul gemessen **240**, der als eine Basis zur Bestimmung verschiedener Modulfehlerzustände verwendet wird. Der Differenzstrom für ein Modul ist durch die Differenz zwischen dem durch den positiven Anschluß ermittelten Strom und dem Strom durch den negativen Anschluß des Moduls (d. h. $I_{\text{pos}} - I_{\text{neg}}$) gegeben.

[0059] Ein Modul weist typischerweise eine Anzahl von an verschiedenen Stellen in dem Modul verteilten Temperatursensoren auf, von denen Temperaturwerte bestimmt werden **242**. Die Anzahl der Zellenpakete, die in dem Modul umgangen wurden, wird ebenso bestimmt **244** wie alle Fehlerzustände, die in dem Modul vorhanden sind **246**. Das mittlere Potential der Zellenpakete in einem bestimmten Modul wird unter Verwendung der Werte der vorher erhaltenen Zellenpaketspannungen bestimmt **248**. Die Streuung von Zellenpaketpotentials in den Modulen und ein Streuungskoeffizient, der die Verteilung oder Streuung von Zellenpaketpotentials anzeigt, wird bestimmt **250**, **252**. Die weiter oben beschriebenen Informationen oder Bestimmungen bezüglich der verschiedenen Modulbetriebsparameter werden dann in dem Modul und in dem Batteriecomputer gespeichert. Wenn weitere Module abzufragen sind **254**, wählt der Batteriecomputer das nächste Modul aus **256** und wiederholt die verschiedenen vorher erwähnten Meß- und Ermittlungsarbeitsschritte, andernfalls wird das Abfrageverfahren beendet **258**.

[0060] In Tabelle 4 unten werden verschiedene Arten von Daten, die von verschiedenen Bestandteilen des verteilten Batteriesystems erfaßt wurden, und der bestimmte Bestandteil, von dem die Daten erhalten wurden, zur Verfügung gestellt. Auch wird eine Beschreibung zur Verfügung gestellt, wie diese Daten erhalten oder gemessen werden, an welchen Bestandteil die Daten berichtet werden, und welche Bestandteile bestimmte Daten speichern. Der Ausdruck „x“ identifiziert den bestimmten Batteriesystembestandteil, der mit der Entstehung, dem Bericht oder der Speicherung des bestimmten Datenelements in Verbindung gebracht wird. Der Ausdruck „(x)“ zeigt an, daß von dem angezeigten Modulbestandteil eine bestimmte Funktion ausgeführt wird. Der Ausdruck „O“ zeigt an, daß der betroffene Energiespeichervorrichtungbestandteil das bestimmte Datenelement typischerweise berichtet oder speichert, aber daß andere Bestandteile diese Datenelemente ebenfalls berichten oder speichern können. Es ist klar, daß die in Tabelle 4 bereitgestellten Informationen mit einer von vielen möglichen Ausführungsformen eines Datenerfassungsverfahrens in Verbindung gebracht werden können, welches von dem fehlertoleranten verteilten Batteriesystem, das gemäß den Prinzipien der vorliegenden Erfindung aufgebaut ist und arbeitet, durchgeführt wird.

Tabelle 4

Datum	Tritt ursprünglich auf bei				Gemessen (ausgelöst) bei				Daten berichtet an				Daten gespeichert bei			
	Z	P	M	B	Z	P	M	B	P	M	B	S	P	M	B	S
Anschlußpotential		X	X	X		X				X	X	X		X	X	X
Batterie-strom	X	X	X	X			X	X			X	X			X	X
Fehler		X	X				X				X	X		X	X	X
Batterie-temperatur			X				X			O	X	X		O	X	X
Modul-temperatur			X				X			X	X			X	X	
Zellenpaket niedriges Potential	X	X				X					X	O	O	X	X	O
Zellenpaket-umgehung		X				(X)				X	X	O	O	X	X	O
Zellenpaket-Sollwert				X			(X)			X	X			X		
Fluidstand				X								X				X

Z Zelle
P Zellenpaket
M Modul
B Batterie
S System

[0061] Uns nun Fig. 12–13 zuwendend wird in schematischer Form eine Ausführungsform einer elektronischen Schaltungsanordnung dargestellt, die gemäß einer Ausführungsform mit einzelnen Energiespeichervorrichtungen versehen ist, welche ein Batteriesystem bilden. Jedes der Module enthält einen Mikroprozessor oder Mikrocontroller **270**, der unter Verwendung einer Kommunikationsschnittstellenschaltung **272** mit dem Netzwerk zwischen Batterien verbunden ist. In einer Ausführungsform verwendet das Netzwerk zwischen Batterien ein RS-485-Differentialpaar, und die Kommunikationsschnittstellenschaltung **272** umfaßt einen passenden Stecker zum Anschließen an das RS-485-Differentialpaar. Der Batteriecomputer kann zum Beispiel eine Steuerung, wie etwa das von Motorola hergestellte Modell 68HC11 oder das von Intel hergestellte Modell 8096 enthalten.

[0062] Wie in Fig. 12 gezeigt, ist in jedem der Module eine Temperaturabtastschaltungsanordnung **274** vorgesehen, um an verschiedenen Stellen in dem Modul die Temperatur zu bestimmen. Die Temperatursensoren **274** erzeugen Signale, die an die Modulsteuerung **270** übertragen werden, die ihrerseits die abgetasteten Temperaturwerte mit einer vorher eingestellten Schwelle oder einem Temperaturwert-Nennbereich vergleicht. Die Modultemperaturinformationen, die von dem Modulsteuerungsspeicher erfaßt werden, werden in der Modulsteuerung **270** protokolliert und an den Batteriecomputer berichtet. Die von der in jedem der Module angeordneten Temperaturabtastschaltungsanordnung **274** gelieferten Daten werden von dem Batteriecomputer verwendet, um die Modul- und Batteriesystemtemperaturen zu regeln – typischerweise indem eine externe aktive Kühlvorrichtung aktiviert wird.

[0063] Ein Stromsensor **276** wird verwendet, um durch Abtasten eines Differenzstroms ($I_{\text{pos}} - I_{\text{neg}}$) mögliche Fehlerzustände zu erkennen. Jedes Modul enthält zwei Stromsensoren, die Eingangs- und Ausgangsstromsignale des Moduls messen. Die Eingangs- und Ausgangsstromsignale werden in ein Potential umgewandelt und an eine Operationsverstärkerschaltung angelegt, welche eine Differenzspannung berechnet, die die Stromdifferenz ($I_{\text{pos}} - I_{\text{neg}}$) anzeigt. Zwei Hall-Effekt-Sensoren werden verwendet, um die Auswirkungen erheblicher Temperaturabhängigkeiten zu eliminieren.

[0064] Die in Fig. 12 gezeigte Stromabtastschaltungsanordnung **276** kann verwendet werden, um eine Anzahl von Fehlerzuständen oder Anomalien im Betrieb zwischen Modulen zu erkennen. Ein bestimmter Fehler-

zustand zwischen Modulen, der unter Verwendung der Stromabtastschaltungsanordnung **276** erkannt werden kann, betrifft einen Bruch in einer isolierenden Oberfläche, der sich zwischen den Energiespeichervorrichtungen des Moduls und dem elektrisch leitenden Gehäuse, in dem die Energiespeichervorrichtung untergebracht ist, entwickeln kann. Die Modulsteuerungsschaltungsanordnung erkennt eine Änderung in dem Modulgehäusespotential oder die Entwicklung eines in dem Gehäuse zirkulierenden Stroms, der sich aus einem Bruch der Isolierung ergibt, und bewirkt eine korrigierende Aktion, um den anomalen Zustand anzugehen. Das Auftreten eines derartigen Fehlerzustands und die Bestätigung der Behebung des Fehlerzustands werden über das Netzwerk zwischen Batterien an den Batteriecomputer berichtet.

[0065] Die in **Fig. 13** gezeigte Modulsteuerungsschaltungsanordnung umfaßt einen Digital-Analog-Wandler (DAC) **280**, der ermöglicht, daß die Modulsteuerung **270** an jedes der in dem Modul enthaltenen Zellenpakete **278** anschließt. Durch die Verwendung des DAC **280** überträgt die Modulsteuerung **270** zum Beispiel während des Ladevorgangs dynamische Ausgleichsollwertparameter an jedes der Zellenpakete. Die Modulsteuerung **270** kommuniziert während verschiedenen Phasen des Ladens und Entladens, wie etwa einer vor-ausgleichenden Phase, andere Sollwert- und Steuerungsparameter an einzelne Zellenpakete **278**, die das Modul bilden.

[0066] Ebenfalls in **Fig. 13** gezeigt ist eine von der Modulsteuerung **270** gesteuerte Umgehungsdurchsetzungsschaltung **282**, um eine Umgehung eines fehlerhaften Zellenpakets in dem Modul zu bewirken. Der Umgehungsbetrieb kann allein von der Modulsteuerung **270** bewirkt werden, wenn sie in einem unabhängigen Modus arbeitet, oder ansprechend auf ein von dem Batteriecomputer empfangenes Umgehungsteuerungssignal.

[0067] In **Fig. 14** werden verschiedene Verfahrensschritte in Flußdiagrammform bereitgestellt, welche das Wärmemanagement eines Batteriesystems, wie das in **Fig. 15** abgebildete, mit sich bringt. Das Beginnen **300** eines Wärmemanagementsteuerungsverfahrens für das verteilte Batteriesystem **330** weist das Abtasten **302** der Temperatur der einzelnen Module **332** auf, die das Batteriesystem **330** bilden. In einer Ausführungsform und unter Bezug auf **Fig. 16** ist jedes Modul **332** mit vier Temperatursensoren **290** versehen, die an verschiedenen Stellen in dem Modul **332** angeordnet sind. Jeder der vier Temperatursensoren **290** ist mit einer +5 V-Spannungsquelle und einer gemeinsamen Modulerdung **294** verbunden. Es wird bemerkt, daß eine geregelte +5 V-Spannungsquelle direkt aus dem Hostmodul **332** oder aus einer externen Spannungsquelle entwickelt werden kann. In der in **Fig. 16** gezeigten Ausführungsform ist der Signalausgang **296** jedes Temperatursensors **290** mit einem gemeinsamen Bus verbunden, der seinerseits mit einem Eingangsport **297** der Steuerung **270** verbunden ist.

[0068] Abhängig von der Art des ausgewählten Temperatursensors **290** kann der Signalausgang **296** der an den Bus **298** angebotenen Temperatursensoren **290** direkt mit einem digitalen Signaleingangsport **297** der Steuerung **270** verbunden werden. Temperatursensoren, die in dieser Konfiguration verwendet werden können, umfassen die von Dallas Semiconductor hergestellten Modelle DS1820 und DS1821. Andere Arten von Temperatursensoren können unter Verwendung eines Analog-Digital-Wandlers (ADC) mit dem digitalen Eingangsport **297** der Steuerung **270** verbunden werden.

[0069] Der Batteriecomputer tastet **304** in Zusammenarbeit mit einer Anzahl von Temperatursensoren auch die Temperatur eines Wärmeübertragungsfluids ab, das durch eine Einlaßöffnung **344** und eine Auslaßöffnung **342** eines aktiven Kühlsystems **331** des Batteriesystems **330** läuft. Von der Modulsteuerung **270** werden einzelne und durchschnittliche Modul- und Batterietemperaturen berechnet **306**. Die Modulsteuerung **270** bestimmt **308**, ob die abgetasteten Temperaturwerte eine Sollwert-Temperatur oder Wertebereiche, wie etwa untere und obere Sollwert-Temperaturbereiche, unter-/überschritten haben. Temperaturen außerhalb des Bereichs werden von der Modulsteuerung **270** protokolliert **308** und an den Batteriecomputer kommuniziert **310**.

[0070] Ansprechend auf die Bestimmung **312**, **318**, daß das Wärmeübertragungsfluid oder eine Modultemperatur eine untere oder obere Temperatur unter-/überschreitet, regelt der Batteriecomputer die Flußrate und Temperatur des Wärmeübertragungsfluids, um die ermittelte Temperaturzunahme oder Abnahme auszugleichen. Zum Beispiel ändert **314**, **319** der Batteriecomputer die Geschwindigkeit einer Pumpe **334** und steuert **316**, **320**, **322** den Fluidzugang an (nicht gezeigte) Strahler- oder Heizerspulen, um das Fluid, welches dann seinerseits die Module **332** kühlt oder heizt, jeweils zu kühlen und zu heizen. Die Flußrate des Wärmeübertragungsfluids in und aus bestimmten Modulen **332** kann unter Verwendung (nicht gezeigter) steuerbarer Ventile, die am Eingang und/oder Ausgang **366**, **348** einzelner Module **332** vorgesehen sind, weiter reguliert werden. Der Pumpenauslaß- **336** und der Pumpenrückflußdruck **338** und die Flußraten können unter Verwendung eines Verteilungsrohrs **340**, das zwischen der Pumpe **334** und den Batteriesystem-Fluidleitungsrohren **342**, **344**

angeordnet ist, gesteuert werden.

[0071] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und wie in **Fig. 2B–2C** dargestellt, umfaßt ein Energiespeichermodul **90** ein Innengehäuse **92**, in dem ein Stapel elektrochemischer Zellen **93** und eine integrierte Verdrahtungsleiterplatte **94** angeordnet sind. Die Verdrahtungsleiterplatte **94** weist ein Verbindungsmuster oder Leitungsgitter **95** auf, das die elektrochemischen Zellen **93** gemäß einer vorher feststehenden Verbindungskonfiguration miteinander verbindet, wenn die Platte **94** in dem Gehäuse installiert ist. Das Verbindungsmuster oder Gitter **95** ist typischerweise an einer Schicht aus Isoliermaterial **96**, wie etwa ein im wesentlichen steifen Kunststoff- oder Verbundmaterial, befestigt oder sonst daran geklebt.

[0072] Eine Anzahl elektrischer und elektromechanischer Bestandteile sind typischerweise auf der Verdrahtungsleiterplatte **94** montiert. Wie zum Beispiel in **Fig. 2B** gezeigt, enthält die Verdrahtungsleiterplatte **94** eine Anzahl von Sicherungspaketen **91**, Ausgleichs- und Umgehungsvorrichtungen **97** und positive und negative Stromanschlüsse **98**. Kommunikationsstecker **99**, die an eine oder mehrere externe Kommunikationsleitungen anschließen, sind ebenfalls auf der Verdrahtungsleiterplatte **94** angeordnet. Es ist klar, daß jede oder alle Bestandteile, mit denen die Verdrahtungsleiterplatte **94** besetzt ist, auf andere Platinen oder Plattformen als die Verdrahtungsleiterplatte **94**, welche innerhalb oder außerhalb des Modulgehäuses **92** angeordnet sind, montiert werden können.

[0073] In einer Ausführungsform sind die Verdrahtungsleiterplatte **94** und die elektrochemischen Zellen **93** in einem hermetisch verschlossenen Gehäuse **92** angeordnet, wobei die Strom- und Kommunikationsleitungen durch auf einem inneren Gehäusedeckel **75** vorgesehene hermetisch abgedichtete Durchführungen **71, 71** in das Gehäuse gehen. Der innere Gehäusedeckel **75** ist typischerweise an das Innengehäuse **92** geschweißt, um dazwischen einen hermetischen Verschluss zu bilden. Ferner umfaßt das verschlossene Energiespeichermodul **90** ein internes Wärmemanagementsystem, das für die Übertragung von Wärme zwischen den Zellen **93** und dem Gehäuse **92** und zwischen der Verdrahtungsleiterplatte **94** und dem Gehäuse **92** sorgt.

[0074] Ein externes Wärmemanagementsystem, das außerhalb des Gehäuses **92** angeordnet ist, kann verwendet werden, um die Übertragung von Wärme in das und aus dem Modul **90** weiter zu vereinfachen. Ein Wärmeübertragungsmedium kann durch auf einem äußeren Schalendeckel **115** des Moduls **90** vorgesehene Einlaß- und Auslaßöffnungen **111, 113** in das Modul eingeführt werden. Das Wärmeübertragungsmedium kann durch Kühlkanäle gezwungen werden, die zwischen dem Gehäuse **92** und einer Außenschale **105** vorgesehen sind. Die Temperatur und die Flußrate des Wärmeübertragungsmediums können von dem externen Wärmemanagementsystem nach Bedarf eingestellt werden.

[0075] Wie am besten in **Fig. 2C** gezeigt, enthält die Verdrahtungsleiterplatte **94** typischerweise eine strukturierte leitende Oberfläche **95**, die vorteilhafterweise für die Verbindung von autonomen elektrochemischen Zellen **93** gemäß eines vorher entworfenen Verbindungslayouts sorgt. Ein erheblicher Vorteil, der durch Verwendung einer Verdrahtungsleiterplatte **94** mit einer strukturierten Verbindungsoberfläche **95** realisiert wird, betrifft die Flexibilität, mit der ein gewünschter Nennstrom und eine gewünschte Nennspannung, ungeachtet der Position einzelner elektrochemischer Zellen **93** relativ zueinander in dem Gehäuse **92** und ohne diese zu stören, erreicht werden können.

[0076] Es ist natürlich klar, daß an den verschiedenen hier weiter oben diskutierten Ausführungsformen Änderungen und Zusätze vorgenommen werden können. Beispielhaft können die Prinzipien der vorliegenden Erfindung für die Verwendung mit anderen Batterietechnologien als denen, die Lithiumpolymerelektrolyte nutzen, verwendet werden, wie etwa solchen, die Nickelmetallhydride (NI-MH), Lithiumionen (Li-Ion) und andere Hochenergie-Batterietechnologien verwenden. Entsprechend sollte der Schutzbereich der vorliegenden Erfindung nicht auf die oben diskutierten speziellen Ausführungsformen beschränkt werden, sondern sollte allein durch die weiter unten dargelegten Patentansprüche definiert werden.

Patentansprüche

1. Fehlertolerantes verteiltes Batteriesystem, das aufweist:
mehrere in Reihe geschalteter Energiespeichermodule (**66, 74**), um eine Batterie zu definieren, wobei jedes der Module jeweils mehrere Energiespeichereinheiten (**72**) aufweist; und
ein Netzwerk (**68, 100**) zwischen Batterien, das aufweist:
mehrere Modulprozessoren (**102, 130**), wobei jeder der mehreren Modulprozessoren mit einem der mehreren Module (**66, 74**) verbunden ist; und
einen Hauptcomputer (**62, 101, 122**), der mit den Modulprozessoren verbunden ist, wobei der Hauptcomputer

mit den Modulprozessoren kommuniziert, um die Module in einem vernetzten Betriebsmodus zu überwachen und zu steuern, und wobei die Modulprozessoren ansprechend auf das Nichtvorhandensein einer Netzwerkverbindungsmöglichkeit mit dem Hauptcomputer ihre jeweiligen Module in einem unabhängigen Betriebsmodus überwachen und steuern.

2. System nach Anspruch 1, wobei ein bestimmter Modulprozessor, der in einem unabhängigen Betriebsmodus arbeitet, über eine Kommunikationsleitung (**104**) mit dem Hauptcomputer (**62, 101, 122**) kommuniziert, die zwischen dem bestimmten Modulprozessor und einem in einem vernetzten Betriebsmodus arbeitenden Modulprozessor aufgebaut ist.

3. System nach Anspruch 1, wobei jeder der Modulprozessoren (**102, 130**) einen Spannungszustand und einen Stromzustand eines jeweiligen Moduls überwacht, wobei die Spannungs- und Stromzustände eines bestimmten Moduls der mehreren Module (**66, 74**) ansprechend auf ein von dem Hauptcomputer gesendetes und von dem bestimmten Modul empfangenes Abfragesignal an den Hauptcomputer (**62, 101, 122**) übertragen werden.

4. System nach Anspruch 1, wobei jeder der Modulprozessoren (**102, 130**) einen Spannungszustand und einen Stromzustand jeder seiner zugehörigen Energiespeichereinheiten (**66, 74**) überwacht, wobei die Spannungs- und Stromzustände der Energiespeichereinheiten eines bestimmten Moduls der mehreren Module ansprechend auf ein von dem Hauptcomputer gesendetes und von dem bestimmten Modul empfangenes Abfragesignal an den Hauptcomputer (**62, 101, 122**) übertragen werden.

5. System nach Anspruch 1, wobei der Hauptcomputer (**62, 101, 122**) entweder den Hauptcomputer des verteilten Batteriesystems oder einen von dem verteilten Batteriesystem getrennten Hauptcomputer bildet.

6. System nach Anspruch 1, wobei jeder der Modulprozessoren (**102, 130**) Modulspannungsinformationen an den Hauptcomputer (**62, 101, 122**) überträgt und der Hauptcomputer unter Verwendung der Modulspannungsinformationen Ladeparameter berechnet, wobei die Ladeparameter vor dem Auslösen eines Ladevorgangs von dem Hauptcomputer an die Modulprozessoren übertragen werden.

7. System nach Anspruch 1, wobei nach Feststellung, daß ein anomaler Spannungszustand in einer fehlerhaften Energiespeichereinheit (**72**) eines bestimmten Moduls auftritt, wenn es in einem vernetzten Betriebsmodus arbeitet, der Hauptcomputer oder, wenn es im unabhängigen Betriebsmodus arbeitet, der Prozessor des bestimmten Moduls ein Umgehen der fehlerhaften Speichereinheit bewirkt.

8. System nach Anspruch 1, wobei der Hauptcomputer (**62, 101, 122**) während eines Ladevorgangs jeden der Modulprozessoren abfragt, um Spannungs- und Temperaturinformationen für jedes der Module zu erfassen.

9. System nach Anspruch 8, wobei der Hauptcomputer (**62, 101, 122**) das Ladeverfahren ansprechend auf die erfaßte Spannungsinformation ändert.

10. System nach Anspruch 1, wobei:
das Batteriesystem ferner ein Wärmemanagementsystem zum Regeln der Temperatur der Module (**66, 74**) aufweist; und
der Hauptcomputer (**62, 101, 122**) das Wärmemanagementsystem steuert, um die Temperatur der Module innerhalb eines Temperatur-Nennwertbereichs zu halten.

11. System nach Anspruch 1, wobei die Modulzustandsinformationen während eines unabhängigen oder vernetzten Betriebsmodus von jedem der Modulprozessoren (**102, 130**) routinemäßig protokolliert werden.

12. System nach Anspruch 11, wobei die von einem bestimmten Modulprozessor während des Betriebs in einem unabhängigen Betriebsmodus protokollierten Modulzustandsinformationen nach der Wiederherstellung der Netzwerkverbindungsmöglichkeit zwischen dem bestimmten Modulprozessor und dem Hauptcomputer (**62, 101, 122**) auf den Hauptcomputer geladen werden.

13. System nach Anspruch 1, wobei das Netzwerk (**68, 100**) zwischen Batterien im wesentlichen eine Stern-, Bus-, hybride Stern- oder hybride Buskonfiguration hat.

14. System nach Anspruch 1, wobei jede der Energiespeichereinheiten (**72**) eine elektrochemische Dünn-

schicht-Lithiumpolymerzelle aufweist.

15. Fehlertolerantes verteiltes Energiespeichersystem, das aufweist:
mehrere Energiespeichermodule (**66, 74**) in getrennten Gehäusen, von denen jedes mehrere Energiespeichereinheiten (**72**) aufweist, wobei die Energiespeichermodule in Reihe mit einer Stromleitung (**106**) verbunden sind;

einen Batteriecomputer (**62, 101, 122**);

mehrere Modulprozessoren (**102, 130**), wobei jeder der Modulprozessoren in einem Gehäuse eines der Energiespeichermodule angeordnet ist und mit seinen jeweiligen Energiespeichereinheiten und dem Batteriecomputer verbunden ist; und

einen Eingangssensor und einen Ausgangssensor, die an einem jeweiligen Eingang und Ausgang jedes der Energiespeichermodule mit der Stromleitung (**106**) verbunden sind, wobei die Eingangs- und Ausgangssensoren einen Leistungsparameter ermitteln und jeder der Modulprozessoren unter Verwendung des Leistungsparameters einen Fehlerzustand erkennt, der in seinem jeweiligen Energiespeichermodule auftritt, wobei der Batteriecomputer mit den Modulprozessoren in einem vernetzten Betriebsmodus kommuniziert, wenn eine Netzwerkverbindungsmöglichkeit besteht, und die Modulprozessoren bei nichtvorhandener Netzwerkverbindungsmöglichkeit in einem unabhängigen Betriebsmodus arbeiten, wobei jeder der Modulprozessoren nach Feststellung des Fehlerzustands eine korrigierende Aktion bewirkt, wenn er in dem unabhängigen Betriebsmodus arbeitet, und der Batteriecomputer nach Feststellung des Fehlerzustands die korrigierende Aktion bewirkt, wenn er in dem vernetzten Betriebsmodus arbeitet.

16. System nach Anspruch 15, wobei jeder der Modulprozessoren (**102, 130**) den Fehlerzustand unter Verwendung einer Differenz des Leistungsparameters erkennt, welche von jeweiligen Eingangs- und Ausgangssensoren erkannt wird.

17. System nach Anspruch 15, wobei der von den Eingangs- und Ausgangssensoren ermittelte Leistungsparameter ein Stromparameter oder ein Spannungsparameter ist.

18. System nach Anspruch 15, wobei der Fehlerzustand einen Kurzschluß bildet, der sich in einer Energiespeichereinheit (**72**) eines bestimmten Energiespeichermoduls entwickelt hat, wobei der Prozessor des bestimmten Energiespeichermoduls, wenn er in dem unabhängigen Betriebsmodus arbeitet, eine korrigierende Umgehungsaktion bewirkt, um die kurzgeschlossene Energiespeichereinheit von der Stromleitung zu trennen, und der Batteriecomputer die korrigierende Umgehungsaktion bewirkt, wenn er in dem vernetzten Betriebsmodus arbeitet.

19. System nach Anspruch 15, wobei jede der Energiespeichereinheiten (**72**) eine elektrochemische Dünnschicht-Lithiumpolymerzelle aufweist.

20. System nach Anspruch 15, wobei die Modulprozessoren (**102, 130**) und der Batteriecomputer (**62, 101, 122**) ein Netzwerk zwischen Batterien definieren, das im wesentlichen eine Stern-, Bus-, hybride Stern- oder hybride Buskonfiguration hat.

21. System nach Anspruch 15, wobei jeder der Modulprozessoren (**102, 130**) Spannungsinformationen für jede der Energiespeichereinheiten (**72**) an den Hauptcomputer (**62, 101, 122**) überträgt und der Hauptcomputer unter Verwendung der Spannungsinformationen Ladeparameter berechnet, wobei die Ladeparameter vor dem Auslösen eines Ladevorgangs von dem Hauptcomputer an die Modulprozessoren übertragen werden.

22. Verfahren zur Steuerung mehrerer unabhängiger Energiespeichermodule (**66, 74**), die jeweils einen Modulprozessor (**102, 130**) aufweisen, und mehrerer Energiespeichereinheiten (**72**), wobei die Modulprozessoren mit einem Hauptcomputer (**62, 101, 122**) kommunizieren, der außerhalb der Energiespeichermodule ist, wobei das Verfahren aufweist:

Überwachen der Verbindungsmöglichkeit zwischen den Modulprozessoren und dem Hauptcomputer;

Ermitteln eines Leistungsparameters für jede der Energiespeichereinheiten;

ansprechend auf einen Verlust der Verbindungsmöglichkeit zwischen einem bestimmten Modulprozessor und dem Hauptcomputer Bewirken einer korrigierenden Aktion durch den bestimmten Modulprozessor, um einen mit einer fehlerhaften Energiespeichereinheit zusammenhängenden Fehlerzustand anzugehen; und

ansprechend auf eine fortgesetzte Verbindungsmöglichkeit zwischen dem bestimmten Modulprozessor und dem Hauptcomputer Bewirken der korrigierenden Aktion durch den Hauptcomputer, um den mit der fehlerhaften Energiespeichereinheit zusammenhängenden Fehlerzustand anzugehen.

23. Verfahren nach Anspruch 22, wobei der Hauptcomputer (**62, 101, 122**) das Ermitteln des Leistungsparameters für jede der Energiespeichereinheiten (**72**) durchführt.

24. Verfahren nach Anspruch 22, wobei die jeweiligen Modulprozessoren (**102, 130**) das Ermitteln des Leistungsparameters für jede der Energiespeichereinheiten (**72**) durchführen.

25. Verfahren nach Anspruch 24, wobei das Ermitteln des Leistungsparameters für jede der Energiespeichereinheiten (**72**) durch die jeweiligen Modulprozessoren (**102, 130**) ferner aufweist:
Protokollieren des Leistungsparameters während den Zeiten, in denen die Verbindungsmöglichkeit zwischen einem bestimmten Modulprozessor und dem Hauptcomputer (**62, 101, 122**) verloren ist, und
Laden der Leistungsparameter von dem bestimmten Modulprozessor auf den Hauptcomputer, nachdem die Verbindungsmöglichkeit zwischen dem bestimmten Modulprozessor und dem Hauptcomputer wieder hergestellt wurde.

26. Verfahren nach Anspruch 22, wobei das Ermitteln des Leistungsparameters für jede der mit jedem der Energiespeichermodule (**66, 74**) zusammenhängenden Energiespeichereinheiten (**72**) ferner aufweist:
Übertragen des Leistungsparameters jeder der Energiespeichereinheiten (**72**) an den Hauptcomputer (**62, 101, 122**);
Berechnen von Ladeparametern unter Verwendung der Leistungsparameter; und
Übertragen der Ladeparameter von dem Hauptcomputer an die Modulprozessoren (**102, 130**) vor dem Auslösen eines Ladevorgangs.

27. Verfahren nach Anspruch 22, wobei:
das Überwachen des Leistungsparameters jeder der Energiespeichereinheiten (**72**) das Überwachen einer Spannung jeder der Energiespeichereinheiten aufweist; und
das Bewirken der korrigierenden Aktion das Herbeiführen einer Umgehung einer bestimmten Energiespeichereinheit nach der Erkennung eines in der bestimmten Energiespeichereinheit auftretenden anomalen Spannungszustands aufweist.

Es folgen 22 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

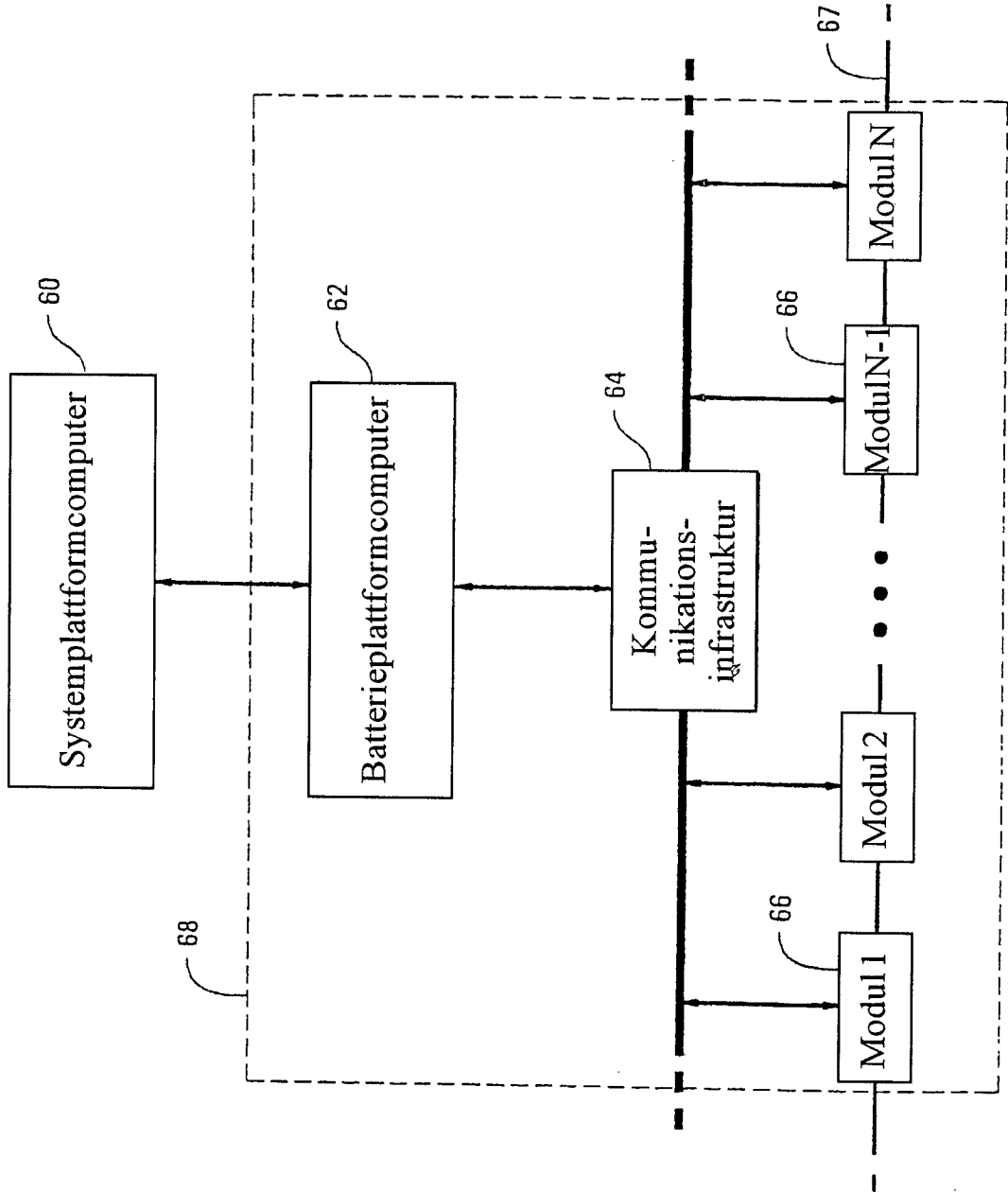


Fig. 2A

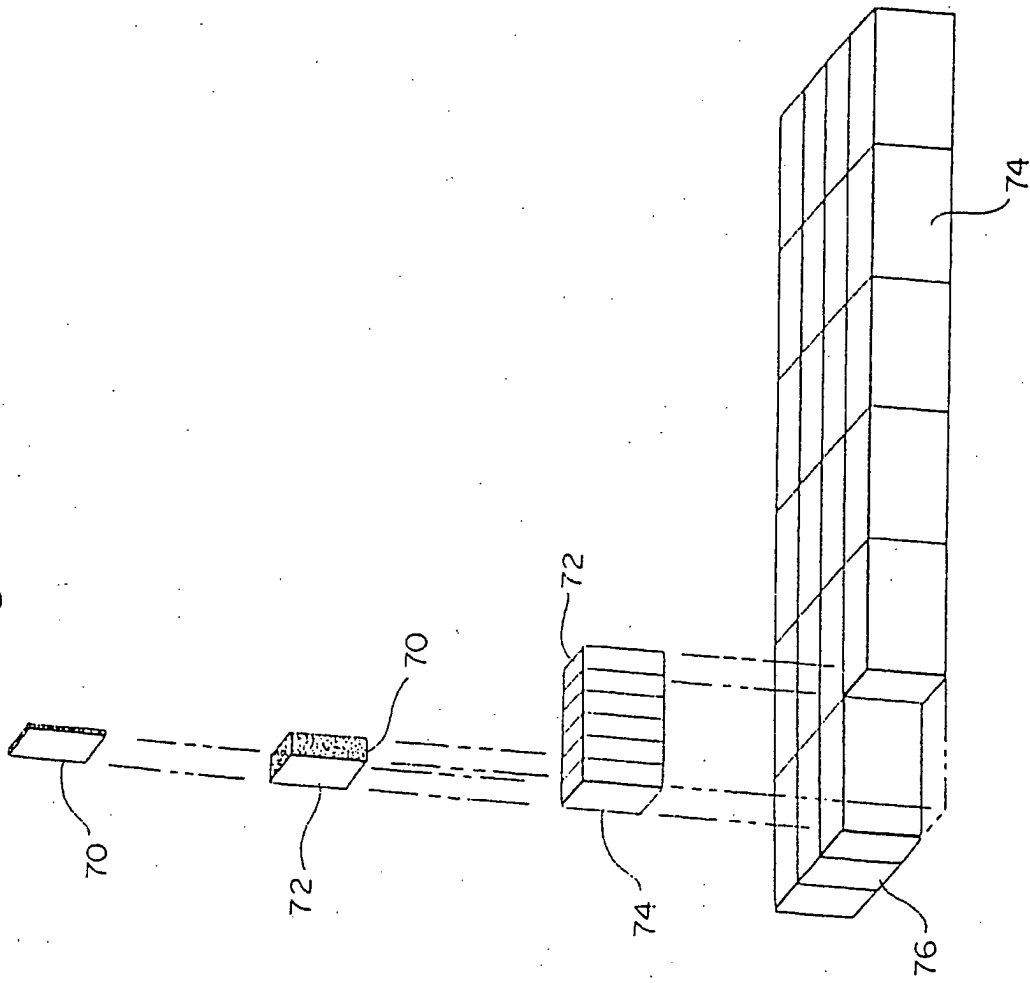


Fig. 2B

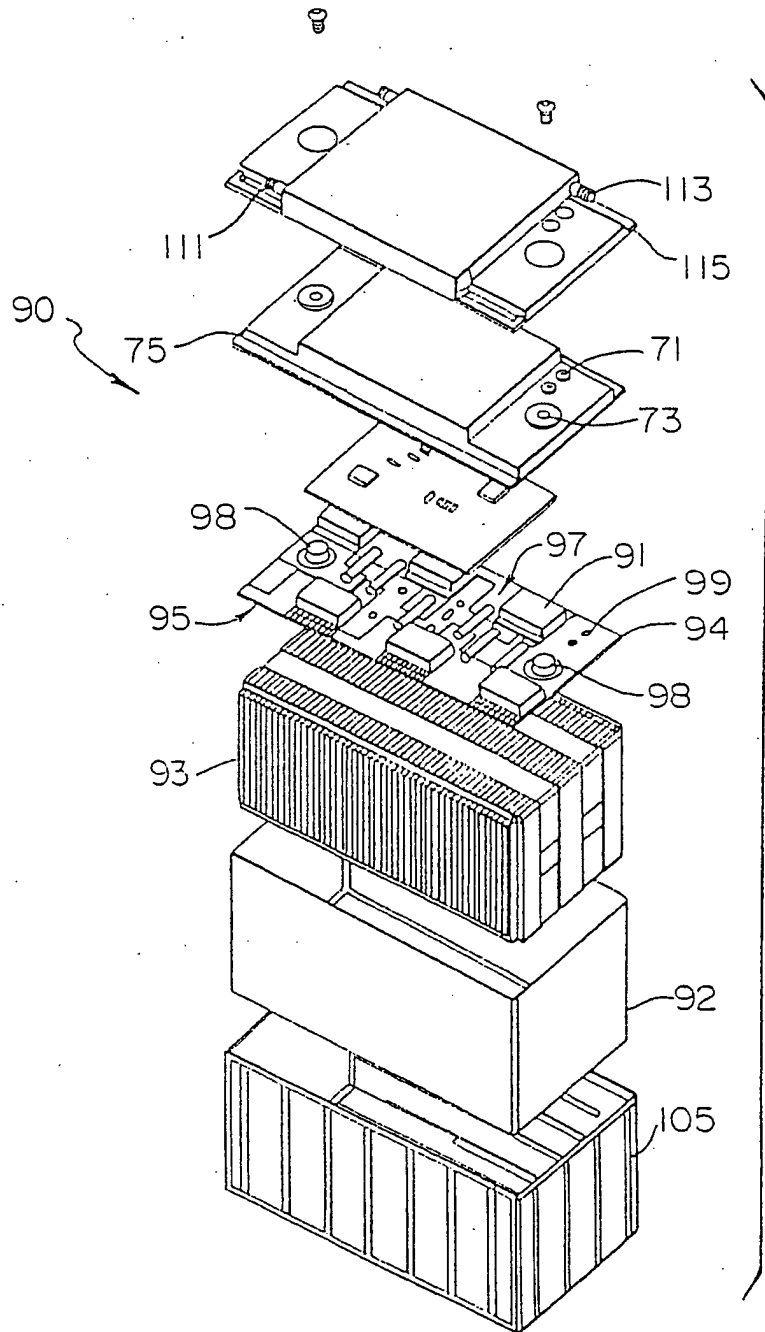


Fig. 2C

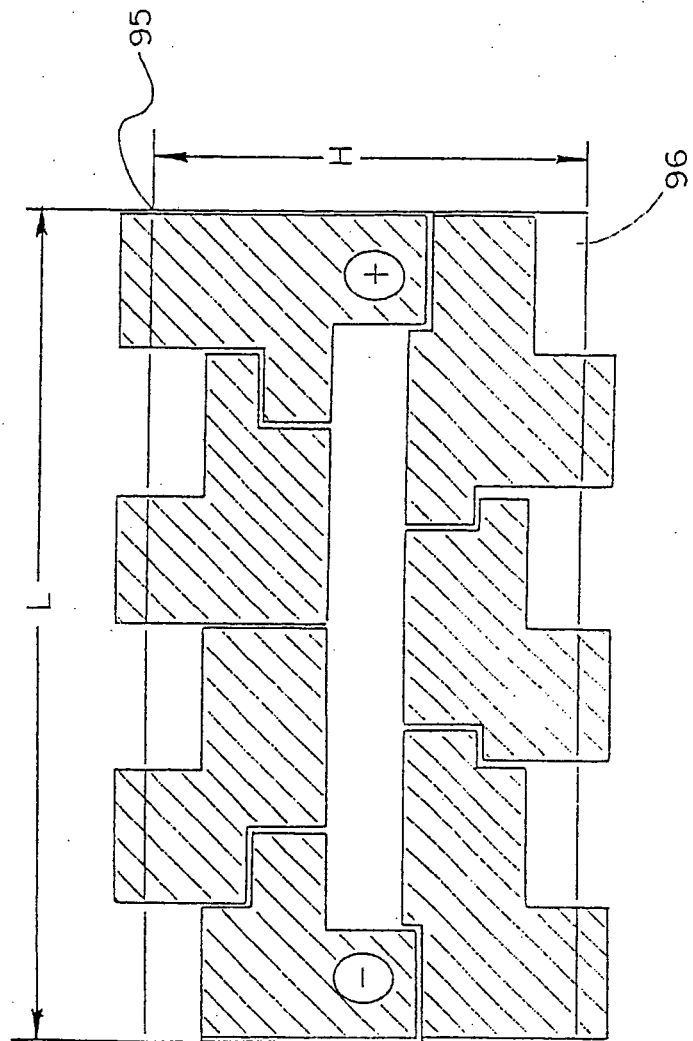


Fig. 3

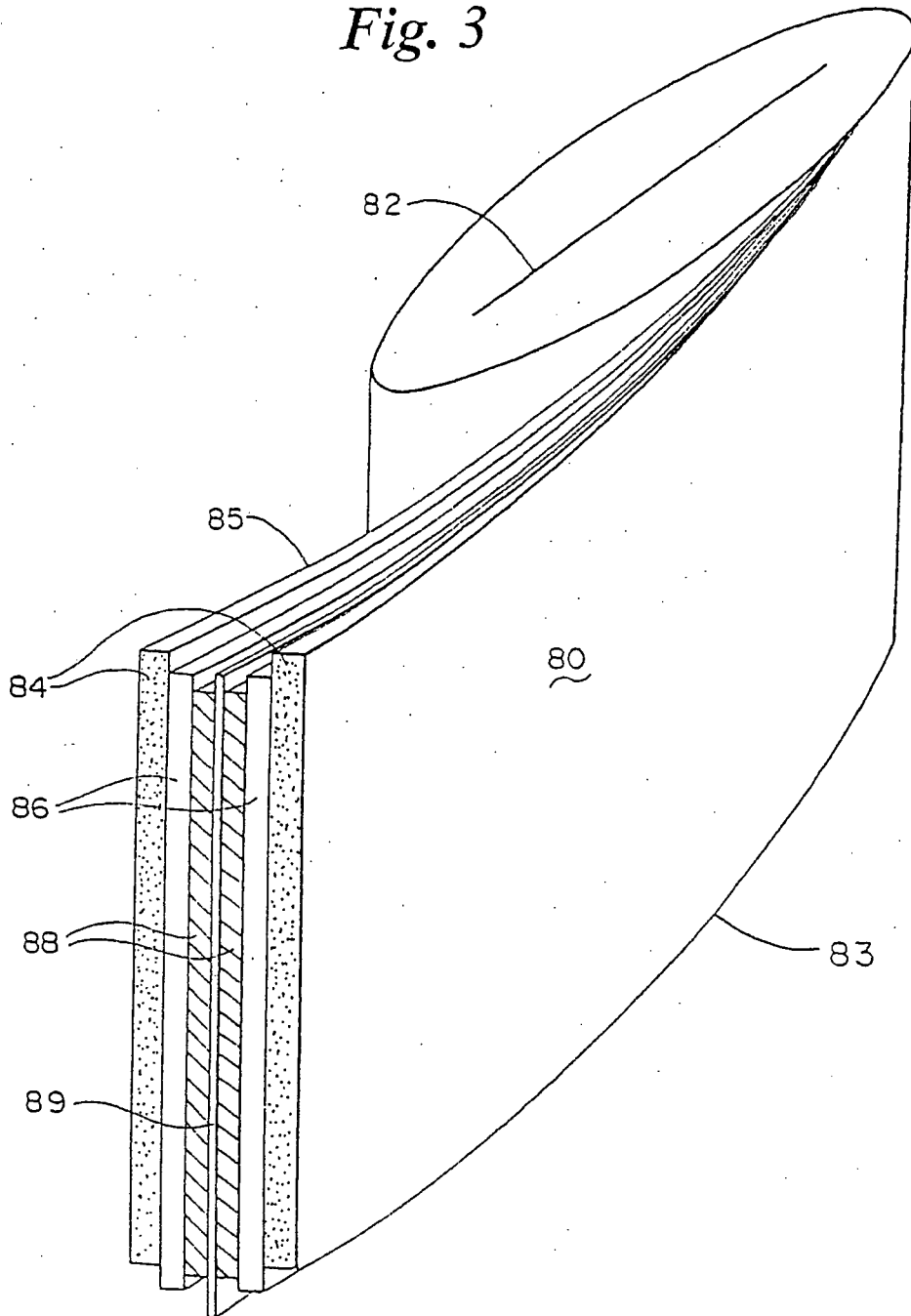


Fig. 4

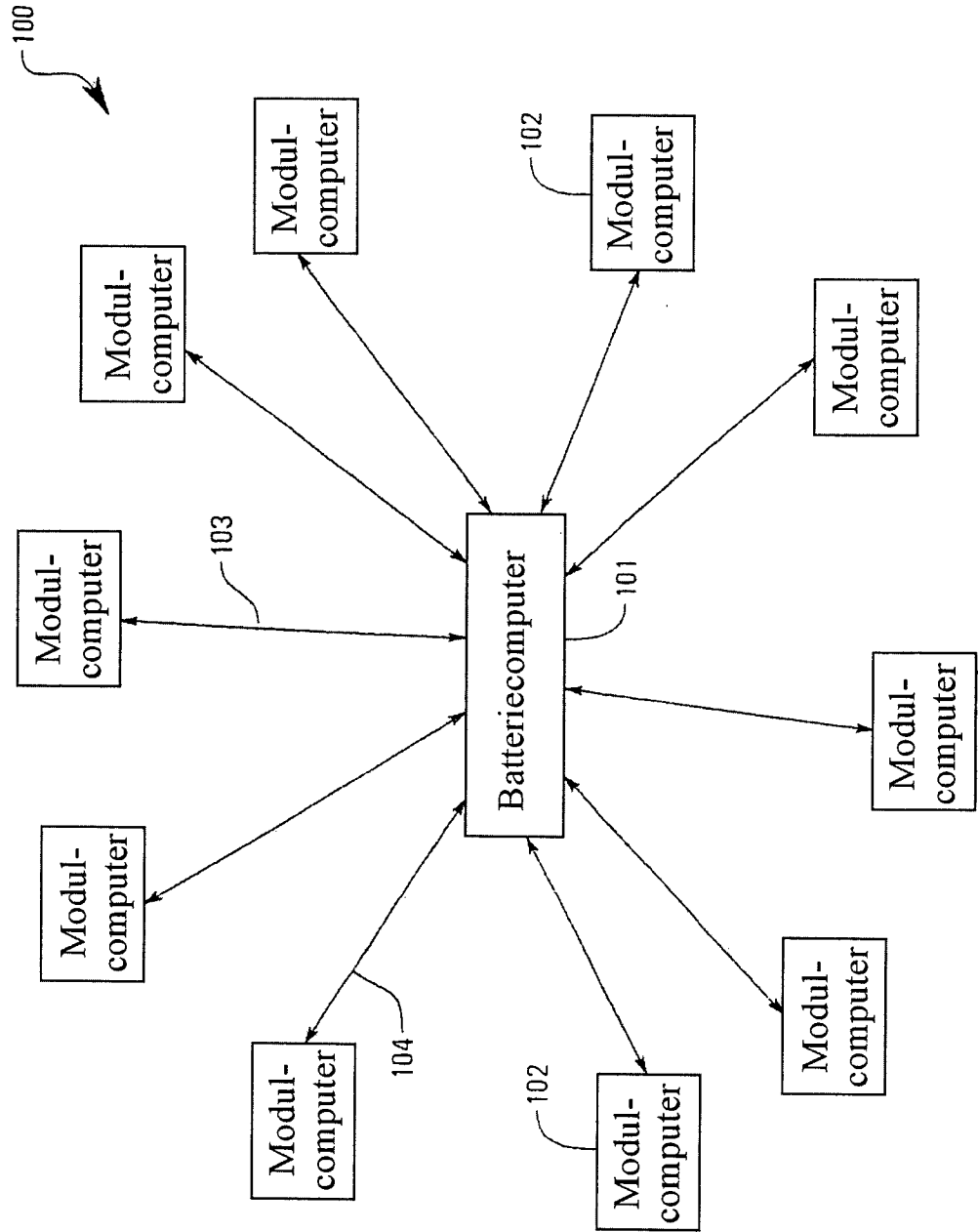


Fig. 5

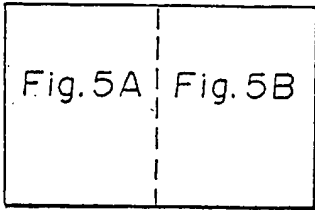
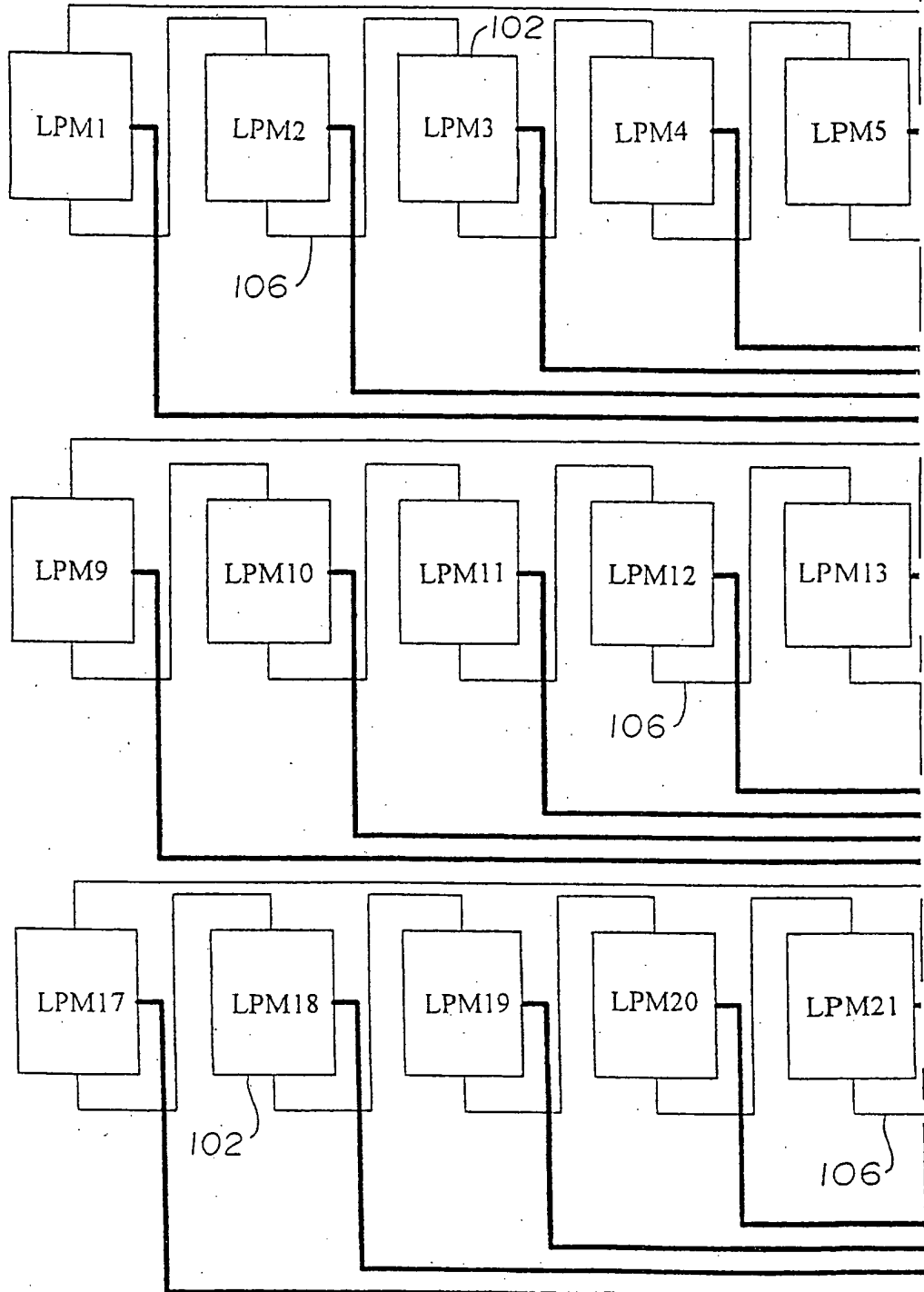


Fig. 5A



100 Fig. 5B

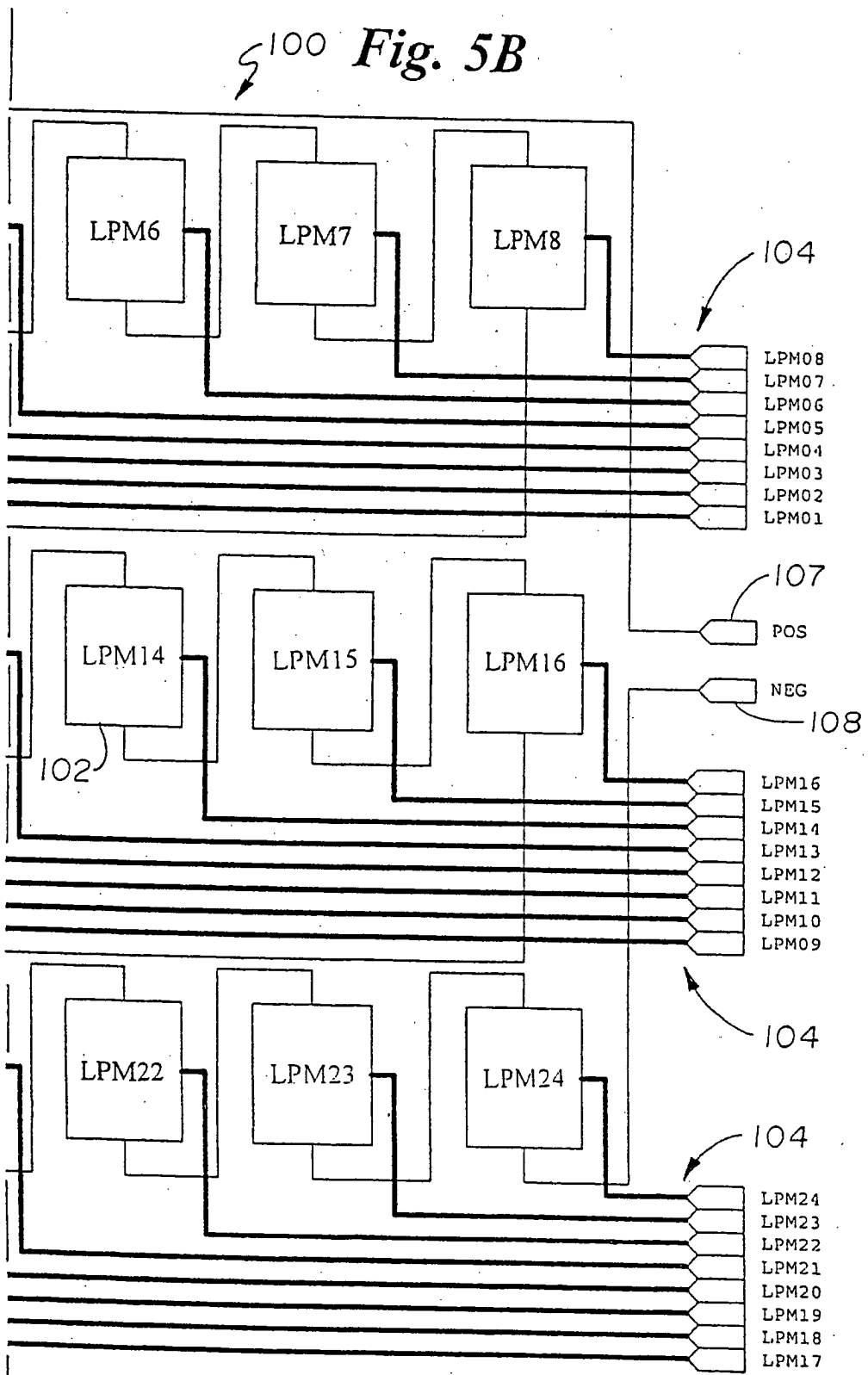


Fig. 6

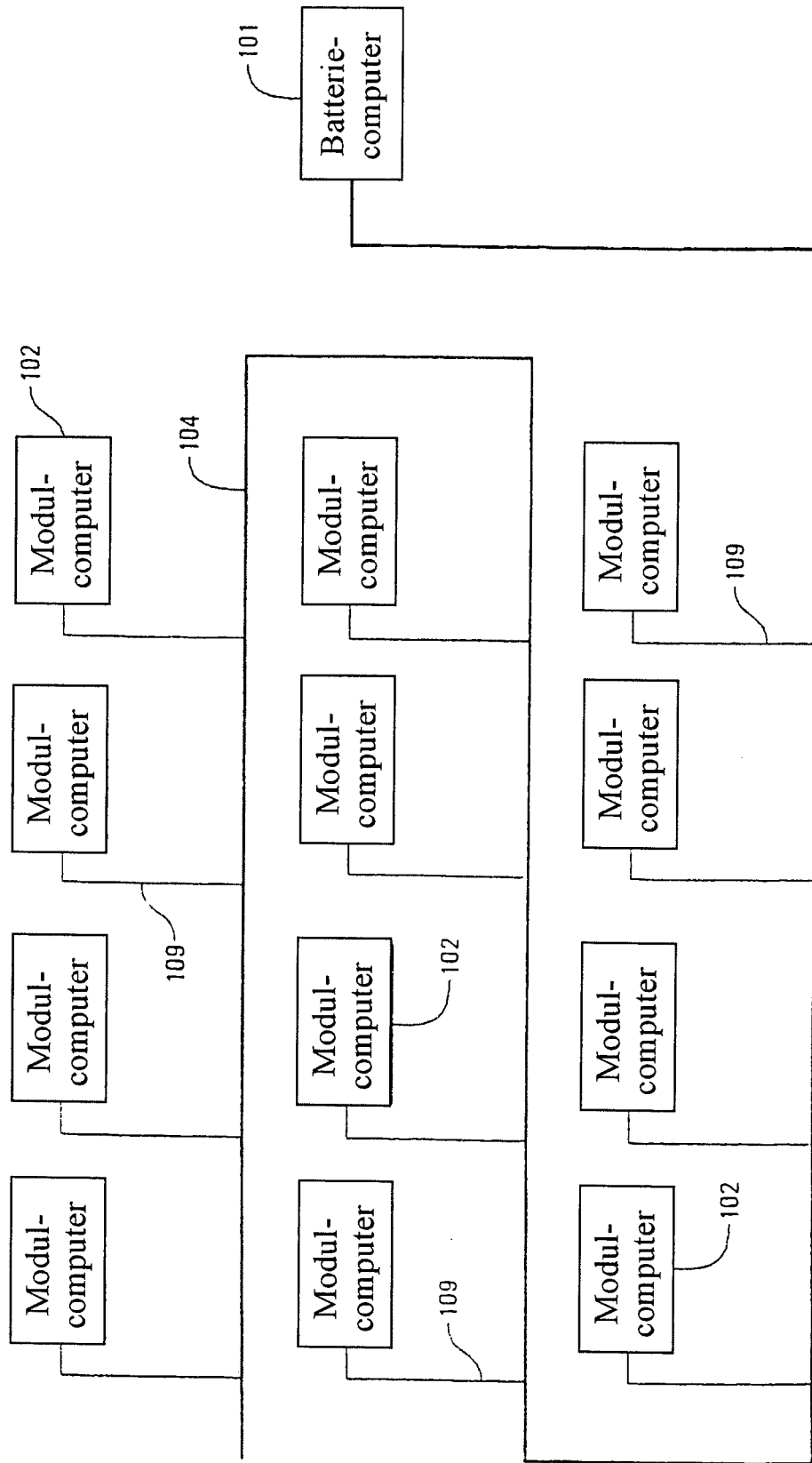


Fig. 7

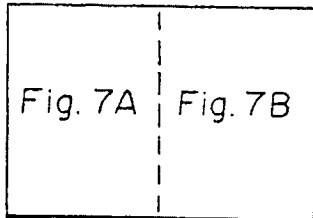


Fig. 7A

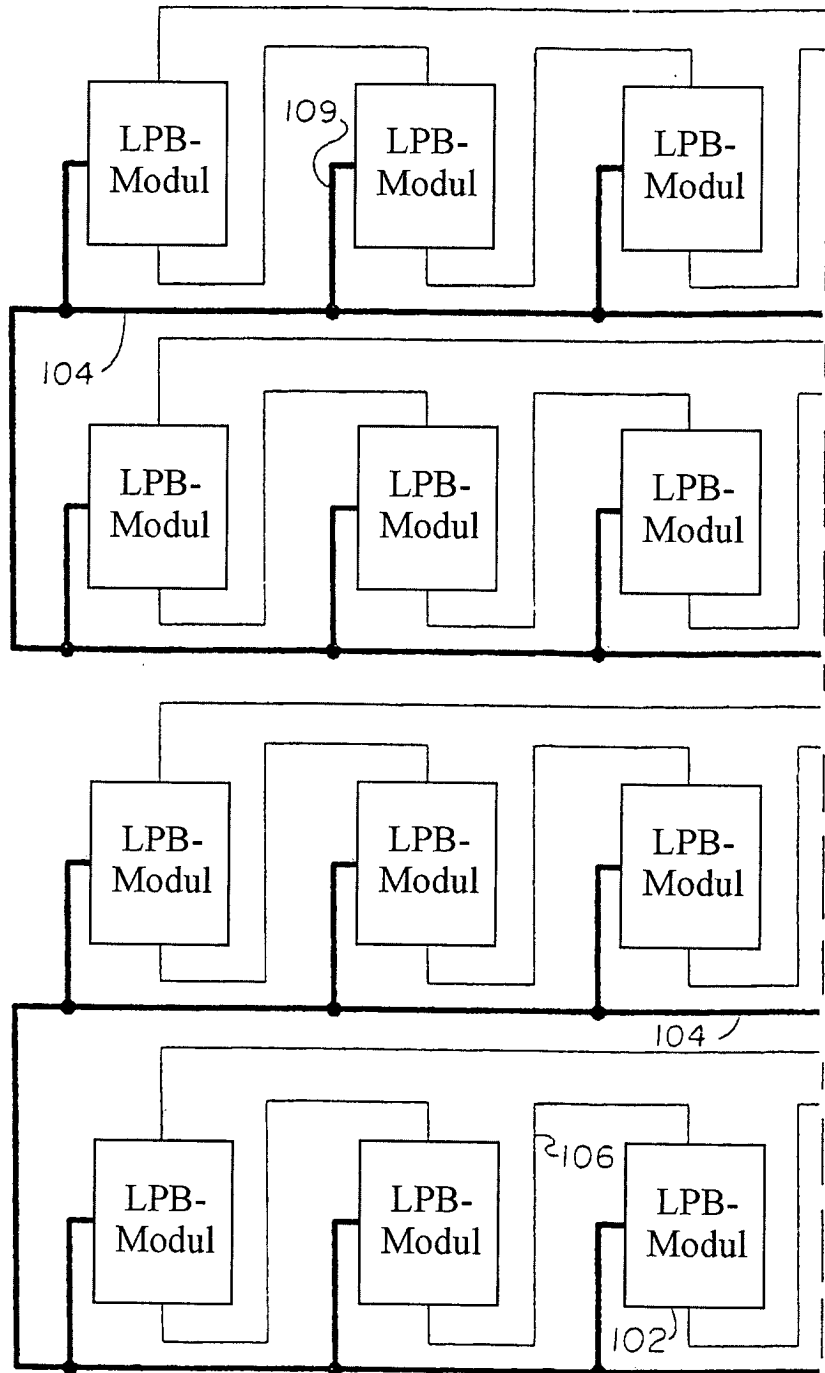


Fig. 7B

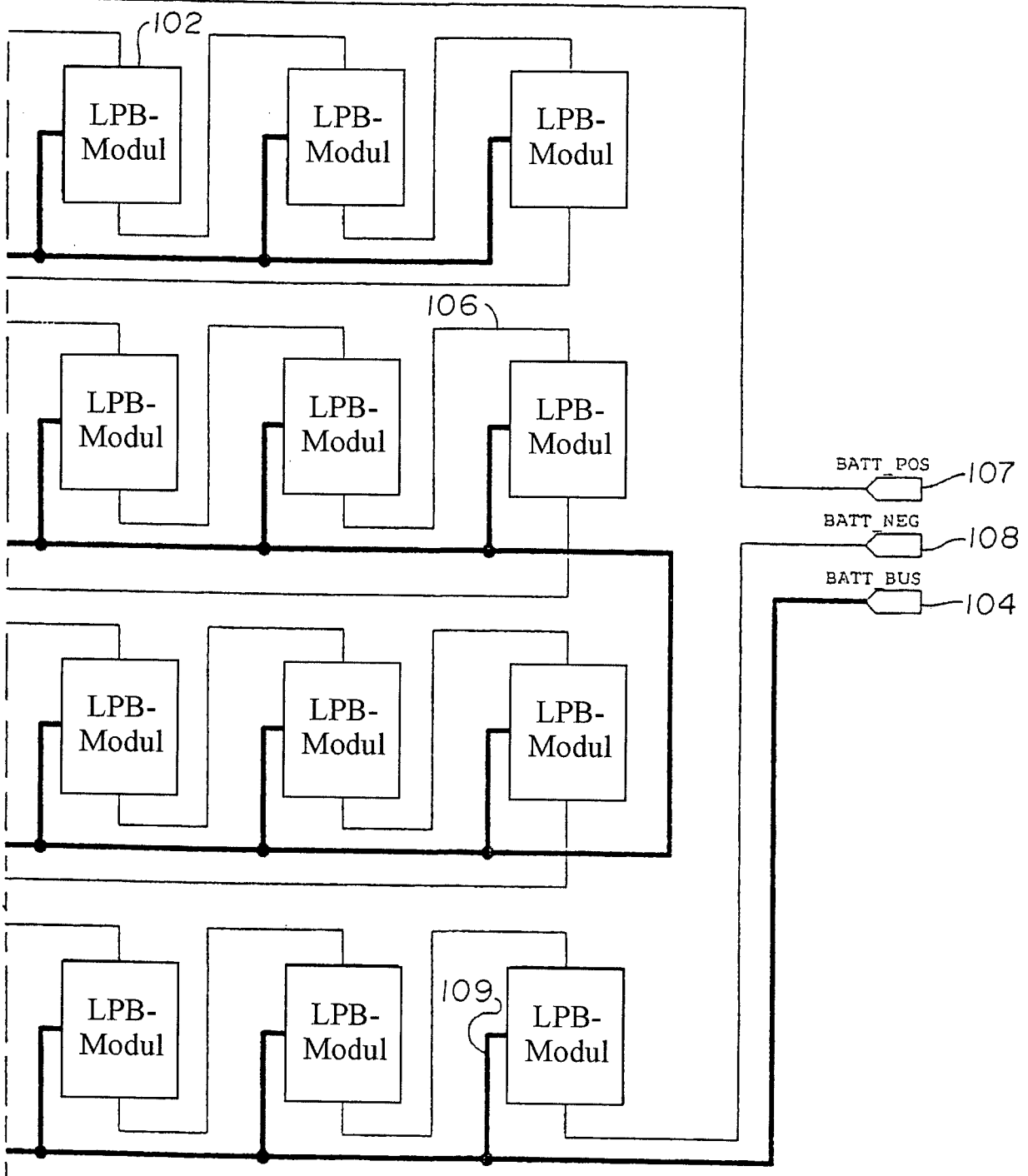


Fig. 8

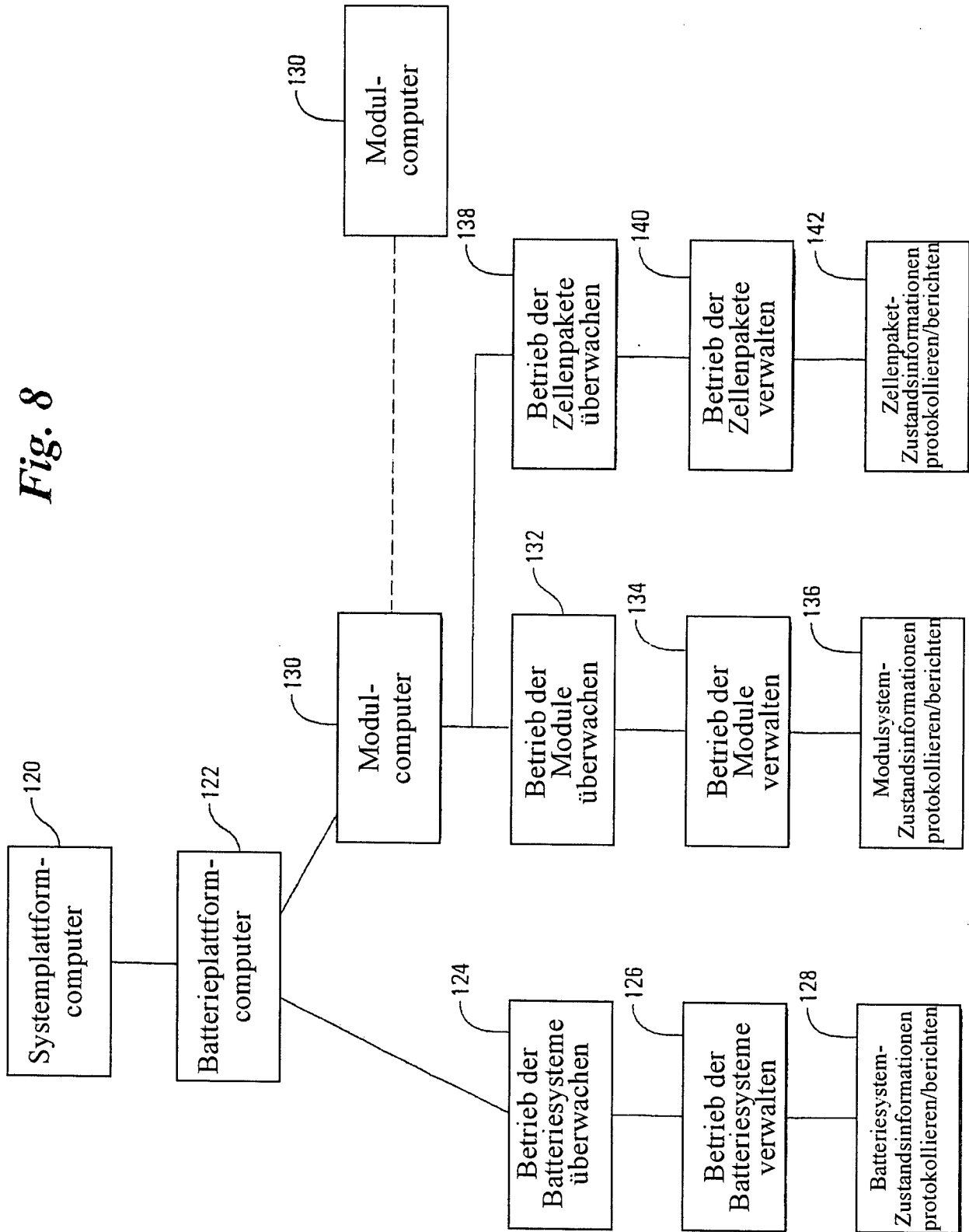


Fig. 9

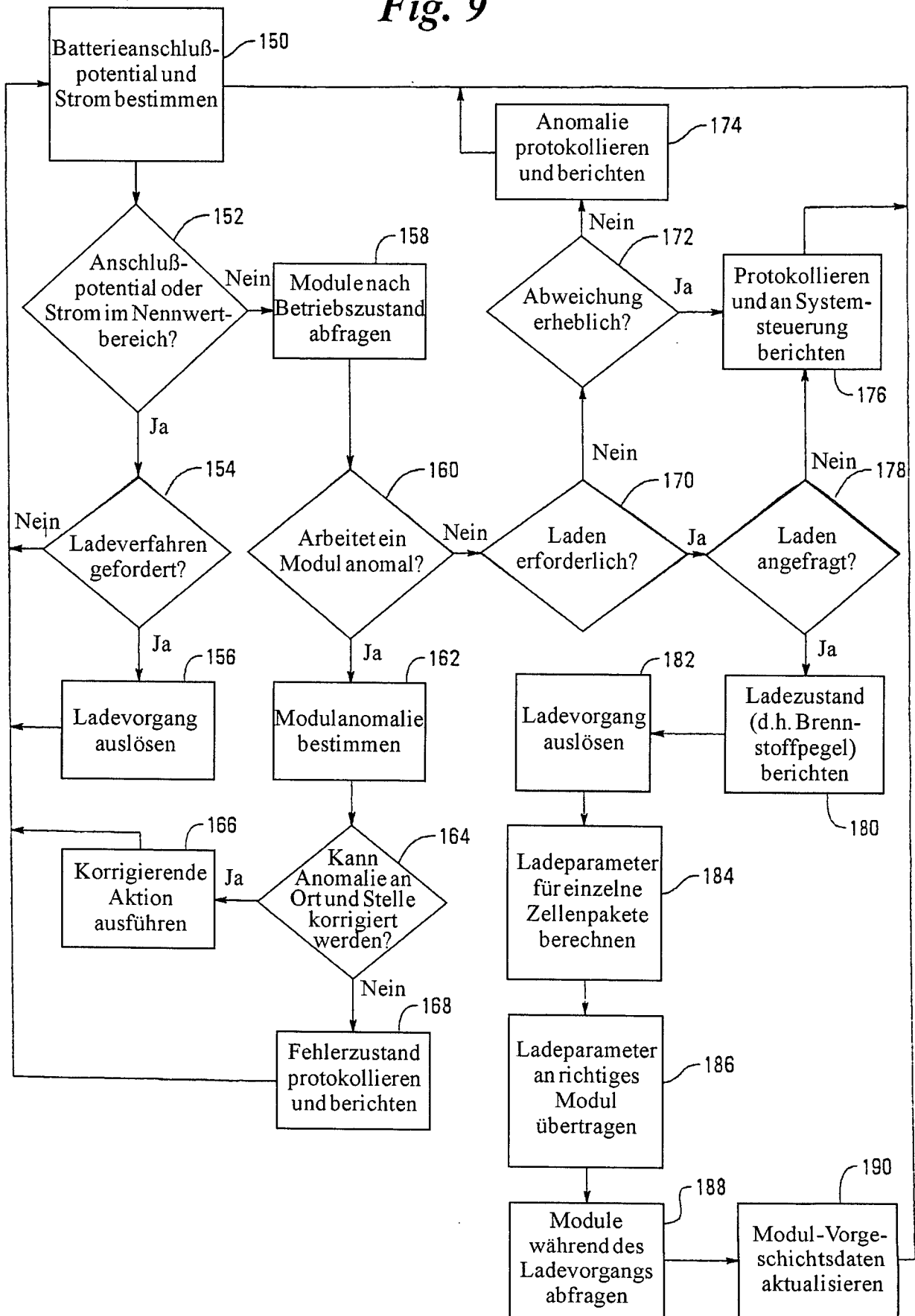


Fig. 10

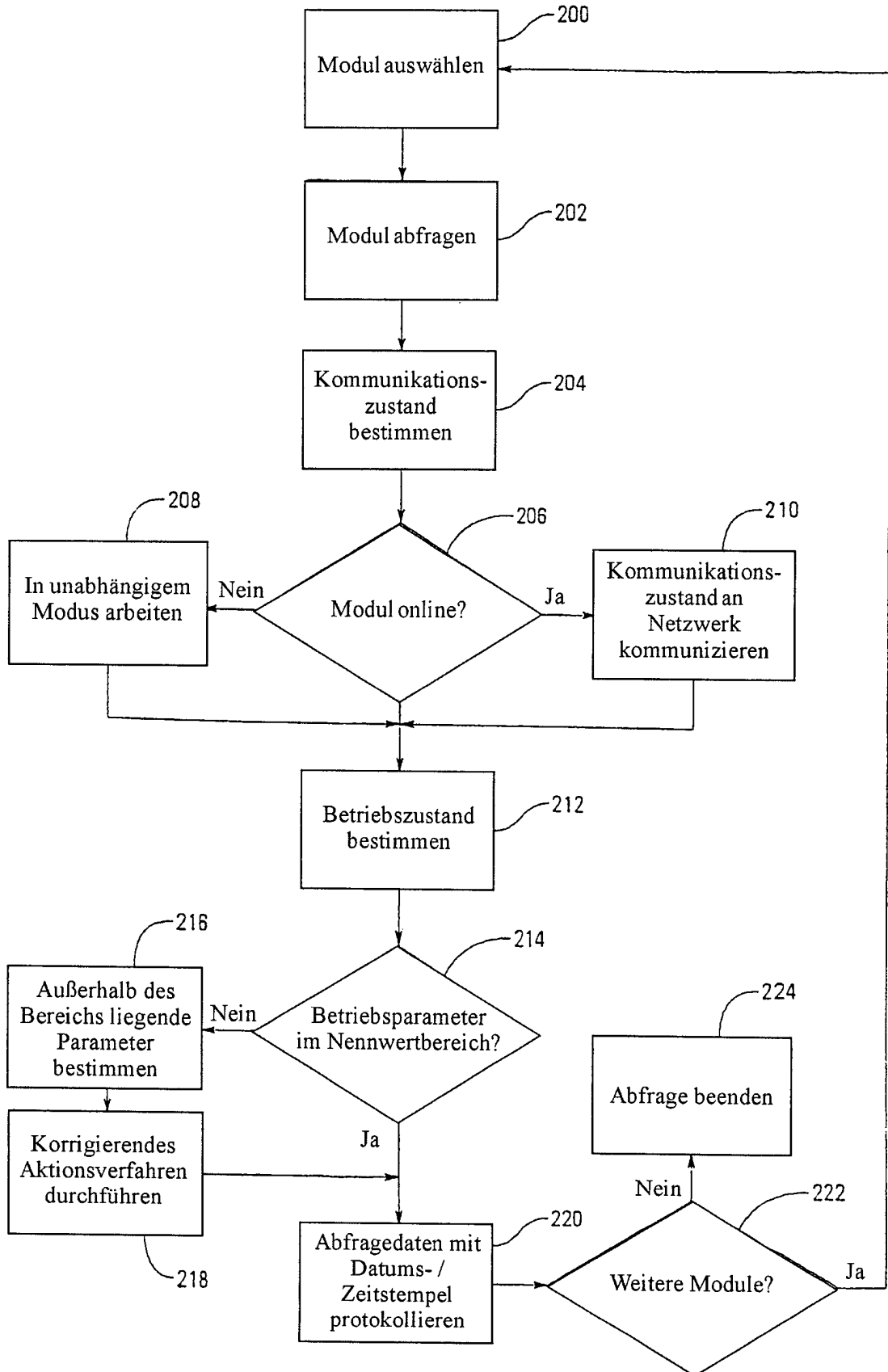


Fig. 11

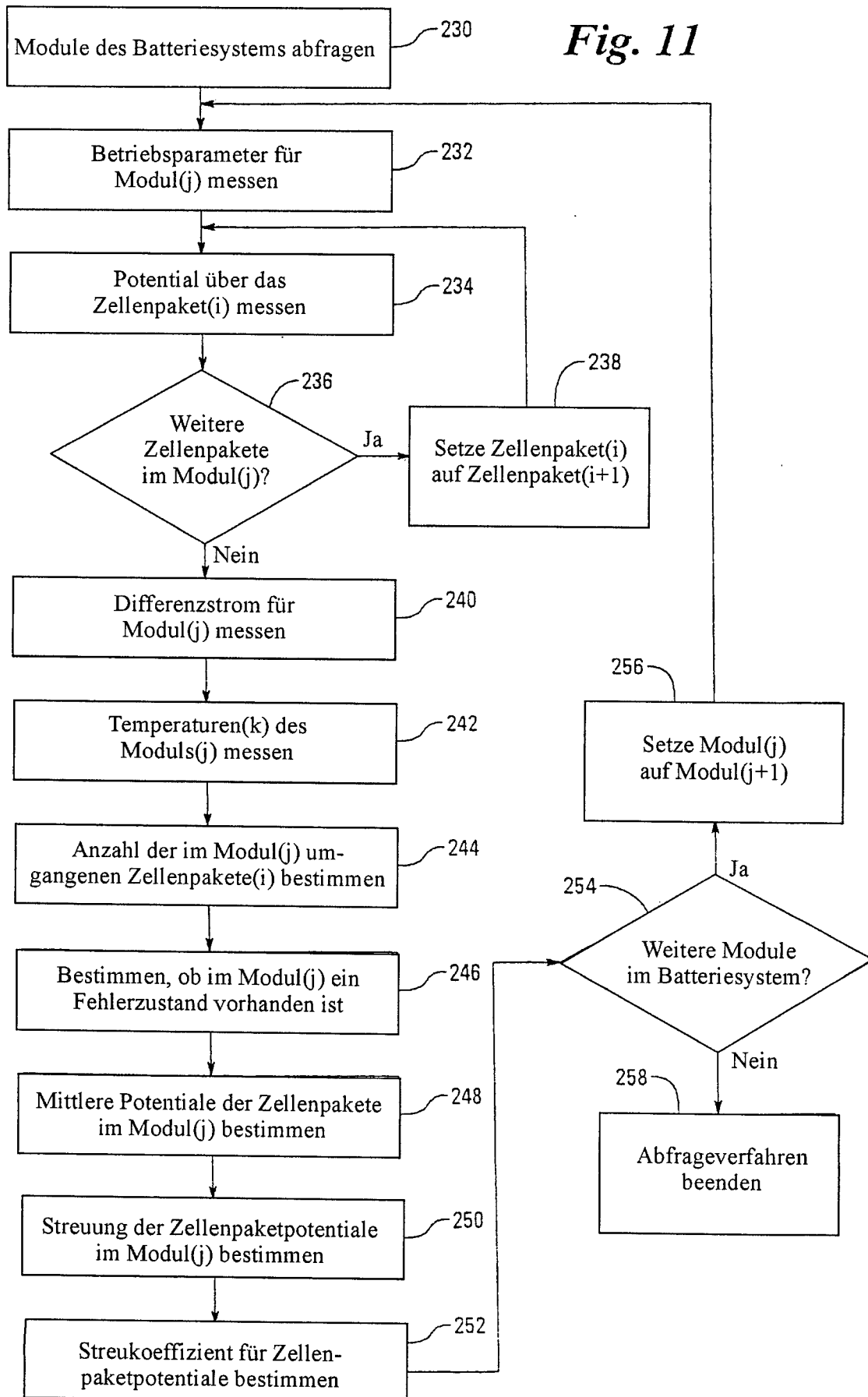


Fig. 12

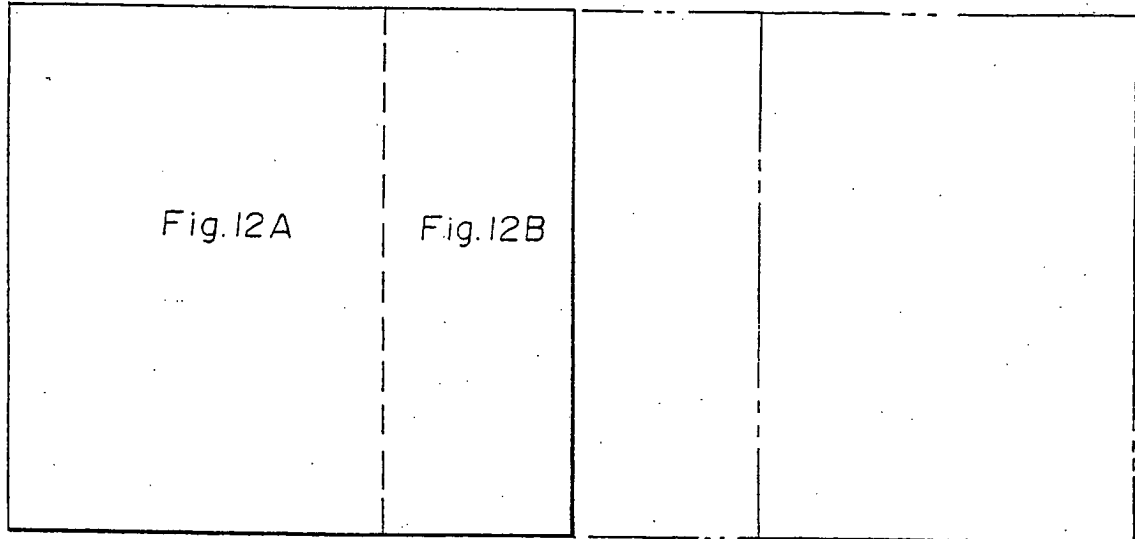


Fig. 13

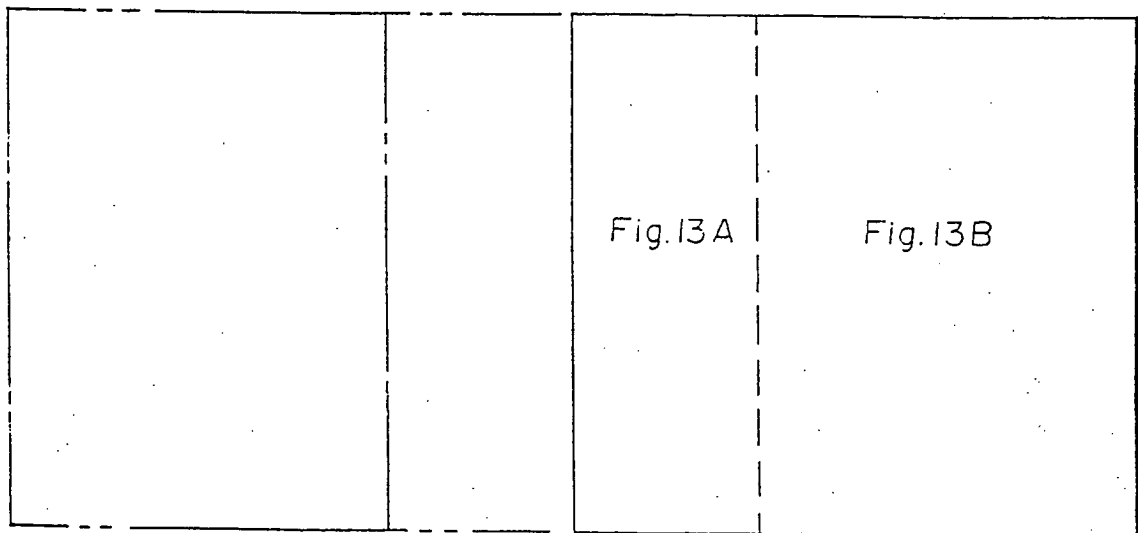


Fig. 12A

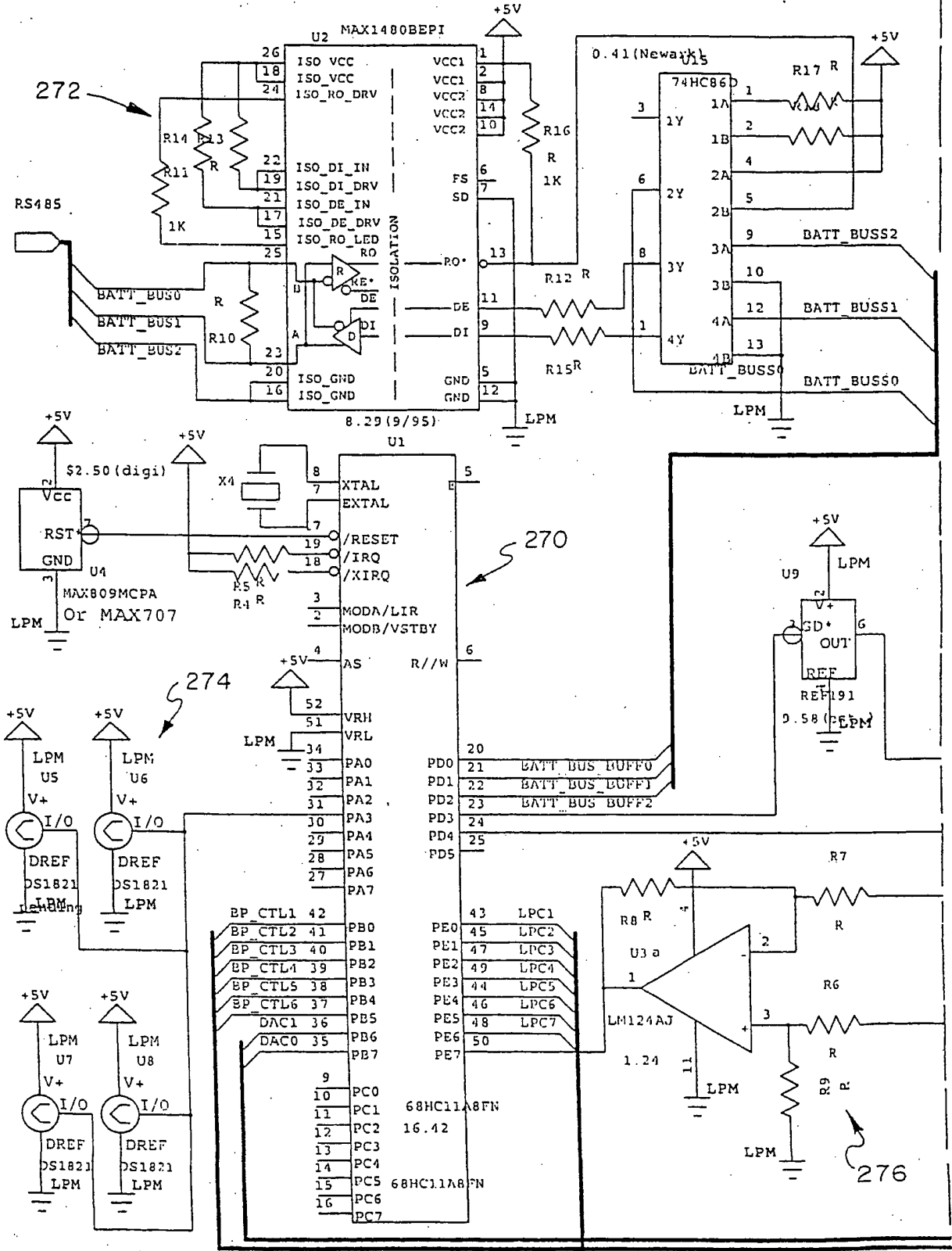


Fig. 12B

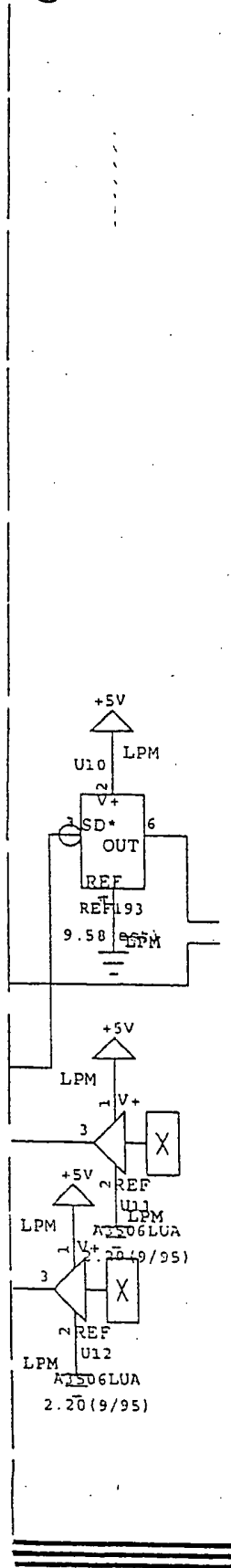


Fig. 13A

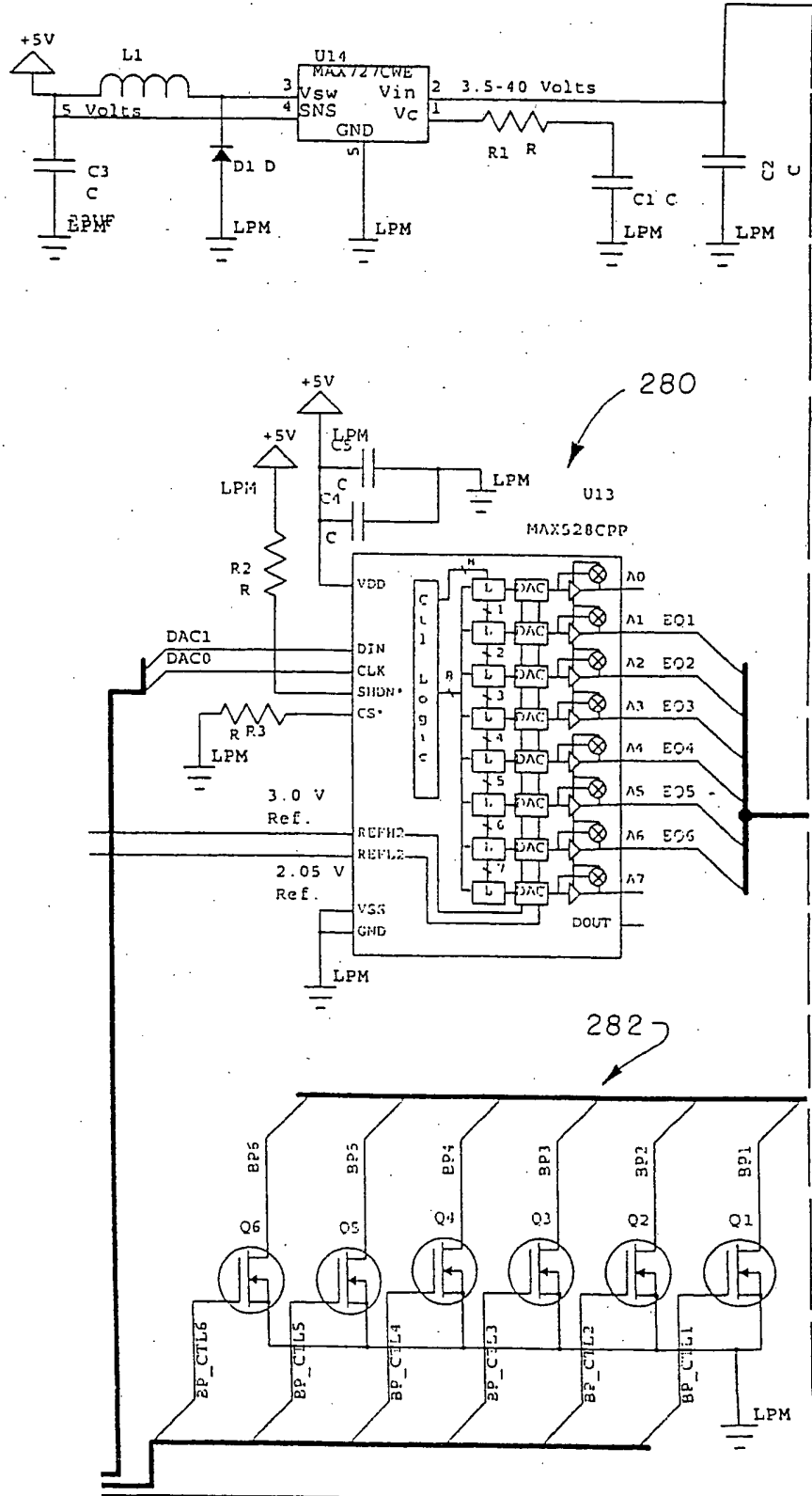


Fig. 13B

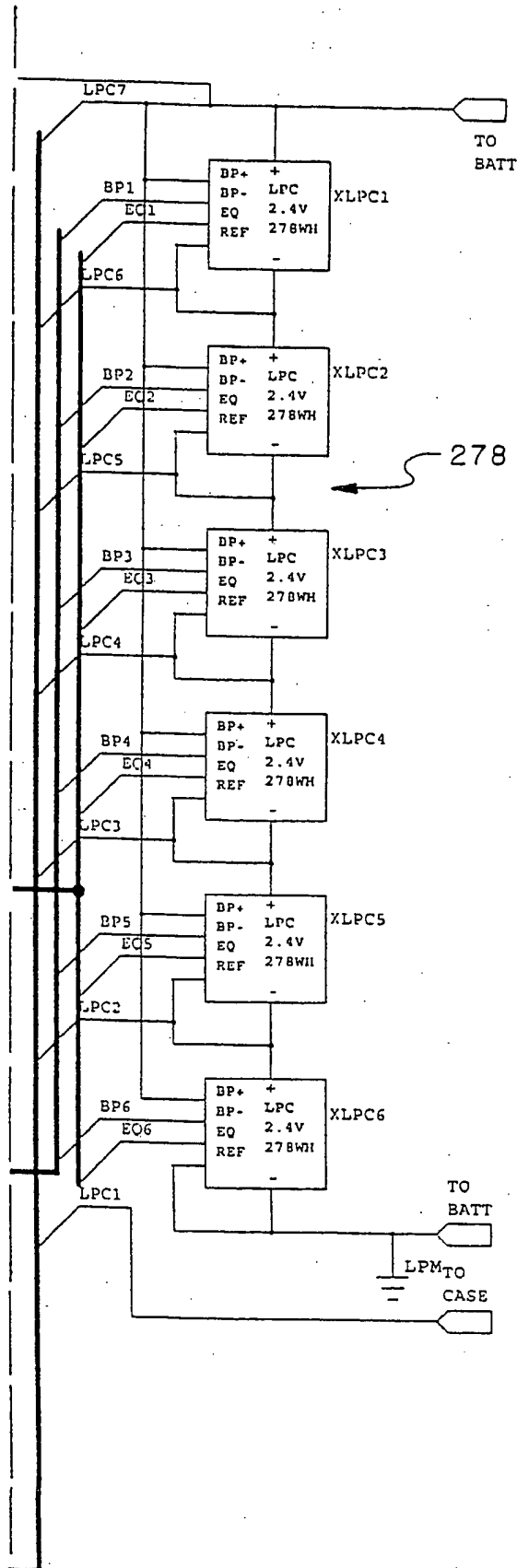


Fig. 14

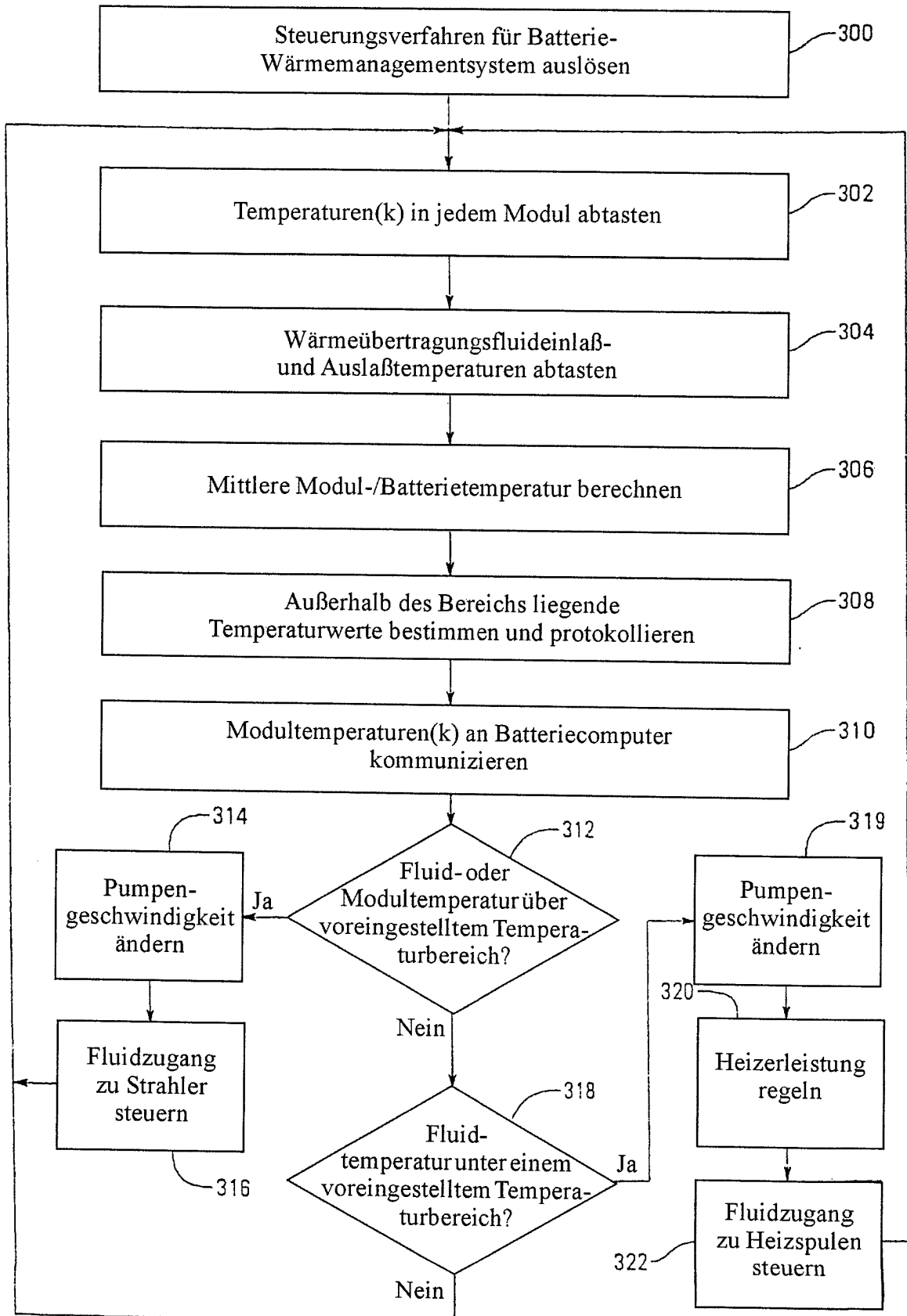


Fig. 15

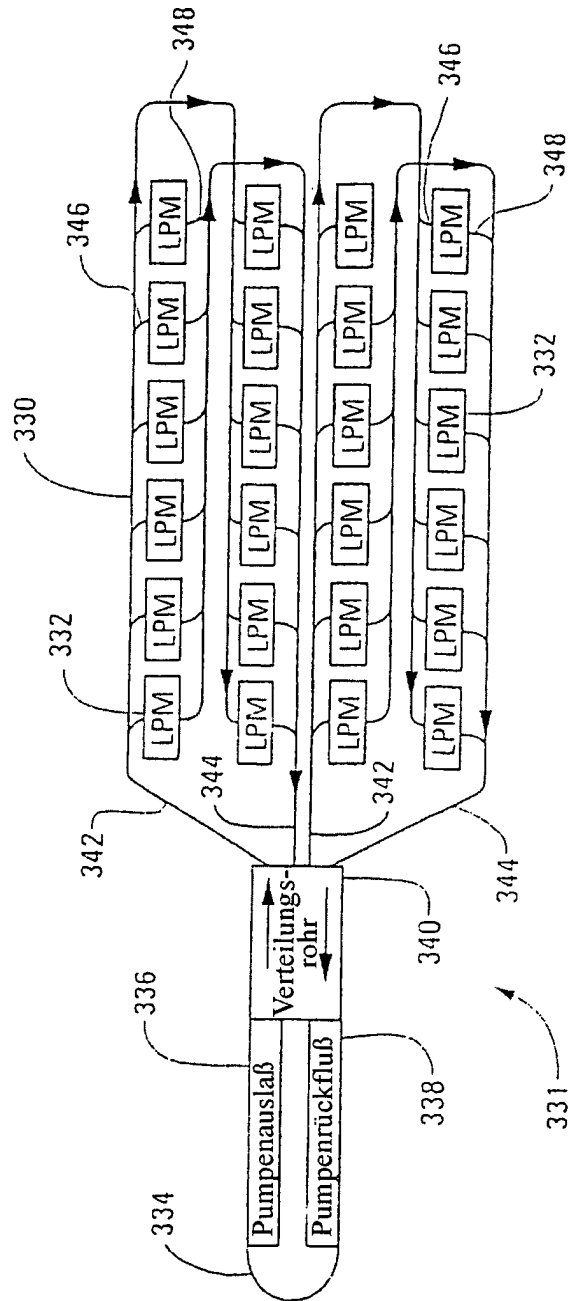


Fig. 16

