



(10) **DE 10 2014 201 365 A1** 2015.07.30

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 201 365.8**

(22) Anmeldetag: **27.01.2014**

(43) Offenlegungstag: **30.07.2015**

(51) Int Cl.: **G01R 31/36 (2006.01)**  
**H02J 7/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE;**  
**Samsung SDI Co., Ltd., Yongin, Kyonggi, KR**

(72) Erfinder:

**Fetzer, Joachim, 73342 Bad Ditzgenbach, DE; Fink,**  
**Holger, 70567 Stuttgart, DE; Partes, Hans, 71679**  
**Asperg, DE**

(74) Vertreter:

**Gulde & Partner Patent- und**  
**Rechtsanwaltskanzlei mbB, 10179 Berlin, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 10 2011 089 312 A1**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

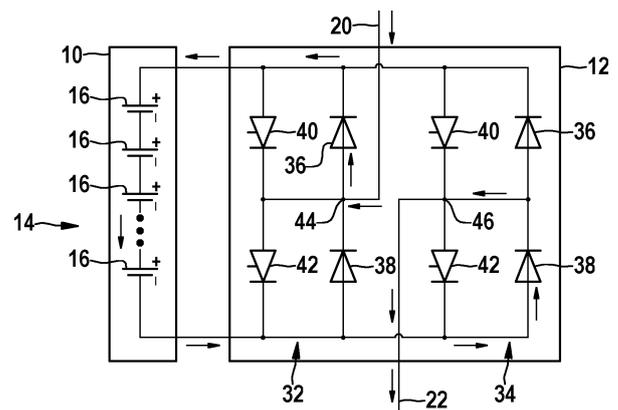
(54) Bezeichnung: **Verfahren und Schaltungsanordnung zur Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades von Batteriemodulen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades von Batteriemodulen (10) einer wiederaufladbaren Batterie mittels einer an die Batteriemodule (10) angeschlossenen Schaltungsanordnung (18). Es ist vorgesehen, dass diese Schaltungsanordnung (18) mehrere Strompfade (24, 26, 28) aufweist, die ihrerseits je eine Serienschaltung von Schaltmodulen (12) sowie mindestens ein im Linearbetrieb betreibbares Leistungshalbleiterelement (40, 42) zur Stromregelung des durch den jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) fließenden Stroms aufweist und wobei an jedes der Schaltmodule (12) je eines der Batteriemodule (10) angeschlossen ist und jedes der Schaltmodule (12) als Schaltmodul (12) zum wahlweisen Verschalten des angeschlossenen Batteriemoduls (10) in dem jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) oder zum alternativen Heraustrennen des angeschlossenen Batteriemoduls (10) aus diesem jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) ausgebildet ist, wobei in jeden der Strompfade (24, 26, 28)

– mittels der Schaltmodule (12) mindestens eines der Batteriemodule (10) ausgewählt und im jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) verschaltet wird während alle anderen Batteriemodule (10) dieses Strompfades (24, 26, 28) mittels der Schaltmodule (12) aus diesem Strompfad (24, 26, 28) herausgetrennt werden,

– das ausgewählte Batteriemodul (10) über den jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) mindestens einem Entladevorgang und mindestens einem Ladevorgang unterzogen wird, wobei der entsprechende Strom beim Laden und beim Entladen dieses Batteriemoduls (10) in diesem Strompfad (24, 26, 28) mittels des im Linearbetrieb betriebenen Leistungshalbleiterelements (40, 42) genau eingestellt wird und die entsprechenden Ladungsmengen beim Laden und beim Entladen durch Integration des Stroms über die Zeit ermittelt werden.

Die Erfindung betrifft weiterhin eine entsprechende Schaltungsanordnung (18).



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades von Batteriemodulen einer wiederaufladbaren Batterie.

### Stand der Technik

**[0002]** Fahrzeuge mit Elektro- oder Hybridantrieb benötigen zum Betrieb ihrer elektrischen Antriebsmaschine wiederaufladbare Batterien (Traktionsbatterien), die in der Regel modular aufgebaut sind. Bei vielen Anwendungen werden derartige wiederaufladbare Batterien abweichend auch als Akkumulatoren (kurz Akku) bezeichnet. Um nun die elektrische Antriebsmaschine des Elektro- oder Hybridantriebs mit elektrischer Energie der Batterien zu versorgen, ist eine Schaltungsanordnung zwischen die Batteriemodule und die Antriebsmaschine zwischengeschaltet.

**[0003]** Die bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen verwendeten wiederaufladbaren Batterien, meist auf Lithium-Basis, haben aufgrund von parasitären chemischen Prozessen in ihrem Inneren nur eine begrenzte Lebensdauer. Ihre Kapazität verringert sich mit jedem Lade-/Entladezyklus so lange bis die einzelnen Batteriezellen oder die aus solchen Zellen bestehenden Batteriemodule aufgrund mangelnder Leistungsfähigkeit und Kapazität ausgetauscht werden müssen. Deswegen ist es wichtig den Alterungsprozess der Batteriezellen beziehungsweise Batteriemodule genau zu beobachten. Aus dem Stand der Technik sind diverse Verfahren und Vorrichtungen zur Überwachung des Alterungszustands bekannt.

**[0004]** In dem wissenschaftlichen Artikel »Smith, A. J. et al., J. Electrochem. Soc. 157, A196 (2010)« wird ein Verfahren beschrieben, mit dem aus dem sogenannten Coulomb-Wirkungsgrad (Coulombschen Wirkungsgrad) auf Änderungen im Alterungszustand (Änderung des SOH: State of Health) von Lithium-Ionen-Batteriezellen geschlossen werden kann. Zur Durchführung eines solchen Verfahrens wird jedoch eine entsprechende zusätzliche leistungselektronische Meß- und Regeleinrichtung benötigt.

**[0005]** Das erfindungsgemäße Verfahren mit den in Anspruch 1 genannten Merkmalen bietet den Vorteil, dass keine zusätzliche Leistungselektronik benötigt wird.

**[0006]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades  $C_E$  von Batteriemodulen einer wiederaufladbaren Batterie ist vorgesehen, dass diese Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades mittels einer an die Batteriemodule angeschlossenen Schaltungsanordnung erfolgt. Diese Schaltungsanordnung weist mehrere Strompfade auf, die ihrerseits je eine Serienschaltung von Schalt-

modulen sowie mindestens ein im Linearbetrieb betreibbares Leistungshalbleiterelement zur Stromregelung des durch den jeweiligen Strompfad fließenden Stroms aufweisen. An jedes der Schaltmodule ist je ein Batteriemodul angeschlossen und jedes der Schaltmodule ist als Schaltmodul zum wahlweisen Verschalten des angeschlossenen Batteriemoduls in dem jeweiligen Strompfad (Lade- oder Entlademodus) oder zum alternativen Heraustrennen des angeschlossenen Batteriemoduls aus diesem jeweiligen Strompfad (Bypassmodus) ausgebildet. Dabei wird in jeden der Strompfade (i) mittels der Schaltmodule mindestens eines der Batteriemodule ausgewählt und im jeweiligen Strompfad verschaltet während alle anderen Batteriemodule mittels der Schaltmodule aus diesem Strompfad herausgetrennt werden, und (ii) das ausgewählte Batteriemodul über den jeweiligen Strompfad mindestens einem Entladevorgang und mindestens einem Ladevorgang unterzogen, wobei der entsprechende Strom beim Laden und beim Entladen dieses Batteriemoduls in diesem Strompfad mittels des im Linearbetrieb betriebenen Leistungshalbleiterelements genau eingestellt wird und die entsprechenden Ladungsmengen  $Q_{ab}$ ,  $Q_{zu}$  beim Laden und beim Entladen beziehungsweise zu diesen Ladungsmengen proportionale Größen durch Integration des Stroms über die Zeit ermittelt werden. Anschließend kann der als

$$C_E = \frac{Q_{ab}}{Q_{zu}}$$

definierte Coulomb-Wirkungsgrad  $C_E$  aus den Ladungsmengen  $Q_{ab}$ ,  $Q_{zu}$  oder dazu proportionalen Größen bestimmt werden. Im einfachsten Fall besteht jedes der Batteriemodule aus einer einzelnen Batteriezelle. Alternativ besteht jedes der Batteriemodule aus einer Serienschaltung mehrerer Batteriezellen.

**[0007]** Die Schaltungsanordnung ist zwischen die Batteriemodule der wiederaufladbaren Batterie und einen von der Batterie beziehungsweise den Batterien zu versorgenden Verbraucher zwischengeschaltet, wobei jedes Batteriemodul an ein Schaltmodul der Schaltungsanordnung angeschlossen ist. Im normalen Betrieb werden die Schaltmodule genutzt, um einzelne Batteriemodule für diese Spannungsversorgung auszuwählen und miteinander in einem Strompfad zu verschalten. Eine derartige Schaltungsanordnung ist als Batteriedirektkonverter bekannt. Der Batteriedirektkonverter ist direkt, also ohne weitere Zwischenelemente, zwischen die Batteriemodule einerseits und den von den Batteriemodulen zu versorgenden elektrischen Verbraucher zwischenschaltbar bzw. zwischengeschaltet.

**[0008]** Kern der Erfindung ist es, ein Leistungshalbleiterelement im jeweiligen Strompfad der Schaltungsanordnung so anzusteuern, dass sich dieses

zumindest teilweise im Linearbetrieb befindet und dass der Strom durch die Batteriezellen des entsprechenden Batteriemoduls mit Hilfe dieses linear betriebenen Leistungshalbleiterelements in Abstimmung mit einer Stromregelung im Ladegerät sehr genau geregelt wird. Ein derartig betreibbares Leistungshalbleiterelement ist bei Batteriedirektkonverter in der Regel sowieso vorhanden. Damit kann die für die Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades  $C_E$  erforderliche sehr genaue Einstellung des Lade- bzw. Entladestroms einfach ohne zusätzliche Leistungselektronik realisiert werden. Lediglich die Ansteuerung besagten Leistungshalbleiterelements müsste zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ergänzt werden. Eine solche Ansteuerung kann jedoch ohne leistungselektronische Bauteile auskommen.

**[0009]** Der von den Batteriemodulen zu versorgende Verbraucher ist bevorzugt ein mehrphasiger elektrischer Verbraucher, insbesondere eine mehrphasige elektrische Maschine. Der Batteriedirektkonverter ist dabei ein mehrphasiger Direktkonverter, der direkt zwischen die Batteriemodule der Batterien einerseits und den von den Batteriemodulen zu versorgenden mehrphasigen elektrischen Verbraucher zwischenschaltbar ist. Dabei sind die Batteriemodule in einer der Anzahl der Phasen entsprechenden Anzahl von Strompfaden verschaltbar.

**[0010]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung bildet eines der Leistungshalbleiterelemente der Schaltmodule das Leistungshalbleiterelement zur Stromregelung des durch den jeweiligen Strompfad fließenden Stroms. Die Leistungshalbleiterelemente der Schaltmodule werden bei dieser Ausführungsform mittels einer Ansteuereinrichtung angesteuert und im Linearbetrieb betrieben um den elektrischen Strom bei dem Lade- und bei dem Entladevorgang einzustellen.

**[0011]** Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass jedes der Schaltmodule eine Brückenschaltungsanordnung mit zwei Halbbrücken aufweist, wobei in jeder dieser Halbbrücken zwei als Halbleiterstromventile fungierende Leistungshalbleiterelemente und zwei Freilaufdioden verschaltet sind. Insgesamt ergibt sich also eine als Vollbrücke ausgebildete Brückenschaltungsanordnung pro Schaltmodul. Pro Halbbrücke ist je eines der beiden Halbleiterstromventile dabei zu einer der beiden Freilaufdioden (anti-)parallel geschaltet. Die beiden Parallelschaltungen mit dem je einen Halbleiterstromventil und der je einen Freilaufdiode sind in einer Serienschaltung verschaltet, wodurch die jeweilige Halbbrücke entsteht. Diese Serienschaltungen der Brückenschaltungsanordnungen sind an das angeschlossene Batteriemodul angeschlossen. Derartige Schaltmodule sind beispielsweise aus Direktkonvertern bekannt und werden dort für das so-

genannte „Cell-Balancing“, den Ausgleich des Ladungszustandes zwischen den einzelnen Batteriezellen oder Batteriemodulen, genutzt. Dazu werden mittels der Schaltmodule bevorzugt die Batteriezellen beziehungsweise Batteriemodule im Strompfad verschaltet, deren Ladezustand verhältnismäßig hoch ist. Die Hauptaufgabe der Schaltmodule in Direktkonvertern ist freilich die Einstellung der Spannung am Verbraucher, also beispielsweise die Bereitstellung eines dreiphasigen Drehspannungssystems. Genau genommen wird dabei in aller Regel der Strom in der Maschine geregelt und mit den Schaltmodulen die Spannung so eingestellt, dass sich der gewünschte Stromsollwert ergibt.

**[0012]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die Schaltungsanordnung als Schaltungsanordnung zur elektrischen Versorgung des mehrphasigen elektrischen Verbrauchers, insbesondere der mehrphasigen elektrischen Maschine, ausgebildet. Dabei entspricht die Anzahl der Strompfade der Anzahl der Phasen. Die elektrische Versorgung erfolgt dabei für jede der Phasen über je einen fest zugeordneten Strompfad. Die Anzahl der Phasen beziehungsweise der Strompfade ist bevorzugt drei oder sechs.

**[0013]** Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt das Entladen des ausgewählten Batteriemoduls über ein an die Schaltungsanordnung angeschlossenes externes elektrisches Bauelement. Dieses Bauelement ist insbesondere der elektrische Verbraucher.

**[0014]** Gemäß einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt das Entladen des ausgewählten Batteriemoduls über einen zuschaltbaren (Last-)Widerstand der Schaltungsanordnung selbst. Dabei ist insbesondere vorgesehen, dass der zuschaltbare Widerstand mittels eines ansteuerbaren Schützes wahlweise zugeschaltet oder getrennt wird.

**[0015]** Gemäß einer weiteren vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung erfolgt das Laden des ausgewählten Batteriemoduls über ein an den jeweiligen Strompfad angeschlossenes Ladegerät.

**[0016]** Die Erfindung betrifft weiterhin eine entsprechende Schaltungsanordnung zur Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades von Batteriemodulen einer wiederaufladbaren Batterie mit den in Anspruch 10 angegebenen Merkmalen. Diese Schaltungsanordnung weist mehrere Strompfade auf, die ihrerseits je eine Serienschaltung von Schaltmodulen sowie mindestens ein im Linearbetrieb betreibbares Leistungshalbleiterelement zur Stromregelung des durch den jeweiligen Strompfad fließenden Stroms aufweisen. An jedes der Schaltmodule ist je ein Batteriemodul angeschlossen und jedes der Schaltmodule ist als Schaltmodul zum wahlweisen Verschalten des

angeschlossenen Batteriemoduls in dem jeweiligen Strompfad (Lade- oder Entlademodus) oder zum alternativen Heraustrennen des angeschlossenen Batteriemoduls aus diesem jeweiligen Strompfad (Bypassmodus) ausgebildet. Die Schaltungsanordnung ist eingerichtet, das ausgewählte Batteriemodul über den jeweiligen Strompfad mindestens einem Entladevorgang und mindestens einem Ladevorgang zu unterziehen, wobei der entsprechende Strom in diesem Strompfad beim Laden und beim Entladen dieses Batteriemoduls mittels des im Linearbetrieb betriebenen Leistungshalbleiterelements genau einstellbar ist und wobei die Schaltungsanordnung Mittel zur Ermittlung der entsprechenden Ladungsmengen durch Integration des Stroms über der Zeit beim Ladevorgang und beim Entladevorgang aufweist. Die Schaltungsanordnung umfasst weiterhin eine Ansteuereinrichtung zur Ansteuerung des jeweiligen Leistungshalbleiterelements im Linearbetrieb um den elektrischen Strom beim Lade- und bei dem Entladevorgang einzustellen. Dabei ist entweder eine zentrale Ansteuereinrichtung oder alternativ für jedes einzelne Leistungshalbleiterelement eine separate Ansteuereinrichtung vorgesehen. Das Entladen des ausgewählten Batteriemoduls erfolgt über ein externes elektrisches Bauelement oder über einen zuschaltbaren Lastwiderstand der Schaltungsanordnung selbst. Das Laden des ausgewählten Batteriemoduls erfolgt über ein an den jeweiligen Strompfad angeschlossenes externes Ladegerät. Für die externen Geräte sind entsprechende Anschlüsse vorgesehen. Die Schaltungseinrichtung ist insbesondere eine Schaltungsanordnung zur Durchführung des eingangs erwähnten Verfahrens.

**[0017]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Abbildungen näher erläutert. Es zeigen

**[0018]** Fig. 1 eine Einheit aus einem Batteriemodul einer wiederaufladbaren Batterie und einem Schaltmodul einer Schaltungsanordnung zur Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades der Batteriemodule gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, wobei weiterhin ein Ladestrom zum Laden des Batteriemoduls einer ersten Stromrichtung eingezeichnet ist,

**[0019]** Fig. 2 die in Fig. 1 gezeigte Einheit, wobei ein Entladestrom zum Entladen des Batteriemoduls einer zweiten Stromrichtung eingezeichnet ist,

**[0020]** Fig. 3 die in Fig. 1 gezeigte Einheit, wobei das Schaltmodul im Bypassmodus ist und ein in der zweiten Stromrichtung fließender Strom eingezeichnet ist,

**[0021]** Fig. 4 die in Fig. 1 gezeigte Einheit, wobei das Schaltmodul im Bypassmodus ist und ein in der zweiten Stromrichtung fließender Strom eingezeichnet ist und

**[0022]** Fig. 5 die komplette Schaltungsanordnung mit ihren mehreren Strompfaden und einer an die Schaltungsanordnung angeschlossenen elektrischen Maschine als Verbraucher.

**[0023]** Die Fig. 1 zeigt das Schaltbild einer aus einem Batteriemodul **10** einer modular aufgebauten wiederaufladbaren Batterie (einem Akkumulator) und einem Schaltmodul **12** bestehende Einheit **14**. Dabei ist das aus mehreren Batteriezellen **16** bestehende Batteriemodul **10** in dem Schaltmodul **12** verschaltet. Das Schaltmodul **12** ist eines von mehreren Modulen **12** einer in Fig. 5 in Gänze gezeigten modular aufgebauten Schaltungsanordnung **18** zur Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades  $C_E$  der in dieser Schaltungsanordnung **18** verschalteten Batteriemodule **10**. Diese Schaltungsanordnung **18** wird im Wesentlichen von einem Batteriedirektkonverter gebildet. Das Schaltmodul **12** selbst weist zwei äußere Anschlüsse **20**, **22** auf, über die es in einem von mehreren in Fig. 5 gezeigten Strompfaden **24**, **26**, **28** verschaltet ist. Insgesamt sind pro Strompfad **24**, **26**, **28** mehrere in Serie geschaltete Schaltmodule **12** vorgesehen, sodass sich insgesamt also eine Vielzahl solcher immer gleich aufgebauten Einheiten **14** ergeben. Jedes der Schaltmodule **12** dient zum wahlweisen Verschalten des darin verschalteten Batteriemoduls **10** in dem zugehörigen Strompfad **24**, **26**, **28** der Schaltungsanordnung **18** (Lade- oder Entlademodus) oder zum alternativen Heraustrennen jedes einzelnen der Batteriemodule **10** aus diesem Strompfad **24**, **26**, **28** (Bypassmodus). Jeder der Strompfade **24**, **26**, **28** ist dabei also ein Leistungsstrompfad der Schaltungsanordnung **18** über den die Batterieströme fließen. Mit anderen Worten wird die wiederaufladbare Batterie über die Strompfade **24**, **26**, **28** mit einem (in Fig. 5 gezeigten) elektrischen Verbraucher **30** oder einem (nicht gezeigten) Ladegerät verbunden.

**[0024]** Das Schaltmodul **12** weist eine Brückenschaltungsanordnung mit zwei Halbbrücken **32**, **34** auf, wobei in jeder der Halbbrücken **32**, **34** zwei als Halbleiterstromventile fungierende Leistungshalbleiterelemente **40**, **42** auf Transistorbasis in Serie geschaltet sind und mit jeweils einer antiparallel geschalteten Freilaufdiode **36**, **38** verschaltet sind. Ein gemeinsamer Mittelabgriffpunkt **44** der der ersten Brückenschaltungsanordnung **32** ist elektrisch leitend mit dem ersten Anschluss **20** des Schaltmoduls **12** und ein gemeinsamer Mittelabgriffpunkt **46** der zweiten Brückenschaltung **34** ist elektrisch leitend mit dem zweiten Anschluss **22** des Schaltmoduls **12** verbunden. Ansteuerleitungen wie auch Messleitungen sind im Schaltbild nicht gezeigt.

**[0025]** Die Fig. 1 bis Fig. 4 zeigen den Stromverlauf bei den unterschiedlichen Betriebsmodi der Schaltmodule **12**. Dieser Stromverlauf ist dabei durch Pfeile markiert.

**[0026]** Durch dementsprechende Schaltungen der als Halbleiterstromventilen fungierenden Leistungshalbleiterelementen **40, 42** wird der Strom in der Einheit **14** gesteuert. Sind alle Leistungshalbleiterelemente **40, 42** gesperrt so kann der Strom nur in der in **Fig. 1** gezeigten Richtung fließen (Reversemodus), die Batteriezellen **16** des angeschlossenen Batteriemoduls **10** werden geladen. Die Pfeile geben die Richtung des Stromflusses an. Der Strom fließt über den Anschluss **20** in das Schaltmodul **12** am Mittelabgriffpunkt **44** der ersten Halbbrücke **32**, weiter über die Freilaufdiode **36** der ersten Halbbrücke **32** zum Batteriemodul **10**, durch deren Zellen **16** zur Freilaufdiode **38** der zweiten Halbbrücke **34**, weiter zum Mittelabgriffpunkt **46** der zweiten Halbbrücke **34** und dann über den Anschluss **22** aus dem Modul **12** wieder hinaus. Tatsächlich wird das Batteriemodul **10** über das Schaltmodul **12** auch geladen, wenn Strom über den Anschluss **22** in den Mittelabgriffpunkt **46** der zweiten Halbbrücke **34** eingespeist und bei dem Mittelabgriffpunkt **44** der ersten Halbbrücke **32** und dem Anschluss **20** entnommen wird (nicht gezeigt).

**[0027]** Der Stromfluss im Entlademodus (Normalbetrieb) ist in **Fig. 2** gezeigt. Der Strom fließt über den Anschluss **22** am Mittelabgriffpunkt **46** der zweiten Halbbrücke **34** in das Schaltmodul **12**, dann durch das Leistungshalbleiterelement **42** der zweiten Halbbrücke **34** zum angeschlossenen Batteriemodul **10**, weiter durch die Zellen **16** des Batteriemoduls **10** zum Leistungshalbleiterelement **40** der ersten Halbbrücke **32** und dann über den Mittelabgriffpunkt **44** der ersten Halbbrücke **32** und den Anschluss **20** wieder aus dem Modul **12** hinaus.

**[0028]** Da zur Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades eines Batteriemoduls **10** immer nur dieses eine Batteriemodul **10** geladen/entladen werden soll, müssen die anderen Batteriemodule **10** aus dem entsprechenden Strompfad **24, 26, 28** herausgetrennt werden. Soll ein Batteriemodul **10** des entsprechenden Strompfades **24, 26, 28** also nicht entladen werden, so wird der Strom wie in **Fig. 3** gezeigt an den Zellen **16** des entsprechenden Batteriemoduls **10** vorbei geleitet (Bypassmodus **1**). Dazu wird das Leistungshalbleiterelement **42** der zweiten Halbbrücke **34** auf Durchlass geschaltet. Es ergibt sich der Stromverlauf vom Anschluss **22** über den Mittelabgriffpunkt **46** und besagtes Leistungshalbleiterelement **42** der zweiten Halbbrücke **34** zur Freilaufdiode **38** der ersten Halbbrücke **32**, anschließend zu dem Mittelabgriffpunkt **44** dieser Halbbrücke **32** und dem Anschluss **20**. Von dort hinaus aus dem Modul **12** zum nächsten Modul **12** des Strompfades **24, 26, 28** oder zu dessen Endpunkt.

**[0029]** In ähnlicher Weise kann das Modul **12** auch beim Laden (bei umgekehrter Stromrichtung) übergangen werden. Hier ist das Leistungshalbleiterelement **42** der ersten Halbbrücke **32** auf Durchlass ge-

schaltet. Es ergibt sich der in **Fig. 4** gezeigte Stromverlauf vom Anschluss **20** über den Mittelabgriffpunkt **44** und besagtes Leistungshalbleiterelement **42** der ersten Halbbrücke **32** zur Freilaufdiode **38** der zweiten Halbbrücke **34** und zu dem Mittelabgriffpunkt **46** dieser Halbbrücke **34** sowie dem Anschluss **22**. Von dort hinaus aus dem Modul **12** zum nächsten Modul **12** des Strompfades **24, 26, 28** oder zu dessen anderem Endpunkt.

**[0030]** **Fig. 5** zeigt die komplette Schaltungsanordnung **18** mit ihren mehreren (im gezeigten Beispiel drei) Strompfaden **24, 26, 28** und einer an die Schaltungsanordnung **18** angeschlossenen dreiphasigen elektrischen Maschine **M** als Verbraucher **30**. Dabei ist jeder der Strompfade **24, 26, 28** über einen jeweiligen Hauptschütz **48, 50, 52** mit einem jeweiligen Phasenanschluss **54, 56, 58** einer der drei Phasen der elektrischen Maschine **M** elektrisch verbindbar. Somit sind die in einem der Strompfade **24, 26, 28** über die Schaltmodule **12** verschalteten Batteriemodule **10** für die elektrische Versorgung des Verbrauchers bezüglich der entsprechenden Phase zuständig. Die den Schaltern **48, 50, 52** gegenüberliegenden Enden der Strompfade **24, 26, 28** sind miteinander zu einem Sternpunkt elektrisch leitend verbunden und über einen Schalter **60** mit einem Anschluss **62** verbunden werden. Die Serienschaltung **64, 66, 68** der Schaltmodule **12** in jedem der Strompfade **24, 26, 28** kann über einen mittels ansteuerbarer Schütze **70, 72, 74** zuschaltbaren Bypasspfad **76** mit einem darin verschalteten Widerstand **78** entladen werden. Weiterhin kann jeder der Strompfade über ein zugeordnetes weiteres Schütz **80, 82, 84** mit einem jeweiligen weiteren Anschluss **86, 88, 90** verbunden werden. In jedem der Strompfade **24, 26, 28** ist je ein Stromsensor **92, 94, 96** verschaltet.

**[0031]** Die drei Strompfade **24, 26, 28** bilden ein dreiphasiges System. Die Verbraucher **30** beziehungsweise ein HV Fahrzeugnetz wird über die Hauptschütze **48, 50, 52** angeschlossen.

**[0032]** Der Pluspol eines Ladegeräts mit drei Ausgängen wird an einem der Anschlüsse **86, 88, 90** über die korrespondierenden Ladeschütze **80, 82, 84** angeschlossen; der Minuspol wird an den Anschluss **62** über das optionale Ladeschütz **60** angeschlossen. Der fließende Strom wird mittels der Stromsensoren **92, 94, 96** gemessen (wobei jedes Schaltmodul **12** zusätzlich noch einen Stromsensor enthalten kann), die Spannungen in den einzelnen in den Schaltmodulen **12** verschalteten Batteriemodulen **10** durch nicht gezeigte Messchips.

**[0033]** Für das Verfahren zur Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades  $C_E$  von Batteriemodulen **10** wird ein einzelnes Schaltmodul **12** ausgewählt, bei dem der Wirkungsgrad für die Batterie- bzw. Akkumulierzellen des darin verschalteten Batteriemoduls

**10** bestimmt werden soll. Ohne Einschränkung der Allgemeinheit soll dies für die folgende Betrachtung das Schaltmodul **12** ganz unten im Strompfad **24** der **Fig. 5** sein. Das Verfahren wird dann gestartet, wenn sich die wiederaufladbare Batterie im Ruhezustand befindet, und möglicherweise an ein Ladegerät angeschlossen ist (z.B. nächtliches Aufladen eines Elektrofahrzeugs). Es gibt zwei Möglichkeiten der Entladung: über den (Last-)Widerstand **78** oder über den angeschlossenen Verbraucher **30**.

**[0034]** Die Entladung eines Moduls **12** über den separaten Widerstand **78** wird durch das jeweilige Schaltschütz **70, 72, 74** bewerkstelligt. Die Module **12** in der Schaltungsanordnung **18** werden nun so betrieben, dass sich beim Entladen der Batteriemodule **10** des an das gewählte Schaltmodul **12** im Entlademodus befindet, alle anderen Schaltmodule **12** im Bypassmodus. Das Schütz **70** ist geschlossen, so dass die Zellen **16** des Batteriemoduls **10** über den Widerstand **78** entladen werden können. Die Schütze **72, 74, 86, 88, 90** sind geöffnet. Im gewählten Modul **12** wird mit Hilfe des nun im Linearbetrieb arbeitenden Leistungshalbleiterelements **40** der ersten Halbbrücke **32** oder des im Linearbetrieb arbeitenden Leistungshalbleiterelements **42** der zweiten Halbbrücke **34** der Strom in den Zellen **16** des angeschlossenen Batteriemoduls **10** sehr genau geregelt. Dies ist möglich, da der zur Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades erforderliche Entladestrom sehr klein im Vergleich zum im Normalbetrieb fließenden Strom ist. Somit bleiben auch die Verluste im entsprechenden Leistungshalbleiterelement **40, 42** klein. Alternativ kann bei Nichtvorhandensein oder Nichtnutzung des Widerstands **78** die Entladung über den Verbraucher **30**, also etwa die elektrische Maschine **M** stattfinden. Hierzu wird das an das zu entladende Batteriemodul **10** angeschlossene Schaltmodul **12** in den Entlademodus versetzt, die restlichen Module **12** im selben Strompfad **24** in den Bypassmodus. Dann werden die Schütze **54** und **56** (alternativ auch zusätzlich **58**) geschlossen, und die Module **12** in den anderen stromdurchflossenen Strompfaden **26, 28** in den Bypassmodus versetzt. Somit wird der Verbraucher **30** als Last benutzt, und der Rückstrom fließt durch den oder die anderen Strompfade **26, 28**. Wie zuvor können alle im Stromkreis befindlichen Leistungshalbleiterelemente **40, 42**, also auch wiederum das Leistungshalbleiterelement **40** der ersten Halbbrücke **32** und das Leistungshalbleiterelement **42** der zweiten Halbbrücke **34** im Linearbetrieb arbeiten und den Laststrom regeln. Ein Festbremsen der elektrischen Maschine **M** ist üblicherweise nicht notwendig, da die für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens notwendigen Ströme sehr klein im Vergleich zum Bemessungsstrom der elektrischen Maschine sind.

**[0035]** Nachdem die Zellen **16** des an das gewählte Modul **12** angeschlossenen Batteriemoduls soweit

wie gewünscht entladen wurden, werden die Batteriezellen **16** wieder geladen. Hierfür gibt es zwei Ausführungsformen, je nachdem ob a) ein externes Ladegerät angeschlossen ist oder b) nicht.

a) Das Ladegerät wird mit dem Pluspol an den Anschluss **86** angeschlossen, mit dem Minuspol an den Anschluss **62**. Dann werden die Schütze **60** und **80** geschlossen, und die Schütze **70, 72, 74, 82, 84** geöffnet. Die Module **12** der Schaltungsanordnung **18** werden so betrieben, dass das gewünschte Batteriemodul **10** geladen wird. Der Ladestrom wird mit der notwendigen Präzision vom Ladegerät bereitgestellt, oder alternativ durch Linearbetrieb eines der in anderen Modulen **12** stromführenden Leistungshalbleiterelemente **40, 42** geregelt. Der Strom wird wiederum mit den im Modul **12** eingebauten Stromsensoren oder dem externen Sensor **92** mit der nötigen Präzision gemessen. Vorzugsweise werden der Ladestrom und der Entladestrom gleich groß gewählt.

b) Auch wenn die Batterie nicht geladen wird (also beispielsweise das entsprechende Fahrzeug nicht an einer Ladestation abgestellt ist) kann das entsprechende Batteriemodul **10** geladen werden, und zwar durch die anderen Batteriemodule **10** im gleichen oder in einem anderen Strompfad **24, 26, 28**. Hierzu wird das zu ladende Batteriemodul **10** in den Lademodus geschaltet (**Fig. 1**) eine gewisse Anzahl der anderen Batteriemodule **10** (zumindest mehr als eines) in den Entlademodus (**Fig. 3**) und die nicht genutzten Batteriemodule **10** in den jeweils an die Stromrichtung angepassten Bypassmodus. Der Stromkreis wird entweder über den Widerstand **78** (Nachteil, zusätzliche Verluste) oder den angeschlossenen Verbraucher **30** geschlossen (nur zwei der drei Hauptschütze **48, 50, 52** schalten durch). Ein Festbremsen der elektrischen Maschine **M** als Verbraucher **30** ist üblicherweise nicht notwendig, da die für die Durchführung des Verfahrens notwendigen Ströme sehr klein im Vergleich zum Bemessungsstrom der elektrischen Maschine **M** sind. Ebenso ist es möglich alle drei Hauptschütze **48, 50, 52** einzuschalten. Dann ist es erforderlich in den beiden Strompfaden **26, 28**, die Energie zum Laden liefern sollen, jeweils einen der stromdurchflossenen Leistungshalbleiterelemente **40, 42** im Linearbetrieb zu betreiben und die Stromregelung so auszuführen, dass die Summe der Ströme aus den beiden Strompfaden, die Energie liefern sollen, dem gewünschten Ladestrom entspricht. Alternativ können die Schütze **70, 72, 74** genutzt werden. Werden zwei davon geschlossen, sind wiederum zwei Phasen parallel geschaltet und beliebiges Laden oder Entladen von Batteriemodulen **10** ist möglich. Die Stromregelung findet wiederum durch im Linearbetrieb befindliche Leistungshalbleiterelemente **40, 42** statt, beispielsweise bei Ladung des gewählten Modul **10** (in der

Einheit links unten) durch einen Leistungshalbleiterelement **40, 42** der anderen Schaltmodule **12** aus diesem Strompfad **24**. Analog zum oben beschriebenen Vorgehen bei Nutzung der elektrischen Maschine M, können auch in diesem Fall alle drei Schutze **70, 72, 74** geschlossen werden.

**[0036]** Der beschriebene Mechanismus kann auch zum Ladungsausgleich (Balancing) zwischen verschiedenen geladenen Batteriemodulen **10** genutzt werden, indem Batteriemodule **10** mit höherer Spannung als Quelle benutzt werden, und Batteriemodule **10** mit geringerer Spannung zu laden.

**[0037]** Mit Hilfe der beschriebenen genauen Stromregelung bzw. Strommessung kann die den Batteriemodulen **10** zugeführte bzw. entnommene Ladung durch einfache Integration über der Zeit sehr genau bestimmt werden. Der SOC der Batteriemodulen **10** lässt sich mit Hilfe der nach üblicherweise sowieso vorhandenen genauen Spannungsmessung ebenfalls genau ermitteln. Damit sind die Voraussetzungen zur Ermittlung des Coulomb-Wirkungsgrades erfüllt.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- Smith, A. J. et al., J. Electrochem. Soc. 157, A196 (2010) [0004]

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades von Batteriemodulen (10) einer wiederaufladbaren Batterie mittels einer an die Batteriemodule (10) angeschlossenen Schaltungsanordnung (18), wobei diese Schaltungsanordnung (18) mehrere Strompfade (24, 26, 28) aufweist, die ihrerseits je eine Serienschaltung (64, 66, 68) von Schaltmodulen (12) sowie mindestens ein im Linearbetrieb betreibbares Leistungshalbleiterelement (40, 42) zur Stromregelung des durch den jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) fließenden Stroms aufweisen und wobei an jedes der Schaltmodule (12) je eines der Batteriemodule (10) angeschlossen ist und jedes der Schaltmodule (12) als Schaltmodul (12) zum wahlweisen Verschalten des angeschlossenen Batteriemoduls (10) in dem jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) oder zum alternativen Heraustrennen des angeschlossenen Batteriemoduls (10) aus diesem jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) ausgebildet ist, wobei in jeden der Strompfade (24, 26, 28)

– mittels der Schaltmodule (12) mindestens eines der Batteriemodule (10) ausgewählt und im jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) verschaltet wird während alle anderen Batteriemodule (10) dieses Strompfades (24, 26, 28) mittels der Schaltmodule (12) aus diesem Strompfad (24, 26, 28) herausgetrennt werden und

– das ausgewählte Batteriemodul (10) über den jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) mindestens einem Entladevorgang und mindestens einem Ladevorgang unterzogen wird, wobei der entsprechende Strom beim Laden und beim Entladen dieses Batteriemoduls (10) in diesem Strompfad (24, 26, 28) mittels des im Linearbetrieb betriebenen Leistungshalbleiterelements (40, 42) genau eingestellt wird und die entsprechenden Ladungsmengen beim Laden und beim Entladen durch Integration des Stroms über die Zeit ermittelt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Leistungshalbleiterelement (40, 42) der Schaltmodule (18) das im Linearbetrieb betriebene Leistungshalbleiterelement (40, 42) zur Stromregelung des durch den jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) fließenden Stroms bildet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedes der Schaltmodule (12) eine Brückenschaltungsanordnung mit zwei Halbbrücken (32, 34) aufweist, wobei in jeder der Halbbrücken (32, 34) zwei als Halbleiterstromventile fungierende Leistungshalbleiterelemente (40, 42) und zwei Freilaufdioden (36, 38) verschaltet sind.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass in jeder der Halbbrücken (32, 34) jedes der beiden als Halbleiterstromventile fungierende Leistungshalbleiterelemente (40,

42) zu je einer der beiden Freilaufdioden (36, 38) parallel geschaltet ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltungsanordnung (18) als Schaltungsanordnung (18) zur elektrischen Versorgung eines mehrphasigen elektrischen Verbrauchers (30), insbesondere einer mehrphasigen elektrischen Maschine, ausgebildet ist, wobei die Anzahl der Strompfade (24, 26, 28) der Anzahl der Phasen entspricht.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Entladen des ausgewählten Batteriemoduls (10) über ein an die Schaltungsanordnung (18) angeschlossenes externes elektrisches Bauelement erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Entladen des ausgewählten Batteriemoduls (10) über einen zuschaltbaren Lastwiderstand (78) der Schaltungsanordnung (18) erfolgt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zuschaltbare Lastwiderstand (78) mittels eines ansteuerbaren Schützes (70, 72, 74) wahlweise zugeschaltet oder getrennt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Laden des ausgewählten Batteriemoduls (10) über ein an den jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) angeschlossenes Ladegerät erfolgt.

10. Schaltungsanordnung (18) zur Bestimmung des Coulomb-Wirkungsgrades von Batteriemodulen (10) einer wiederaufladbaren Batterie, mit mehreren Strompfaden (24, 26, 28), die ihrerseits je eine Serienschaltung (64, 66, 68) von Schaltmodulen (12) sowie mindestens ein im Linearbetrieb betreibbares Leistungshalbleiterelement (40, 42) zur Stromregelung des durch den jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) fließenden Stroms aufweisen, wobei an jedes der Schaltmodule (12) je eines der Batteriemodule (10) angeschlossen ist und jedes der Schaltmodule (12) als Schaltmodul (12) zum wahlweisen Verschalten des angeschlossenen Batteriemoduls (10) in dem jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) oder zum alternativen Heraustrennen des angeschlossenen Batteriemoduls (10) aus diesem jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) ausgebildet ist, und wobei die Schaltungsanordnung (18) eingerichtet ist, das ausgewählte Batteriemodul (10) über den jeweiligen Strompfad (24, 26, 28) mindestens einem Entladevorgang und mindestens einem Ladevorgang zu unterziehen, wobei der entsprechende Strom in diesem Strompfad (24, 26, 28) beim Laden und beim Entladen dieses Batteriemoduls (10) mittels des im Linearbetrieb betriebenen Leistungshalbleiterelements (40, 42) genau einstell-

bar ist und wobei die Schaltungsanordnung (**18**) Mittel zur Ermittlung der entsprechenden Ladungsmengen durch Integration des Stroms über der Zeit beim Ladevorgang und beim Entladevorgang aufweist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen



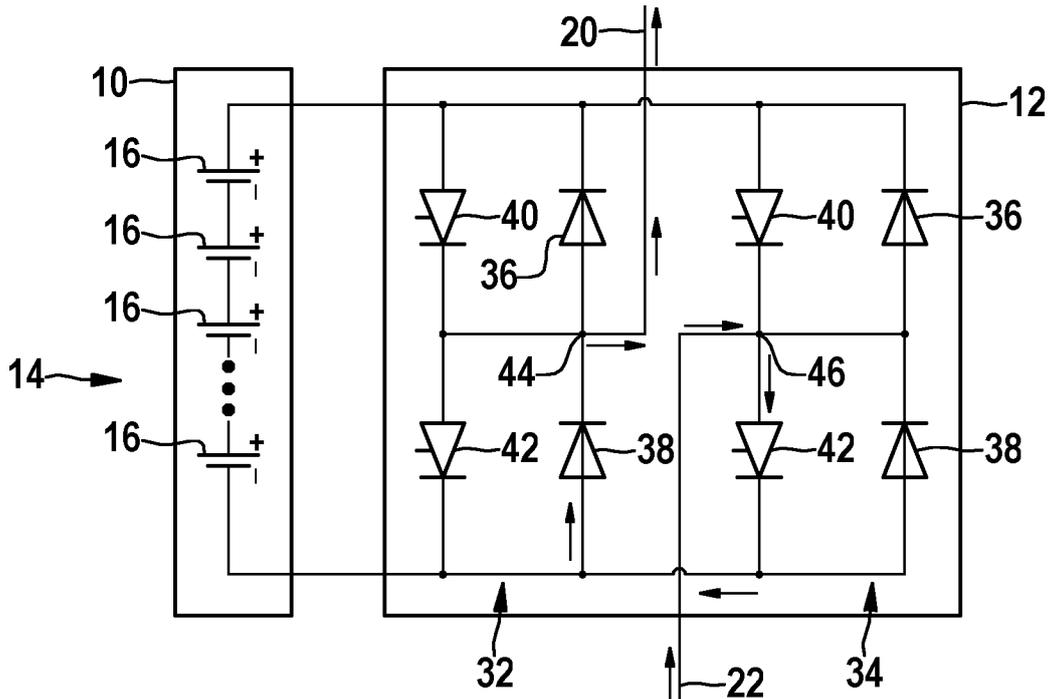


Fig. 3

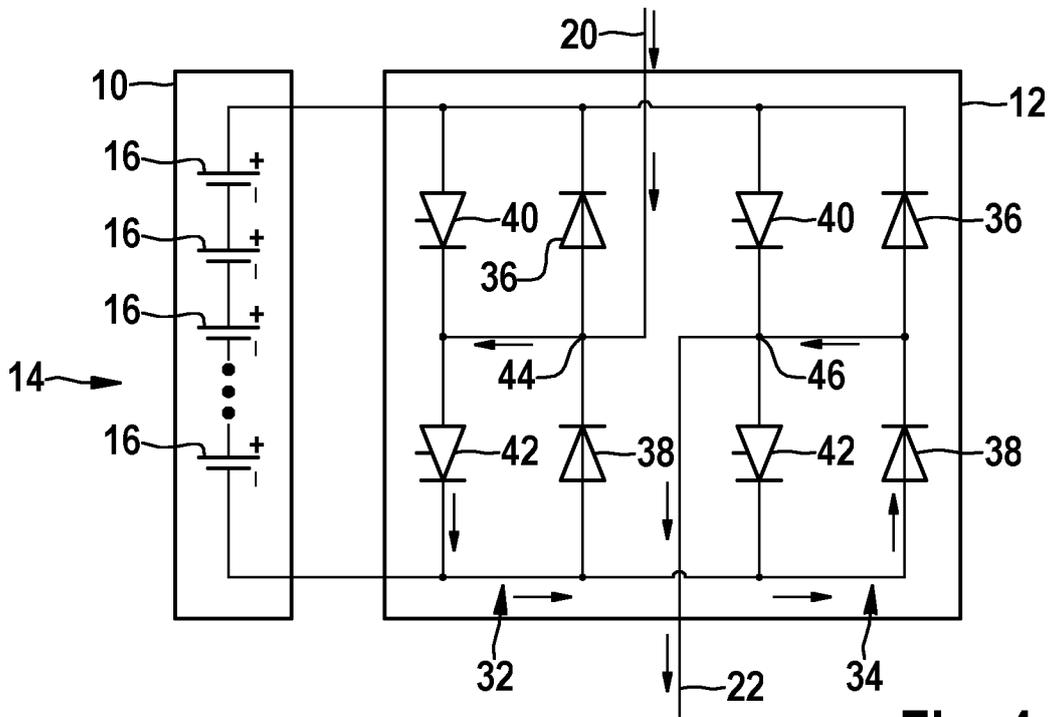


Fig. 4

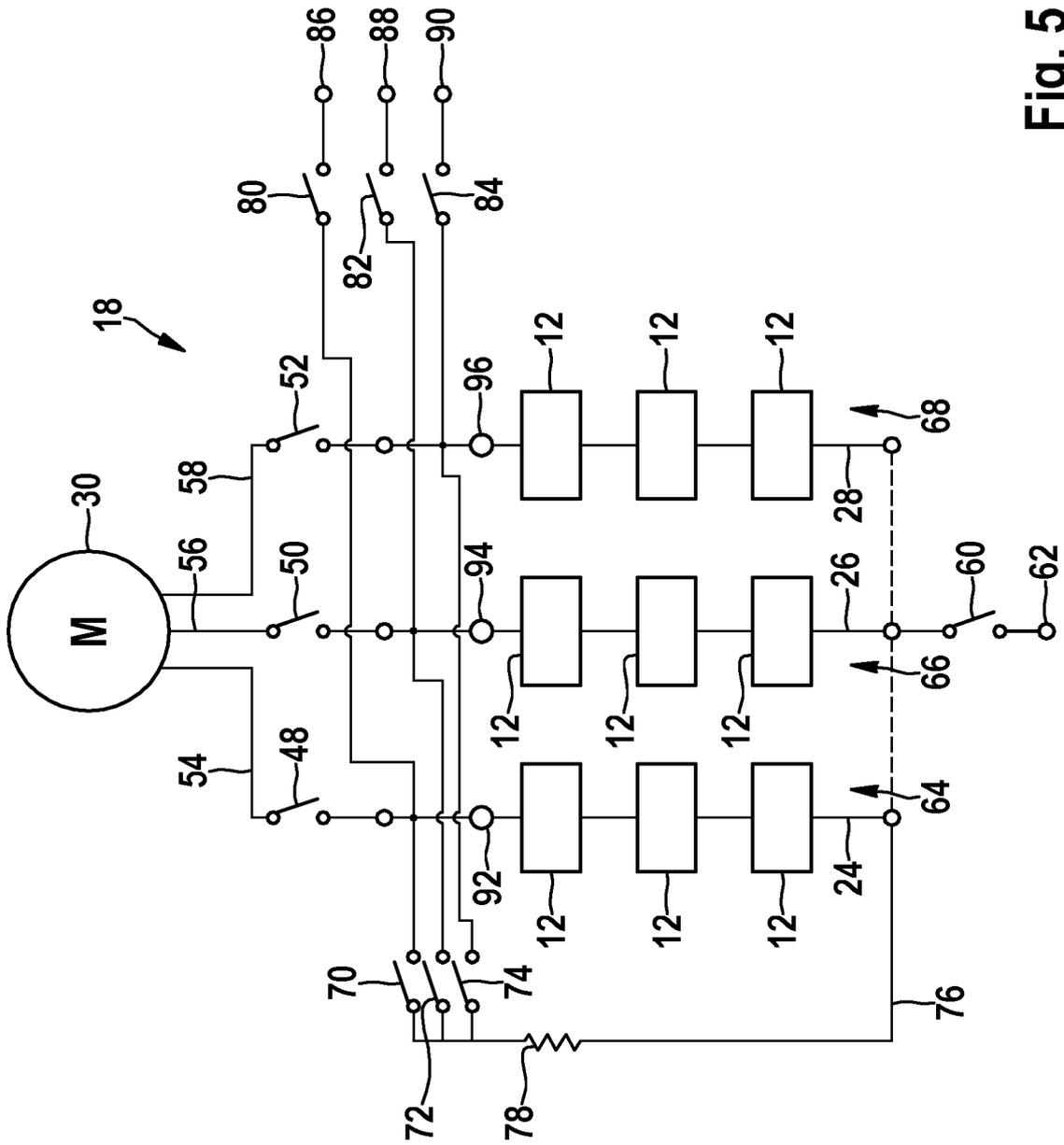


Fig. 5