

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
5. Juli 2012 (05.07.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/089395 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/070015
- (22) Internationales Anmeldedatum:
14. November 2011 (14.11.2011)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2010 064 311.4
29. Dezember 2010 (29.12.2010) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **KESSLER, Martin** [DE/DE]; Lilienweg 7, 73527 Schwaebisch Gmuend (DE). **FEUERSTACK, Peter** [DE/DE]; Reichertshalde 13, 71642 Ludwigsburg (DE). **WEISSENBORN, Erik** [DE/DE]; Morstattweg 1, 70374 Stuttgart (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **ROBERT BOSCH GMBH**; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CONTROLLABLE ENERGY STORE AND METHOD FOR OPERATING A CONTROLLABLE ENERGY STORE

(54) Bezeichnung : STEUERBARER ENERGIESPEICHER UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES STEUERBAREN ENERGIESPEICHERS

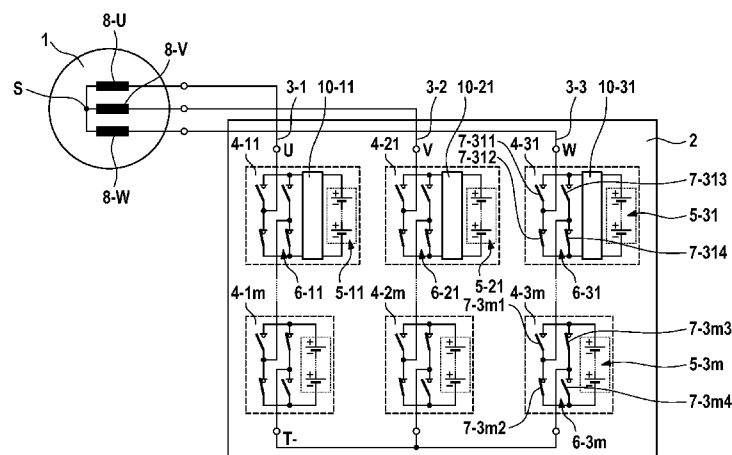


FIG. 1

(57) Abstract: The invention relates to a controllable energy store (2) with n parallel energy supply branches (3-1, 3-2, 3-3), where $n \geq 1$, each of which comprises at least two serially connected energy storage modules (4). Each energy storage module comprises at least one electric energy storage cell (5) having an associated controllable coupling unit (6). The coupling units (6) bridge the associated power storage cells (5) in accordance with control signals or connect the associated energy storage cells to the respective energy storage branch (3-1; 3-2; 3-3). At least one energy storage module (4-11; 4-21; 4-31) is designed such that it has reduced switching losses, reduced in particular by at least 10% compared to the other energy storage modules (4) in the respective power supply branch (3-1; 3-2; 3-3).

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Die Erfindung betrifft einen steuerbaren Energiespeicher (2) mit n parallelen Energieversorgungsäweigen (3-1, 3-2, 3-3), mit $n \geq 1$, welche jeweils mindestens zwei in Reihe geschaltete Energiespeichermodule (4) aufweisen, welche jeweils mindestens eine elektrische Energiespeicherzelle (5) mit einer zugeordneten steuerbaren Koppeleinheit (6) umfassen. In Abhängigkeit von Steuersignalen überbrücken die Koppeleinheiten (6) die jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen (5) oder schalten diese in den jeweiligen Energieversorgungsäweig (3-1; 3-2; 3-3). Zumindest ein Energiespeichermodul (4-11; 4-21; 4-31) ist dabei derart ausgestaltet, dass es im Vergleich zu den sonstigen Energiespeichermodulen (4) in dem jeweiligen Energieversorgungsäweig (3-1; 3-2; 3-3) reduzierte, insbesondere um mindestens 10% reduzierte, Schaltverluste aufweist.

Beschreibung

5 Titel

Steuerbarer Energiespeicher und Verfahren zum Betreiben eines steuerbaren Energiespeichers

10 Die Erfindung betrifft einen steuerbaren Energiespeicher und ein Verfahren zum Betreiben eines steuerbaren Energiespeichers.

Stand der Technik

Es zeichnet sich ab, dass in Zukunft sowohl bei stationären Anwendungen, wie z.B.
15 Windkraftanlagen, wie auch in Fahrzeugen, wie Hybrid- oder Elektrofahrzeugen, vermehrt elektronische Systeme zum Einsatz kommen, die neue Energiespeichertechnologien mit elektrischer Antriebstechnik kombinieren. In herkömmlichen Anwendungen wird eine elektrische Maschine, welche z.B. als Drehfeldmaschine ausgeführt ist, über einen Umrichter in Form eines Wechselrichters gesteuert. Kennzeichnend für derartige Systeme
20 ist ein sogenannter Gleichspannungszwischenkreis, über welchen ein Energiespeicher, in der Regel eine Batterie, an die Gleichspannungsseite des Wechselrichters angeschlossen ist. Um die für eine jeweilige Anwendung gegebenen Anforderungen an Leistung und Energie erfüllen zu können, werden mehrere Batteriezellen in Serie geschaltet. Da der von einem derartigen Energiespeicher bereitgestellte Strom durch alle Batteriezellen
25 fließen muss und eine Batteriezelle nur einen begrenzten Strom leiten kann, werden oft zusätzlich Batteriezellen parallel geschaltet, um den maximalen Strom zu erhöhen.

Die Serienschaltung mehrerer Batteriezellen bringt neben einer hohen Gesamtspannung das Problem mit sich, dass der gesamte Energiespeicher ausfällt, wenn eine einzige
30 Batteriezelle ausfällt, weil dann kein Batteriestrom mehr fließen kann. Ein solcher Ausfall des Energiespeichers kann zu einem Ausfall des Gesamtsystems führen. Bei einem Fahrzeug kann ein Ausfall der Antriebsbatterie zum "Liegenbleiben" des Fahrzeugs führen. Bei anderen Anwendungen, wie z.B. der Rotorblattverstellung von Windkraftanlagen, kann es bei ungünstigen Rahmenbedingungen, wie z.B. starkem Wind,
35 sogar zu sicherheitsgefährdenden Situationen kommen. Daher ist stets eine hohe

Zuverlässigkeit des Energiespeichers anzustreben, wobei mit "Zuverlässigkeit" die Fähigkeit eines Systems bezeichnet wird, für eine vorgegebene Zeit fehlerfrei zu arbeiten.

In den älteren Anmeldungen DE 10 2010 027857 und DE 10 2010 027861 sind Batterien mit mehreren Batteriemodulsträngen beschrieben, welche direkt an eine elektrische Maschine anschließbar sind. Die Batteriemodulstränge weisen dabei eine Mehrzahl von in Serie geschalteten Batteriemodulen auf, wobei jedes Batteriemodul mindestens eine Batteriezelle und eine zugeordnete steuerbare Koppereinheit aufweist, welche es erlaubt in Abhängigkeit von Steuersignalen den jeweiligen Batteriemodulstrang zu unterbrechen oder die jeweils zugeordnete mindestens eine Batteriezelle zu überbrücken oder die jeweils zugeordnete mindestens eine Batteriezelle in den jeweiligen Batteriemodulstrang zu schalten. Durch geeignete Ansteuerung der Koppereinheiten, z.B. mit Hilfe von Pulsweitenmodulation, können auch geeignete Phasensignale zur Steuerung der elektrischen Maschine bereitgestellt werden, so dass auf einen separaten Pulswechselrichter verzichtet werden kann. Der zur Steuerung der elektrischen Maschine erforderliche Pulswechselrichter ist damit sozusagen in die Batterie integriert. Zum Zwecke der Offenbarung werden diese beiden älteren Anmeldungen vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung einbezogen.

Offenbarung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung schafft einen steuerbaren Energiespeicher mit n parallelen Energieversorgungszweigen, mit $n \geq 1$, welche jeweils mindestens zwei in Reihe geschaltete Energiespeichermodule aufweisen, welche jeweils mindestens eine elektrische Energiespeicherzelle mit einer zugeordneten steuerbaren Koppereinheit umfassen. In Abhängigkeit von Steuersignalen überbrücken die Koppereinheiten die jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen oder sie schalten die jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen in den jeweiligen Energieversorgungsweig. Dabei ist zumindest ein Energiespeichermodul derart ausgestaltet, dass es im Vergleich zu den sonstigen Energiespeichermodulen in dem jeweiligen Energieversorgungsweig reduzierte, insbesondere um mindestens 10% reduzierte, Schaltverluste aufweist.

Die Erfindung schafft außerdem ein Verfahren zum Betreiben eines erfindungsgemäßen steuerbaren Energiespeichers, wobei Schaltvorgänge des steuerbaren Energiespeichers, welche durch das mindestens eine Energiespeichermodul mit reduzierten Schaltverlusten oder durch ein sonstiges Energiespeichermodul ausgeführt werden können, vermehrt,

insbesondere immer, durch das mindestens eine Energiespeichermodul mit reduzierten Schaltverlusten ausgeführt werden.

Vorteile der Erfindung

5

Durch die Schaltvorgänge in den Koppereinheiten, welche für das Zu- oder Wegeschalten der Energiespeicherzellen eines Energiespeichermoduls erforderlich sind, entstehen Schaltverluste, welche die Energieeffizienz des steuerbaren Energiespeichers beeinträchtigen. Diese Schaltverluste sind umso größer je größer die parasitären Induktivitäten in den betroffenen Energiespeichermodulen sind. Soll der steuerbare Energiespeicher Leistungen in Größenordnungen zur Verfügung stellen, wie sie zum Beispiel für den Einsatz in Windkraftanlagen oder auch in Fahrzeugen, wie Hybrid- oder Elektrofahrzeugen, erforderlich sind, so erreichen die Energiespeichermodule Ausmaße, welche hohe parasitäre Induktivitäten und damit auch hohe Schaltverluste aufweisen. Die Erfindung basiert auf der Grundidee, einzelne Energiespeichermodule vorzusehen, welche im Vergleich zu den sonstigen Energiespeichermodulen in dem jeweiligen Energieversorgungsweig reduzierte Schaltverluste aufweisen und diese Energiespeichermodule vermehrt für Schaltvorgänge einzusetzen. Um eine merkliche Reduzierung der Schaltverluste des gesamten steuerbaren Energiespeichers zu erreichen, sollten die Schaltverluste der schaltverlustreduzierten Energiespeichermodule zumindest 10% betragen.

Um eine Reduzierung der Schaltverluste in jedem der Energieversorgungsweige zu ermöglichen ist es gemäß einer Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass in jedem Energieversorgungsweig zumindest ein Energiespeichermodul mit reduzierten, insbesondere um mindestens 10% reduzierten, Schaltverlusten angeordnet ist.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, wird die Schaltverlustreduzierung in dem mindestens einen Energiespeichermodul dadurch erreicht, dass das mindestens eine Energiespeichermodul eine Koppereinheit aufweist, welche eine Entlastungsschaltung zur Reduzierung der Schaltverluste in der Koppereinheit umfasst. Eine an die Schaltelemente einer Koppereinheit angeschlossene Entlastungsschaltung ermöglicht die Reduzierung der Schaltverluste und der entstehenden Überspannung dadurch, dass ein auf die Batteriezellen kommutierender Strom zunächst in einem Kondensator zwischengepuffert wird, bevor der Strom von der parasitären Induktivität der Batteriezellen des jeweiligen Energiespeichermoduls übernommen wird. Anschließend entlädt sich der Kondensator

über eine Induktivität der Entlastungsschaltung langsam auf das Spannungsniveau des jeweiligen Energiespeichermoduls. Dabei entstehen in Entlastungsschaltung keinerlei prinzipbedingten Verluste.

- 5 Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist die mindestens eine Energiespeicherzelle des mindestens einen Energiespeichermoduls mit reduzierten Schaltverlusten eine im Vergleich mit den Energiespeicherzellen der sonstigen Energiespeichermodule des jeweiligen Energieversorgungs Zweiges geringere, insbesondere um mindestens 10% geringere, parasitäre Induktivität auf. Die
- 10 Schaltverluste sind umso größer, je größer die parasitäre Induktivität des betroffenen Energiespeichermoduls ist. Durch eine aktive Reduzierung der parasitären Induktivität der Energiespeicherzellen eines Energiespeichermoduls kann demzufolge eine Reduzierung der Schaltverluste erreicht werden.
- 15 Die parasitäre Induktivität von Energiespeicherzellen ist unter anderem auch von der Bauform der Energiespeicherzellen abhängig. Dabei gilt die Grundregel, dass eine größere Bauform auch zu größeren Induktivitäten führen, da insbesondere die zwischen Polanschlüssen der Energiespeicherzellen aufgespannten Flächen mit zunehmender Baugröße größer werden. Daher wird eine reduzierte parasitäre Kapazität gemäß einer
- 20 Ausführungsform der Erfindung dadurch erreicht, dass die mindestens eine Energiespeicherzelle des mindestens einen Energiespeichermoduls mit reduzierten Schaltverlusten eine im Vergleich mit den Energiespeicherzellen der sonstigen Energiespeichermodule des jeweiligen Energieversorgungs Zweiges kleinere Bauform aufweist. Insbesondere kann eine zwischen Polanschlüssen der mindestens einen
- 25 Energiespeicherzelle des mindestens einen Energiespeichermoduls mit reduzierten Schaltverlusten aufgespannte Fläche kleiner, insbesondere um mindestens 10% kleiner, ausgestaltet sein als die zwischen den Polanschlüssen der Energiespeicherzellen der sonstigen Energiespeichermodule des jeweiligen Energieversorgungs Zweiges aufgespannte Fläche.
- 30 Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird für mindestens ein Energiespeichermodul eine reduzierte parasitäre Induktivität der zugehörigen Energiespeicherzellen dadurch erreicht, dass diese als ein oder mehrere Kondensatoren ausgestaltet sind. Die Ausgestaltung als Kondensatoren bietet die zusätzliche Möglichkeit,
- 35 die Modulspannung jeweiligen Energiespeichermoduls während des Betriebs an die

aktuellen Erfordernisse anzupassen und so die Anzahl der erforderlichen Schaltvorgänge zu reduzieren.

Eine reduzierte parasitäre Kapazität kann auch dadurch erreicht werden, dass das
5 mindestens eine Energiespeichermodule mit reduzierten Schaltverlusten eine geringere
Anzahl an Energiespeicherzellen aufweist als die sonstigen Energiespeichermodule des
jeweiligen Energieversorgungszweiges. Dadurch sinkt die parasitäre Gesamtinduktivität
der Energiespeicherzellen des Energiespeichermoduls. Außerdem verringert sich die
Modulspannung und eine mögliche Überspannung ist prozentual erhöht. Alle diese
10 Effekte tragen zu einer Reduzierung der auftretenden Schaltverluste bei.

Die an den Schaltelementen der Koppereinheit auftretenden Schaltverluste sind abhängig
von der Überspannung, die an diesen Schaltern zugelassen werden kann. Je höher diese
Spannung ist, desto schneller kann die in einem Modul vorhandene parasitäre Induktivität
15 den Betriebsstrom übernehmen und desto geringer fallen die Schaltverluste aus. Daher ist
es gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass die
Koppereinheit des mindestens einen Energiespeichermoduls mit reduzierten
Schaltverlusten Schaltelemente mit einer im Vergleich zu den Schaltelementen der
sonstigen Koppereinheiten in dem jeweiligen Energieversorgungszweig erhöhten,
20 insbesondere um mindestens 10% erhöhten, Sperrspannung aufweist.

Um die Energieeffizienz des erfindungsgemäßen steuerbaren Energiespeichers
wirkungsvoll zu steigern, werden Schaltvorgänge des steuerbaren Energiespeichers,
welche durch das mindestens eine Energiespeichermodule mit reduzierten Schaltverlusten
25 oder durch ein sonstiges Energiespeichermodule ausgeführt werden können, vermehrt
durch das mindestens eine Energiespeichermodule mit reduzierten Schaltverlusten
ausgeführt. Unter dem Begriff "vermehrt" sei dabei verstanden, dass in mehr als 50%
derartiger Auswahl-situationen, die Wahl auf das schaltverlustreduzierte
Energiespeichermodule fällt. Die Schaltvorgänge werden damit auf diejenigen
30 Energiespeichermodule konzentriert, welche mit einer die Schaltverluste reduzierenden
Beschaltung ausgeführt sind. Eine besonders deutliche Reduzierung der Gesamt-
Schaltverluste ergibt sich, wenn alle Schaltvorgänge, welche wahlweise durch ein
schaltverlustreduziertes oder ein anderes Energiespeichermodule ausführbar sind, durch
ein Energiespeichermodule mit reduzierten Schaltverlusten ausgeführt werden.

35 Gemäß einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Betriebsverfahrens wird eine

Soll-Ausgangsspannung eines Energieversorgungszweiges dadurch eingestellt, dass eine Kopeleinheit mindestens eines Energiespeichersmoduls mit verringerten Schaltverlusten derart impulsförmig angesteuert wird, dass der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung eines Energieversorgungszweiges der Soll-Ausgangsspannung entspricht.

In der älteren Anmeldung DE 10 2010 041059 ist ein derartiges Verfahren zum Einstellen einer Soll-Ausgangsspannung eines Energieversorgungszweiges eines steuerbaren Energiespeichers detailliert beschrieben. Zum Zwecke der Offenbarung wird diese ältere Anmeldung vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung einbezogen.

Bei den impulsförmig angesteuerten Schaltvorgängen, welche nur deshalb stattfinden, um einen Spannungswert einzustellen, welcher zwischen zwei Modulspannungen liegt, ist es grundsätzlich unerheblich, in welchem Energiespeichersmodul diese ausgeführt werden.

Werden derartige Schaltvorgänge auf die Kopeleinheiten schaltverlustreduzierter Energiespeichersmodule konzentriert, so steigt die Gesamt-Energieeffizienz des Systems. Die übrigen Schaltvorgänge, welche durch das bleibende Zuschalten oder Überbrücken von Energiespeicherzellen entstehen, bleiben dabei unverändert.

Weitere Merkmale und Vorteile von Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen steuerbaren Energiespeichers,

Fig. 2 eine schematische Detaildarstellung eines Energiespeichersmoduls mit einer Entlastungsschaltung,

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen steuerbaren Energiespeichers,

Fig. 4 eine grafische Darstellung der einstellbaren Ausgangsspannungen eines Energieversorgungslandes ohne impulsförmige Ansteuerung und

Fig. 5 eine grafische Darstellung der einstellbaren Ausgangsspannungen eines Energieversorgungslandes mit impulsförmiger Ansteuerung.

Die Figuren 1 und 3 zeigen schematische Darstellungen von Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen steuerbaren Energiespeichers. An eine dreiphasige elektrische Maschine 1 ist ein steuerbarer Energiespeicher 2 angeschlossen. Der steuerbare Energiespeicher 2 umfasst drei Energieversorgungslande 3-1, 3-2 und 3-3, welche einerseits mit einem Bezugspotential T- (Bezugsschiene), welches in den dargestellten Ausführungsformen ein niedriges Potential führt, und andererseits jeweils mit einzelnen Phasen U, V, W der elektrischen Maschine 1 verbunden sind. Jeder der Energieversorgungslande 3-1, 3-2 und 3-3 weist m in Reihe geschaltete Energiespeichermodule 4-11 bis 4-1m bzw. 4-21 bis 4-2m bzw. 4-31 bis 4-3m auf, wobei $m \geq 2$. Die Energiespeichermodule 4 wiederum umfassen jeweils mehrere in Reihe geschaltete elektrische Energiespeicherzellen, welche aus Gründen der Übersichtlichkeit nur teilweise mit Bezugszeichen 5-11, 5-21 und 5-31 bis 5-3m versehen sind. Die Energiespeichermodule 4 umfassen des Weiteren jeweils eine Koppereinheit, welche den Energiespeicherzellen 5 des jeweiligen Energiespeichermoduls 4 zugeordnet ist. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind lediglich einige Koppereinheiten mit Bezugszeichen , 6-11, 6-21 und 6-31 bis 6-3m versehen. In den dargestellten Ausführungsvarianten werden die Koppereinheiten 6 jeweils durch vier steuerbare Schaltelemente 7-311, 7-312, 7-313 und 7-314 bis 7-3m1, 7-3m2, 7-3m3 und 7-3m4 gebildet, welche in Form einer Vollbrücke verschaltet sind. Die Schaltelemente können dabei als Leistungshalbleiterschalter, z.B. in Form von IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors) oder als MOSFETs (Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistors), ausgeführt sein.

Die Koppereinheiten 6 ermöglichen es, den jeweiligen Energieversorgungsland 3, durch Öffnen aller Schaltelemente 7 einer Koppereinheit 6 zu unterbrechen. Alternativ können die Energiespeicherzellen 5 durch Schließen von jeweils zwei der Schaltelemente 7 einer Koppereinheit 6 entweder überbrückt werden, z.B. Schließen der Schalter 7-312 und 7-314 oder in den jeweiligen Energieversorgungsland 3 geschaltet werden, z.B. Schließen der Schalter 7-312 und 7-313.

Die Gesamt-Ausgangsspannungen der Energieversorgungszweige 3-1 bis 3-3 werden bestimmt durch den jeweiligen Schaltzustand der steuerbaren Schaltelemente 7 der Koppereinheiten 6 und können stufig eingestellt werden. Die Stufung ergibt sich dabei in Abhängigkeit von der Spannung der einzelnen Energiespeichermodule 4. Geht man von der bevorzugten Ausführungsform gleichartig ausgestalteter Energiespeichermodule 4 aus, so ergibt sich eine maximal mögliche Gesamt-Ausgangsspannung aus der Spannung eines einzelnen Energiespeichermoduls 4 mal der Anzahl m der pro Energieversorgungszweig 3 in Reihe geschalteten Energiespeichermodule 4.

Die Koppereinheiten 6 erlauben es damit, die Phasen U, V, W der elektrischen Maschine 1 entweder gegen ein hohes Bezugspotential oder ein niedriges Bezugspotential zu schalten und können insofern auch die Funktion eines bekannten Wechselrichters erfüllen. Damit können Leistung und Betriebsart der elektrischen Maschine 1 bei geeigneter Ansteuerung der Koppereinheiten 6 durch den steuerbaren Energiespeicher 2 gesteuert werden. Der steuerbare Energiespeicher 2 erfüllt also insofern eine Doppelfunktion, da er einerseits der elektrischen Energieversorgung andererseits aber auch der Steuerung der elektrischen Maschine 1 dient.

Die elektrische Maschine 1 weist Statorwicklungen 8-U, 8-V und 8-W auf, die in bekannter Weise in Sternschaltung miteinander verschaltet sind.

Die elektrische Maschine 1 ist in den dargestellten Ausführungsbeispielen als dreiphasige Drehstrommaschine ausgeführt, kann aber auch weniger oder mehr als drei Phasen aufweisen. Nach der Phasenanzahl der elektrischen Maschine richtet sich natürlich auch die Anzahl der Energieversorgungszweige 3 in dem steuerbaren Energiespeicher 2.

In den dargestellten Ausführungsbeispielen weist jedes Energiespeichermodule 4 jeweils mehrere in Reihe geschaltete Energiespeicherzellen 5 auf. Die Energiespeichermodule 4 können aber alternativ auch jeweils nur eine einzige Energiespeicherzelle oder auch parallel geschaltete Energiespeicherzellen aufweisen.

In den dargestellten Ausführungsbeispielen werden die Koppereinheiten 6 jeweils durch vier steuerbare Schaltelemente 7 in Form einer Vollbrücke gebildet, was auch

die Möglichkeit einer Spannungsumkehr am Ausgang des Energiespeichermoduls bietet. Die Koppereinheiten 6 können aber auch durch mehr oder weniger steuerbare Schaltelemente realisiert sein, solange die notwendigen Funktionen (Überbrücken der Energieversorgungszellen und Schalten der

5 Energieversorgungszellen in den Energieversorgungszweig) realisierbar sind. Insbesondere können die Koppereinheiten auch in Form von Hallbrücken ausgebildet sein. Derartige Ausführungsformen ergeben sich beispielhaft aus den älteren Anmeldungen DE 10 2010 027857 und DE 10 2010 027861.

10 Durch die Schaltvorgänge in den Koppereinheiten 6, welche für das Zu- oder Wegeschalten der Energiespeicherzellen 5 eines Energiespeichermoduls 4 erforderlich sind, entstehen Schaltverluste, welche die Energieeffizienz des steuerbaren Energiespeichers 2 beeinträchtigen. Diese Schaltverluste sind umso größer je größer die parasitären Induktivitäten in den betroffenen Energiespeichermodulen 4 sind. Soll der

15 steuerbare Energiespeicher 2 Leistungen in Größenordnungen zur Verfügung stellen, wie sie zum Beispiel für den Einsatz in Windkraftanlagen oder auch in Fahrzeugen, wie Hybrid- oder Elektrofahrzeugen, erforderlich sind, so erreichen die Energiespeichermodule 4 Ausmaße, welche hohe parasitäre Induktivitäten und damit auch hohe Schaltverluste aufweisen.

20 Daher ist es erfindungsgemäß vorgesehen, zumindest ein Energiespeichermodul 4, vorzugsweise zumindest ein Energiespeichermodul 4 pro Energieversorgungszweig 3, derart auszugestalten, dass es im Vergleich zu den sonstigen Energiespeichermodulen 4 in dem jeweiligen Energieversorgungszweig 3 reduzierte, insbesondere um mindestens

25 10% reduzierte, Schaltverluste aufweist.

Figur 1 zeigt eine erste Ausführungsform der Erfindung, bei welcher die Reduzierung der Schaltverluste mit Hilfe von Entlastungsschaltungen 10-11, 10-21 und 10-31 erreicht wird. In jedem Energieversorgungszweig 3-1, 3-2 und 3-3 ist jeweils ein Energiespeichermodul,

30 im dargestellten Ausführungsbeispiel die Energiespeichermodule 4-11, 4-21 und 4-31, mit einer Koppereinheit 6-11 bzw. 6-21 bzw. 6-31 versehen, welche jeweils eine der Entlastungsschaltungen 10-11 bzw. 10-21 bzw. 10-31 umfasst. Die Entlastungsschaltungen 10 sind dabei jeweils zwischen die Schaltelemente 7 und die zugeordneten Energiespeicherzellen 5 des jeweiligen Energiespeichermoduls 4

35 geschaltet.

Entlastungsschaltungen für Schaltelemente sind grundsätzlich bekannt. Figur 2 zeigt eine schematische Detaildarstellung eines Energiespeichermoduls 4 mit einer beispielhaften Ausführung einer Entlastungsschaltung 10. Dabei ist, gekennzeichnet durch das Bezugszeichen 11 auch die parasitäre Induktivität des Energiespeichermoduls 4

5 eingezeichnet, welche in Reihe zu den Energiespeicherzellen 5 liegt. Die Entlastungsschaltung 10, welche in parallel zwischen die Energiespeicherzellen 5 und die Schaltelemente 7 der Koppereinheit 6 geschaltet ist, umfasst eine Reihenschaltung aus einer Diode 12 und einem Entlastungs-Kondensator 13. Parallel zu der Diode ist eine Entlastungs-Induktivität 14 geschaltet. Die gezeigte Anordnung ermöglicht die

10 Reduzierung der Schaltverluste und der entstehenden Überspannung dadurch, dass ein auf die Energiespeicherzellen 5 kommutierender Strom zunächst über die Diode 12 von dem Entlastungs-Kondensator 13 zwischengepuffert wird, bevor der Strom von der parasitären Induktivität 11 des Energiespeichermoduls 4 übernommen wird. Anschließend entlädt sich der Entlastungs-Kondensator 13 über die Entlastungs-

15 Induktivität 14 langsam auf das Spannungsniveau des Energiespeichermoduls 4. Dabei entstehen in Entlastungsschaltung 10 keinerlei prinzipbedingten Verluste. Statt der Diode 12 kann auch ein steuerbarer Halbleiterschalter eingesetzt werden.

Neben der dargestellten Ausführungsform der Entlastungsschaltung 10 können auch

20 beliebige andere aus dem Stand der Technik bekannte Entlastungsschaltung eingesetzt werden.

Die Schaltverluste eines Energiespeichermoduls 4 sind umso größer, je größer die parasitäre Induktivität des betroffenen Energiespeichermoduls 4 ist. Durch eine aktive

25 Reduzierung der parasitären Induktivität der Energiespeicherzellen 5 eines Energiespeichermoduls 4, vorzugsweise um mindestens 10%, kann demzufolge eine merkliche Reduzierung der Schaltverluste erreicht werden.

Figur 3 zeigt eine zweite Ausführungsform der Erfindung, bei welcher die Reduzierung der

30 parasitären Induktivität und damit der Schaltverluste dadurch erreicht wird, dass in jedem Energieversorgungsweig 3-1, 3-2 und 3-3 jeweils ein Energiespeichermodul, im dargestellten Ausführungsbeispiel die Energiespeichermodule 4-11, 4-21 und 4-31, Energiespeicherzellen 5-11 bzw. 5-21 bzw. 5-31 aufweisen, welche als Kondensatoren C-11 bzw. C-21 bzw. C-31 ausgestaltet sind. Kondensatoren C weisen unter anderem

35 aufgrund ihrer im Vergleich zu Batteriezellen kleineren Bauformen eine reduzierte parasitäre Induktivität auf.

Alternativ zur Ausgestaltung von Energiespeicherzellen 5 als Kondensatoren C kann eine Reduzierung der parasitären Induktivität eines Energiespeichermoduls 4 auch dadurch erreicht werden, dass Energiespeicherzellen 4 mit einer im Vergleich zu den Energiespeicherzellen 5 der übrigen in dem jeweiligen Energieversorgungsweig 3 angeordneten Energiespeichermodule 4 kleineren Bauform. Dabei können insbesondere Energiespeicherzellen 5 eingesetzt werden, bei welchen eine zwischen den Polanschlüssen der Energiespeicherzellen 5 aufgespannte Fläche, vorzugsweise um mindestens 10%, reduziert ist.

- 10 Eine Reduzierung der parasitären Induktivität eines Energiespeichermoduls 4 kann außerdem auch dadurch erreicht werden, dass das betreffende Energiespeichermodule 4 eine geringere Anzahl an Energiespeicherzellen 5 aufweist als die sonstigen Energiespeichermodule 4 des jeweiligen Energieversorgungsweiges 3. Dadurch wird zusätzlich auch die Modul-Spannung reduziert und eine mögliche Überspannung
- 15 prozentual erhöht, was ebenfalls zur Reduzierung der Schaltverluste beiträgt.

- Die an den Schaltelementen 7 der Koppereinheiten 6 auftretenden Schaltverluste sind auch abhängig von den Überspannungen, die an diesen Schaltelementen 7 zugelassen werden können. Je höher diese Spannungen sind, desto schneller kann die in einem Energiespeichermodule 4 vorhandene parasitäre Induktivität den Betriebsstrom übernehmen und desto geringer fallen die Schaltverluste aus. Demzufolge können die Schaltverluste in einem Energiespeichermodule 4 und damit in dem steuerbaren Energiespeicher 2 auch dadurch reduziert werden, dass die Koppereinheit des betreffenden Energiespeichermoduls 4 Schaltelemente 7 aufweist, welche im Vergleich zu
- 20 den Schaltelementen 7 der sonstigen Koppereinheiten 6 in dem jeweiligen Energieversorgungsweig 3 eine erhöhte Sperrspannung aufweisen. Die Erhöhung beträgt dabei vorteilhaft mindestens 10%.

- In den dargestellten Ausführungsbeispielen ist in jedem der Energieversorgungsweige 3 jeweils ein Energiespeichermodule 4 mit reduzierten Schaltverlusten vorgesehen. Es sei aber darauf hingewiesen, dass einerseits in einem Energieversorgungsweig auch mehrere schaltverlustreduzierte Energiespeichermodule 4 angeordnet sein können. Andererseits müssen nicht zwangsläufig in jedem Energieversorgungsweig 3 schaltverlustreduzierte Energiespeichermodule vorgesehen sein.

Zur Steigerung der Energieeffizienz des steuerbaren Energiespeichers 2 werden Schaltvorgänge des steuerbaren Energiespeichers 2, welche durch ein schaltverlustreduziertes Energiespeichermodule 4-11, 4-21 oder 4-31 oder durch ein sonstiges Energiespeichermodule 4 ausgeführt werden können, vermehrt, insbesondere immer durch ein verlustreduziertes Energiespeichermodule 4-11, 4-21 oder 4-31 ausgeführt.

Die Gesamt-Ausgangsspannungen der Energieversorgungs- und Energieerzeugungszweige 3-1 bis 3-3 werden bestimmt durch den jeweiligen Schaltzustand der steuerbaren Schaltelemente 7 der Koppeleinheiten 6 und kann stufig eingestellt werden. Die Stufung ergibt sich dabei in Abhängigkeit von der Spannung der einzelnen Energiespeichermodule 4. Geht man von der bevorzugten Ausführungsform gleichartig ausgestalteter Energiespeichermodule 4 aus, so ergibt sich eine maximal mögliche Gesamt-Ausgangsspannung U_{aus} aus der Spannung eines einzelnen Energiespeichermoduls 4 mal der Anzahl m der pro Energieversorgungs- und Energieerzeugungszweig in Reihe geschalteten Energiespeichermodule 4. Eine derartige stufig-einstellbare Ausgangsspannung eines Energieversorgungs- und Energieerzeugungszweiges 3 ist in Figur 4 schematisch dargestellt.

Aus der älteren Anmeldung DE 10 2010 041059 ist nun ein Verfahren bekannt, durch welches auch eine Soll-Ausgangsspannung U_{Soll} eingestellt werden kann, welche zwischen zwei Spannungsstufen liegt. Dazu wird eine der Koppeleinheiten 6 des betroffenen Energieversorgungs- und Energieerzeugungszweiges 3 derart impulsförmig mit einem vorgebbaren Tastverhältnis angesteuert, dass der arithmetische Mittelwert der Gesamt-Ausgangsspannung U_{aus} eines Energieversorgungs- und Energieerzeugungszweiges 3 der Soll-Ausgangsspannung U_{Soll} entspricht. Dabei werden die dieser Koppeleinheit 6 jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen 5 während einer Impulsdauer in den jeweiligen Energieversorgungs- und Energieerzeugungszweig 3 geschaltet werden und während einer Pausendauer überbrückt. Figur 5 zeigt schematisch die mit Hilfe dieses Verfahrens einstellbaren Ausgangsspannungen an einem Energieversorgungs- und Energieerzeugungszweig 3. Die stufenlos einstellbare Ausgangsspannung ist dabei mit dem Bezugszeichen 50 gekennzeichnet. Eine prinzipielle Darstellung der impulsförmigen Ansteuersignale ist durch das Bezugszeichen 51 gekennzeichnet. Analog zu der Darstellung in Figur 4 wird auch bei der Darstellung in Figur 5 von der bevorzugten Ausführungsform gleichartig ausgestalteter Energiespeichermodule 4 aus.

Für die Anwendbarkeit dieses Verfahrens spielt es grundsätzlich keine Rolle, welche Koppeleinheit 6 impulsförmig angesteuert wird. Die Energieeffizienz des steuerbaren Energiespeichers 1 kann folglich dadurch gesteigert werden, dass dazu eine Koppeleinheit 6 eines schaltverlustreduzierten Energiespeichermoduls 4 genutzt wird.

Ansprüche

- 5 1. Steuerbarer Energiespeicher (2) mit n parallelen Energieversorgungszweigen (3-1, 3-2, 3-3) , mit $n \geq 1$, welche jeweils mindestens zwei in Reihe geschaltete Energiespeichermodule (4) aufweisen, welche jeweils mindestens eine elektrische Energiespeicherzelle (5) mit einer zugeordneten steuerbaren Koppereinheit (6) umfassen, wobei die Koppereinheiten (6) in Abhängigkeit von Steuersignalen die jeweils
- 10 zugeordneten Energiespeicherzellen (5) überbrücken oder die jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen (5) in den jeweiligen Energieversorgungsweig (3-1; 3-2; 3-3) schalten und wobei zumindest ein Energiespeichermodul (4-11; 4-21; 4-31) derart ausgestaltet ist, dass es im Vergleich zu den sonstigen Energiespeichermodulen (4) in dem jeweiligen Energieversorgungsweig (3-1; 3-2; 3-3) reduzierte, insbesondere um
- 15 mindestens 10% reduzierte, Schaltverluste aufweist.
2. Steuerbarer Energiespeicher nach Anspruch 1, wobei in jedem Energieversorgungsweig (3-1, 3-2, 3-3) zumindest ein Energiespeichermodul (4-11; 4-21; 4-31) mit reduzierten, insbesondere um mindestens 10% reduzierten, Schaltverlusten
- 20 angeordnet ist.
3. Steuerbarer Energiespeicher nach Anspruch 1 oder 2, wobei das mindestens eine Energiespeichermodul (4-11; 4-21; 4-31) mit reduzierten Schaltverlusten eine Koppereinheit (6-11; 6-21; 6-31) aufweist, welche eine Entlastungsschaltung (10-11; 10-
- 25 21; 10-31) zur Reduzierung der Schaltverluste in der Koppereinheit (6-11; 6-21; 6-31) umfasst.
4. Steuerbarer Energiespeicher nach Anspruch 1 oder 2, wobei die mindestens eine Energiespeicherzelle (5-11; 5-21; 5-31) des mindestens einen Energiespeichermoduls (4-
- 30 11; 4-21; 4-31) mit reduzierten Schaltverlusten eine im Vergleich mit den Energiespeicherzellen (5) der sonstigen Energiespeichermodule (4) des jeweiligen Energieversorgungsweiges (3-1; 3-2; 3-3) geringere, insbesondere um mindestens 10% geringere, parasitäre Induktivität aufweist.
- 35 5. Steuerbarer Energiespeicher nach Anspruch 4, wobei die mindestens eine Energiespeicherzelle (5-11; 5-21; 5-31) des mindestens einen Energiespeichermoduls (4-

11; 4-21; 4-31) mit reduzierten Schaltverlusten eine im Vergleich mit den Energiespeicherzellen (5) der sonstigen Energiespeichermodule (4) des jeweiligen Energieversorgungs Zweiges (3-1; 3-2; 3-3) kleinere Bauform aufweist.

- 5 6. Steuerbarer Energiespeicher nach Anspruch 5, wobei eine zwischen Polanschlüssen der mindestens einen Energiespeicherzelle (5-11; 5-21; 5-31) des mindestens einen Energiespeichermoduls (4-11; 4-21; 4-31) mit reduzierten Schaltverlusten aufgespannte Fläche kleiner, insbesondere um mindestens 10% kleiner ist, als die zwischen den Polanschlüssen der Energiespeicherzellen (5) der sonstigen Energiespeichermodule (4)
10 des jeweiligen Energieversorgungs Zweiges (3-1; 3-2; 3-3) aufgespannte Fläche.

7. Steuerbarer Energiespeicher nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine Energiespeicherzelle (5-11; 5-21; 5-31) des mindestens einen Energiespeichermoduls (4-11; 4-21; 4-31) mit reduzierten Schaltverlusten als
15 Kondensator (C-11; C-21; C-31) ausgestaltet ist.

8. Steuerbarer Energiespeicher nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das mindestens eine Energiespeichermodule (4-11; 4-21; 4-31) mit reduzierten Schaltverlusten eine geringere Anzahl an Energiespeicherzellen (5-11; 5-21; 5-31) aufweist als die sonstigen
20 Energiespeichermodule (4) des jeweiligen Energieversorgungs Zweiges (3-1; 3-2; 3-3).

9. Steuerbarer Energiespeicher nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Koppereinheit (6-11; 6-21; 6-31) des mindestens einen Energiespeichermoduls (4-11; 4-21; 4-31) mit reduzierten Schaltverlusten Schaltelemente (7) mit einer im Vergleich zu den
25 Schaltelementen (7) der sonstigen Koppereinheiten (6) in dem jeweiligen Energieversorgungs Zweig erhöhten, insbesondere um mindestens 10% erhöhten, Sperrspannung aufweist.

10. Verfahren zum Betreiben eines steuerbaren Energiespeichers (2) gemäß einem der
30 Ansprüche 1 bis 9, wobei Schaltvorgänge des steuerbaren Energiespeichers (2), welche durch das mindestens eine Energiespeichermodule (4-11; 4-21; 4-31) mit reduzierten Schaltverlusten oder durch ein sonstiges Energiespeichermodule (4) ausgeführt werden können, vermehrt, insbesondere immer, durch das mindestens eine Energiespeichermodule mit reduzierten Schaltverlusten ausgeführt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei eine Soll-Ausgangsspannung (U_{soll}) eines Energieversorgungszweiges (3-1; 3-2; 3-3) dadurch eingestellt wird, dass eine Koppereinheit (6-11; 6-21; 6-31) mindestens eines Energiespeichermoduls (4-11; 4-21; 4-31) mit verringerten Schaltverlusten derart impulsförmig angesteuert wird, dass der
- 5 arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung (U_{aus}) eines Energieversorgungszweiges (3-1; 3-2; 3-3) der Soll-Ausgangsspannung (U_{soll}) entspricht.

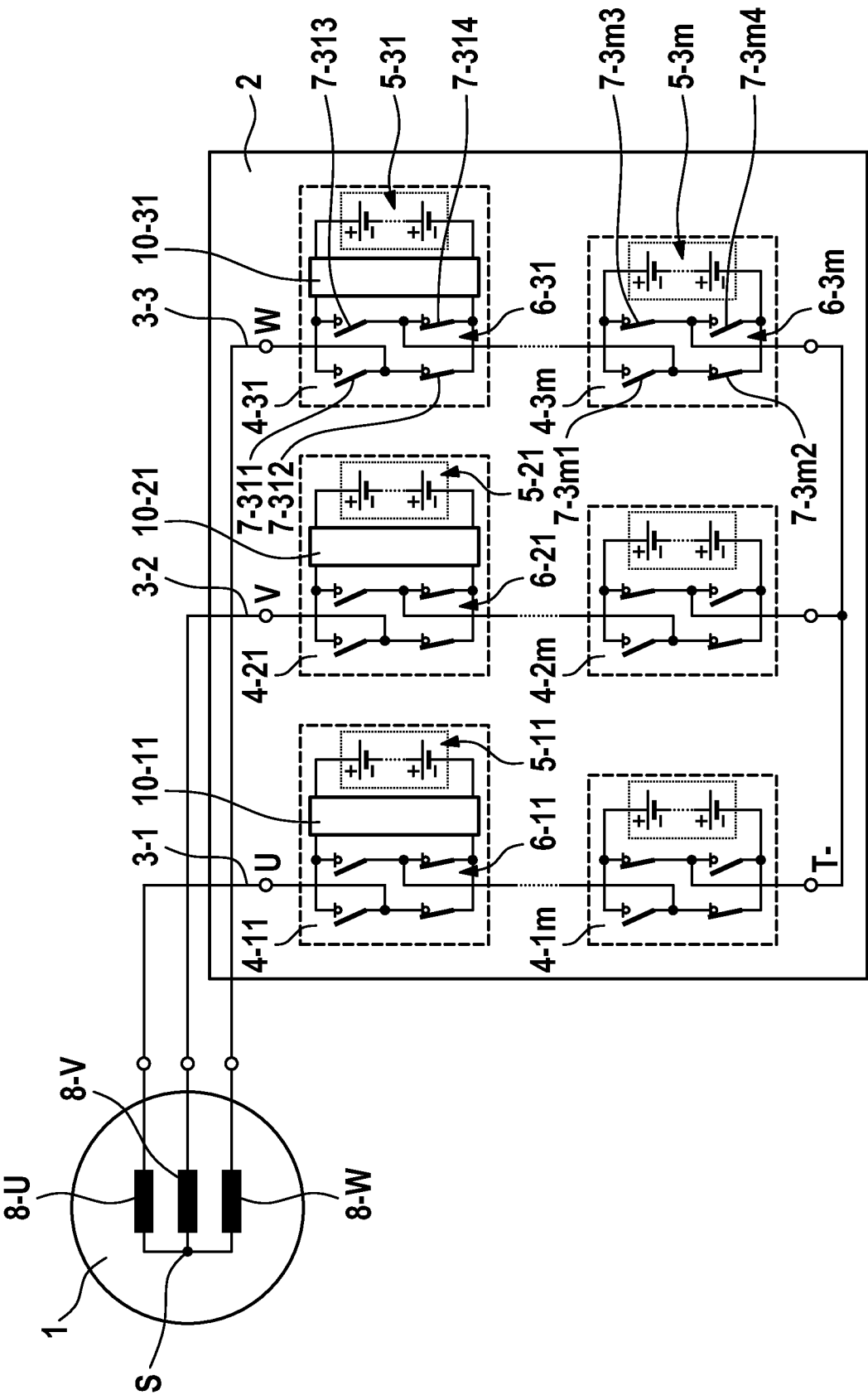


FIG. 1

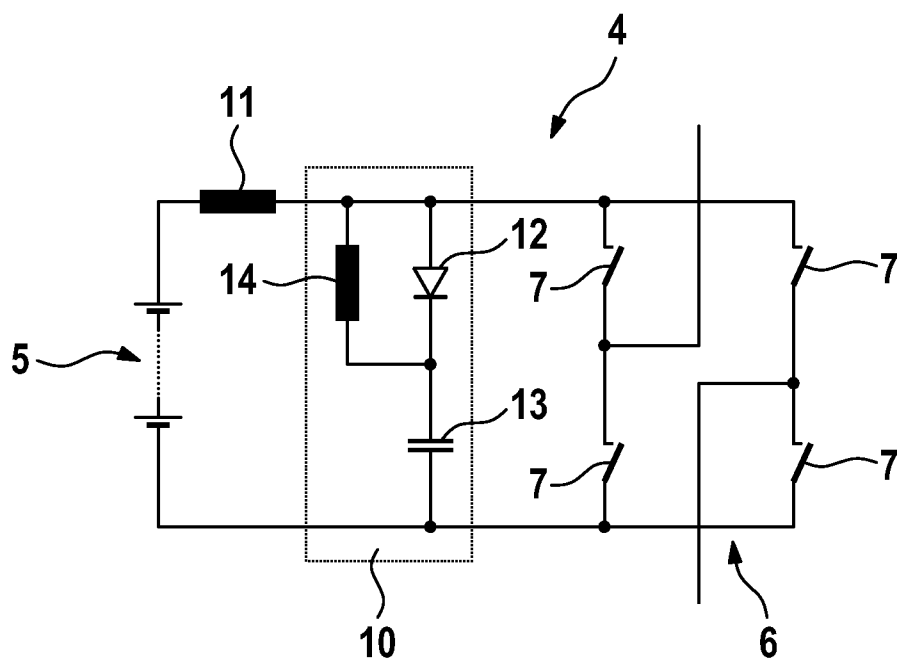


FIG. 2

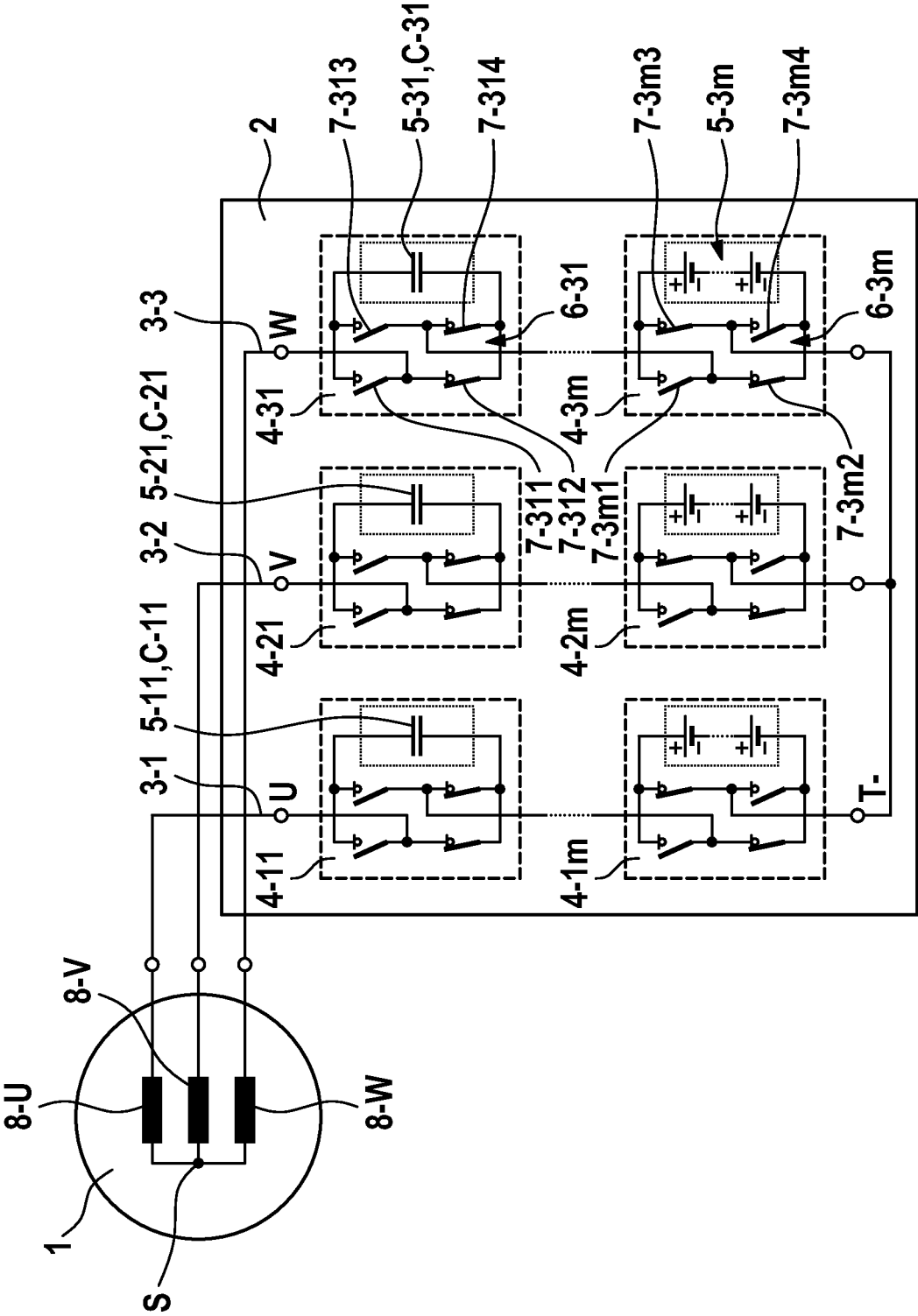


FIG. 3

4 / 4

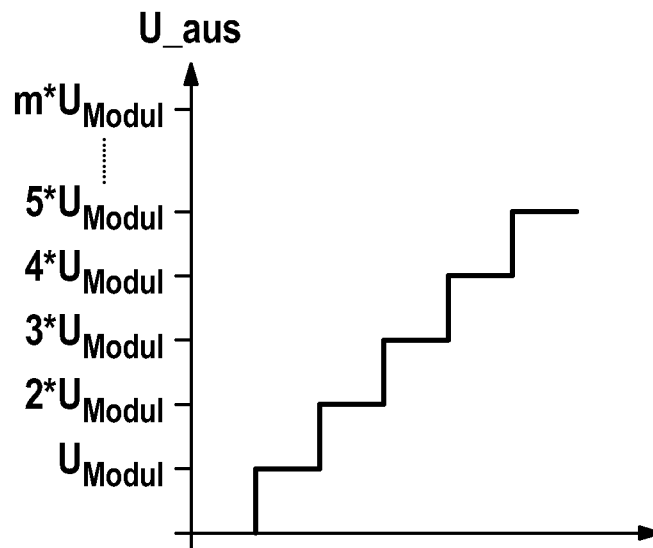


FIG. 4

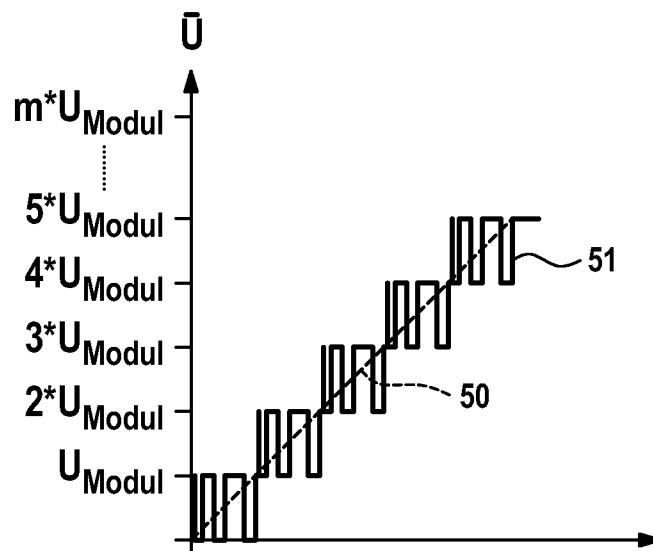


FIG. 5