

(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
16. August 2012 (16.08.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/107128 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:** Nicht klassifiziert
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2011/072090
- (22) **Internationales Anmeldedatum:** 7. Dezember 2011 (07.12.2011)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:** 10 2011 003 778.0
8. Februar 2011 (08.02.2011) 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). WEISENBORN, 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,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD FOR OPERATING A CONTROL SYSTEM OF AN ELECTRIC MACHINE AND SYSTEM FOR CONTROLLING AN ELECTRIC MACHINE

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN ZUM BETRIEB EINES STEUERSYSTEMS FÜR EINE ELEKTRISCHE MASCHINE UND SYSTEM ZUM STEUERN EINER ELEKTRISCHEN MASCHINE

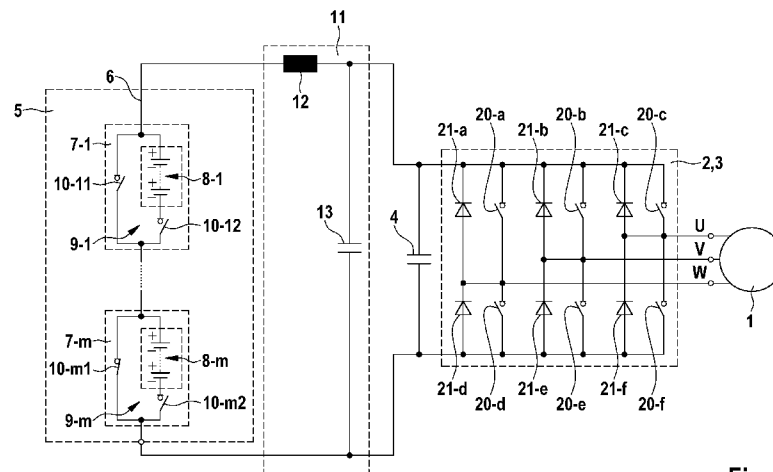


Fig. 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for operating a control system for an electric machine (1), the control system comprising a controllable energy store (5), an intermediate circuit capacitor (4) located downstream of the controllable energy store (5), and an inverter (2) located downstream of the intermediate circuit capacitor (4), wherein said inverter can be connected to the electric machine (1). The controllable energy store (5) is thereby provided with a power supply branch (6) having at least two series-connected energy storage modules (7), each comprising at least one electrical energy storage cell (8) having an associated controllable coupling unit (9). In dependence on control signals, the coupling units (9) by-pass the respective associated energy storage cells (8), or said coupling units switch the respective associated energy storage cells (8) into the power supply branch (6). At least one coupling unit (9) of the controllable energy store (5) is actuated in a pulsed manner such that the arithmetic average of the output voltage of the controllable energy store (5) corresponds to a nominal output voltage, wherein the energy storage cells (8) respectively associated with the at least one coupling unit (9) are switched into the power supply branch (6) during a pulse duration, and are by-passed during idle time.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2012/107128 A2



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).

Veröffentlicht:

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

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Steuersystems für eine elektrische Maschine (1), wobei das Steuersystem einen steuerbaren Energiespeicher (5), einen dem steuerbaren Energiespeicher (5) nachgeschalteten Zwischenkreiskondensator (4) und einen dem Zwischenkreiskondensator (4) nachgeschalteten Inverter (2), welcher mit der elektrischen Maschine (1) verbindbar ist, umfasst. Der steuerbare Energiespeicher (5) weist dabei einen Energieversorgungsweig (6) mit mindestens zwei in Reihe geschalteten Energiespeichermodulen (7) auf, welche jeweils mindestens eine elektrische Energiespeicherzelle (8) mit einer zugeordneten steuerbaren Koppereinheit (9) umfassen. In Abhängigkeit von Steuersignalen überbrücken die Koppereinheiten (9) die jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen (8) oder schalten die jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen (8) in den Energieversorgungsweig (6). Mindestens eine Koppereinheit (9) des steuerbaren Energiespeichers (5) wird dabei derart impulsförmig angesteuert, dass der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung des steuerbaren Energiespeichers (5) einer Soll-Ausgangsspannung entspricht, wobei die der mindestens einen Koppereinheit (9) jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen (8) während einer Impulsdauer in den Energieversorgungsweig (6) geschaltet werden und während einer Pausendauer überbrückt werden.

Beschreibung

5 Titel

Verfahren zum Betrieb eines Steuersystems für eine elektrische Maschine und System zum Steuern einer elektrischen Maschine

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Steuersystems für eine elektrische Maschine und ein System zum Steuern einer elektrischen Maschine.

Stand der Technik

15 Es zeichnet sich ab, dass in Zukunft sowohl bei stationären Anwendungen, wie z.B. 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.

Bei der einfachen Serienschaltung mehrerer Batteriezellen führt die große Spreizung des Spannungsbereichs über die unterschiedlichen Ladezustände der Batteriezellen außerdem zu Einschränkungen bei der Auslegung der übrigen Systemkomponenten hinsichtlich Wirkungsgrad, Bauraum und Kosten. So muss z.B. die elektrische Maschine derart ausgelegt werden, dass eine geforderte Leistung auch an der unteren Spannungsgrenze, also bei entladener Batterie zur Verfügung gestellt werden kann. Andererseits muss sie dem Betrieb an der oberen Spannungsgrenze, also bei voller Batterie standhalten.

Aus der US 2002/0175644 A1 ist ein System zum Steuern einer dreiphasigen elektrischen Maschine bekannt, welches einen steuerbaren Energiespeicher mit zu- und wegschaltbaren Gleichspannungsquellen sowie einen nachgeschalteten Wechselrichter aufweist.

Offenbarung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zum Betrieb eines Steuersystems für eine elektrische Maschine, wobei das Steuersystem einen steuerbaren Energiespeicher, einen dem steuerbaren Energiespeicher nachgeschalteten Zwischenkreiskondensator und einen dem Zwischenkreiskondensator nachgeschalteten Inverter, welcher mit der elektrischen Maschine verbindbar ist, umfasst. Dabei weist der steuerbare Energiespeicher einen Energieversorgungsweig mit mindestens zwei in Reihe geschalteten Energiespeichermodulen auf, 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 Energieversorgungsweig. Erfindungsgemäß wird mindestens eine Koppereinheit des steuerbaren Energiespeichers derart impulsförmig angesteuert, dass der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung des steuerbaren Energiespeichers einer Soll-Ausgangsspannung entspricht, wobei die der mindestens einen Koppereinheit jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen während einer Impulsdauer in den Energieversorgungsweig geschaltet werden und während einer Pausendauer überbrückt werden.

Die Erfindung schafft außerdem ein System zum Steuern einer elektrischen Maschine mit einem steuerbaren Energiespeicher, einem dem steuerbaren Energiespeicher nachgeschalteten Glättungsglied zum Glätten der Ausgangsspannung des steuerbaren Energiespeichers, einem mit dem Glättungsglied verbundenen Zwischenkreiskondensator und einem dem Zwischenkreiskondensator nachgeschalteten Inverter, welcher mit der elektrischen Maschine verbindbar ist. Dabei weist der steuerbare Energiespeicher einen Energieversorgungsweig mit mindestens zwei in Reihe geschalteten Energiespeichermodulen auf, 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 Energieversorgungsweig.

15 Vorteile der Erfindung

Beim Einsatz einer einfachen Serienschaltung mehrerer Batteriezellen muss die elektrische Maschine derart ausgelegt werden, dass die geforderte Leistung einerseits an der unteren Spannungsgrenze zur Verfügung gestellt werden kann und andererseits dem Betrieb an der oberen Spannungsgrenze standhält. Die geregelte Ausgangsspannung des steuerbaren Energiespeichers ermöglicht eine Auslegung der Maschine für die untere Spannungsgrenze. Dies ist jedoch nicht zwangsläufig damit verbunden, dass diese untere Grenze dem Niveau der unteren Grenze einer herkömmlichen Serienschaltung von Batteriezellen entspricht. So ist es mit dem erfindungsgemäßen steuerbaren Energiespeicher möglich, mehrere Energiespeicherzellen, eventuell auch mit geringerer Kapazität für vergleichbare Gesamtkosten/-energie, in Reihe zu schalten und damit sowohl die untere als auch die obere Grenze der Gesamt-Ausgangsspannung zu höheren Werten zu verschieben. Der steuerbare Energiespeicher kann somit beispielsweise eine Spannung regeln, welche der oberen Grenze einer herkömmlichen Serienschaltung von Batteriezellen entspricht. Die Bauelemente des steuerbaren Energiespeichers werden dabei weiterhin nur mit der Spannung der einzelnen Energiespeichermodule belastet. Damit können Inverter und elektrische Maschine für eine konstante hohe Spannung ausgelegt werden, was über reduzierte Ströme und damit verbundene reduzierte Verluste zu höherem Wirkungsgrad und geringerem Bauraum führt.

Die Gesamt-Ausgangsspannung des Energieversorgungszweiges eines derartigen steuerbaren Energiespeichers wird bestimmt durch den jeweiligen Schaltzustand der steuerbaren Schaltelemente der Koppereinheiten und können damit unabhängig vom Ladezustand und der Belastung der Batteriezellen stufig eingestellt werden. Die Stufung ergibt sich dabei in Abhängigkeit von der Spannung der einzelnen Energiespeichermodule. Geht man von einer bevorzugten Ausführungsform gleichartig ausgestalteter Energiespeichermodule aus, so ergibt sich eine maximal mögliche Gesamt-Ausgangsspannung aus der Spannung eines einzelnen Energiespeichermoduls mal der Anzahl m der in Reihe geschalteten Energiespeichermodule. Werden elektrische Maschinen mit einem derartigen steuerbaren Energiespeicher betrieben, so kann es insbesondere bei kleinen Ausgangsspannungen aufgrund der Stufigkeit der Ausgangsspannung zu Drehmomentschwankungen der elektrischen Maschine kommen.

Die Erfindung basiert auf der Grundidee, mindestens eine Koppereinheit impulsförmig anzusteuern, wobei die der mindestens einen Koppereinheit jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen während einer Impulsdauer in den jeweiligen Energieversorgungszweig geschaltet werden und während einer Pausendauer überbrückt werden. Durch geeignete Wahl des Tastgrades kann auf diese Weise der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung des Energieversorgungszweiges derart eingestellt werden, dass er einer Soll-Ausgangsspannung entspricht. Die Ausgangsspannung des Energieversorgungszweiges lässt sich damit stufenlos einstellen, so dass unerwünschte Drehmomentabweichungen sicher vermieden werden können.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Soll-Ausgangsspannung U_{Soll} eines Energieversorgungszweiges, welche zwischen zwei durch dauerhaftes Schalten von Energiespeicherzellen in den Energieversorgungszweig oder Überbrücken von Energiespeicherzellen erreichbaren Ausgangs-Spannungswerten U_1 und U_2 liegt, dadurch eingestellt, dass Koppereinheiten von Energiespeichermodulen, welche zu dem Ausgangsspannungswert U_1 führen, derart gesteuert werden, dass die jeweiligen Energiespeicherzellen dauerhaft in den Energieversorgungszweig geschaltet werden und eine Koppereinheit, welche Energiespeicherzellen zugeordnet ist, die bei dauerhaftem Zuschalten in den

Energieversorgungszweig den Ausgangs-Spannungswert von U1 auf U2 erhöhen würden, impulsförmig mit einem Tastgrad T von

$$T = \frac{U_{\text{Soll}} - U1}{U2 - U1}$$

5

angesteuert wird. Der Tastgrad gibt dabei das Verhältnis von Impulsdauer (Einschaltzeit) zu Impulsperiodendauer an, wobei die Periodendauer sich als Summe der Impulsdauer und der Pausendauer (Ausschaltzeit) ergibt.

10 Diese Art der Steuerung hat den Vorteil, dass Zwischenwerte der an sich nur stufig einstellbaren Soll-Ausgangsspannung eines Energieversorgungszweiges durch impulsförmige Ansteuerung einer einzigen Koppereinheit einstellbar sind. Es sei aber darauf hingewiesen, dass die Soll-Ausgangsspannung auch durch impulsförmige Ansteuerung mehrerer Koppereinheiten eingestellt werden kann. Entscheidend ist
15 lediglich, dass der arithmetische Spannungs-Mittelwert aller dauerhaft oder zeitweise in den jeweiligen Energieversorgungszweig geschalteten Energiespeicherzellen der gewünschten Soll-Ausgangsspannung entspricht.

Die impulsförmige oder getaktete Ansteuerung einer Koppereinheit hat aber zur Folge,
20 dass das Ausgangssignal des steuerbaren Energiespeichers geglättet werden muss, bevor es dem Inverter zugeführt wird. Diese Glättung kann im einfachsten Fall durch den Zwischenkreiskondensator in Verbindung mit einer ohnehin vorhandenen Leitungsinduktivität in der Verbindungsleitung zwischen dem steuerbaren Energiespeicher und dem Zwischenkreiskondensator gebildet werden. Dabei dienen der Kondensator im
25 Wesentlichen der Pufferung oder Stabilisierung der Ausgangsspannung des steuerbaren Energiespeichers und die Induktivität im Wesentlichen der Strombegrenzung. Reicht die auf diese Weise erreichte Glättung nicht aus, kann zwischen den steuerbaren Energiespeicher und den Zwischenkreiskondensator ein zusätzliches Glättungsglied geschaltet werden, wie es bei dem erfindungsgemäßen Steuersystem vorgesehen ist.

30

Bei einem herkömmlichen System mit einer einfachen Serienschaltung mehrerer Batteriezellen wird bei schlechtem Ladezustand der Batteriezellen für die Abgabe einer vorgegebenen Leistung ein höherer Strom aus den Batteriezellen benötigt. Dieser höhere Strom schlägt sich auch in Form eines höheren Ripplestroms im Kondensator nieder, was
35 zu einem Design Trade-off zwischen Spannungsfestigkeit und Ripplestrom-Belastung

führt. Die Regelung der Spannung durch den steuerbaren Energiespeicher verhindert den Anstieg der Ripplestrombelastung bei schlechtem Ladezustand der Zellen.

Das erfindungsgemäße Glättungsglied kann einen zusätzlichen Kondensator umfassen, 5 welcher parallel zu dem Zwischenkreiskondensator geschaltet ist und die Puffer- oder Stabilisierungswirkung des Zwischenkreiskondensators erhöht.

Sollte die Strombegrenzung durch die Leitungsinduktivität in der Verbindungsleitung 10 zwischen dem steuerbaren Energiespeicher und dem Zwischenkreiskondensator oder dem zusätzlichen Kondensator nicht ausreichen, kann das Glättungsglied auch eine Induktivität umfassen, welche in die Verbindungsleitung geschaltet ist.

Gemäß einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Systems sind die elektrische 15 Maschine als elektrische Wechselstrommaschine, wie z.B. Synchron-, Asynchron- oder Reluktanz-Maschine, und der Inverter als Pulswechselrichter ausgeführt. Der Pulswechselrichter kann dabei in der Art angesteuert und betrieben werden, wie es aus dem Stand der Technik für herkömmliche pulswechselrichtergesteuerte Wechselstrommaschinen bekannt ist. Im Fall von Synchron- oder Asynchronmaschinen 20 erzeugt der Inverter aus der Ausgangsspannung des steuerbaren Energiespeichers die sinusförmigen Spannungsverläufe an den Phasen der elektrischen Maschine, beispielsweise durch SVPWM (Space Vector Puls Width Modulation). Ebenso sind Inverter für andere Maschinentypen wie Reluktanzmaschinen betreibbar.

Zur Minimierung von Verlusten an den Schaltelementen der Koppereinheiten, können die 25 Koppereinheiten beispielsweise als Halbbrücken ausgeführt sein. Eine Laufrichtungsumkehr der Wechselstrommaschine kann in diesem Fall durch den Pulswechselrichter realisiert werden. Beim Einsatz anderer Inverter oder auch aus Gründen der Sicherheit können die Koppereinheiten aber auch als Vollbrücken ausgestaltete sein, so dass eine Laufrichtungsumkehr auch durch den steuerbaren 30 Energiespeicher bewirkt werden kann.

Alternativ zu einer Wechselstrommaschine kann die elektrische Maschine auch als 35 Gleichstrommaschine ausgeführt sein. In diesem Fall kann der Inverter als umpolbarer Gleichspannungswandler ausgeführt sein, so dass auf diese Weise wieder eine Laufrichtungsumkehr erfolgen kann.

Die maximal speicherbare Energie kann mit Hilfe des erfindungsgemäßen steuerbaren Energiespeichers durch die Serienschaltung weiterer Energiespeichermodule erreicht werden, ohne dass daraus resultierend die Ausgangsspannung des Energiespeichers mit entsprechenden Konsequenzen für die angeschlossenen Komponenten ansteigt.

5

Auch weitere optionale Komponenten profitieren von der geregelten Ausgangsspannung des steuerbaren Energiespeichers. So kann beispielsweise in einem Gleichspannungswandler zur Versorgung eines Niedervolt-Netzes, wie z.B. 1 eines 14V-Bordnetzes in einem Kraftfahrzeug, jeglicher Zusatzaufwand, wie Mehrstufen-Topologie oder Parallelisieren von Leistungsbauerelementen, zur Kompensierung der großen Spannungsspreizung entfallen.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist die Möglichkeit der Anpassung der Ausgangsspannung des steuerbaren Energiespeichers an die Drehzahl der elektrischen Maschine. Bei permanenterregten Maschinen ist die Polradspannung der Maschine proportional zur Drehzahl. Dadurch wird bei geringen Drehzahlen nur eine geringe Phasenspannung benötigt. Der Phasenstrom wird maßgeblich durch das zu erbringende Moment bestimmt. Bei einem herkömmlichen System wird beim Takten bzw. Kommutieren durch die Schaltelemente des Inverters die hohe Spannung des Energiespeichers geschaltet. Kombiniert mit hohen Phasenströmen der elektrischen Maschine, wie sie in einem Kraftfahrzeug z.B. beim Anfahren oder Beschleunigen am Berg auftreten, ergeben sich daraus hohe Schaltverluste in den Schaltelementen des Inverters. Diese Schaltverluste können bei dem erfindungsgemäßen System mit steuerbarem Energiespeicher stark reduziert werden. Mit Hilfe des steuerbaren Energiespeichers kann die Versorgungsspannung des Inverters an die Polradspannung der Maschine angepasst werden. Insbesondere in dem beschriebenen Fall von minimaler Drehzahl und hohem Moment, der sehr hohe Anforderungen an die Entwärmung der Schaltelemente stellt, können die Verluste dadurch drastisch reduziert werden.

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

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

35 Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Steuersystems für eine elektrische Maschine,
- 5 Fig. 2 eine grafische Darstellung der einstellbaren Ausgangsspannung eines erfindungsgemäßen steuerbaren Energiespeichers ohne impulsförmige Ansteuerung und
- 10 Fig. 3 eine grafische Darstellung der einstellbaren Ausgangsspannung eines erfindungsgemäßen steuerbaren Energiespeichers mit impulsförmiger Ansteuerung.

Ausführungsformen der Erfindung

15 An eine dreiphasige elektrische Maschine 1 ist ein Inverter 2 in Form eines Pulswechselrichters 3 angeschlossen. Der Pulswechselrichter 3 umfasst mehrere Leistungsbaulemente – häufig auch als Leistungshalbleiter bezeichnet – in Form von Leistungsschaltelementen 20a-20f, welche mit einzelnen Phasen U, V, W der elektrischen Maschine 1 verbunden sind und die Phasen U, V, W entweder gegen ein hohes Versorgungspotential oder ein niedriges Versorgungspotential schalten.

20 Der Pulswechselrichter 3 umfasst ferner weitere Leistungsbaulemente in Form von Freilaufdioden 21a-21f, die im dargestellten Ausführungsbeispiel in Form einer sechspulsigen Gleichrichter-Brückenschaltung angeordnet sind. Dabei ist jeweils eine Diode 21a-21f parallel zu einem der Leistungsschaltelemente 20a-20f angeordnet. Die Leistungsschaltelemente können beispielsweise als IGBTs

25 (Insolated Gate Bipolar Transistors) oder als MOSFETs (Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistors) ausgeführt sein. Dem Pulswechselrichter 3 vorgeschaltet ist ein Zwischenkreiskondensator 4, der im Wesentlichen zur Stabilisierung der Ausgangsspannung eines steuerbaren Energiespeichers 5 dient.

30 Der steuerbare Energiespeicher 5 umfasst einen einzigen Energieversorgungsweig 6, welcher m in Reihe geschaltete Energiespeichermodule 7-1 bis 7-m aufweist, wobei $m \geq 2$. Die Energiespeichermodule 7 wiederum umfassen jeweils mehrere in Reihe geschaltete elektrische Energiespeicherzellen 8-1 bis 8-m sowie jeweils eine Koppereinheit 9-1 bis 9-m, welche den Energiespeicherzellen 8 des jeweiligen

35 Energiespeichermoduls 7 zugeordnet ist. In der dargestellten Ausführungsvariante werden die Koppereinheiten 9 jeweils durch zwei steuerbare Schaltelemente 10-11 und 10-12 bis 10-m1 und 10-m2 gebildet. 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.

- 5 Die Koppereinheiten 9 ermöglichen es, den Energieversorgungs­zweig 6, durch Öffnen beider Schaltelemente 10 einer Koppereinheit 9 zu unterbrechen. Alternativ können die Energiespeicherzellen 8 durch Schließen jeweils eines der Schaltelemente 10 einer Koppereinheit 9 entweder überbrückt werden, z.B. Schließen des Schalters 10-11, oder in den Energieversorgungs­zweig 6 geschaltet
10 werden, z.B. Schließen des Schalters 10-12.

Die elektrische Maschine 1 ist im dargestellten Ausführungs­beispiel als dreiphasige Drehstrommaschine ausgeführt, kann aber auch weniger oder mehr als drei Phasen aufweisen. Nach der Phasenanzahl der elektrischen Maschine richtet sich natürlich
15 auch die Anzahl der Halbbrücken­zweige in dem Pulswechselrichter 2. Insbesondere kann die elektrische Maschine 1 auch als Gleichstrommaschine ausgeführt werden, wobei der Inverter in diesem Fall als umpolbarer Gleichspannungswandler ausgeführt ist.

- 20 Im dargestellten Ausführungs­beispiel weist jedes Energiespeichermodul 7 jeweils mehrere in Reihe geschaltete Energiespeicherzellen 8 auf. Die Energiespeicher­module 7 können aber alternativ auch jeweils nur eine einzige Energiespeicherzelle oder auch parallel geschaltete Energiespeicherzellen aufweisen.

25 Im dargestellten Ausführungs­beispiel werden die Koppereinheiten 9 jeweils durch zwei steuerbare Schaltelemente 10 in Halbbrückenschaltung gebildet. Die Koppereinheiten 10 können aber auch durch mehr oder weniger steuerbare Schaltelemente realisiert sein, solange die notwendigen Funktionen (Überbrücken
30 der Energiespeicherzellen und Schalten der Energiespeicherzellen in den Energieversorgungs­zweig) realisierbar sind. Darüber hinaus ist es aber auch denkbar, dass die Koppereinheiten Schaltelemente in Vollbrückenschaltung aufweisen, was die zusätzliche Möglichkeit einer Spannungsumkehr am Ausgang des Energiespeichermoduls bietet.

35 Zwischen den steuerbaren Energiespeicher 5 und den Zwischenkreiskondensator 4 ist ein Glättungsglied 11 geschaltet, welches in der dargestellten Ausführungs­variante eine Induktivität 12 und einen zusätzlichen Kondensator 13

umfasst. Der zusätzliche Kondensator 13 ist dabei parallel zum Zwischenkreiskondensator 4 geschaltet und die Induktivität 12 ist in die Verbindungsleitung zwischen dem steuerbaren Energiespeicher 5 und den zusätzlichen Kondensator 13 geschaltet. Notwendig ist das Glättungsglied 11
5 aufgrund einer impulsförmigen oder getakteten Ansteuerung von zumindest einer der Kopeleinheiten 9, welche nachfolgend noch detailliert erläutert wird.

Der zusätzliche Kondensator 13 dient dabei im Wesentlichen der Erhöhung der Puffer- oder Stabilisierungswirkung des Zwischenkreiskondensators 4 wohingegen die Induktivität
10 12 der Strombegrenzung dient. Denkbar ist es auch, dass die durch den Zwischenkreiskondensator 4 bewirkte Pufferung bereits ausreicht, so dass auf den zusätzlichen Kondensator 13 verzichtet werden kann. Ebenso kann auch eine parasitäre Induktivität der Verbindungsleitung zwischen dem steuerbaren Energiespeicher 5 und dem Zwischenkreiskondensator 4 oder dem zusätzlichen Kondensator 13 bereits eine
15 ausreichende Strombegrenzung bewirken, so dass auch auf die Induktivität 12 verzichtet werden kann. Im Extremfall kann folglich eine elektrische Maschine auch durch ein System ohne separates Glättungsglied 11 gesteuert werden.

Die Gesamt-Ausgangsspannung des Energieversorgungsweiges 6 wird bestimmt durch den jeweiligen Schaltzustand der steuerbaren Schaltelemente 10 der
20 Kopeleinheiten 9 und kann stufig eingestellt werden. Die Stufung ergibt sich dabei in Abhängigkeit von der Spannung der einzelnen Energiespeichermodule 7. Geht man von der bevorzugten Ausführungsform gleichartig ausgestalteter Energiespeichermodule 7 aus, so ergibt sich eine maximal mögliche Gesamt-Ausgangsspannung U_{aus} des steuerbaren Energiespeichers 5 aus der Spannung
25 eines einzelnen Energiespeichermoduls 7 mal der Anzahl m in Reihe geschalteten Energiespeichermodule 7. Eine derartige stufig-einstellbare Ausgangsspannung des Energieversorgungsweiges 6 ist in Figur 2 schematisch dargestellt.

Im Folgenden sei nun angenommen, dass die Energiespeicherzellen 8-1 des ersten
30 Energiespeichermoduls 7-1 bei dauerhaftem Schalten in den Energieversorgungsweig 6 eine Ausgangsspannung U_1 liefern und dass die Energiespeicherzellen 8- m des m -ten Energiespeichermoduls 7- m bei dauerhaftem Schalten in den Energieversorgungsweig 6 eine Ausgangsspannung U_m , mit $U_m = U_2 - U_1$, liefern, so dass ein dauerhaftes
Zuschalten der Energiespeicherzellen beider Energiespeichermodule 7-1 und 7- m eine
35 Ausgangsspannung U_2 zur Folge hat. Des Weiteren sei angenommen, dass eine Soll-Ausgangsspannung U_{Soll} eingestellt werden soll, welche zwischen den Spannungswerten U_1 und U_2 liegt.

Diese Soll-Ausgangsspannung U_{Soll} wird nun erfindungsgemäß dadurch eingestellt, dass die Koppereinheit 9-1, welche den Energiespeicherzellen 8-1 zugeordnet ist, durch eine nicht dargestellte Steuereinheit derart angesteuert wird, dass die

5 Energiespeicherzellen 8-1 dauerhaft in den Energieversorgungszweig 6 geschaltet werden. Dies wird konkret dadurch erreicht, dass das Schaltelement 10-12 dauerhaft geschlossen wird, wohingegen das Schaltelement 10-11 dauerhaft geöffnet wird. Auf diese Weise wird ein erster Anteil der Soll-Ausgangsspannung U_{Soll} mit dem Spannungswert U_1 zur Verfügung gestellt. Die Koppereinheit 9-m, welche den

10 Energiespeicherzellen 8-m zugeordnet ist, wird durch die nicht dargestellte Steuereinheit impulsförmig mit einem Tastverhältnis von

$$T = \frac{U_{\text{Soll}} - U_1}{U_2 - U_1}$$

15 angesteuert. Dies heißt konkret, dass während einer Impulsdauer das Schaltelement 10-m2 geschlossen und das Schaltelement 10-m1 geöffnet wird und während einer Pausendauer das Schaltelement 10-m2 geöffnet und das Schaltelement 10-m1 geschlossen wird. Auf diese Weise wird ein zweiter Anteil der Soll-Ausgangsspannung U_{Soll} zur Verfügung gestellt. Alle übrigen Energiespeicherzellen 8-2 bis 8-(m-1) in dem

20 Energieversorgungszweig 6 werden zur Einstellung der Soll-Ausgangsspannung U_{Soll} nicht benötigt. Die zugehörigen Koppereinheiten 9-2 bis 9(m-1) werden daher derart gesteuert, dass die zugeordneten Energiespeicherzellen 8-2 bis 8-(m-1) dauerhaft überbrückt werden. Damit er gibt sich für den Energieversorgungszweig 6 und damit für den steuerbaren Energiespeicher 5 der arithmetische Mittelwert \bar{U} der

25 Ausgangsspannung zu

$$\bar{U} = U_1 + T \cdot U_m = U_1 + \frac{U_{\text{Soll}} - U_1}{U_2 - U_1} \cdot (U_2 - U_1) = U_{\text{Soll}}.$$

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht folglich eine stufenlose Einstellung der

30 Ausgangsspannung des steuerbaren Energiespeichers 5.

Figur 3 zeigt schematisch die mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens einstellbaren Ausgangsspannungen an dem steuerbaren Energiespeicher 5. Die stufenlos einstellbare Ausgangsspannung ist dabei mit dem Bezugszeichen 30 gekennzeichnet. Eine

prinzipielle Darstellung der impulsförmigen Ansteuersignale ist durch das Bezugszeichen 31 gekennzeichnet. Analog zu der Darstellung in Figur 2 wird auch bei der Darstellung in Figur von der bevorzugten Ausführungsform gleichartig ausgestalteter Energiespeichermodule 4 aus. Für die Anwendbarkeit der Erfindung ist dies aber nicht
5 erforderlich.

Außer durch die konkret beschriebene Form der Ansteuerung der Koppereinheiten 9 kann die Soll-Ausgangsspannung U_{Soll} auch durch alternative Formen der Ansteuerung eingestellt werden. So kann der erste Anteil der Soll-Ausgangsspannung U_{Soll} mit dem
10 Spannungswert U_1 selbstverständlich auch durch ein anderes Energiespeichermodul als das Energiespeichermodul 7-1 geliefert werden. Voraussetzung ist nur, dass die Energiespeicherzellen 8 des entsprechenden Energiespeichermoduls 7 eben gerade die Spannung U_1 liefern können. Ebenso kann auch eine andere Koppereinheit als die Koppereinheit 9-m impulsförmig angesteuert werden. Dabei ist lediglich zu beachten, dass
15 der Tastgrad entsprechend angepasst wird. Auch ist es denkbar, nicht nur eine Koppereinheit 9 impulsförmig anzusteuern, sondern mehrere Koppereinheiten 9 mit geeigneten Tastgraden anzusteuern. Entscheidend ist immer nur, dass sich ein arithmetischer Spannungs-Mittelwert aller dauerhaft oder zeitweise in den Energieversorgungs-
20 zweig 6 geschalteten Energiespeicherzellen 8 ergibt, welcher der gewünschten Soll-Ausgangsspannung U_{Soll} entspricht.

Ansprüche

- 5 1. Verfahren zum Betrieb eines Steuersystems für eine elektrische Maschine (1), wobei das Steuersystem
- einen steuerbaren Energiespeicher (5),
 - einen dem steuerbaren Energiespeicher (5) nachgeschalteten Zwischenkreiskondensator (4) und
- 10 – einen dem Zwischenkreiskondensator (4) nachgeschalteten Inverter (2), welcher mit der elektrischen Maschine (1) verbindbar ist,
- umfasst, wobei der steuerbare Energiespeicher (5) einen Energieversorgungsweig (6) mit mindestens zwei in Reihe geschalteten Energiespeichermodulen (7) aufweist, welche jeweils mindestens eine elektrische Energiespeicherzelle (8) mit einer zugeordneten
- 15 steuerbaren Koppereinheit (9) umfassen und die Koppereinheiten (9) in Abhängigkeit von Steuersignalen die jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen (8) überbrücken oder die jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen (8) in den Energieversorgungsweig (6) schalten,
- bei dem mindestens eine Koppereinheit (9) des steuerbaren Energiespeichers (5) derart
- 20 impulsförmig angesteuert wird, dass der arithmetische Mittelwert der Ausgangsspannung des steuerbaren Energiespeichers (5) einer Soll-Ausgangsspannung entspricht, wobei die der mindestens einen Koppereinheit (9) jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen (8) während einer Impulsdauer in den Energieversorgungsweig (6) geschaltet werden und während einer Pausendauer überbrückt werden.
- 25
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei eine Soll-Ausgangsspannung U_{Soll} des Energieversorgungsweiges, welche zwischen zwei durch dauerhaftes Schalten von Energiespeicherzellen (8) in den Energieversorgungsweig (6) oder Überbrücken von Energiespeicherzellen (8) erreichbaren Ausgangs-Spannungswerten U_1 und U_2 liegt, dadurch eingestellt wird, dass
- 30
- Koppereinheiten (9-1) von Energiespeichermodulen (7-1), welche zu dem Ausgangsspannungswert U_1 führen, derart gesteuert werden, dass die jeweiligen Energiespeicherzellen (8-1) dauerhaft in den Energieversorgungsweig (6) geschaltet werden und
- 35 – eine Koppereinheit (9-m), welche Energiespeicherzellen (8-m) zugeordnet ist, die bei dauerhaftem Zuschalten in den Energieversorgungsweig (6) den Ausgangs-

Spannungswert von U1 auf U2 erhöhen würden, impulsförmig mit einem Tastgrad T von

$$T = \frac{U_{\text{Soll}} - U1}{U2 - U1}$$

5

angesteuert wird.

3. System zum Steuern einer elektrischen Maschine (1) mit

- einem steuerbaren Energiespeicher (5),
- 10 – einem dem steuerbaren Energiespeicher (5) nachgeschalteten Glättungsglied (11) zum Glätten der Ausgangsspannung des steuerbaren Energiespeichers (5),
- einem mit dem Glättungsglied (11) verbundenen Zwischenkreiskondensator (4) und
- einem dem Zwischenkreiskondensator (4) nachgeschalteten Inverter (2), welcher mit der elektrischen Maschine (1) verbindbar ist,

- 15 wobei der steuerbare Energiespeicher (5) einen Energieversorgungsweig (6) mit mindestens zwei in Reihe geschalteten Energiespeichermodulen (7) aufweist, welche jeweils mindestens eine elektrische Energiespeicherzelle (8) mit einer zugeordneten steuerbaren Koppereinheit (9) umfasst und die Koppereinheiten (9) in Abhängigkeit von Steuersignalen die jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen (8) überbrücken oder die
- 20 jeweils zugeordneten Energiespeicherzellen (8) in den Energieversorgungsweig (6) schalten.

4. System nach Anspruch 3, wobei das Glättungsglied (11) einen zusätzlichen Kondensator (13) umfasst, welcher parallel zu dem Zwischenkreiskondensator (4)

25 geschaltet ist.

5. System nach Anspruch 3, wobei das Glättungsglied (11) eine Induktivität (12) umfasst, welche in eine Verbindungsleitung zwischen den steuerbaren Energiespeicher (5) und den Zwischenkreiskondensator (4) geschaltet ist.

30

6. System nach Anspruch 4, wobei das Glättungsglied (11) eine Induktivität (12) umfasst, welche in eine Verbindungsleitung zwischen den steuerbaren Energiespeicher (5) und den zusätzlichen Kondensator (13) geschaltet ist.

7. System nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei die elektrische Maschine (1) als Wechselstrommaschine und der Inverter (2) als Pulswechselrichter (3) ausgeführt sind.

8. System nach einem der Ansprüche 3 bis 6, wobei die elektrische Maschine (1) als Gleichstrommaschine und der Inverter (2) als unpolbarer Gleichspannungswandler ausgeführt sind.

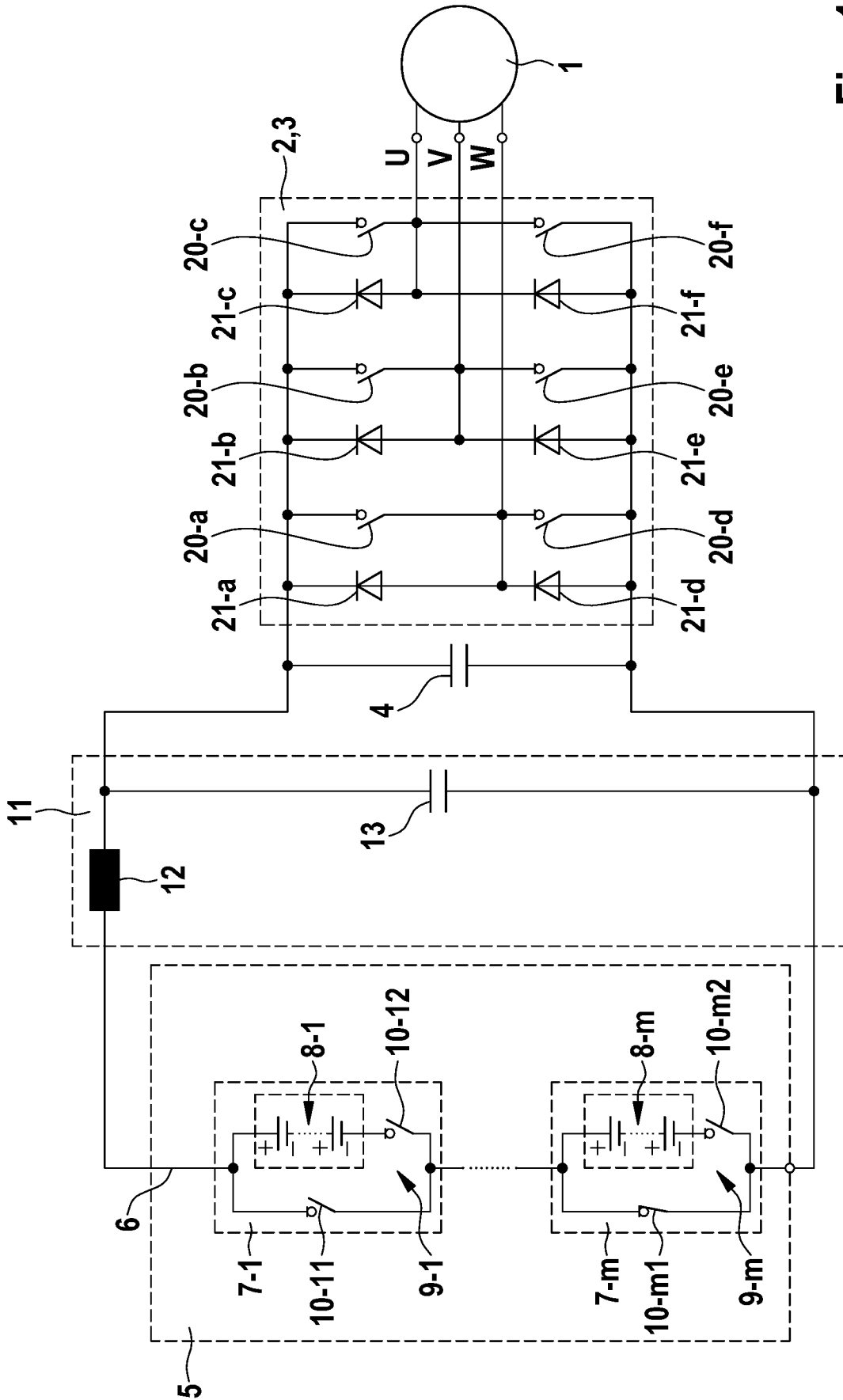


Fig. 1

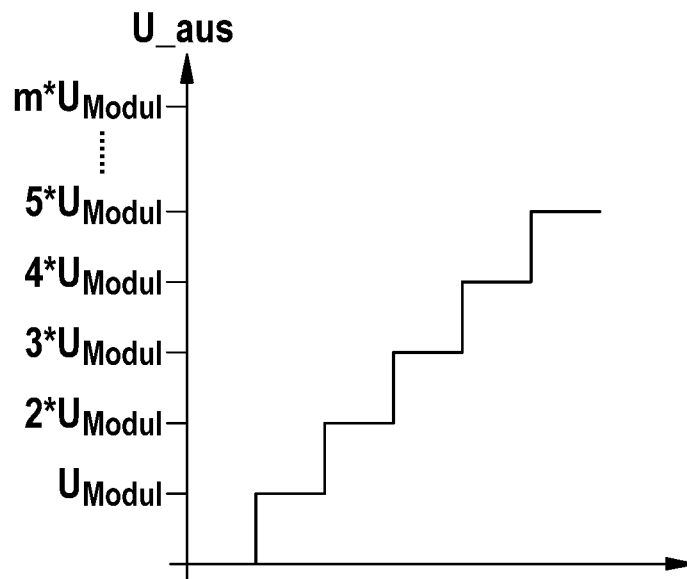


Fig. 2

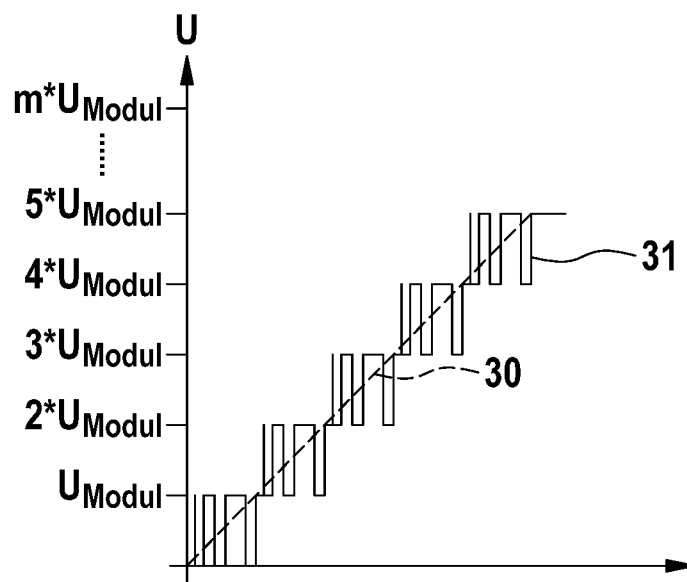


Fig. 3