(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
02. November 2017 (02.11.2017)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/186419 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02M 7/5387 (2007.01) *H02M 1/32* (2007.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/056960

(22) Internationales Anmeldedatum:
23. März 2017 (23.03.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 207 373.7
29. April 2016 (29.04.2016) DE

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH** [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

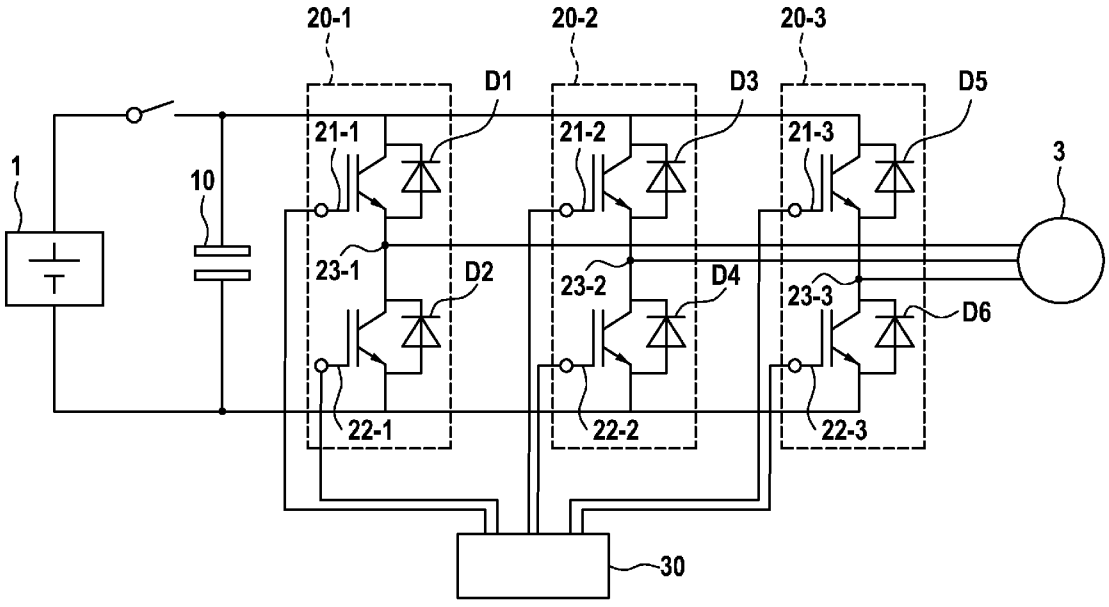
(72) Erfinder: **EBERLEIN, Edwin**; Paulusstr. 46 B, 70197 Stuttgart (DE). **TRUNK, Martin**; Hofgartenstr. 59, 74196 Neuenstadt (DE). **BARTSCH, Timo**; Lilienstr. 26, 71296 Heimsheim (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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.

(54) **Title:** INVERTER ARRANGEMENT, ELECTRIC DRIVE SYSTEM, AND METHOD FOR DISCHARGING A DC LINK CAPACITOR IN AN INVERTER ARRANGEMENT

(54) **Bezeichnung:** WECHSELRICHTERANORDNUNG, ELEKTRISCHES ANTRIEBSSYSTEM UND VERFAHREN ZUM ENTLADEN EINES ZWISCHENKREISKONDENSATORS IN EINER WECHSELRICHTERANORDNUNG

Fig. 1



(57) **Abstract:** The invention relates to the discharging of a DC link capacitor in an inverter arrangement, thereby allowing, for example, a DC link capacitor to be discharged while an electric machine that is connected to the inverters can operate in an idling mode as a safe mode. The DC link capacitor is discharged by very briefly triggering a semiconductor switch within the inverter. According to the invention, the inverter bridge arm with the smallest phase voltage is selected for the very brief triggering process.

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft das Entladen eines Zwischenkreiskondensators in einer Wechselrichter-

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/186419 A1

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

anordnung. Beispielsweise kann hierdurch ein Zwischenkreiskondensator entladen werden, während eine an die Wechselrichter angeschlossene elektrische Maschine in einem Freilauf als sicheren Zustand betrieben werden kann. Das Entladen des Zwischenkreiskondensators erfolgt durch Antakten eines Halbleiterschalters innerhalb des Wechselrichters. Dabei wird jeweils derjenige Brückenzweig des Wechselrichters für das Antakten ausgewählt, dessen Phasenspannung am kleinsten ist.

Beschreibung

Titel

Wechselrichteranordnung, elektrisches Antriebssystem und Verfahren zum Entladen eines Zwischenkreiskondensators in einer Wechselrichteranordnung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Wechselrichteranordnung und ein elektrisches Antriebssystem mit einer solchen Wechselrichteranordnung, sowie ein Verfahren zum Entladen eines Zwischenkreiskondensators in einer Wechselrichteranordnung. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung das Entladen eines Zwischenkreiskondensators in einer Wechselrichteranordnung in einem Freilaufmodus.

Stand der Technik

Elektrische Antriebssysteme, wie sie zum Beispiel in Elektro- und Hybridfahrzeugen eingesetzt werden, können Wechselrichter umfassen, die aus einer elektrischen Gleichspannung Spannungssignale generiert, die zum Ansteuern einer elektrischen Maschine geeignet sind. Dabei ist am Eingang eines solchen Wechselrichters ein Gleichspannungszwischenkreis mit einem Zwischenkreiskondensator vorgesehen.

Die Wechselrichter können beispielsweise als Vollbrückenschaltung mit einer vorgegebenen Anzahl von Brückenzweigen mit je zwei Halbleiterschaltern ausgeführt sein. Ein erster Halbleiterschalter kann dabei als sogenannter High-Side-Schalter mit einem ersten Anschluss des Gleichspannungszwischenkreises verbunden sein. Ein zweiter Halbleiterschalter kann als sogenannter Low-Side-Schalter mit einem zweiten Anschluss des Gleichspannungszwischenkreis verbunden sein. Weiterhin sind der erste und der zweite Halbleiterschalter an einem Knotenpunkt elektrisch miteinander verbunden. Jeder dieser Knotenpunkte kann mit einem Phasenanschluss einer elektrischen Maschine

verbunden werden. Als Halbleiterschalter können beispielsweise Bipolartransistoren mit einer isolierten Gateelektrode (IGBT-Module) mit antiparallel geschalteten Dioden oder MOSFETs (Metalloxid-Feldeffekttransistoren) verwendet werden.

Im Fehlerfall werden aus Sicherheitsgründen verschiedene Anforderungen an die Steuerung gestellt. Beispielsweise kann es erforderlich sein, eine angeschlossene elektrische Maschine im Fehlerfall in einen sicheren Betriebsmodus zu bringen. Ein solcher sicherer Betriebsmodus kann beispielsweise einen aktiven Kurzschluss umfassen, bei dem alle High-Side-Schalter oder alle Low-Side-Schalter geschlossen sind. Alternativ kann als sicherer Betriebsmodus auch ein Freilaufmodus vorgesehen sein, bei dem alle Schalter der Vollbrücke geöffnet sind.

Darüber hinaus kann es im Fehlerfall auch wünschenswert sein, den Gleichspannungszwischenkreis schnell und zuverlässig zu entladen. Dies kann beispielsweise durch eine Notentladung realisiert werden.

Die Druckschrift WO 2013/050196 A1 offenbart eine Offenvorrichtung und ein Verfahren zum Entladen eines Kondensators in einem Wechselrichter. Das Entladen des Kondensators in dem Wechselrichter wird dabei während eines aktiven Kurzschlusses mittels Ansteuern der Halbleiterschaltelemente des Wechselrichters vorgenommen.

Offenbarung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung offenbart eine Wechselrichter mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, ein elektrisches Antriebssystem mit den Merkmalen des Patentanspruchs 6 und ein Verfahren zum Entladen eines Zwischenkreiskondensators in einer Wechselrichteranordnung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10.

Demgemäß ist vorgesehen:

Eine Wechselrichteranordnung mit einer Vollbrückenschaltung und einer Steuervorrichtung. Die Vollbrückenschaltung umfasst eine Mehrzahl von Brückenzweigen. Jeder Brückenzweig der Vollbrückenschaltung umfasst einen ersten Halbleiterschalter und einen zweiten Halbleiterschalter. Der erste Halbleiterschalter und der zweite Halbleiterschalter eines Brückenzweigs sind dabei jeweils an einem Knotenpunkt des jeweiligen Brückenzweigs miteinander verbunden. Die Steuervorrichtung ist dazu ausgelegt, einen primären Brückenzweig mit der kleinsten Phasenspannung zwischen dem jeweiligen Knotenpunkt des Brückenzweigs und einem Bezugspotential zu ermitteln. Die Steuervorrichtung ist ferner dazu ausgelegt, den ersten Halbleiterschalter des primären Brückenzweigs zu schließen und den zweiten Halbleiterschalter des primären Brückenzweigs anzutakten. Ferner kann die Steuervorrichtung dazu ausgelegt sein, diejenigen Halbleiterschalter der Vollbrücke, welche nicht in dem primären Brückenzweig liegen, zu öffnen.

Weiterhin ist vorgesehen:

Ein elektrisches Antriebssystem mit einer erfindungsgemäßen Wechselrichteranordnung, einem Zwischenkreiskondensator und einer elektrischen Maschine. Der Zwischenkreiskondensator ist dabei mit einem Eingangsanschluss der Wechselrichteranordnung elektrisch gekoppelt. Die elektrische Maschine umfasst eine Mehrzahl von Phasenanschlüssen. Jeder Phasenanschluss der elektrischen Maschine ist dabei mit einem Knotenpunkt eines Brückenzweigs der Vollbrücke elektrisch gekoppelt.

Ferner ist vorgesehen:

Ein Verfahren zum Entladen eines Zwischenkreiskondensators in einer Wechselrichteranordnung mit einer Vollbrückenschaltung, die eine Mehrzahl von Brückenzweigen umfasst, wobei jeder Brückenzweig einen ersten Halbleiterschalter und einen zweiten Halbleiterschalter umfasst, die jeweils an einem Knotenpunkt miteinander verbunden sind. Das Verfahren umfasst die Schritte des Ermittelns eines primären Brückenzweigs mit der kleinsten Phasenspannung zwischen dem jeweiligen Knotenpunkt des Brückenzweigs und einem Bezugspotential; des Schließens des ersten Halbleiterschalters des

primären Brückenzweigs; des Antaktens des zweiten Halbleiterschalters des primären Brückenzweigs; und des Öffnens der Halbleiterschalter der Vollbrücke, welche nicht in dem primären Brückenzweig liegen.

Vorteile der Erfindung

Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass eine Entladung eines Zwischenkreiskondensators in einem Wechselrichter in allen sicheren Betriebszuständen einer elektrischen Maschine wünschenswert ist. Insbesondere liegt der vorliegenden Erfindung die Erkenntnis zugrunde, dass ein Zwischenkreiskondensator in einem Wechselrichter auch bei einem Freilauf als sicherer Zustand erforderlich ist.

Es ist daher eine Idee der vorliegenden Erfindung, dieser Erkenntnis Rechnung zu tragen und auch in einem Freilaufmodus eine möglichst effiziente Entladung eines Zwischenkreiskondensators zu ermöglichen. Hierdurch können auch im Freilauf als sicherer Betriebszustand erforderliche Sicherheitskriterien eingehalten werden. Dabei kann gegebenenfalls der Freilauf als sicherer Betriebszustand beibehalten werden und ein Wechsel in einen aktiven Kurzschluss muss nicht durchgeführt werden. Durch das Entladen des Zwischenkreiskondensators im Freilaufmodus ist somit nicht zwangsläufig ein aktiver Kurzschluss erforderlich. Somit kann beispielsweise auch die Erwärmung des Wechselrichters sowie der angeschlossenen elektrischen Maschine aufgrund eines aktiven Kurzschlusses vermindert werden.

Darüber hinaus ist beispielsweise beim Einsatz von Asynchronmaschinen gegebenenfalls ein aktiver Kurzschluss nicht zulässig, da sich hierbei sehr große Statorströme einstellen können und sich außerdem ein großes Bremsmoment ausbildet.

Somit ermöglicht die vorliegende Erfindung ein effizientes Entladen eines Zwischenkreiskondensators auch im ganzen Drehzahlbereich einer mindestens teilweise entstromten bzw. entmagnetisierten Asynchronmaschine.

Gemäß einer Ausführungsform umfasst das Antakten des zweiten Halbleiterschalters in dem primären Brückenzweig ein kurzzeitiges Ansteuern des zweiten Halbleiterschalters. Hierbei wird der zweite Halbleiterschalter jedoch nicht vollständig leitend geschaltet. Die Ansteuersignale für das Ansteuern des zweiten Halbleiterschalters sind dabei so kurz gewählt, dass der Halbleiterschalter sich nur kurzzeitig in einem Übergangszustand zwischen Sperrzustand und Leitzustand befindet. Während dieser Zeit kann Energie aus dem Zwischenkreiskondensator durch den Halbleiterschalter fließen und dabei in Wärme umgewandelt werden. Dies ermöglicht ein schnelles und effizientes Abbauen der Spannung in dem Zwischenkreiskondensator.

Gemäß einer Ausführungsform ist die Steuervorrichtung der Wechselrichteranordnung dazu ausgelegt, einen Halbleiterschalter der Vollbrücke, der nicht in dem primären Brückenzweig liegt, dann zu öffnen, wenn ein elektrischer Strom durch den entsprechenden Halbleiterschalter einen vorbestimmten Grenzwert überschreitet. Liegt der elektrische Strom in dem Halbleiterschalter dagegen unterhalb des vorgegebenen Grenzwertes, so bleibt das sich dabei einstellende Drehmoment der elektrischen Maschine vernachlässigbar und ein Öffnen des entsprechenden Halbleiterschalters ist nicht erforderlich.

Gemäß einer Ausführungsform umfasst jeder Brückenzweig der Vollbrücke einen Spannungssensor. Dieser Spannungssensor ist dazu ausgelegt, eine elektrische Spannung zwischen dem entsprechenden Knotenpunkt des jeweiligen Brückenzweigs und einem Bezugspotential zu erfassen. Durch Auswertung der detektierten elektrischen Spannungen zwischen Knotenpunkt und Bezugspotential kann jeweils auf einfache Weise die Zuordnung eines Brückenzweigs zu einem primären Brückenzweig erfolgen.

Gemäß einer Ausführungsform wird der primäre Brückenzweig basierend auf einer Rotorlage einer elektrischen Maschine ermittelt, welche mit der Wechselrichteranordnung elektrisch koppelbar ist. Durch Auswertung der Rotorlage einer elektrischen Maschine kann ohne zusätzliche Sensorik, wie zum Beispiel einer Spannungsmessung, eine einfache Zuordnung eines Brückenzweigs zu dem primären Brückenzweig erfolgen.

Gemäß einer Ausführungsform des elektrischen Antriebssystems umfasst die elektrische Maschine eine permanenterregte Synchronmaschine. Auch bei permanenterregten Synchronmaschinen unterhalb einer vorgegebenen Polradspannung ist somit ein Entladen des Zwischenkreiskondensators mittels der Wechselrichteranordnung in einem Freilauf möglich.

Gemäß einer Ausführungsform ist die Steuervorrichtung der Wechselrichteranordnung dazu ausgelegt, in der Vollbrücke einen aktiven Kurzschluss einzustellen, wenn die Polradspannung in der elektrischen Maschine, insbesondere einer permanenterregten Synchronmaschine, einen vorbestimmten Grenzwert überschreitet. Beispielsweise kann der Grenzwert auf einen Wert des Quotienten von $\frac{Zwischenkreisspannung}{2 \cdot \cos 30°}$ eingestellt werden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die elektrische Maschine eine Asynchronmaschine umfassen. Insbesondere bei Asynchronmaschinen ist ein aktiver Kurzschluss als sicherer Betriebszustand nicht zulässig, da sich dabei sehr große Statorströme einstellen und sich ein sehr großes Bremsmoment ausbildet. Es ist jedoch möglich, dass auch bei Asynchronmaschinen nach entsprechender Reduzierung des Flusses bzw. des feldbildenden Statorstroms ein Wechsel in einen aktiven Kurzschluss erfolgen kann.

Die obigen Ausgestaltungen und Weiterbildungen lassen sich, soweit sinnvoll, beliebig miteinander kombinieren. Weitere Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden bezüglich den Ausführungsbeispielen beschriebenen Merkmalen der Erfindung. Insbesondere wird der Fachmann dabei auch Einzelaspekte als Verbesserungen oder Ergänzungen zu den jeweiligen Grundformen der vorliegenden Erfindung hinzufügen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren der Zeichnung angegebenen Beispiele näher erläutert. Dabei zeigen:

Figur 1: eine schematische Darstellung eines elektrischen Antriebssystems mit einer Wechselrichteranordnung gemäß einer Ausführungsform;

Figur 2: eine schematische Darstellung von Spannungsverläufen der Phasenspannungen eines elektrischen Antriebssystems;

Figur 3: eine schematische Darstellung eines Spannungsverlaufs in einem elektrischen Antriebssystem gemäß einer Ausführungsform;

Figur 4: eine schematische Darstellung eines Spannungsverlaufs für die Phasenspannung eines elektrischen Antriebssystems gemäß einer Ausführungsform; und

Figur 5: eine schematische Darstellung eines Ablaufdiagramms, wie es einem Verfahren zum Entladen eines Zwischenkreiskondensators gemäß einer Ausführungsform zugrunde liegt.

Ausführungsformen der Erfindung

In allen Figuren sind gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente und Vorrichtungen – sofern nicht anders angegeben – mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines elektrischen Antriebssystems mit einer Wechselrichteranordnung 2 gemäß einer Ausführungsform. Die Wechselrichteranordnung 2 umfasst eine Vollbrückenschaltung mit einer Mehrzahl von Brückenzweigen 20-i. Die hier dargestellte Anzahl von drei Brückenzweigen stellt dabei nur eine beispielhafte Ausführungsform dar. Dabei ist die Wechselrichteranordnung jedoch nicht auf eine Vollbrückenschaltung mit genau drei Brückenzweigen beschränkt. Vielmehr sind auch Vollbrückenschaltungen mit zwei, vier, fünf, sechs oder einer beliebigen anderen Anzahl von Brückenzweiten denkbar. Jeder Brückenzweig 20-i umfasst einen ersten Halbleiterschalter 21-i und einen zweiten Halbleiterschalter 22-i. Der erste Halbleiterschalter 21-i und der zweite Halbleiterschalter 22-i sind dabei jeweils an einem Knotenpunkt 23-i miteinander verbunden. In dem hier dargestellten

Ausführungsbeispiel handelt es sich bei dem ersten Halbleiterschalter 21-i um den oberen Halbleiterschalter (High-Side-Schalter), und bei dem zweiten Halbleiterschalter 22-i handelt es sich um den unteren Halbleiterschalter (Low-Side-Schalter). Alternativ ist es jedoch auch ebenso möglich, dass der obere Halbleiterschalter als zweiter Halbleiterschalter bezeichnet wird und der untere Halbleiterschalter als erster Halbleiterschalter bezeichnet wird. Parallel zu jedem Halbleiterschalter 21-i und 22-i kann dabei jeweils eine Diode Di vorgesehen sein. Bei den Halbleiterschaltern kann es sich beispielsweise um bipolare Transistoren mit einem isolierten Gateanschluss (IGBT) handeln. Aber auch Metalloxid-Feldeffekttransistoren (MOSFET) oder andere Halbleiterschalter sind darüber hinaus ebenso möglich.

Alle Brückenzweige 20-i sind dabei an einem Anschluss mit einem Anschluss des Zwischenkreiskondensators 10 elektrisch verbunden. Die anderen Anschlüsse der Brückenzweige 20-i sind mit einem weiteren Anschluss des Zwischenkreiskondensators 10 elektrisch verbunden. Die Knotenpunkte 23-i der Brückenzweige 20-i können mit den Phasenanschlüssen einer elektrischen Maschine 3 elektrisch verbunden werden. Der Zwischenkreiskondensator 10 und somit die Wechselrichteranordnung 2 kann von einer elektrischen Gleichspannungsquelle 1, wie zum Beispiel einer Traktionsbatterie eines Elektro- oder Hybridfahrzeuges oder ähnlichem gespeist werden. Zwischen Gleichspannungsquelle 1 und Zwischenkreiskondensator 10 kann ein Trennschalter zur Unterbrechung der elektrischen Verbindung zwischen Gleichspannungsquelle 1 und Zwischenkreiskondensator 10 vorgesehen sein. Die Halbleiterschalter 21-i und 22-i der Vollbrücke werden dabei von einer Steuervorrichtung 30 angesteuert.

Die Steuervorrichtung 30 kann dabei in einem normalen Betriebsmodus die Halbleiterschalter 21-i und 22-i ansteuern, um an der elektrischen Maschine 3 ein gewünschtes Drehmoment einzustellen. Darüber hinaus kann, beispielsweise in einer Gefahrensituation oder ähnlichem, die elektrische Maschine 3 in einen sicheren Betriebszustand gebracht werden. Dabei kann auch der Zwischenkreiskondensator 10 entladen werden.

Als sicherer Betriebszustand kann beispielsweise ein aktiver Kurzschluss gewählt werden. Beim aktiven Kurzschluss werden alle oberen Halbleiterschalter, beispielsweise die ersten Halbleiterschalter 21-i, oder alternativ alle unteren Halbleiterschalter, beispielsweise alle zweiten Halbleiterschalter 22-i geschlossen. Alternativ kann als sicherer Betriebszustand jedoch auch ein Freilauf gewählt werden, bei dem keine elektrische Verbindung zwischen den einzelnen Phasenanschlüssen der elektrischen Maschine 3 vorhanden ist. Beispielsweise können hierzu alle Halbleiterschalter 21-i und 22-i der Vollbrücke geöffnet sein. Um darüber hinaus den Zwischenkreiskondensator 10 zu entladen, kann in einem Brückenzweig 20-i der Vollbrücke ein Halbleiterschalter geschlossen werden, während durch den anderen Halbleiterschalter desselben Brückenzweigs 20-i ein Antakten stattfindet. Unter einem Antakten versteht man dabei, dass ein Halbleiterschalter durch ein Ansteuersignal der Steuervorrichtung 30 kurzzeitig angesteuert wird, wobei die Pulslänge des Ansteuersignals so kurz gewählt wird, dass der entsprechende Halbleiterschalter 21-i bzw. 22-i nicht vollständig leitend geschaltet wird. Vielmehr geht der Halbleiterschalter 21-i bzw. 22-i nur kurzzeitig in einen Übergangszustand zwischen Sperrzustand und leitendem Zustand über. In dieser Zeit kann Energie aus dem Zwischenkreiskondensator 10 in dem jeweiligen Halbleiterschalter 21-i bzw. 22-i in Wärme umgewandelt werden, wodurch die Energie des Zwischenkreiskondensators 10 rasch und effektiv abgebaut wird.

Sind in dem Wechselrichter 2 alle Halbleiterschalter 21-i und 22-i der Vollbrücke geöffnet, so bildet sich in den Phasensträngen der elektrischen Maschine 3 ein Spannungssystem U1, U2, U3 aus, das sich zwischen dem positiven und negativen Potential der angeschlossenen Gleichspannungsquelle 1 frei bewegen kann, wie dies beispielsweise in Figur 2 schematisch dargestellt ist.

Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Spannungsverlaufs eines Dreiphasensystems, wobei während des Zeitraums I ein Antakten durch den ersten Brückenzweig 20-1 erfolgt. Dabei wird zu Beginn des Zeitintervalls I durch die Steuervorrichtung 30 festgestellt, dass die Phasenspannung U1 am Knotenpunkt 23-1 kleiner ist als die Phasenspannungen U2 und U3 an den Knotenpunkten 23-2 und 23-3. Daher wird durch die Steuervorrichtung 30 der erste Brückenzweig 20-1 für das Antakten ausgewählt. Die Steuervorrichtung 30

schließt hierzu den unteren Halbleiterschalter 22-1. Hierdurch floated das Dreiphasensystem nun nicht mehr zwischen den Potentialen der Zwischenkreisspannung, sondern wird durch den leitenden Schalter 22-1 fest auf das negative Potential des Zwischenkreises bezogen. Die Spannung zwischen den einzelnen Leitern der elektrischen Maschine 3 ist dabei weiterhin genauso groß wie im Freilauf. Es wird in die elektrische Maschine 3 kein Strom eingeprägt. Anschließend erfolgt durch den oberen Halbleiterschalter 21-1 des ersten Brückenzweigs 20-1 ein Antakten. Hierdurch kann elektrische Energie aus dem Zwischenkreiskondensator 10 in dem Halbleiterschlater 21-1 in Wärme umgesetzt werden.

Am Ende des Zeitintervalls I sinkt die Phasenspannung U2 am Knotenpunkt 23-2 des zweiten Brückenzweigs 20-2 unterhalb die Phasenspannungen U1, U3 am ersten Knotenpunkt 23-1 des ersten Brückenzweigs 20-1. Daher wird das Antakten in dem ersten Brückenzweig 20-1 beendet und der geschlossene Halbleiterschalter 22-1 in dem ersten Brückenzweig 20-1 wird geöffnet.

Anschließend kann die Entladung des Zwischenkreiskondensators 10 durch ein Antakten in dem zweiten Brückenzweig 20-2 fortgesetzt werden, da nun die Spannung am zweiten Knotenpunkt 23-2 des zweiten Brückenzweigs 20-2 niedriger ist als die Phasenspannungen an den Knotenpunkten 23-1 und 23-3 des ersten bzw. dritten Brückenzweigs 20-1 bzw. 20-3.

Kombiniert man die zuvor beschriebene Vorgehensweise für alle drei Phasen, so erhält man einen Signalverlauf der Phasenspannungen, wie er in Figur 4 dargestellt ist. Wie dabei zu erkennen ist, erfolgt bei einem dreiphasigen System jeweils nach 120° ein Wechsel des Brückenzweigs 20-i , in dem das Antakten durch einen Halbleiterschalter des entsprechenden Brückenzweigs 20-i erfolgt.

Die Auswahl des entsprechenden Brückenzweigs 20-i für das Antakten kann dabei beispielsweise durch Messen der Phasenspannungen U1, U2, U3 an den Knotenpunkten 23-i erfolgen. Beispielsweise kann hierzu ein geeigneter Spannungssensor eingesetzt werden.

Zusätzlich oder alternativ ist es auch möglich, den Brückenzweig 20-i für das Antakten jeweils basierend auf einer Lage des Rotors in der elektrischen Maschine 3 zu ermitteln. Hierzu kann die Rotorlage der elektrischen Maschine 3 mittels beliebiger Verfahren zur Rotorlagenbestimmung ermittelt werden.

In dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel wurde jeweils der untere Halbleiterschalter 22-i geschlossen und das Antakten erfolgt durch den entsprechenden oberen Halbleiterschalter 21-i des jeweiligen Brückenzweigs 20-i. Darüber hinaus ist es ebenso möglich, dass jeweils der obere Halbleiterschalter 21-i geschlossen wird und das Antakten durch den entsprechenden unteren Halbleiterschalter 22-i des jeweiligen Brückenzweigs 20-i erfolgt. Auch ist es ebenso möglich, jeweils abwechselnd ein Antakten durch den oberen und den unteren Halbleiterschalter 21-i bzw. 22-i durchzuführen. Auf diese Weise kann die entstehende Wärme beim Entladen des Zwischenkreiskondensators 10 gleichmäßig auf die beiden Halbleiterschalter 21-i bzw. 22-i eines Brückenzweigs 20-i verteilt werden. Gegebenenfalls kann auch mittels eines Temperatursensors jeweils das Antakten durch denjenigen Halbleiterschalter 21-i bzw. 22-i erfolgen, der die niedrigere Temperatur aufweist.

Darüber hinaus sind auch beliebige weitere Kriterien möglich, um den Halbleiterschalter 21-i bzw. 22-i für das Antakten zu bestimmen.

Bei der elektrischen Maschine 3 kann es sich beispielsweise um eine permanenterregte Synchronmaschine oder auch eine Asynchronmaschine handeln. Dabei kann insbesondere bei permanenterregten Synchronmaschinen solange auch der Freilauf als sicherer Zustand gewählt werden, solange die Amplitude der Polradspannung, das heißt die Spannung zwischen Leiter und Stern der elektrischen Maschine kleiner ist als der Quotient aus $\frac{Zwischenkreisspannung}{2 \cdot \cos 30°}$. Überschreitet die Amplitude der Polradspannung diesen Spannungswert oder einen alternativen vorgegebenen Spannungswert, so kann die Wechselrichteranordnung 2 auch in den aktiven Kurzschluss geschaltet werden. Dabei werden entweder alle oberen Halbleiterschalter 21-i oder alle unteren Halbleiterschalter 22-i geschlossen.

Figur 5 zeigt eine schematische Darstellung eines Ablaufdiagramms, wie es einem Verfahren zum Entladen eines Zwischenkreiskondensators 10 in einer Wechselrichteranordnung 2 zugrunde liegt. Bei der Wechselrichteranordnung 2 kann es sich beispielsweise um eine zuvor beschriebene Wechselrichteranordnung 2 mit einer Vollbrückenschaltung mit einer Mehrzahl von Brückenzweigen 20-i handeln. In einem ersten Schritt S1 wird dabei zunächst ein primärer Brückenzweig ermittelt. Bei dem primären Brückenzweig handelt es sich dabei um den Brückenzweig mit der kleinsten Phasenspannung zwischen dem Knotenpunkt 23-i und einem Bezugspotential. In Schritt S2 wird daraufhin der erste Halbleiterschalter des primären Brückenzweigs geschlossen und in Schritt S3 der zweite Halbleiterschalter des primären Brückenzweigs angetaktet. Wie zuvor bereits beschrieben, kann es sich dabei bei dem ersten Halbleiterschalter sowohl um den oberen als auch um den unteren Halbleiterschalter 21-i bzw. 22-i eines Brückenzweigs 20-i handeln. Das Antakten erfolgt dabei jeweils durch den anderen Halbleiterschalter dieses Brückenzweigs 20-i. In Schritt S4 werden darüber hinaus die Halbleiterschalter 21-i bzw. 22-i der Vollbrücke, welche nicht in dem primären Brückenzweig liegen, geöffnet. Auf diese Weise kann eine an die Wechselrichter 2 angeschlossene elektrische Maschine 3 im Freilauf als sicheren Zustand betrieben werden, während durch das Antakten der Halbleiterschalter ein Zwischenkreiskondensator 1 0der Wechselrichteranordnung 2 entladen werden kann.

Zusammenfassend betrifft die vorliegende Erfindung das Entladen eines Zwischenkreiskondensators in einer Wechselrichteranordnung, während eine an die Wechselrichter angeschlossene elektrische Maschine in einem Freilauf als sicheren Zustand betrieben werden kann. Das Entladen des Zwischenkreiskondensators erfolgt durch Antakten eines Halbleiterschalters innerhalb des Wechselrichters. Dabei wird jeweils derjenige Brückenzweig des Wechselrichters für das Antakten ausgewählt, dessen Phasenspannung am kleinsten ist.

Ansprüche

1. Wechselrichteranordnung (2), mit:

einer Vollbrückenschaltung, mit einer Mehrzahl von Brückenzweigen (20-i), wobei jeder Brückenzweig (20-i) einen ersten Halbleiterschalter (21-i) und einen zweiten Halbleiterschalter (22-i) umfasst, die jeweils an einem Knotenpunkt (23-i) miteinander verbunden sind;

einer Steuervorrichtung (30), die dazu ausgelegt ist, einen primären Brückenzweig mit der kleinsten Phasenspannung zwischen dem jeweiligen Knotenpunkt (23-i) des Brückenzweigs (20-i) und einem Bezugspotential zu ermitteln,

den ersten Halbleiterschalter (21-i) des primären Brückenzweigs zu schließen,

den zweiten Halbleiterschalter (22-i) des primären Brückenzweigs anzutakten, und

die Halbleiterschalter (21-i, 22-i) der Vollbrücke, welche nicht in dem primären Brückenzweig liegen, zu öffnen.

2. Wechselrichteranordnung (2) nach Anspruch 1, wobei das Antakten des zweiten Halbleiterschalters (22-i) in dem primären Brückenzweig ein kurzzeitiges Ansteuern des zweiten Halbleiterschalters (22-i) umfasst und der zweite Halbleiterschalter (22-i) dabei nicht vollständig leitfähig geschaltet wird.

3. Wechselrichteranordnung (2) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Steuervorrichtung (30) dazu ausgelegt ist, einen Halbleiterschalter (21-i,

22-i) der Vollbrücke, welcher nicht in dem primären Brückenzweig liegt, dann zu öffnen, wenn ein elektrischer Strom durch den entsprechenden Halbleiterschalter (21-i, 22-i) einen vorbestimmten Grenzwert überschreitet.

4. Wechselrichteranordnung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei jeder Brückenzweig (20-i) der Vollbrücke einen Spannungssensor umfasst, der eine elektrische Spannung zwischen dem Knotenpunkt (23-i) des jeweiligen Brückenzweigs (20-i) und dem Bezugspotential erfasst.

5. Wechselrichteranordnung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der primäre Brückenzweig basierend auf einer Rotorlage einer elektrischen Maschine (3) zu ermitteln, welche mit der Wechselrichteranordnung (2) elektrisch koppelbar ist.

6. Elektrisches Antriebssystem, mit:

einer Wechselrichteranordnung (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 5;

einem Zwischenkreiskondensator (10), der mit einem Eingangsanschluss der Wechselrichteranordnung (2) elektrisch gekoppelt ist; und

einer elektrischen Maschine (3) mit einer Mehrzahl von Phasenanschlüssen, wobei jeder Phasenanschluss der elektrischen Maschine (3) jeweils mit einem Knotenpunkt (23-i) eines Brückenzweigs (20-i) der Vollbrücke elektrisch gekoppelt ist.

7. Elektrisches Antriebssystem nach Anspruch 6, wobei die elektrische Maschine (3) eine permanenterregte Synchronmaschine umfasst.

8. Elektrisches Antriebssystem nach Anspruch 6 oder 7, wobei die Steuervorrichtung (30) dazu ausgelegt ist, in der Vollbrücke einen aktiven Kurzschluss einzustellen, wenn eine Polradspannung in der elektrischen Maschine (3) einen vorbestimmten Grenzwert überschreitet.

9. Elektrisches Antriebssystem nach Anspruch 6, wobei die elektrische Maschine (3) eine Asynchronmaschine umfasst.

10. Verfahren zum Entladen eines Zwischenkreiskondensators (10) in einer Wechselrichteranordnung (2) mit einer Vollbrückenschaltung, die einer Mehrzahl von Brückenzweigen (20-i) umfasst, und jeder Brückenzweig (20-i) einen ersten Halbleiterschalter (21-i) und einen zweiten Halbleiterschalter (22-i) umfasst, die jeweils an einem Knotenpunkt (23-i) miteinander verbunden sind, mit den Schritten:

Ermitteln (S1) eines primären Brückenzweigs mit der kleinsten Phasenspannung zwischen dem jeweiligen Knotenpunkt (23-i) des Brückenzweigs (20-i) und einem Bezugspotential;

Schließen (S2) des ersten Halbleiterschalters (21-i) des primären Brückenzweigs;

Antakten (S3) des zweiten Halbleiterschalters (22-i) des primären Brückenzweigs; und

Öffnen (S4) der Halbleiterschalter (21-i, 22-i) der Vollbrücke, welche nicht in dem primären Brückenzweig liegen

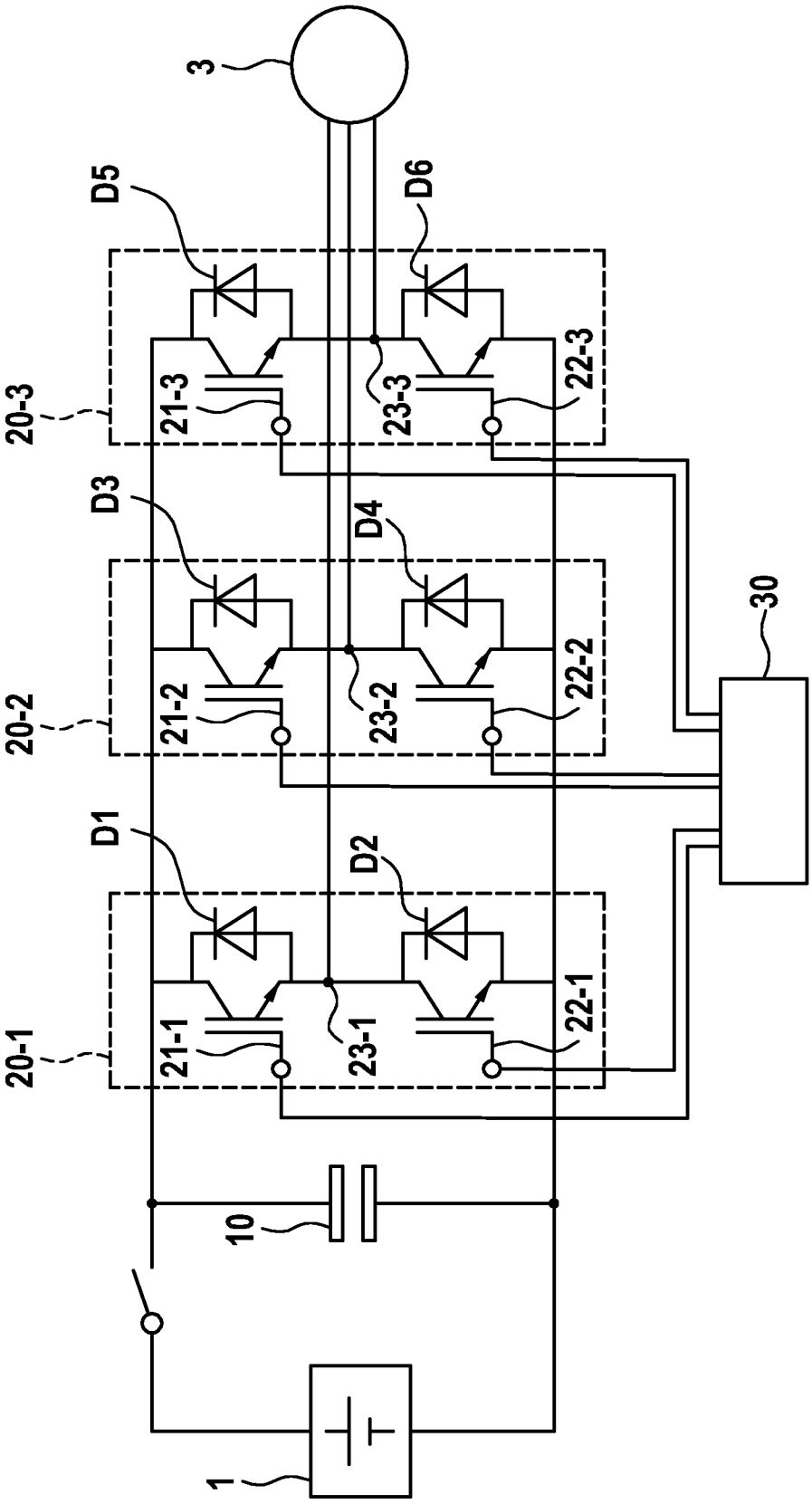

3
D5
D6
20-3
21-3
23-3
22-3
D3
D4
20-2
21-2
23-2
22-2
30
D1
D2
20-1
21-1
23-1
22-1
10
1

Fig. 1

Fig. 2

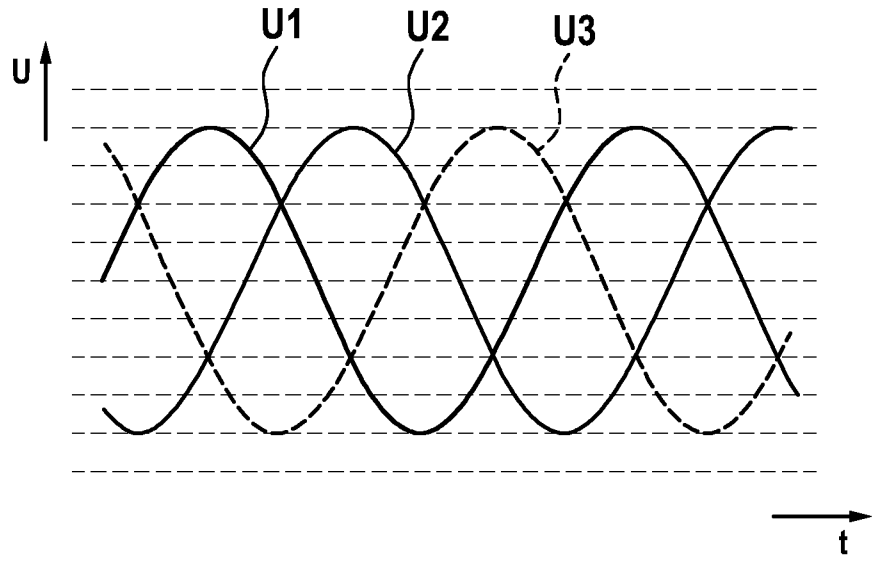


Fig. 3

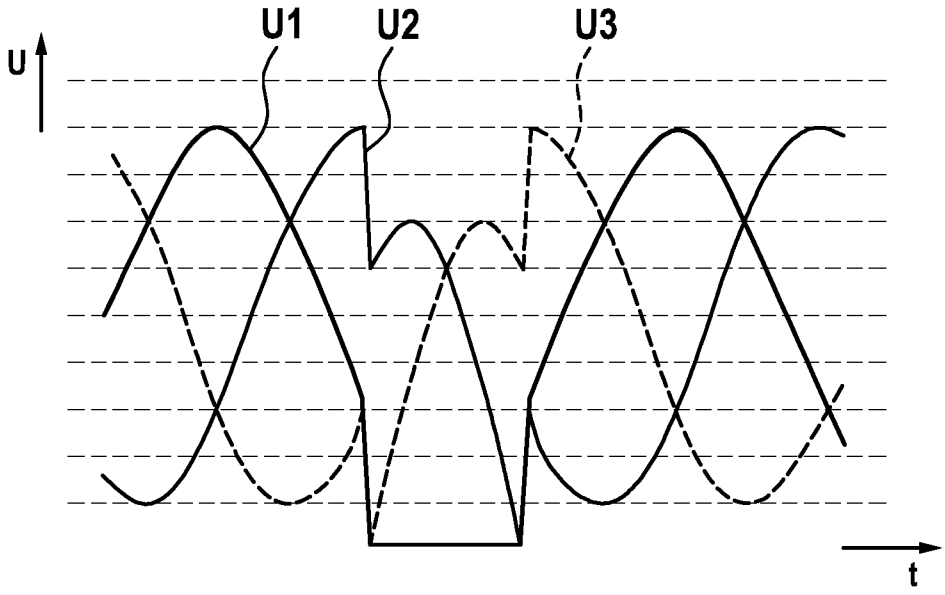


Fig. 4

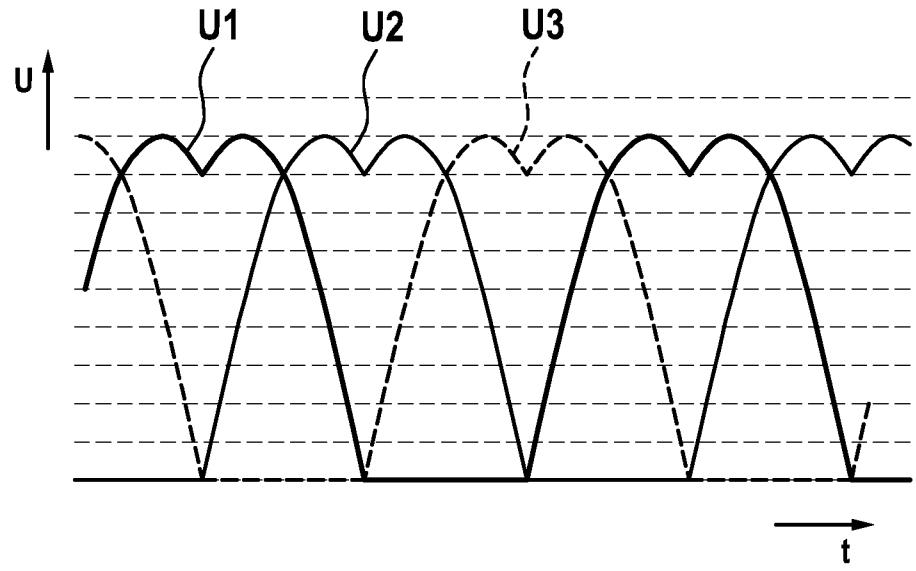
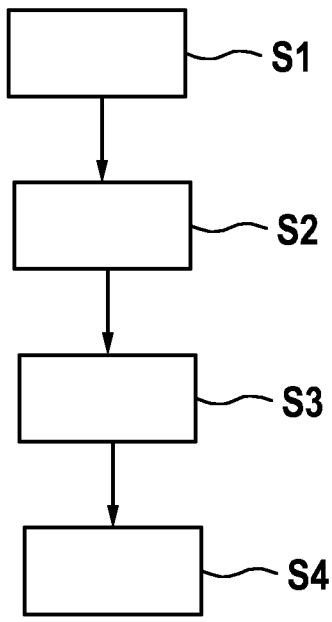


Fig. 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/056960

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02M7/5387 H02M1/32
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2011/221374 A1 (MAEBARA TSUNEO [JP] ET AL) 15 September 2011 (2011-09-15) the whole document	1-10
X	US 2012/049773 A1 (MURAHO TOMOYUKI [JP] ET AL) 1 March 2012 (2012-03-01) paragraphs [0035], [0036]; figure 1	1

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
29 May 2017	09/06/2017

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Marannino, M

1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2017/056960

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2011221374 A1	15-09-2011	CN 102195504 A	21-09-2011
		JP 4962583 B2	27-06-2012
		JP 2011188712 A	22-09-2011
		US 2011221374 A1	15-09-2011
US 2012049773 A1	01-03-2012	JP 5168328 B2	21-03-2013
		JP 2012050265 A	08-03-2012
		US 2012049773 A1	01-03-2012

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/056960

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02M7/5387 H02M1/32
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
H02M

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2011/221374 A1 (MAEBARA TSUNEO [JP] ET AL) 15. September 2011 (2011-09-15) das ganze Dokument	1-10
X	US 2012/049773 A1 (MURAHO TOMOYUKI [JP] ET AL) 1. März 2012 (2012-03-01) Absätze [0035], [0036]; Abbildung 1	1

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
29. Mai 2017	09/06/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Marannino, M

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/056960

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2011221374 A1	15-09-2011	CN 102195504 A	21-09-2011
		JP 4962583 B2	27-06-2012
		JP 2011188712 A	22-09-2011
		US 2011221374 A1	15-09-2011
US 2012049773 A1	01-03-2012	JP 5168328 B2	21-03-2013
		JP 2012050265 A	08-03-2012
		US 2012049773 A1	01-03-2012