

(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
13. März 2014 (13.03.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/037143 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H02H 7/125 (2006.01) *H02P 3/18* (2006.01)
H02H 3/02 (2006.01) *H02P 3/22* (2006.01)
H02M 1/36 (2007.01) *B60L 3/04* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/065375

(22) Internationales Anmeldedatum:
22. Juli 2013 (22.07.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2012 216 008.6
10. September 2012 (10.09.2012) 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). **SCHOENKNECHT, Andreas**; Kirchplatz
9, 71272 Renningen (DE). **RAICHLE, Daniel**;
Furtbergstrasse 72, 71665 Vaihingen (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, 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, 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, PA, 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.

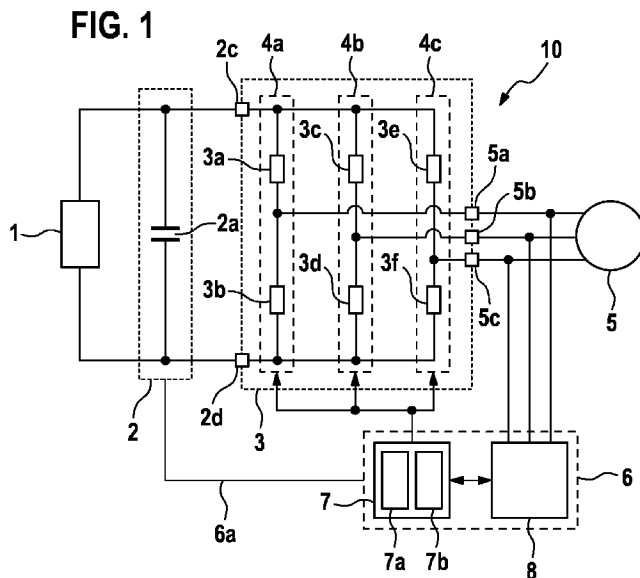
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, 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)
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(54) Title: OPERATING STATE CIRCUIT FOR AN INVERTER AND METHOD FOR SETTING OPERATING STATES OF AN INVERTER

(54) Bezeichnung : BETRIEBSZUSTANDSSCHALTUNG FÜR WECHSELRICHTER UND VERFAHREN ZUM EINSTELLEN VON BETRIEBSZUSTÄNDEN EINES WECHSELRICHTERS



(57) Abstract: The invention relates to an operating state circuit for driving an inverter with half-bridges having respective switching devices, which inverter supplies an n-phase supply voltage to an n-phase electrical machine via phase connections associated with the respective half-bridges, where $n \geq 1$. The operating state circuit comprises an evaluation device, which is connected to the phase connections of the inverter and to input connections of the inverter and is designed to detect an input voltage of the inverter and phase currents at the phase connections of the inverter, and a drive device which is coupled to the evaluation device and is designed to switch the inverter from a short-circuit state to a freewheeling mode on the basis of the detected input voltage, wherein the evaluation device is designed to generate a freewheeling trigger signal and to output said signal to the drive device if the detected input voltage is lower than an adjustable freewheeling threshold value, and wherein the drive device is designed to change the respective switching devices of the half-bridges to an open state after receiving the freewheeling trigger signal only when the particular phase current detected at the associated phase connection has a zero crossing or a current direction coming from the inverter.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2014/037143 A1



Die Erfindung betrifft eine Betriebszustandsschaltung zum Ansteuern eines Wechselrichters mit jeweilige Schalteinrichtungen aufweisenden Halbbrücken, welcher eine n-phasige elektrische Maschine über den jeweiligen Halbbrücken zugeordnete Phasenanschlüsse mit einer n-phasigen Versorgungsspannung versorgt, wobei $n \geq 1$. Die Betriebszustandsschaltung umfasst eine Auswerteeinrichtung, welche mit den Phasenanschlüssen des Wechselrichters einerseits und mit Eingangsanschlüssen des Wechselrichters andererseits verbunden ist, und welche dazu ausgelegt ist, eine Eingangsspannung des Wechselrichters sowie Phasenströme an den Phasenanschlüssen des Wechselrichters zu erfassen, und eine Ansteuereinrichtung, welche mit der Auswerteeinrichtung gekoppelt ist, und welche dazu ausgelegt ist, in Abhängigkeit von der erfassten Eingangsspannung den Wechselrichter von einem Kurzschlusszustand in einen Freilaufmodus zu schalten, wobei die Auswerteeinrichtung dazu ausgelegt ist, ein Freilauftriggersignal zu erzeugen und an die Ansteuereinrichtung auszugeben, wenn die erfasste Eingangsspannung geringer als ein einstellbarer Freilaufschwellwert ist, und wobei die Ansteuereinrichtung dazu ausgelegt ist, die jeweiligen Schalteinrichtungen der Halbbrücken nach Empfang des Freilauftriggersignals erst dann in einen geöffneten Zustand zu versetzen, wenn der jeweilige erfasste Phasenstrom an dem zugeordneten Phasenanschluss einen Nulldurchgang oder eine aus dem Wechselrichter herausweisende Stromrichtung aufweist.

Beschreibung

5 Titel

Betriebszustandsschaltung für Wechselrichter und Verfahren zum Einstellen von Betriebszuständen eines Wechselrichters

10 Die Erfindung betrifft eine Betriebszustandsschaltung für einen Wechselrichter und ein Verfahren zum Einstellen von Betriebszuständen eines Wechselrichters, insbesondere für einen Wechselrichter zur Versorgung einer Synchronmaschine.

Stand der Technik

15 Elektrische Antriebe von Hybrid- oder Elektrofahrzeugen können permanent-erregte elektrische Maschinen, insbesondere Synchronmaschinen aufweisen, welche mittels eines Pulswechselrichters mit Wechselspannung versorgt werden. Dabei kann es bei Fehlerzuständen auf der Niederspannungsseite, beispielsweise bei einem Ausfall der elektronischen Ansteuerung, der Energieversorgung, verschiedener Sensoren, der
20 Datenkommunikation oder einer Sicherung, notwendig sein, im Wechselrichter einen sicheren Zustand einzustellen, das heißt einen Schaltzustand des Wechselrichters, in welchem die Sicherheit für auf das Fahrzeug zugreifende Personen, wie beispielsweise Rettungskräfte bei einem Unfall, und für die Integrität des elektrischen Systems gewährleistet bleibt.

25

Üblicherweise wird eine Steuereinrichtung des Wechselrichters durch das Niederspannungssystem des Fahrzeugs versorgt. Bei einem Ausfall der Niederspannungsversorgung kann die Steuereinrichtung des Wechselrichters den Wechselrichter selbstständig in einen sicheren Zustand schalten, um eine mögliche Schädigung elektrischer Komponenten zu
30 verhindern, beispielsweise durch einen unkontrollierten Energieeintrag in den Gleichspannungszwischenkreis, aus dem der Wechselrichter gespeist wird. Dabei können in herkömmlichen Verfahren verschiedene Schaltzustände realisiert werden.

35 Beispielsweise können sämtliche mit dem niedrigen Potential verbundenen Schalter, sogenannte Low-Side-Schalter, geschlossen und alle mit dem hohen Potential verbundenen Schalter, sogenannte High-Side-Schalter, geöffnet werden. Diese Betriebsart wird auch als Kurzschlusszustand zu niedrigem Potential bezeichnet. Es können alternativ auch alle High-Side-Schalter geschlossen und alle Low-Side-Schalter

geöffnet werden, so dass ein Kurzschlusszustand zu hohem Potential entsteht. Bei einem anderen Abschaltverfahren werden sämtliche Schalter des Pulswechselrichters geöffnet. Dies wird auch als Freilaufmodus bezeichnet.

5 Aus der Druckschrift DE 10 2006 003 254 A1 beispielsweise ist eine Kombination von Abschaltverfahren bekannt: Nachdem beispielsweise der Phasenstrom nach dem Umschalten in den Kurzschlusszustand noch kurze Zeit ansteigen kann, wird dort vorgeschlagen, beide bekannte Abschalt-Betriebsarten sequentiell zu nutzen und die elektrische Maschine zunächst in den Freilaufmodus und anschließend in den
10 Kurzschlusszustand zu schalten.

Die Druckschrift DE 10 2009 047 616 A1 offenbart eine Wechselrichterschaltung für eine elektrische Maschine, welche im Fehlerfall von dem Betriebszustand eines aktiven Kurzschlusses in den Betriebszustand eines Freilaufs versetzt werden kann.

15

Die Druckschrift WO 2012/000710 A2 offenbart ein Verfahren zum Betrieb einer als Antriebsaggregat in einem Kraftfahrzeug dienenden mindestens dreiphasigen elektrischen Maschine, welche über einen Wechselrichter, insbesondere einen Pulswechselrichter, angesteuert wird, wobei der Wechselrichter Schaltelemente in Form von Halbbrücken umfasst und jeweils eine Halbbrücke elektrisch mit einer Phase der elektrischen Maschine verbunden ist. Ist ein erstes Schaltelement einer mit einer ersten Phase verbundenen ersten Halbbrücke ausfallbedingt dauerhaft geschlossen, so wird erfindungsgemäß ein zweites Schaltelement der ersten Halbbrücke dauerhaft geöffnet und in einem ersten Winkelbereich einer elektrischen Umdrehung, welcher von der ersten Phase unbeeinflusst
20 ist, werden sämtliche Schaltelemente der weiteren Halbbrücken in herkömmlicher Weise angesteuert.

25

In einem Kurzschlusszustand bildet sich ein Bremsmoment aus, welches durch den generatorischen Betrieb der Synchronmaschine erzeugt wird. Bei einem Abschleppen des
30 Fahrzeugs beispielsweise ist dieses Bremsmoment hinderlich. Insbesondere bei geringen Drehzahlen ist das durch den Kurzschlusszustand bedingte Bremsmoment der elektrischen Maschine relativ groß. Die Druckschrift JP 60005791 A1 beispielsweise schlägt vor, zur Begrenzung des Bremsmoments einen in Abhängigkeit von der Zwischenkreisspannung ansteuerbaren Momentenbegrenzer einzusetzen, um ein
35 Überladen des Zwischenkreiskondensators zu vermeiden.

Es besteht daher ein Bedarf an Lösungen für die Ansteuerung eines Wechselrichters in einem elektrischen Antriebssystem mit einer elektrischen Maschine, bei denen auch bei

einem Ausfall der Niedervoltversorgung der Steuerung Betriebszustände des Wechselrichters in sicherer und effizienter Weise eingestellt werden können.

Offenbarung der Erfindung

5

Die vorliegende Erfindung schafft gemäß einem Aspekt eine Betriebszustandsschaltung zum Ansteuern eines Wechselrichters mit jeweilige Schalteinrichtungen aufweisenden Halbbrücken, welcher eine n-phasige elektrische Maschine über den jeweiligen Halbbrücken zugeordnete Phasenanschlüsse mit einer n-phasigen Versorgungsspannung versorgt, wobei $n \geq 1$. Die Betriebszustandsschaltung umfasst eine Auswerteeinrichtung, welche mit den Phasenanschlüssen des Wechselrichters einerseits und mit Eingangsanschlüssen des Wechselrichters andererseits verbunden ist, und welche dazu ausgelegt ist, eine Eingangsspannung des Wechselrichters sowie Phasenströme an den Phasenanschlüssen des Wechselrichters zu erfassen, und eine Ansteuereinrichtung, welche mit der Auswerteeinrichtung gekoppelt ist, und welche dazu ausgelegt ist, in Abhängigkeit von der erfassten Eingangsspannung den Wechselrichter von einem Kurzschlusszustand in einen Freilaufmodus zu schalten, wobei die Auswerteeinrichtung dazu ausgelegt ist, ein Freilauftriggersignal zu erzeugen und an die Ansteuereinrichtung auszugeben, wenn die erfasste Eingangsspannung geringer als ein einstellbarer Freilaufschwellwert ist, und wobei die Ansteuereinrichtung dazu ausgelegt ist, die jeweiligen Schalteinrichtungen der Halbbrücken nach Empfang des Freilauftriggersignals erst dann in einen geöffneten Zustand zu versetzen, wenn der jeweilige erfasste Phasenstrom an dem zugeordneten Phasenanschluss einen Nulldurchgang oder eine aus dem Wechselrichter herausweisende Stromrichtung aufweist.

25

Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die Erfindung ein elektrisches Antriebssystem, mit einem Gleichspannungszwischenkreis, welcher dazu ausgelegt ist, von einer Hochspannungsquelle mit einer Gleichspannung versorgt zu werden, einem Wechselrichter mit jeweilige Schalteinrichtungen aufweisenden Halbbrücken, welcher mit dem Gleichspannungszwischenkreis verbunden ist, und welcher dazu ausgelegt, eine n-phasige Versorgungsspannung für eine n-phasige elektrische Maschine an n Phasenanschlüssen bereitzustellen, wobei $n \geq 1$, und einer erfindungsgemäßen Betriebszustandsschaltung, welche dazu ausgelegt ist, die Vielzahl der Schalteinrichtungen des Wechselrichters zum Einstellen eines Freilaufzustands oder eines aktiven Kurzschlusses anzusteuern.

35

Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Einstellen von Betriebszuständen eines Wechselrichters, welcher jeweilige

Schalteneinrichtungen aufweisende Halbbrücken umfasst und welcher eine n-phasige elektrische Maschine über den jeweiligen Halbbrücken zugeordnete Phasenanschlüsse mit einer n-phasigen Versorgungsspannung versorgt, wobei $n \geq 1$. Das Verfahren umfasst die Schritte des Erfassens einer Eingangsspannung des Wechselrichters, des Erfassens von Phasenströmen an den Phasenanschlüssen des Wechselrichters, des Erzeugens eines Freilauftriggersignals, wenn die erfasste Eingangsspannung geringer als ein einstellbarer Freilaufschwellewert ist, und des Schaltens des Wechselrichters von einem Kurzschlusszustand in einen Freilaufmodus in Abhängigkeit von der erfassten Eingangsspannung. Dabei werden die jeweiligen Schalteneinrichtungen der Halbbrücken nach Empfang des Freilauftriggersignals erst dann in einen geöffneten Zustand versetzt, wenn der jeweilige erfasste Phasenstrom an dem zugeordneten Phasenanschluss einen Nulldurchgang oder eine aus dem Wechselrichter herausweisende Stromrichtung aufweist.

Vorteile der Erfindung

Eine Idee der vorliegenden Erfindung ist es, bei einem Wechsel des Betriebszustands eines Wechselrichter einer elektrischen Maschine, insbesondere einer Synchronmaschine, von einem aktiven Kurzschlusszustand in einen Freilaufmodus die momentanen Phasenströme in dem Wechselrichter zu überwachen und die Halbbrücken des Wechselrichters individuell und separat voneinander anzusteuern. So werden eine oder mehrere der Schalteneinrichtungen einer Halbbrücke erst dann von einem leitenden in einen sperrenden Zustand überführt, wenn der Phasenstrom einen Nulldurchgang aufweist oder zum Zeitpunkt des Betriebszustandswechsels der Phasenstrom von dem Wechselrichter in die elektrische Maschine fließt.

Ein Vorteil dieser Vorgehensweise ist es, dass kein Energieeintrag in den Gleichspannungszwischenkreis erfolgt, so dass der Freilaufmodus länger beibehalten werden kann. Da im Freilaufmodus kein Bremsmoment auftritt, kann beispielsweise bei einem Auftreten einer Fehlfunktion während der Fahrt mit einem elektrisch betriebenen Fahrzeug ein sanfteres Ausrollen erfolgen. Zudem wird die für ein Abschleppen eines elektrisch betriebenen Fahrzeugs benötigte Leistung reduziert. In einigen Fehlerfällen, beispielsweise bei einem Ausfall der Niedervoltversorgung, bei einem Ausfall der niedervoltseitigen Lageerfassung des Polrads der elektrischen Maschine, bei einem Ausfall sonstiger niedervoltseitiger elektronischer Steuerkomponenten oder sonstigen niedervoltseitigen Fehlfunktionen, kann das elektrisch betriebenen Fahrzeug geschoben werden, ohne das Bremsmoment der elektrischen Maschine im aktiven Kurzschlusszustand überwinden zu müssen.

Vorteilhafterweise wird eine Belastung oder thermische Überlastung des Wechselrichters in dem aktiven Kurzschlusszustand vermieden, da im Freilaufmodus keine Kurzschlussströme auftreten. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn aufgrund einer fehlenden Niedervoltenergieversorgung das Kühlsystem des Wechselrichters nicht funktionsfähig ist.

Gemäß einer Ausführungsform der Betriebszustandsschaltung kann die Auswerteeinrichtung dazu ausgelegt sein, Ausgangsspannungen des Wechselrichters an den Phasenanschlüssen zu erfassen und, insbesondere auf der Basis der erfassten Ausgangsspannungen, eine Drehzahl der elektrischen Maschine zu ermitteln. Der einstellbare Freilaufschwellwert kann dabei einen ersten Spannungsschwellwert aufweisen, wenn die ermittelte Drehzahl unter einem einstellbaren Drehzahlschwellwert liegt, und einen zweiten Spannungsschwellwert aufweisen, der kleiner als der erste Spannungsschwellwert ist, wenn die ermittelte Drehzahl über dem einstellbaren Drehzahlschwellwert liegt. Bei hohen Drehzahlen ist das durch die elektrische Maschine erzeugte Bremsmoment niedriger als bei niedrigen Drehzahlen, so dass oberhalb des einstellbaren Drehzahlschwellwert der Schutz des Gleichspannungszwischenkreises gegenüber Überspannungen priorisiert werden kann, indem der aktive Kurzschlusszustand schon bei geringeren Eingangsspannungen eingestellt wird.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Betriebszustandsschaltung kann die Ansteuereinrichtung eine Hardwareschaltung aufweisen, welche dazu ausgelegt ist, den Wechselrichter in einem Kurzschlusszustand zu halten, solange die erfasste Eingangsspannung größer als ein einstellbarer Kurzschlusschwellwert ist. Dies stellt vorteilhafterweise sicher, dass die Spannung im Gleichspannungszwischenkreis einen sicherheitskritischen Schwellwert nicht überschreiten kann. Beispielsweise kann der einstellbare Kurzschlusschwellwert der um eine Sicherheitsmarge abgesenkten minimalen Batteriespannung der Hochvoltbatterie entsprechen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Betriebszustandsschaltung kann der einstellbare Kurzschlusschwellwert dem einstellbaren Freilaufschwellwert entsprechen, wenn die ermittelte Drehzahl unter dem einstellbaren Drehzahlschwellwert liegt, und wobei der einstellbare Kurzschlusschwellwert größer als der einstellbare Freilaufschwellwert ist, wenn die ermittelte Drehzahl über dem einstellbaren Drehzahlschwellwert liegt. Dadurch kann der einstellbare Freilaufschwellwert zwischen dem minimal benötigten Schaltschwellwert für die Energieversorgung der Ansteuerung der Schalteinrichtungen des Wechselrichters und dem einstellbaren

Kurzschlusschwellwert flexibel variiert werden, um in den niedrigen Drehzahlbereichen eine möglichst lange Freilaufdauer und damit ein möglichst geringes mittleres Bremsmoment durch die elektrische Maschine gewährleisten zu können.

- 5 Gemäß einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen elektrischen Antriebssystems kann das Antriebssystem weiterhin eine n-phasige elektrische Maschine umfassen, deren Leistungsanschlüsse mit den Phasenanschlüssen des Wechselrichters gekoppelt sind. Vorteilhafterweise kann diese eine permanent-erregte Synchronmaschine sein.
- 10 Gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen elektrischen Antriebssystems kann der Gleichspannungszwischenkreis mit der Betriebszustandsschaltung gekoppelt sein, und dazu ausgelegt ist, die Betriebszustandsschaltung mit elektrischer Energie zu versorgen. Dies ermöglicht eine autarke Energieversorgung der Betriebszustandsschaltung, unabhängig von der
- 15 Versorgung mit Energie aus der Niedervoltseite. Insbesondere bei einem Ausfall der Niedervoltenergieversorgung, beispielsweise bei einem Defekt oder einer Fehlfunktion, oder bei einem Abschleppen eines mit dem erfindungsgemäßen elektrischen Antriebssystem ausgestatteten elektrisch betriebenen Fahrzeug, kann dies eine zuverlässige Implementierung einer Betriebszustandskontrolle des Wechselrichters
- 20 gewährleisten.

- Gemäß einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens kann das Verfahren weiterhin die Schritte des Erfassens der Ausgangsspannungen des Wechselrichters an den Phasenanschlüssen des Wechselrichters, und des Ermitteln der Drehzahl der
- 25 elektrischen Maschine, insbesondere auf der Basis der erfassten Ausgangsspannungen, umfassen. Dabei kann der einstellbare Freilaufschwellwert einen ersten Spannungsschwellwert aufweisen, wenn die ermittelte Drehzahl unter einem einstellbaren Drehzahlschwellwert liegt, und einen zweiten Spannungsschwellwert aufweisen, der kleiner als der erste Spannungsschwellwert ist, wenn die ermittelte Drehzahl über dem
- 30 einstellbaren Drehzahlschwellwert liegt.

- Gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens kann das Verfahren weiterhin den Schritt des Haltens des Wechselrichters in einem Kurzschlusszustand umfassen, solange die erfasste Eingangsspannung größer als der
- 35 einstellbare Freilaufschwellwert ist.

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:

5

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines elektrischen Antriebssystems gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

10

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Betriebszustandsdiagramms für die Ansteuerung eines Wechselrichters eines elektrischen Antriebssystems gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung;

15

Fig.3 eine schematische Darstellung eines Strom-Zeit-Diagramms für die Phasenströme eines Wechselrichters bei einem Wechsel der Betriebszustände eines Wechselrichters gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung; und

20

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Verfahrens zum Einstellen von Betriebszuständen eines Wechselrichters gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung.

25

In den Figuren sind gleiche und funktionsgleiche Elemente, Merkmale und Komponenten - sofern nichts Anderes ausgeführt ist - jeweils mit denselben Bezugszeichen versehen. Es versteht sich, dass Komponenten und Elemente in den Zeichnungen aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht notwendigerweise maßstabsgetreu wiedergegeben sind.

30

Weitere mögliche Ausgestaltungen und Weiterbildungen und Implementierungen der Erfindung umfassen auch nicht explizit genannte Kombinationen von zuvor oder im Folgenden beschriebenen Merkmalen der Erfindung.

35

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines elektrischen Antriebssystems 10. Das elektrische Antriebssystem 10 umfasst eine Hochspannungsenergiequelle 1, beispielsweise eine Hochspannungsquelle wie eine Traktionsbatterie, welche eine Versorgungsspannung bereitstellen kann. Die Hochspannungsenergiequelle 1 kann in einem Antriebssystem eines elektrisch betriebenen Fahrzeugs beispielsweise als Energiespeicher 1 ausgelegt sein. Es ist auch möglich, dass die Hochspannungsenergiequelle 1 netzbasiert ist, das heißt, dass das elektrische Antriebssystem elektrische Energie aus einem Energieversorgungsnetz bezieht. Die Versorgungsspannung der Hochspannungsenergiequelle 1 kann über einen

Zwischenkreis 2 mit einem Zwischenkreiskondensator 2a an Versorgungsanschlüsse 2c und 2d eines Wechselrichters 3, beispielsweise eines Pulswechselrichters, angelegt werden. Dabei liegt ein Anschluss der Hochspannungsenergiequelle 1 auf hohem Potential, und ein Anschluss der Hochspannungsenergiequelle 1 auf niedrigem Potential, beispielsweise Masse. Der Wechselrichter 3 kann beispielsweise einen dreiphasigen Ausgang mit Phasenanschlüssen 5a, 5b, 5c aufweisen, die über Leistungsanschlüsse an eine dreiphasige elektrische Maschine 5 angeschlossen sind. Die elektrische Maschine 5 kann beispielsweise eine Synchronmaschine 5 bzw. ein Synchronmotor 5 sein.

Der Wechselrichter 3 ist im vorliegenden Beispiel der Fig. 1 als Vollbrückenschaltung oder B6-Brücke ausgelegt. Dazu umfasst der Wechselrichter 3 obere Halbbrückenschalter mit auf hohes Potential bezogenen Schalteinrichtungen 3a, 3c, 3e und untere Halbbrückenschalter mit auf niedriges Potential bezogenen Schalteinrichtungen 3b, 3d, 3f. Je zwei der Halbbrückenschalter sind jeweils als Halbbrücke 4a, 4b und 4c mit Mittelabgriff ausgestaltet. Die Schalteinrichtungen 3a bis 3f können beispielsweise jeweils Leistungshalbleiterschalter aufweisen. Die Schalteinrichtungen 3a bis 3f können beispielsweise Feldeffekttransistorschalter wie n-MOSFETs (n-leitende Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistors, Anreicherungstyp), JFETs (Junction Field-Effect Transistors) oder p-MOSFETs (p-leitende Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistors) aufweisen. Die Schalteinrichtungen 3a bis 3f können auch IGBTs (Insulated Gate Bipolar Transistors, Bipolartransistor mit isolierter Gate-Elektrode) aufweisen.

Der Wechselrichter 3 kann durch entsprechende Ansteuerung der Schalteinrichtungen 3a bis 3f eine dreiphasige Wechselspannung zur Ansteuerung der elektrischen Maschine 5 erzeugen. Dazu wird an den jeweiligen Phasenanschlüssen 5a, 5b, 5c des Wechselrichters 3 eine entsprechende Phasenspannung erzeugt. In dem in Fig. 1 dargestellten Beispiel sind drei Phasenanschlüsse und eine B6-Brücke gezeigt, wobei jede andere Anzahl von Phasenanschlüssen mit einer entsprechenden Anzahl an Halbbrücken zweigen bzw. Halbbrücken ebenso möglich ist. Die Schalteinrichtungen 3a, 3c, 3e werden dabei als High-Side-Schalter bezeichnet, die Schalteinrichtungen 3b, 3d, 3f als Low-Side-Schalter.

Der Wechselrichter 3 ist dazu ausgelegt, über entsprechende Ansteuerung der Schalteinrichtungen 3a bis 3f die Phasenanschlüsse 5a, 5b, 5c der elektrischen Maschine 5 wechselseitig gegen ein hohes Versorgungspotential, beispielsweise die Versorgungsspannung, oder ein niedriges Bezugspotential, beispielsweise ein Massepotential zu schalten. Der Wechselrichter 3 bestimmt Leistung und Betriebsart der elektrischen Maschine 5 und wird von der Steuereinrichtung 7 entsprechend angesteuert.

Die elektrische Maschine 5 kann somit wahlweise im Motor- oder Generatorbetrieb betrieben werden, beispielsweise in einem elektrischen Antriebssystem eines Elektro- oder Hybridfahrzeugs. Im Motorbetrieb erzeugt sie ein zusätzliches Antriebsmoment, das einen Verbrennungsmotor zum Beispiel in einer Beschleunigungsphase unterstützt. Im Generatorbetrieb kann dagegen mechanische Energie in elektrische Energie gewandelt und in dem Energiespeicher 1 gespeichert bzw. in ein elektrisches Versorgungsnetz rückgespeist werden.

Das elektrische Antriebssystem umfasst neben der Steuereinrichtung 7 eine Auswerteeinrichtung 6. Die Ansteuereinrichtung 7 und die Auswerteeinrichtung 6 können dabei in einer Betriebszustandsschaltung 6 integriert sein, beispielsweise in einem Mikrocontroller. Die Betriebszustandsschaltung 6 kann beispielsweise mit dem Gleichspannungszwischenkreis 2 gekoppelt sein, um mit elektrischer Energie von der Hochvoltseite des Wechselrichters 3 versorgt zu werden. Im Normalfall ist jedoch eine nicht gezeigte Niedervoltenergieversorgungseinrichtung vorgesehen sein, die die Betriebszustandsschaltung 6 mit elektrischer Energie von der Niedervoltseite des Wechselrichters 3 versorgt, das heißt in einem regulären Ansteuerbetrieb durch die Niedervoltseite.

Ein Freilaufmodus des Wechselrichters 3 kennzeichnet sich dadurch, dass alle Schalteinrichtungen 3a bis 3f geöffnet, das heißt im sperrenden Zustand sind, und ein eventuell in der elektrischen Maschine 5 vorhandener Strom über die den Schalteinrichtungen 3a bis 3f zugeordneten Freilaufdioden geleitet und damit verringert oder ganz abgebaut werden kann. In einem ersten Kurzschlusszustand des Wechselrichters 3 sind die Low-Side-Schalter 3b, 3d, 3f geschlossen, während die High-Side-Schalter 3a, 3c, 3e geöffnet sind. In diesem Zustand sind daher die Phasenanschlüsse 5a, 5b, 5c jeweils mit dem Eingangsanschluss 2d verbunden. Dadurch wird ein Stromfluss durch die Freilaufdioden der Low-Side-Schalter bzw. die Low-Side-Schalter 3b, 3d, 3f ermöglicht. In einem zweiten Kurzschlusszustand des Wechselrichters 3 hingegen sind die Low-Side-Schalter 3b, 3d, 3f geöffnet, während die High-Side-Schalter 3a, 3c, 3e geschlossen sind. In diesem Zustand sind daher die Phasenanschlüsse 5a, 5b, 5c jeweils mit dem Eingangsanschluss 2c verbunden. Dadurch wird ein Stromfluss durch die Freilaufdioden der High-Side-Schalter bzw. die High-Side-Schalter 3a, 3c, 3e ermöglicht.

Im Falle des Ausfalls der Niedervoltenergieversorgung oder des Niedervoltsystems übernimmt die Hochvoltseite des Wechselrichters die Energieversorgung der

Betriebszustandsschaltung 6 und insbesondere der Steuereinrichtung 7 für die Wechselrichter 3. Damit die Steuereinrichtung 7 den Betriebszustand des aktiven Kurzschlusses, das heißt, einen der oben geschilderten ersten und zweiten Kurzschlusszustände einstellen kann, muss die Zwischenkreisspannung über einem minimalen Schwellwert liegen, um die Schalteinrichtungen 3a bis 3f zuverlässig einzuschalten. Ohne gezielte Ansteuerstrategie sinkt die Zwischenkreisspannung während einer ersten Zeitdauer ab, bis sie unter den minimalen Schwellwert fällt und die Schalteinrichtungen 3a bis 3f automatisch geöffnet werden. Dadurch lädt die elektrische Maschine 5 den Zwischenkreis sehr schnell mit der zu diesem Zeitpunkt in den Statorinduktivitäten gespeicherten Energie wieder auf, so dass die Zwischenkreisspannung wieder über den minimalen Schwellwert ansteigt, und der Kurzschlusszustand wieder hergestellt werden kann. Dieses Prozedere wiederholt sich, wobei die Zwischenkreisspannung in periodischen Abständen durch die schnelle Aufladung einen sägezahnartigen zeitlichen Verlauf aufweist. Das Verhältnis der gesamten Zeitdauer, in der sich der Wechselrichter 3 bei dieser Situation in einem Kurzschlusszustand befindet, zur gesamten Zeitdauer, in der sich der Wechselrichter 3 in einem Freilaufmodus befindet, ist sehr hoch, so dass das Fahrzeug näherungsweise mit einem konstanten Bremsmoment beaufschlagt wird. Insbesondere bei niedrigen Drehzahlen der elektrischen Maschine 5 ist dieses Bremsmoment verhältnismäßig hoch.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Betriebszustandsdiagramms für die Ansteuerung eines Wechselrichters eines elektrischen Antriebssystems. Beispielsweise kann das Betriebszustandsdiagramm 20 für eine Ansteuerstrategie des Wechselrichters 3 des elektrischen Antriebssystems 10 in Fig. 1 herangezogen werden. Dabei kann die Ansteuerstrategie durch die Betriebszustandsschaltung 6 in Fig. 1 implementiert werden.

Dazu ist die Auswerteeinrichtung 8 der Fig. 1 mit den Phasenanschlüssen 5a, 5b, 5c des Wechselrichters 3 verbunden und kann dazu ausgelegt sein, Ausgangsspannungen des Wechselrichters 3 zu erfassen. Insbesondere kann die Auswerteeinrichtung 8 dazu ausgelegt sein, induzierte Polradspannungen in der elektrischen Maschine 5 zu erfassen. Die Auswerteeinrichtung 8 kann beispielsweise einen Mikrocontroller umfassen, welcher die Polradspannung in eine momentane Drehzahl n bzw. Polradfrequenz der elektrischen Maschine 5 umrechnet. Selbstverständlich kann die momentane Drehzahl n auch über andere Sensoren oder Erfassungseinrichtungen erfasst bzw. ermittelt werden. Zudem kann die Auswerteeinrichtung 8 eine Eingangsspannung U_E an den Eingangsanschlüssen 2c, 2d des Wechselrichters 3 erfassen. Dies kann beispielsweise über die ohnehin vorhandene Hochvoltversorgungsleitung 6a erfolgen, über die die Betriebszustandsschaltung 6 mit elektrischer Energie versorgt wird.

In Abhängigkeit von der ermittelten Drehzahl n und der Eingangsspannung U_E an den Eingangsanschlüssen 2c, 2d des Wechselrichters 3 kann die Ansteuereinrichtung 7 dann die Schalteinrichtungen 3a bis 3f des Wechselrichters 3 derart ansteuern, dass ein Betriebszustand gemäß der in Fig. 2 dargestellten beispielhaften Betriebsbereiche 22, 23, 24 eingestellt wird. Der Verlauf 21 zeigt dabei die maximale Zwischenkreisspannung, die sich im Freilaufmodus in Abhängigkeit von der Drehzahl n der elektrischen Maschine 3 einstellen kann. Dabei können beispielsweise die High-Side-Schalter immer gesperrt bleiben.

Bei niedrigen Drehzahlen kann die elektrische Maschine 5 ein hohes Bremsmoment erzeugen, so dass die Ansteuereinrichtung 7 dazu ausgelegt ist, in dem Wechselrichter 3 einen Freilaufzustand einzustellen, wenn die in der Auswerteeinrichtung 8 ermittelte momentane Drehzahl n einen vorbestimmten Drehzahlschwellwert n_M unterschreitet. Hingegen kann bei hohen Drehzahlen die hohe induzierte Polradspannung die Spannung im dem Gleichspannungszwischenkreis 2 übersteigen und hohe Ladeströme auf der Hochvoltseite des Wechselrichters erzeugen oder einen kritischen Grenzwert überschreiten (beispielsweise 60 Volt), was zu Schädigungen der Leistungselektronik und der Hochspannungsenergiequelle 1 führen kann. In diesem Fall kann die Ansteuereinrichtung 7 dazu ausgelegt sein, in dem Wechselrichter 3 einen aktiven Kurzschlusszustand einzustellen, wenn die in der Auswerteeinrichtung 8 ermittelte momentane Drehzahl n den vorbestimmten Drehzahlschwellwert n_M überschreitet.

Im Bereich 22 liegt die Spannung im Gleichspannungszwischenkreis 2, das heißt die Eingangsspannung U_E des Wechselrichters 3 über einem vorbestimmten bzw. vorbestimmbaren Kurzschlusschwellwert U_M . Dieser Kurzschlusschwellwert U_M kann beispielsweise einem Wert entsprechen, der gegenüber einer minimalen Betriebsspannung der Hochspannungsenergiequelle 1 um einen gewissen Betrag abgesenkt ist. Beispielsweise kann der Kurzschlusschwellwert U_M auf 90% der minimalen Betriebsspannung der Hochspannungsenergiequelle 1 festgelegt werden. Oberhalb dieses Kurzschlusschwellwerts U_M wird der Wechselrichter 3 durch die Ansteuereinrichtung 7 stets in einem aktiven Kurzschlusszustand gehalten, um eine Überspannung im Gleichspannungszwischenkreis 2 zu vermeiden. Dazu kann die Ansteuereinrichtung 7 eine Hardwareschaltung 7b aufweist, welche dazu ausgelegt ist, den Wechselrichter 3 in einem Kurzschlusszustand zu halten, solange die erfasste Eingangsspannung U_E größer als der einstellbarer Kurzschlusschwellwert U_M ist. Dieser einstellbare Kurzschlusschwellwert U_M kann aus Sicherheitsgründen unabhängig von der aktuellen Drehzahl n der elektrischen Maschine 5 festgelegt werden. Die

Hardwareschaltung 7b kann beispielsweise als Komparatorschaltung integriert werden, die die Eingangsspannung U_E mit dem einstellbaren Kurzschlusschwellwert U_M vergleicht und den Kurzschlusszustand gegenüber allen anderen Betriebszuständen des Wechselrichters 3 priorisiert. Der Kurzschlusszustand kann dabei auch mit der

5 Energieversorgung durch die Hochvoltseite gewährleistet werden, da die Spannung des Gleichspannungszwischenkreises 2 stets hoch genug ist.

Unterhalb des einstellbaren Kurzschlusschwellwerts U_M können je nach Drehzahlbereich der elektrischen Maschine 5 zwei verschiedene Ansteuerbereiche 23 und 24

10 implementiert werden. Der Ansteuerbereich 23 ist ein Ansteuerbereich, in dem die Ansteuereinrichtung 7 dazu ausgelegt ist, die jeweiligen Schalteinrichtungen 3a bis 3f der Halbbrücken 4a, 4b, 4c des Wechselrichters in einem Freilaufmodus anzusteuern. Dazu kann die Auswerteeinrichtung 8 dazu ausgelegt sein, ein Freilauftriggersignal zu erzeugen und an die Ansteuereinrichtung 7 auszugeben, wenn die erfasste Eingangsspannung U_E

15 geringer als ein einstellbarer Freilaufschwellwert ist. Der einstellbare Freilaufschwellwert kann dabei drehzahlabhängig sein. Beispielsweise kann in einem unteren Drehzahlbereich unterhalb eines Drehzahlschwellwerts n_M der elektrischen Maschine 5 der einstellbare Freilaufschwellwert dem einstellbaren Kurzschlusschwellwerts U_M entsprechen. Oberhalb des Drehzahlschwellwerts n_M der elektrischen Maschine 5 kann

20 der einstellbare Freilaufschwellwert einem gegenüber dem einstellbaren Kurzschlusschwellwert U_M abgesenkten Freilaufschwellwert U_F entsprechen.

Der Freilaufschwellwert U_F kann dabei einem Spannungswert entsprechen, der um einen geringen Betrag höher liegt als die für eine zuverlässige Ansteuerung der

25 Schalteinrichtung 3a bis 3f des Wechselrichters 3 notwendige minimale Spannung im Gleichspannungszwischenkreis 2. Beispielsweise kann diese minimal notwendige Spannung 30 Volt betragen. Der Freilaufschwellwert U_F kann in diesem Fall beispielsweise auf etwa 60 Volt festgelegt werden.

Nach Empfang des Freilauftriggersignals kann die Ansteuereinrichtung 7 dazu ausgelegt sein, die jeweiligen Schalteinrichtungen 3a bis 3f der Halbbrücken 4a, 4b, 4c erst dann in einen geöffneten Zustand zu versetzen, wenn der jeweilige erfasste Phasenstrom an dem zugeordneten Phasenanschluss 5a, 5b, 5c einen Nulldurchgang oder eine aus dem Wechselrichter 3 herausweisende Stromrichtung aufweist. Dadurch kann sichergestellt

35 werden, dass die Bedingungen für ein stromloses Schalten (ZCS, „zero current switching“) stets gewährleistet sind. Dies hat zur Folge, dass zum Zeitpunkt des Schaltens in den Freilaufmodus keine Energie in den Statorinduktivitäten der elektrischen Maschine 5 gespeichert ist, die sich durch das Sperren der Schalteinrichtungen 3a bis 3f schlagartig

in den Gleichspannungszwischenkreis 2 entladen würde. Dadurch steigt die Spannung im Gleichspannungszwischenkreis 2 nicht unkontrolliert an, und der Freilaufmodus kann verhältnismäßig lange beibehalten werden.

5 Die Maximierung der Zeitdauer, während der der Wechselrichter 3 im Freilaufmodus betrieben werden kann, minimiert zugleich das zeitlich gemittelte Bremsmoment, was von der elektrischen Maschine 5 auf die Welle des elektrischen Antriebssystems übertragen werden kann. Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Strom-Zeit-Diagramms 30 für die Phasenströme I_P eines Wechselrichters bei einem Wechsel der Betriebszustände
10 des Wechselrichters. Das Strom-Zeit-Diagramm 30 kann beispielsweise für Phasenstromverläufe 31, 32 und 33 eines dreiphasigen Wechselrichters 3 gelten, wie in Fig. 1 dargestellt. Dabei gilt das Strom-Zeit-Diagramm 30 beispielsweise für einen Wechsel von einem der Ansteuerbereiche 22 oder 24 in den Ansteuerbereich 23, in dem die Ansteuereinrichtung 7 den Wechselrichter 3 von einem aktiven Kurzschlusszustand in
15 einen Freilaufmodus überführt.

Zu einem Zeitpunkt t_1 erfolgt die Ausgabe eines Freilauftriggersignals durch die Auswerteeinrichtung 8, beispielsweise wenn eine entsprechende Betriebszustandswechselbedingung in Abhängigkeit von der ermittelten Drehzahl n
20 und/oder der ermittelten Eingangsspannung U_E des Wechselrichters 3 erfüllt ist. Zu diesem Zeitpunkt weisen die beiden Phasenstromverläufe 32 und 33 einen Phasenstromwert I_Z auf, welcher von der elektrischen Maschine 5 in den Wechselrichter 3 hinein läuft. Wenn die Schalteinrichtungen der den beiden Phasenstromverläufen 32 und 33 zugehörigen Halbbrücken des Wechselrichters 3 zum Zeitpunkt t_1 in geschlossenen
25 Zustand versetzt werden würden, würde sich die in den entsprechenden Statorinduktivitäten der elektrischen Maschine 5 gespeicherte elektrische Energie schlagartig in den Gleichspannungszwischenkreis 2 entladen, was zu einem unkontrollierten und damit unerwünschten Anstieg der Spannung im Gleichspannungszwischenkreis 2 führen würde. Die Ansteuereinrichtung 7 hält daher zum
30 Zeitpunkt t_1 , also nach dem Empfang des Freilauftriggersignals von der Auswerteeinrichtung 8, die Schalteinrichtungen der den beiden Phasenstromverläufen 32 und 33 zugehörigen Halbbrücken zunächst noch in leitendem Zustand.

Der Phasenstromverlauf 31 hingegen weist einen Phasenstromwert I_M auf, welcher von
35 dem Wechselrichter 3 in die elektrische Maschine 5 hinein läuft. Damit kann die Ansteuereinrichtung 7 die dem Phasenstromverlauf 31 zugehörigen Halbbrücken des Wechselrichters 3 bzw. deren Schalteinrichtungen bereits zum Zeitpunkt t_1 in geschlossenen Zustand versetzen. Nachdem der Phasenstrom zu einem späteren

Zeitpunkt vollständig in die Statorinduktivität der elektrischen Maschine 5 geflossen ist, bleibt der Phasenstrom aufgrund des in diese Halbbrücke eingestellten Freilaufzustands bei Null.

5 Die Ansteuereinrichtung 7 überwacht in Folge nach dem Zeitpunkt t_1 , das heißt nach dem Empfang des Freilauftriggersignals von der Auswerteeinrichtung 8, die beiden Phasenstromverläufe 32 und 33. Zu jeweiligen Zeitpunkten t_2 und t_3 , zu denen die Phasenstromverläufe 32 und 33 dann Nulldurchgänge des Phasenstroms aufweisen, können auch die jeweils zugehörigen Halbbrücken bzw. deren Schalteinrichtungen in den
10 Freilaufmodus geschaltet werden. Eine typische Zeitverzögerung zwischen der Ausgabe des Freilauftriggersignals und der vollständigen Aktivierung des Freilaufmodus in dem Wechselrichter 3 kann dabei etliche Millisekunden betragen. Demgegenüber wird der Gleichspannungszwischenkreis 2 jedoch nicht auf hohe, die sofortige Einstellung eines Kurzschlusszustands notwendig machende Spannungen aufgeladen, deren Abbau bis zu
15 einer Sekunde dauern kann. Das bedeutet, dass der Freilaufmodus im zeitlichen Mittel erheblich länger aufrechterhalten werden kann, was in Konsequenz das im zeitlichen Mittel durch die elektrische Maschine 5 erzeugte Bremsmoment ebenfalls minimiert.

Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung eines Verfahrens 40 zum Betreiben eines
20 Wechselrichters. Das Verfahren 40 kann insbesondere zum Einstellen von Betriebszuständen des Wechselrichters 3 in Fig. 1 eingesetzt werden, welcher eine n-phasige elektrische Maschine 5 über Phasenanschlüsse 5a, 5b, 5c mit einer n-phasigen Versorgungsspannung versorgt. Das Verfahren 40 umfasst in einem ersten Schritt 41 ein Erfassen einer Eingangsspannung U_E des Wechselrichters 3. In einem zweiten Schritt 42
25 können Phasenströme an den Phasenanschlüssen 5a, 5b, 5c des Wechselrichters 3 erfasst werden. In einem Schritt 43 kann ein Freilauftriggersignal erzeugt werden, beispielsweise durch die in Fig. 1 gezeigte Auswerteeinrichtung 8, wenn die erfasste Eingangsspannung U_E geringer als ein einstellbarer Freilaufschwellewert U_M bzw. U_F ist. Dann kann in einem Schritt 44 ein Schalten des Wechselrichters von einem
30 Kurzschlusszustand in einen Freilaufmodus in Abhängigkeit von der erfassten Eingangsspannung U_E erfolgen.

Beim Schalten in den Freilaufmodus werden die jeweiligen Schalteinrichtungen 3a bis 3f der Halbbrücken 4a, 4b, 4c nach Empfang des Freilauftriggersignals erst dann in einen
35 geöffneten Zustand versetzt, wenn der jeweilige erfasste Phasenstrom an dem zugeordneten Phasenanschluss 5a, 5b, 5c einen Nulldurchgang oder eine aus dem Wechselrichter 3 herausweisende Stromrichtung aufweist.

Optional kann das Verfahren 40 weiterhin die Schritte des Erfassens der Ausgangsspannungen des Wechselrichters 3 an den Phasenanschlüssen 5a, 5b, 5c des Wechselrichters 3, und des Ermitteln der Drehzahl n der elektrischen Maschine 5, insbesondere auf der Basis der erfassten Ausgangsspannungen, aufweisen. Der

5 einstellbare Freilaufschwellwert kann dabei gemäß Fig. 2 zwischen ersten und zweiten Spannungsschwellwerten variiert werden, je nach Drehzahlbereich der ermittelten Drehzahl n . Darüber hinaus kann optional ein Halten des Wechselrichters 3 in einem Kurzschlusszustand erfolgen, solange die erfasste Eingangsspannung U_E größer als der

10 einstellbare Freilaufschwellwert ist, unabhängig von der erfassten Drehzahl n .

Ansprüche

- 5 1. Betriebszustandsschaltung (6) zum Ansteuern eines Wechselrichters (3) mit jeweilige
Schalteinrichtungen (3a; ...; 3f) aufweisenden Halbbrücken (4a, 4b, 4c), welcher eine
n-phasige elektrische Maschine (5) über den jeweiligen Halbbrücken (4a, 4b, 4c)
zugeordnete Phasenanschlüsse (5a, 5b, 5c) mit einer n-phasigen
Versorgungsspannung versorgt, wobei $n \geq 1$, mit:
- 10 einer Auswerteeinrichtung (8), welche mit den Phasenanschlüssen (5a, 5b, 5c) des
Wechselrichters (3) einerseits und mit Eingangsanschlüssen (2c, 2d) des
Wechselrichters (3) andererseits verbunden ist, und welche dazu ausgelegt ist, eine
Eingangsspannung (U_E) des Wechselrichters (3) sowie Phasenströme an den
Phasenanschlüssen (5a, 5b, 5c) des Wechselrichters (3) zu erfassen; und
- 15 einer Ansteuereinrichtung (7), welche mit der Auswerteeinrichtung (8) gekoppelt ist,
und welche dazu ausgelegt ist, in Abhängigkeit von der erfassten Eingangsspannung
(U_E) den Wechselrichter (3) von einem Kurzschlusszustand in einen Freilaufmodus zu
schalten,
wobei die Auswerteeinrichtung (8) dazu ausgelegt ist, ein Freilauftriggersignal zu
- 20 erzeugen und an die Ansteuereinrichtung (7) auszugeben, wenn die erfasste
Eingangsspannung (U_E) geringer als ein einstellbarer Freilaufschwellwert (U_M ; U_F) ist,
und
wobei die Ansteuereinrichtung (7) dazu ausgelegt ist, die jeweiligen
- 25 Schalteinrichtungen (3a; ...; 3f) der Halbbrücken (4a, 4b, 4c) nach Empfang des
Freilauftriggersignals erst dann in einen geöffneten Zustand zu versetzen, wenn der
jeweilige erfasste Phasenstrom an dem zugeordneten Phasenanschluss (5a, 5b, 5c)
einen Nulldurchgang oder eine aus dem Wechselrichter (3) herausweisende
Stromrichtung aufweist.
- 30 2. Betriebszustandsschaltung (6) nach Anspruch 1, wobei die Auswerteeinrichtung (8)
dazu ausgelegt ist, Ausgangsspannungen des Wechselrichters (3) an den
Phasenanschlüssen (5a, 5b, 5c) zu erfassen und, insbesondere auf der Basis der
erfassten Ausgangsspannungen, eine Drehzahl (n) der elektrischen Maschine (5) zu
ermitteln, und
- 35 wobei der einstellbare Freilaufschwellwert (U_M ; U_F) einen ersten Spannungsschwellwert
(U_M) aufweist, wenn die ermittelte Drehzahl (n) unter einem einstellbaren
Drehzahlschwellwert (n_M) liegt, und einen zweiten Spannungsschwellwert (U_F)

aufweist, der kleiner als der erste Spannungsschwellwert (U_M) ist, wenn die ermittelte Drehzahl (n) über dem einstellbaren Drehzahlschwellwert (n_M) liegt.

- 5 3. Betriebszustandsschaltung (6) nach einem der Ansprüche 1 und 2, wobei die Ansteuereinrichtung (7) eine Hardwareschaltung (7b) aufweist, welche dazu ausgelegt ist, den Wechselrichter (3) in einem Kurzschlusszustand zu halten, solange die erfasste Eingangsspannung (U_E) größer als ein einstellbarer Kurzschlusschwellwert ist.
- 10 4. Betriebszustandsschaltung (6) nach Anspruch 3, wenn rückbezogen auf Anspruch 2, wobei der einstellbare Kurzschlusschwellwert dem einstellbaren Freilaufschwellwert (U_M) entspricht, wenn die ermittelte Drehzahl (n) unter dem einstellbaren Drehzahlschwellwert (n_M) liegt, und wobei der einstellbare Kurzschlusschwellwert größer als der einstellbare Freilaufschwellwert (U_F) ist, wenn die ermittelte Drehzahl (n)
15 über dem einstellbaren Drehzahlschwellwert (n_M) liegt.
5. Elektrisches Antriebssystem (10), mit:
einem Gleichspannungszwischenkreis (2), welcher dazu ausgelegt ist, von einer Hochspannungsquelle (1) mit einer Gleichspannung versorgt zu werden;
20 einem Wechselrichter (3) mit jeweilige Schalteinrichtungen (3a; ...; 3f) aufweisenden Halbbrücken (4a, 4b, 4c), welcher mit dem Gleichspannungszwischenkreis (2) verbunden ist, und welcher dazu ausgelegt, eine n-phasige Versorgungsspannung für eine n-phasige elektrische Maschine (5) an n Phasenanschlüssen (5a, 5b, 5c) bereitzustellen, wobei $n \geq 1$; und
25 einer Betriebszustandsschaltung (6) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, welche dazu ausgelegt ist, die Vielzahl der Schalteinrichtungen (3a; ...; 3f) des Wechselrichters (3) zum Einstellen eines Freilaufzustands oder eines aktiven Kurzschlusses anzusteuern.
6. Elektrisches Antriebssystem (10) nach Anspruch 5, weiterhin mit:
30 einer n-phasigen elektrischen Maschine (5), deren Leistungsanschlüsse mit den Phasenanschlüssen (5a, 5b, 5c) des Wechselrichters (3) gekoppelt sind.
7. Elektrisches Antriebssystem (10) nach einem der Ansprüche 5 und 6, wobei Gleichspannungszwischenkreis (2) mit der Betriebszustandsschaltung (6) gekoppelt
35 ist, und dazu ausgelegt ist, die Betriebszustandsschaltung (6) mit elektrischer Energie zu versorgen.

8. Verfahren (40) zum Einstellen von Betriebszuständen eines Wechselrichters (3), welcher jeweilige Schalteinrichtungen (3a; ...; 3f) aufweisende Halbbrücken (4a, 4b, 4c) umfasst und welcher eine n-phasige elektrische Maschine (5) über den jeweiligen Halbbrücken (4a, 4b, 4c) zugeordnete Phasenanschlüsse (5a, 5b, 5c) mit einer n-phasigen Versorgungsspannung versorgt, wobei $n \geq 1$, mit den Schritten:
- 5 Erfassen (41) einer Eingangsspannung (U_E) des Wechselrichters (3);
Erfassen (42) von Phasenströmen an den Phasenanschlüssen (5a, 5b, 5c) des Wechselrichters (3);
Erzeugen (43) eines Freilauftriggersignals, wenn die erfasste Eingangsspannung (U_E)
10 geringer als ein einstellbarer Freilaufschwellwert (U_M ; U_F) ist; und
Schalten (44) des Wechselrichters (3) von einem Kurzschlusszustand in einen Freilaufmodus in Abhängigkeit von der erfassten Eingangsspannung (U_E),
wobei die jeweiligen Schalteinrichtungen (3a; ...;3f) der Halbbrücken (4a, 4b, 4c) nach
Empfang des Freilauftriggersignals erst dann in einen geöffneten Zustand versetzt
15 werden, wenn der jeweilige erfasste Phasenstrom an dem zugeordneten Phasenanschluss (5a, 5b, 5c) einen Nulldurchgang oder eine aus dem Wechselrichter (3) herausweisende Stromrichtung aufweist.
9. Verfahren (40) nach Anspruch 8, weiterhin mit den Schritten:
- 20 Erfassen der Ausgangsspannungen des Wechselrichters (3) an den Phasenanschlüssen (5a, 5b, 5c) des Wechselrichters (3); und
Ermitteln der Drehzahl (n) der elektrischen Maschine (5), insbesondere auf der Basis der erfassten Ausgangsspannungen,
wobei der einstellbare Freilaufschwellwert (U_M ; U_F) einen ersten Spannungsschwellwert
25 (U_M) aufweist, wenn die ermittelte Drehzahl (n) unter einem einstellbaren Drehzahlschwellwert (n_M) liegt, und einen zweiten Spannungsschwellwert (U_F) aufweist, der kleiner als der erste Spannungsschwellwert (U_M) ist, wenn die ermittelte Drehzahl (n) über dem einstellbaren Drehzahlschwellwert (n_M) liegt.
- 30 10. Verfahren (40) nach einem der Ansprüche 8 und 9, weiterhin mit dem Schritt:
Halten des Wechselrichters (3) in einem Kurzschlusszustand, solange die erfasste Eingangsspannung (U_E) größer als der einstellbare Freilaufschwellwert (U_M ; U_F) ist.

FIG. 1

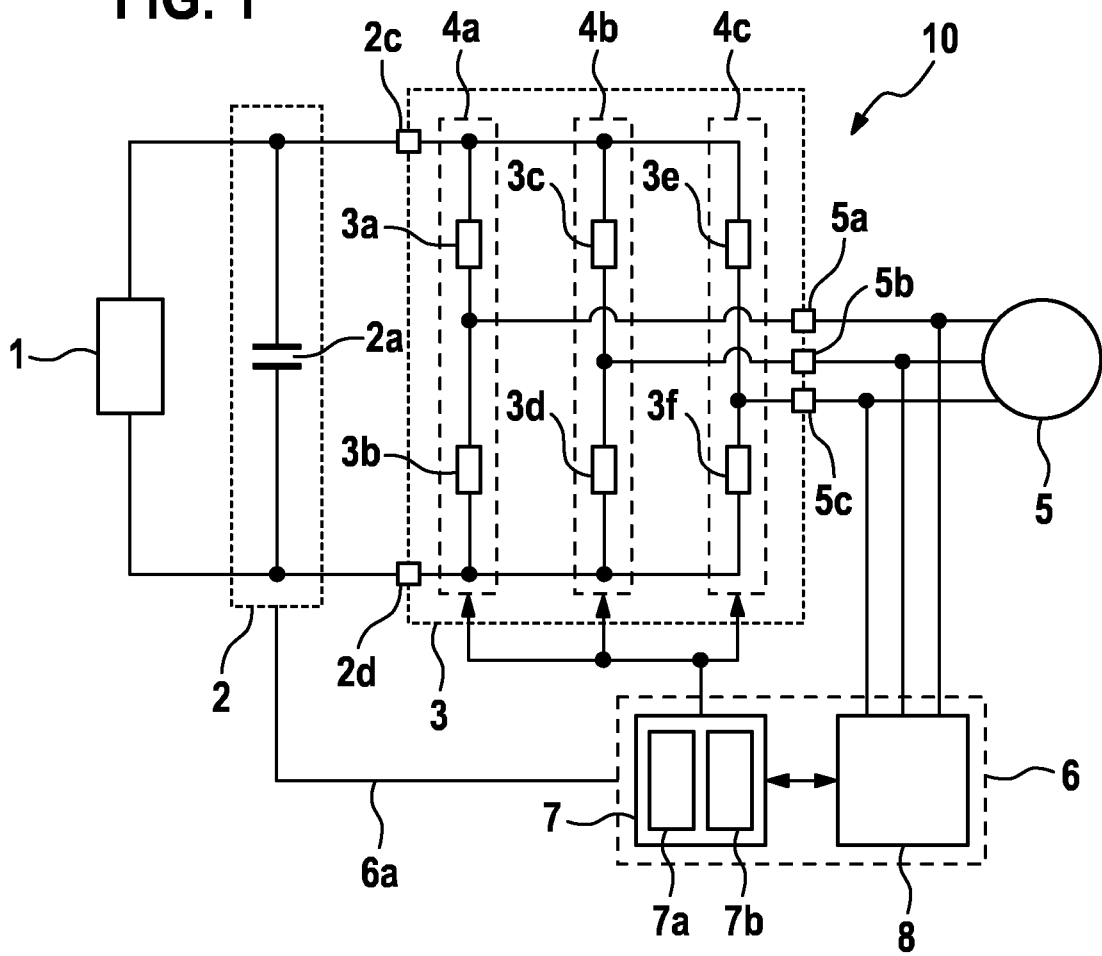


FIG. 2

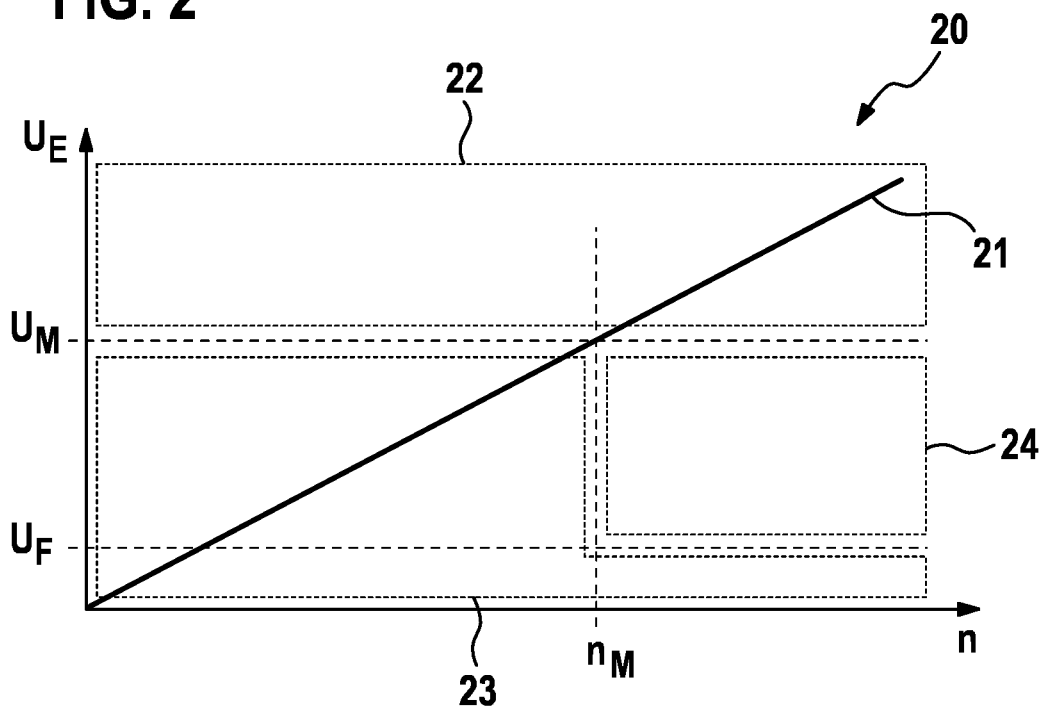


FIG. 3

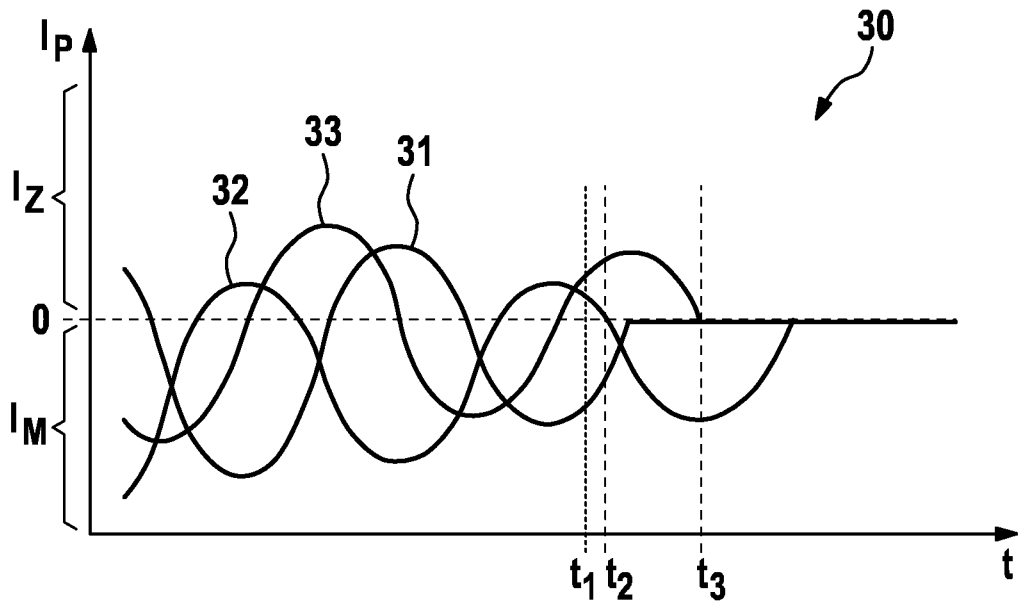
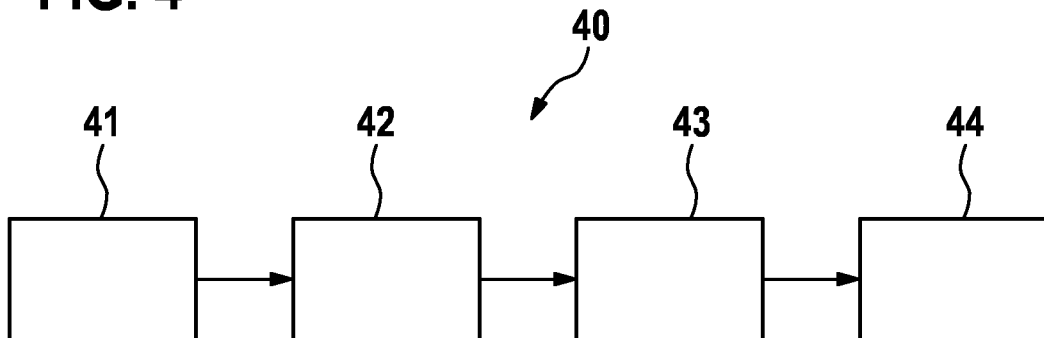


FIG. 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2013/065375

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H02H7/125 H02H3/02 H02M1/36 H02P3/18 H02P3/22
 B60L3/04
 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)
 H02H H02M H02P B60L

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.
A	EP 1 816 739 A1 (DIEHL AKO STIFTUNG GMBH & CO [DE]) 8 August 2007 (2007-08-08) paragraphs [0007], [0018] - [0032], [0040], [0054] - [0067] abstract claims 1-11 figures 1,7-10	1-10
A	DE 10 2009 028502 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 17 February 2011 (2011-02-17) abstract paragraph [0010]	1,8

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 14 February 2014	Date of mailing of the international search report 27/02/2014
--	---

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

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2013/065375

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1816739	A1	08-08-2007	AT 392041 T
			EP 1816739 A1
			ES 2303289 T3
			US 2007194734 A1

DE 102009028502	A1	17-02-2011	CN 102577092 A
			DE 102009028502 A1
			EP 2465194 A1
			US 2012200248 A1
			WO 2011018302 A1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/065375

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H02H7/125 H02H3/02 H02M1/36 H02P3/18 H02P3/22 B60L3/04 ADD. Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H02H H02M H02P B60L 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.
A	EP 1 816 739 A1 (DIEHL AKO STIFTUNG GMBH & CO [DE]) 8. August 2007 (2007-08-08) Absätze [0007], [0018] - [0032], [0040], [0054] - [0067] Zusammenfassung Ansprüche 1-11 Abbildungen 1,7-10 -----	1-10
A	DE 10 2009 028502 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 17. Februar 2011 (2011-02-17) Zusammenfassung Absatz [0010] -----	1,8
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> 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		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
14. Februar 2014		27/02/2014
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Vanata, Daniela

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2013/065375

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1816739	A1 08-08-2007	AT 392041 T	15-04-2008
		EP 1816739 A1	08-08-2007
		ES 2303289 T3	01-08-2008
		US 2007194734 A1	23-08-2007

DE 102009028502	A1 17-02-2011	CN 102577092 A	11-07-2012
		DE 102009028502 A1	17-02-2011
		EP 2465194 A1	20-06-2012
		US 2012200248 A1	09-08-2012
		WO 2011018302 A1	17-02-2011
