

(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)

target current values (I_{abc_soll}) by means of the multiplier (12, 12') in that products are formed from phase-specifically predetermined target current-amplitude values (I_{d_soll}) and the phase-specific voltage reference values (U_{ref}) and are normalized phase-specifically to respective mains voltage amplitudes (U_d), and - using the phase-specific target current values (I_{abc_soll}) for controlling circuit breakers of the inverter. An inverter is designed to carry out the method.

(57) **Zusammenfassung:** Zur dreiphasigen Einspeisung elektrischer Leistung aus einer Gleichstromquelle (1) mittels eines Wechselrichters (2) in ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz (3), wobei der Wechselrichter (2) eine Regelungsstruktur (10) aufweist, wobei die Regelungsstruktur (10) einen Regler (11) und einen Multiplizierer (12) umfasst, weist ein Verfahren die Schritte auf: - Messen von phasenspezifischen Netzspannungen (U_{abc}); - Ermitteln einer Netzfrequenz (f_{Netz}) aus den gemessenen Netzspannungen (U_{abc}); - Erzeugen von phasenspezifischen Spannungsreferenzwerten (U_{ref}) durch den Regler (11) aus den phasenspezifisch gemessenen Netzspannungen (U_{abc}) und der ermittelten Netzfrequenz (f_{Netz}), wobei die Spannungsreferenzwerte (U_{ref}) phasenspezifische Amplituden und eine gemeinsame Frequenz aufweisen, die den jeweiligen Amplituden bzw. der Frequenz der gemessenen Netzspannungen (U_{abc}) der einzelnen Phasen entsprechen, - Erzeugen von phasenspezifischen Stromsollwerten (I_{abc_soll}) durch den Multiplizierer (12, 12'), indem Produkte aus phasenspezifisch vorgegebenen Stromamplitudenzielwerten (I_{d_soll}) und den phasenspezifischen Spannungsreferenzwerten (U_{ref}) gebildet und phasenspezifisch auf jeweilige Netzspannungsamplituden (U_d) normiert werden, und - Verwenden der phasenspezifischen Stromsollwerte (I_{abc_soll}) zum Ansteuern von Leistungsschaltern des Wechselrichters. Ein Wechselrichter ist zur Durchführung des Verfahrens eingerichtet.

VERFAHREN ZUR DREIPHASIGEN EINSPEISUNG IN EIN WECHSELSPANNUNGSNETZ UND DREIPHASIGER WECHSELRICHTER

TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur dreiphasigen Einspeisung elektrischer Leistung aus einer Gleichstromquelle in ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz mittels eines Wechselrichters sowie einen Wechselrichter, der zur dreiphasigen Einspeisung elektrischer Leistung aus einer Gleichstromquelle in ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz eingerichtet ist.

STAND DER TECHNIK

Wechselrichter, die an ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz angeschlossen sind und mit dem Wechselspannungsnetz elektrische Leistung austauschen, arbeiten in der Regel stromeinprägend, indem die über die Wechselstromanschlüsse des Wechselrichters fließenden Wechselströme und damit die ausgetauschte Leistung grundsätzlich von dem Wechselrichter selbst vorgegeben werden. Im Falle eines Photovoltaikgenerators als Gleichstromquelle entspricht die in Wechselstrom umgewandelte und mit dem Wechselspannungsnetz ausgetauschte Leistung regelmäßig der maximal möglichen Leistung des Photovoltaikgenerators.

Ein Wechselrichter kann zusätzlich netzstützende Funktionen erfüllen, indem die ausgetauschte Leistung ggf. mittelbar von Eigenschaften des Wechselspannungsnetzes, z.B. der Frequenz und/oder der Spannung abhängt. Die ausgetauschte Leistung kann dazu im Rahmen der verfügbaren Gleichstromleistung variiert werden, beispielsweise bei einer Abweichung der Netzfrequenz von einer Nennfrequenz des Wechselspannungsnetzes.

Ein Wechselrichter kann ein Wechselspannungsnetz definieren und aufrechterhalten, d.h. netzbildend arbeiten. Im Gegensatz zu einem stromeinprägenden, netzstützenden Betrieb kann ein Wechselrichter zur Netzbildung insbesondere spannungseinprägend betrieben werden, indem die ausgetauschte Leistung unmittelbar von den Eigenschaften des Wechselspannungsnetzes abhängt, d.h. insbesondere eine Funktion der Frequenz und/oder der Spannung im Wechselspannungsnetz ist. Dabei kann ein spannungseinprägender Wechselrichter beispielsweise eine sogenannte Droop-Regelung umfassen oder als sogenannte virtuelle Synchronmaschine betrieben werden. Der Betrieb einer Energieerzeugungsanlage als proaktiver Netzbildner fordert dabei eine deutlich höhere Dynamik der angeschlossenen Gleichstromquelle als der bloß netzstützende und insofern reaktive Betrieb.

Aus der EP1841050A1 ist eine Energieerzeugungsanlage bekannt, die drei einphasige Wechselrichter umfasst, wobei die drei Wechselrichter an jeweils eine der drei Phasen des

Wechselspannungsnetzes angeschlossen sind und weitgehend unabhängig voneinander stromeinprägend betrieben werden. Dadurch kann die Energieerzeugungsanlage eine sogenannte Schiefast bilden, indem die einzelnen Wechselrichter unterschiedliche Leistungen mit dem Wechselspannungsnetz austauschen.

Aus der DE102012220582A1 ist ein Verfahren zum dreiphasigen Einspeisen elektrischer Leistung mittels eines Wechselrichters bekannt, bei dem eine Asymmetrie im Wechselspannungsnetz erfasst und in Reaktion darauf vom Wechselrichter ein asymmetrischer Stromanteil eingespeist wird. Dazu ist eine umfangreiche Regelungsstruktur offenbart, die zur entsprechenden Steuerung des Wechselrichters in direkter Reaktion auf eine detektierte Asymmetrie eingerichtet ist.

Aus der EP2348597A1 ist ein Verfahren bekannt, bei dem eine Asymmetrie von Leistungen, die über die drei Phasen eines Netzanschlusspunktes einer elektrischen Anlage fließen, mittels eines Wechselrichters ausgeglichen wird, indem der Wechselrichter auf der Anlagen-seite des Netzanschlusspunktes unterschiedliche Leistungen über die drei Phasen mit dem Wechselspannungsnetz austauscht, wobei die Unterschiede der ausgetauschten Leistungen die Asymmetrie gerade kompensieren.

Ein ähnliches Verfahren ist aus der DE102011085676A1 bekannt, wobei eine Einspeisung elektrischer Leistung in ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz durch einen Wechselrichter unter Berücksichtigung von Wirk- und Blindleistungen, die an einem Einspeisepunkt ermittelt werden, derart phasenselektiv gesteuert wird, dass Schiefasten am Einspeisepunkt minimiert werden. Dabei ist bevorzugt vorgesehen, dass der Wechselrichter drei einzeln steuerbare Ausgänge zur Verbindung mit je einer Phase des dreiphasigen Wechselstromnetzes aufweist

Aus der DE102010029951A1 ist ein Verfahren zum Einspeisen eines unsymmetrischen dreiphasigen Stroms in ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz bekannt, bei dem der unsymmetrische Strom durch eine Überlagerung eines Mitsystems und eines Gegensystems erzeugt wird, wobei je ein Wechselrichtermodul zur Erzeugung des Mitsystems bzw. des Gegensystems vorgesehen ist.

Gemäß Stand der Technik ist somit eine proaktive asymmetrische Einspeisung elektrischer Leistung in ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz mittels einer stromeinprägenden Energieerzeugungsanlage bisher nur möglich, indem drei weitgehend unabhängig einspeisende einphasige Wechselrichter oder zwei unabhängig einspeisende dreiphasige Wechselrichter verwendet werden. Alternativ kann eine asymmetrische Einspeisung mittels einer Regelungsstruktur erreicht werden, deren Ergebnis inhärent von den elektrischen Eigenschaften des Wechselspannungsnetz abhängt; insbesondere kann ein spannungs-

einprägender Wechselrichter zur asymmetrischen Einspeisung verwendet werden, wobei jedoch die Einspeiseleistungen auf den einzelnen Phasen nicht gezielt gesteuert werden können, sondern vielmehr unmittelbar vom Verhalten des angeschlossenen Wechselspannungsnetzes abhängen.

AUFGABE DER ERFINDUNG

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur asymmetrischen Einspeisung elektrischer Leistung aus einer Gleichstromquelle über einen dreiphasigen stromeinprägenden Wechselrichter in ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz aufzuzeigen, bei dem die über die einzelnen Phasen in das Wechselspannungsnetz eingespeisten Ströme bzw. Leistungen einfach und effizient unabhängig voneinander eingestellt werden können.

LÖSUNG

Die Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 sowie einen Wechselrichter gemäß Anspruch 8 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Patentansprüchen definiert.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur dreiphasigen Einspeisung elektrischer Leistung aus einer Gleichstromquelle mittels eines Wechselrichters in ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz, wobei der Wechselrichter eine Regelungsstruktur mit einem Regler und einem Multiplizierer aufweist, umfasst die folgenden Schritte:

- Messen von phasenspezifischen Netzspannungen;
- Ermitteln einer Netzfrequenz aus den gemessenen Netzspannungen;
- Erzeugen von phasenspezifischen sinusförmigen Spannungsreferenzwerten durch den Regler aus den phasenspezifisch gemessenen Netzspannungen und der ermittelten Netzfrequenz, wobei die Spannungsreferenzwerte phasenspezifische Amplituden und eine gemeinsame Frequenz aufweisen, die den jeweiligen Amplituden der gemessenen Netzspannungen der einzelnen Phasen bzw. der Frequenz der Netzspannungen entsprechen,
- Erzeugen von phasenspezifischen Stromsollwerten durch den Multiplizierer, indem Produkte aus phasenspezifisch vorgegebenen Stromamplitudenzielwerten und den phasenspezifischen Spannungsreferenzwerten gebildet und phasenspezifisch auf jeweilige Netzspannungsamplituden normiert werden,
- Verwenden der phasenspezifischen Stromsollwerte zum Ansteuern von Leistungsschaltern des Wechselrichters.

In dem Verfahren werden somit vorgegebene Stromamplitudenzielwerte erfindungsgemäß phasenspezifisch mit Spannungsreferenzwerten multipliziert, wobei die phasenspezifischen Spannungsreferenzwerte (direkt) aus den gemessenen Netzspannungen erzeugt wurden und mathematisch sinusförmige Verläufe aufweisen, deren Amplituden und Frequenz synchron zu den Netzspannungen der einzelnen Phasen verläuft. Nach einer erfindungsgemäßen phasenspezifischen Normierung auf die ermittelten Netzspannungsamplituden steht damit eine einfache Abbildung der Stromamplitudenzielwerte in passende Stromsollwerte zur Verfügung, insbesondere ohne eine vergleichsweise aufwändige Koordinatentransformation durchführen zu müssen. Die resultierenden Stromsollwerte sind wiederum phasenspezifisch und weisen einen sinusförmigen Zeitverlauf auf. Damit sind die Stromsollwerte geeignet, als Sollwerte für eine an sich bekannte Ansteuerung von Leistungsschaltern des Wechselrichters verwendet zu werden, beispielsweise im Rahmen einer herkömmlichen Pulsbreitenmodulation (PWM).

In einer Ausführungsform des Verfahrens umfasst der Regler zum Erzeugen der Spannungsreferenzwerte einen Filter, insbesondere einen Bandpassfilter, oder einen Verallgemeinerten Integrator umfasst. Insbesondere ein Verallgemeinerter Integrator (engl. „Second Order Generalized Integrator“) ist vorteilhaft zur Bestimmung der phasenspezifischen sinusförmigen Spannungsreferenzwerten geeignet, da die Ausgangswerte des Verallgemeinerten Integrators den grundsätzlichen netzfrequenten Verlauf einer sinusförmigen Netzspannung exakt nachbilden können, ohne von höherfrequenten Störungen beeinflusst zu sein.

Die Stromamplitudenzielwerte können derart vorgegeben werden, dass auf den Phasen individuell vorgegebene Wirkleistungen eingespeist werden. In herkömmlichen Verfahren wird lediglich eine insgesamt auszutauschende elektrische Leistung, mithin eine Summenleistung über alle Phasen vorgegeben und muss je nach verwendetem Koordinatensystem über komplexe Transformationen in Sollwerte umgerechnet werden. In dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es dagegen ohne weiteres möglich, die Wirkleistungen für die einzelnen Phasen mittels der Stromamplitudenzielwerte individuell vorzugeben, da die Umrechnung in phasenspezifische Stromsollwerte direkt aus den Stromamplitudenzielwerte in Verbindung mit den Spannungsreferenzwerten erfolgt.

Insbesondere können die Stromamplitudenzielwerte vorteilhaft derart vorgegeben werden, dass die ausgetauschten Wirkleistungen auf allen Phasen im Wesentlichen denselben Betrag aufweisen. Dadurch kann ein komplett symmetrischer Betrieb des Wechselrichters gewährleistet werden.

Alternativ können die Stromamplitudenzielwerte vorteilhaft derart vorgegeben werden, dass auf mindestens einer der Phasen eine Wirkleistung mit gegebenem Vorzeichen mit dem

Wechselspannungsnetz ausgetauscht wird, während auf mindestens einer der anderen Phasen eine Wirkleistung mit einem umgekehrten Vorzeichen ausgetauscht wird. Mithin ermöglicht es das Verfahren auf einfache und vorteilhafte Weise, derart asymmetrische Leistungen zu erzeugen, dass auf einer Phase Leistung vom Wechselrichter ins Wechselspannungsnetz fließt, während gleichzeitig auf einer anderen Phase Leistung aus dem Wechselspannungsnetz in den Wechselrichter fließt. Dieses Merkmal kann besonders vorteilhaft genutzt werden, wenn im Wechselspannungsnetz bereits eine signifikante Asymmetrie hinsichtlich der Leistungsflüsse in den einzelnen Phasen vorliegt.

In einer vorteilhaften Ausführungsform des Verfahrens können mittels eines weiteren Multiplizierers Produkte aus phasenspezifisch vorgegebenen Blindstrom-amplitudenzielwerten und jeweils um 90 Grad phasenverschobenen phasenspezifischen Spannungsreferenzwerten gebildet und zu den Produkten aus den phasenspezifisch vorgegebenen Stromamplitudenzielwerten und den phasenspezifischen Spannungsreferenzwerten addiert werden. Die resultierenden Summenwerte können sodann phasenspezifisch auf die jeweiligen Netzspannungsamplituden normiert werden. Es ergeben sich dadurch Stromsollwerte, die sowohl Wirkstrom- als auch Blindstromanteile enthalten und als Sollwerte von der Ansteuerung der Leistungsschalter des Wechselrichters verwendet werden können, so dass die Ausgangsströme des Wechselrichters phasenspezifisch sowohl Wirk- als auch Blindleistungen umfassen. Dabei können die Blindstromamplitudenzielwerte derart vorgegeben werden, dass auf den Phasen individuell vorgegebene Blindleistungen eingespeist werden.

Ein erfindungsgemäßer Wechselrichter zur dreiphasigen Einspeisung elektrischer Leistung aus einer Gleichstromquelle in ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz weist eine Regelungsstruktur auf, die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren gemäß der voranstehenden Beschreibung auszuführen.

KURZBESCHREIBUNG DER FIGUREN

Im Folgenden wird die Erfindung anhand in den Figuren dargestellter Ausführungsbeispiele weiter erläutert und beschrieben.

Fig. 1 zeigt eine an ein Wechselspannungsnetz angeschlossene Energieerzeugungsanlage;

Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform einer Regelungsstruktur eines Wechselrichters; und

Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform einer Regelungsstruktur eines Wechselrichters.

FIGURENBESCHREIBUNG

Fig. 1 zeigt eine vereinfachte Darstellung einer an ein Wechselspannungsnetz 3 angeschlossenen Energieerzeugungsanlage. Die Energieerzeugungsanlage umfasst einen Wechselrichter 2, der aus einer Gleichstromquelle 1, in Fig. 1 beispielhaft als Photovoltaik-generator dargestellt, eine elektrische Leistung entnimmt, diese in einen Wechselstrom umwandelt und über die Phasenleiter L1, L2, L3 und ggf. den Neutralleiter N in das Wechselspannungsnetz 3 einspeist. Dazu umfasst der Wechselrichter 2 insbesondere eine Wechselrichterbrücke 2a, die eine Anzahl an Leistungshalbleitern umfasst, die insbesondere in Form einer Brückenschaltung zwischen den Gleichstromeingängen und den Wechselstromausgängen des Wechselrichters 2 angeordnet sein kann. Die Leistungshalbleiter werden mittels einer geeigneten Taktung derart angesteuert, so dass durch ein getaktetes Anlegen der eingangsseitigen Gleichspannung an die Wechselstromausgänge des Wechselrichters 2 Wechselströme auf den Phasenleitern L1, L2, L3 und ggf. N angeregt werden, die phasenspezifisch vorgebbaren Stromsollwerten I_{abc_soll} entsprechen. Dazu kann die Wechselrichterbrücke 2a eine aus dem Stand der Technik bekannte interne Ansteuerung umfassen, die hier nicht näher ausgeführt wird.

Der Wechselrichter 2 weist eine Steuerung 4 auf, die insbesondere für die Betriebsführung des Wechselrichters 2 verantwortlich ist. Dazu umfasst die Steuerung 4 beispielsweise Funktionen wie Starten und Stoppen des Wechselrichters 2, Einstellen und Optimieren der Spannung am Gleichstromeingang des Wechselrichters, Fehlerüberwachung und ähnliches. Insbesondere kann die Steuerung 4 mit der Wechselrichterbrücke 2a zusammenwirken, indem Messwerte aus der Wechselrichterbrücke 2a an die Steuerung 4 übertragen werden und/oder indem die Steuerung 4 grundlegende Betriebszustände der Wechselrichterbrücke 2a vorgibt, z.B. einen Normalbetrieb oder eine Notabschaltung.

Darüber hinaus kann die Steuerung 4 mit einer weiteren externen Mess- oder Steuereinheit 20 verbunden sein und Daten austauschen. Bei der externen Mess- oder Steuereinheit 20 kann es sich beispielsweise um eine Leistungsmesseinrichtung an einem Netzanschlusspunkt des Wechselrichter 2 zum Wechselspannungsnetz 3 handeln. Alternativ oder zusätzlich kann die externe Mess- oder Steuereinheit 20 eine Steuereinheit einer Energieerzeugungsanlage sein, die neben dem Wechselrichter 2 weitere elektrische Einrichtungen wie Messstellen, Erzeuger, Speicher und/oder Verbraucher umfasst, wobei die Steuereinheit 20 einer solchen Anlage mit mehreren der weiteren elektrischen Einrichtungen der Anlage verbunden sein und ggf. deren elektrisches Verhalten beeinflussen oder steuern kann.

Der Wechselrichter 2 umfasst weiterhin eine Regelungsstruktur 10. Die Regelungsstruktur 10 ist mit Spannungsmessmitteln 5 verbunden, die jeweils einem der Phasenleiter L1, L2 bzw. L3 sowie mit dem Neutralleiter N zugeordnet sind. Die Spannungsmessmittel 5 erfassen die Netzspannungen U_{abc} der einzelnen Phasen. Die Regelungsstruktur 10 empfängt von den Spannungsmessmitteln 5 die gemessenen Netzspannungen U_{abc} . Für den Aufbau geeigneter Spannungsmessmittel 5 sind dem Fachmann aus dem Stand der Technik verschiedene Ausführungsformen bekannt, so dass die konkrete Ausführung der Spannungsmessmittel 5 gemäß Fig. 1 lediglich beispielhaft zu verstehen ist.

Die Regelungsstruktur 10 ist weiterhin mit der Steuerung 4 des Wechselrichters 2 verbunden. Die Steuerung 4 übermittelt Parameter an die Regelungsstruktur 10. Die Regelungsstruktur 10 ist dazu eingerichtet, phasenspezifische Stromsollwerte I_{abc_soll} an die Wechselrichterbrücke 2a auszugeben, wobei die Stromsollwerte I_{abc_soll} durch die Regelungsstruktur 10 in Abhängigkeit von den Parametern der Steuerung 4 und von den gemessenen Netzspannungen U_{abc} ermittelt werden. Die Wechselrichterbrücke 2a empfängt die Stromsollwerte I_{abc_soll} und erzeugt anhand einer an sich bekannten internen Ansteuerung der Leistungshalbleiter der Wechselrichterbrücke 2a getaktete Ausgangsspannungen, die dazu geeignet sind, Ausgangsströme anzuregen, die sich an den Stromsollwerten I_{abc_soll} orientieren und diesen insbesondere im Normalbetrieb des Wechselrichters 2 weitgehend entsprechen.

Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Regelungsstruktur 10 des Wechselrichters 2. Die Regelungsstruktur 10 umfasst einen Regler 11. Der Regler 11 empfängt verschiedene Eingangsgrößen. Diese Eingangsgrößen umfassen allgemeine Parameter, die insbesondere von der Steuerung 4 des Wechselrichters 2 vorgegeben sein können, sowie die gemessenen Netzspannungen U_{abc} . Weiterhin gehört eine Netzfrequenz f_{Netz} zu den Eingangsgrößen des Reglers 11, wobei die Netzfrequenz f_{Netz} aus den gemessenen Netzspannungen U_{abc} ermittelt werden kann, beispielsweise mittels einer Phasenregelschleife PLL oder eines anderen gängigen Verfahrens.

Aus den Momentanwerten der Netzspannungen U_{abc} der drei Phasen des Wechselspannungsnetzes 2 und der Netzfrequenz f_{Netz} ermittelt der Regler 11 momentane Spannungsreferenzwerte U_{ref} für die drei Phasen und gibt diese aus. Zusätzlich kann eine Rückkopplung der ausgegebenen Spannungsreferenzwerte U_{ref} auf einen Eingang des Reglers 11 vorgesehen sein.

Der Regler 11 ist derart ausgelegt, dass die Spannungsreferenzwerte U_{ref} einerseits abweichend von den real gemessenen Netzspannungen U_{abc} einen ideal sinusförmigen Verlauf aufweisen, d.h. drei gegeneinander phasenversetzten Sinusfunktionen folgen. Andererseits entsprechen sowohl die Amplituden der Spannungsreferenzwerte U_{ref} den Amplituden der gemessenen Netzspannungen U_{abc} als auch die Frequenz der Spannungsreferenzwerte U_{ref} der Netzfrequenz f_{Netz} .

Somit bilden die Spannungsreferenzwerte U_{ref} die Verläufe der Netzspannungen in idealisierter Form nach, indem die Spannungsreferenzwerte U_{ref} hinsichtlich Frequenz und Amplitude netzspannungssynchrone Sinusverläufe aufweisen. Dies wird insbesondere erreicht, indem der Regler 11 eine frequenzselektive Regelung umfasst. Dazu ist beispielsweise ein Bandpassfilter geeignet. Durch die Rückkopplung der Spannungsreferenzwerte U_{ref} an den Regler 11, ggf. nach einer Skalierung und/oder Verzögerung, kann insbesondere ein sogenannter Verallgemeinerter Integrator als Regler 11 eingesetzt werden, um die Ermittlung der Spannungsreferenzwerte U_{ref} weiter verbessert auszugestalten.

Die Regelungsstruktur 1 umfasst weiterhin einen Multiplizierer 12. Der Multiplizierer 12 empfängt die phasenspezifischen Spannungsreferenzwerte U_{ref} vom Regler 11 und phasenspezifische Netzspannungsamplituden U_d , die beispielsweise über die Phasenregelschleife PLL aus den gemessenen Netzspannungen U_{abc} ermittelt werden können.

An einem weiteren Eingang des Multiplizierer 12 werden phasenspezifische Stromamplitudenzielwerte I_{d_soll} zur Verfügung gestellt. Die Stromamplitudenzielwerte I_{d_soll} können insbesondere aus drei Werten bestehen, die die gewünschten Amplituden der Ausgangsströme des Wechselrichters 2 für die drei Phasen des Wechselspannungsnetzes 3 vorgeben. Die gleichzeitig für die drei Phasen geltenden Stromamplitudenzielwerte I_{d_soll} können dabei grundsätzlich weitgehend frei gewählt werden, zumindest im Rahmen der Leistungsfähigkeit der an den Wechselrichter 2 angeschlossenen Gleichstromquelle 1. Insbesondere ist es möglich, sowohl identische als auch deutlich unterschiedliche Stromamplitudenzielwerte I_{d_soll} für die einzelnen Phasen vorzugeben, wobei die Stromamplitudenzielwerte I_{d_soll} auch unterschiedliche Vorzeichen aufweisen können, d.h. unterschiedliche Flussrichtungen

der Wirkleistung vom Wechselrichter 2 in das Wechselspannungsnetz 3 bzw. umgekehrt repräsentieren.

Die Stromamplitudenzielwerte I_{d_soll} können entsprechend Fig. 2 in der Regelungsstruktur 10 erzeugt werden, insbesondere in Abhängigkeit von den Parametern, die von der Steuerung 4 des Wechselrichters 2 an die Regelungsstruktur 10 übermittelt werden. Alternativ können die Stromamplitudenzielwerte I_{d_soll} auch von der Steuerung 4 direkt an den Multiplizierer 12 übermittelt werden.

In dem Multiplizierer 12 werden die Stromamplitudenzielwerte I_{d_soll} phasenindividuell mit den netzfrequenten Spannungsreferenzwerten U_{ref} multipliziert und durch die phasenindividuellen Netzspannungsamplituden U_d dividiert. Als Ergebnis gibt der Multiplizierer 12 phasenindividuelle Stromsollwerte I_{abc_soll} aus, die auf die tatsächliche Amplitude der Netzspannung der jeweiligen Phase normiert sind.

Fig. 3 zeigt eine erweiterte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Ergänzend zu der Ausführungsform gemäß Fig. 2 werden in der Ausführungsform gemäß Fig. 3 vorgegebene Blindstromamplitudenzielwerte I_{q_soll} verarbeitet. Die Stromamplitudenzielwerte I_{d_soll} geben die gewünschten Amplituden der Ausgangsströme des Wechselrichters 2 vor, die jeweils in Phase mit den Netzspannungen auf den einzelnen Phasen sind, so dass die Stromamplitudenzielwerten I_{d_soll} mittelbar die phasenspezifischen Wirkleistungen vorgeben. Die Blindstromamplitudenzielwerte I_{q_soll} dagegen geben gewünschte phasenspezifische Amplituden von Ausgangsströmen des Wechselrichters 2 vor, die gegenüber den Netzspannungen auf den einzelnen Phasen jeweils um 90 Grad phasenverschoben sind, so dass die Blindstromamplitudenzielwerte I_{q_soll} mittelbar phasenspezifische Blindleistungen vorgeben. Es versteht sich, dass diese Phasenverschiebung wahlweise einer Unter- oder einer Übererregung entsprechen kann, d.h. ein positives oder negatives Vorzeichen aufweisen kann.

Konkret können die Spannungsreferenzwerte U_{ref} mittels eines Phasenschiebers 13 um 90 Grad phasenverschoben werden. Der Phasenschieber 13 kann dazu beispielsweise eine Transformation in ein Alpha-Beta-0-Koordinatensystem und zurück umfassen, wobei die Phasenverschiebung um 90 Grad im Alpha-Beta-0-Koordinatensystem besonders einfach durchgeführt werden kann. Die derart phasenverschobenen Spannungsreferenzwerte \hat{U}_{ref} werden in einem zweiten Multiplizierer 14 mit den vorgegebenen Blindstromamplitudenzielwerten I_{q_soll} multipliziert. Die Multiplikation im Multiplizierer 14 ergibt Blindstromsollwerte, die in einem Addierer 15 zu Wirkstromsollwerten addiert werden, die mittels des Multiplizierers 12' entsprechend Fig. 2 aus den Spannungsreferenzwerten U_{ref} und den Stromamplitudenzielwerten I_{d_soll} erzeugt werden.

Die vom Addierer 15 berechnete Summe der Wirk- und Blindstromsollwerte wird in einem weiteren Multiplizierer 16 durch die phasenindividuellen Netzspannungsamplituden U_d dividiert. Als Ergebnis gibt der Multiplizierer 16 phasenindividuelle Stromsollwerte I_{abc_soll} aus, die sowohl Wirkstrom- als auch Blindstromanteile umfassen und auf die tatsächliche Amplitude der Netzspannung der jeweiligen Phase normiert sind.

Die derart gemäß Fig. 2 oder Fig. 3 berechneten Stromsollwerte I_{abc_soll} werden gemäß Fig. 1 zur Ansteuerung der Leistungshalbleiterschalter der Wechselrichterbrücke 2a verwendet. Dazu kann die Wechselrichterbrücke 2a eine aus dem Stand der Technik bekannte interne Ansteuerung umfassen, die dafür sorgt, dass die Leistungshalbleiter der Wechselrichterbrücke 2a derart getaktet werden, dass die vom Wechselrichter 2 in das Wechselspannungsnetz 3 eingespeisten Ströme den von der Regelungsstruktur 10 vorgegebenen Stromsollwerten I_{abc_soll} entsprechen. Derartige Regelkreise sind dem Fachmann bekannt, beispielsweise als AC-Stromregler mit Pulsweitenmodulation (PWM), und daher hier nicht näher ausgeführt.

In konkreten Ausführungsformen der Erfindung können die Stromamplitudenzielwerte derart gewählt werden, dass mindestens eines der folgenden Ziele erreicht wird.

Charakterisierung von Bauteilen des Wechselrichters 2:

Zur Charakterisierung von Bauteilen des Wechselrichters 2 kann ein Prüfschritt vorgesehen sein, der ggf. zeitlich separat von einem Normalbetrieb des Wechselrichters 2 durchgeführt werden kann. Konkret kann eine Kapazität eines üblicherweise geteilten Gleichspannungszwischenkreises eines Neutralpunkt-geklemmten (NPC) Wechselrichters 2 ermittelt werden, indem für zwei der drei Phasen je ein positiver Stromamplitudenzielwert I_{d_soll} vorgegeben wird, während für die dritte der drei Phasen ein negativer Stromamplitudenzielwert I_{d_soll} vorgegeben wird, wobei die Summe der Stromamplitudenzielwert I_{d_soll} gleich null ist. Mittels der erfindungsgemäßen Regelungsstruktur 10 wird die Wechselrichterbrücke 2a dazu veranlasst, entsprechende Ströme in den Phasen L1, L2, L3 zu erzeugen. Im Ergebnis des derartigen Betriebs des Wechselrichters 2 sind die Ströme auf den Phasen mit positivem Stromamplitudenzielwert I_{d_soll} gleichphasig mit dem Verlauf der Netzspannung U_{abc} auf diesen Phasen, während der Strom in der Phase mit negativem Stromamplitudenzielwert I_{d_soll} gegenphasig zum Verlauf der Netzspannung U_{abc} dieser Phase ist. Da die Summe der Stromamplitudenzielwerte I_{d_soll} gleich null gewählt wurde, wird insgesamt keine Wirkleistung mit dem Wechselspannungsnetz 3 ausgetauscht. Aufgrund des sinusförmigen Verlaufs der Wechselströme entsteht jedoch eine dynamische Umverteilung der Energie in den beiden Hälften des Gleichspannungszwischenkreises. Diese dynamische Umverteilung

lässt sich messtechnisch erfassen und auswerten, um die Teil-Kapazitäten des Gleichspannungszwischenkreises zu ermitteln.

Reale Nulleinspeisung:

In einer Anlage, die mehrere, insbesondere einphasig angeschlossene elektrische Einheiten umfasst, die über einen gemeinsamen Netzanschlusspunkt an das Wechselspannungsnetz 3 angeschlossen sind, kann es zu asymmetrischen Leistungsflüssen am Netzanschlusspunkt kommen, wobei auf einzelnen Phasen Leistung aus dem Wechselspannungsnetz 2 in die Anlage fließt, während auf anderen Phasen Leistung von der Anlage in das Wechselspannungsnetz 2 fließt. Dem kann entgegengewirkt werden, indem die Leistungen am Netzanschlusspunkt phasenspezifisch gemessen werden und die Stromamplitudenzielwerte I_{d_soll} so modifiziert werden, beispielsweise von einer zentralen Anlagensteuerung 20 oder der Steuerung 4 des Wechselrichters 2 selbst, dass die Leistungen am Netzanschlusspunkt für jede Phase einzeln auf einen vorgegebenen Wert, insbesondere auf null geregelt wird.

Sicherungsschutz.

Analog zur Nulleinspeisung kann die am Netzanschlusspunkt über einzelne Phasen fließende Leistung begrenzt werden, indem entsprechend gegenläufige Änderungen der Stromamplitudenzielwerte I_{d_soll} für die betroffene Phase vorgegeben werden. Dadurch können effektiv Überströme auf einzelnen Phasen verhindert werden, solange die Summe der Leistungen auf allen Phasen kleiner als eine insgesamt am Netzanschlusspunkt zulässige Leistung ist.

BEZUGSZEICHENLISTE

1	Gleichstromquelle
2	Wechselrichter
3	Wechselspannungsnetz
4	Steuerung
5	Spannungsmessmittel
10	Regelungsstruktur
11	Regler
12, 12'	Multiplizierer
13	Phasenschieber
14	Multiplizierer
15	Addierer
16	Multiplizierer
20	Mess- oder Steuereinheit
L1, L2, L3	Phasenleiter
N	Neutralleiter
U _{abc}	Netzspannungen
I _{abc_soll}	Strom-sollwerte
f _{Netz}	Netzfrequenz
U _{ref} , \hat{U}_{ref}	Spannungsreferenzwerte
U _d	Netzspannungsamplituden
I _{d_soll}	Stromamplitudenzielwerte
I _{q_soll}	Blindstromamplitudenzielwerte

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur dreiphasigen Einspeisung elektrischer Leistung aus einer Gleichstromquelle (1) mittels eines Wechselrichters (2) in ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz (3), wobei der Wechselrichter (2) eine Regelungsstruktur (10) aufweist, wobei die Regelungsstruktur (10) einen Regler (11) und einen Multiplizierer (12) umfasst, mit den folgenden Schritten:

- Messen von phasenspezifischen Netzspannungen (U_{abc});
- Ermitteln einer Netzfrequenz (f_{Netz}) aus den gemessenen Netzspannungen (U_{abc});
- Erzeugen von phasenspezifischen sinusförmigen Spannungsreferenzwerten (U_{ref}) durch den Regler (11) aus den phasenspezifisch gemessenen Netzspannungen (U_{abc}) und der ermittelten Netzfrequenz (f_{Netz}), wobei die Spannungsreferenzwerte (U_{ref}) phasenspezifische Amplituden und eine gemeinsame Frequenz aufweisen, die den jeweiligen Amplituden bzw. der Frequenz der gemessenen Netzspannungen (U_{abc}) der einzelnen Phasen entsprechen,
- Erzeugen von phasenspezifischen Stromsollwerten (I_{abc_soll}) durch den Multiplizierer (12, 12'), indem Produkte aus phasenspezifisch vorgegebenen Stromamplitudenzielwerten (I_{d_soll}) und den phasenspezifischen Spannungsreferenzwerten (U_{ref}) gebildet und phasenspezifisch auf jeweilige Netzspannungsamplituden (U_d) normiert werden,
- Verwenden der phasenspezifischen Stromsollwerte (I_{abc_soll}) zum Ansteuern von Leistungsschaltern des Wechselrichters.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Regler (11) zum Erzeugen der Spannungsreferenzwerte (U_{ref}) einen Bandpassfilter oder einen Verallgemeinerten Integrator umfasst.

3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, wobei die Stromamplitudenzielwerte (I_{d_soll}) derart vorgegeben werden, dass auf den Phasen individuell vorgegebene Wirkleistungen eingespeist werden.

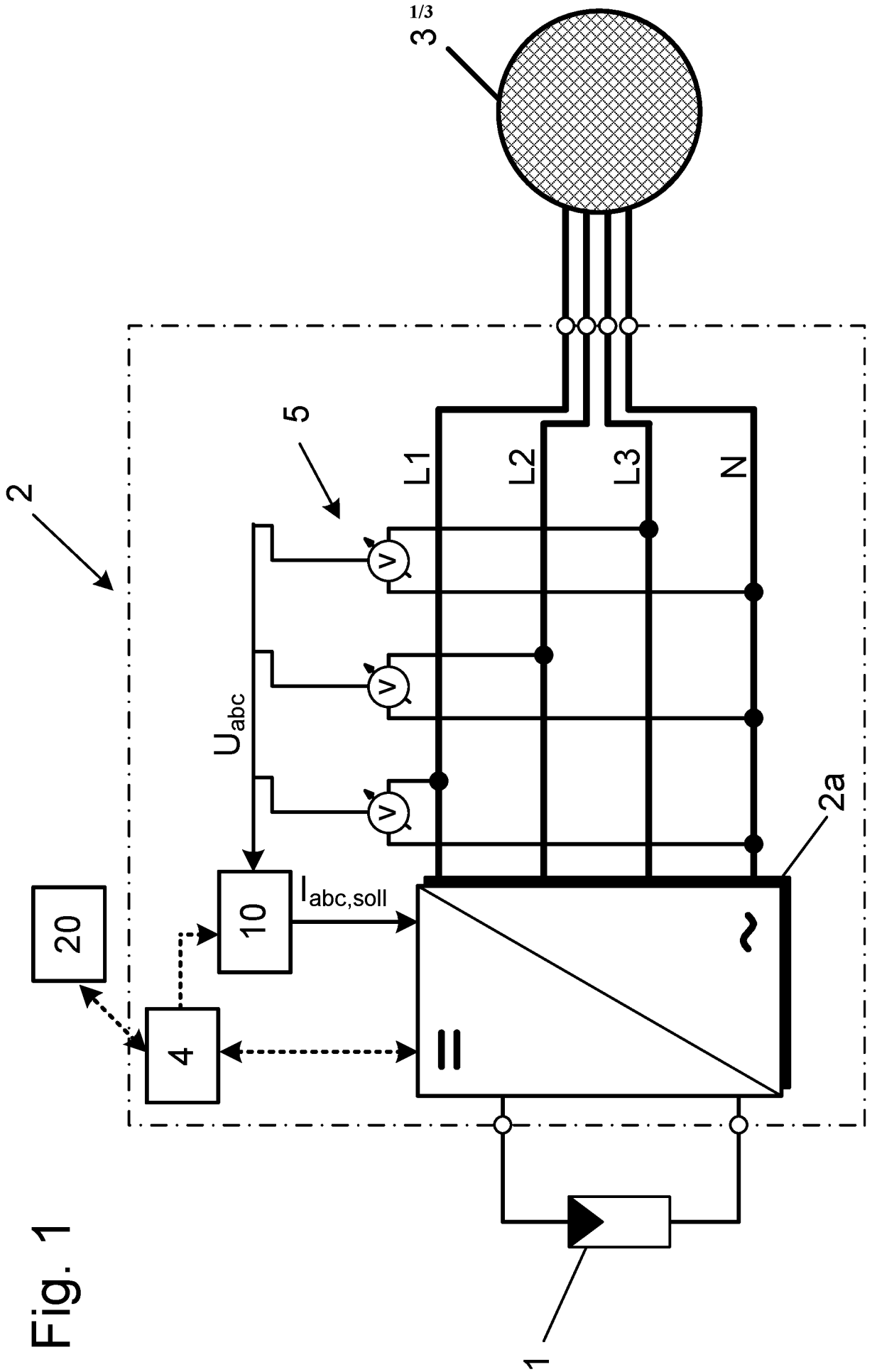
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Stromamplitudenzielwerte (I_{d_soll}) derart vorgegeben werden, dass auf allen Phasen im Wesentlichen die gleiche Wirkleistung eingespeist wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Stromamplitudenzielwerte (I_{d_soll}) derart vorgegeben werden, dass auf mindestens einer der Phasen eine Wirkleistung eingespeist wird, die ein umgekehrtes Vorzeichen im Vergleich zu einer Wirkleistung auf mindestens einer anderen Phase aufweist.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei mittels eines weiteren Multiplizierers (16) Produkte aus phasenspezifisch vorgegebenen Blindstromamplitudenzielwerten (I_{q_soll}) und jeweils um 90 Grad phasenverschobenen phasenspezifischen Spannungsreferenzwerten (\hat{U}_{ref}) gebildet und zu den Produkten aus den phasenspezifisch vorgegebenen Stromamplitudenzielwerten (I_{d_soll}) und den phasenspezifischen Spannungsreferenzwerten (U_{ref}) addiert werden, wobei die resultierende Summenwerte phasenspezifisch auf die jeweiligen Netzspannungsamplituden (U_d) normiert werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Blindstromamplitudenzielwerte (I_{q_soll}) derart vorgegeben werden, dass auf den Phasen individuell vorgegebene Blindleistungen eingespeist werden.

8. Wechselrichter (2) zur dreiphasigen Einspeisung elektrischer Leistung aus einer Gleichstromquelle (1) in ein dreiphasiges Wechselspannungsnetz (3), wobei der Wechselrichter (2) eine Regelungsstruktur (10) aufweist, wobei die Regelungsstruktur (10) dazu eingerichtet ist, ein Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche auszuführen.



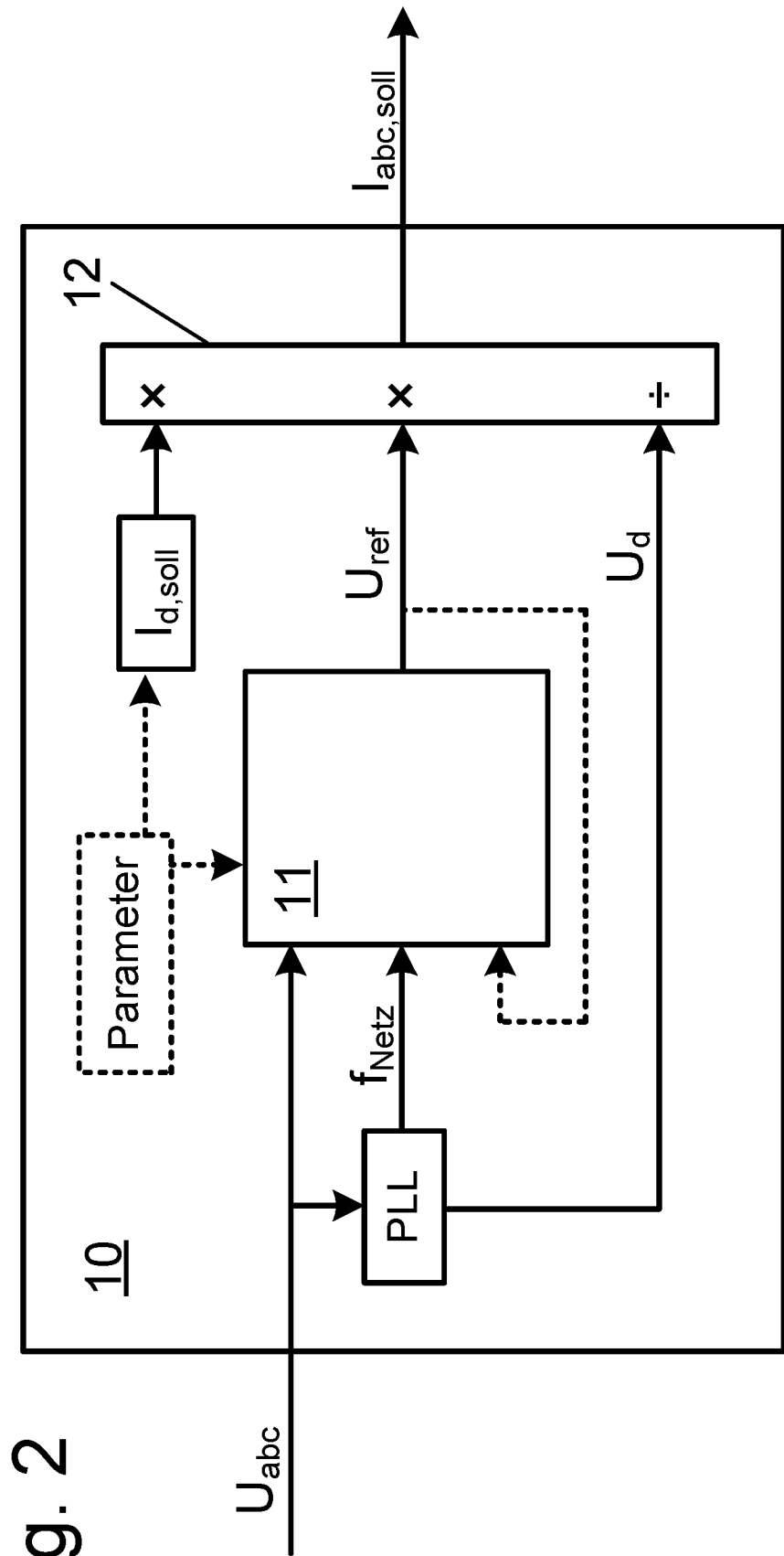


Fig. 2

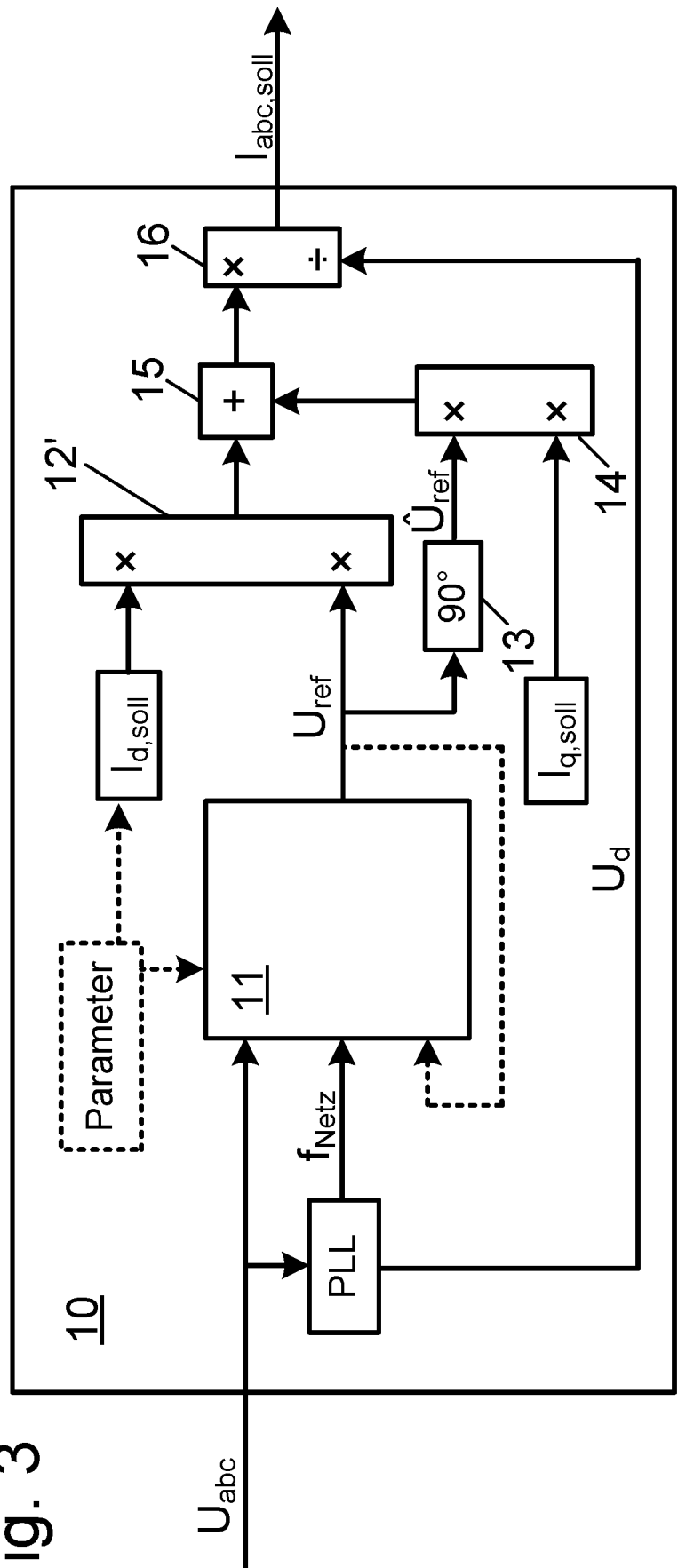


Fig. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/056876

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
H02J 3/44 (2006.01)i; H02M 7/5387 (2007.01)i; H02J 3/26 (2006.01)i		
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) H02J; 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.
A	US 2005281067 A1 (DENG DUO [US] ET AL) 22 December 2005 (2005-12-22) paragraphs [0007], [0008] paragraphs [0043] - [0072] figures 1,5-7	1-8
A	DE 102012220582 A1 (WOBBEN PROPERTIES GMBH [DE]) 03 July 2014 (2014-07-03) cited in the application the whole document	1-8
A	DE 102011085676 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 08 May 2013 (2013-05-08) cited in the application the whole document	1-8
A	US 2007179720 A1 (BECKER HOLGER [DE] ET AL) 02 August 2007 (2007-08-02) the whole document	1-8
A	EP 2348597 A1 (SMA SOLAR TECHNOLOGY AG [DE]) 27 July 2011 (2011-07-27) cited in the application the whole document	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 21 April 2020		Date of mailing of the international search report 30 April 2020
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Berger, Josef Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2020/056876

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
US	2005281067	A1	22 December 2005	NONE	
DE	102012220582	A1	03 July 2014	AR 094451 A1	05 August 2015
				AU 2013343788 A1	21 May 2015
				BR 112015010612 A2	11 July 2017
				CA 2887594 A1	15 May 2014
				CL 2015001263 A1	02 October 2015
				CN 104782013 A	15 July 2015
				DE 102012220582 A1	03 July 2014
				DK 2917989 T3	06 January 2020
				EP 2917989 A2	16 September 2015
				JP 6238998 B2	29 November 2017
				JP 2015535674 A	14 December 2015
				KR 20150082609 A	15 July 2015
				MX 347707 B	09 May 2017
				NZ 707679 A	31 March 2016
				PT 2917989 T	09 January 2020
				TW 201433043 A	16 August 2014
				UA 115999 C2	25 January 2018
				US 2015300320 A1	22 October 2015
				WO 2014072159 A2	15 May 2014
				ZA 201502263 B	28 April 2016
DE	102011085676	A1	08 May 2013	DE 102011085676 A1	08 May 2013
				WO 2013064377 A2	10 May 2013
US	2007179720	A1	02 August 2007	DE 102006003904 A1	09 August 2007
				EP 1841050 A2	03 October 2007
				US RE44901 E	20 May 2014
				US 2007179720 A1	02 August 2007
EP	2348597	A1	27 July 2011	AU 2011208717 A1	21 June 2012
				CA 2786512 A1	28 July 2011
				CN 102714414 A	03 October 2012
				EP 2348597 A1	27 July 2011
				EP 2526606 A1	28 November 2012
				JP 2013517757 A	16 May 2013
				KR 20120113271 A	12 October 2012
				US 2012280566 A1	08 November 2012
				WO 2011089181 A1	28 July 2011

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 2007/179720 A1 (BECKER HOLGER [DE] ET AL) 2. August 2007 (2007-08-02) das ganze Dokument	1-8
A	----- EP 2 348 597 A1 (SMA SOLAR TECHNOLOGY AG [DE]) 27. Juli 2011 (2011-07-27) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/056876

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2005281067 A1	22-12-2005	KEINE	

DE 102012220582 A1	03-07-2014	AR 094451 A1	05-08-2015
		AU 2013343788 A1	21-05-2015
		BR 112015010612 A2	11-07-2017
		CA 2887594 A1	15-05-2014
		CL 2015001263 A1	02-10-2015
		CN 104782013 A	15-07-2015
		DE 102012220582 A1	03-07-2014
		DK 2917989 T3	06-01-2020
		EP 2917989 A2	16-09-2015
		JP 6238998 B2	29-11-2017
		JP 2015535674 A	14-12-2015
		KR 20150082609 A	15-07-2015
		MX 347707 B	09-05-2017
		NZ 707679 A	31-03-2016
		PT 2917989 T	09-01-2020
		TW 201433043 A	16-08-2014
		UA 115999 C2	25-01-2018
		US 2015300320 A1	22-10-2015
		WO 2014072159 A2	15-05-2014
		ZA 201502263 B	28-04-2016

DE 102011085676 A1	08-05-2013	DE 102011085676 A1	08-05-2013
		WO 2013064377 A2	10-05-2013

US 2007179720 A1	02-08-2007	DE 102006003904 A1	09-08-2007
		EP 1841050 A2	03-10-2007
		US RE44901 E	20-05-2014
		US 2007179720 A1	02-08-2007

EP 2348597 A1	27-07-2011	AU 2011208717 A1	21-06-2012
		CA 2786512 A1	28-07-2011
		CN 102714414 A	03-10-2012
		EP 2348597 A1	27-07-2011
		EP 2526606 A1	28-11-2012
		JP 2013517757 A	16-05-2013
		KR 20120113271 A	12-10-2012
		US 2012280566 A1	08-11-2012
		WO 2011089181 A1	28-07-2011
