

(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
20. September 2012 (20.09.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2012/123559 A2

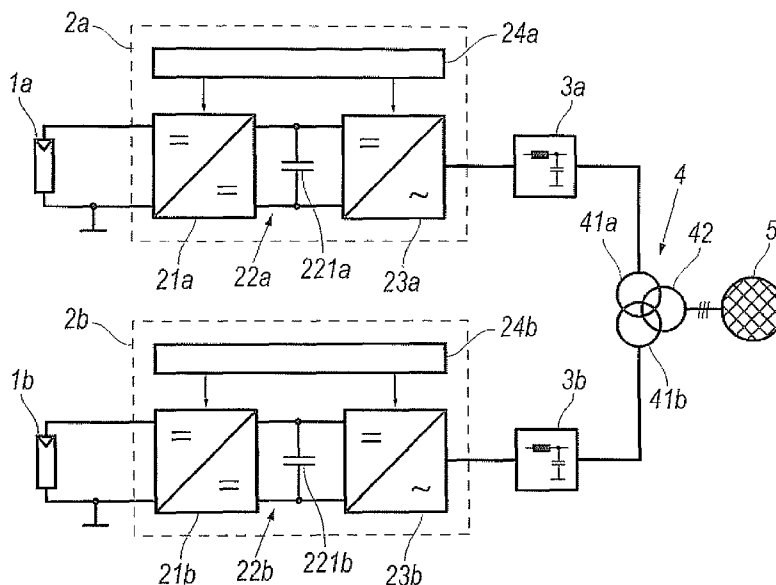
- (51) Internationale Patentklassifikation:
H02M 7/48 (2007.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/054617
- (22) Internationales Anmeldedatum:
15. März 2012 (15.03.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2011 001 305.9 16. März 2011 (16.03.2011) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SMA Solar Technology AG** [DE/DE]; Sonnenallee 1, 34266 Niestetal (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **EBERHARDT, Thomas** [DE/DE]; Oberrode 1, 36251 Bad Hersfeld (DE). **PETSCHENKA, Josef** [DE/DE]; Ginsterweg 46, 34125 Kassel (DE). **KRAUSE, Christopher** [DE/DE]; Mordian-Loer-Weg 74b, 33181 Bad Wünnenberg (DE). **LANDAU, Christian** [DE/DE]; Hinter den Höfen 1, 34225 Baunatal (DE).
- (74) Anwälte: **KLEINE, Hubertus** et al.; Loesenbeck Specht Dantz, Am Zwinger 2, 33602 Bielefeld (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GM, GN, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MAINS-COUPLED INVERTER, INVERTER ARRANGEMENT AND METHOD FOR OPERATING AN INVERTER ARRANGEMENT

(54) Bezeichnung : NETZGEKOPPELTER WECHSELRICHTER, WECHSELRICHTERANORDNUNG UND BETRIEBSVERFAHREN FÜR EINE WECHSELRICHTERANORDNUNG

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a mains-coupled inverter (2) for feeding current into an energy supply network (5) via a transformer (4), which inverter has an output bridge arrangement which is driven via a pulse width modulator (241), wherein a periodic auxiliary signal is used to determine switching times of the output bridge arrangement. The inverter (2) also has a synchronization unit (241) for synchronizing the phase of the auxiliary signal with the energy supply network (5). The inverter (2) is distinguished by the fact that the synchronization unit (241) is set up to set a predefined phase offset ($\Delta\Phi_0$) of the periodic auxiliary signal with respect to a phase of the energy supply network (5). The invention also relates to an inverter arrangement having at least two such mains-coupled inverters (2) which are inductively coupled to one another on the AC side, and to a method for operating an inverter arrangement.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2012/123559 A2

**Veröffentlicht:**

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

Die Erfindung betrifft einen netzgekoppelten Wechselrichter (2) zur Einspeisung von Strom über einen Transformator (4) in ein Energieversorgungsnetz (5), der eine Ausgangsbrückenordnung aufweist, die über einen Pulsweitenmodulator (241) angesteuert wird, wobei zur Bestimmung von Schaltzeitpunkten der Ausgangsbrückenordnung ein periodisches Hilfssignal eingesetzt wird. Weiter weist der Wechselrichter (2) eine Synchronisationseinheit (241) zur Phasensynchronisation des Hilfssignals mit dem Energieversorgungsnetz (5) auf. Der Wechselrichter (2) zeichnet sich dadurch aus, dass die Synchronisationseinheit (241) zur Einstellung eines vorgegebenen Phasenoffsets ($\Delta\Phi_0$) des periodischen Hilfssignals zu einer Phase des Energieversorgungsnetzes (5) eingerichtet ist. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Wechselrichteranordnung mit mindestens zwei solcher netzgekoppelten Wechselrichter (2), die wechselstromseitig miteinander induktiv gekoppelt sind, sowie ein Betriebsverfahren für eine Wechselrichteranordnung.

Netzgekoppelter Wechselrichter, Wechselrichteranordnung und Betriebsverfahren für eine Wechselrichteranordnung

5 Die Erfindung betrifft einen netzgekoppelten Wechselrichter zur Einspeisung von Strom über einen Transformator in ein Energieversorgungsnetz, wobei der Wechselrichter eine Ausgangsbrückenschaltung aufweist, die über einen Pulsweitenmodulator angesteuert wird, wobei zur Bestimmung von Schaltzeitpunkten der Ausgangsbrückenordnung ein periodisches Hilfssignal eingesetzt
10 wird. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Anordnung mit mindestens zwei derartigen Wechselrichtern und ein Verfahren zum Betreiben einer solchen Wechselrichteranordnung.

Netzgekoppelte Wechselrichter werden in Energieversorgungsanlagen, beispielsweise Photovoltaikanlagen und Windenergieanlagen, eingesetzt. Bei
15 netzgekoppelten Wechselrichter folgt ein am Ausgang des Wechselrichters ausgegebener Spannungs- bzw. Stromverlauf dem entsprechenden Verlauf im Energieversorgungsnetz. In den Energieversorgungsanlagen erzeugen Generatoren, beispielsweise Photovoltaikmodule in einer Serien- und/oder Parallelschaltung, eine Gleichspannung, die - gegebenenfalls nach einer Spannungsänderung durch einen Hochsetzsteller - einem Gleichspannungszwischenkreis
20 zugeführt wird. Gleichstrom aus dem Gleichspannungszwischenkreis wird von dem Wechselrichter in einen bezüglich seiner Frequenz und Spannung zur Einspeisung in das Energieversorgungsnetz geeigneten Wechselstrom umgewandelt. Diese Umwandlung kann dabei in ein- oder mehrphasigen, insbesondere dreiphasigen Wechselstrom erfolgen. Dabei weist der Wechselrichter eine
25 Ausgangsbrückenschaltung auf, die, je nach Anzahl der Phasen des Energieversorgungsnetzes in das eingespeist werden soll, eine oder mehrere Schaltbrücken aufweist, die üblicherweise mit Leistungshalbleiterschaltern bestückt
30 sind.

Die Leistungshalbleiterschalter werden dabei gemäß bestimmter Modulationsmuster so angesteuert, dass in Verbindung mit Filtern, die zwischen dem
Wechselrichter und dem Energieversorgungsnetz angeordnet sind, einen möglichst sinusförmigen Ausgangsstrom erzeugt wird. Bei den häufig eingesetzten
35 Pulsweiten-Modulationsverfahren (PWM – Puls Width Modulation) werden die

Leistungshalbleiterschalter mit einer Schaltfrequenz ein- und ausgeschaltet, die deutlich höher ist als die Frequenz der Wechselspannung im Energieversorgungsnetz (beispielsweise eine Schaltfrequenz von 3 bis 30 kHz gegenüber einer Netzfrequenz von 50 oder 60 Hz). Im Verlauf einer Periode der Netzfrequenz wird dabei das Tastverhältnis genannte Verhältnis zwischen der Einschaltzeit und der Ausschaltzeit innerhalb einer Schaltfrequenzperiode derart verändert, dass sich ein möglichst sinusförmiger Verlauf des Ausgangsstroms ergibt. Bekannte Ausgestaltungen zur Bestimmung der Tastverhältnisse bzw. der Schaltzeitpunkte sind beispielsweise das „Sinus-Dreieck-Modulationsverfahren“, das „Raumzeiger-Modulationsverfahren (SVM - Space Vector Modulation)“ oder modifizierte Sinus-Dreieck-Modulationsverfahren, z. B. das sogenannte „Sinus-Dreieck-Modulationsverfahren mit dritter Harmonischer“. Bei diesen PWM-Verfahren wird ein periodisches Hilfssignal, z.B. ein Dreieckssignal „Sinus-Dreieck-Modulationsverfahren“, oder ein Taktsignal bei dem „SVM-Verfahren“, zur Bestimmung der Schaltzeitpunkte eingesetzt.

Auch bei aufwändigeren Modulationsverfahren ist jedoch typischerweise die erzeugte Wechselspannung kein reines Sinussignal, sondern zeigt z.B. Frequenzkomponenten bei der Schaltfrequenz des Modulationsverfahrens, die als Spannungsrippel bezeichnet werden.

Zur Erreichung größerer Ausgangsströme oder Leistungen werden insbesondere bei größeren Photovoltaikanlagen häufig zwei oder mehr Wechselrichter parallel eingesetzt. Wenn diese Wechselrichter ausgangsspannungsseitig nicht vollständig voneinander getrennt sind, können Ausgleichsströme zwischen den Wechselrichtern auftreten, die unerwünschte zusätzliche Strombelastungen für die Leistungshalbleiterschalter der Ausgangsbrückenschaltung der Wechselrichter zur Folge haben. Solche Ausgangsströme treten beispielsweise auf, wenn Wechselrichter sowohl gleichspannungsseitig über einen gemeinsamen Zwischenkreis miteinander verbunden sind, als auch wechselfrequenzseitig, beispielsweise da sie ohne Zwischenschaltung eines Transformators unmittelbar mit dem Energieversorgungsnetz verbunden sind. Gleichspannungsseitig kann eine Kopplung auch dann gegeben sein, wenn kein gemeinsamer Zwi-

schenkreis eingesetzt wird, die Module bzw. Strings (eine Serienschaltung von Modulen) aber jeweils mit einem Anschluss geerdet sind. Wechselspannungsseitig kann eine problematische gegenseitige Beeinflussung von zwei Wechselrichtern auch über eine induktive Kopplung gegeben sein. Bei einer induktiven Kopplung zweier Wechselrichter fließen zwar keine Gleichstrom-Ausgleichsströme, es können jedoch Ausgleichsströme mit Wechselstrom-Anteilen bei höheren Frequenzen fließen, insbesondere hervorgerufen durch die oben beschriebenen nicht ganz vermeidbaren Spannungsrippel bei der Wechselrichtung. Eine solche Kopplung kann auch bei Anlagen beobachtet werden, bei denen Transformatoren zwischen den Wechselrichtern und dem Energieversorgungsnetz angeordnet sind.

In der Druckschrift DE 10 2008 056 256 A1 wird eine Wechselrichteranordnung mit mehreren parallel geschalteten Wechselrichtern vorgestellt, bei der Ausgleichsströme zwischen den Wechselrichtern dadurch vermieden werden, dass entsprechende Leistungshalbleiterschalter der einzelnen Wechselrichter zeitgleich angesteuert werden. Dieses wird dadurch erreicht, dass einer der Wechselrichter, Master-Wechselrichter genannt, Ansteuersignale für die Leistungshalbleiter generiert, die über entsprechende Leitungen an jeden der weiteren Wechselrichter, die als Slave-Wechselrichter bezeichnet werden, übertragen werden. Dieses Verfahren ist jedoch nur bei räumlich nah zueinander angeordneten Wechselrichtern praktikabel.

Die Druckschrift US 2008/0265680 A1 beschreibt eine Anordnung mehrerer Wechselrichter, die mit ihren Ausgängen unmittelbar gekoppelt sind. Die Wechselrichter werden durch PWM-Verfahren gesteuert, wobei die dabei verwendeten Hilfssignale anhand einer Netzspannung synchronisiert werden. Dadurch ist eine Übertragung von Ansteuersignalen für die Ausgangsbrückenanordnung der Wechselrichter nicht notwendig. Das Energieversorgungsnetz wird als Synchronisationsverbindung benutzt. Das Verfahren eignet sich gut für direkt zusammengeschaltete Wechselrichter. Bei induktiv, beispielsweise über Transformatoren gekoppelten Wechselrichtern, zeigt sich jedoch, dass Ausgleichsströme nicht vollständig unterbunden werden.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Anordnung von Wechselrichtern und ein Verfahren zum Betreiben einer Anordnung von Wechselrichtern zu schaffen, bei denen wechselstromseitig induktiv über einen Transformator miteinander gekoppelte Wechselrichter betrieben werden können, ohne dass problematische Ausgleichsströme auftreten und ohne dass eine Übertragung von Ansteuersignalen für die Ausgangsbrückenordnung der Wechselrichter benötigt wird. Es ist eine weitere Aufgabe, einen dafür geeigneten netzgekoppelten Wechselrichter bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Wechselrichter, eine Wechselrichteranordnung und ein Verfahren zum Betreiben einer Wechselrichteranordnung mit den jeweiligen Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind in den jeweiligen abhängigen Ansprüchen angegeben.

Gemäß einem ersten Aspekt wird die Aufgabe durch einen netzgekoppelten Wechselrichter zur Einspeisung von Strom über einen Transformator in ein Energieversorgungsnetz gelöst, der eine Ausgangsbrückenordnung aufweist, die über einen Pulsweitenmodulator angesteuert wird, wobei zur Bestimmung von Schaltzeitpunkten der Ausgangsbrückenordnung ein periodisches Hilfssignal eingesetzt wird. Der Wechselrichter weist weiter eine Synchronisationseinheit zur Phasensynchronisation des Hilfssignals mit dem Energieversorgungsnetz auf. Der Wechselrichter zeichnet sich dadurch aus, dass die Synchronisationseinheit zur Einstellung eines vorgegebenen Phasenoffsets des periodischen Hilfssignals zu einer Phase des Energieversorgungsnetzes eingerichtet ist.

Durch die Phasensynchronisation des Hilfssignals mit dem Energieversorgungsnetz können die Schaltzeitpunkte zweier Wechselrichter aufeinander abgestimmt sein, so dass keine Ausgleichsströme fließen, wobei der Phasenoffset es ermöglicht, dass innerhalb des Transformators auftretende Phasenverschiebungen kompensiert werden können. Dadurch kann auch bei induktiv gekoppelten Wechselrichtern eine Synchronisation ohne Übertragung von An-

steuersignalen für die Ausgangsbrückenordnung der Wechselrichter über das Energieversorgungsnetz erfolgen.

5 In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Wechselrichters umfasst die Synchronisationseinheit eine PLL (Phase Lock Loop)- Schaltung. Auf diese Weise kann auf einfache Weise eine Synchronisation des Hilfssignals mit dem Energieversorgungsnetz erfolgen, obwohl das Hilfssignal üblicherweise eine um ein Vielfaches höhere Frequenz aufweist als das Energieversorgungsnetz.

10 Gemäß einem zweiten Aspekt wird die Aufgabe gelöst durch eine Wechselrichteranordnung mit mindestens zwei derartigen netzgekoppelten Wechselrichtern, die wechselstromseitig miteinander gekoppelt sind. Es ergeben sich die gleichen Vorteile wie beim ersten Aspekt.

15 In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Wechselrichteranordnung sind die Wechselrichter wechselstromseitig über einen Dreiwickler-Transformator induktiv miteinander gekoppelt sind. Dreiwickler-Transformatoren sind deutlich weniger aufwändig und kostengünstiger als übliche Vierwickler-Transformatoren. Die oft nachteilige geringe Impedanz zwischen den beiden Primärwicklungen
20 bei Dreiwickler-Transformatoren ist aufgrund des Einsatzes der Wechselrichter gemäß dem ersten Aspekt unproblematisch. Dabei können die Impedanzen der Primärwicklungen auch unterschiedlich sein, da durch das angewendete Verfahren Asymmetrien kompensiert werden können.

25 Gemäß einem dritten Aspekt wird die Aufgabe durch ein Betriebsverfahren für eine Wechselrichteranordnung zur Einspeisung von Leistung in ein Energieversorgungsnetz mit mindestens zwei netzgekoppelten Wechselrichtern gelöst, wobei die Wechselrichter wechselstromseitig über mindestens einen Transformator miteinander gekoppelt sind und jeweils eine Ausgangsbrückenordnung
30 aufweisen, die pulsweitenmoduliert unter Verwendung eines periodischen Hilfssignals angesteuert wird, wobei das jeweilige periodische Hilfssignal mit dem Energieversorgungsnetz phasensynchronisiert wird. Das Betriebsverfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die periodischen Hilfssignale der beiden

gekoppelten Wechselrichter zueinander einen vorgegebenen und von Null verschiedenen Phasenoffset aufweisen können. Die Vorteile entsprechen wiederum denen des ersten und zweiten Aspekts.

5 Im Folgenden wird die Erfindung anhand von sieben Figuren in Ausführungsbeispielen dargestellt. Die Figuren zeigen:

- Figur 1 ein schematisches Blockschaltbild einer Energieversorgungs-
einrichtung mit zwei Wechselrichtern,
10
- Figur 2 eine Wiedergabe von Ausgangsspannungen in Abhängigkeit
der Zeit der beiden Wechselrichter aus dem Ausführungsbei-
spiel der Figur 1 im unsynchronisierten Fall,
- 15 Figur 3 ein Teil eines Wechselrichters in einer schematischen Über-
sichtsdarstellung in einem schematischen Blockschaltbild,
- Figur 4 eine Wiedergabe von Ausgangsspannungen in Abhängigkeit
der Zeit bei nicht induktiv gekoppelten Wechselrichtern im syn-
20 chronisierten Fall,
- Figur 5 eine auch für induktiv gekoppelte Wechselrichter einsetzbare
Synchronisationseinrichtung für einen Wechselrichter in einen
schematischen Blockschaltbild, und
25
- Figur 6 ein vereinfachtes Ersatzschaltbild eines Dreiwickler-
Transformators und
- Figur 7 ein Zeigerdiagramm zu dem in Figur 6 dargestellten Ersatz-
30 schaltbild.

Figur 1 zeigt eine Photovoltaikanlage als Energieversorgungsanlage in einem schematischen Blockschaltbild. Die Photovoltaikanlage, abkürzend im Folgen-

den als PV-Anlage bezeichnet, weist zwei Photovoltaikgeneratoren (PV-Generatoren) 1a, 1b auf, die jeweils mit einem Wechselrichter 2a, 2b verbunden sind. Der Ausgang des Wechselrichters ist jeweils über einen Filter 3a, 3b mit einem Transformator 4 verbunden. Der Transformator 4 weist zu diesem Zweck zwei getrennte Primärwicklungen 41a, 41b auf. Eine gemeinsame Sekundärwindung 42 des Transformators 4 ist zur Einspeisung der von den PV-Generatoren 1a, 1b erzeugten und in den Wechselrichtern 2a, 2b umgewandelten elektrischen Leistung in ein Energieversorgungsnetz 5 mit diesem verbunden.

10

Symbolhaft sind in der Figur die PV-Generatoren 1a, 1b jeweils nur durch das Schaltsymbol einer einzelnen Photovoltaikzelle dargestellt. Es versteht sich, dass die PV-Generatoren 1a, 1b in einer Realisierung der dargestellten PV-Anlage jeweils aus einer Mehrzahl von Photovoltaikmodulen (PV-Modulen) aufgebaut sein können, die serien- und/oder parallel verschaltet sind. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind zudem weitere Elemente von PV-Anlagen, beispielsweise gleichstromseitige (DC - Direct Current) Schaltorgane oder wechselstromseitige (AC - Alternating Current) Schaltorgane, beispielsweise Anlagentrenner oder Sicherungsorgane, in der Figur nicht wiedergegeben.

20

Die Wechselrichter 2a, 2b umfassen im dargestellten Ausführungsbeispiel jeweils einen eingangsseitigen Gleichstrom-/Gleichstrom-Wandler 21a, 21b (DC/DC-Wandler), der jeweils über einen Zwischenkreis 22a, 22b mit einem Gleichstrom-/Wechselstrom-Wandler 23a, 23b (DC/AC-Wandler) verbunden ist.

25

Es wird angemerkt, dass ein anmeldungsgemäßer Wechselrichter auch ohne einen eingangsseitigen DC/DC-Wandler aufgebaut sein kann. Im Zwischenkreis ist jeweils ein Kondensator 221a, 221b angeordnet, der der Glättung einer Zwischenkreisspannung U_z dient und eine gepulste Stromentnahme ohne Spannungseinbrüche der Zwischenkreisspannung U_z durch die DC/AC-Wandler 23a, 23b ermöglicht. Die Wechselrichter 2a, 2b weisen je eine Steuereinrichtung 24a, 24b zur Steuerung der DC/DC-Wandler 21a, 21b und der DC/AC-Wandler 23a, 23b auf. Die Steuerung der DC/DC-Wandler 21a, 21b kann dabei z.B. auch ein sogenanntes MPP (Maximum Power Point) -

30

Nachführverfahren umfassen, das dem Betreiben der PV-Generatoren 1a, 1b an einem Arbeitspunkt maximaler Leistung dient.

Die PV-Anlage ist zur Einspeisung in das Energieversorgungsnetz 5 auf drei Phasen ausgelegt. Entsprechend weisen die Wechselrichter 2a, 2b einen dreiphasigen Ausgang auf und die Filter 3a und 3b und der Transformator 4 sind dreiphasig ausgestaltet. Die Anzahl von drei Phasen ist lediglich beispielhaft zu verstehen; ein anmeldungsgemäßer Wechselrichter und eine damit aufgebaute Wechselrichteranordnung können ebenso für einen Betrieb mit einer beliebigen Anzahl an Phasen, insbesondere einen einphasigen Betrieb geeignet sein.

Die Wechselrichter 2a, 2b weisen in ihren DC/AC-Wandlern 23a, 23b Ausgangsbrückenschaltungen mit Halbleiterleistungsschaltern auf, die in einem PWM-Verfahren angesteuert werden. Das Ausgangssignal der DC/AC-Wandler 23a, 23b ist daher ein getaktetes Gleichstromsignal, wobei die Taktfrequenz, also die Zahl der Schaltzyklen pro Sekunde, im Bereich von einem Kilohertz bis zu einigen 10 Kilohertz liegen kann. Die Filter 3a, 3b, die eine Kombination von induktiven und kapazitiven Elementen umfassen, dienen der Glättung des Ausgangssignals der Wechselrichter 2a, 2b zu einem möglichst sinusförmigen Spannungsverlauf. Sie werden aus diesem Grund häufig auch als Sinusfilter bezeichnet.

Figur 2 zeigt in ihrem oberen Teil die Spannungen U_a und U_b am Ausgang der Filter 3a, 3b normiert auf eine Amplitudenspannung U_0 als Funktion der Zeit t . Dargestellt ist der Verlauf einer Periode einer Phase des Energieversorgungsnetzes 5 mit einer Periodenlänge t_0 . Die Figur 2 zeigt einen nicht synchronisierten Betrieb der Wechselrichter 2a, 2b. Die Verläufe der Spannungen U_a , U_b zeigen beide eine dem rein sinusförmigen Verlauf überlagerte Komponente mit höherer Frequenz. In ihrer Amplitude beträgt diese Komponente einige Prozent der Amplitudenspannung U_0 . Diese Komponenten mit höherer Frequenz werden auch als Spannungsrippel bezeichnet.

Im unteren Teil der Figur 2 ist eine Differenzspannung $\Delta U = U_b - U_a$ auf gleicher Zeitachse wie im oberen Teil der Figur dargestellt. Bezüglich der Spannungsachse ist der untere Teil der Figur gegenüber dem oberen vergrößert dargestellt. Der um den Nullpunkt herum schwankende Verlauf der Spannungsdifferenz ΔU zeigt, dass die beiden Wechselrichter 2a, 2b bezüglich der Sinus-Grundschiwingung einheitlich dem Spannungsverlauf des Energieversorgungsnetzes 5 folgen. Eine von Null verschiedene Differenzspannung ΔU ist jedoch bei den Spannungsrippeln zu beobachten. Beim Betrieb der PV-Anlage führt diese Differenzspannung ΔU aufgrund einer induktiven Kopplung der Ströme in den Primärwindungen 41a, 41b des Transformators 4 zu Ausgleichsströmen bei der Frequenz der Spannungsrippel, die zwischen den Kondensatoren in den Filtern 3a, 3b hin- und her fließen. Dieses ist insbesondere zu beobachten, wenn als Transformator 4 ein sogenannter Dreiwickler-Transformator eingesetzt wird, der eine geringere Impedanz zwischen den beiden Primärwicklungen aufweist als andere geeignete Transformatoren, beispielsweise die sogenannten Vierwickler-Transformatoren.

Figur 3 zeigt einen detaillierten Ausschnitt eines der Wechselrichter 2a, 2b aus der Figur 1 ebenfalls in einem Blockschaltbild. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf beide Wechselrichter 2a, 2b, die im dargestellten Ausführungsbeispiel gleich aufgebaut sind. Es wird daher auf eine Unterscheidung mit dem Index a, b bei den Bezugszeichen verzichtet.

Der DC/AC-Wandler 23 des Wechselrichters 2 weist eine Ausgangsbrückenordnung auf, von der ein Brückenweig symbolisch dargestellt ist. Bei dreiphasiger Ausführung des Wechselrichters 2 sind üblicherweise drei solcher Brückenweige vorhanden, die in der Figur durch Auslassungspunkte angedeutet sind. Jeder Brückenweig weist zwei Halbleiterleistungsschalter 231, 232 auf. Beispielhaft sind IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) Schalter dargestellt, die jeweils mit einer antiparallel geschalteten Schutzdiode versehen sind. Es können jedoch auch andere geeignete Halbleiterschalter, beispielsweise MOSFETs (Metalloxid Semiconductor Field-Effect Transistors), eingesetzt werden. Die Schalter 231, 232 werden von der Steuereinrichtung 24 angesteuert. Diese

umfasst einen Pulsweitenmodulator 241, einen Referenzspannungsgenerator 242, eine Synchronisationseinheit 243 und eine Steuereinheit 244.

5 Der Pulsweitenmodulator 241 generiert die Ansteuersignale für die Schaltelemente 231, 232 derart, dass ein ihm vorgegebener Verlauf einer Referenzspannung U_{ref} nachgebildet wird. Die Referenzspannung U_{ref} wird von dem Referenzspannungsgenerator 242 aus einem diesem zugeführten Netzspannungsverlauf des Energieversorgungsnetzes 5 gebildet. Damit folgt der am Ausgang des Wechselrichters 2 ausgegebene Spannungsverlauf dem der
10 Netzspannung; der Wechselrichter ist netzgekoppelt. Der Referenzspannungsgenerator 242 kann zur Bereitstellung der Referenzspannung U_{ref} die Spannung einer der Phasen des Energieversorgungsnetzes, im Folgenden Netzspannung U_{Netz} genannt, unmittelbar auf ein kleineres Spannungsniveau der Referenzspannung U_{ref} abbilden oder auch sich der Zwischenschaltung eines
15 Referenzspannungssinusgenerators bedienen, der über eine Phasensynchronisationsschaltung (PLL – Phase Lock Loop) mit der vorgegebenen Netzspannung U_{Netz} synchronisiert wird.

20 Der Pulsweitenmodulator 241 ist im dargestellten Ausführungsbeispiel ein Dreieck-Sinus-Modulator. Bei dieser Modulationsart wird ein Dreiecksignal U_{Δ} als periodisches Hilfssignal zur Ermittlung der Schaltpunkte der Schalter 231, 232 eingesetzt. Die Frequenz des Dreiecksignals U_{Δ} beträgt ein Vielfaches der Frequenz f_0 der Netzspannung U_{Netz} . Im dargestellten Ausführungsbeispiel wird
25 das als periodisches Hilfssignal benutzte Dreiecksignal U_{Δ} von der Synchronisationseinheit 243 erzeugt.

Figur 4 zeigt in gleicher Weise wie Figur 2 Ausgangsspannungen U_a und U_b zweier Wechselrichter, deren jeweiliges Hilfssignal auf eine gleiche Phasenlage im Bezug auf den Spannungsverlauf einer der Phasen eines Energieversorgungsnetzes eingestellt haben. Es ist im oberen Teil der Figur 4 zu erkennen,
30 dass die Spannungsverläufe U_a und U_b auf der dargestellten Skala deckungsgleich verlaufen. Dieses bestätigt die Darstellung der Differenzspannung $\Delta U =$

5 $U_b - U_a$ im unteren Teil der Figur, bei der nur minimale Abweichung von der Nulllinie zu erkennen sind. Nachteilige Ausgleichsströme, die bei einer direkten Kopplung der Ausgänge auftreten würden, sind bei Synchronisation des Dreiecksignals U_Δ auf die gleiche Phasenlage somit nicht mehr oder fast nicht mehr vorhanden.

10 Wenn die Wechselrichter jedoch nicht direkt, sondern wie bei dem Ausführungsbeispiel der Figur 1 induktiv gekoppelt sind, kann jedoch auch eine solche Synchronisation auf eine gemeinsame Phasenlage über eine der Phasen im Energieversorgungsnetz nicht verhindern, dass Ausgleichs-Wechselströme fließen.

15 Nach dem anmeldungsgemäßen Verfahren zum Betreiben einer Wechselrichteranordnung wird eine vorgegebene Phasenbeziehung zwischen dem periodischen Hilfssignal, hier dem Dreiecksignal U_Δ , und der Netzspannung U_{Netz} , repräsentiert durch die Referenzspannung U_{ref} , für die Wechselrichter der Wechselrichteranordnung derart eingestellt, dass die Hilfssignale zweier gekoppelter Wechselrichter zueinander einen vorgegebenen und von Null verschiedenen Phasenoffset $\Delta\Phi_0$ aufweisen können. Im vorliegend beschriebenen
20 Ausführungsbeispiel wird dieses durch die Synchronisationseinheit 243 vorgenommen.

25 Figur 5 zeigt den Aufbau der Synchronisationseinheit 243 aus Figur 4 detaillierter in einem Blockschaltbild. Es wird vorab darauf hingewiesen, dass in Figur 5 eine Synchronisationseinheit mit einem analogen Regelkreis für die Phasenlage des Hilfssignals für die PWM dargestellt ist. Es versteht sich, dass die Synchronisationseinheit ebenfalls über eine digital arbeitende Regelung verfügen kann.

30 Die Synchronisationseinheit weist einen Dreiecksspannungsgenerator 200 auf, der als spannungsgesteuerter Frequenzgenerator ausgeführt ist, dessen Frequenz f über ein Eingangsspannungssignal U_f gesteuert wird. Das vom Drei-

ecksspannungsgenerator 200 an einem Ausgang abgegebene Spannungssignal wird als Dreiecksignal U_{Δ} dem Pulsweitenmodulator 241 bereitgestellt.

5 Innerhalb der Synchronisationseinheit wird das Dreiecksignal U_{Δ} einem Frequenzwandler 201 zugeführt. Die Frequenz f des Dreiecksignals U_{Δ} beträgt üblicherweise ein ganzzahliges Vielfaches der Netzfrequenz f_0 des Energieversorgungsnetzes 5. Das Frequenzverhältnis f/f_0 zwischen den beiden Frequenzen liegt bevorzugt im Bereich von etwa 10 bis 100. Zur Durchführung eines Vergleichs der Phasenlagen des Dreiecksignals U_{Δ} und des niederfrequenten Netzspannungsverlaufs führt der Frequenzwandler 201 eine Frequenzteilung
10 des Dreiecksignals U_{Δ} um den genannten Faktor, sowie eine Wellenformumwandlung in ein sinusförmiges Signal durch. Eine Möglichkeit der Umwandlung besteht darin, einen umlaufenden Zähler einzurichten, dessen Zählerinhalt pro durchlaufener Periode des Dreiecksignals U_{Δ} um den Wert 1 inkrementiert wird.
15 Wenn der Zähler einen Zählerstand erreicht, der dem Frequenzverhältnis f/f_0 entspricht, wird der Zähler zurück auf einen Anfangswert von 1 gesetzt. Der Zähler durchläuft so zyklisch f/f_0 verschiedene Werte, wobei jeder zyklische Durchlauf einer Periodendauer des Sinussignals der Netzspannung U_{Netz} entspricht. In dem Frequenzwandler 201 ist eine Umwandlungstabelle abgelegt, in
20 der für jeden Zählerstand ein korrespondierender Wert einer Sinusspannung mit der Periodendauer der Netzfrequenz f_0 abgelegt ist. Am Ausgang des Frequenzwandlers 201 wird ein mittels einem Digital-/Analogwandlers erzeugtes Spannungssignal gemäß den Werten dieser Tabelle ausgegeben. Der Frequenzwandler 201 stellt somit an ihrem Ausgang ein sinusförmiges Spannungssignal bereit, das phasenstarr an das Dreieckssignal U_{Δ} des Dreieckge-
25 nerators 200 gekoppelt ist und in seiner Frequenz der Netzspannung U_{Netz} entspricht. Dieses Signal wird ebenso einem Phasenvergleich 202 zugeführt wie das von dem Referenzgenerator 242 bereitgestellte, zur Netzspannung phasenstarre Referenzsignal U_{ref} . Am Ausgang des Phasenvergleichers 202 wird
30 ein Signal $U_{\Delta\phi}$ ausgegeben, das proportional zum Phasenunterschied der beiden Eingangssignale ist. In einem Addierer 203 wird diesem Signal noch eine von einem Offseteinsteller 204 erzeugte Spannung aufsummiert, die einem einzustellenden Phasenoffset $\Delta\Phi_0$ entspricht. Das Summensignal wird als

Steuergröße einem Regelbaustein 205 zugeführt, der beispielsweise als Proportional-/Integralregler (PI-Regler) ausgeführt sein kann. Der Ausgang des Regelbausteins 205 wird in einem weiteren Addierer 206 zu einer Grundfrequenzspannung U_{f_0} , die ein Grundfrequenzeinsteller 207 ausgibt, addiert, um die Steuerspannung U_f zu erzeugen, die, wie eingangs beschrieben, die Frequenz f des Dreieckgenerators 200 steuert.

Die Synchronisationseinheit 243 umfasst so einen Phasenregelkreis (PLL) durch den die Frequenz f des Dreieckgenerators 200 über den Regelbaustein 205 ständig so nachgeregelt wird, dass eine feste Phasenbeziehung zwischen dem Dreiecksignal U_{Δ} und der Referenzspannung U_{ref} herrscht. Diese Phasenbeziehung kann dabei über den Offseteinsteller 204 eingestellt bzw. auch von einer Steuereinrichtung vorgegeben werden. Das Frequenzverhältnis f/f_0 zwischen dem Dreiecksignal U_{Δ} und der Netzspannung U_{Netz} wird über den Frequenzteiler 201 und die in diesem hinterlegte Umwandlungstabelle bestimmt. Dabei sollte die Vorgabe der Grundfrequenzspannung U_{f_0} durch den Grundfrequenzeinsteller entsprechend angepasst werden, so dass bereits beim Einschalten des Regelkreises die Grundfrequenz bereits möglichst nah an der Betriebsfrequenz des Dreieckgenerators 200 liegt.

Nachfolgend wird anhand der Figuren 6 und 7 ein Verfahren zur Bestimmung eines Phasenoffset $\Delta\Phi_0$ beschrieben, der verhindert, dass bei einer induktiven Kopplung zweier Wechselrichter Ausgleichsströme aufgrund von Spannungsrippeln auf der Ausgangsspannung der Wechselrichter fließen.

Figur 6 gibt dazu ein vereinfachtes Ersatzschaltbild des Dreiwickler-Transformators 4 aus dem Ausführungsbeispiel der Figur 1 an. In diesem vereinfachten Ersatzschaltbild sind sowohl ohmsche Widerstände der Primärwicklungen 41a, 41b und der Sekundärwicklung 42, als auch die Hauptinduktivität des Transformators 4 unberücksichtigt.

Angegeben sind die für die induktive Kopplung relevanten Streuinduktivitäten 43a, 43b der Primärwicklungen 41a bzw. 41b sowie eine Streuinduktivität 44

der Sekundärwicklung 42. An den mit den Streuinduktivitäten 43a, 43b verbundenen Eingängen des Transformators 4 liegen die Spannungen U_a bzw. U_b an. An der Streuinduktivität 44 liegt entsprechend die Netzspannung U_{Netz} an. Weiterhin sind in der Figur 6 die an den Eingängen fließenden Ströme I_a und I_b eingetragen, sowie eine Spannung U_{ab} , mit der der Knotenpunkt zwischen den Streuinduktivitäten 43a, 43b und 44 beaufschlagt ist.

Beim Betrieb des dargestellten Transformators 4 führen die Ströme I_a , I_b in Verbindung mit den Blindwiderständen der Streuimpedanz 43a, 43b zu einem Spannungsabfall U_a^{χ} bzw. U_b^{χ} über den Streuimpedanzen 43a, 43b.

Ausgleichsströme zwischen den Wechselrichtern werden dann verhindert, wenn in jedem der Teilzweige vom Eingang des Transformators 4 bis zum genannten Knotenpunkt sich die entsprechende Eingangsspannungen U_a bzw. U_b und die entsprechende Spannungsabfälle U_a^{χ} bzw. U_b^{χ} zur gleichen Knotenspannung U_{ab} addieren, wenn also gilt $U_a - U_a^{\chi} = U_b - U_b^{\chi}$, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Eingangsspannungen und die über den Streuimpedanzen 43a, 43b abfallenden Spannungen in einer komplexen Darstellung senkrecht aufeinander stehen.

In Figur 7 ist diese Bedingung in Form eines Zeigerdiagramms wiedergegeben. Die Spannungsabfälle U_a^{χ} bzw. U_b^{χ} führen zu Phasenunterschieden $\Delta\Phi_a$ und $\Delta\Phi_b$ der Eingangsspannung U_a und U_b gegenüber der Knotenspannung U_{ab} . Die Phasenverschiebungen $\Delta\Phi_a$, $\Delta\Phi_b$ sind üblicherweise unterschiedlich, da auch der Betrag der Spannungsabfälle U_a^{χ} und U_b^{χ} unterschiedlich ist. Dieser ergibt sich als Produkt aus dem Strom I_a bzw. I_b sowie dem Blindwiderstand der jeweiligen Streuinduktivität 43a bzw. 43b. Der Blindwiderstand ist wiederum für die vorgegebene Netzfrequenz proportional zur Größe des Induktivitätswerts der Streuinduktivität 43a, 43b. Zusammenfassend bedeutet dieses, dass zum einen die von einem Wechselrichter eingespeiste Leistung, denn diese bestimmt die Größe I_a , I_b , und zum anderen die Eigenschaften des Transformators 4 für die Phasenunterschiede $\Delta\Phi_a$ und $\Delta\Phi_b$ verantwortlich sind. Bezüglich

des Transformators 4 sind insbesondere die Unterschiede in den Eigenschaften der einzelnen den Wechselrichtern zugeordneten Wicklungen 41a, 41b relevant. Eine Einspeisung ohne fließende Ausgleichsströme zwischen den Wechselrichtern wird dann erreicht, wenn zwischen den Ausgangsspannungen U_a und U_b ein Phasenoffset von $\Delta\Phi_0 = \Delta\Phi_a - \Delta\Phi_b$ eingestellt wird.

Dabei kann vorgesehen sein, dass neben den Eigenschaften eines Transformators auch die elektrischen Eigenschaften einer Verbindungsstrecke zwischen dem Wechselrichter und dem Transformator berücksichtigt werden, um ihre Einflüsse auf Phasenunterschiede zu kompensieren. In diesem Sinne ggf. relevante Eigenschaften der Verbindungsstrecke sind beispielsweise die Impedanzen von Verbindungsleitungen und/oder von zwischengeschalteten Filtern.

Große Photovoltaik-Kraftwerke werden häufig aus mehreren PV-Anlagen gemäß Figur 1 aufgebaut. Wie zuvor beschrieben, werden die Wechselrichter 2 jeder PV-Anlage synchronisiert, um Ausgleichsströme zu vermeiden. Vorteilhafterweise werden beim Zusammenschalten mehrerer PV-Anlagen auf einen Netzanschlusspunkt des Energieversorgungsnetzes 5 jedoch die PV-Anlagen jeweils paarweise so synchronisiert, dass ihre jeweiligen Spannungsrippel möglichst gegenphasig (Phasenverschiebung von 180°) verlaufen und sie sich so aufheben. Bei der Synchronisationseinheit 243 gemäß der Figur 5 kann auch dieses über den Offsettingsteller 204 erfolgen. Die Wechselrichter einer ersten PV-Anlage werden im Bezug auf ihre Dreiecksspannung U_Δ gleichphasig mit einem bestimmten Phasenoffset $\Delta\Phi_0$ betrieben und die Wechselrichter einer zweiten PV-Anlage werden im Bezug auf ihre Dreiecksspannung U_Δ wiederum zueinander mit einem bestimmten Phasenoffset $\Delta\Phi'_0$ betrieben, wobei jedoch zwischen den Wechselrichtern der ersten und der zweiten PV-Anlage ein Phasenoffset von etwa 180° besteht.

In einer alternativen Ausgestaltung werden bei einem Photovoltaik-Kraftwerk mit mehreren PV-Anlagen wie zuvor beschrieben die Wechselrichter 2 jeder PV-Anlage so synchronisiert, dass ihre Ausgänge gleich verlaufende Spannungsrippel zeigen. Die einzelnen PV-Anlagen werden jedoch mit vorgegebe-

nen, von Null verschiedenen Phasenoffsets $\Delta\Phi_0$ betrieben, die bevorzugt unterschiedlich sind und möglichst gleichmäßig über den gesamten Phasenraum (0 bis 2π bzw. 0-180°) verteilt sind. Diese Ausgestaltung eignet sich insbesondere für Photovoltaik-Kraftwerke, die eine ungerade Anzahl von PV-Anlagen umfassen.

5

Bezugszeichenliste

	1	Photovoltaikgenerator (PV-Generator)
	2	Wechselrichter
5	21	DC/DC-Wandler
	22	Zwischenkreis
	221	Kondensator
	23	DC/AC-Wandler
	231, 232	Halbleiterleistungsschalter
10	24	Steuereinrichtung
	241	Phasenmodulator
	242	Referenzspannungsgenerator
	243	Synchronisationseinheit
	244	Steuereinheit
15	3	Filter
	4	Transformator
	41	Primärwicklung
	42	Sekundärwicklung
	5	Energieversorgungsnetz
20	200	Dreieckgenerator
	201	Frequenzteiler
	202	Phasenvergleichler
	203	Addierer
	204	Offseteinsteller
25	205	PI-Regler
	206	Addierer
	207	Grundfrequenzeinsteller

Ansprüche

1. Netzgekoppelter Wechselrichter (2) zur Einspeisung von Strom über einen Transformator (4) in ein Energieversorgungsnetz (5), aufweisend
5
– eine Ausgangsbrückenordnung, die über einen Pulsweitenmodulator (241) angesteuert wird, wobei zur Bestimmung von Schaltzeitpunkten der Ausgangsbrückenordnung ein periodisches Hilfssignal eingesetzt wird, und
– eine Synchronisationseinheit (241) zur Phasensynchronisation des
10
Hilfssignals mit dem Energieversorgungsnetz (5)
dadurch gekennzeichnet, dass
die Synchronisationseinheit (241) zur Einstellung eines vorgegebenen Phasenoffsets ($\Delta\Phi_0$) des periodischen Hilfssignals zu einer Phase des Energieversorgungsnetzes (5) eingerichtet ist.
15
2. Netzgekoppelter Wechselrichter nach Anspruch 1, bei dem der Pulsweitenmodulator (241) ein Sinus-Dreieck-Modulator und das periodische Hilfssignal ein Dreieckssignal (U_Δ) ist.
- 20
3. Netzgekoppelter Wechselrichter nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Synchronisationseinheit (241) eine PLL-Schaltung umfasst.
4. Netzgekoppelter Wechselrichter nach Anspruch 3, bei dem die PLL-Schaltung einen Frequenzwandler (201) mit einer Umwandlungstabelle
25
und einem DA-Wandler umfasst, zur Umwandlung der periodischen Hilfsspannung in eine phasenstarre Sinusspannung geringerer Frequenz.
5. Wechselrichteranordnung mit mindestens zwei netzgekoppelten Wechselrichtern (2), die wechselstromseitig induktiv miteinander gekoppelt sind,
30
dadurch gekennzeichnet, dass die Wechselrichter (2) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4 ausgeführt sind.

6. Wechselrichteranordnung nach Anspruch 5, bei der die Wechselrichter (2) wechselstromseitig über einen Dreiwickler-Transformator (4) miteinander gekoppelt sind.
- 5 7. Wechselrichteranordnung nach Anspruch 6, bei der der Dreiwickler-Transformator (4) zwei Primärwicklungen mit unterschiedlichen Impedanzen aufweist.
8. Betriebsverfahren für eine Wechselrichteranordnung zur Einspeisung von Leistung in ein Energieversorgungsnetz (5) mit mindestens zwei netzgekoppelten Wechselrichtern (2), die wechselstromseitig über mindestens einen Transformator (4) miteinander gekoppelt sind, und die jeweils eine Ausgangsbrückenordnung aufweisen, die pulsweitenmoduliert unter Verwendung eines periodischen Hilfssignals angesteuert wird, wobei das
10 jeweilige periodischen Hilfssignal mit dem Energieversorgungsnetz (5) phasensynchronisiert wird, dadurch gekennzeichnet, dass die periodischen Hilfssignale der beiden gekoppelten Wechselrichter (2) zueinander einen vorgegebenen, von Null verschiedenen Phasenoffset ($\Delta\Phi_0$) aufweisen.
15
9. Betriebsverfahren nach Anspruch 8, bei dem der Phasenoffset ($\Delta\Phi_0$) abhängig von einer von dem Wechselrichter (2) in das Energieversorgungsnetz (5) eingespeisten Leistung ist.
20
10. Betriebsverfahren nach Anspruch 8 oder 9, bei dem der Phasenoffset ($\Delta\Phi_0$) abhängig von der Größe einer Induktivität und/oder eines Widerstands einer mit dem Wechselrichter verbundenen Wicklung (41) des Transformators (4) ist.
25
11. Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, bei dem der Phasenoffset ($\Delta\Phi_0$) abhängig von der Größe einer Induktivität und/oder eines Widerstands einer Verbindungsstrecke zwischen dem Wechselrichter und dem Transformator (4) ist.
30

- 5 12. Betriebsverfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 11, bei dem mindestens vier netzgekoppelte Wechselrichter (2) vorgesehen sind, die paarweise wechselstromseitig miteinander gekoppelt sind, wobei die vorgegebenen, von Null verschiedenen Phasenoffsets ($\Delta\Phi_0$) der periodischen Hilfssignale für die jeweils paarweise wechselstromseitig miteinander gekoppelten und die nicht miteinander gekoppelten Wechselrichter (2) unterschiedlich sind.
- 10 13. Betriebsverfahren nach Anspruch 12, bei dem die periodischen Hilfssignale von jeweils nicht miteinander gekoppelten Wechselrichtern (2) gegenphasig sind.
- 15 14. Betriebsverfahren nach Anspruch 12, bei dem die periodischen Hilfssignale aller nicht miteinander gekoppelter Wechselrichter (2) unterschiedliche Phasenoffsets ($\Delta\Phi_0$) aufweisen.

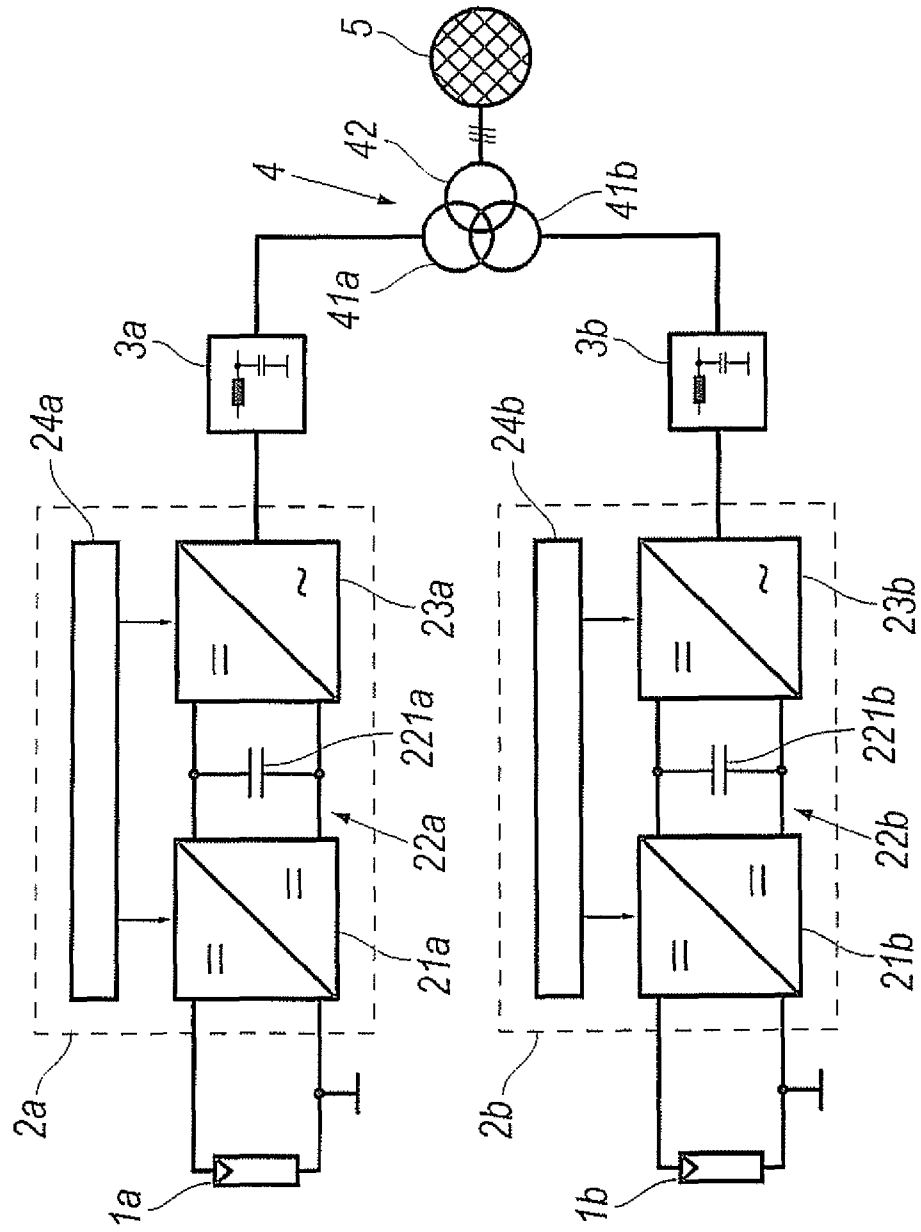


Fig. 1

Fig. 2

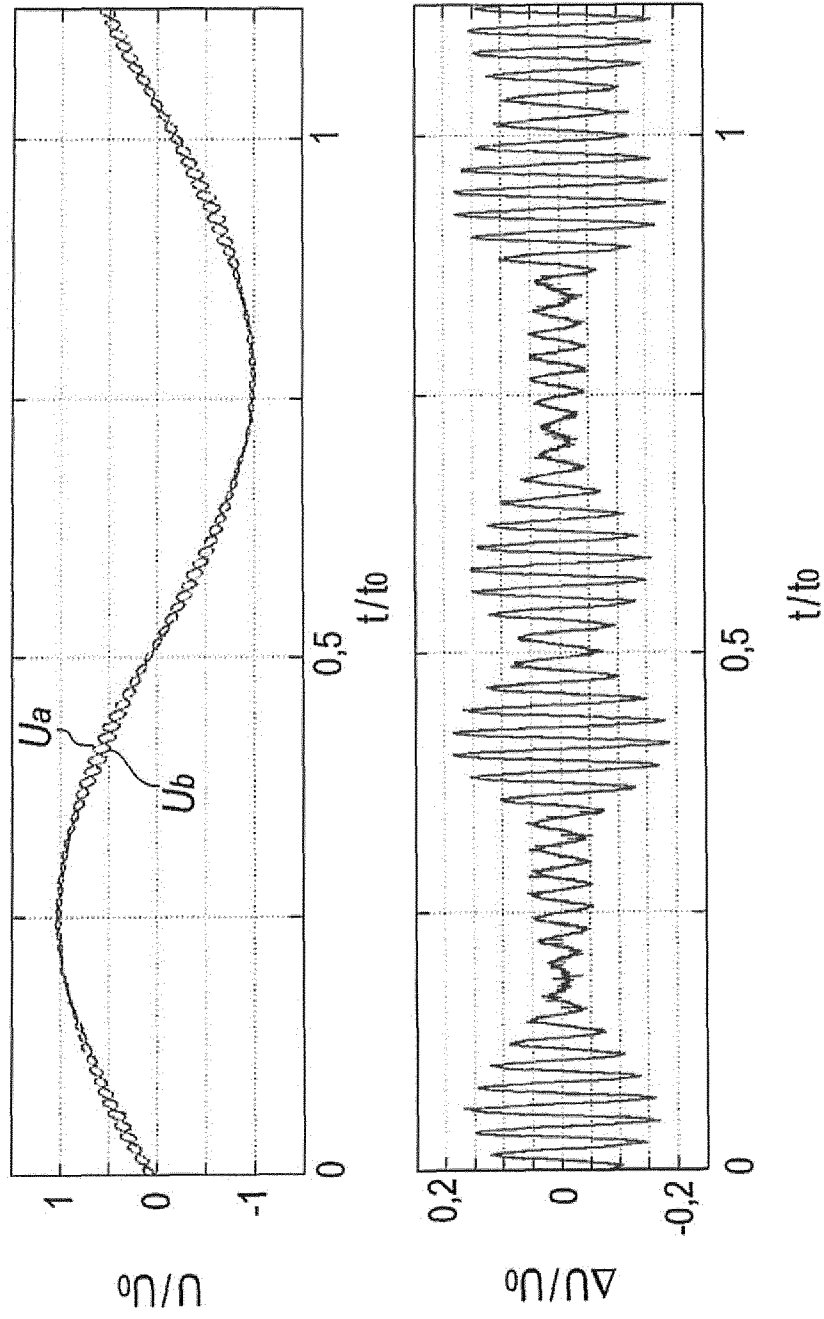
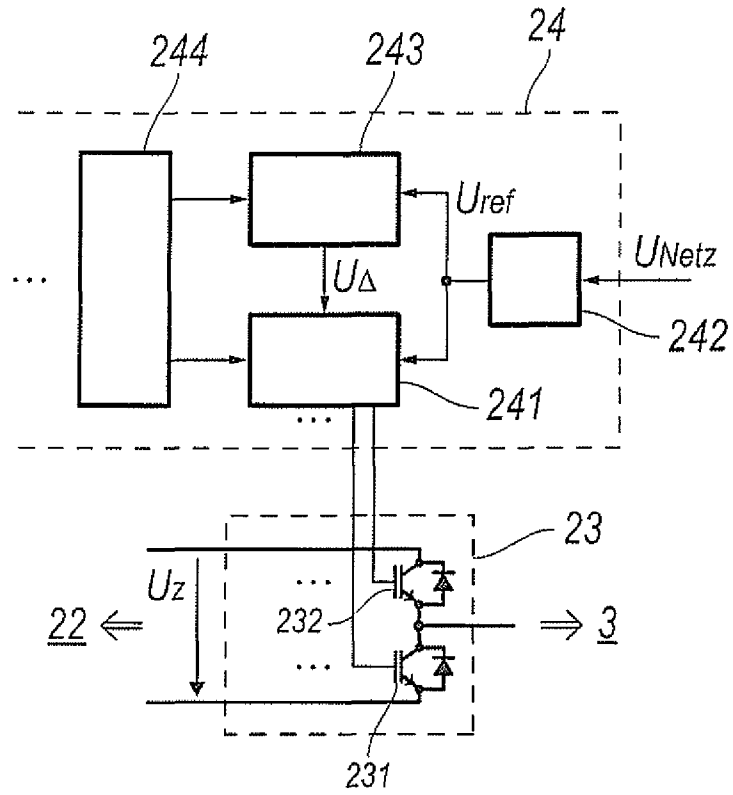


Fig. 3



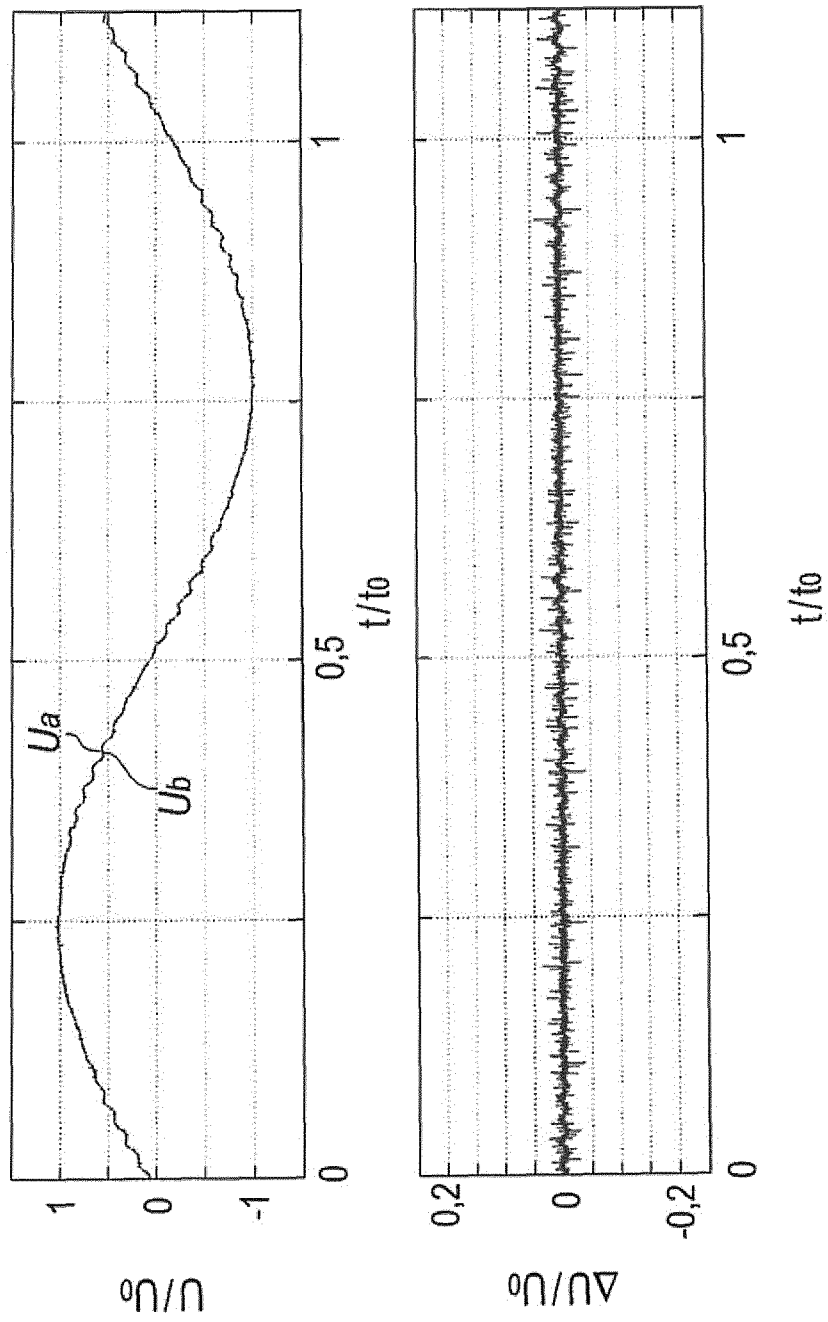


Fig. 4

Fig. 5

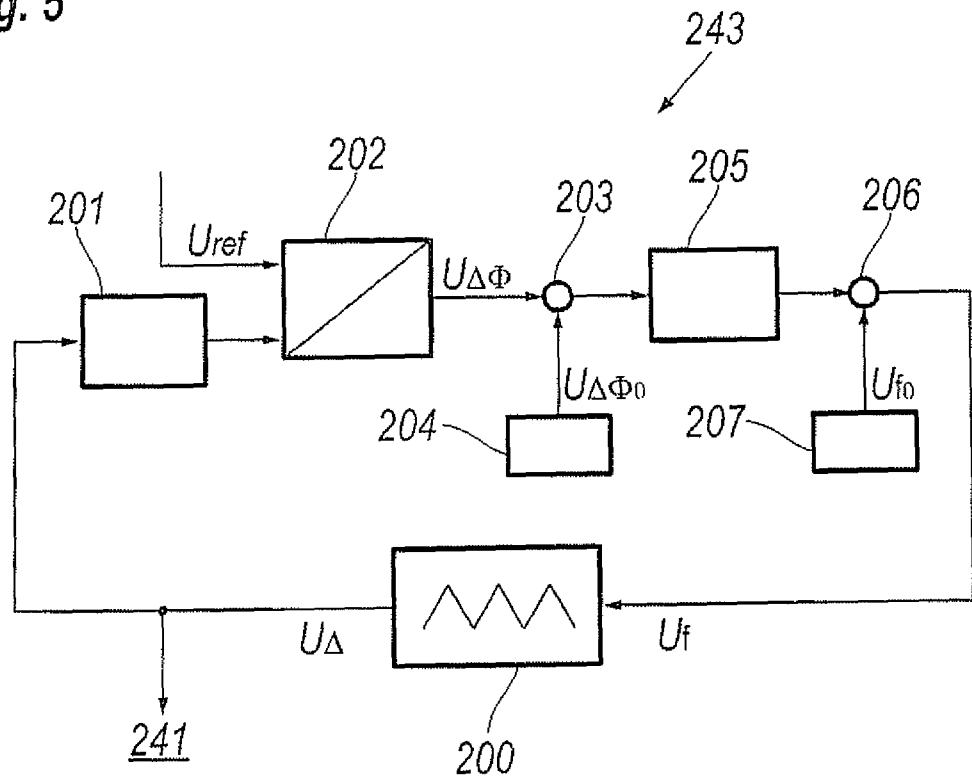


Fig. 6

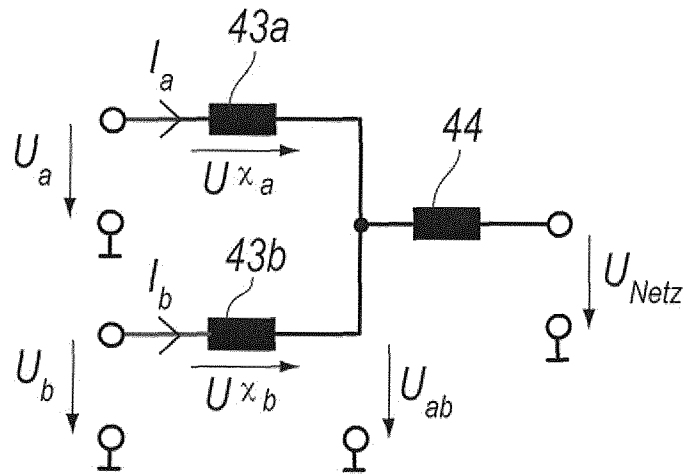


Fig. 7

