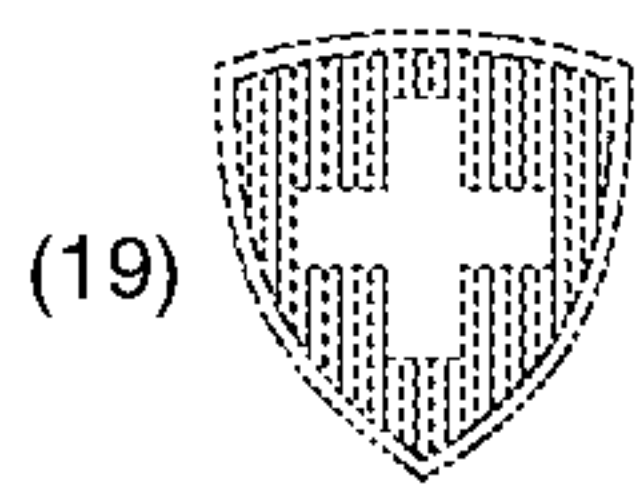




SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 710 061 B1

(51) Int. Cl.: H02M 7/5387 (2007.01)
H04B 3/54 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 01192/15

(22) Anmeldedatum: 18.08.2015

(43) Anmeldung veröffentlicht: 29.02.2016

(30) Priorität: 22.08.2014
DE DE102014112075.2

(24) Patent erteilt: 14.08.2020

(45) Patentschrift veröffentlicht: 14.08.2020

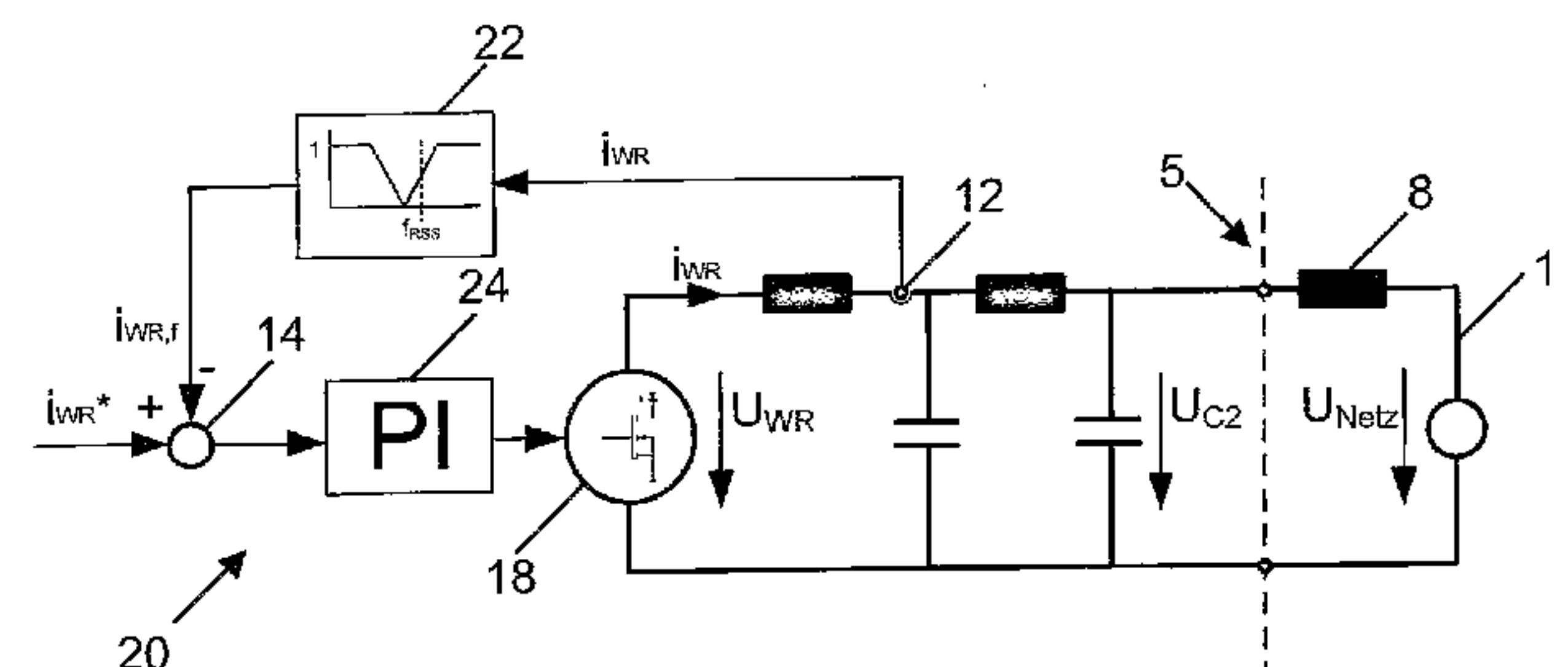
(73) Inhaber:
SMA Solar Technology AG, Sonnenallee 1
34266 Niestetal (DE)

(72) Erfinder:
Dr. Pablo Ignacio Correa Vasquez,
97616 Bad Neustadt an der Saale (DE)
Vitali Sakschewski, 34281 Gudensberg (DE)

(74) Vertreter:
R.A. Egli & Co, Patentanwälte, Baarerstrasse 14
6300 Zug (CH)

(54) Verfahren zum Betrieb eines Wechselrichters und Wechselrichter.

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Wechselrichters der zur Einspeisung von elektrischer Leistung mit einem Wechselspannungsnetz (1), in dem Rundsteuersignale bei einer Rundsteuerfrequenz (f_{RSS}) übertragen werden, verbunden ist, wobei das Verfahren eine Einstellung eines eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) mittels einer Stromregelung (20) umfasst. Die Einstellung des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) umfasst ein Erzeugen eines Sollwertes (i_{WR}^*) für den eingespeisten Wechselstrom (i_{WR}), Erfassen eines Istwertes des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) am Ausgang des Wechselrichters und ein Ansteuern von Leistungsschaltern einer Wechselrichter-Brückenschaltung (18) in Abhängigkeit von einer Differenz zwischen dem Sollwert (i_{WR}^*) und dem Istwert des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}). Der Istwert des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) oder die Differenz wird mittels eines auf die Rundsteuerfrequenz (f_{RSS}) angepassten Bandstoppfilters (22) gefiltert, so dass die Einstellung des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) unabhängig von Rundsteuersignalen im Wechselspannungsnetz (1) erfolgt. Weiterhin betrifft die Erfindung einen Wechselrichter.



Beschreibung

Technisches Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines Wechselrichters, der zur Einspeisung einer elektrischen Leistung in ein Wechselspannungsnetz verbunden ist, wobei in dem Wechselspannungsnetz Rundsteuersignale übertragen werden, sowie einen Wechselrichter zum Betrieb mit dem erfindungsgemässen Verfahren.

Stand der Technik

[0002] Wechselrichter dienen der Umwandlung von Gleichstrom in einen zur Einspeisung in ein Wechselspannungsnetz geeigneten, netzkonformen Wechselstrom. Derartige Wechselrichter finden beispielsweise in Photovoltaikanlagen Verwendung und speisen den Wechselstrom bei einer Grundfrequenz des Wechselspannungsnetzes ein.

[0003] Wechselspannungsnetze werden auch zur Signalübertragung verwendet, beispielsweise indem mittels so genannter Rundsteuer-Sendeanlagen Rundsteuersignale in das Wechselspannungsnetz aufgeprägt und an Rundsteuer-Signalempfänger übermittelt werden. Die Rundsteuersignale weisen Rundsteuerfrequenzen auf, die in einem Frequenzbereich von etwa wenige 100 Hz bis etwa einige Kilohertz liegen, wobei Signale in diesem Frequenzbereich im Wechselspannungsnetz auch über grössere Entfernungen nur unwesentlich abgeschwächt weitergeleitet werden. Typischerweise sendet eine konkrete Rundsteuer-Sendeanlage bei einer konkreten Rundsteuerfrequenz, die vom Netzbetreiber desjenigen Netzabschnittes festgelegt wird, in dem die Rundsteuer-Sendeanlage angesiedelt ist.

[0004] Die Rundsteuersignale werden der Netzspannung an der Anschlussstelle einer Rundsteuer-Sendeanlage als zusätzliche Steuer- bzw. Wechselspannung überlagert oder aufgeprägt. Die Amplitude dieser Spannung liegt dabei im Bereich von weniger als 1 Prozent bis wenigen Prozent der Amplitude der Grundschiwingung im Wechselspannungsnetz. Die Rundsteuersignale werden durch an das Wechselspannungsnetz angeschlossene Verbraucher und Stromerzeuger aufgrund der endlichen Impedanz dieser Verbraucher und Stromerzeuger bei der Rundsteuerfrequenz abgeschwächt. Diese Abschwächung ist unerwünscht, da die Signalpegel an sich schon klein sind und die Reichweite der Rundsteuersignale dadurch vermindert wird.

[0005] In einem Wechselrichter, der elektrische Leistung in das Wechselspannungsnetz einspeist, werden Leistungsschalter einer Ausgangsstufe, meist einer Ausgangsbrücke des Wechselrichters, anhand einer Stromregelung derart angesteuert, dass der vom Wechselrichter eingespeiste Wechselstrom in der Regel einen möglichst ideal sinusförmigen Verlauf aufweist. Dazu werden Ausgangsströme und Ausgangsspannungen erfasst und insbesondere in Abhängigkeit von einer Differenz zwischen Soll- und Istwerten der Ausgangsströme Stellwerte für die Ausgangsströme ermittelt. Alternativ oder zusätzlich können die Ausgangsspannungen berücksichtigt und/oder Stellwerte für die Ausgangsspannungen ermittelt. Aus den Stellwerten für die Ausgangsströme bzw. die Ausgangsspannungen werden Steuersignale für die Leistungsschalter des Wechselrichters erzeugt und die Leistungsschalter entsprechend anhand der Steuersignale getaktet.

[0006] Dabei verhält sich der Wechselrichter bei der Grundfrequenz des Wechselspannungsnetzes wie eine Stromquelle, das heisst die Stromregelung folgt der Grundschiwingung des Sollwertes. Oberschwingungen in der Netzspannung bei Frequenzen oberhalb der Netzfrequenz, wie zum Beispiel Rundsteuersignale, werden im Rahmen einer üblichen Stromregelung beispielsweise mittels eines Proportionalreglers nicht perfekt ausgeglichen und wirken auf die Regelung des eingespeisten Stromes und somit unter Berücksichtigung der Netzimpedanz auf die Netzspannung. Diese Wirkung auf die Netzspannung ist den Rundsteuersignalen entgegengerichtet und wirkt daher als Dämpfung der Rundsteuersignale, wobei die Grössenordnung der Dämpfung von der Höhe der Netzimpedanz abhängt und insbesondere bei einem schwachen Netz mit hoher Netzimpedanz dazu führt, dass die Amplitude der Rundsteuersignale durch einen Wechselstrom einspeisenden Wechselrichter mit herkömmlicher Stromregelung derart reduziert wird, dass eine sichere Übertragung der Rundsteuersignale nicht mehr gewährleistet ist.

[0007] Aus der EP 2 070 180 A1 ist ein Verfahren zum Betreiben eines Umrichters bekannt, bei dem der Umrichter mittels einer Regelvorrichtung als aktive Tonfrequenzsperre betrieben wird, indem einem vom Umrichter erzeugten und eingespeisten Wechselstromverlauf ein Tonfrequenzstrom mit einer vorgegebenen Tonfrequenz aufgeprägt wird. Dabei kann der aufzuprägende Tonfrequenzstrom in Abhängigkeit von einem mittels eines Bandpassfilters aus dem netzseitigen Wechselstrom herausgefilterten Tonfrequenzstroms bestimmt werden. Durch dieses Verfahren wird erreicht, dass Rundsteuersignale im Bereich der vorgegebenen Tonfrequenz ungedämpft weitergeführt und ggf. verstärkt werden. Die Verstärkung ist jedoch abhängig von der Netzimpedanz und umso grösser, je höher die Netzimpedanz ist.

Aufgabe der Erfindung

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb eines Wechselrichters bereitzustellen, das einfach in eine Stromregelung des Wechselrichters integrierbar ist und eine Beeinflussung von Rundsteuersignalen durch den Wechselrichter unabhängig von der Netzimpedanz und insbesondere bei hohen Netzimpedanzen effektiv vermeidet oder vermindert, sowie einen Wechselrichter zur Durchführung des Verfahrens aufzuzeigen.

Lösung

[0009] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren zum Betrieb eines Wechselrichters mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie durch einen Wechselrichter mit den Merkmalen des Patentanspruchs 9 gelöst. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Patentansprüchen definiert.

Beschreibung der Erfindung

[0010] Ein Verfahren zum Betrieb eines Wechselrichters, der zur Einspeisung von elektrischer Leistung mit einem Wechselspannungsnetz, in dem Rundsteuersignale bei einer Rundsteuerfrequenz übertragen werden, verbunden ist, umfasst eine Einstellung eines eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) mittels einer Stromregelung zur Einstellung eines eingespeisten Wechselstroms. Die Einstellung des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) umfasst ein Erzeugen eines Sollwertes für den eingespeisten Wechselstrom, ein Erfassen eines Istwertes des eingespeisten Wechselstroms am Ausgang des Wechselrichters, sowie ein Ansteuern von Leistungsschaltern einer Wechselrichter-Brückenschaltung in Abhängigkeit von einer Differenz zwischen dem Sollwert und dem Istwert des eingespeisten Wechselstroms.

[0011] Das erfindungsgemässe Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass der Istwert des eingespeisten Wechselstroms oder die Differenz mittels eines auf die Rundsteuerfrequenz angepassten Bandstoppfilters gefiltert wird, so dass die Einstellung des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) unabhängig von Rundsteuersignalen im Wechselspannungsnetz erfolgt.

[0012] Der Bandstoppfiler weist dabei eine Resonanzstelle auf, die derart ausgelegt ist, dass die Rundsteuerfrequenz auf der links- oder rechtsseitigen Flanke der Resonanzstelle liegt. Dadurch werden anhand des Bandstoppfilters Frequenzanteile im Bereich der Rundsteuerfrequenz gezielt phasenverschoben und es wird erreicht, dass einerseits eine Dämpfung von Störungen in der Netzspannung, die eine grundsätzlich gewünschte Eigenschaft der Regelung ist, insbesondere in Frequenzbereichen neben der Rundsteuerfrequenz beibehalten und bei der Resonanzfrequenz des Bandstoppfilters sogar erhöht wird, während andererseits eine durch mit herkömmlichen Verfahren betriebene Wechselrichter hervorgerufene Dämpfung der Rundsteuersignale mit einer Frequenz an der Flanke der Resonanzstelle des Bandpassfilters weitgehend vermieden wird. Der Bandstoppfiler ist dabei derart ausgelegt, dass er bei der Rundsteuerfrequenz eine Phasenverschiebung zwischen gemessenen und gefilterten Istwerten erzeugt, die einen aufgrund von elektrischen Eigenschaften ausgangsseitiger Filterbauteile vorliegenden Phasenversatz bei der Rundsteuerfrequenz zwischen gemessenen Istwerten und tatsächlichen Istwerten im Wechselspannungsnetz kompensiert.

[0013] Die Stromregelung erfolgt somit insofern unabhängig von den Rundsteuersignalen, als der vom Wechselrichter bei der Rundsteuerfrequenz stets denselben Strom einspeist, unabhängig davon, ob ein Rundsteuersignal im Wechselspannungsnetz vorhanden ist oder nicht. Darüber hinaus ist das Verfahren bei der Rundsteuerfrequenz unabhängig von einer Netzimpedanz des Wechselspannungsnetzes. Insbesondere in schwachen Wechselspannungsnetzen mit einer hohen Netzimpedanz kann damit das Wechselspannungsnetz von einem mit dem erfindungsgemässen Verfahren betriebenen Wechselrichter optimal gestützt werden und gleichzeitig eine störungsfreie Übertragung der Rundsteuersignale gewährleistet werden, selbst wenn eine Vielzahl von mit erfindungsgemässen Verfahren betriebenen Wechselrichtern in einem Netzabschnitt betrieben wird.

[0014] In einer Ausführungsform des Verfahrens kann die Stromregelung einen Regler umfassen, dessen Ausgabewert zum Ansteuern der Leistungsschalter der Wechselrichter-Brückenschaltung verwendet wird. Ein solcher Regler kann insbesondere als Proportional-Integral-Regler, als Proportional-Resonanz-Regler oder als Proportional-Integral-Resonanz-Regler ausgeführt sein, um eine hinreichende zeitliche Dynamik der Stromregelung zu gewährleisten. Dabei ist es grundsätzlich ausreichend, wenn der Bandstoppfiler auf eine Eingangsgrösse des Proportionalanteils des Reglers angewandt wird. Ein derart ausgeführter Regler kann als Ausgabewert einen Stellwert für eine Ausgangsspannung am Ausgang der Wechselrichter-Brückenschaltung erzeugen. Eine diesem Stellwert entsprechende Ausgangsspannung kann beispielsweise unter Verwendung bekannter Pulsweiten-Modulationsverfahren durch Ansteuern der Leistungsschalter der Wechselrichter-Brückenschaltung am Ausgang der Wechselrichter-Brückenschaltung eingestellt werden.

[0015] In einer alternativen Ausführungsform kann der Regler als Zwei-Punkt-Regler ausgeführt sein. Der Ausgabewert eines solchen Zwei-Punkt-Reglers, der auch als Hysterese-Regler ausgeführt sein kann, kann zum Ansteuern der Leistungsschalter der Wechselrichter-Brückenschaltung und damit zur Einstellung des eingespeisten Wechselstroms verwendet werden. Auch hier ist es erfindungsgemäss erforderlich, die vom Zwei-Punkt-Regler als Eingangsgrössen verwendeten Differenzwerten im Bereich der Rundsteuerfrequenz geeignet in ihrer Phase zu verschieben, indem die gemessenen Istwerte des eingespeisten Wechselstroms oder die Differenzwerte aus Istwerten und Sollwerten anhand eines auf die Rundsteuerfrequenz angepassten Bandstoppfilters gefiltert werden.

[0016] In einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens kann die Stromregelung eine Vorsteuerung umfassen, um ein Führungsverhalten des Reglers zu verbessern, ohne die Stabilität der Stromregelung zu gefährden. Dazu kann der eingespeiste Wechselstrom und/oder die Ausgangsspannung am Ausgang der Wechselrichter-Brückenschaltung zusätzlich in Abhängigkeit einer Ausgangsspannung des Wechselrichters eingestellt werden. Dabei erweist es sich als vorteilhaft, anstatt einer gemessenen Ausgangsspannung des Wechselrichters eine gefilterte Ausgangsspannung für die Vorsteuerung zu verwenden, wobei die gefilterte Ausgangsspannung mittels eines weiteren auf die Rundsteuerfrequenz angepassten Bandstoppfilters aus einer gemessenen Ausgangsspannung ermittelt werden kann. Dadurch wird gewährleistet, dass die

bekannten Vorteile einer Vorsteuerung im Rahmen einer Stromregelung genutzt werden können, ohne dass eine Beeinflussung der Vorsteuerung durch die Rundsteuersignale zu einer Dämpfung der Rundsteuersignale führt.

[0017] In einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Rundsteuerfrequenz aus der gemessenen Ausgangsspannung und/oder aus dem Istwert des eingespeisten Wechselstroms ermittelt, beispielsweise indem bekannte Signalmuster von Rundsteuersignalen anhand einer Spektralanalyse identifiziert werden. Die derart ermittelte Rundsteuerfrequenz kann zur Anpassung des Bandstoppfilters bzw. der Bandstoppfiler verwendet werden, so dass das Verfahren dazu geeignet ist, die Stromregelung eigenständig ohne Eingriff von aussen optimal auf die in einem konkreten Wechselspannungsnetz verwendete Rundsteuerfrequenz einzustellen. Dies ermöglicht es, ein und dasselbe Verfahren und mithin ein und denselben Wechselrichter in verschiedenen Wechselspannungsnetzen und insbesondere auch in verschiedenen Ländern einzusetzen, in denen unterschiedliche Rundsteuerfrequenzen verwendet werden.

[0018] Ein erfindungsgemässer Wechselrichter zur Umwandlung eines eingangsseitigen Gleichstroms in einen ausgangsseitigen zur Einspeisung in ein Wechselspannungsnetz geeigneten Wechselstrom ist dazu eingerichtet, mit dem voranstehend beschriebenen erfindungsgemässen Verfahren betrieben zu werden. Es versteht sich, dass der Wechselrichter einphasig oder dreiphasig aufgebaut sein kann und entsprechend einen einphasigen oder einen dreiphasigen Anschluss an das Wechselstromnetz zur Einspeisung eines einphasigen bzw. dreiphasigen Wechselstroms aufweist. Insbesondere bei dreiphasigen Wechselrichtern, die einen dreiphasigen Wechselstrom einspeisen, erweist sich der Betrieb mit dem erfindungsgemässen Verfahren als besonders vorteilhaft, indem die Stromregelung aufgrund der erfindungsgemässen Verwendung gefilterter Istwerte bzw. Differenzen in jedem Fall unabhängig von den Rundsteuersignalen erfolgt. Dadurch kann der Wechselrichter in unterschiedlichen Netzen angewandt werden, in denen ggf. unterschiedliche Varianten von Rundsteuersignalen vorliegen, insbesondere solche, die gleichphasig oder entsprechend den Wechselspannungen phasenversetzt in einem dreiphasigen Wechselspannungsnetz vorliegen.

Kurzbeschreibung der Figuren

[0019] Im Folgenden wird die Erfindung anhand in den Figuren dargestellter Ausführungsbeispiele weiter erläutert und beschrieben.

- Fig. 1 zeigt ein Wechselspannungsnetz nach dem Stand der Technik mit einem Wechselrichter einer Energieerzeugungsanlage und je einem Rundsteuersender und einem Rundsteuerempfänger,
- Fig. 2 zeigt ein Blockdiagramm einer Stromregelung eines Wechselrichters nach dem Stand der Technik,
- Fig. 3 zeigt ein Blockdiagramm einer Stromregelung eines Wechselrichters gemäss einer Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens, und
- Fig. 4 zeigt ein weiteres Blockdiagramm einer Stromregelung eines Wechselrichters gemäss einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens.

Figurenbeschreibung

[0020] Fig. 1 zeigt ein Prinzipschaltbild eines Wechselspannungsnetzes 1 mit einer Rundsteuer-Sendeanlage 2 und einem Wechselrichter 4. Das Wechselspannungsnetz 1 weist eine Spannungsquelle 7, beispielsweise eine Ortsnetzstation mit einem Transformator zur Anbindung eines Ortsnetzes an ein übergeordnetes Verteilnetz auf. Die Rundsteuer-Sendeanlage 2 ist über eine Anschlussimpedanz 3 mit dem Wechselspannungsnetz verbunden und speist Rundsteuersignale bei einer Rundsteuerfrequenz in das Wechselspannungsnetz 1 ein. Die Rundsteuersignale sind für einen netzabwärts angeschlossenen Verbraucher oder Erzeuger mit einem Rundsteuer-Empfänger 6 bestimmt. Grundsätzlich kann die Rundsteuer-Sendeanlage 2 auch in einer Mittelspannungsebene und damit vom Wechselspannungsnetz 1 aus gesehen hinter einer Ortsnetzstation angesiedelt sein, wobei dann die auf der Mittelspannungsebene eingekoppelten Rundsteuersignale für mehrere parallel angeordnete Wechselspannungsnetze 1 vorgesehen sind.

[0021] Zwischen der Rundsteuer-Sendeanlage 2 und dem Rundsteuer-Empfänger 6 ist der Wechselrichter 4 über einen Netzanschlusspunkt 5 an das Wechselspannungsnetz 1 angeschlossen. Durch eine herkömmliche Einspeisung eines Wechselstromes durch einen Wechselrichter 4 nach dem Stand der Technik werden die von der Rundsteuer-Sendeanlage 2 eingespeisten Rundsteuersignale in Abhängigkeit von der hier vereinfacht dargestellten Netzimpedanz 8 gedämpft und stehen nicht mehr oder nur stark abgeschwächt im Wechselspannungsnetz 1 zur Verfügung. Der Rundsteuer-Empfänger 6 empfängt somit ein zumindest abgeschwächtes Rundsteuersignal, das unter Umständen seinen Zweck nicht mehr erfüllt.

[0022] Fig. 2 zeigt anhand eines Blockdiagramms eine Stromregelung 10 eines Wechselrichters 4 nach dem Stand der Technik. Der Wechselrichter 4 speist einen Strom i_{WR} über den Netzanschlusspunkt 5 in das Wechselspannungsnetz 1 ein. Der Strom i_{WR} wird mittels eines Stromsensors 12 gemessen und in die Stromregelung 10 zurück gekoppelt. Die Stromregelung 10 erhält Sollwerte i_{WR}^* für den einzuspeisenden Wechselstrom i_{WR} von einer hier nicht dargestellten übergeordneten Steuerung. Die Sollwerte i_{WR}^* weisen einen in der Regel sinusförmigen Verlauf und ggf. eine Phasenverschiebung zu einer Netzspannung U_{Netz} auf. Im Falle eines Photovoltaik-Wechselrichters ist die Amplitude der Sollwerte mit der Leistungsentnahme aus einem eingangsseitig an den Wechselrichter 4 angeschlossenen Photovoltaik-Generator korreliert.

und wird insbesondere im Rahmen eines sogenannten MPP-Trackings derart geregelt, dass der Photovoltaik-Generator eine maximal mögliche elektrische Leistung zur Verfügung stellt.

[0023] Aus den Sollwerten i_{WR}^* und den Istwerten i_{WR} wird in einem Subtrahierer 14 ein Differenzwert gebildet, der einem Regler 16 zugeführt und darin als Regelabweichung verwendet wird. Der Regler 16 kann in verschiedenen Varianten implementiert sein, beispielsweise als Proportional-Regler (P-Regler) oder als Proportional-Integral-Regler (PI-Regler), und zusätzlich oder alternativ einen ggf. auch multiresonanten Resonanzanteil umfassen (PR- oder PIR-Regler). Der Regler 16 erzeugt in Abhängigkeit des Differenzwertes ein Steuersignal, das zur Erzeugung geeigneter Ansteuerimpulse für Leistungsschalter, beispielsweise MOSFETs oder IGBTs einer Wechselrichter-Brückenschaltung 18 verwendet wird. Konkret kann dieses Steuersignal beispielsweise ein Sollwert für eine Ausgangsspannung U_{WR} sein, die dann im Rahmen eines Pulsweitenmodulations-(PWM-)Verfahrens anhand einer geeigneten Taktung der Leistungsschalter der Wechselrichter-Brückenschaltung 18 aus einer eingangsseitig am Wechselrichter 4 anliegenden Gleichspannung am Ausgang der Wechselrichter-Brückenschaltung 18 eingestellt wird. Alternativ kann der Regler 16 auch dazu eingerichtet sein, Tastverhältnisse zur Taktung der Leistungsschalter oder sogar die Ansteuersignale zur Taktung der Leistungsschalter auszugeben, insbesondere wenn der Regler 16 als Zwei-Punkt- oder Hysterese-Regler ausgeführt ist, so dass die Ansteuerung der Leistungsschalter der Wechselrichter-Brückenschaltung 18 in direkter Abhängigkeit von der Differenz zwischen Sollwert i_{WR}^* und Istwert i_{WR} erfolgt.

[0024] Anhand der derart erzeugten Vorgaben des Reglers 16 werden die Leistungsschalter der Wechselrichter-Brückenschaltung 18 getaktet, so dass sich ein Istwert i_{WR} des eingespeisten Stroms ergibt, der möglichst wenig vom Sollwert i_{WR}^* abweicht, d.h. insbesondere einen möglichst exakt sinusförmigen Verlauf bei einem definierten Phasenversatz zwischen dem eingespeistem Strom und der Netzspannung aufweist. Um dies zu erreichen, muss im Rahmen der Stromregelung eine Phasenverschiebung zwischen der getakteten Wechselrichter-Ausgangsspannung U_{WR} und dem eingespeisten Strom i_{WR} berücksichtigt werden, wobei diese Phasenverschiebung insbesondere von den ausgangsseitig des Wechselrichters angeordneten Ausgangsfiltern, d.h. den in Fig. 2 dargestellten Induktivitäten und Kapazitäten hervorgerufen wird. Eine korrekte Berücksichtigung dieser Phasenverschiebung bei der Netzfrequenz führt jedoch aufgrund der Frequenzabhängigkeit der elektrischen Eigenschaften der ausgangsseitigen Induktivitäten und Kapazitäten und damit der Frequenzabhängigkeit der Phasenverschiebung zu „irgendeiner“ Phasenverschiebung zwischen U_{WR} und i_{WR} und folglich auch zu „irgendeinem“ Phasenversatz zwischen i_{WR} und U_{Netz} bei Frequenzen jenseits der Netzfrequenz. Je nach konkreter Konfiguration der Ausgangsfilter und der Stromregelung kann dies bei manchen Frequenzen eine (noch akzeptable) konstruktive Addition, d.h. eine Verstärkung etwaiger Oberschwingungen in der Netzspannung bewirken, während bei anderen Frequenzen mit entsprechend anderer resultierender Phasenverschiebung eine (ggf. gewünschte) Dämpfung von Oberschwingungen auftreten kann, wobei letztere Dämpfung insbesondere auch bei der Frequenz der Rundsteuersignale auftreten kann.

[0025] Fig. 3 zeigt anhand eines Blockdiagramms eine Stromregelung 20 eines Wechselrichters 4, in der das erfindungsgemässe Verfahren in einer Ausführungsform realisiert ist. Ergänzend zu der Stromregelung 10 gemäss Fig. 2 umfasst die Stromregelung 20 einen Bandstopppfilter 22, der zwischen dem Stromsensor 12 und dem Subtrahierer 14 angeordnet ist. Der Bandstopppfilter ist dazu eingerichtet, die an seinem Eingang anliegenden gemessenen Istwerte i_{WR} derart zu filtern, dass die über seinen Ausgang ausgegebenen gefilterten Istwerte $i_{WR,f}$ einerseits eine Grundschiwingung des Wechselspannungsnetzes 1 sowie Oberschwingungen des eingespeisten Wechselstroms i_{WR} repräsentieren, andererseits jedoch von Rundsteuersignalen beeinflusste bzw. induzierte Anteile im Bereich einer Rundsteuerfrequenz f_{RSS} geeignet phasenverschoben sind. Dazu ist der Bandstopppfilter 22 derart ausgelegt, dass die Rundsteuerfrequenz f_{RSS} auf der rechtsseitigen Flanke der Resonanzstelle des Bandstopppfilters 22 liegt. Dadurch werden anhand des Bandstopppfilters 22 Frequenzanteile im Bereich der Rundsteuerfrequenz f_{RSS} gezielt phasenverschoben, um einen aufgrund der elektrischen Eigenschaften ausgangsseitiger Filterbauteile vorliegenden Phasenversatz zwischen gemessenen Istwerten, insbesondere der Spannung am Ausgang des Wechselrichters U_{WR} bzw. U_{C2} , und tatsächlichen Istwerten im Wechselspannungsnetz 1, insbesondere der Spannung U_{Netz} , gezielt zu kompensieren.

[0026] Aus den derart gefilterten Istwerten $i_{WR,f}$ wird mittels des Subtrahierers ein Differenzwert gebildet, der als Regelabweichung einem Regelglied zugeführt wird, wobei das Regelglied hier beispielhaft als Proportional-Integral-Regler 24 ausgeführt ist und in Abhängigkeit des Differenzwertes ein Steuersignal erzeugt, das analog zur Ausführungsform gemäss Fig. 2 zur Erzeugung geeigneter Ansteuerimpulse für die Leistungsschalter der Wechselrichter-Brückenschaltung 18 verwendet wird. Grundsätzlich ist es dabei ausreichend, die gefilterten Istwerte $i_{WR,f}$ dem Proportionalanteil des Proportional-Integral-Reglers 24 zuzuführen, während den anderen Anteilen des Proportional-Integral-Reglers 24, insbesondere dem Integralanteil, auch die ungefilterten Istwerte des Wechselstroms i_{WR} zugeführt werden können. Dies gilt analog auch für die weiteren in Zusammenhang mit Fig. 2 ausgeführten Varianten des Reglers 16.

[0027] Fig. 4 veranschaulicht anhand eines weiteren Blockdiagramms eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens. Ergänzend zur Ausführungsform gemäss Fig. 3 umfasst die Stromregelung 30 gemäss Fig. 4 eine Vorsteuerung, die insbesondere aus einer Rückkopplung einer am Ausgang des Wechselrichters 4 gemessenen Wechselspannung U_{C2} in die Stromregelung 30 besteht, wobei Rundsteuersignale in der gemessenen Wechselspannung U_{C2} vor ihrer Berücksichtigung in der Stromregelung 30 geeignet phasenverschoben werden.

[0028] Erfindungsgemäss wird dazu die gemessene Wechselspannung U_{C2} mittels eines Bandstopppfilters 28 derart gefiltert, dass Anteile der am Ausgang des Bandstopppfilters 28 anliegenden gefilterten Wechselspannung $U_{C2,f}$ im Bereich

der Rundsteuerfrequenz f_{RSS} phasenverschoben sind und die Stromregelung 30 unabhängig von den Rundsteuersignalen erfolgt.

[0029] Die derart gefilterte Wechselspannung $U_{C2,f}$ wird einem Addierer 26 zugeführt, der zwischen dem Ausgang des Proportional-Integral-Reglers 24 und der Wechselrichterbrücke 18 angeordnet ist. Konkret kann der Addierer 26 einen Summenwert aus einem aktuellen vom Proportional-Integral-Reglers 24 ausgegebenen Sollwert für die Ausgangsspannung U_{WR} am Ausgang der Wechselrichter-Brückenschaltung 18 und der gefilterten Wechselspannung $U_{C2,f}$ bilden, wobei dieser vom Addierer 26 ausgegebene Summenwert in der Folge beispielsweise im Rahmen eines PWM-Verfahrens zur Erzeugung geeigneter Ansteuersignale für die Leistungsschalter der Wechselrichter-Brückenschaltung 18 verwendet wird.

[0030] Es versteht sich, dass die Bandstopffilter 22 und 28, die zur Dämpfung der im gemessenen Wechselstrom i_{WR} bzw. in der gemessenen Wechselspannung U_{C2} vorhandenen Anteile im Bereich der Rundsteuerfrequenz f_{RSS} eingerichtet sind, in verschiedenen Varianten ausgeführt sein können. Konkret können die Bandstopffilter 22 und 28 in digitaler Form bevorzugt als FIR- oder IIR-Filter ausgeführt sein, wobei die Filterordnung, die Bandbreite des Filters und seine Dämpfung ggf. in Abhängigkeit von der konkreten Lage der Rundsteuerfrequenz, insbesondere relativ zur Frequenz des Wechselspannungsnetzes 1, eingestellt werden. Auch ein asymmetrischer Verlauf der Übertragungsfunktionen der Bandstopffilter 22 und 28 ist denkbar. An der Resonanzstelle des Bandstopffilters 22 bzw. 28 ergibt sich eine gegenüber dem Stand der Technik erhöhte Dämpfung. Wenn die Rundsteuerfrequenz f_{RSS} auf der rechtsseitigen Flanke des Bandstopffilters 22 bzw. 28 liegt, wie dies in Fig. 3 und Fig. 4 dargestellt ist, ergibt sich somit eine erhöhte Dämpfung von Frequenzen knapp unterhalb der Rundsteuerfrequenz, während Frequenzen knapp oberhalb der Rundsteuerfrequenz f_{RSS} stärker gedämpft werden, wenn die Rundsteuerfrequenz auf der linksseitigen Flanke des Bandstopffilters 22 bzw. 28 liegt. Diese Eigenschaften können zur weiteren Optimierung des erfindungsgemässen Verfahrens genutzt werden.

[0031] Wie bereits im Zusammenhang mit Fig. 2 erwähnt kann die Stromregelung 20 bzw. 30 grundsätzlich auch in anderer Form ausgeführt sein, beispielsweise indem der eingespeiste Wechselstrom i_{WR} anhand eines Zwei-Punkt-Verfahrens geregelt wird und somit auf den Proportional-Integral-Regler 24 als Regelglied verzichtet werden kann. Auch eine Stromregelung 20 bzw. 30, die einen Zustandsregler umfasst, ist als Alternative denkbar, wobei die darin relevanten Zustände den Wechselstrom i_{WR} sowie die Wechselspannung U_{C2} umfassen und vor ihrer Verwendung im Zustandsregler erfindungsgemäss anhand eines Bandstopffilters gefiltert werden können.

[0032] Ein Wechselrichter 4, der ein erfindungsgemässes Verfahren verwenden soll, kann auf einfache Weise mit einer vorstehend beschriebenen Stromregelung 20 bzw. 30 ausgerüstet oder ggf. durch eine Aktualisierung der den Wechselrichter steuernden Programme (sogenanntes Firmware-Update) nachgerüstet werden. Dabei können relevante Parameter der Stromregelung 20 bzw. 30, insbesondere die Rundsteuerfrequenz f_{RSS} und/oder die darauf basierende Auslegung der Bandstopffilter 22 und ggf. 28, im Rahmen der Ausrüstung bzw. Aktualisierung in den Wechselrichter 4 eingespielt werden. Alternativ kann der Wechselrichter 4 dazu eingerichtet sein, die Rundsteuerfrequenz f_{RSS} insbesondere anhand der gemessenen Wechselströme i_{WR} und/oder der gemessenen Wechselspannungen U_{C2} selbstständig zu ermitteln.

[0033] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Die in der Beschreibung genannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind lediglich beispielhaft und können alternativ oder kumulativ zur Wirkung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von erfindungsgemässen Ausführungsformen erzielt werden müssen. Ohne dass hierdurch der Gegenstand der beigefügten Patentansprüche verändert wird, gilt hinsichtlich des Offenbarungsgehalts der ursprünglichen Anmeldungsunterlagen und des Patents Folgendes: weitere Merkmale sind den Zeichnungen - insbesondere den dargestellten Geometrien und den relativen Abmessungen mehrerer Bauteile zueinander sowie deren relativer Anordnung und Wirkverbindung - zu entnehmen.

[0034] Die in den Patentansprüchen und der Beschreibung genannten Merkmale sind bezüglich ihrer Anzahl so zu verstehen, dass genau diese Anzahl oder eine grössere Anzahl als die genannte Anzahl vorhanden ist, ohne dass es einer expliziten Verwendung des Adverbs „mindestens“ bedarf. Wenn also beispielsweise von einem Element die Rede ist, ist dies so zu verstehen, dass genau ein Element, zwei Elemente oder mehr Elemente vorhanden sind. Diese Elemente können durch weitere Merkmale ergänzt werden oder die einzigen Elemente sein, auf die sich das jeweilige Verfahren oder die jeweilige Vorrichtung bezieht.

[0035] Die in den Patentansprüchen enthaltenen Bezugszeichen stellen keine Beschränkung des Umfangs der durch die Patentansprüche geschützten Gegenstände dar. Sie dienen lediglich dem Zweck, die Patentansprüche leichter verständlich zu machen.

Bezugszeichenliste

[0036]

1	Wechselspannungsnetz
2	Rundsteuer-Sendeanlage
3	Anschlussimpedanz
4	Wechselrichter
5	Netzanschlusspunkt
6	Rundsteuer-Empfänger

7	Spannungsquelle
8	Netzimpedanz
10, 20, 30	Stromregelung
12	Stromsensor
14	Subtrahierer
16	Regler
18	Wechselrichter-Brückenschaltung
22	Bandstopppfilter
24	Proportional-Integral-Regler
26	Addierer
28	Bandstopppfilter

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Wechselrichters (4), der zur Einspeisung von elektrischer Leistung mit einem Wechselspannungsnetz (1), in dem Rundsteuersignale bei einer Rundsteuerfrequenz (f_{RSS}) übertragen werden, verbunden ist, wobei das Verfahren eine Einstellung eines eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) mittels einer Stromregelung (20, 30) umfasst, wobei die Einstellung des eingespeisten Wechselstromes (i_{WR}) die folgenden Schritte umfasst:
 - Erzeugen eines Sollwertes (i_{WR}^*) für den eingespeisten Wechselstrom (i_{WR}),
 - Erfassen eines Istwertes des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) am Ausgang des Wechselrichters (4),
 - Ansteuern von Leistungsschaltern einer Wechselrichter-Brückenschaltung (18) in Abhängigkeit von einer Differenz zwischen dem Sollwert (i_{WR}^*) und dem Istwert des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}), **dadurch gekennzeichnet**, dass der Istwert des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) oder die Differenz mittels eines auf die Rundsteuerfrequenz (f_{RSS}) angepassten Bandstopppfilters (22) gefiltert wird, so dass die Einstellung des eingespeisten Wechselstromes (i_{WR}) mittels der Stromregelung (20, 30) unabhängig von Rundsteuersignalen im Wechselspannungsnetz (1) erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stromregelung (20, 30) einen Regler (16) umfasst, dessen Ausgabewert zum Ansteuern der Leistungsschalter der Wechselrichter-Brückenschaltung (18) verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Regler (16) als Proportional-Integral-Regler (24), als Proportional-Resonanz-Regler oder als Proportional-Integral-Resonanz-Regler ausgeführt ist, wobei der Bandstopppfilter (22) auf eine Eingangsgrösse des Proportionalanteils des Reglers (16) angewandt wird und der Regler (16) als Ausgabewert einen Stellwert für eine Ausgangsspannung (U_{WR}) am Ausgang der Wechselrichter-Brückenschaltung (18) erzeugt, so dass durch das Ansteuern der Leistungsschalter der Wechselrichter-Brückenschaltung (18) die dem Stellwert entsprechende Ausgangsspannung (U_{WR}) am Ausgang der Wechselrichter-Brückenschaltung (18) eingestellt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Regler (16) als Zwei-Punkt-Regler ausgeführt ist, wobei der Ausgabewert des Zwei-Punkt-Reglers zur Einstellung des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) durch das Ansteuern der Leistungsschalter der Wechselrichter-Brückenschaltung (18) verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einstellung des eingespeisten Wechselstromes (i_{WR}) mittels der Stromregelung (20, 30) eine Vorsteuerung umfasst, so dass der eingespeiste Wechselstrom (i_{WR}) und/oder die Ausgangsspannung (U_{WR}) am Ausgang der Wechselrichter-Brückenschaltung (18) zusätzlich in Abhängigkeit einer gefilterten Ausgangsspannung ($U_{C2,f}$) des Wechselrichters (4) eingestellt wird, wobei die gefilterte Ausgangsspannung ($U_{C2,f}$) mittels eines weiteren auf die Rundsteuerfrequenz (f_{RSS}) angepassten Bandstopppfilters (28) aus einer gemessenen Ausgangsspannung (U_{C2}) ermittelt wird.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Rundsteuerfrequenz (f_{RSS}) aus einer gemessenen Ausgangsspannung (U_{C2}) und/oder aus dem Istwert des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) ermittelt wird und die derart ermittelte Rundsteuerfrequenz (f_{RSS}) zur Anpassung des Bandstopppfilters (22) bzw. der Bandstopppfilter (22, 28) verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Bandstopppfilter (22) derart ausgelegt ist, dass die Rundsteuerfrequenz (f_{RSS}) auf einer links- oder rechtsseitigen Flanke einer Resonanzstelle des Bandstopppfilters (22) liegt.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Bandstopppfilter (22) eine Phasenverschiebung bei der Rundsteuerfrequenz (f_{RSS}) zwischen gemessenen und gefilterten Istwerten erzeugt, die einen aufgrund von elektrischen Eigenschaften ausgangsseitiger Filterbauteile vorliegenden Phasenversatz zwischen gemessenen Istwerten und tatsächlichen Istwerten im Wechselspannungsnetz (1) kompensiert.
9. Wechselrichter (4) zur Umwandlung eines eingangsseitigen Gleichstroms in einen ausgangsseitigen zur Einspeisung in ein Wechselspannungsnetz (1), in dem Rundsteuersignale bei einer Rundsteuerfrequenz (f_{RSS}) übertragen werden, geeigneten Wechselstrom (i_{WR}), wobei der Wechselrichter eine Stromregelung (20, 30) zur Einstellung eines einge-

speisten Wechselstroms (i_{WR}) umfasst, wobei die Stromregelung (20, 30) dazu ausgebildet ist, die Einstellung des eingespeisten Wechselstromes (i_{WR}) mit den folgenden Schritten durchzuführen:

- Erzeugen eines Sollwertes (i_{WR}^*) für den eingespeisten Wechselstrom (i_{WR}),
- Erfassen eines Istwertes des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) am Ausgang des Wechselrichters (4),
- Ansteuern von Leistungsschaltern einer Wechselrichter-Brückenschaltung (18) in Abhängigkeit von einer Differenz zwischen dem Sollwert (i_{WR}^*) und dem Istwert des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Stromregelung (20, 30) weiter ein auf die Rundsteuerfrequenz (f_{RSS}) angepasstes Bandstopppfilter (22) umfasst, das dazu ausgebildet ist, den Istwert des eingespeisten Wechselstroms (i_{WR}) oder die Differenz so zu filtern, dass die Einstellung des eingespeisten Wechselstromes (i_{WR}) unabhängig von Rundsteuersignalen im Wechselspannungsnetz (1) erfolgt.

10. Wechselrichter (4) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wechselrichter einen einphasigen oder einen dreiphasigen Anschluss an das Wechselstromnetz (1) aufweist und einen einphasigen bzw. dreiphasigen Wechselstrom (i_{WR}) einspeist.

Fig. 1

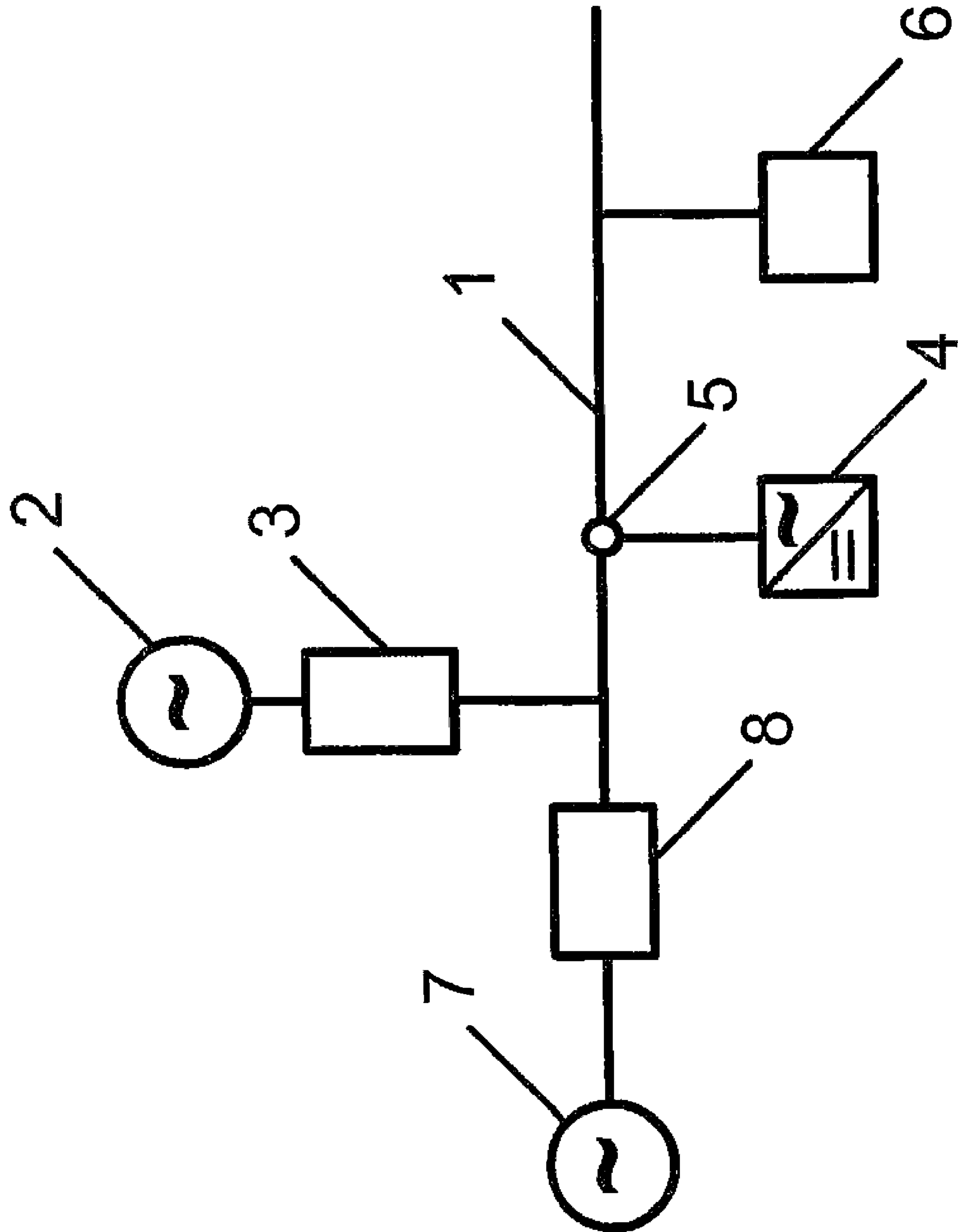


Fig. 2

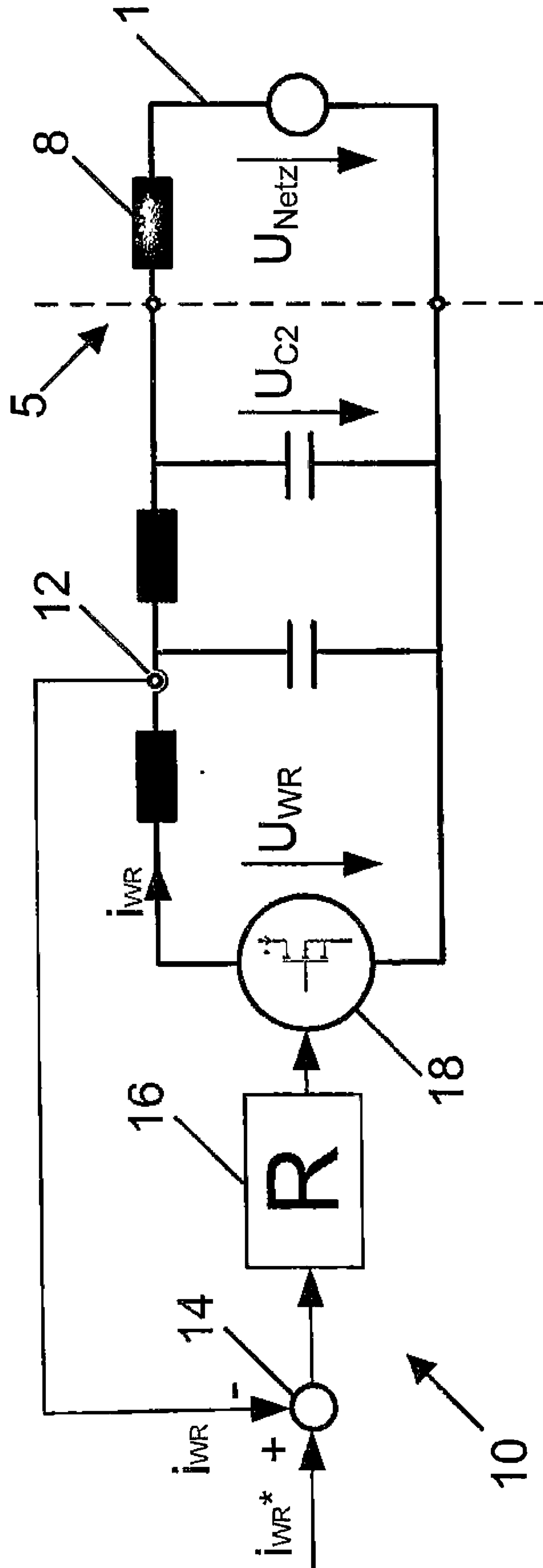


Fig. 3

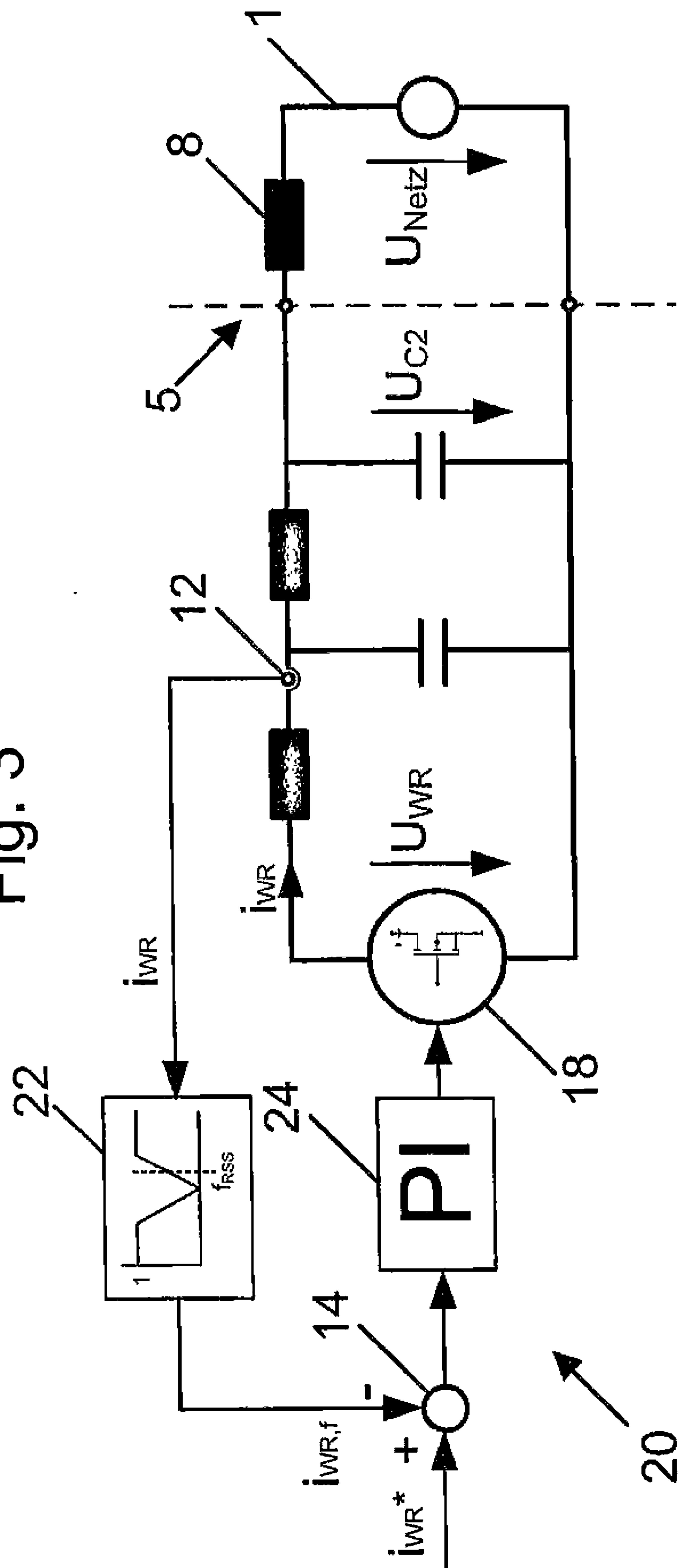


Fig. 4

