



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 30 473 A1** 2005.01.27

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 30 473.8**

(22) Anmeldetag: **05.07.2003**

(43) Offenlegungstag: **27.01.2005**

(51) Int Cl.7: **H02P 9/30**

**H02M 5/297, H02M 5/44**

(71) Anmelder:  
**ALSTOM Technology Ltd, Baden, CH**

(74) Vertreter:  
**Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241 München**

(72) Erfinder:  
**Rufer, Alfred, Prof., Villars-sous-Yens, CH;  
 Veenstra, Martin, Lausanne, CH**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

**DE 101 56 694 A1**

**NICOLAS, Carlos Veganzones, et.al.: Guidelines for the Design and Control of Electrical Generator Systems for new Grid connected Wind Turbine Generator. In: IECOM 02 (Industrial Electronics Society, IEEE 2002 28th Annual Conference of the), Vol.4,5-8 Nov. 2002, S.3317-3325;;**

**SCHIBLI, Nikolaus P., et.al: A Three-Phase Multilevel Converter for High-Power Induction Motors. In: IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 13, No.5, 5.Sept.1998, S.978-986;;**

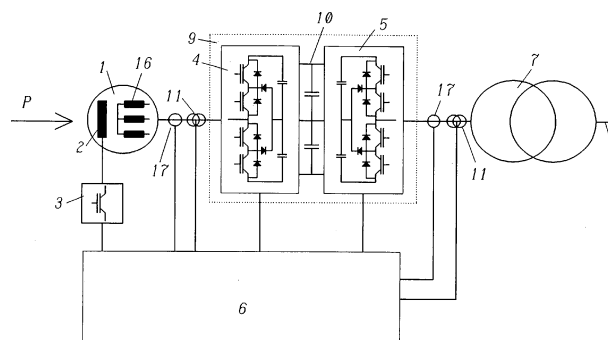
**RAE, Ta, et.al.: Controller Structure and Design of Firing Angle Controllers for (Unit Connected) HVDC Systems. In: IEEE AFRICON 4th, Vol.2, 24-27 Sept. 1996, S.856-863;;**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Frequenzumwandler für Hochgeschwindigkeitsgeneratoren**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Anpassung des von einem Generator (1) erzeugten Wechselstroms respektive der von einem Generator (1) erzeugten Wechselspannung an ein Netz (8), wobei der Generator (1) wenigstens eine Erregerspule (2) aufweist. Eine flexible Anpassung der in das Netz (8) eingespeisten Leitung bei niedrigen Schaltverlusten kann erreicht werden, indem zur Anpassung zwischen Generator (1) und Netz (8) ein statischer Frequenzumwandler (9) verwendet wird und indem zur Steuerung der in das Netz (8) eingespeisten Leistung einerseits Mittel (3) angeordnet sind, mit welchen die Stärke des von der wenigstens einen Erregerspule (2) erzeugten Erregerfeldes geregelt wird, und andererseits eine geeignete Ansteuerung der Phasenlage zwischen Frequenzumwandlerspannung und Generator- respektive Netzspannung vorgenommen wird.



**Beschreibung****Aufgabenstellung**

## TECHNISCHES GEBIET

## DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Anpassung des von einem Generator erzeugten Wechselstroms respektive der von einem Generator erzeugten Wechselspannung an ein Netz, wobei es sich beim Generator um einen Generator mit wenigstens einer Erregerspule handelt. Ausserdem betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens.

## Stand der Technik

**[0002]** Drehzahlvariable Generatoren oder ganz allgemein Generatoren mit einer Frequenz, welche von der Netzfrequenz abweicht, werden typischerweise über Umrichter, welche eine Anpassung der Spannung und der Frequenz, welche von Generator erzeugt wird, an die Spannung und Frequenz des Stromversorgungsnetzes vornehmen, an das Stromversorgungsnetz angeschlossen. Als Umrichter werden zu diesem Zweck unterschiedliche Vorrichtungen verwendet, so beispielsweise so genannte direkte Umrichter, bei welchen z. B. unter Verwendung von Halbleiterschaltern (zum Beispiel Thyristoren oder GTOs, Gate Turn-Off Thyristors) in einer direkten Konversion (AC/AC) die beiden unterschiedlichen Spannungen und Frequenzen relativ zueinander eingestellt werden. Derartige direkte Umrichter gibt es beispielsweise als so genannte Zyklokonverter oder als so genannte Matrixkonverter (z. B. beschrieben in der US 5,594,636). Bei natürlicher Kommutierung erzeugen sie unerwünschte und schwierig zu eliminierende niederfrequente Frequenzkomponenten, bei gezwungener Kommutierung weisen sie grosse Schaltverluste auf.

**[0003]** Alternativ ist es möglich, einen spannungs- und frequenz-angepassten Anschluss eines Generators an ein Stromversorgungsnetz in Form einer indirekten Konversion zu gewährleisten. Bei einer derartigen Konversion wird zunächst aus dem Wechselstrom, welcher vom Generator erzeugt wird, in einem Gleichrichter ein Gleichstrom erzeugt, und dieser Gleichstrom anschliessend in einem Wechselrichter auf die Spannung und Frequenz des Stromversorgungsnetzes gebracht. Derartige gesteuerte Umrichter benutzen ebenfalls Halbleiterschalter (zum Beispiel GTO's, IGBT's, Insulated Gate Bipolar Transistors, MOSFET's, Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistors, oder IGCT's, Integrated Gate Commutated Thyristors), und weisen bei den typischerweise verwendeten Schaltfrequenzen grosse Schaltverluste auf.

**[0004]** Der Erfindung liegt demnach die Aufgabe zugrunde, ein einfaches, flexibles, durch niedrige Schaltverluste gekennzeichnetes Verfahren zur Anpassung des von einem Generator erzeugten Wechselstromes respektive der von einem Generator erzeugten Wechselspannung an ein Netz zur Verfügung zu stellen. Es handelt sich dabei um ein Verfahren im Zusammenhang mit einem Generator mit wenigstens einer Erregerspule.

**[0005]** Die Lösung dieser Aufgabe wird dadurch erreicht, dass zur Anpassung zwischen Generator und Netz ein statischer Frequenzumwandler verwendet wird, und dass zur Steuerung der in das Netz eingespeisten Leistung einerseits Mittel angeordnet sind, mit welchen die Stärke des von der wenigstens einen Erregerspule erzeugten Erregerfeldes geregelt wird, und andererseits eine geeignete Ansteuerung der Phasenlage zwischen Frequenzumwandlerspannung und Generator- respektive Netzspannung vorgenommen wird.

**[0006]** Der Kern der Erfindung besteht somit darin, die Vorteile, die typischerweise mit der Verwendung von statischen Frequenzumwandlern verbunden sind, nämlich einfache Bauweise, niedrige Schaltverluste, etc., zu nutzen, ohne deren Nachteile in Kauf nehmen zu müssen. Ein wesentlicher Nachteil von statischen Frequenzumwandlern besteht nämlich darin, dass sie zwar eine Umwandlung der Frequenz zwischen Eingang und Ausgang erlauben, nicht aber typischerweise eine einfache Regelung des Verhältnisses der Amplitude der Wechselspannung zwischen Eingang und Ausgang. Dieser Nachteil wird nun eben in überraschend einfacher Weise dadurch behoben, dass zur Regelung der durch den Generator in das Netz eingekoppelten Leistung einerseits das Erregerfeld der Erregerspule des Generators, und andererseits die Phasenlage zwischen der vom gesteuerten Gleichrichter erzeugten Spannung und der Generatorspannung entsprechend geregelt wird.

**[0007]** Die vorgeschlagene Schaltung respektive das vorgeschlagene Verfahren hat den weiteren Vorteil, dass es in einfacher Weise beim Aufstarten den Hochlauf der Turbinen-Generator-Gruppe auf die nötige Minimaldrehzahl ermöglichen kann. Thermische oder andere Energiequellen wie Gasturbinen können bei tiefen Drehzahlen kein Drehmoment erzeugen. Sie müssen mit Hilfe eines Motors zuerst auf eine Minimaldrehzahl gebracht werden, bevor sie Leistung abgeben können. Bei der Lösung " Turbine-Getriebe-Generator-Netz " kann der Generator nur synchron zum Netz, bei Nenndrehzahl also, betrieben werden, und es wird ein zusätzlicher Startmotor mit eigenen Speise- und Regelvorrichtungen benötigt

(Stand der Technik).

**[0008]** Bei einer Lösung " Turbine-Generator-Umrichter-Netz " kann auf die zusätzlichen Startvorrichtungen verzichtet werden, falls der Umrichter den Generator mitsamt Turbine hochfahren kann. Hierzu muss:

- 1) Energie vom Netz über den Umrichter zum Generator fließen können
- 2) der Umrichter auf der Generatorseite beliebige Spannung und Frequenz erzeugen können. Bei einem Generator sind Spannung und Frequenz etwa proportional zur Drehzahl (bei konstanter Erregung). Für den Hochlauf vom Stillstand auf Nenn Drehzahl müssen also auch Spannung und Frequenz von Null auf Nennwert variiert werden.

**[0009]** Die vorgeschlagene Schaltung ist für einen Hochlauf sehr geeignet. Sie kann in einfacher Weise beliebige Spannungen und Frequenzen erzeugen, indem sie mit höheren Schaltfrequenzen betrieben wird. Die durch diese Betriebsart erzeugten höheren Verluste fallen nur beim Aufstarten an, was erlaubt ist, da nur kurzzeitig, und da typischerweise in einer speziellen Startvorrichtung ähnliche Verluste anfallen. Sobald der Drehzahlbereich der Energieproduktion erreicht wird, wird auf die verlustarme Grundfrequenztaktung umgeschaltet.

**[0010]** Mit dieser Schaltung können also die Kosten für eine zusätzliche Startvorrichtung eingespart werden.

**[0011]** Gemäss einer ersten bevorzugten Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens handelt es sich beim verwendeten statischen Frequenzumwandler um einen indirekten Frequenzumwandler. Mit anderen Worten handelt es sich um einen als Gleichrichter/Wechselrichter ausgebildeten statischen Frequenzumwandler mit einer dazwischen geschalteten Gleichstromstufe. Diese einfache Bauweise, welche üblicherweise, wenn zusätzlich über eine spezifische Schaltung von Gleichrichter respektive Wechselrichter das Verhältnis der Spannungen zwischen Eingang und Ausgang variabel eingestellt werden soll, mit hohen Schaltverlusten verbunden ist, kann durch die erfindungsgemässe Regelung des Erregerfeldes und die Phasenlage der vom Frequenzumwandler erzeugten Spannungen ohne komplexe Massnahmen eingestellt werden.

**[0012]** Eine weitere bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemässen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassung über einen statischen Frequenzumwandler mit einem gesteuerten Gleichrichter in Grundfrequenztaktung und/oder mit einem gesteuerten Wechselrichter in Grundfrequenztaktung erfolgt. Ganz besonders vorteilhaft ist das Verfahren, wenn sowohl Gleichrichter als auch Wechselrichter als gesteuerte Bauteile in Grundfre-

quenztaktung ausgebildet sind. Die Verwendung von zwei gewissermassen spiegelbildlich angeordneten Pulswechselrichtern ist besonders einfach und wird durch die erfindungsgemässe Ansteuerung der Erregerspule ausserdem auch bei Generatoren möglich, welche in ihrer Leistungsanpassung an das Netz dynamisch geregelt werden müssen.

**[0013]** Es können Zweistufenumrichter oder Dreistufenumrichter verwendet werden, für den Gleichrichter wie für den Wechselrichter. Dreistufenumrichter werden bevorzugt bei einem Generator mit nur einer Statorwicklungsgruppe, bei mehreren Wicklungsgruppen sind Zwei- und Dreistufenumrichter sehr geeignet. Bevorzugt handelt es sich beim gesteuerten Gleichrichter um einen Drei-Stufen-Gleichrichter. Alternativ oder gleichzeitig handelt es sich vorzugsweise beim gesteuerten Wechselrichter um einen Drei-Stufen-Wechselrichter. Beide werden dabei bevorzugt in Grundfrequenztaktung betrieben. Derartige Drei-Stufen-Wechselrichter sind dem Fachmann in ihrer allgemeinen Funktionsweise bekannt, und sind beispielsweise in Standardliteratur wie "Convertisseurs statiques", Hansruedi Bühler, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991, verfügbar.

**[0014]** Ein derartiges erfindungsgemässes Verfahren wird bevorzugt realisiert, indem eine zentrale Steuerung angeordnet wird, welche über die Messung von Spannung und/oder Stromstärke vor und/oder hinter dem statischen Frequenzumwandler eine Anpassung der ins Netz eingespeisten Amplitude der Wechsellspannung durch eine entsprechende Ansteuerung der Mittel zur Steuerung der Stärke des von der Erregerspule erzeugten Erregerfeldes vornimmt.

**[0015]** Die zentrale Steuerung stellt ausserdem einen geeigneten Phasenwinkel ein zwischen

- 1) Generatorspannung und der durch den gesteuerten Gleichrichter erzeugten Spannung
- 2) Netzspannung und der durch den gesteuerten Wechselrichter erzeugten Spannung

um den gewünschten Leistungsfluss mit gewünschten Leistungsfaktoren zu ermöglichen.

**[0016]** Die Wirkleistung wird hauptsächlich durch den Winkel bestimmt, die Blindleistung (und damit der Leistungsfaktor) durch die Amplitude.

**[0017]** Die möglicherweise auftretenden Frequenzkomponenten ausserhalb der eigentlichen gewünschten Grundfrequenz sowohl generatorseitig des statischen Frequenzumwandlers als auch netzseitig des statischen Frequenzumwandlers können reduziert oder sogar vollständig eliminiert werden, indem auf einer oder beiden Seiten entsprechende Filterelemente angeordnet werden. In Frage kommen

beispielsweise Bandpassfilter, Hochpassfilter oder Tiefpassfilter, oder Kombinationen von derartigen Filtern. Es kann sich dabei ausserdem um aktive oder passive Bauelemente handeln.

**[0018]** Das erfindungsgemässe Verfahren kann nicht nur bei Generatoren mit einer Statorwicklungsgruppe durchgeführt werden, sondern gleichermaßen bei Generatoren mit zwei oder mehr Wicklungsgruppen. Entsprechend werden die dabei erzeugten Gruppen von jeweils drei Phasen über jeweils individuelle statische Frequenzumwandler gewandelt. Zum Beispiel bei einem Generator mit zwei Statorwicklungsgruppen wird bevorzugt die Ankopplung an das Netz hinter dem statischen Frequenzumwandler über einen Transformator sichergestellt, bei welchem die eine Gruppe von drei Phasen in einer Sternschaltung geführt sind und die andere Gruppe von drei Phasen in einer Dreieckschaltung.

**[0019]** Weitere bevorzugte Ausführungsformen des vorliegenden Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

**[0020]** Ausserdem betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens, wie es weiter oben beschrieben ist. Die Vorrichtung umfasst vorzugsweise einen Generator mit wenigstens einer über Mittel in Bezug auf die Anpassung der Amplitude der Wechselspannung an die Erfordernisse des Netzes regelbaren Erregerspule, einen statischen Frequenzumwandler umfassend wenigstens einen gesteuerten Gleichrichter in Grundfrequenztaktung und wenigstens einen gesteuerten Wechselrichter in Grundfrequenztaktung sowie wenigstens eine Steuerung zur Steuerung dieser Elemente.

**[0021]** Weitere bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemässen Vorrichtung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

#### Ausführungsbeispiel

#### KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

**[0022]** Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

**[0023]** Fig. 1 eine schematische Darstellung des Anschlusses eines Generators an ein Stromversorgungsnetz;

**[0024]** Fig. 2 eine schematische Darstellung gem. Fig. 1, wobei der Stator des Generators mit zwei Wicklungsgruppen ausgestaltet ist ; und

**[0025]** Fig. 3 eine schematische Darstellung gem. Fig. 1, wobei zusätzlich Filter zur Dämpfung von Harmonischen eingefügt sind.

#### WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

**[0026]** Viele Stromerzeugungsanlagen verwenden thermische oder andere Energiequellen wie Gasturbinen als Leistungsquellen. Typischerweise sind derartige Leistungsquellen durch schnelle Rotationsgeschwindigkeiten und damit durch hohe Betriebsfrequenzen gekennzeichnet, sowie durch die Möglichkeit, die Rotationsgeschwindigkeit in Anpassung an den Leistungsbedarf zu ändern.

**[0027]** Um den unterschiedlichen Rotationsgeschwindigkeiten des Energieerzeugers, welcher beispielsweise in Fig. 1 mit dem Bezugszeichen P symbolisch dargestellt ist, Rechnung zu tragen, können beispielsweise zwischen der eigentlichen Leistungsquelle P und den Generator zur Erzeugung elektrischer Energie Getriebe eingesetzt werden. Diese weisen aber normalerweise den Nachteil auf, hohe Verluste mit sich zu bringen und wartungsintensiv zu sein. Da die Rotationsfrequenz des Generators letzten Endes die Frequenz des damit erzeugten Wechselstromes bestimmt, ist es alternativ auch möglich, den Generator direkt an die Leistungsquelle, gegebenenfalls über eine Kupplung, anzubinden, und anschliessend hinter dem Generator eine Anpassung der Frequenz des erzeugten Stromes an die Netzfrequenz vorzunehmen, indem ein Frequenzumwandler vorgesehen wird. Ein derartiger Frequenzumwandler vermeidet zwar die in einem Getriebe auftretenden mechanischen Verluste, führt aber in der Regel zu Energieverlusten durch das Schalt- respektive Kommutationsverhalten der darin eingesetzten geschalteten Halbleiterbauteile.

**[0028]** Fig. 1 zeigt nun eine schematische Darstellung eines Stromerzeugers und seiner Ankopplung an ein Netz 8, bei welchem derartige Verluste möglichst gering gehalten werden können, und trotzdem unterschiedliche Rotationsgeschwindigkeiten des Generators möglich sind, ohne dass mechanische Getriebe erforderlich wären.

**[0029]** Das System umfasst einen Generator 1, in welchem eine rotierende Erregerspule 2 eine entsprechende Wechselspannung in den Statorwicklungen 16 induziert. Die Rotation der Erregerspule 2 wird dabei durch eine Leistungsquelle P gewährleistet, welche aus einer Gasturbine bestehen kann, oder aber auch aus einer Wasserturbine oder einer anderen kinetischen Energiequelle.

**[0030]** Der durch die Erregerspule 2 geschickte Strom kann über Mittel 3 zur Regelung, welche über eine Steuerung 6 angesteuert werden, in Abhängigkeit der Erfordernisse eingestellt werden. Als Mittel 3 zur Regelung können dabei beispielsweise Thyristorenstromrichterbrücken, wenn als Energiequelle ein dreiphasiges Netz dient, oder Chopper, wenn als Energiequelle ein Gleichstrom dient, eingesetzt werden.

Die Art und Weise und Zielvorgabe dieser Steuerung der Mittel **3** wird weiter unten beschrieben.

**[0031]** Der vom Generator **1** erzeugte Strom wird anschliessend einem Frequenzumwandler **9** zugeführt. Es handelt sich beim Frequenzumwandler um einen so genannten statischen Frequenzkonverter. Um die weiter unten beschriebene Regelung der Umwandlung gewährleisten zu können, sind in vorteilhafter Weise vor dem Frequenzumwandler Möglichkeiten vorgesehen, Stromstärke und Spannung des Wechselstromes zu messen, und die entsprechenden Messwerte der Steuerung **6** zuzuführen.

**[0032]** Der Frequenzumwandler **9** umfasst drei Teile, d.h. einen Gleichrichter **4**, einen Wechselrichter **5** und eine Gleichstromstufe **10**. Der Gleichrichter **4** gewährleistet die Umwandlung des Wechselstroms des Generators **1** mit einer Frequenz  $f_{Gen}$  in Gleichstrom. Dieser Gleichstrom wird anschliessend in einem Wechselrichter **5** auf die an das Netz angepasste Frequenz  $f_{Netz}$  gewandelt.

**[0033]** Bei einem Zweistufenrichter mit Grundfrequenztaktung ist das Verhältnis zwischen Wechselspannung und Gleichspannung konstant.

**[0034]** Bei einem Dreistufenrichter mit Grundfrequenztaktung ist das Verhältnis zwischen Wechselspannung und Gleichspannung beliebig einstellbar. Es werden aber (wie beim Zweistufenrichter auch) Oberwellen erzeugt. Einer der Vorteile des Dreistufen- gegenüber dem Zweistufenrichter ist die Möglichkeit, die Oberwellen zu reduzieren und eine vergleichsweise gute Wellenform zu erhalten. Dieses Ziel beschränkt die Einstellbarkeit des Spannungsverhältnisses auf einen kleinen Bereich, dessen Grösse von der Grösse der erlaubten Oberwellen abhängt. Die Spannungsregelung wird nun kombiniert über den Umrichter und die Generatorerregung durchgeführt.

**[0035]** Für eine freizügige Leistungsregelung muss man sowohl die Amplitude wie die Phasenlage der Spannung einstellen. Die Wirkleistung wird hauptsächlich beeinflusst durch den Phasenwinkel zwischen Generatorspannung und der vom gesteuerten Gleichrichter erzeugten Spannung (respektive Netzspannung und der vom gesteuerten Wechselrichter erzeugten Spannung). Die Blindleistung (und damit der Leistungsfaktor) wird hauptsächlich durch das Verhältnis der Amplituden von Generatorspannung und der vom gesteuerten Gleichrichter erzeugten Spannung (respektive Netzspannung und der vom gesteuerten Wechselrichter erzeugten Spannung) beeinflusst.

**[0036]** Als Gleichrichter **4** findet konkret im Ausführungsbeispiel ein dreistufiger Pulsleichrichter Anwendung. Ein derartiger Pulsleichrichter ist bei-

spielsweise in "Convertisseurs statiques", Hansruedi Bühler, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991 auf Seite 302ff beschrieben und damit dem Fachmann bekannt. Jede der drei vom Generator **1** zur Verfügung gestellten Phasen wird über eine entsprechende Gleichrichterschaltung, wie sie in **Fig. 1** dargestellt ist, gleichgerichtet. Als Leistungsschalter werden in einem derartigen Pulsleichrichter Halbleiterbauteile wie beispielsweise GTO's, IGBT's, MOSFET's, oder IGCT's eingesetzt.

**[0037]** Der Gleichrichter **4** wird mit der so genannten Grundfrequenztaktung betrieben, d.h. mit einem Verfahren, in welchem die auftretenden Schaltverluste respektive Kommutationsverluste minimal sind (vgl. dazu loc. cit. S. 147ff). Nachteilig an dieser Schaltungsweise ist nur, dass dabei das Spannungsverhältnis von Eingangsspannung vom Generator ( $U_{Gen}$ ) zu Gleichstromspannung ( $U_{Gleich}$ ) konstant ist, und nicht ohne Veränderung der Schaltungsweise und ohne die damit verbundenen Schaltverluste geregelt werden kann.

**[0038]** Die bei einer derartigen dreistufigen Gleichrichtung zur Verfügung gestellte Gleichspannung, bei welcher die einzelnen der drei Niveaus über Kapazitäten voneinander getrennt sind, wird anschliessend als Eingang für einen gleichartigen, aber gewissermassen spiegelbildlich angeordneten Wechselrichter **5** verwendet. Als Wechselrichter **5** findet wiederum ein Pulswechselrichter Anwendung, wie er bereits im Zusammenhang mit dem Gleichrichter **4** beschrieben wurde. Auch dieser Pulswechselrichter wird in seiner Grundfrequenztaktung betrieben, damit Schaltverluste minimal gehalten werden. Entsprechend ergibt sich aber auch hier ein konstantes Verhältnis von Gleichstromspannung ( $U_{Gleich}$ ) zu netzseitiger Wechselstromspannung ( $U_{Netz}$ ).

**[0039]** Die durch den Wechselrichter **5** zur Verfügung gestellte Wechselspannung in drei Phasen wird anschliessend, gegebenenfalls über einen Transformator **7**, in das Netz **8** eingespeist. Um wiederum eine erfindungsgemässe Regelung optimal fahren zu können, ist es vorteilhaft, hinter den Wechselrichter **5** eine Spannungsmessung **11** respektive eine Stromstärkenmessung **17** vorzunehmen, und die zugehörigen Messwerte der Steuerung **6** zugänglich zu machen.

**[0040]** Die beschriebene Kombination von zwei spiegelbildlich angeordneten Schaltelementen, Pulswechselrichter respektive Pulsleichrichter **5**, **4** führt dazu, dass, wenn beide mit ihrer Grundfrequenztaktung betrieben werden, ein konstantes Verhältnis zwischen Eingangsspannung und Ausgangsspannung vorgegeben ist.

$$\frac{U_{Gen}}{U_{Netz}} = const.$$

**[0041]** Mit einem derartigen Frequenzumwandler **9** lassen sich mit anderen Worten beliebige Verhältnisse der Frequenzen von Eingang ( $f_{\text{Gen}}$ ) zu Ausgang ( $f_{\text{Netz}}$ ) einstellen, eine beliebige Regelung der in das Netz **8** eingekoppelten Wirk- und Blindleistung ist aber infolge des starren Verhältnisses der Spannungen nicht möglich.

**[0042]** Um dennoch stets die maximal mögliche Leistung von der Energiequelle  $P$  mit optimalem Leistungsfaktor in das Netz **8** einspeisen zu können, wird nun erfindungsgemäss so vorgegangen, dass das Verhältnis der Spannungen indirekt über die Einstellung des der Erregerspule **2** zugeführten Stromes eingestellt wird. Diese über die Mittel **3** mögliche Regelung führt dazu, dass das von der Erregerspule **2** erzeugte Erregerfeld und damit die in den Statorwicklungen **16** induzierte Spannung geregelt wird. Die Steuerung wird dabei von der Einheit **6** vorgenommen, welche dafür die über die Messgeräte zur Spannungsmessung **11** und zur Stromstärkenmessung **17** verfügbaren Daten zur Spannung und zur Stromstärke resp. zu deren Phasenlagen und Frequenzen verwenden kann.

**[0043]** So kann trotz festem Verhältnis der Spannungen im statischen Frequenzumwandler **9** stets die gewünschte Leistung mit dem gewünschten Leistungsfaktor an das Netz **8** abgegeben werden. Diese Art der Regelung weist unter anderem den grossen Vorteil auf, dass auf einer sehr kurzen Zeitskala Änderungen der in das Netz **8** eingespeisten Leistung möglich sind. Die vergleichsweise gute Wellenform eines Drei-Stufen-Gleichrichters respektive Wechselrichters erlaubt es, einen daraus aufgebauten Frequenzumwandler **9** als direkte Verbindung zwischen Generator **1** und Netz **8** einzusetzen. Falls erforderlich kann, wie bereits erwähnt, zwischen Frequenzumwandler **9** und Netz **8** ein Transformator **7** zusätzlich Anwendung finden.

**[0044]** Wie in **Fig. 2** dargestellt, kann es sich beim Generator auch um einen Generator mit mehreren Statorwicklungsgruppen handeln. In **Fig. 2** ist ein Generator **1** mit zwei Statorwicklungsgruppen **12** und **13** dargestellt. Die entsprechenden drei Phasen jeder Wicklungsgruppe werden anschliessend separat jeweils einem Frequenzumwandler zugeführt. Mit anderen Worten werden die drei Phasen der ersten Statorwicklungsgruppen **12** einer ersten Gleichrichterstufe **41** zugeführt und anschliessend in einer Wechselrichterstufe **51** auf die für das Netz **8** erforderliche Frequenz gebracht. In einem separaten Kreis werden die drei Phasen der zweiten Statorwicklungsgruppen **13** einer ersten Gleichrichterstufe **42** zugeführt und anschliessend in einer Wechselrichterstufe **52** ebenfalls auf die für das Netz erforderliche Frequenz gebracht. Anschliessend werden die drei Phasen der ersten Gruppe und der zweiten Gruppe über Transformatorspulen **72** respektive **73** mittels der Transfor-

matorspule **71** an das Netz angekoppelt. Um eine optimale Ankopplung zu gewährleisten, wird in vorteilhafter Weise eine der Gruppen in Sternschaltung und die andere Gruppe in Dreieckschaltung ausgelegt.

**[0045]** Wenn die Auslegung entweder vom Generator **1** oder vom Netz **8** dies erforderlich macht, ist es ausserdem möglich, harmonische Vielfache, wie sie typischerweise bei dem vorgeschlagenen Gleichrichter **4** und dem vorgeschlagenen Wechselrichter **5** in ihrer Grundfrequenztaktung auftreten, über entsprechende Filter zu eliminieren oder zu dämpfen. Dies ist in **Fig. 3** dargestellt, wo auf der Seite des Generators **1** über eine Drosselspule **14** in Linie und eine Kapazität **15** zur Erde ein Tiefpass vorgesehen ist. So können unerwünschte Frequenzkomponenten, welche auf den Generator **1** rückwirken können und beispielsweise zu Drehmomentschwingungen führen können, eliminiert werden. Auf der anderen Seite können über einen entsprechenden, auf der Seite des Netzes **8** angeordneten Tiefpass, aufgebaut aus einer Drosselspule **74** in Linie und einer Kapazität **75** zur Erde, unerwünschte Frequenzkomponenten in Richtung zum Netz **8** reduziert oder gar eliminiert werden. So wird Inselbetrieb oder Standalone Betriebsweise möglich in Analogie zu so genannten Uninterruptible Power Supplies (UPS).

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Generator
<b>2</b>	Erregerspule von <b>1</b>
<b>3</b>	Mittel, steuerbare Speisung der Erregerspule
<b>4</b>	Gleichrichter, Pulsleichrichter, Gleichrichterstufe des Frequenzumwandlers,
<b>5</b>	Wechselrichter, Pulswechselrichter, Wechselrichterstufe des Frequenzumwandlers,
<b>6</b>	Steuerung, Regelung
<b>7</b>	Transformator
<b>8</b>	Netz
<b>9</b>	Frequenzumwandler, statischer Frequenzkonverter
<b>10</b>	Gleichstromstufe
<b>11</b>	Spannungsmessung
<b>12</b>	erste Statorwicklungsgruppe des Generators
<b>13</b>	zweite Statorwicklungsgruppe des Generators
<b>14</b>	Drosselspule
<b>15</b>	Kondensator, Kapazität
<b>16</b>	Statorwicklung des Generators
<b>17</b>	Strommessung
<b>41, 42</b>	Gleichrichterstufe zur ersten respektive zweiten Statorwicklungsgruppe des Generators
<b>51, 52</b>	Wechselrichterstufe zur ersten respektive zweiten Statorwicklungsgruppe

	des Generators
71	Transformatorspule zum Netz
72	Transformatorspule zur ersten Statorwicklungsgruppe des Generators, Sternschaltung
73	Transformatorspule zur zweiten Statorwicklungsgruppe des Generators, Dreieckschaltung
74	Drosselspule
75	Kondensator, Kapazität
P	Leistungsquelle, z. B. Turbine

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Anpassung des von einem Generator (1) erzeugten Wechselstroms respektive der von einem Generator (1) erzeugten Wechselspannung an ein Netz (8), wobei es sich beim Generator (1) um einen Generator (1) mit wenigstens einer Erregerspule (2) handelt, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Anpassung zwischen Generator (1) und Netz (8) ein statischer Frequenzumwandler (9) verwendet wird, und dass zur Steuerung der in das Netz (8) eingespeisten Leistung Mittel (3) angeordnet sind, mit welchen einerseits die Stärke des von der wenigstens einen Erregerspule (2) erzeugten Erregerfeldes und andererseits die Phasenlage zwischen Frequenzumwandlerspannung und Generator- respektive Netzspannung geregelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassung über einen statischen Frequenzumwandler (9) als Gleichrichter (4, 41, 42) / Wechselrichter (5, 51, 52) mit einer dazwischen geschalteten Gleichstromstufe (10) erfolgt.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anpassung über einen statischen Frequenzumwandler (9) mit einem gesteuerten Gleichrichter (4, 41, 42) in Grundfrequenztaktung und/oder mit einem gesteuerten Wechselrichter (5, 51, 52) in Grundfrequenztaktung erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass es sich beim gesteuerten Gleichrichter (4, 41, 42) um einen Drei-Stufen-Gleichrichter und beim gesteuerten Wechselrichter (5, 51, 52) um einen Drei-Stufen-Wechselrichter handelt, welche beide in Grundfrequenztaktung betrieben werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der statischen Frequenzumwandler (9) geschaltete Thyristoren wie beispielsweise GTO's, IGBT's, MOSFET's, oder IGCT's, umfasst.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine zentrale Steuerung (6) angeordnet ist, welche über die

Messung von Spannung (11) und/oder Stromstärke (17) vor und/oder hinter dem statischen Frequenzumwandler (9) eine Anpassung der ins Netz (8) eingespeisten Amplitude der Wechselspannung durch eine entsprechende Ansteuerung der Mittel (3) zur Steuerung der Stärke des von der Erregerspule (2) erzeugten Erregerfeldes vornimmt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel (3) eine Anpassung der vom Generator ins Netz eingespeisten Leistung durch eine entsprechende Ansteuerung der Phasenlage zwischen Generatorspannung und der vom gesteuerten Gleichrichter erzeugten Wechselspannung, respektive der Phasenlage zwischen der Netzspannung und der vom gesteuerten Wechselrichter erzeugten Wechselspannung vornehmen.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass vor und/oder hinter dem statischen Frequenzumwandler (9) von der Grundfrequenz abweichende Frequenzkomponenten durch zweite Mittel (14, 15, 74, 75) abgedämpft respektive eliminiert werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es sich beim Generator (1) um einen Generator (1) mit zwei oder mehr Statorwicklungsgruppen (12, 13, 16) handelt, und dass die jeweils von einer Statorwicklungsgruppe (12, 13, 16) erzeugte Wechselspannung über jeweils je einen statischen Frequenzumwandler (41, 51; 42, 52) umgewandelt wird, wobei insbesondere bevorzugt bei einem Generator (1) mit zwei Statorwicklungsgruppen (12, 13) die Ankopplung an das Netz (8) hinter dem statischen Frequenzumwandler (9) über einen Transformator (7) erfolgt, bei welchem die eine Gruppe von drei Phasen in einer Sternschaltung (72) geführt sind und die andere Gruppe von drei Phasen in einer Dreieckschaltung (73).

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei den Mitteln (3) um eine Thyristorstromrichterbrücke bei Bezug von Leistung aus einem insbesondere dreiphasigen Netz, respektive um einen Chopper bei Bezug von Leistung in Form von Gleichstrom handelt.

11. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass ein Generator (1) mit wenigstens einer über Mittel (3) zur Anpassung der Amplitude der Wechselspannung an die Erfordernisse des Netzes (8) regelbaren Erregerspule (2), ein statischer Frequenzumwandler (9) umfassend wenigstens einen gesteuerten Gleichrichter (4, 41, 42) in Grundfrequenztaktung und wenigstens einen gesteuerten Wechselrichter (5, 51, 52) in Grundfrequenztaktung

sowie wenigstens eine Steuerung (6) zur Steuerung dieser Elemente vorhanden ist.

12. Verwendung einer Vorrichtung nach Anspruch 11 zum Hochfahren der Turbine (P)-Generator (1)-Gruppe auf die zur Energieerzeugung nötige Minimaldrehzahl, wobei Energie von Netz (8) über den Frequenzumwandler (9) zum Generator (1) geführt wird und im Frequenzumwandler (9) Spannung und Frequenz von null auf Nennwert variiert werden.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen



Anhängende Zeichnungen

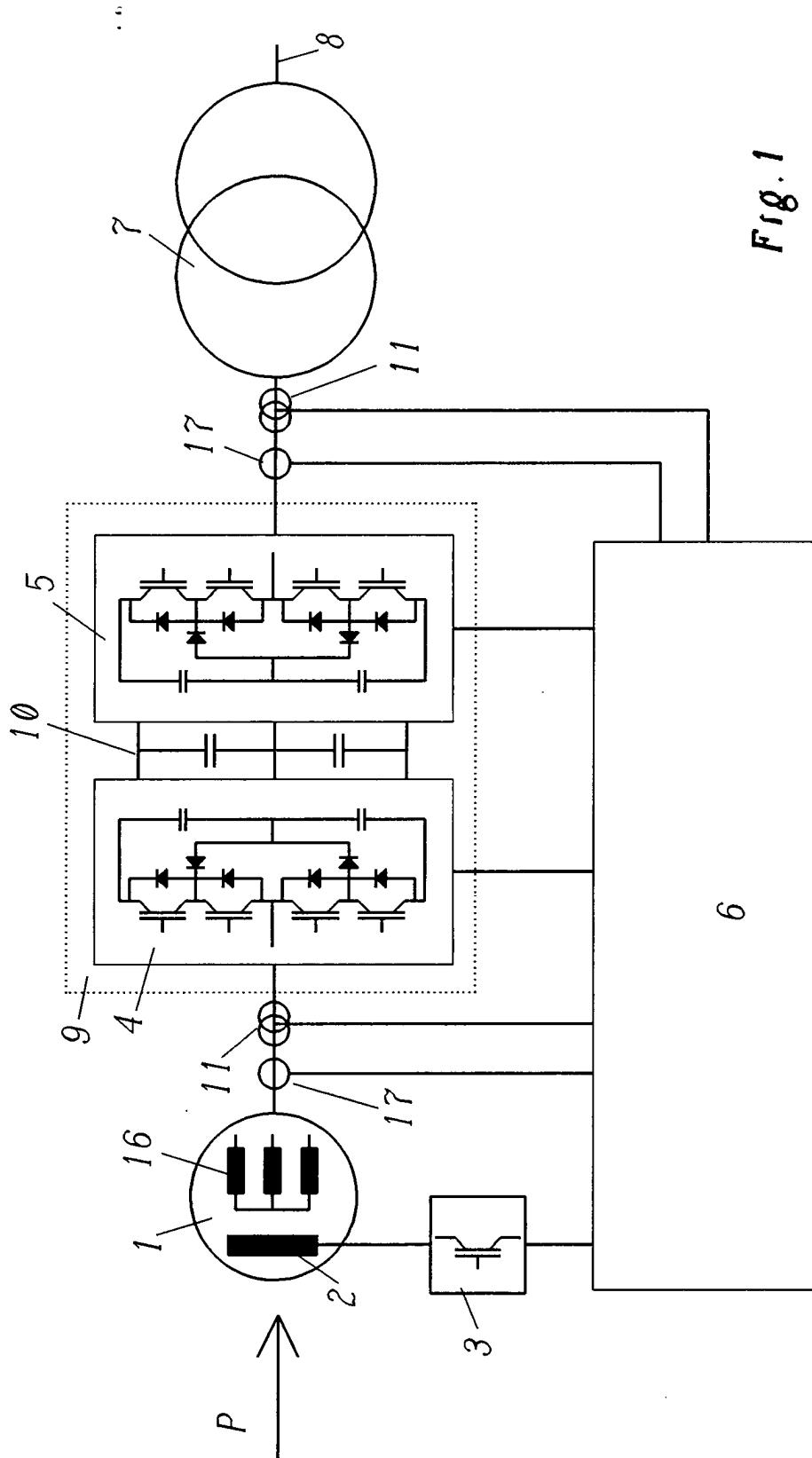


Fig. 1

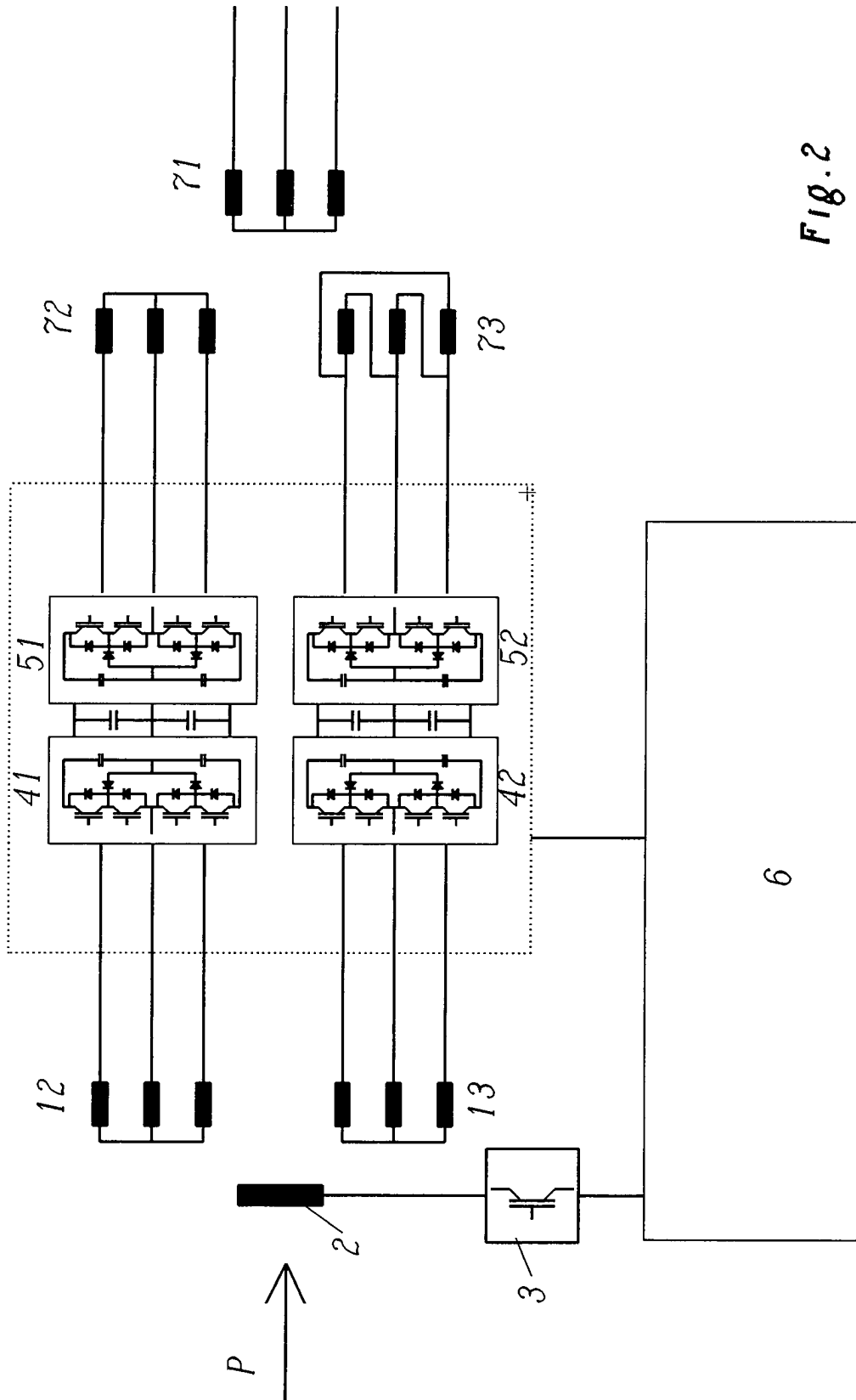


FIG. 2

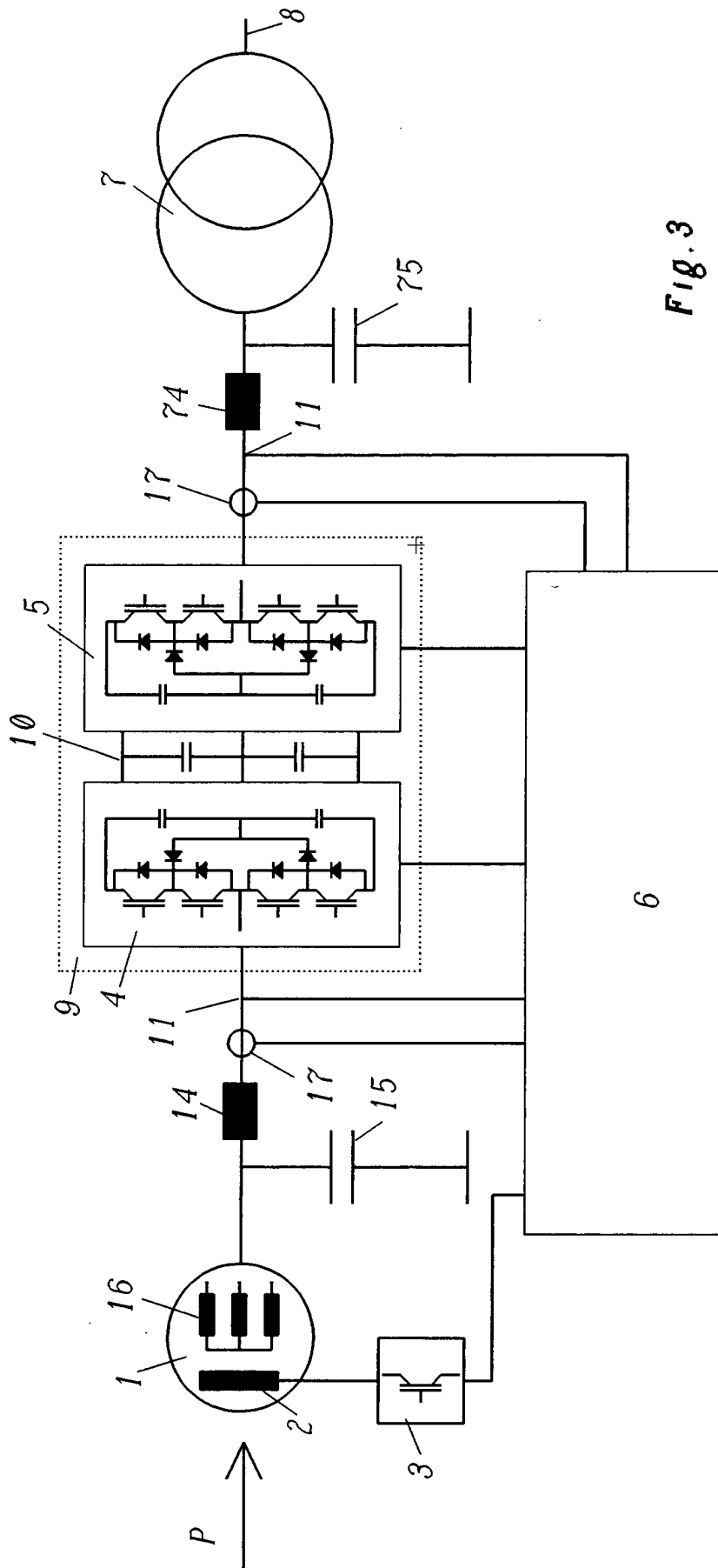


Fig. 3