



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 054 870 A1** 2008.06.12

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 054 870.1**

(22) Anmeldetag: **20.11.2006**

(43) Offenlegungstag: **12.06.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H02P 9/02** (2006.01)  
**H02J 3/00** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**REpower Systems AG, 22297 Hamburg, DE**

(74) Vertreter:  
**Glawe, Delfs, Moll, Patentanwälte, 20148 Hamburg**

(72) Erfinder:  
**Fortmann, Jens, 13156 Berlin, DE; Letas,  
Heinz-Hermann, 23701 Süssel, DE**

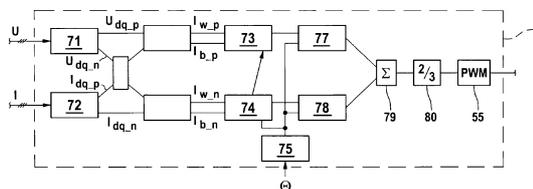
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:  
**Magueed, F.A., Sannino, A., Svensson, J.: "Transient performance of voltage source con-verter under unbalanced voltage dips" in Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual Volume 2, 20-25 June 2004, Pages: 1163-1168 Vol.2;**  
**J.I. Marvik, T. Björgum, B.I. Naess, T. Undeland, T. Gjengedal: "Control of a Wind Turbine with a Doubly Fed Induction Generator after Transient Failures" in 2004-EPE Sup-ported Conference Proceedings, S. 1163 bis 1168;**

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

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Windenergieanlage mit Gegensystemregelung und Betriebsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Windenergieanlage mit einem durch einen Rotor angetriebenen Generator, der mehrphasig elektrische Leistung zum Einspeisen in ein Netz erzeugt, einem Umrichter, der an den Generator und das Netz angeschlossen ist, und einer Steuerung, die mit dem Umrichter zusammenwirkt und eine Gegensystemregelung (74) umfasst. Die Gegensystemregelung (74) weist ein Phasensteuermodul (75) auf, das dazu ausgebildet ist, eine elektrische Größe des Gegensystems phasenspezifisch zu bestimmen. Damit ist es ermöglicht, den verfügbaren Strom je nach Betriebssituation für Wirk- oder Blindleistung im Gegensystem vorzusehen. Die Gegensystemregelung ist damit phasenspezifisch, so dass sie gerade bei unsymmetrischen Netzbedingungen zu einer Stabilisierung des Netzes beitragen kann. Die Erfindung bezieht sich weiter auf einen entsprechend ausgerüsteten Windpark sowie ein Betriebsverfahren.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Windenergieanlage mit einem Rotor, einem mehrphasigen Generator, einem Umrichter, der an den Generator und ein Netz angeschlossen ist, und einer Steuerung, die mit dem Umrichter zusammenwirkt und eine Gegensystemregelung umfasst, sowie einen entsprechenden Windpark und Betriebsverfahren.

**[0002]** In vielen Stromnetzen wird bereits ein beträchtlicher Teil der Leistung von Windenergieanlagen erzeugt. Sie bieten neben dem Vorteil der regenerativen Energieerzeugung und dezentralen Einspeisung von Wirkleistung den Vorzug, dass zur Stützung des Netzes im Fehlerfall auch Blindleistung dezentral von modernen Windenergieanlagen bereitgestellt werden kann. Auf symmetrische Netzfehler kann damit wirksam reagiert werden. Schwierigkeiten können aber bei unsymmetrischen Netzfehlern auftreten. Es kann dann zu Schwingungen im Antriebsstrang der Windenergieanlage kommen. Solche Schwingungen belasten das Rotor-Generator-System und erhöhen das Ausfallrisiko einer Windenergieanlage.

**[0003]** Es ist vorgeschlagen worden, durch asymmetrische Netzfehler hervorgerufenen Drehmomentschwingungen mittels einer so genannten Gegensystemregelung entgegenzuwirken. Im Generator auftretende Stromasymmetrien können so ausgeglichen werden. Die Drehmomentschwingungen verringern sich dadurch. Allerdings steht dem als Nachteil gegenüber, nämlich dass im Gegenzug größere Spannungsasymmetrien auftreten. Das Netz wird insoweit also mit zusätzlicher Asymmetrie belastet.

**[0004]** Es ist zwar bekannt, dass zur Abhilfe Synchrongeneratoren im Netz vorgesehen werden können. Jedoch entsteht dadurch zusätzlicher Aufwand.

**[0005]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Windenergieanlagen der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, bei unsymmetrischen Netzfehlern schädliche Rückwirkungen auf das Netz zu verringern.

**[0006]** Die erfindungsgemäße Lösung liegt in den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0007]** Bei einer Windenergieanlage mit einem durch einen Rotor angetriebenen Generator, der mehrphasig elektrische Leistung zum Einspeisen in ein Netz erzeugt, einem Umrichter, der an den Generator und das Netz angeschlossen ist, und einer Steuerung, die mit dem Umrichter zusammenwirkt und eine Gegensystemregelung umfasst, ist gemäß der Erfindung vorgesehen, dass die Gegensystemrege-

lung ein Phasensteuermodul aufweist, das dazu ausgebildet ist, eine elektrische Größe des Gegensystems phasenspezifisch zu bestimmen.

**[0008]** Die Erfindung beruht auf dem Gedanken, eine Ausregelung unsymmetrischer Anteile im Netz dadurch zu ermöglichen, dass eine phasenspezifische Aufteilung in ein Mit- und ein Gegensystem vorgenommen wird. Die Erfindung macht sich damit die bekannte Tatsache zu Nutze, dass ein reales mehrphasiges Netz beschrieben werden kann durch ein System mit synchron mitdrehenden Koordinaten (Mitsystem), ein entgegengesetzt rotierendes System (Gegensystem) und ein Nullsystem. Letzteres wird von den üblicherweise verwendeten Transformatoren nicht übertragen, so dass eine Betrachtung des Mit- und Gegensystems ausreicht. Im synchron mit dem Phasenzeiger drehenden Mitsystem werden symmetrische Anteile von Strom und Spannung im Netz als Gleichanteile dargestellt, unsymmetrische als Komponente mit doppelter Netzfrequenz (bei einer Netzfrequenz von 50 Hz also als eine 100 Hz-Komponente). Diese Komponente wird nachfolgend kurz als 100 Hz-Komponente bezeichnet. Entsprechend werden im Gegensystem unsymmetrische Anteile als Gleichanteil dargestellt, und symmetrische Anteile als 100 Hz-Komponente.

**[0009]** Kern der Erfindung ist die Erkenntnis, dass eine phasenspezifische Regelung im Gegensystem vorzusehen. Die Berücksichtigung der Phase erlaubt es, im Gegensystem eine Unterteilung in Wirk- und Blindanteil vorzunehmen. Wirkanteil im Gegensystem meint dabei analog zum Mitsystem eine Leistung oder einen Strom, der phasengleich mit dem Gegensystem ist. Entsprechend ist mit Blindanteil im Gegensystem eine Leistung oder ein Strom gemeint, der gegenphasig zum Gegensystem ist. Damit ist es ermöglicht, den in der Windenergieanlage verfügbaren Strom (der meist durch thermische Grenzen der stromführenden Komponenten limitiert ist) je nach Betriebssituation für Wirk- oder Blindleistung im Gegensystem vorzusehen. Mit der phasenspezifischen Gegensystemregelung kann damit der Strom auch und gerade bei unsymmetrischen Netzbedingungen optimal im Sinne einer Stabilisierung des Netzes genutzt werden. Synchrongeneratoren zur Aufrechterhaltung der Stabilität im Netz sind dann nicht mehr oder nur noch in geringerem Umfang erforderlich.

**[0010]** Grundsätzlich ist eine getrennte Betrachtung von Wirk- und Blindsystem bei der Regelung von Windenergieanlagen bekannt, jedoch beschränkt auf symmetrische Bedingungen im Netz (also im Mitsystem gemäß der hier verwendeten Terminologie). Für unsymmetrische Bedingungen ist es zwar vorgeschlagen worden, eine Gegensystemregelung vorzusehen (Saccomando, G. et al.: „Control and Operation of Grid-connected Voltage Source Converter Under Grid Disturbances in Variable-speed Wind Turbi-

nes"), jedoch erfolgt diese Regelung vollkommen phasenunspezifisch. Sie dient allein dazu, die durch ein unsymmetrisches Netz im Generator hervorgerufenen unsymmetrischen Ausgleichsströme zu verringern.

**[0011]** Die Regelung ist zweckmäßigerweise so ausgeführt, dass im normalen Betrieb der Windenergieanlage (also außerhalb von Netzfehlern) vorrangig der Wirkanteil des Gegensystems verringert wird, und zwar vorzugsweise möglichst auf einen Wert von Null. Durch einen möglichst geringen Wirkanteil im Gegensystem wird erreicht, dass sich aus Unsymmetrien im Netz ergebenden Drehmomentschwingungen des Generator-Rotor-Systems reduziert bzw. vermieden werden. Den erheblichen mechanischen Belastungen, die herkömmlicherweise bei Unsymmetrien im Netz auftreten, kann damit wirksam begegnet werden.

**[0012]** Weiterhin ist die Regelung zweckmäßigerweise weiter so ausgeführt, dass im normalen Betrieb der Blindanteil des Gegensystem-Stroms auf einen Wert ungleich Null geregelt wird. Vorzugsweise wird dabei ein möglichst hoher Sollwert für den Blindanteil eingestellt, insbesondere der für die Windenergieanlage oder das Netz zulässige Maximalstrom. Anders als bei der Wirkanteil-Regelung wird also gerade nicht auf einen möglichst geringen Wert hin geregelt, sondern es wird ein ganz anderes Regelungsziel verfolgt. Dadurch, dass die die Regelung im Gegensystem erfindungsgemäß phasenspezifisch ist, wird es überhaupt erst ermöglicht, für Wirk- und Blindanteil unterschiedliche Regelungen vorzusehen.

**[0013]** Die Regelung im Mitsystem kann auf herkömmliche Weise vorgesehen sein. Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann aber auch vorgesehen sein, einen Crossovermodul vorzusehen, das dazu ausgebildet ist, die Regelung der Gegensystems mit derjenigen des Mitsystems zu verknüpfen. Es kann vorgesehen sein, dass bei hoher Last der Windenergieanlage und entsprechend großen Strömen der Blind- und der Wirkanteil des Stroms im Gegensystem verringert werden, oder sogar kein Gegensystem-Strom mehr eingespeist wird. Damit kann eine Überlastung der stromführenden Komponenten der Windenergieanlage gerade bei hoher Last vermieden werden. Bei kräftigem Wind kann die Leistung der Windenergieanlage voll ausgenutzt werden, während bei schwächerem Wind erfindungsgemäß Strom über das Gegensystem in das Netz zur Stabilisierung eingespeist wird. Vorzugsweise ist dazu ein Leistungsbeobachter vorgesehen, der mit der phasenspezifischen Regelung des Gegensystems zusammenwirkt. Er ist dazu ausgebildet, den jeweiligen Lastzustand der Windenergieanlage zu ermitteln und die zum Regeln durch das Gegensystem verfügbare Stromreserve zu bestimmen. Mit Vorteil ist vorgesehen, dass die Regelung des Gegensystems

nur zeitweilig beschränkt wird, und zwar insbesondere in Situationen bei hohen Rotordrehzahlen. Eine Überlastung des Umrichters der Windenergieanlage durch Überstrom oder Überspannung im Zwischenkreis kann so verhindert werden.

**[0014]** Die Regelung ist zweckmäßigerweise weiter so ausgeführt, dass bei einem Netzfehler, wie beispielsweise einem asymmetrischen Spannungseinbruch im Netz, vorrangig der Blindanteil im Gegensystem geregelt wird. Auf diese Weise kann der Spannungsasymmetrie entgegenwirkt werden. Es kann vorgesehen sein, dass im Fehlerfall ausschließlich der Blindanteil im Gegensystem geregelt wird. Bevorzugt ist es aber, ein Abwägungsmodul für die Regelung des Gegensystems vorzusehen. Es ist dazu ausgebildet, bei Netzfehlern in Abhängigkeit von Art und Schwere des Netzfehlers, insbesondere der Spannungsasymmetrie, den verfügbaren Strom auf Wirk- und Blindanteile des Gegensystems aufzuteilen. Besonders bevorzugt ist es, wenn das Abwägungsmodul zusätzlich so ausgebildet ist, dass auch die Wirk- und Blindanteile des Mitsystems einbezogen werden. Es kann ein Prioritätsmodul vorgesehen sein, dass in Abhängigkeit von der Belastung der Windenergieanlage und der Netzfehlersituation der Regelung des Gegensystems, und ggf. auch der des Mitsystems, angepasste Regelprioritäten vorgibt.

**[0015]** Es ist günstig, im Normalbetrieb im Prinzip möglichst viel Wirkstrom im Mitsystem einzuspeisen; die Vorgabe von Führungswerten der Regelung erfolgt hier vorzugsweise an Hand der an sich bekannten Momentenregelung bzw. der Leistungsregelung der Windenergieanlage ggf. angepasst an die elektrischen Vorgaben des angeschlossenen elektrischen Netzes. Der Blindstrom im Mitsystem bestimmt sich in Abhängigkeit von dem eingespeisten Wirkstrom oder nach Maßgabe der Spannungsregelung des Netzes. Insoweit ist die Regelung an sich bekannt. Mit nächstfolgender Priorität wird mittels der erfindungsgemäßen phasenspezifischen Regelung des Gegensystems ein Wirkanteil für den Strom im Gegensystem berechnet. Damit wird eine Verringerung der Schwingungen, insbesondere für den Generator und/oder den Zwischenkreis des Umrichters erreicht. Soweit erforderlich oder gewünscht kann dann mit nachrangiger Priorität ein Blindanteil des Gegensystems bestimmt werden, um eventuell auftretende asymmetrische Spannungen zu reduzieren. – Wird hingegen eine Fehlersituation im Netz erkannt, so gibt das Prioritätsmodul geänderte Prioritäten vor. Die Abhängigkeit vom Netzfehler und dem derzeitigen Betriebspunkt kann dabei das Prioritätsmodul zwischen dem Vorrang der Netzstabilisierung oder der Anlagenschonung unterscheiden. Sofern das Prioritätsmodul eine Netzstabilisierung vorgibt wird in Priorität Blindstrom im Mit- und Gegensystem eingespeist, je nach symmetrischem und unsymmetrischem Anteil der auftretenden Spannung. Sofern das

Prioritätsmodul eine Anlagenschonung vorgibt wird vorrangig Wirkstrom im Mitsystem eingespeist, um Schwingungen im Triebstrang und/oder Drehzahländerungen ausregeln zu können. Die verbleibenden Regelreserven können dann dem jeweils anderen System zur Verfügung gestellt werden. Hierzu kann ein spezielles Aufteilungsmodul vorgesehen sein, dass in Abhängigkeit von dem verfügbaren Strom und der Leistungsreserve das Verhältnis der Wirk- und Blindströme im Mitsystem zu denen im Gegensystem bestimmt. Das Aufteilungsmodul kann dynamisch ausgebildet sein, oder es kann eine Statik, zum Beispiel in Gestalt einer Tabelle, implementiert sein.

**[0016]** Die Steuerung der Windenergieanlage enthält vorzugsweise ein Modell der zu regelnden Strecke. Mit Vorteil ist für die phasenspezifische Regelung des Gegensystems ein eigenes Streckenmodell insbesondere des Generators implementiert. Es hat sich gezeigt, dass wesentliche Charakteristiken insbesondere des Rotors des Generators eine beträchtliche Frequenzabhängigkeit aufweisen, die durch ein eigenes Streckenmodell insbesondere im Hinblick auf die 100 Hz Schwingung in optimaler Weise berücksichtigt werden kann.

**[0017]** Die Erfindung bezieht sich weiter auf einen Windpark, in dem eine phasenspezifische Regelung im Gegensystem dezentral an einer oder mehreren Windenergieanlagen erfolgt oder sie in einer zentralen Steuereinrichtung (Parkmaster) vorgesehen ist.

**[0018]** Außerdem bezieht sich die Erfindung auf ein entsprechendes Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage und/oder eines Windparks. Zur Erläuterung wird auf obige Ausführungen verwiesen, die sinngemäß auch für das Verfahren gelten.

**[0019]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines vorteilhaften Ausführungsbeispiels unter Bezug auf die beigefügte Zeichnung erläutert. Es zeigen:

**[0020]** [Fig. 1](#) eine schematische Ansicht einer Windenergieanlage gemäß der Erfindung;

**[0021]** [Fig. 2](#) eine schematische Ansicht eines Windparks gemäß der Erfindung;

**[0022]** [Fig. 3](#) eine Blockansicht der Umrichtersteuerung mit der Gegensystemregelung; und

**[0023]** [Fig. 4](#) eine Detailansicht der Struktur der Regelung gemäß [Fig. 3](#).

**[0024]** Eine Windenergieanlage **1** gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in [Fig. 1](#) dargestellt. Sie umfasst ein drehbar auf einem Turm **10** angeordnetes Maschinenhaus **11**, an dessen einer Stirnseite ein Rotor **2** drehbar angeordnet ist. Über

eine Rotorwelle **3** treibt er einen Generator **4** an, der in dem dargestellten Ausführungsbeispiel als doppelt gespeister Asynchrongenerator ausgeführt ist. Der Generator ist mit seinem Stator an Anschlussleitungen **9**, die über einen optionalen Transformator mit einem Versorgungsnetz **99** verbunden sind. Weiter ist ein Umrichter **5** vorgesehen, über den der Rotor des Generators mit den Anschlussleitungen **9** verbunden ist.

**[0025]** Eine Steuerung **6** ist vorgesehen, die zur Betriebsführung der Windenergieanlage ausgebildet ist. Sie ist über im Einzelnen nicht dargestellte Signalleitungen mit den Komponenten der Windenergieanlage verbunden. Die Steuerung **6** verfügt über ein Kommunikationsinterface, so dass eine Fernsteuerung über Telefon- oder Datenleitungen ermöglicht ist. Weiter dient das Kommunikationsinterface bei in einem Windpark installierter Windenergieanlage zur Kommunikation mit einem Parkmaster **8**. Insbesondere dient die Steuerung **6** zum Steuern des Umrichters **5** und weist dazu ein Umrichtersteuermodul **7** auf. Nicht dargestellt sind möglicherweise vorhandenen externe Kompensationsmodule (z.B. Statcom, SVC) die ebenfalls als Blindleistungsquellen im Park vorhanden sein können.

**[0026]** Zur Erläuterung des Aufbaus und der Funktionsweise des Umrichtersteuermoduls **7** wird insbesondere auf [Fig. 3](#) Bezug genommen. An den zum Netz **99** führenden Anschlussleitungen **9** sind Messaufnehmer für Spannung und Strom angeordnet. Die Messwerte sind an Eingänge des Umrichtersteuermoduls **7** angelegt. Weiter angelegt an einen Eingang ist ein Signal für die Phase  $\Theta$  im Netz **99** bzw. den Anschlussleitungen **99**. In einer Eingangsstufe des Umrichtersteuermoduls **7** wird eine Koordinatentransformation in ein drehendes System durchgeführt. Dazu sind ein Block **71** für die Transformation der Spannungswerte und ein Block **72** für die Transformation der Stromwerte vorgesehen. Die Transformation erfolgt in an sich bekannter Weise in ein synchron mit der Phase drehendes System (Mitsystem) und ein entgegengesetzt drehendes System (Gegensystem). Dabei werden symmetrische Anteile von Spannung und Strom im Mitsystem als Gleichanteile dargestellt, und unsymmetrischen Anteile als Wechselanteil mit einer Frequenz entsprechend dem doppelten der Netzfrequenz (also 100 Hz bei 50 Hz-Netzen und 120 Hz bei 60 Hz-Netzen). Nachfolgend sei dieser Wechselanteil als 100 Hz-Komponente bezeichnet. Unsymmetrische Anteile von Spannung und Strom werden im Gegensystem als Gleichanteile dargestellt, und symmetrische Anteile als 100 Hz-Komponenten. Mittels entsprechender Filter (Tiefpass, Bandpass etc.) können die 100 Hz-Komponenten herausgefiltert werden. Am Ausgang der Blöcke werden dann nur noch Gleichgrößen im Mit- und Gegensystem (kenntlich durch Indexbuchstaben p bzw. n) ausgegeben, und zwar als sog. d,q-Koordinaten.

Der Block **71** gibt die Spannungswerte im Mit- und Gegensystem und der Block **72** die Stromwerte im Mit- und Gegensystem aus.

**[0027]** Von den in das d,q-Koordinaten-System übertragenen Größen für Spannung und Strom werden die Spannung und Stromwerte des Mitsystems an einen Mitsystem-Regelungsblock **73** angelegt. Der Mitsystem-Regelungsblock **73** entspricht in seinem Aufbau und Funktion weitgehend der bei konventionellen Windenergieanlagen ohne Gegensystem-Regelung vorgesehenen Regelung. Eine nähere Erläuterung ist daher nicht erforderlich. Die Spannungs- und Stromwerte des Gegensystems sind an einen Gegensystem-Regelungsblock **74** angelegt. Er umfasst ein Phasenmodul **75**, welches ein Signal über die Phase  $\Theta$  im Netz für den Gegensystem-Regelungsblock bereitstellt. Details über die Ausführung des Gegensystem-Regelungsblocks **74** werden weiter unten erläutert.

**[0028]** An seinem Ausgang stellt der Gegensystem-Regelungsblock Stellsignale für Wirk- und Blindanteile  $I_{w\_n}$  und  $I_{b\_n}$  des Stroms im Gegensystem sowie einen Wert für einen Blindstrom  $I_{b\_p}$  im Mitsystem bereit. Letzterer wirkt zusammen mit Ausgangssignalen des an sich in bekannter Weise ausgeführten Mitsystem-Regelungsblocks **73**. Die Ausgangssignale beider Regelungsblöcke werden unter Berücksichtigung der Phase  $\Theta$  im Netz mittels Rücktransformationsblöcke **77**, **78** jeweils gesondert in ein feststehendes zweidimensionales -Koordinatensystem umgewandelt. In diesem Koordinatensystem werden die Werte für das Mit- und Gegensystem an einem Summationsglied **79** addiert, und schließlich über einen weiteren Koordinatenwandelungsblock **80** in das dreiphasige System umgerechnet, und als Steuersignale an den Umrichter angelegt, genauer gesagt einen den Umrichter **5** kontrollierenden Pulsbreitenmodulator **55**.

**[0029]** Zur weiteren Erläuterung der Regelungsblöcke **73**, **74** wird auf [Fig. 4](#) Bezug genommen. Zusätzlich dargestellt sind Eingänge für eine Mehrzahl von Sollsignalen, und zwar ein als Grenzwert fungierender Sollwert für den Wirkanteil des Stroms im Gegensystem ( $I_{wMax\_n}$ ), ein Sollwert für die Wirkleistung im Mitsystem ( $P_{s\_p}$ ), ein als Grenzwert fungierender Sollwert für die Spannung im Gegensystem ( $U_{Max\_n}$ ) und ein Sollwert für die Spannung im Mitsystem ( $U_{s\_p}$ ).

**[0030]** Die Regelungsblöcke **73**, **74** weisen jeweils einen Reglerkern **83**, **84** auf, der jeweils ein Streckenmodell enthält. Die getrennte Ausführung für Mit- und Gegensystem ist es ermöglicht, dass für das Gegensystem ein anderes Streckenmodell in dem Reglerkern **84** des Gegensystem vorgesehen ist als in dem Reglerkern **83** des Mitsystems. Damit können insbesondere solche Unterschiede zwischen Mit- und Ge-

gensystem berücksichtigt werden, wie sie sich beispielsweise aus einem frequenzabhängigen Rotorwiderstand des Generators **4** ergeben.

**[0031]** Weiter ist ein Leistungsbeobachter **81** vorgesehen. Er dient dazu, in Abhängigkeit von dem Lastzustand der Windenergieanlage noch zulässige Grenzwerte für Wirk- und Blindstrom zu bestimmen, und zwar zweckmäßigerweise sowohl für das Mit- wie auch für das Gegensystem. An dem Leistungsbeobachter **81** sind Eingänge für den Blindstrom im Gegensystem  $I_{b\_n}$ , für den Blindstrom im Mitsystem  $I_{b\_p}$  sowie für den Spannungswert im Mitsystem  $U_p$ . Weiter ist ein Grenzwertsignal für einen zulässigen Maximalstrom  $I_{max}$  vorgesehen. Der Leistungsbeobachter **81** bestimmt daraus die von der Windenergieanlage abgegebene Wirkleistung und berechnet weiter unter Berücksichtigung des zulässigen Maximalstroms  $I_{max}$  Grenzwerte für die Blind- und Wirkanteile im Gegensystem sowie Mitsystem. Die Grenzwerte sind angelegt an entsprechende Begrenzermodule **85**, **86**, **87** und **88**. Ausgangssignale sind Blind- und Wirkanteile in Mit- und Gegensystem  $I_{b\_p}$ ,  $I_{b\_n}$ ,  $I_{w\_p}$  und  $I_{w\_n}$ .

**[0032]** Den Reglerkernen **83**, **84** zugeordnet ist ein Prioritätsmodul **82**. Es ist dazu ausgebildet, zusammenwirkend mit dem Leistungsbeobachter **81** und einem Netzfehlerdetektor **80** eine Abwägung der Stromanteile im Gegensystem, und vorzugsweise auch im Mitsystem vorzunehmen.

**[0033]** Die Betriebsweise ist dabei wie folgt: Im Normalbetrieb der Windenergieanlage wird möglichst viel Wirkstrom im Mitsystem bereitgestellt. Damit soll in Abhängigkeit von den jeweils herrschenden Windbedingungen ein Höchstmaß an vergüteter Leistung in das Netz **99** eingespeist werden. Der Wirkanteil im Gegensystem soll auf möglichst Null reduziert werden, um schädlichen und materialbelastenden 100 Hz Schwingungen des Triebstrangs entgegenzuwirken. Der Blindanteil des Gegensystems soll hingegen auf einen maximal für die Windenergieanlage oder das Netz **99** zulässigen Wert geregelt werden. Dank des Leistungsbeobachters **81** kann vorgesehen sein, dass in Abhängigkeit von dem Belastungszustand der Windenergieanlage die Ströme im Gegensystem variiert werden. So kann vorgesehen sein, dass bei starkem Windeinfall und damit (zumindest zeitweilig) hohen Strömen im Mitsystem nur eine geringe oder gar keine Einspeisung von weder Wirk- noch Blindanteil im Gegensystem erfolgt. Damit können gerade in Zeiten hoher Last eine Überlastung des Umrichters **5** vermieden werden, beispielsweise durch zu hohe Ströme oder zu hohe Spannungsamplituden im Zwischenkreis des Umrichters **5**. Es ergibt sich damit folgende Priorität: Die höchste Priorität kommt der Einspeisung von Wirkstrom im Mitsystem zu, und zwar in der Regel nach Vorgabe durch eine übergeordnete Regelung. Die zweithöchste Priorität

kommt dem Bereitstellen von Blindstrom im Mitsystem für die Spannungs- bzw. Frequenzregelung im Netz **99** zu. Die dritte Priorität kommt dem Wirkstrom im Gegensystem zu, um Schwingungen zu vermindern. Der für das Gegensystem verbleibende Strom berechnet sich aus der Differenz zwischen Strom im Mitsystem zu dem zulässigen Maximalstrom. Die vierte Priorität kommt schließlich einer weiteren Reduktion der Spannung des Gegensystems zu. Der Betrag des hierfür zur Verfügung stehenden Blindstroms im Gegensystem bestimmt sich aus der vektoriellen Differenz zwischen dem verbleibenden Strom und dessen Wirkstromanteil.

**[0034]** Im Fall eines Netzfehlers, der entweder von dem Netzfehlerdetektor **80** erkannt sein kann oder durch ein entsprechendes Signal von einem Parkmaster oder einer Leitstelle des Netzbetreibers angezeigt sein kann, ist dank des Prioritätsmoduls **82** eine andere Aufteilung des Stroms vorgesehen. In Abhängigkeit vom Netzfehler und dem derzeitigen Betriebspunkt unterscheidet das Prioritätsmodul **82** zwischen dem Vorrang der Netzstabilisierung oder der Anlagenschonung. Sofern das Prioritätsmodul eine Anlagenschonung vorgibt wird vorrangig Wirkstrom im Mitsystem eingespeist, um Schwingungen im Triebstrang und/oder Drehzahländerungen ausregeln zu können. Sofern das Prioritätsmodul eine Netzstabilisierung vorgibt wird in Priorität Blindstrom im Mit- und Gegensystem eingespeist, je nach symmetrischem und unsymmetrischem Anteil der auftretenden Spannung. Es wird eine Abwägung zwischen dem Blindstrom im Mitsystem  $I_{b\_p}$  und dem Blindstrom im Gegensystem  $I_{b\_n}$  vorgenommen. Während ersterer spannungsstabilisierend im Netz wirkt, sorgt letzterer für eine Verringerung von Spannungsasymmetrien. Die Abwägung kann mittels einer Tabelle, eines Kennfelds, eines Systemmodells oder mittels einer Formel durchgeführt werden. Das Verhältnis von Blindstrom Mitsystem zu Blindstrom Gegensystem lässt sich berechnen wie im folgenden Beispiel (mit normierten Größen)

$$I_{b\_p} = 0,5 \cdot$$

$$I_{b\_n} = 0,7$$

$$kI = \frac{I_{b\_p}}{I_{b\_n}}$$

**[0035]** Die Aufteilung des verfügbaren Stroms auf Blindstrom im Mitsystem bzw. Blindstrom im Gegensystem erfolgt mit

$$I = I_p + I_n$$

$$I_p = \sqrt{I_{w\_p}^2 + I_{b\_p}^2}$$

$$I_n = I_{b\_n} = \frac{I_{b\_p}}{kI}$$

$$I = \sqrt{I_{w\_p}^2 + I_{b\_p}^2} + \frac{I_{b\_p}}{kI}$$

**[0036]** Damit kann im Fehlerfall sowohl eine gute Stabilisierung im Netz erreicht werden wie auch eine effektive Dämpfung des Triebstrangs gegenüber den schädlichen 100 Hz Schwingungen.

### Patentansprüche

1. Windenergieanlage mit einem durch einen Rotor (**2**) angetriebenen Generator (**4**), der mehrphasig elektrische Leistung zum Einspeisen in ein Netz (**99**) erzeugt, einem Umrichter (**5**), der an den Generator (**4**) und das Netz (**99**) angeschlossen ist, und einer Steuerung (**6, 7**), die mit dem Umrichter (**5**) zusammenwirkt und eine Gegensystemregelung (**74**) umfasst, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gegensystemregelung (**74**) ein Phasensteuermodul (**75**) aufweist, das dazu ausgebildet ist, eine elektrische Größe des Gegensystems phasenspezifisch zu bestimmen.

2. Windenergieanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Gegensystemregelung (**74**) einen Wirkleistungsregler umfasst.

3. Windenergieanlage nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Wirkleistungsregler der Gegensystemregelung einen Sollwerteingang aufweist, an den vorzugsweise ein Wert gleich Null angelegt ist.

4. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gegensystemregelung einen Blindleistungsregler umfasst.

5. Windenergieanlage nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Blindleistungsregler einen Sollwerteingang aufweist, an den vorzugsweise ein Wert ungleich Null angelegt ist.

6. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Leistungsbeobachter (**81**) vorgesehen ist, der dazu ausgebildet ist, in Abhängigkeit von der Belastung der Windenergieanlage (**1**) und einem zulässigen Maximalwert für den Strom eine verfügbare Leistung und/oder einen verfügbaren Strom zu bestimmen.

7. Windenergieanlage nach Anspruch 6, dadurch

gekennzeichnet, dass der Leistungsbeobachter (81) mit seinem Ausgang an den Sollwerteingang der Gegensystemregelung (74), vorzugsweise deren Blindleistungsregler, angeschlossen ist.

8. Windenergieanlage nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Begrenzungsmodul (86, 88) vorgesehen ist, das dazu ausgebildet ist, in Abhängigkeit von dem Leistungsbeobachter (81) den Wirk- und/oder Blindanteils des Stroms im Gegensystem zu begrenzen.

9. Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Crossovermodul (82) vorgesehen ist, das dazu ausgebildet ist, die Regelung des Gegensystems mit derjenigen des Mitsystems zu verknüpfen.

10. Windpark mit mehreren Windenergieanlagen (1) und einer Parkregelung (8), wobei die Windenergieanlagen (1) jeweils einen durch einen Rotor (2) angetriebenen Generator (4), der mehrphasig elektrische Leistung zum Einspeisen in ein Netz erzeugt, einen Umrichter (5), der an den Generator (4) und das Netz (99) angeschlossen ist, und eine Steuerung (6, 7) aufweisen, die mit dem Umrichter (5) zusammenwirkt, dadurch gekennzeichnet, dass die Parkregelung (8) dezentral oder zentral eine Gegensystemregelung mit einem Phasensteuermodul (75) aufweist, das dazu ausgebildet ist, eine elektrische Größe des Gegensystems phasenspezifisch zu bestimmen.

11. Windpark nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Gegensystemregelung nach einem der Ansprüche 2 bis 9 ausgeführt ist.

12. Windpark nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Gegensystemregelung im Windpark unter Einbeziehung von externen Blindleistungsstellern ausgeführt wird.

13. Verfahren zum Regeln einer Windenergieanlage mit einem durch einen Rotor angetriebenen Generator, der mehrphasig elektrische Leistung zum Einspeisen in ein Netz erzeugt, einem Umrichter, der an den Generator und das Netz angeschlossen ist, und eine Steuerung, die mit dem Umrichter zusammenwirkt, mit den Schritten  
Erfassen von Strom und Spannung für die Phasen des Netzes,  
Transformation in ein mitdrehendes System und ein Gegensystem,  
gekennzeichnet durch  
phasenspezifisches Regeln im Gegensystem.

14. Verfahren nach Anspruch 13, gekennzeichnet durch Verwenden einer Gegensystemregelung gemäß einem der Ansprüche 2 bis 9.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

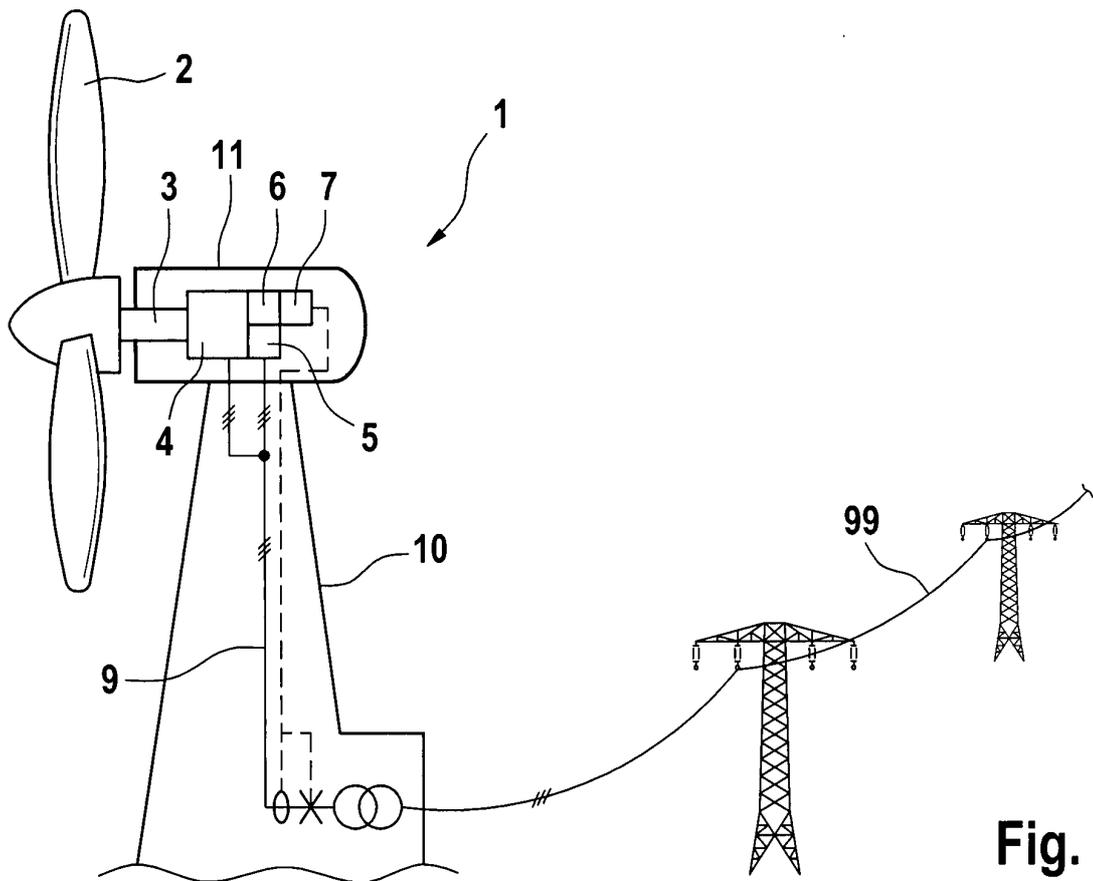


Fig. 1

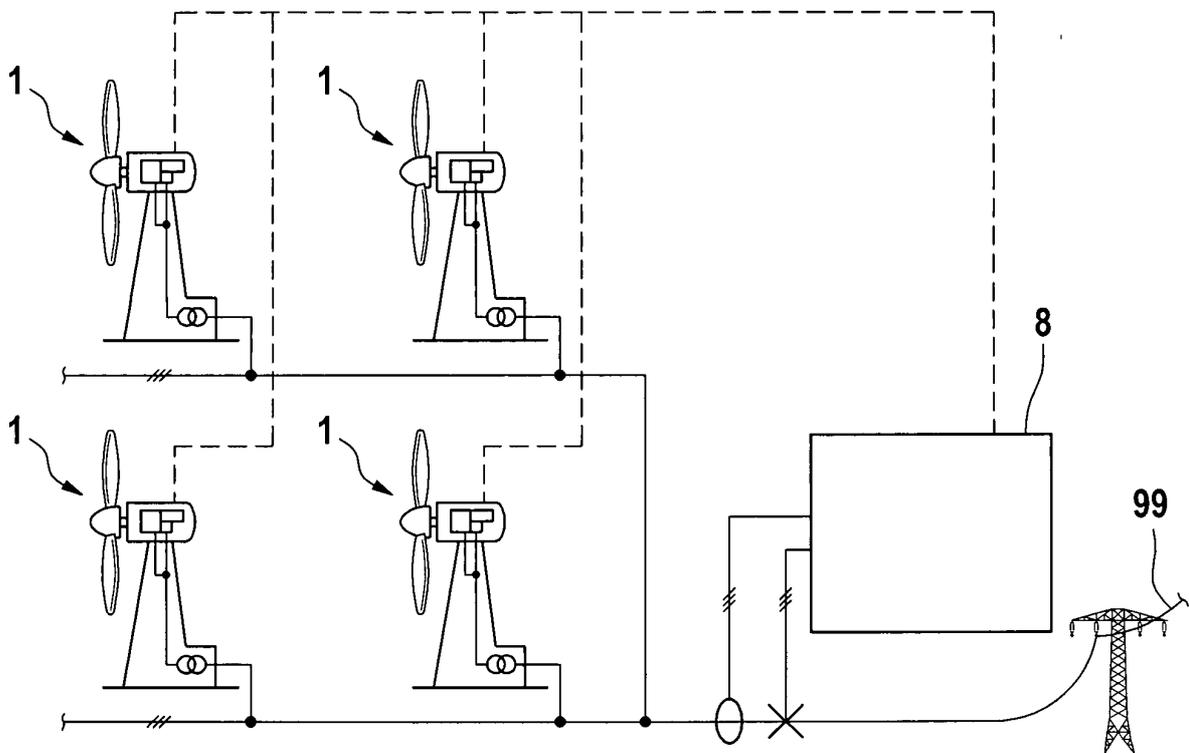


Fig. 2

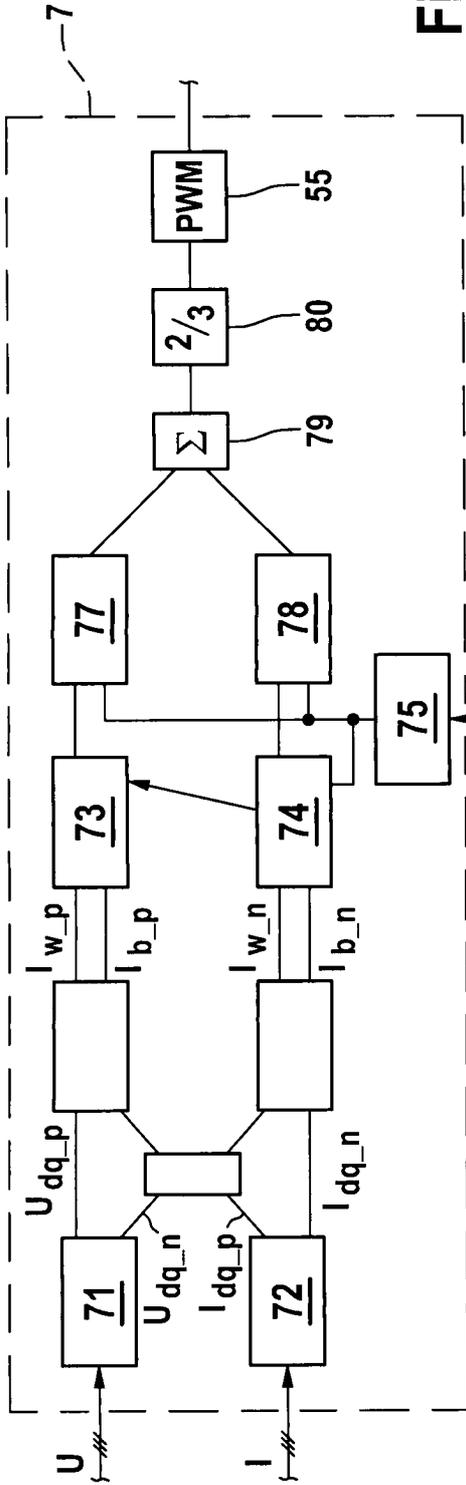


Fig. 3

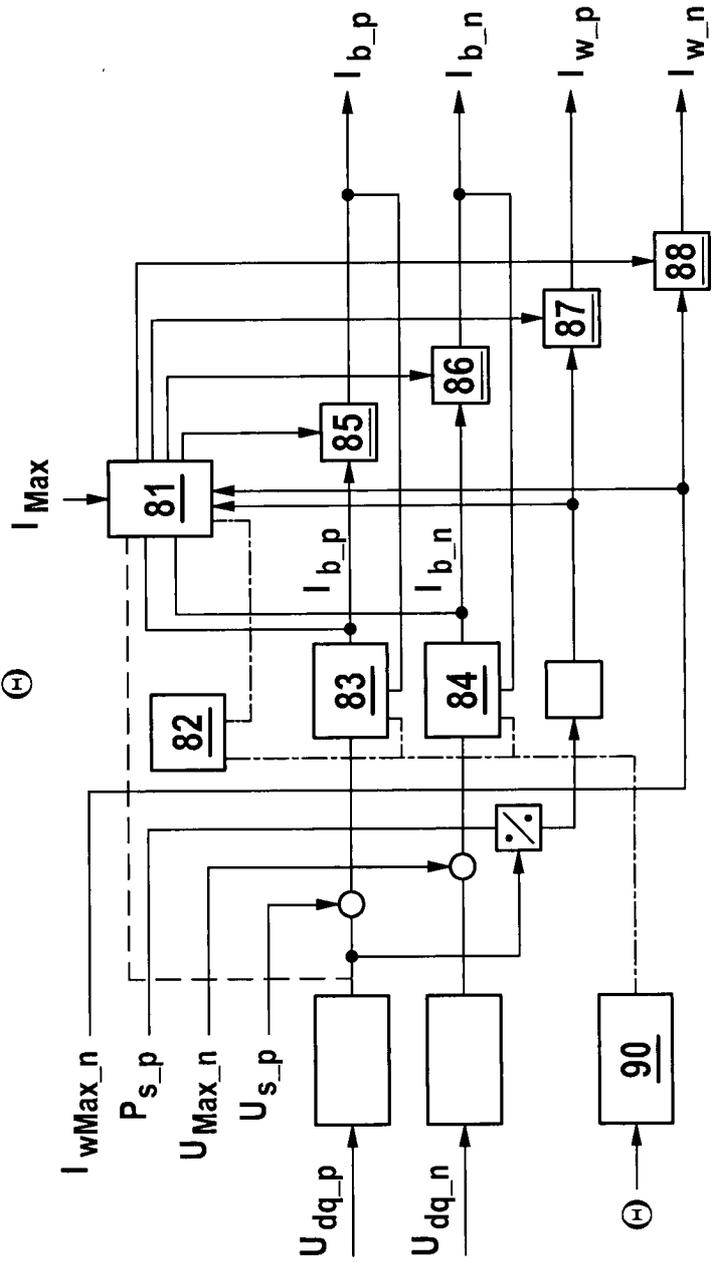


Fig. 4