

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
27. August 2009 (27.08.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2009/103505 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/001140
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
18. Februar 2009 (18.02.2009)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
10 2008 010 260.1  
20. Februar 2008 (20.02.2008) DE  
10 2008 034 532.6 24. Juli 2008 (24.07.2008) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): REPOWER SYSTEMS AG [DE/DE]; Überseering 10, 22297 Hamburg (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) ?b750s:de? (nur für US): FORTMANN, Jens [DE/DE]; Kuckhoffstrasse 117b, 13156 Berlin (DE).
- (74) Anwalt: GLAWÉ DELFS MOLL; Rothenbaumchaussee 58, 20148 Hamburg (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

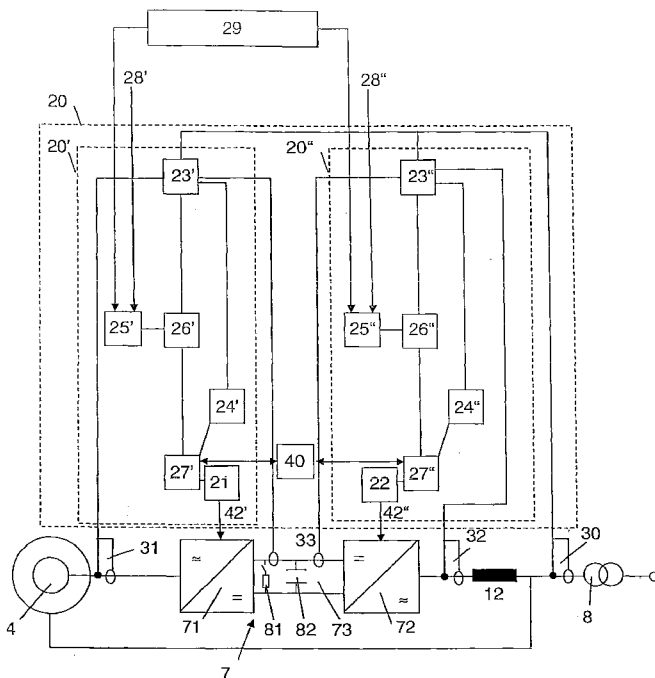
Erklärungen gemäß Regel 4.17:

- hinsichtlich der Identität des Erfinders (Regel 4.17 Ziffer i)
- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: WIND ENERGY PLANT HAVING CONVERTER CONTROL

(54) Bezeichnung: WINDKRAFTANLAGE MIT UMRICHTERREGELUNG



FIGUR 2

(57) Abstract: The invention relates to a method for controlling a converter of a wind energy plant, said converter being connected to the rotor of a double-energized asynchronous generator for supplying electric energy to an electric power grid, wherein the converter comprises an inverter on the generator side, an inverter on the power grid side, and at least one converter regulator for regulating and/or controlling the currents supplied by at least one of the inverters to the generator and/or to the electric power grid, and a corresponding wind energy plant. The invention provides the detection of a change of the electric voltage applied, of the active currents output, and/or of the idle currents output to the inverter, the determination of whether the change detected corresponds to a predetermined change, and the change of the target values of the effective currents to be output, and/or of the idle currents of the other inverter to be output, as long as the change detected corresponds to a predetermined change. The current output and the regulation of a wind energy plant having a double-energized asynchronous generator can be improved significantly in this manner, as long as the controls of the two inverters are not operated independently of each other as until now, but instead the controls of the two inverters are adjusted to one another such that the total power output is optimized.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/103505 A2



---

— *Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv)*

**Veröffentlicht:**

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

---

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage, der am Rotor eines doppelt gespeisten Asynchrongenerators zur Einspeisung elektrischer Energie in ein elektrisches Netz angeschlossen ist, wobei der Umrichter einen generatorseitigen Wechselrichter, einen netzseitigen Wechselrichter und wenigstens einen Umrichterregler zum Regeln und/oder Steuern der von wenigstens einem der Wechselrichter an den Generator und/oder das elektrische Netz abgegebenen Ströme umfasst und eine entsprechende Windenergieanlage. Erfindungsgemäß ist vorgesehen ein Detektieren einer Änderung der anliegenden elektrischen Spannung, der abgegebenen Wirkströme und/oder der abgegebenen Blindströme an einem Wechselrichter, Bestimmen, ob die detektierte Änderung einer vorbestimmten Änderung entspricht, und Änderung der Sollwerte der abzugebenden Wirkströme und/oder der abzugebenden Blindströme des anderen Wechselrichters, sofern die detektierte Änderung einer vorbestimmten Änderung entspricht. Damit lässt sich die Stromabgabe und Regelung einer Windkraftanlage mit doppelt gespeistem Asynchrongenerator erheblich verbessern, wenn man nicht wie bisher die Regelungen der beiden Wechselrichter unabhängig voneinander betreibt, sondern die Regelung der beiden Wechselrichter derart aufeinander abstimmt, dass die Gesamtstromabgabe optimiert ist.

5 **Windkraftanlage mit Umrichterregelung**

Die Erfindung betrifft einen Umrichter einer Windenergieanlage, der am Rotor eines doppelt gespeisten Asynchrongenerators zur Einspeisung elektrischer Energie in ein elektrisches Netz ange-  
geschlossen ist, wobei der Umrichter einen generatorseitigen Wechselrichter und einen netzseitigen Wechselrichter umfasst, sowie ein Verfahren zum Steuern des Umrichters.

Frequenzumrichter finden in zunehmendem Maß Verwendung bei Windenergieanlagen. Moderne Windenergieanlagen sind üblicherweise drehzahlvariabel, so dass der Generator Wechselstrom mit unterschiedlicher Frequenz erzeugt. Zur Einspeisung in ein festfrequentes Versorgungsnetz (üblicherweise 50 Hz) ist eine Frequenzumrichtung erforderlich. Dazu werden Frequenzumrichter verwendet. Bevorzugt verwendet werden dabei Umrichter, die aus einem mit dem Rotor des Generators elektrisch verbundenen generatorseitigen Wechselrichter, einem Gleichspannungszwischenkreis und einem mit dem Netz elektrisch verbundenen netzseitigem Wechselrichter bestehen. Üblicherweise wurden Windenergieanlagen so betrieben, dass sie sich bei Netzfehlern, insbesondere Kurzschlüssen, vom Netz trennen. Mit zunehmender Verbreitung von Windenergieanlagen und dem Anstieg der installierten Windleistung ist aber nicht mehr nur ein einfaches Einspeisen des Wirkstroms in das elektrische Netz gefordert, sondern ein Betrieb der Windenergieanlagen, der die Netzspannung stützt, erwünscht. Bei den für Windenergieanlagen höherer Leistung bevorzugt verwendeten doppelt gespeisten Asynchrongeneratoren entsteht das Problem, dass die netzeinspeisenden Wechselrichter nur für etwa 1/3 der elektrischen Leistung ausgelegt sind und nun die zusätzlich notwendigen Ströme, um netzstützende Eigenschaften zu gewährleisten, nicht mehr erreichen können.

In der DE 10 2007 028 582 A1 wird vorgeschlagen bei einem Generator mit Vollumrichter, bei dem die gesamte elektrische Leistung über den Umrichter in das elektrische Netz gespeist wird, den generatorseitigen Wechselrichter ebenfalls direkt an das Netz anzuschließen, wenn der Generator keine Energie mehr erzeugt, um über den dann direkt ans Netz angeschlossenen generatorseitigen Wechselrichter zusätzliche Blindleistung ins Netz einzuspeisen.

10

Nachteilig an dieser Lösung ist, dass diese nur dann verwendet werden kann, wenn vom Rotor des Generators keine Energie abgegeben wird.

15

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es die vorstehenden Nachteile zu vermeiden, übermäßige Belastungen der Wechselrichter zu verhindern und die vorhandenen Reserven der Wechselrichter besser auszunutzen.

20

Die erfindungsgemäße Lösung liegt in einem Verfahren und in einer Vorrichtung gemäß den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche, vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

25

Erfindungsgemäß wird so verfahren, dass beim Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage, der am Rotor eines doppelt gespeisten Asynchrongenerators zur Einspeisung elektrischer Energie in ein elektrisches Netz angeschlossen ist, wobei der Umrichter einen generatorseitigen Wechselrichter, einen netzseitigen Wechselrichter und wenigstens einen Umrichterregler zum Regeln und/oder Steuern der von wenigstens einem der Wechselrichter an den Generator und/oder das elektrische Netz abgegebenen Ströme umfasst, die Verfahrensschritte Detektieren einer Änderung der anliegenden elektrischen Spannung, der abgegebenen

30

Wirkströme und/oder der abgegebenen Blindströme an einem Wechselrichter, Bestimmen der detektierten Änderung, ob sie einer vorbestimmten Änderung entspricht und Änderung der Sollwerte der abzugebenden Wirkströme und/oder der abzugebenden Blindströme des anderen Wechselrichters, sofern die detektierte Änderung einer vorbestimmten Änderung entspricht, durchgeführt werden.

Die Erfindung hat erkannt, dass sich die Stromabgabe und Regelung einer Windkraftanlage mit doppelt gespeistem Asynchrongenerator erheblich verbessern lässt, wenn man nicht wie bisher die Regelungen der beiden Wechselrichter unabhängig voneinander betreibt, sondern die Regelung der beiden Wechselrichter derart aufeinander abstimmt, dass die Gesamtstromabgabe optimiert ist. Es ist bei einem Umrichter mit Gleichspannungszwischenkreis an einem doppelt gespeistem Asynchrongenerator so, dass dieser nicht nur die Wirk- oder Blindstromabgabe des netzseitigen Wechselrichters beeinflussen kann, indem er die über den Rotor des Generators fließenden Ströme verändert, sondern der generatorseitige Wechselrichter beeinflusst die Wirk- oder Blindstromabgabe maßgeblich dadurch, dass er mittels Rotorstromeinprägung eine weitgehend unabhängige Verstellung von Wirk- und Blindstrom im Ständer bewirkt.

Die Rotorstromeinprägung des generatorseitigen Wechselrichters mittels feldorientierter Regelung wurde beispielsweise in Asurdis: „Doppeltgespeister Drehstromgenerator mit Spannungszwischenkreisumrichter im Rotorkreis für Windkraftanlagen“; Dissertation TU Braunschweig; 1989 beschrieben.

Die Erfindung setzt an dem Punkt an, dass die bisherigen Regelungen entweder keinen Asynchrongenerator besitzen und somit die Wirk- und Blindstromabgabe nur über den netzseitigen Wechselrichter regeln können oder im Falle des Asynchrongenerators vorwiegend über die Rotorstromeinprägung des generatorseitigen

Wechselgenerators regeln, ohne die Wechselrichter aufeinander abzustimmen, die ihrerseits nur auf ihre jeweiligen Eingangsgrößen Rotorstrom oder Zwischenkreisspannung abgestimmt wurden. Der wesentliche Vorteil einer abgestimmten Regelung zwischen den Wechselrichtern ist, dass bei den sich stetig unvorhersehbar ändernden Arbeitsbedingungen einer Windenergieanlage die Wechselrichter sich gegenseitig derart unterstützen können, dass bei vorbestimmten Änderungen oder Ereignissen an einem Wechselrichter, die den Wechselrichter in einen ungünstigen Arbeitspunkt bringen, der jeweils andere seinen Arbeitspunkt derart verändert, dass es zu einer Entlastung kommt. Die Regelung der Wechselrichter ist also nicht mehr nur noch jeweils einzeln auf das elektrische Netz oder den Generator ausgerichtet, sondern verfolgt auch zusätzliche Regelstrategien, die auf eine insgesamt geringere Belastung der einzelnen Wechselrichter abzielt.

Im Ergebnis werden insbesondere kritische Arbeitspunkte, die die einzelnen Umrichter überlasten könnten, vermieden, und der Umrichter könnte in der Folge entweder kleiner dimensioniert werden oder effizienter arbeiten.

Nachfolgend werden einige Begriffe erläutert:

Unter Blind- oder Wirkstrom wird hierbei nicht nur die Stromabgabe durch den Generatorstator, Generatorrotor oder die Wechselrichter verstanden, sondern auch die Stromaufnahme.

Unter Änderung der Wirk- oder Blindströme und ihrer Sollwerte wird eine Änderung der Amplitude oder Phasenlage der Ströme zueinander oder im Verhältnis zur im Netz anliegenden Spannung oder einem anderen Referenzwert verstanden. Insbesondere wird für den generatorseitigen Umrichter auch die Änderung der in den Generatorstator eingepprägten Ströme verstanden. Dabei werden die generatorseitigen Ströme vom Umrichterregler häufig über eine

mathematische Transformation in sogenannten feldorientierten Koordinaten geregelt, beispielsweise  $i_q$  und  $i_d$  und erst bei der Ansteuerung der Wechselrichter zurück in ein dreiphasiges System überführt.

5

Unter einer vorbestimmten Änderung der anliegenden elektrischen Spannung, der abgegebenen Wirkströme und/oder der abgegebenen Blindströme an einem der Wechselrichter wird beispielsweise das Erreichen eines Grenzwerts, die Änderungsgeschwindigkeit oder  
10 eine sprungartige Änderung über einen vorgegebenen Wert der jeweiligen Größen hinaus verstanden. Es kann sich dabei aber auch um eine Ereignisfolge in vorbestimmten zeitlichen Intervallen oder das Ausführen vorbestimmter Funktionen durch den Umrichter handeln. Dabei muss die Änderung nicht nur auf die Spannung oder  
15 einzelnen Ströme begrenzt sein, sondern kann auch eine Kombination dieser Größen sein, z. B. der Leistung. Dabei muss die vorbestimmte Änderung auch nicht in allen drei Phasen gleichzeitig vorkommen, sondern kann auch nur eine oder zwei Phasen betreffen.

20

Bevorzugt ist dabei das Verfahren anzuwenden, wenn die vorbestimmte Änderung der anliegenden elektrischen Spannung, der abgegebenen Wirkströme und/oder der abgegebenen Blindströme an einem der Wechselrichter das Erreichen eines vorgegebenen Grenzwerts ist. Bei Erreichen eines Grenzwerts an einem Wechselrichter kann der andere Wechselrichter dann entweder einen Teil der Stromabgabe übernehmen und/oder versuchen, die Spannung zu verändern, so dass eine Grenzwertüberschreitung und eine Beschädigung oder Abschalten des Wechselrichters verhindert werden können.  
25  
30

Weiter ist vorgesehen, dass sich der maximal vorgebbare Sollwert der abzugebenden Blindströme des anderen Wechselrichters unter Berücksichtigung der abgegebenen Wirkströme und einer vorgegebba-

ren Regelreserve der Wirkströme bestimmt wird. Vorrangige Aufgabe der Wechselrichter ist es, die Wirkstromabgabe zu regeln, die ihrerseits durch die äußerlich anliegenden Umgebungsbedingungen der Windenergieanlage vorgegeben wird. Um dieses zu gewährleisten muss die Wirkstromregelung immer Priorität vor dem Blindstrom erhalten und eine Erhöhung des Blindstroms am anderen Wechselrichter darf nicht zu einer Reduktion des Wirkstroms führen. Zusätzlich muss aber noch eine vorgebbare Reserve für den Wirkstrom erhalten bleiben, um schnell auf Änderungen in den Umgebungsbedingungen der Windenergieanlage reagieren zu können. In einer bevorzugten Weiterbildung ist vorgesehen, dass bei Erreichen eines oberen Grenzwerts der anliegenden Spannung eines Wechselrichters der andere Wechselrichter die Blindstromabgabe erhöht, um die anliegende Spannung am begrenzten Wechselrichter zu verringern. Es wird dadurch erreicht, dass der andere Wechselrichter zusätzlich zum begrenzten Wechselrichter für eine Reduzierung der hohen Spannung sorgt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die Summe der von den Wechselrichtern an das elektrische Netz abgegebenen Blind- und/oder Wirkströme, bzw. die Blind- und/oder Wirkleistungen weitgehend unverändert bleiben. Weitgehend meint in diesem Zusammenhang eine Änderung in der Gesamtabgabe von kleiner gleich 10%.

Dadurch wird erreicht, dass beispielsweise der insgesamt abgegebene Blindstrom bei den Wechselrichtern in der Summe unverändert bleibt, aber die Blindstromabgabe an dem höher belasteten Wechselrichter reduziert und am weniger belasteten Wechselrichter erhöht wird, so dass im elektrischen Netz keine Veränderung bemerkt wird, aber der Umrichter die Spitzenbelastung an den einzelnen Wechselrichtern oder den Wechselrichtern zugeordneten Leistungssträngen verringert. Insbesondere kann die Umrichterregelung dabei die Auslegungsgrenzen der Wechselrichter und der

den Wechselrichtern zugeordneten Leistungsstränge berücksichtigen und die Strombelastung bezogen auf die Auslastung relativ zur Auslegungsgrenze in den jeweiligen Wechselrichtern oder den ihnen zugeordneten Leistungssträngen soweit wie möglich angleichen. Dieses hat den Vorteil, dass bei kurzzeitig hoher oder übermäßiger Belastung der elektrischen Komponenten der Windenergieanlage, z.B. durch Kurzschlüsse in der Nähe der Windenergieanlage, die beiden Leistungsstränge dieselbe anteilige Reserve haben und eine einseitige übermäßige Überlast vermieden werden kann.

Unter den Wechselrichtern zugeordneten Leistungssträngen werden in diesem Zusammenhang die elektrischen Komponenten verstanden, die vom Wechselrichter aus elektrisch gesehen zwischen dem Wechselrichter und dem elektrischen Netz liegen; also für den netzseitigen Wechselrichter je nach Ausführung beispielsweise die Netzdrossel, der Netzfilter, die umrichterseitigen Turmkabel und, je nach Transformatorausführung, die umrichterseitige Transformatorwicklung. Für den generatorseitigen Wechselrichter sind dieses je nach Ausführung beispielsweise die Verbindungskabel zum Generatorrotor einschließlich der Rotorturmkabel, der Generatorrotor, der Generatorstator, die statorseitigen Turmkabel und, je nach Transformatorausführung, die generatorseitige Transformatorwicklung.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass bei einer Spannungsasymmetrie derart, dass die Abweichung einer an einem Wechselrichter anliegenden Spannung einer oder zweier Phasen über einen Grenzwert hinausgeht, die Blindstromabgabe des anderen Wechselrichters derart verändert wird, dass die Spannungsasymmetrie verringert wird. Sofern also eine Veränderung in Form eines Spannungssprungs an nur einer oder zweier Phasen an einem Wechselrichter auftritt, kann der andere Wechselrichter durch gezieltes Einspeisen von Blindleistung der

Spannungsasymmetrie entgegenwirken und eine Beschädigung der Windenergieanlage verhindern.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass der Umrichterregler die abzugebenden Blindströme so regelt, dass bei schnellen großen Änderungen bevorzugt der Wechselrichter einen höheren Anteil an Blindströmen abgibt, der eine höhere Dynamik aufweist, also die abzugebenden Ströme auch schneller erreicht. Durch diese Erfindung wird erreicht, dass die bislang ungenutzte Reserve in der Regeldynamik des schnelleren Wechselrichters ausgenutzt wird. Dabei erreicht der schnellere Wechselrichter die Grenzen seines maximalen Anstiegs in der Stromabgabe, so dass wenigstens ein Teil der Stromabgabe auch vom Wechselrichter mit der niedrigeren Dynamik übernommen wird. In der Summe wird dadurch eine wesentlich bessere Reaktionsgeschwindigkeit des Gesamtsystems erreicht.

In einer bevorzugten Weiterbildung wird nach Erreichen des Gesamtstroms der wesentliche Teil der Stromabgabe dann auch durch den Wechselrichter mit der niedrigeren Dynamik übertragen. So wird erreicht, dass der Wechselrichter mit der hohen Dynamik entlastet wird und so betrieben werden kann, dass er kleinere Änderungen schneller ausregeln kann.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist bei einem Umrichterregler, der für jeden Wechselrichter einen eigenständigen Wechselrichterregler umfasst, ein Abgleichmodul vorgesehen, das zwischen den Wechselrichterreglern die jeweiligen relevanten Sollwerte, Istwerte und/oder Regelabweichungen für die Wirkströme, Blindströme und/oder anliegenden Spannungen überträgt.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung, der gegebenenfalls unabhängigen Schutz verdient, ist die vorbestimmte Änderung eine insbesondere durch die Wirk- und/oder Blindstromabgabe des Wech-

selrichters verursachte Überschreitung eines vorgegebenen Temperaturgrenzwerts mindestens einer Komponente der Windenergieanlage, wobei sich die Komponente direkt im Leistungsfluss zwischen dem Wechselrichter und dem elektrischen Netz befindet. Die  
5 Stromabgabe des Wechselrichters ist wesentlich dafür verantwortlich, dass sich die Komponenten der leistungsführenden Leistungsstränge der jeweiligen Wechselrichter erwärmen. Für den generatorseitigen Wechselrichter sind dieses je nach Ausführung beispielsweise die Verbindungskabel zum Generatorrotor einschließlich der Rotorturm-kabel, der Generatorrotor, der Generatorstator, die statorseitigen Turmkabel und, je nach Transformatorausführung, die generatorseitige Transformatorwicklung eines Dreiwicklungstransformators. Für den netzseitigen Wechselrichter sind dies je nach Ausführung beispielsweise die Netzdrossel, der  
10 Netzfilter, die umrichterseitigen Turmkabel und, je nach Transformatorausführung, die umrichterseitige Transformatorwicklung eines Dreiwicklungstransformators. Die Temperatur der stromführenden Komponenten wird durch den sie durchfließenden Strom maßgeblich beeinflusst. Überschreitet eine dem Wechselrichter zugeordnete Komponente nun einen vorgegebenen Temperaturgrenzwert,  
20 so kann durch eine Verringerung der Stromabgabe an dem Wechselrichter und die Erhöhung der entsprechenden Stromabgabe an anderen Wechselrichter der Temperaturanstieg begrenzt werden oder die Temperatur sogar verringert werden.

25.

Gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform erreicht der eine Wechselrichter eine für den Dauerbetrieb zulässige Stromgrenze, speist aber eine über dieser Stromgrenze liegende Strommenge ein. Die vorbestimmte Änderung umfasst über dieses Ereignis hinaus den Ablauf einer vorbestimmten Zeit oder das Erreichen eines vorbestimmten Temperaturgrenzwerts in dem dem Wechselrichter zugeordneten Leistungsstrang. Wird die vorbestimmte  
30 Zeit oder der Temperaturgrenzwert überschritten, so reduziert der übermäßig einspeisende Wechselrichter seine Stromabgabe und

der andere Wechselrichter erhöht seine Stromabgabe, um die Stromreduzierung zumindest teilweise zu kompensieren.

Für weitere Erläuterungen und vorteilhafte Ausführungsformen wird auf die zu dem ersten Aspekt der Erfindung gegebenen Beschreibungen verwiesen.

Die Erfindung bezieht sich ferner auf eine entsprechende Windenergieanlage mit einem Umrichter und einem doppelt gespeisten Asynchrongenerator zum Ausführen des Verfahrens.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen anhand einer vorteilhaften Ausführungsform beispielhaft beschrieben. Bezüglich aller im Text nicht näher erläuterten erfindungsgemäßen Einzelheiten wird ausdrücklich auf die Zeichnungen verwiesen. Es zeigen:

- Fig. 1 eine Windenergieanlage;
- Fig. 2 den erfindungsgemäßen Umrichterregler;
- Fig. 3 den erfindungsgemäßen Umrichterregler in einer alternativen Ausführungsform; und
- Fig. 4 den erfindungsgemäßen Umrichterregler mit angeschlossener Temperaturregelung.

Der Aufbau der Windenergieanlage wird anhand von Figur 1 kurz erläutert. Der Windrotor 2 der Windenergieanlage 1 wird durch den Wind in Drehung versetzt. Der Windrotor 2 ist dabei mechanisch über ein Getriebe 3 mit dem Generator 4 verbunden und versetzt den Rotor 6 des Generators 4 in Drehung. Der Stator 5 des Generators ist über Leitungskabel 13 im Turm, einen Transformator 8 und einen Trennschalter 9 an das elektrische Netz 10 ange-

geschlossen. Der Rotor 6 des Generators 4 ist an einen Umrichter 7 angeschlossen, der wiederum ebenfalls über Leistungskabel 14 im Turm, einen Transformator 8 und einen Trennschalter 9 an das elektrische Netz 10 angeschlossen ist.

5

Der Transformator 8 ist hier als Transformator mit drei Wicklungen ausgeführt, also mit jeweils separaten Wicklungen für den Leistungsstrang des netzseitigen Wechselrichters 72 und den generatorseitigen Wechselrichter 71. Ausführungen mit zwei oder  
10 einer anderen Anzahl von Wicklungen sind ebenfalls denkbar. Sofern der durch den Windrotor 2 angetriebene Generator 4 im Bereich der Nenndrehzahl, also im übersynchronen Bereich, betrieben wird, gibt der Generator 4 je nach Auslegung 60-90% seiner elektrischen Leistung über den Stator und 10-40% seiner elektri-  
15 schen Leistung über den Rotor 6 an den Umrichter 7 ab.

Figur 2 zeigt den Umrichter 7 mit einem generatorseitigen Wechselrichter 71 und einem netzseitigen Wechselrichter 72, die über einen Gleichspannungszwischenkreis 73 verbunden sind. Der netz-  
20 seitige Wechselrichter 72 ist über eine Drossel 12 an einen Transformator 8 angeschlossen. Der generatorseitige Wechselrichter 71 ist an den Rotor 6 des Generators 4 angeschlossen, der seinerseits an den Transformator 8 angeschlossen ist. Im Gleichspannungszwischenkreis 73 befindet sich neben einem Kondensator  
25 82 ein Schutzelement 81, das in der Figur aus einem Schalter und einem Widerstand besteht und bei Überspannungen im Gleichspannungszwischenkreis 73 diese verringert. Das Schutzelement 81 kann aber auch andere Schaltungstopologien aufweisen als in Fi-  
gur 2 gezeigt.

30

Der Umrichterregler 20 beinhaltet einen generatorseitigen Umrichterregler 20' und einen netzseitigen Umrichterregler 20'', die über ein Abgleichmodul 40 Sollwerte, Istwerte und Regelabweichungen austauschen. Jeder Umrichterregler 20', 20'' umfasst

einen Wechselrichterregler 21, 22, die mittels Steuerleitungen 42' und 42'' die Schalter der Wechselrichter 71, 72 steuern.

Die jeweiligen elektrischen Größen der Wechselrichter und der  
5 Windenergieanlage, insbesondere die anliegenden Spannungen und  
fließenden Wirk- sowie Blindströme und die Zwischenkreisspan-  
nung, werden mittels Sensoren 30, 31, 32, 33 gemessen und in ei-  
nem Messmodul 23', 23'' den Umrichterreglern 20', 20'' zugeführt.  
Das Messmodul 23', 23'' stellt die Messwerte einem Änderungsbe-  
10 stimmungsmodule 24', 24'' und dem Reglerabweichungsmodul 26', 26''  
zur Verfügung. Das Änderungsbestimmungsmodul 24', 24'' stellt  
mittels in Form von Grenzwerten, Kennlinien oder Ereignisfolgen  
hinterlegter Änderungen fest, ob eine vorbestimmte Änderung der  
vom Messwertmodul 23', 23'' übertragenen Messwerte vorliegt und  
15 welcher Art die Änderung ist. Dieses kann beispielsweise eine  
Grenzwertüberschreitung der am netzseitigen Wechselrichter 72  
anliegenden Spannung sein oder auch ein anzulegender Blindstrom-  
sollwert sein, der die maximal erlaubte Strommenge des Wechsel-  
richters überschreiten würde.

20

Darüber hinaus kann das Änderungsbestimmungsmodul 24', 24'' auch  
bei den Wechselrichtersollwerten vorbestimmte Änderungen fest-  
stellen, bevor diese vom Reglermodul 27', 27'' an die jeweiligen  
Wechselrichterregler 21, 22 angelegt werden. Das Änderungsbe-  
25 stimmungsmodule 24', 24'' leitet den Messwerten oder Wechselrich-  
tersollwerten zugeordnete Änderungen an das Reglermodul 27', 27''  
weiter.

Das Sollwertbestimmungsmodul 25', 25'' ermittelt die von der  
30 Windenergieanlage und den einzelnen Wechselrichtern jeweils ab-  
zugebenden Leistungs- und Stromsollwerte, wobei es die von der  
Steuerung der Windenergieanlage 29 anliegenden Vorgabewerte und  
weitere zusätzliche Sensorwerte 28', 28'' aus der Windenergiean-  
lage, wie z. B. Generator Drehzahl, Windgeschwindigkeit oder Kom-

ponententemperaturen des Generators, des Umrichters oder der Stromleitungen, berücksichtigt. Das Sollwertbestimmungsmodul 25', 25" berücksichtigt dabei die je nach Betriebsart unterschiedlichen Drehmoment-/Drehzahlkennlinien. Für einen schallop-  
5 timierten Betrieb kann beispielsweise eine andere Kennlinie verwendet werden als für einen ertragsoptimierten Betrieb. Das Reglerabweichungsmodul 26', 26" ermittelt nun die Reglerabweichung der vom Messwertmodul 23', 23" anliegenden Ist-Werte von den vom Sollwertmodul 25', 25" vorliegenden Sollwerten und  
10 gibt die festgestellte Abweichung an das Reglermodul 27', 27" weiter.

Das Reglermodul 27', 27" vergleicht die jeweiligen Reglerabweichungen der Wechselrichter 71,72 von den Sollwerten und gibt  
15 diese an die Wechselrichterregler 21, 22 weiter, sofern das Änderungsbestimmungsmodul 24', 24" keine Änderung erkannt hat. Sofern das Änderungsbestimmungsmodul 24', 24" aber eine vorbestimmte Änderung erkennt, übergibt das Reglermodul 27', 27" entsprechende Werte an das Abgleichmodul 40 und das andere Regler-  
20 modul korrigiert entsprechend hinterlegter Korrekturfunktionen die an den anderen Wechselrichterregler 21, 22 anzulegende Sollwerte.

Die Wechselrichterregler 21, 22 steuern dann die Schalter der  
25 jeweiligen Wechselrichter 71, 72 entsprechend den angelegten Sollwerten, so dass die entsprechenden Wirk- und/oder Blindströme abgegeben werden.

Figur 3 zeigt eine alternative Ausgestaltung eines Umrichter-  
30 reglers 20 zur in Figur 2 beschriebenen Reglerstruktur. Dabei sind die Umrichterregler 20', 20" in einem Umrichterregler 20 zusammengefasst. Ebenfalls sind die getrennten Funktionsmodule in jeweils einem entsprechenden Funktionsmodul zusammengefasst. Der Ablauf der Regelung erfolgt in diesem Fall nicht mehr unbe-

dingt nach Wechselrichtern getrennt, sondern die Abstimmung zwischen den Wechselrichtern erfolgt in diesem Beispiel erst bei der Sollwertvorgabe des zentralen Reglermoduls 47 an die Wechselrichterregler 21, 22. Das zentrale Reglermodul 47 kombiniert die Funktionen, die bei dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel von dem Reglermodul 27', 27'' und dem Abgleichmodul 40 wahrgenommen werden. Die Abstimmung zwischen den Wechselrichterreglern 21, 22 erfolgt dadurch schneller und flexibler.

Figur 4 zeigt den erfindungsgemäßen Umrichterregler 20 mit angeschlossenen Temperaturfühlern 91, 92. Dabei sind im Leistungsstrang 4, 8, 13 des generatorseitigen Wechselrichters 71 Temperaturfühler 91 an den Komponenten 4, 8, 13 vorgesehen, die gefühlte Temperaturwerte an den Umrichterregler 20 geben. Ebenso sind im Leistungsstrang 8, 12, 14 des netzseitigen Wechselrichters 72 Temperaturfühler 92 an den Komponenten 8, 12, 14 vorgesehen. Überschreitet ein Temperaturwert einen vorgegebenen Temperaturgrenzwert, so reduziert die Umrichterregelung 20 die Stromabgabe an dem betroffenen Wechselrichter 71, 72 und erhöht die Stromabgabe um den gleichen Wert am anderen Wechselrichter 71, 72. Bevorzugt wird dieses bei der Blindstromabgabe durchgeführt.

Im Folgenden werden beispielhaft, aber nicht abschließend, einige Fälle erläutert, bei denen das erfindungsgemäße Verfahren Anwendung findet, ohne Bezug auf die Figuren zu nehmen.

Damit der netzseitige Wechselrichter in der Lage ist, Leistung in das Netz zu speisen, muss die Spannung, die durch den netzseitigen Wechselrichter bereitgestellt werden kann, höher sein, als die Spannung an vorgelagerten Bauteilen, wie z.B. der Drossel. Die Spannung am netzseitigen Wechselrichter ist dabei durch die Zwischenkreisspannung und das verwendete Modulationsverfahren bestimmt. Überschreitet die Spannung am vorgelagerten Bau-

teil die Spannung, die vom netzseitigen Wechselrichter bereitgestellt werden kann, so kann dieser keine Leistung mehr in das Netz speisen, es kommt zu einer Abschaltung des Wechselrichters. Daher muss bei ansteigender Netzspannung die Abgabe kapazitiven Blindstroms (übererregter Betrieb) des doppelt gespeisten Asyn-  
5 chrongenerators eingeschränkt werden, um einen weiteren Anstieg der Netzspannung zu verhindern.

Das Verfahren lässt sich derart optimieren, dass bei einem Anstieg der Spannung am netzseitigen Wechselrichter zunächst eine  
10 Anhebung der Spannung im Zwischenkreis bis auf die maximal zulässige Spannung geschieht und bei einem weiteren Anstieg der Spannung am netzseitigen Wechselrichter eine Verschiebung der Blindstromabgabe des netzseitigen Wechselrichters in den induk-  
15 tiven Bereich (spannungssenkender Betrieb) erfolgt, mit dem Ziel, die Spannung am netzseitigen Wechselrichter auf einen maximal zulässigen Wert zu begrenzen.

Die Wirkleistungsabgabe zur Regelung der Zwischenkreisspannung darf aber nicht beeinträchtigt werden, so dass die maximal mög-  
20 liche induktive Blindstromeinspeisung durch den verbleibenden Blindstromanteil des netzseitigen Wechselrichters begrenzt ist. Die an das Netz abgegebene Blindleistung soll aber nicht vermindert werden, sondern in der Summe gleich bleiben. Daher wird die kapazitive Blindleistungsabgabe des generatorseitigen Wechsel-  
25 richters erhöht, um die Reduktion des netzseitigen Wechselrichters auszugleichen. Dies kann bedeuten, dass durch die Steuerung der Stromabgabe des generatorseitigen Wechselrichters am Stator kapazitiver Blindstrom eingespeist wird, während der netzseitige Wechselrichter induktiven Blindstrom abgibt, um die Spannung am  
30 netzseitigen Wechselrichter zu begrenzen.

Wird die zulässige Spannungsgrenze des netzseitigen Wechselrichters noch immer nicht erreicht, erfolgt dann endgültig eine Absenkung der kapazitiven Blindstromabgabe des generatorseitigen

Wechselrichters und damit des Gesamtsystems, bis die Spannungsgrenze am netzseitigen Wechselrichter wieder eingehalten wird.

Der Betrag des Stroms, der vom netzseitigen Wechselrichter in  
5 das Netz gespeist werden kann, ist durch die Dimensionierung der  
Schalter und der thermischen Auslegung des netzseitigen Wechsel-  
richters begrenzt. Für den Betrieb des netzseitigen Wechselrich-  
ters muss immer ein Vorrang für die Wirkstromeinspeisung vorge-  
sehen werden, damit die Spannung im Zwischenkreis konstant  
10 gehalten werden kann. Der verbleibende Strom kann - abzüglich  
einer gewissen Reserve für Regelvorgänge der Wirkstromregelung -  
für die Einspeisung von Blindstrom genutzt werden.

Wird während des Betriebs die für den Dauerbetrieb zulässige  
15 Grenze der Stromeinspeisung am netzseitigen Wechselrichter er-  
reicht, erfolgt eine Reduktion der Blindstromeinspeisung des  
netzseitigen Wechselrichters (unabhängig ob induktiv oder kapa-  
zitiv) in Richtung Null. Um aber die von der Windenergieanlage  
an das elektrische Netz abgegebene Blindleistung nicht zu redu-  
20 zieren, erfolgt eine Steuerung der Stromabgabe am Stator durch  
den generatorseitigen Wechselrichter derart, dass ein erhöhter  
Blindstrom über den Stator ins elektrische Netz eingespeist  
wird.

25 Dieses Verfahren bietet im Betrieb den Vorteil, dass immer die  
maximal verfügbare Blindleistung des netzseitigen Wechselrich-  
ters genutzt werden kann, und sofern eine Grenze der Stromlie-  
ferfähigkeit des netzseitigen Wechselrichters erreicht wird,  
kann der generatorseitige Wechselrichter diese Einspeisung über-  
30 nehmen, ohne dass es zu einer Reduktion der Blindleistungsein-  
speisung der Windenergieanlage insgesamt kommt.

Die Spannung am generatorseitigen Wechselrichter ist vor allem  
abhängig von der Netzspannung, der Anlagendrehzahl und der

Blindstromeinspeisung des generatorseitigen Wechselrichters. Steigt die Spannung des generatorseitigen Wechselrichters über eine zulässige Grenze, insbesondere bei hohen Drehzahlen und hoher Spannung oder einer Veränderung der Netzfrequenz, so erfolgt  
5 in der Regel eine Abschaltung der Windenergieanlage. Diesem versucht man zunächst entgegenzuwirken, indem der Generator in einen induktiveren Arbeitspunkt gebracht wird. Reicht aber die Spannungsabsenkung durch den generatorseitigen Wechselrichter nicht aus, um eine ausreichend niedrige Spannung zu erzielen,  
10 wird durch den netzseitigen Wechselrichter zusätzlich induktive Blindleistung eingespeist, um die Spannung am generatorseitigen Wechselrichter weiter abzusenken. Auch im Fall eines Dreiwicklertrafos, wie in Figur 1 gezeigt, kann der netzseitige Wechselrichter einen Beitrag zur Spannungssenkung am generatorseitigen  
15 Wechselrichter liefern.

Ist die Spannung am generatorseitigen Wechselrichter aber noch immer zu hoch, kann die Wirkleistungsabgabe des doppelt gespeisten Asynchrongenerators reduziert werden. Damit steht sowohl im  
20 generatorseitigen Wechselrichter als auch im netzseitigen Wechselrichter zusätzlicher Strom für die Blindstromeinspeisung zur Verfügung.

In der Regel erfolgt eine Kompensation der Blindstromaufnahme  
25 des Generators durch den generatorseitigen Wechselrichter. Im Fall einer 2MW Windenergieanlage sind dies z.B. etwa 200MVA oder etwa 100A. Soll nun, z.B. für den Betrieb einer Windenergieanlage bei niedrigeren Drehzahlen, ein hohes Moment gefahren werden, so kann dies insbesondere in der Nähe des Synchronpunkts des Generators eine Leistungsreduktion des generatorseitigen Wechselrichters erfordern, um eine thermische Überlastung zu verhindern. Der Grund dafür ist, dass die Frequenz des generatorseitigen Wechselrichters im Bereich des Synchronpunkts fast Null ist, so dass damit die Einspeisung von Gleichströmen notwendig ist.  
30

Diese führen jedoch zu einer ungleichen Belastung des generatorseitigen Wechselrichters, so dass einzelne Halbbrücken deutlich stärker belastet werden. Um nun eine Überlastung des generatorseitigen Wechselrichters zu vermeiden, erfolgt in der Regel nahe  
5 des Synchronpunkts eine Reduktion der Stromgrenze für den Dauerbetrieb. Wird - insbesondere in der Nähe des Synchronpunkts - die Dauerbetriebsgrenze für die Stromabgabe des generatorseitigen Wechselrichters erreicht, so wird die Blindstromeinspeisung des generatorseitigen Wechselrichters reduziert, so dass ein höherer  
10 Anteil des Stroms für die Wirkstromeinspeisung zur Verfügung steht. Der nun fehlende Anteil des Blindstroms wird von netzseitigen Wechselrichtern übernommen, so dass die Blindleistungseinspeisung des Gesamtsystems nicht beeinträchtigt wird. Darüber hinaus wird die Drehzahl der Windenergieanlage derart  
15 geregelt, dass sie nur kurzzeitig in der Nähe des Synchronpunkts bleibt, um eine Reduktion der Wirkleistungsabgabe zu vermeiden.

Liegen im Netz an den drei Phasen unterschiedlich hohe Spannungen an, kommt es zu einer unsymmetrischen Einspeisung von Strom.  
20 In der Folge können Bauteile überlastet werden, außerdem kann die unsymmetrische Belastung des Generators zu Leistungspendungen führen. Zusätzlich führen die Gegensystemströme im Generator zu unerwünschten Verlusten, da es - insbesondere im Rotor aufgrund der höheren Frequenz des Stroms zu einer Stromverdrängung kommt. Zur Vermeidung solcher Störungen werden Windenergieanlagen mit doppelt gespeistem Asynchrongenerator mit Gegensystemregelungen ausgestattet, die die Stromabgabe in das Netz wieder  
25 vergleichmäßigen. Bei einer Windenergieanlage mit doppelt gespeistem Asynchrongenerator wird mit dem generatorseitigen  
30 Wechselrichter eine Gegensystemregelung der Wirkströme vorgenommen, um die Belastung der Windenergieanlage zu minimieren. Die erfindungsgemäße Regelung verbessert diese an sich bekannte Gegensystemregelung dadurch, dass der netzseitige Wechselrichter zusätzlich Gegensystem-Blindstrom (induktiv im Gegensystem) zur

Reduktion der Spannungsasymmetrie einspeist. Die damit reduzierte Gegensystemspannung stabilisiert das Netz und wirkt sich darüber hinaus positiv auf die Windenergieanlage aus, da damit z.B. das Gegensystem der Spannung an den Antrieben (Pumpen, Lüfter, Azimut, ...) reduziert wird.

Die Windenergieanlage mit doppelt gespeistem Asynchrongenerator ist mit einem Statorschalter ausgestattet, der es ermöglicht, auch bei abgeschaltetem generatorseitigen Wechselrichter weiter Blindleistung in das Netz zu speisen. Um eine kontinuierliche Blindleistungseinspeisung auch während des Zu- und Abschaltens des Stators zu gewährleisten, wird beim Unterschreiten einer definierten Drehzahl eine Betriebsart gewählt, bei der die Kompensation der Blindstromaufnahme des Generators ausschließlich durch den generatorseitigen Wechselrichter erfolgt, eine weitere Blindstrombereitstellung für das Netz erfolgt aber ausschließlich durch den netzseitigen Wechselrichter. Dadurch erfährt das elektrische Netz keine Änderung im Betrag der Blindleistungseinspeisung bei Zu- oder Abschalten des Stators, z.B. für eine kontinuierliche Spannungsregelung oder den Betrieb als Blindleistungsquelle im Netz (STATCOM).

Die Regelung der Ströme über den generatorseitigen Wechselrichter hat aufgrund der indirekten Wirkweise über den Generator üblicherweise Zeitkonstanten von über 10 ms. Im Gegensatz dazu können die Regelungszeitkonstanten des netzseitigen Wechselrichters weit darunter liegen, da er direkt am elektrischen Netz arbeitet. Bei einem Spannungssprung der an der Windenergieanlage anliegenden Spannung muss die Wirk- und/oder Blindstromabgabe ebenfalls sprunghaft geändert werden. Dies kann einerseits darin begründet sein, dass die Leistungsabgabe konstant gehalten werden soll oder andererseits darin begründet sein, dass sich die Spannung nach dem Spannungssprung außerhalb der Toleranz befindet und eine Spannungsbeeinflussung der Netzspannung über die

Blindstromabgabe erfolgen muss. Eine schnelle Regelung der Ströme erfolgt nun unter Berücksichtigung der oben genannten Regelungszeitkonstanten. Beim Regeln des netzseitigen Wechselrichters wird vom Umrichterregler nicht nur der Sollwert berücksichtigt, sondern zusätzlich auch die Regeldifferenz zwischen Soll- und Istwert des generatorseitigen Wechselrichters berücksichtigt und die Regeldifferenz auf den Sollwert des netzseitigen Wechselrichters addiert. Sofern der generatorseitige Wechselrichter außerhalb seiner Stromgrenzen betrieben wird oder der Stromanstieg noch nicht ausreichend ist, werden die Stromreserven des netzseitigen Wechselrichters genutzt, um die Regelgeschwindigkeit des Gesamtsystems zu verbessern.

Eine wesentliche Voraussetzung für diese Regelung ist, dass die Kommunikation zwischen generatorseitigem Wechselrichter und netzseitigem Wechselrichter schnell ist, da sowohl der Sollwert des Blindstroms des netzseitigen Wechselrichters, als auch der Istwert des Blindstroms des Gesamtsystems für die Regelung des netzseitigen Wechselrichters notwendig sind.

Bei einer aufgeteilten Regelung mit zwei vollständig selbstständigen Reglern der Wechselrichter ohne einen übergeordneten Umrichterregler ist es bei Übergabe von Werten an den netzseitigen Wechselrichter zur Sicherstellung der notwendigen Regelgeschwindigkeit nötig, dass dem Regler des netzseitigen Wechselrichters auch der Istwert des Blindstroms des generatorseitigen Wechselrichters in jedem Rechenschritt übergeben wird.

Die Windenergieanlage mit doppelt gespeistem Asynchrongenerator besitzt gegenüber Windenergieanlagen mit Vollumrichtersystemen, bei denen die gesamte elektrische Leistung über den Umrichter fließt, einen größeren Stoßkurzschlussstrom. Der Stoßkurzschlussstrom ist eine bei Kurzschlüssen im Netz auftretende Stromspitze, die von der Windenergieanlage ins Netz abgegeben

wird. Durch einen hohen Stoßkurzschlussstrom können der Wind-  
energieanlage im Netz vorgelagerte Komponenten beschädigt wer-  
den. Der Stoßkurzschlussstrom kann durch eine Stromspitze am ge-  
neratorseitigen Wechselrichter detektiert werden. Die Erfindung  
5 ermöglicht nun eine Regelung zu verwenden, bei dem ein Teil des  
Stoßkurzschlussstroms durch den netzseitigen Wechselrichter kom-  
pensiert und/oder übernommen wird. Ein Stoßkurzschlussstrom  
weist Blindstrom und Wirkstromanteile auf, wobei der netzseitige  
Wechselrichter den meist induktiven Blindstrom durch Einspeisen  
10 von kompensierendem Blindstrom, also meist kapazitivem Blind-  
strom, ausgleichen kann. Der Wirkstrom kann nicht so einfach  
kompensiert werden. Dieser muss in eine elektrische Last umge-  
leitet werden. Dazu leitet der netzseitige Wechselrichter den  
Strom in den Zwischenkreis des Umrichters. Dies führt dazu, dass  
15 die Spannung des Zwischenkreises ansteigt und das im Zwischen-  
kreis des Umrichters angeschlossene Schutzelement, meist ein  
Zwischenkreischopper mit Lastwiderstand die Energie oder zumin-  
dest einen Teil der Energie des Stoßkurzschlussstroms aufnimmt.  
Durch diese Regelung kann der Stoßkurzschlussstrom wesentlich  
20 verringert werden.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage, der am Rotor eines doppelt gespeisten Asynchronengenerators zur Einspeisung elektrischer Energie in ein elektrisches Netz angeschlossen ist, wobei der Umrichter einen generatorseitigen Wechselrichter, einen netzseitigen Wechselrichter und wenigstens einen Umrichterregler zum Regeln und/oder Steuern der von wenigstens einem der Wechselrichter an den Generator und/oder das elektrische Netz abgegebenen Ströme umfasst, umfassend die folgenden Verfahrensschritte:

- Detektieren einer Änderung der anliegenden elektrischen Spannung, der abgegebenen Wirkströme und/oder der abgegebenen Blindströme an einem Wechselrichter,
- Bestimmen, ob die detektierte Änderung einer vorbestimmten Änderung entspricht, und
- Änderung der Sollwerte der abzugebenden Wirkströme und/oder der abzugebenden Blindströme des anderen Wechselrichters, sofern die detektierte Änderung einer vorbestimmten Änderung entspricht.

2. Verfahren zum Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

die vorbestimmte Änderung der anliegenden elektrischen Spannung, der abgegebenen Wirkströme und/oder der abgegebenen Blindströme an einem der Wechselrichter das Erreichen eines vorgegebenen Grenzwerts ist.

3. Verfahren zum Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage nach Anspruch 1 oder 2,

5 dadurch gekennzeichnet, dass

sich der maximal vorgebbare Sollwert der abzugebenden Blindströme des anderen Wechselrichters unter Berücksichtigung der abgegebenen Wirkströme und einer vorgebbaren Regelreserve der Wirkströme bestimmt wird.

10

4. Verfahren zum Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

15 dadurch gekennzeichnet, dass

die vorbestimmte Änderung das Erreichen eines oberen Spannungsgrenzwerts der anliegenden Spannung an einem Wechselrichter ist und der andere Wechselrichter die Blindstromabgabe erhöht, um die anliegende Spannung an dem den Grenzwert erreichenden Wechselrichter zu verringern.

20

5. Verfahren zum Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

25 dadurch gekennzeichnet, dass

die vorbestimmte Änderung eine insbesondere durch die Wirk- und/oder Blindstromabgabe des Wechselrichters verursachte Überschreitung eines vorgegebenen Temperaturgrenzwerts mindestens einer Komponente der Windenergieanlage ist, wobei sich die Komponente im dem dem Wechselrichter zugeordneten Leistungsstrang befindet.

30

6. Verfahren zum Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage nach Anspruch 5,

dadurch gekennzeichnet, dass

5

die vorbestimmte Änderung die Ereignisfolge Überschreiten einer Grenze der Stromabgabe gefolgt von dem Überschreiten eines Temperaturgrenzwerts ist.

- 10 7. Verfahren zum Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

15 die Summe der von den Wechselrichtern an das elektrische Netz abgegebenen Blind- und/oder Wirkströme, bzw. die Blind- und/oder Wirkleistungen weitgehend unverändert bleiben.

- 20 8. Verfahren zum Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

25 die Blind- und/oder Wirkstromabgabe so geregelt wird, dass die relative Auslastung bezogen auf die maximale Stromabgabe der Wechselrichter oder der den Wechselrichtern zugeordneten Leistungsstränge möglichst gleich sind.

- 30 9. Verfahren zum Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

bei einer so gearteten Spannungsasymmetrie, dass die Abweichung einer an einem Wechselrichter anliegenden Spannung einer Phase über einen Grenzwert hinausgeht, die Blindstromabgabe des anderen Wechselrichters so verändert wird,  
5 dass die Spannungsasymmetrie verringert wird.

10. Verfahren zum Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

10 dadurch gekennzeichnet, dass

der Umrichterregler bei einem Sollwertsprung der von der Windenergieanlage insgesamt abzugebenden Blindströme auf einen neuen, höheren Sollwert, insbesondere als Folge einer  
15 sprunghaften Änderung der anliegenden Spannung, der Umrichterregler die neuen Sollwerte zwischen dem generatorseitigen und netzseitigen Wechselrichter so aufteilt, dass die Summe der neuen Sollwerte für die Ströme der Wechselrichter dem neuen Sollwert entspricht, wobei ein möglichst großer  
20 Anteil des abzugebenden Blindstroms auf den Wechselrichter mit der höheren Dynamik entfällt, wobei ein Grenzwert für Blindströme für diesen Wechselrichter erreicht werden kann und der Sollwert des Wechselrichters mit der niedrigeren  
25 Dynamik sich aus der verbleibenden Differenz des Sollwerts der Gesamtblindleistung zu dem Sollwert der Blindleistung des Wechselrichters mit der höheren Dynamik ergibt.

11. Verfahren zum Steuern eines Umrichters einer Windenergieanlage nach Anspruch 10,

30 dadurch gekennzeichnet, dass

nach einer vorgebbaren Zeitdauer und/oder nach Erreichen eines vorgebbaren Sollwerts der Umrichterregler die Soll-

werte der Wechselrichter in vorgebbaren Schritten derart verändert, dass der Wechselrichter mit der niedrigeren Dynamik einen möglichst großen Anteil der abzugebenden Blindströme abgibt, bis ein Grenzwert für diesen Wechselrichter erreicht ist und der Sollwert des Wechselrichters mit der höheren Dynamik sich aus der Differenz des Sollwerts der Gesamtblindleistung zu dem Sollwert der Blindleistung des Wechselrichters mit der niedrigeren Dynamik ergibt.

10 12. Windenergieanlage mit einem Umrichter (7), der am Rotor (6) eines doppelt gespeisten Asynchrongenerators (4) zur Einspeisung elektrischer Energie in ein elektrisches Netz (10) angeschlossen ist, wobei der Umrichter (7) einen generatorseitigen Wechselrichter (71), einen netzseitigen Wechsel-

15 richter (72) und wenigstens einen Umrichterregler (20) zum Regeln und/oder Steuern der von wenigstens einem der Wechselrichter (71, 72) an den Asynchrongenerator (4) und/oder das elektrische Netz (10) abgegebenen Ströme umfasst,

20 dadurch gekennzeichnet, dass

mittels Sensoren (31, 32) die an den Wechselrichtern (71, 72) anliegenden elektrischen Spannungen, die von den Wechselrichtern (71, 72) abgegebenen Wirkströme und/oder die

25 abgegebenen Blindströme erfasst werden, in einem Änderungsbestimmungsmodul (24), in dem vorbestimmte Änderungen hinterlegt sind, verglichen werden und bei Vorliegen einer vorbestimmten Änderung der anliegenden elektrischen Spannung, der abgegebenen Wirkströme und/oder der abgegebenen

30 Blindströme an einem der Wechselrichter (71, 72) die am anderen Wechselrichter (72, 71) anliegenden Sollwerte für die abgegebenen Wirkströme und/oder die abgegebenen Blindströme verändert werden.

13. Windenergieanlage mit einem Umrichter nach Anspruch 12,  
dadurch gekennzeichnet, dass

5 die im Änderungsbestimmungsmodul (24) hinterlegte vorbe-  
stimmte Änderung der anliegenden elektrischen Spannung, der  
abgegebenen Wirkströme und/oder der abgegebenen Blindströme  
an einem der Wechselrichter (71, 72) das Erreichen eines  
vorgegebenen Grenzwerts ist.

10

14. Windenergieanlage mit einem Umrichter nach Anspruch 12 oder  
13,

dadurch gekennzeichnet, dass

15

der Sollwert für die Abgabe von Blindstrom des den Grenz-  
wert erreichenden Wechselrichters (71, 72) derart verändert  
wird, dass der Sollwert einer verringerten Abgabe kapaziti-  
ven Blindstroms und/oder einer erhöhten Abgabe induktiven  
Blindstroms entspricht.

20

15. Windenergieanlage mit einem Umrichter nach einem der An-  
sprüche 12 bis 14,

25

dadurch gekennzeichnet, dass

sofern das Änderungsbestimmungsmodul (24) das Erreichen ei-  
nes Grenzwerts der anliegenden Spannung eines Wechselrich-  
ters (71, 72) bestimmt hat, der Sollwert für die Blind-  
stromabgabe am anderen Wechselrichter (72, 71) so verändert  
wird, dass der Sollwert einer Erhöhung der Blindstromabgabe  
entspricht.

30

16. Windenergieanlage mit einem Umrichter nach einem der An-

sprüche 12 bis 15,

dadurch gekennzeichnet, dass

5 der Umrichterregler (20) mittels Temperatursensoren (91, 92) die Temperaturwerte der Komponenten der den Wechselrichtern (71, 72) zugeordneten Leistungsstränge ermittelt und die im Änderungsbestimmungsmodul (24) hinterlegte vorbestimmte Änderung eine insbesondere durch die Wirk-  
10 und/oder Blindstromabgabe des Wechselrichters (71, 72) verursachte Überschreitung eines vorgegebenen Temperaturgrenzwerts mindestens einer Komponente der Windenergieanlage ist, wobei sich die Komponente in dem dem Wechselrichter (71, 72) zugeordneten Leistungsstrang befindet.

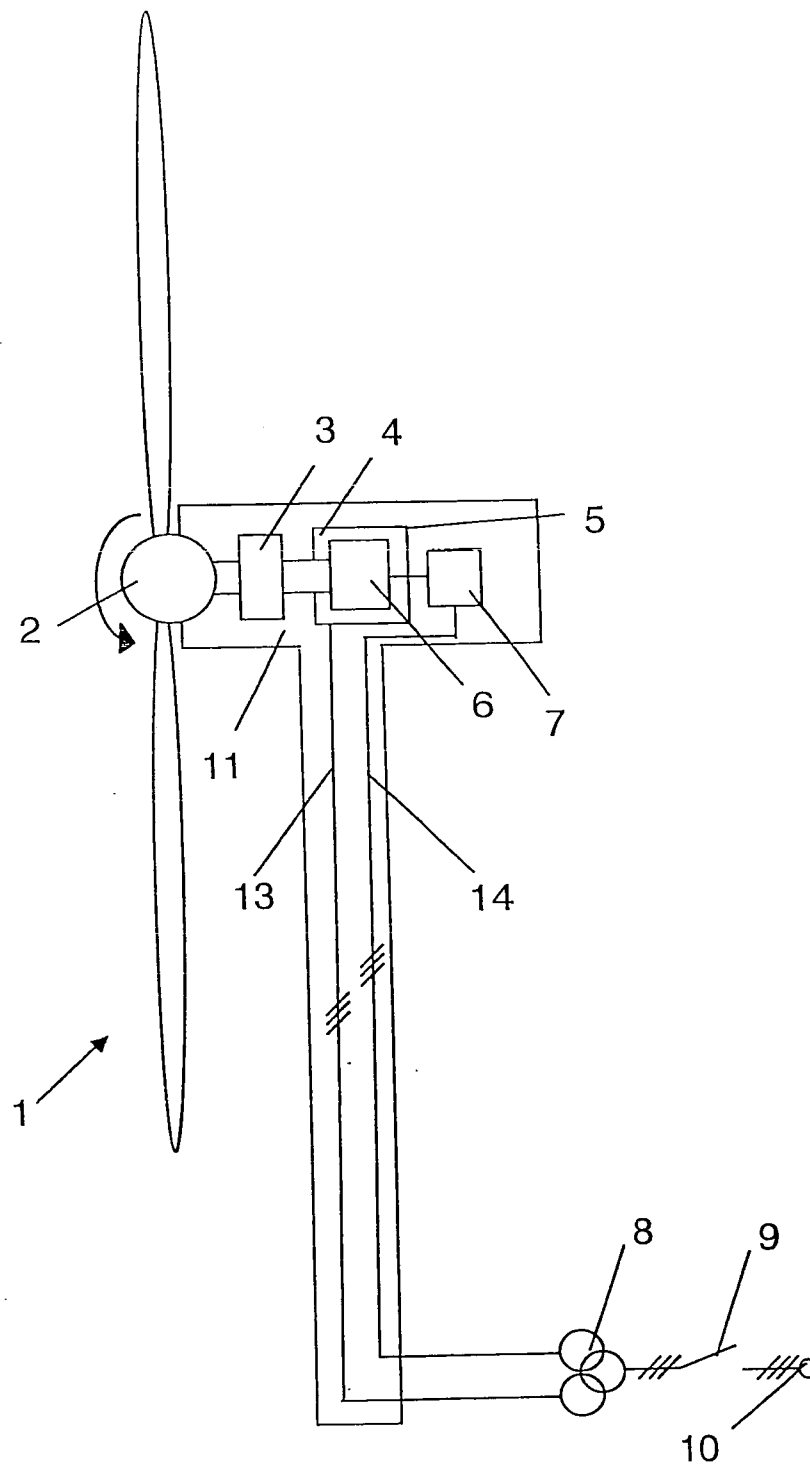
15

17. Windenergieanlage mit einem Umrichter nach einem der Ansprüche 12 bis 16,

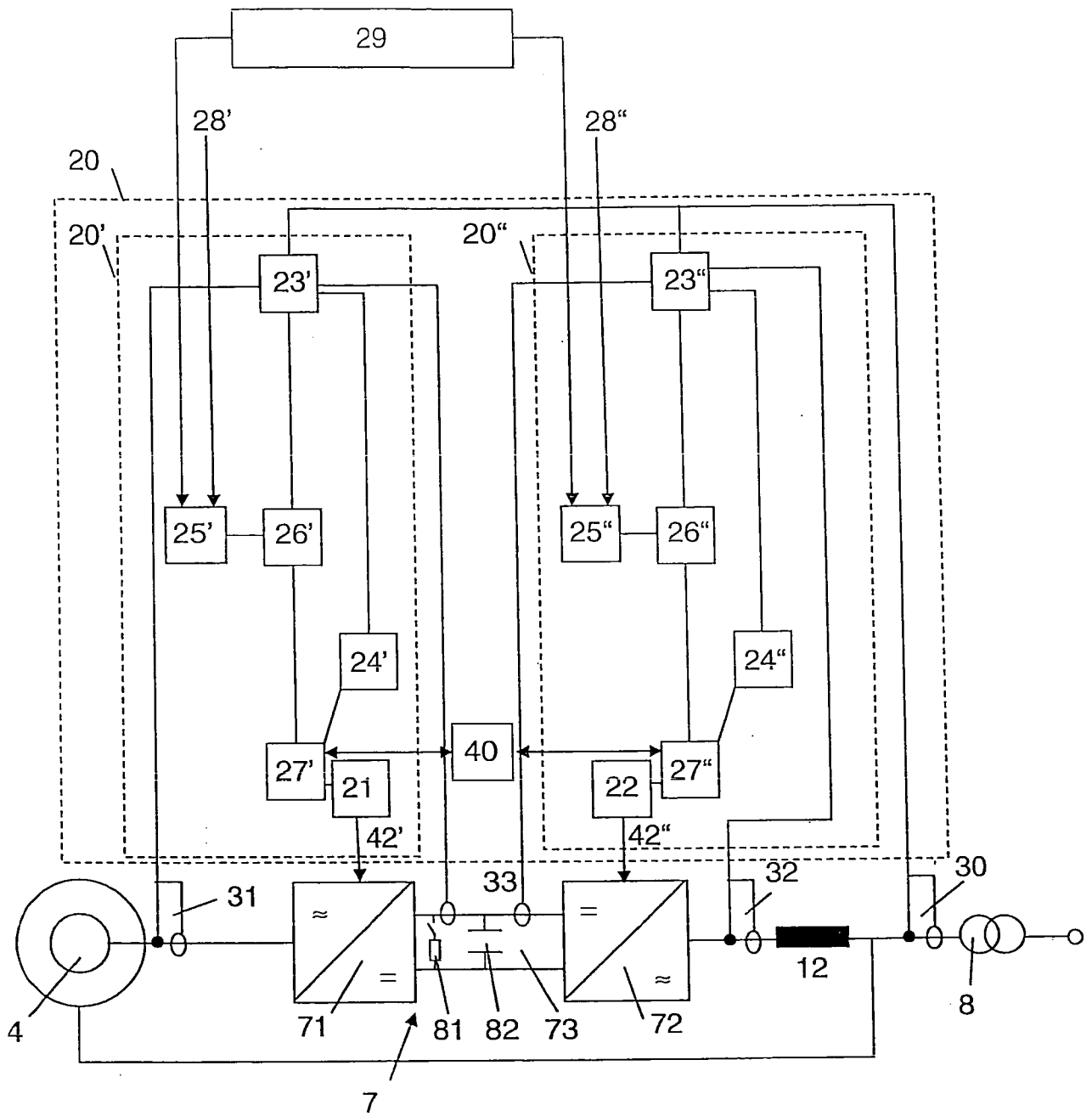
dadurch gekennzeichnet, dass

20

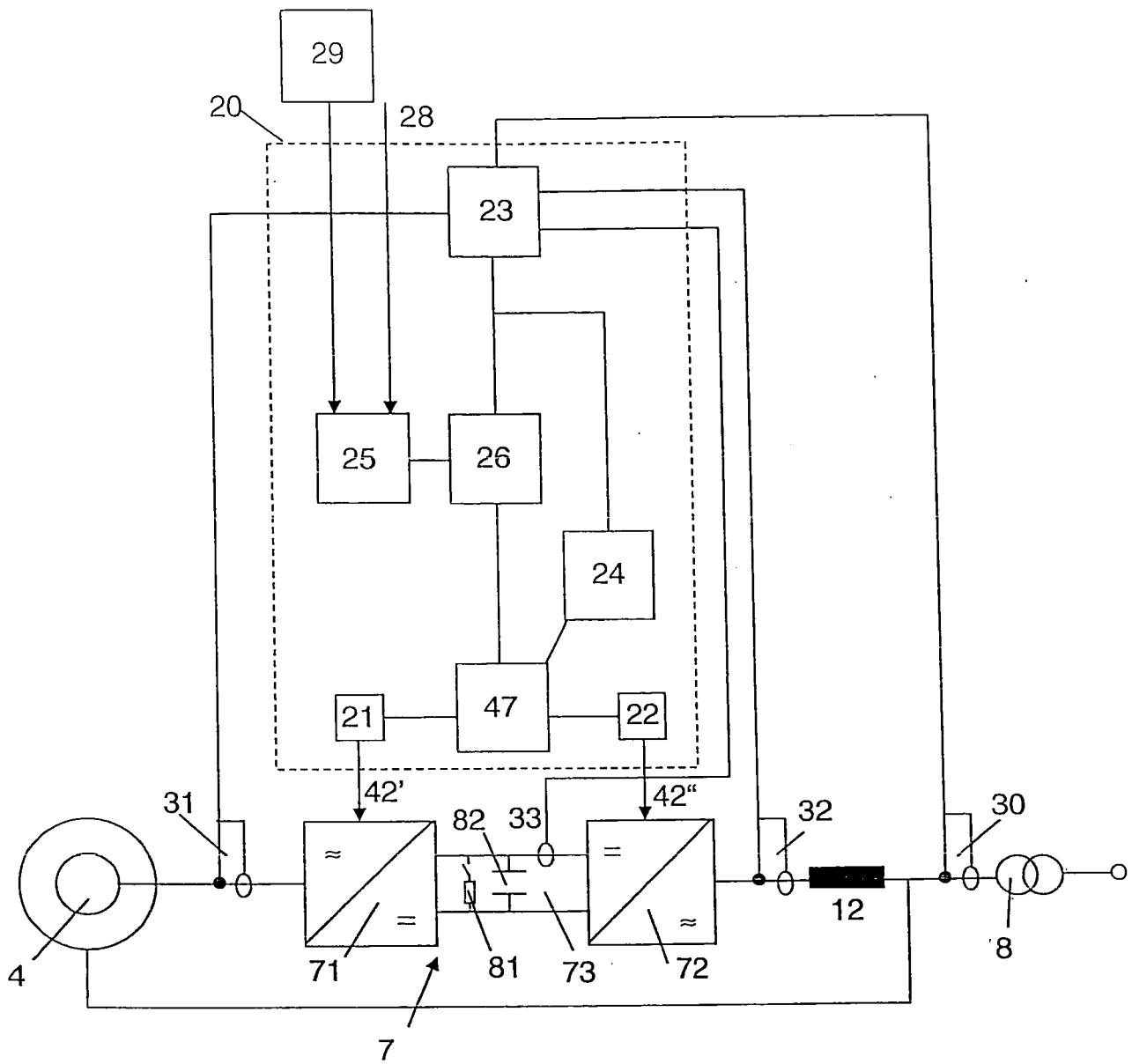
bei einem Umrichterregler (20), der für jeden Wechselrichter (71, 72) einen eigenständigen Wechselrichterregler (21, 22) umfasst, ein Abgleichmodul (40) die jeweiligen Sollwerte, Istwerte und/oder Regelabweichungen für die Wirkströme,  
25 Blindströme und/oder anliegenden Spannungen zwischen den Wechselrichtern überträgt.



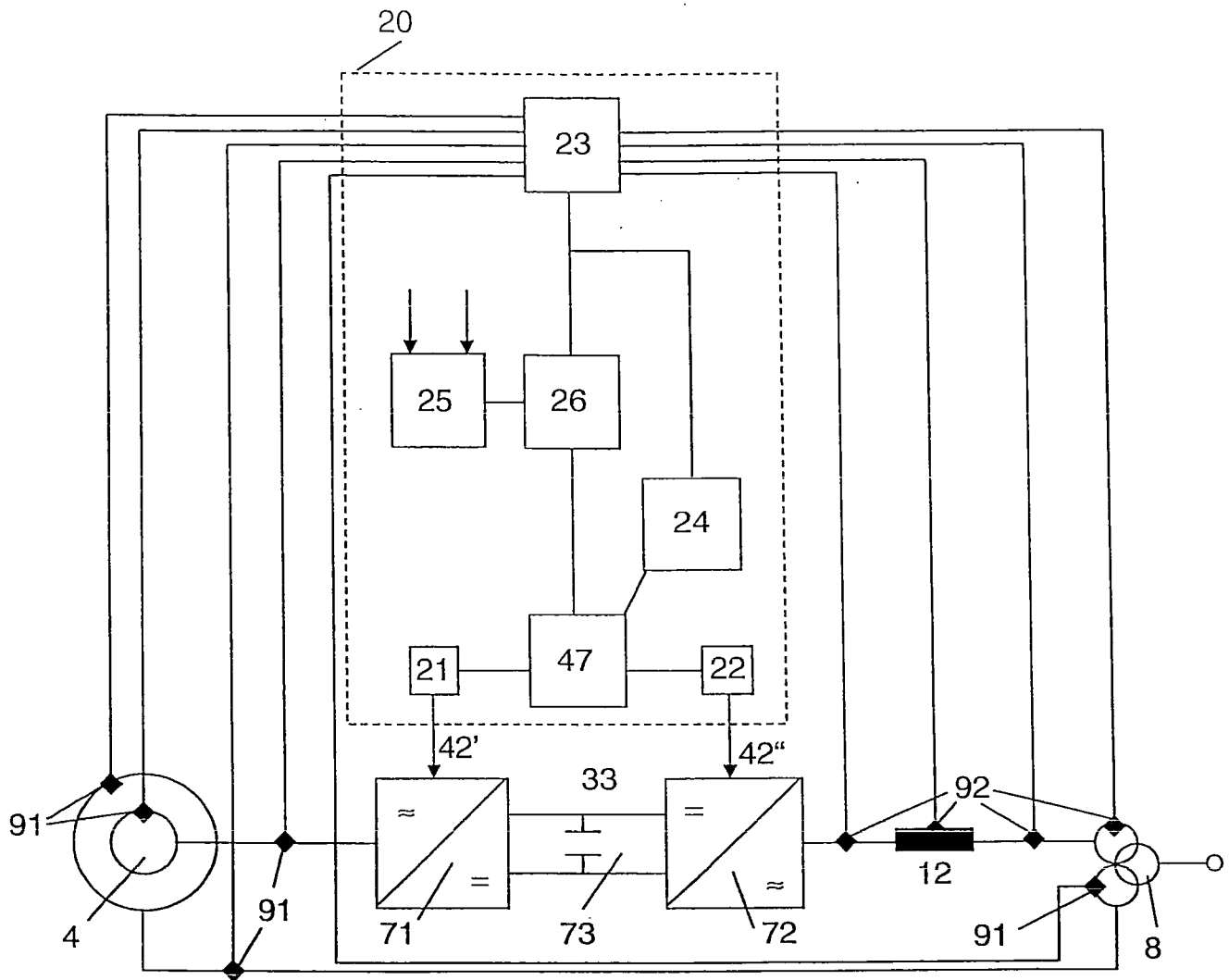
Figur 1



FIGUR 2



FIGUR 3



FIGUR 4