

(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
21. Juli 2011 (21.07.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/085961 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H02J 3/40 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/000083
- (22) Internationales Anmeldedatum:
11. Januar 2011 (11.01.2011)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2010 000 838.9
12. Januar 2010 (12.01.2010) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SKYWIND GMBH [DE/DE]; Vorwerksallee / Vorwerk, 24782 Büdeldorf (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RICHERT, Frank [DE/DE]; Kirchensteig 1, 25920 Stedesand (DE).
- (74) Anwalt: EISENFÜHR, SPEISER & PARTNER; Postfach 31 02 60, 80102 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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

Veröffentlicht:

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

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR SYNCHRONIZING A GENERATOR IN A NETWORK

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM AUFSYNCHRONISIEREN EINES GENERATORS IN EINEM NETZ

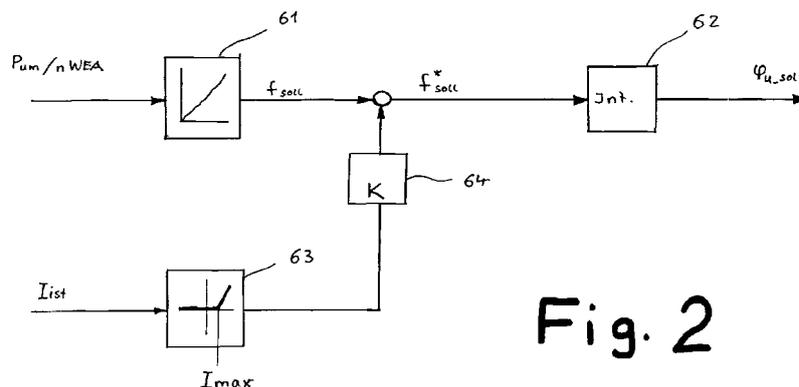


Fig. 2

(57) Abstract: The method according to the invention for synchronizing a generator to a network, said network being connected via a converter, by means of a control device which is connected to the generator and to the converter has the following steps: determining a specified frequency and outputting the specified frequency to the converter in order to control a phase position of the voltage that is generated by the converter; detecting an actual current of the converter at the time the further generator is connected; and comparing the actual current of the converter with a maximal current of the converter and outputting a frequency component with which the previously determined specified frequency is changed in order to influence the specified frequency dependent on the comparison result. The invention likewise relates to a device for carrying out said method.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2011/085961 A2



Das erfindungsgemäße Verfahren zum Aufsynchronisieren eines Generators an ein über einen Umrichter angebundenes Netz mittels einer mit dem Generator und dem Umrichter verbundenen Steuerungseinrichtung umfasst die folgenden Schritte: Bestimmen einer Vorgabefrequenz und Ausgeben der Vorgabefrequenz an den Umrichter zur Steuerung einer Phasenlage der vom Umrichter erzeugten Spannung, Erfassen eines Ist-Stroms des Umrichters zum Zeitpunkt des Zuschaltens des weiteren Generators, und Vergleichen des Ist-Stroms des Umrichters mit einem maximalen Strom des Umrichters und Ausgeben einer Frequenzkomponente, mit der die zuvor bestimmte Vorgabefrequenz geändert wird zur Beeinflussung der Vorgabefrequenz in Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis. Die vorliegende Erfindung betrifft ebenfalls eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Verfahren und Vorrichtung zum Aufsynchronisieren eines Generators in einem Netz

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum sanften Aufsynchronisieren eines Generators in einem Netz, und insbesondere das sanfte Aufsynchronisieren eines Asynchrongenerators auf ein über Umrichter angebundenes Windparknetz.

- 5 Die Bereitstellung elektrischer Energie für den Verbrauch in privaten Haushalten und der Industrie macht umfangreiche Kraftwerksanlagen erforderlich. Hierbei kommen zunehmend Kraftwerksanlagen auf der Basis einer umweltfreundlichen Technologie in Betracht, wobei insbesondere in vielfältiger Weise Windenergieanlagen (Windkraftanlagen) verwendet werden.
- 10 Eine Windenergieanlage umfasst im Allgemeinen einen Turm, an dessen oberem Ende ein Rotor mit vorzugsweise drei Rotorblättern frei drehend angeordnet ist und durch die Windströmung in eine Drehbewegung versetzt wird. Mit dem Rotor ist direkt oder über ein entsprechend dimensioniertes Getriebe ein Generator verbunden, der die in dem Wind enthaltene Energie über die Drehung des Rotors und damit des Antriebs des Generators
- 15 in elektrische Energie umwandelt. Diese kann auf direktem Wege einem Verbraucher zugeführt werden. Im Falle eines größeren Energiebedarfs werden mehrere Windener-

gieanlagen im Verbund in einem sogenannten Windpark eingesetzt, wobei sich die gesamte bereitgestellte Energie aus der Summe der durch die einzelnen Windenergieanlagen bereitgestellten Energie ergibt.

Die einzelne Windenergieanlage kann in Abhängigkeit von der Größe der bereitgestellten Energie (oder Leistung), der Ausführung des Generators und den Bedingungen des Verbrauchers oder eines angeschlossenen Netzes direkt oder mittels eines entsprechenden elektronisch gesteuerten Umrichters mit dem Verbraucher oder dem Netz verbunden sein.

Figur 4 zeigt in vereinfachter und schematischer Darstellung eine Gesamtanordnung mehrerer Windenergieanlagen, die gemeinsam mit einem Netz N verbunden sind. Hierbei weist jede der Windenergieanlagen einen individuellen Umrichter auf.

Gemäß Figur 4 umfasst beispielsweise eine erste Windenergieanlage W1 einen ersten Rotor R1 der mit einem ersten Generator G1 verbunden ist. Der erste Generator G1 wird mittels des ersten Rotors R1 angetrieben. Der erste Generator G1 ist seinerseits in elektrischer Weise mit einem ersten Umrichter U1 verbunden. Die von dem ersten Generator G1 bereitgestellte elektrische Energie wird mittels des ersten Umrichters U1 in elektrische Größen derart umgeformt, dass sie in das Netz N eingespeist werden kann. Dies betrifft die Bereitstellung der Energie in Form elektrischer Größen gemäß einer Nennspannung des Netzes, einer Frequenz des Netzes und einer Phasenlage.

Eine zweite Windenergieanlage mit einem Rotor R ist über einen zweiten Generator G2 und einen zweiten Umrichter U2 mit dem Netz N verbunden. Es ist eine Vielzahl von Windenergieanlagen vorgesehen, wobei zur Vereinfachung eine n-te Windenergieanlage in Figur 4 gezeigt ist, bei der der Rotor R den n-ten Generator Gn antreibt und über den n-ten Umrichter Un mit dem Netz N verbunden ist.

Da derzeit im Allgemeinen die Windenergieanlagen mit individuellen Umrichtern betrieben werden, ist durch eine entsprechende Steuerung jedes Umrichters U1, U2, ..., Un ein exaktes Synchronisieren hinsichtlich Spannung, Frequenz und Phasenlage auf das angeschlossene Netz N möglich.

Die verwendeten Generatoren können hierbei Synchrongeneratoren oder vorzugsweise Asynchrongeneratoren sein.

Somit werden eine oder mehrere Windenergieanlagen über einen jeweils individuellen Umrichter an das Netz eines Energieversorgers angeschlossen. Das Netz des Energieversorgers umfasst im Allgemeinen eine im Wesentlichen feste Spannung (Nennspannung) sowie eine feste Frequenz.

5 Die auf Seiten der Windenergieanlagen oder eines Windparks angeordneten individuellen Umrichter U1 bis Un dienen zur Einstellung einer variablen und den aktuellen Betriebsbedingungen der Windenergieanlage, wie beispielsweise der Windgeschwindigkeit, angepasste optimale Frequenz/Drehzahl während des Betriebs der Windenergieanlage. Im Allgemeinen werden zur Energieumformung von den Rotoren angetriebene Asynch-
10 rongeneratoren zur Bereitstellung der elektrischen Energie vorgesehen, wobei die für den Betrieb der Asynchrongeneratoren erforderliche Blindleistung von dem Umrichter oder von zusätzlichen Blindleistungsquellen, wie beispielsweise Kondensatoren, die in einer Mehrzahl als eine Kondensatorbatterie vorgesehen sein kann, bereitgestellt wird.

Werden unter Verzicht auf einen Umrichter Asynchrongeneratoren direkt an das Netz N
15 geschaltet, dann treten im Allgemeinen keine Probleme auf, da ein sanftes Aufsynchronisieren möglich ist und ein Stromstoß innerhalb des Netzes auftritt, der in Folge der gewählten Anordnung nicht über einen Umrichter bereitgestellt werden muss.

Soll eine mit einem Asynchrongenerator ausgestattete Windenergieanlage ausgehend
20 von einem Ruhezustand den Betrieb aufnehmen und mit einem Netz, wie beispielsweise einem öffentlichen Leistungsversorgungsnetz eines Energieversorgers, verbunden werden, dann wird mittels des Rotors (Rotorblätter) des Windrades (Windturbine) der damit verbundene Generator in die Nähe der aktuellen Drehzahl entsprechend den vorherrschenden Betriebsbedingungen des Generators und des Netzes gebracht. Danach kann
25 der nicht direkt sondern über den Umrichter an das Netz anzuschließende Generator mit dem Netz verbunden werden.

Zu diesem Zeitpunkt ist jedoch eine kleine Drehzahldifferenz bei dem Zuschalten im
Allgemeinen nicht zu vermeiden. In diesem Betriebszustand unmittelbar vor dem Zuschalten des Generators an das Netz befindet sich der Generator völlig im Leerlauf und die magnetischen Kreise des Generators sind noch nicht magnetisiert. Das Zuschalten
30 des Generators an das Netz ist daher mit einem mehr oder minder großen Stromstoß verbunden, dessen Höhe und Dauer zu einem großen Teil davon abhängt, welche aktuelle Drehzahl der Generator unmittelbar vor dem Zuschalten besitzt. In jedem Fall

besteht für den über einen Umrichter mit dem Netz verbundenen Generator einer Windenergieanlage das Problem, dass dieser Stromstoß hinsichtlich Höhe und Dauer für den Umrichter unzulässige Werte annehmen kann und daher zur Vermeidung von Schäden oder zumindest betrieblichen Problemen des Umrichters begrenzt werden muss.

5 Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum sanften Aufsynchronisieren eines Generators auf ein über einen Umrichter angebundenes Netz derart auszugestalten, dass ein sanftes Aufsynchronisieren des Generators gewährleistet und eine Überlastung des Umrichters wirksam vermieden wird.

10 Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst in Verbindung mit einem Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1, sowie durch eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 6.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Aufsynchronisieren eines Generators an ein über einen Umrichter angebundenes Netz mittels einer mit dem Generator und dem Umrichter verbundenen Steuerungseinrichtung, umfasst die folgenden Schritte: Bestimmen einer Vorgabefrequenz und Ausgeben der Vorgabefrequenz an den Umrichter zur Steuerung einer Phasenlage der vom Umrichter erzeugten Spannung, Erfassen eines Ist-Stroms des Umrichters zum Zeitpunkt des Zuschaltens des weiteren Generators, und Vergleichen des Ist-Stroms des Umrichters mit einem maximalen Strom des Umrichters und
20 Ausgeben einer Frequenzkomponente, mit der die zuvor bestimmte Vorgabefrequenz geändert wird zur Beeinflussung der Vorgabefrequenz in Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Aufsynchronisieren eines Generators an ein über einen Umrichter angebundenes Netz mittels einer mit dem Generator und dem Umrichter verbundenen Steuerungseinrichtung, umfasst eine Bestimmungseinrichtung zur Bestimmung einer Vorgabefrequenz und Ausgeben der Vorgabefrequenz an den Umrichter zur Steuerung einer Phasenlage der vom Umrichter erzeugten Spannung, eine Erfassungseinrichtung zur Erfassung eines Ist-Stroms des Umrichters zum Zeitpunkt des Zuschaltens des Generators, und eine Vergleichseinheit zum Vergleichen des Ist-Stroms des
30 Umrichters mit einem maximalen Strom des Umrichters und Ausgeben einer Frequenzkomponente, mit der die zuvor bestimmte Vorgabefrequenz geändert wird zur Beeinflussung der Vorgabefrequenz in Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis.

Erfindungsgemäß wird somit der zentrale Umrichter für eine Windenergieanlage oder für mehrere Windenergieanlagen eines Windparks in der Weise gesteuert oder geregelt, dass die Frequenz der vom Umrichter erzeugten dreiphasigen Wechselspannung vom Umrichterstrom derart beeinflusst wird, dass der Strombetrag insgesamt unter einem vorgegebenen Grenzwert gehalten wird. Der erfasste Strom des Umrichters zum Zeitpunkt des Zuschaltens der auf eine entsprechende Drehzahl gebrachten Windenergieanlage einschließlich des Generators wird in Abhängigkeit von dem Betriebszustand bewertet. Gemäß dieser Bewertung wird bestimmt, ob ein vorgegebener Strombetrag mit einem maximalen Wert, der für den Umrichter noch zulässig ist, überschritten wird. Erfolgt ein Überschreiten des maximalen Strombetrags des Umrichters, dann erfolgt eine Veränderung der Frequenz der vom Umrichter erzeugten dreiphasigen Wechselspannung in Abhängigkeit von dem erfassten tatsächlichen Umrichterstrom.

Die Frequenz wird derart verändert, dass der Strombetrag unter dem für den Umrichter zulässigen Grenzwert bleibt bzw. diesen lediglich kurzzeitig überschreitet. Bei dem kurzzeitigen Überschreiten wird der erfasste tatsächliche Strom entsprechend der Dimensionierung und den Betriebsbedingungen des Umrichters sehr schnell auf einen für den Umrichter zulässigen Stromwert gebracht. Es wird daher gemäß der vorliegenden Erfindung bei dem unvermeidlichen Stromstoß erreicht, dass mit der stromabhängig veränderbaren Frequenz des Umrichters als Vorgabe der Stromstoß in der kurzen Zeitdauer nach dem Zuschalten des Generators begrenzt wird. In vorteilhafter Weise tritt die begrenzende Wirkung des tatsächlichen Stromstoßes im Augenblick des Zuschaltens des Generators sowohl bei einer Überdrehzahl als auch bei einer Unterdrehzahl des Generators im Vergleich zu der allgemeinen Frequenz des Windparks (Windparkfrequenz) vor dem Zuschalten auf.

Neben der schnellen und wirksamen Begrenzung des Umrichterstroms auf zulässige Werte wird gemäß der vorliegenden Erfindung der weitere Vorteil erzielt, dass mittels der Vorrichtung und dem Verfahren die Energie für die Synchronisation des zugeschalteten Generators teilweise aus den sich bereits am Netz befindlichen Generatoren im Falle des Betriebs zumindest eines weiteren Generators gespeist werden kann.

Weitere Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Frequenzkomponente kann ferner in proportionaler Abhängigkeit von dem Ergebnis des Vergleichsschritts derart bestimmt werden, sodass der Ist-Strom kleiner oder gleich dem maximalen Strom ist. Dies stellt eine wirksame und stabile Regelung dar.

5 Es kann ebenfalls die Frequenzkomponente in proportionaler Abhängigkeit von dem Ergebnis des Vergleichsschritts derart bestimmt werden, sodass der Ist-Strom den zulässigen Umrichterstrom lediglich für eine vorbestimmte Zeitdauer überschreitet.

10 Ferner kann der Schritt des Erfassens eines Blindstroms des Umrichters und des Verminderns einer von dem Umrichter erzeugten Spannung in Abhängigkeit von dem erfassten Blindstrom vorgesehen sein, wobei dies zu einer verbesserten Steuerung und dem Schutz des Umrichters führt.

Des Weiteren kann die Vorgabefrequenz in Abhängigkeit von dem erfassten Ist-Strom durch Addieren der Frequenzkomponente zu der zuvor bestimmten Vorgabefrequenz verändert werden.

15 Die Steuerungseinrichtung kann in der Weise ausgebildet sein, dass die Frequenzkomponente in proportionaler Abhängigkeit von dem mittels der Vergleichseinheit erhaltenen Ergebnis bestimmt wird, sodass der Ist-Strom kleiner oder gleich dem maximalen Strom ist. Die Frequenzkomponente kann in proportionaler Abhängigkeit von dem durch die Vergleichseinheit erhaltenen Ergebnis bestimmt werden, sodass der Ist-Strom lediglich für eine vorbestimmte Zeitdauer den zulässigen Stromwert überschreitet. Auf diese
20 Weise kann eine wirksame Strombegrenzung erreicht werden.

Mittels einer Blindstrom-Erfassungseinrichtung kann ein Blindstrom des Umrichters erfasst werden, und es kann eine vom Umrichter erzeugte Spannung in Abhängigkeit von dem erfassten Blindstrom vermindert werden, wobei ebenfalls die Strombegrenzung unterstützt wird.

25 Die Steuerungseinrichtung kann ferner ausgebildet sein zur Veränderung der Vorgabefrequenz in Abhängigkeit von dem mittels der Erfassungseinrichtung erfassten Ist-Strom durch Addieren der Frequenzkomponente zu der zuvor bestimmten Vorgabefrequenz.

Die vorliegende Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Anordnung von mehreren Windenergieanlagen, die über einen gemeinsamen Umrichter mit einem Netz eines Energieversorgers verbunden sind,

5 Figur 2 eine schematische Darstellung der Regelung von Betriebsgrößen des Umrichters gemäß Figur 1,

Figur 3 eine schematische Darstellung der Änderung einer Vorgabespannung entsprechend einem erfassten Blindstrom, und

10 Figur 4 eine Anordnung mehrerer Windenergieanlagen, die jeweils mittels eines individuellen Umrichters gemäß dem Stand der Technik mit dem Netz eines Energieversorgers verbunden sind.

In der Darstellung gemäß Figur 1 ist eine Mehrzahl von Windenergieanlagen vorgesehen, wobei als Beispiel in der schematischen und vereinfachten Darstellung eine erste Windenergieanlage 11, eine zweite Windenergieanlage 12 und eine dritte Windenergieanlage 13 gezeigt sind. Gemäß dem betrachteten Betriebszustand der gesamten Anordnung, die einen Windpark WP darstellt, befinden sich die erste und die zweite Windenergieanlage 11 und 12 derzeit in Betrieb und sind mit entsprechenden Verbindungsleitungen 21 und 22 jeweils mit einer (gemeinsamen) Sammelschiene 20 verbunden. Die von der ersten und zweiten Windenergieanlage 11 und 12 gelieferte Energie wird über die gemeinsame Sammelschiene 20 einem ebenfalls mit der Sammelschiene 20 verbundenen gemeinsamen Umrichter 30 zugeführt. Der Umrichter 30 ist mit einem Netz 4 verbunden, wie beispielsweise einem öffentlichen Energie- oder Leistungsversorgungsnetz eines Energieversorgers.

25 Der Umrichter 30 stellt eine in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen des Netzes gebildete elektrische Energie mit den entsprechenden Werten gemäß Spannung, Frequenz und Phasenlage in Abhängigkeit von den Bedingungen (Anforderungen) des Netzes 4 zur Verfügung.

Jede der Windenergieanlagen 11, 12 und 13 umfasst jeweils einen Generator, beispielsweise die Generatoren 51, 52 und 53, die jeweils mittels eines Rotors R der Windenergieanlage 11, 12, oder 13 angetrieben werden.

Ein Schalter S ist zur Veranschaulichung in einer Verbindungsleitung 23 vorgesehen, dass die dritte Windenergieanlage 13 mit dem dritten Generator 54 ebenfalls im Verlauf der Betrachtungen an die gemeinsame Sammelschiene 20 angeschaltet wird. Der Schalter S wird geschlossen.

- 5 Des Weiteren ist gemäß der Darstellung in Figur 1 eine zentrale Steuerungseinrichtung 60 vorgesehen, die zur Durchführung von Steuerungs- und/oder Regemaßnahmen in dem gesamten Windpark WP dient. Die Steuerungseinrichtung 60 ist derart ausgebildet, dass sie mit sämtlichen Komponenten des Windparks, wie den Generatoren 51 bis 53, dem Umrichter 30 sowie der gemeinsamen Sammelschiene 20 verbunden ist zur
- 10 Erfassung der jeweiligen Betriebszustände in Form elektrischer oder entsprechend verarbeitbarer Werte. Insbesondere sind in den einzelnen Elementen des Windparks entsprechende Sensoren vorgesehen, mit denen die Betriebszustände wie beispielsweise Drehzahlen der Rotoren und der zugehörigen Generatoren, Temperaturen, Spannungen, Frequenzen und Ströme erfasst und nach Zufuhr entsprechender Signale zur Steuerungseinrichtung 60 zur Bereitstellung der Steuerungs- und/oder Regemaßnahmen
- 15 verarbeitet werden. Zur Anpassung des Betriebs des Umrichters 30 an das Netz 40 ist die Steuerungseinrichtung 60 ebenfalls mit dem Netz 40 zur Erfassung dessen Betriebsbedingungen (Spannung, Frequenz, Phasenlage) verbunden. Der Umrichter 30 erzeugt eine dreiphasige Wechselspannung.
- 20 Die Steuerungseinrichtung 60 ist in der Figur 2 als eine getrennte Einheit angegeben. Sie kann jedoch auch unmittelbar an dem Umrichter 30 angeordnet sein.

Die Funktion und Wirkungsweise des Verfahrens und der zugehörigen Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung wird im Folgenden anhand von Figur 2 beschrieben.

- 25 Gemäß der Darstellung in Figur 2 ist eine Kennlinieneinheit 61 vorgesehen, wobei die in der Kennlinieneinheit 61 gespeicherte Kennlinie (Daten) jeweils die optimale Drehzahl (entspricht hier auch der Frequenz des Windparknetzes) der Windenergieanlagen in Abhängigkeit der erzeugten Leistung angibt. Es stellt eine derartige Kennlinie die spezifischen Eigenschaften der Windenergieanlagen in Bezug zur optimalen Drehzahl und der maximalen Leistung dar. Das Windparknetz WP selbst weist eine variable Frequenz auf.
- 30 Bezüglich eines Zugriffs auf die Kennlinie der Kennlinieneinheit 61, spezifisch für eine Windenergieanlage, ist als Eingangsgröße die Leistung des Umrichters P_{um} vorgesehen,

die in guter Näherung der Summe der Leistungen sämtlicher Windenergieanlagen entspricht. Aus dieser Umrichterleistung P_{um} wird durch eine Division der gesamten Leistung P_{um} durch die Anzahl n_{Wea} der an das Netz angeschlossenen und aktiven Windenergieanlagen eine mittlere Leistung einer Windenergieanlage berechnet. Damit kann in
5 der Kennlinieneinrichtung 61 die optimale Sollfrequenz, die gemeinsam für jede Windenergieanlage ist, bestimmt werden.

Eine Ausgangsgröße der Kennlinieneinheit 61 ist ein Vorgabewert für die Frequenz (Vorgabefrequenz) für den Windpark (Windparkfrequenz) in Form einer Soll-Frequenz f_{soll} . Einer Integriereinheit 62 wird die Vorgabefrequenz bzw. die Soll-Frequenz f_{soll} als
10 der Vorgabewert oder die Soll-Frequenz f^*_{soll} zugeführt. Das Ausgangssignal der Integriereinheit 62 bezeichnet eine Phasenlage der vom Umrichter 30 erzeugten windparkseitigen Spannung und liegt in Form des Winkels ϕ_{u_soll} vor.

Mittels dieses vorstehend beschriebenen Pfads gemäß Figur 2, der auch als Leistungspfad bezeichnet werden kann, wird die vom Umrichter 30 in das Windparknetz WP eingepreßte Spannung bezüglich ihrer Frequenz und somit auch der Phasenlage leistungsabhängig und stromabhängig gesteuert.
15

Hinsichtlich der Möglichkeit einer stromabhängigen Steuerung oder Regelung und somit einer stromabhängigen Beeinflussung der Vorgabefrequenz oder Soll-Frequenz und der zugehörigen Phasenlage zu der vom Umrichter zu erzeugenden windparkseitigen Spannung ist in einem weiteren Zweig der schematischen Darstellung in Figur 2 eine Vergleichseinheit 63 vorgesehen, der ein erfasster tatsächlicher Strom des Umrichters 30 in
20 Form eines Ist-Stroms i_{ist} als Eingangsinformation zugeführt wird. Gemäß Figur 1 weist der Umrichter 30 eine Stromerfassungseinrichtung 36 auf, die den erfassten tatsächlichen oder momentanen Strom des Umrichters 30 der Steuerungseinrichtung 60 zur
25 weiteren Verarbeitung zuführt.

Desweiteren wird der Vergleichseinheit 63 eine Information hinsichtlich eines maximalen Stroms des Umrichters 30 zugeführt. Es stellt dies den maximalen Strom dar, den der Umrichter 30 ohne Schäden oder Betriebsstörungen tragen kann. Der maximale Strom I_{max} des Umrichters 30 kann um einen geringen Betrag für eine kurze Zeitdauer ohne
30 Probleme für den Umrichter 30 überschritten werden. In jedem Fall ist bei Auftreten eines über den maximalen Strom I_{max} hinausgehenden Stroms eine Gegensteuerung erforderlich, und es muss der diesen Grenzwert überschreitende Ist-Strom i_{ist} auf einen Wert

begrenzt werden, der in seiner Höhe den maximalen Strom I_{\max} nur minimal überschreitet und somit ungefährlich für den Umrichter ist.

Wird in Verbindung mit der Vergleichseinheit 63 ermittelt, dass der tatsächliche gemessene Strom in Form des Ist-Stroms I_{ist} des Umrichters 30 überschritten wird, dann wird in
5 Abhängigkeit von dieser Bestimmung bzw. dem Vergleichsergebnis eine zusätzliche Frequenzsteuerungskomponente Δf_{soll} (nachstehend als zusätzliche Komponente bezeichnet) auf den Frequenzsollwert addiert. Die zusätzliche Komponente Δf_{soll} wird nach Ausgabe durch die Vergleichseinheit 63 mittels eines Verstärkers 64 verstärkt und zur
10 Addition mit der Ausgangsgröße der Kennlinieneinheit 61 f_{soll} gebracht. Das Vergleichsergebnis bezeichnet eine Stromdifferenz zwischen dem erfassten tatsächlichen Ist-Strom und dem maximalen Strom des Umrichters 30. Der Verstärker 64 kann gemäß Figur 2 den Proportionalitätsfaktor K aufweisen. Die Komponenten 61 bis 64 gemäß Figur 2 können der Steuerungseinrichtung 60 zugeordnet werden.

Wurde zuvor ohne die strombezogene Beeinflussung der Vorgabefrequenz diese Vorgabefrequenz f^*_{soll} lediglich aus der Vorgabefrequenz f_{soll} gebildet, so wird nun für den Fall
15 des Überschreitens des maximalen Stroms I_{\max} des Umrichters 30 (und nur in diesem Fall) durch den Ist-Strom I_{ist} (die aus dem Vergleich hervorgehende Stromdifferenz ist nicht gleich null) die zusätzliche Komponente Δf_{soll} auf den Frequenzsollwert addiert.

Entsprechend der Darstellung in Figur 2 wird durch die (auch als Strompfad zu bezeichnenden) Elemente der Vergleichseinheit 63 und des Verstärkers 64 und der gezielten
20 stromabhängigen Beeinflussung der Vorgabefrequenz und damit der Phasenlage der vom Umrichter erzeugten windparkseitigen Spannung erreicht, dass der Stromstoß im Augenblick des Zuschaltens und auch nach dem Zuschalten eines weiteren Generators (insbesondere eines Asynchrongenerators), wie beispielsweise des dritten Generators 53
25 gemäß Figur 1, begrenzt wird, sodass allenfalls nur sehr kurzzeitig der Ist-Strom I_{ist} den maximalen Strom I_{\max} des Umrichters 30 überschreitet und somit der Umrichter 30 im Wesentlichen hinsichtlich seiner Stromführung in einen zulässigen Betriebsbereich gehalten wird.

Der Wert des maximalen Stroms I_{\max} des Umrichters 30 kann in Abhängigkeit von
30 weiteren Betriebsbedingungen des Umrichters 30 oder des gesamten Windparks WP verändert werden. Des Weiteren kann mit dem Wert des maximalen Stroms I_{\max} des Umrichters 30 auch bestimmt oder gesteuert werden, auf welchen Wert eine Strombe-

grenzung durchgeführt wird. Es besteht auch die Möglichkeit einer zeitweiligen Veränderung des Wertes des maximalen Stroms I_{max} des Umrichters 30 in Abhängigkeit von weiteren Betriebsbedingungen. Der maximale Strom I_{max} des Umrichters 30 ist ebenfalls in der Weise dimensioniert, dass er den Betriebsbedingungen des Umrichters 30 gerecht
5 wird und für eine vorbestimmte kurze Zeitdauer auch um ein vorbestimmtes Maß überschritten werden kann.

Mittels des vorstehend beschriebenen Regelungskonzepts gemäß der vorliegenden Erfindung ist es möglich, die vom Umrichter 30 in das Windparknetz WP eingeprägte Spannung bezüglich ihrer Frequenz und somit auch ihrer Phasenlage in Abhängigkeit
10 von der vorherrschenden eingespeisten Leistung und ebenfalls stromabhängig bezüglich des Ist-Stroms I_{ist} und des maximalen Stroms I_{max} des Umrichters 30 zu steuern. Ungeachtet dessen, dass der maximale Strom I_{max} des Umrichters 30 kurzzeitig leicht überschritten werden kann, ist ein Überstrom in jedem Fall zu begrenzen. Es wirkt die begrenzende Wirkung in gleicher Weise sowohl bei einer Überdrehzahl als auch bei einer
15 Unterdrehzahl des Generators (Asynchrongenerator) im Vergleich zu der Windparkfrequenz vor dem Zuschalten eines weiteren Generators.

In vorteilhafter Weise kann somit ein unvermeidlicher Stromstoß beim Zuschalten eines weiteren bisher nicht betriebenen Generators 13 an den gemeinsamen Umrichter 30 eines Windparks WP begrenzt werden, sodass der Stromstoß für den Umrichter 30
20 begrenzt und damit ungefährlich ist. Unvertretbar hohe Werte eines Stroms können wirksam vermieden werden. Zusätzlich zu der Begrenzung des durch den Umrichter 30 fließenden und erfassten Stroms (Ist-Strom I_{ist}) kann die Energie für die Synchronisation des neu zugeschalteten Generators 53 zumindest teilweise aus den bereits am Netz N befindlichen und somit während des Zuschaltens bereits betriebenen Generatoren 51 und
25 52 gespeist werden.

Im Einzelnen kann gemäß der vorstehend beschriebenen Regelung die Abweichung der Vorgabefrequenz f^*_{soll} von dem in dem vorherigen Betrieb vorgegebenen Wert (f_{soll}) in Abhängigkeit von dem Betrag des erfassten Stroms durch den Umrichter 30 gesteuert werden, wobei insbesondere die Abweichung proportional zu dem Betrag des Umrichterstroms sein kann. Mit einem entsprechenden Proportionalitätsfaktor (Verstärker 64 in
30 Figur 2) bei der Verarbeitung des erfassten Stroms (Ist-Strom I_{ist}) des Umrichters 30 und Vergleichen mit dem maximalen Strom I_{max} wird das Überschwingen des Stroms beeinflusst und insbesondere verhindert oder zumindest vermindert.

Gemäß der vorstehenden Darstellung tritt die stromabhängige Beeinflussung der Vorgabefrequenz f^*_{soll} nur dann auf, wenn tatsächlich der Ist-Strom i_{ist} den vorgegebenen Betrag des maximalen Stroms i_{max} übersteigt. Desweiteren kann zusätzlich zu der Beeinflussung der Vorgabefrequenz oder Soll-Frequenz f^*_{soll} ebenfalls proportional zu einem in Verbindung mit dem Asynchrongenerator stehenden Blindstrom der Betrag der vom Umrichter erzeugten Spannung ebenfalls abgesenkt werden. Dies trägt des Weiteren zur Verminderung des Stromstoßes bei. Zu diesem Zweck umfasst die Vorrichtung eine Blindstrom-Erfassungseinrichtung 56, die an dem Umrichter gemäß Figur 1 angeordnet ist und den in Verbindung mit den Generatoren 51 bis 53 auftretenden Blindstrom $i_{\text{um_blind}}$ an dem gemeinsamen Umrichter 30 erfasst. Die Blindstrom-Erfassungseinrichtung 56 ist mit der Steuerungseinrichtung 60 verbunden und gibt an diese einen entsprechenden zu verarbeitenden Wert ab.

Gemäß der Darstellung in Figur 3 wird die Blindstrominformation zur Spannungssteuerung verarbeitet. Die Blindstromerfassung sowie die Verarbeitung der erfassten Werte und insbesondere die Steuerung einer Spannungshöhe erfolgt ausgehend von dem gemeinsamen Umrichter 30 mit einer Steuerung durch die Steuerungseinrichtung 60. Eine Spannungsvorgabe $U_{\text{um_soll}}$ stellt die Basis dar. Aus dem erfassten Blindstrom am Umrichter 30 wird eine Änderungskomponente $\Delta U_{\text{um_soll}}$ bestimmt, mit der somit in Abhängigkeit von dem erfassten Blindstrom der ursprüngliche Wert der Spannungsvorgabe beeinflusst werden kann. Der geänderte Spannungsvorgabewert ist nun $U^*_{\text{um_soll}}$.

Gemäß Figur 3 wird der geänderte Spannungsvorgabewert $U^*_{\text{um_soll}}$ einem Umrichter-Spannungsregler 65 zugeführt, der einen neuen durch den erfassten Blindstrom beeinflussten Vorgabewert $U_{\text{um_neu}}$ über die zu erzeugende Spannungshöhe (Spannungsamplitude) für den Umrichter 30 bildet. Im Einzelnen erfolgt bei einem zu großen Blindstrom, d. h. bei einem Überschreiten eines vorgegebenen für den Umrichter gültigen maximalen Blindstromwerts, eine Spannungsabsenkung, d. h. die gebildete Änderungskomponente $\Delta U_{\text{um_soll}}$ bestimmt eine Verminderung der Spannung durch den Umrichter-Spannungsregler 65 bei dem Betrieb des Umrichters 30.

Auf diese Weise ist es gemäß der Aufgabe der vorliegenden Erfindung möglich, ein sanftes Zuschalten eines weiteren Generators 53 ohne unzulässige Betriebsbedingungen für den gemeinsamen Umrichter 30 zu erreichen. Insgesamt wird in vorteilhafter Weise der Gesamtbetrieb der Mehrzahl der Windenergieanlagen des Windparks WP erheblich

weniger gestört und damit sicherer. Schäden durch kurzzeitige übergroße Ströme am Umrichter 30 werden wirksam verhindert oder vermindert.

Die vorliegende Erfindung wurde vorstehend anhand von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den zugehörigen Figuren beschrieben.

- 5 Es ist jedoch für den auf diesem Gebiet tätigen Fachmann selbstverständlich, dass die Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung gemäß den vorstehend beschriebenen Figuren und die für die jeweiligen Bauteile und Komponenten verwendeten Bezugszeichen der Figuren und der Beschreibung sowie die beispielhaften Angaben nicht einschränkend auszulegen sind. Somit ist die Erfindung auf die angegebenen Darstellungen der Figuren
10 nicht beschränkt. Vielmehr werden als zur Erfindung gehörig sämtliche Ausführungsformen und Varianten angesehen, die unter die beigefügten Patentansprüche fallen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Aufsynchronisieren eines Generators (13) an ein über einen Umrichter (30) angebundenes Netz (40) mittels einer mit dem Generator und dem Umrichter verbundenen Steuerungseinrichtung (60), mit den Schritten :
 - 5 Bestimmen einer Vorgabefrequenz (f^*_{soll}) und Ausgeben der Vorgabefrequenz an den Umrichter (30) zur Steuerung einer Phasenlage (ϕ_{u_soll}) der vom Umrichter erzeugten Spannung,

Erfassen eines Ist-Stroms (I_{Ist}) des Umrichters zum Zeitpunkt des Zuschaltens des weiteren Generators (13), und
 - 10 Vergleichen des Ist-Stroms des Umrichters mit einem maximalen Strom (I_{max}) des Umrichters und Ausgeben einer Frequenzkomponente (Δf_{soll}), mit der die zuvor bestimmte Vorgabefrequenz (f^*_{soll}) geändert wird zur Beeinflussung der Vorgabefrequenz in Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
 - 15 wobei die Frequenzkomponente (Δf_{soll}) in proportionaler Abhängigkeit von dem Ergebnis des Vergleichsschritts bestimmt wird, sodass der Ist-Strom (I_{Ist}) kleiner oder gleich dem zulässigen Umrichterstrom ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1,
 - 20 wobei die Frequenzkomponente (Δf_{soll}) in proportionaler Abhängigkeit von dem Ergebnis des Vergleichsschritts bestimmt wird, sodass der Ist-Strom (I_{Ist}) den maximal zulässigen Umrichterstrom lediglich für eine vorbestimmte Zeitdauer überschreitet.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
 - 25 ferner mit dem Schritt des Erfassens eines Blindstroms ($I_{\text{um_Blind}}$) des Umrichters (30) und Vermindern einer von dem Umrichter (30) erzeugten Spannung in Abhängigkeit von dem erfassten Blindstrom.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, ferner mit dem Schritt des Veränderns der Vorgabefrequenz (f^*_{soll}) in Abhängigkeit von dem erfassten Ist-Strom (I_{Ist}) durch Addieren der Frequenzkomponente (Δf_{soll}) zu der zuvor bestimmten Vorgabefrequenz.

5 6. Vorrichtung zum Aufsynchronisieren eines Generators (13) an ein über einen Umrichter (30) angebundenes Netz (40) mittels einer mit dem Generator und dem Umrichter verbundenen Steuerungseinrichtung (60), mit

10 einer Bestimmungseinheit (60, 61) zur Bestimmung einer Vorgabefrequenz (f^*_{soll}) und Ausgeben der Vorgabefrequenz an den Umrichter (30) zur Steuerung einer Phasenlage (ϕ_{u_soll}) der vom Umrichter erzeugten Spannung,

einer Erfassungseinrichtung (36) zur Erfassung eines Ist-Stroms (I_{Ist}) des Umrichters (30) zum Zeitpunkt des Zuschaltens des Generators (31), und

15 einer Vergleichseinheit (60, 63) zum Vergleichen des Ist-Stroms (I_{Ist}) des Umrichters (30) mit einem maximalen Strom (I_{max}) des Umrichters und Ausgeben einer Frequenzkomponente (Δf_{soll}), mit der die zuvor bestimmte Vorgabefrequenz (f^*_{soll}) geändert wird zur Beeinflussung der Vorgabefrequenz in Abhängigkeit von dem Vergleichsergebnis.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Steuerungseinrichtung (60) in der Weise ausgebildet ist, dass die Frequenzkomponente (Δf_{soll}) in proportionaler Abhängigkeit von dem mittels der Vergleichseinheit (60, 63) erhaltenen Ergebnis bestimmt wird, sodass der Ist-Strom (I_{Ist}) kleiner oder gleich dem maximal zulässigen Umrichterstrom ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Frequenzkomponente (Δf_{soll}) in proportionaler Abhängigkeit von dem durch die Vergleichseinheit (60, 63) erhaltenen Ergebnis bestimmt wird, sodass der Ist-Strom (I_{Ist}) lediglich für eine vorbestimmte Zeitdauer den maximal zulässigen Umrichterstrom überschreitet.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, ferner mit einer Blindstrom-Erfassungseinrichtung (56) zur Erfassung eines Blindstroms ($I_{\text{um_Blind}}$) des Umrichters (30) und Vermindern einer vom Umrichter (30) erzeugten Spannung in Abhängigkeit von dem erfassten Blindstrom.
- 5 10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei die Steuerungseinrichtung (60) ausgebildet ist zur Veränderung der Vorgabefrequenz (f^{soll}) in Abhängigkeit von dem mittels der Erfassungseinrichtung (36) erfassten Ist-Strom (I_{ist}) durch addieren der Frequenzkomponente (Δf_{soll}) zu der zuvor bestimmten Vorgabefrequenz.

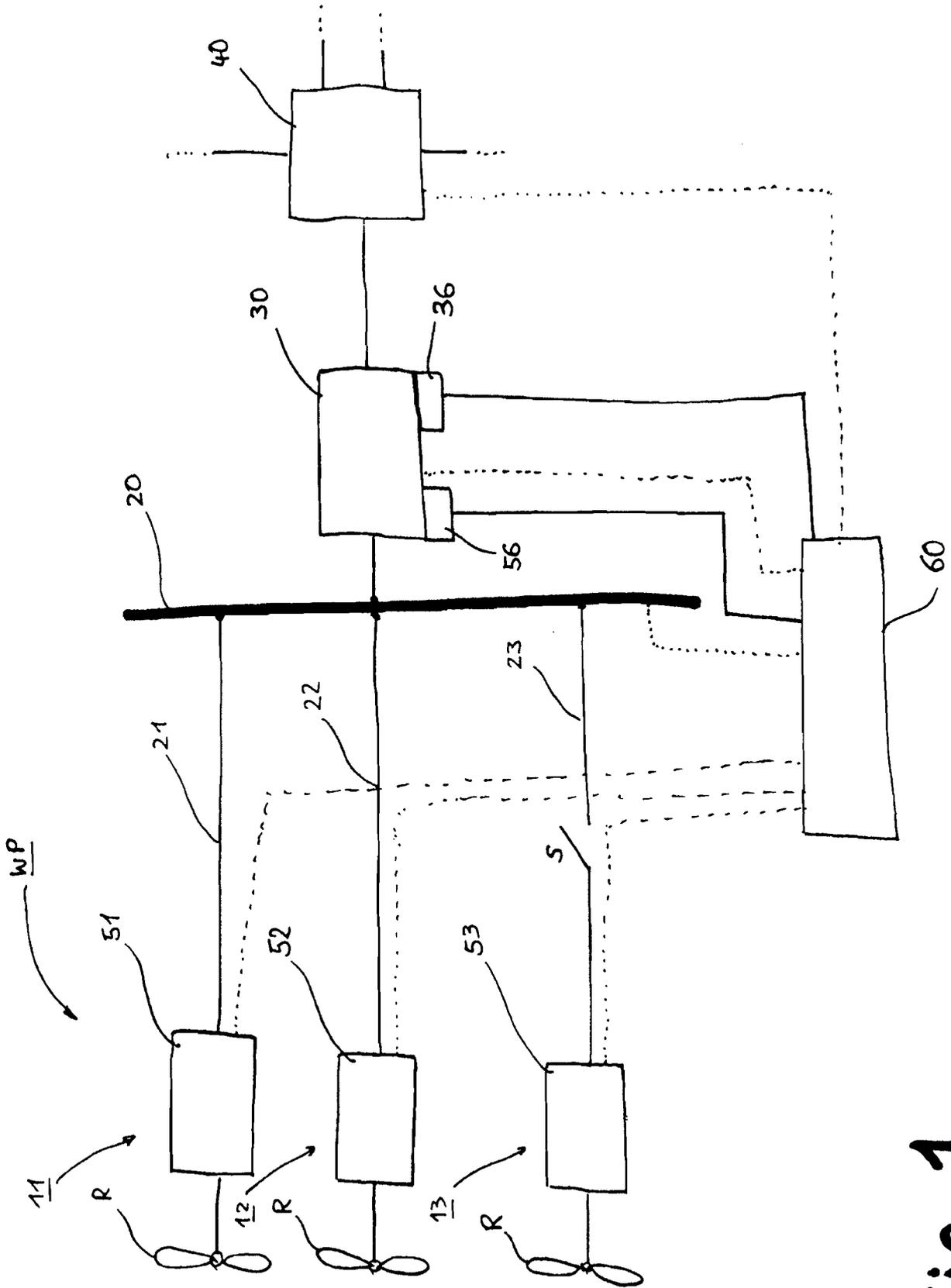


Fig. 1

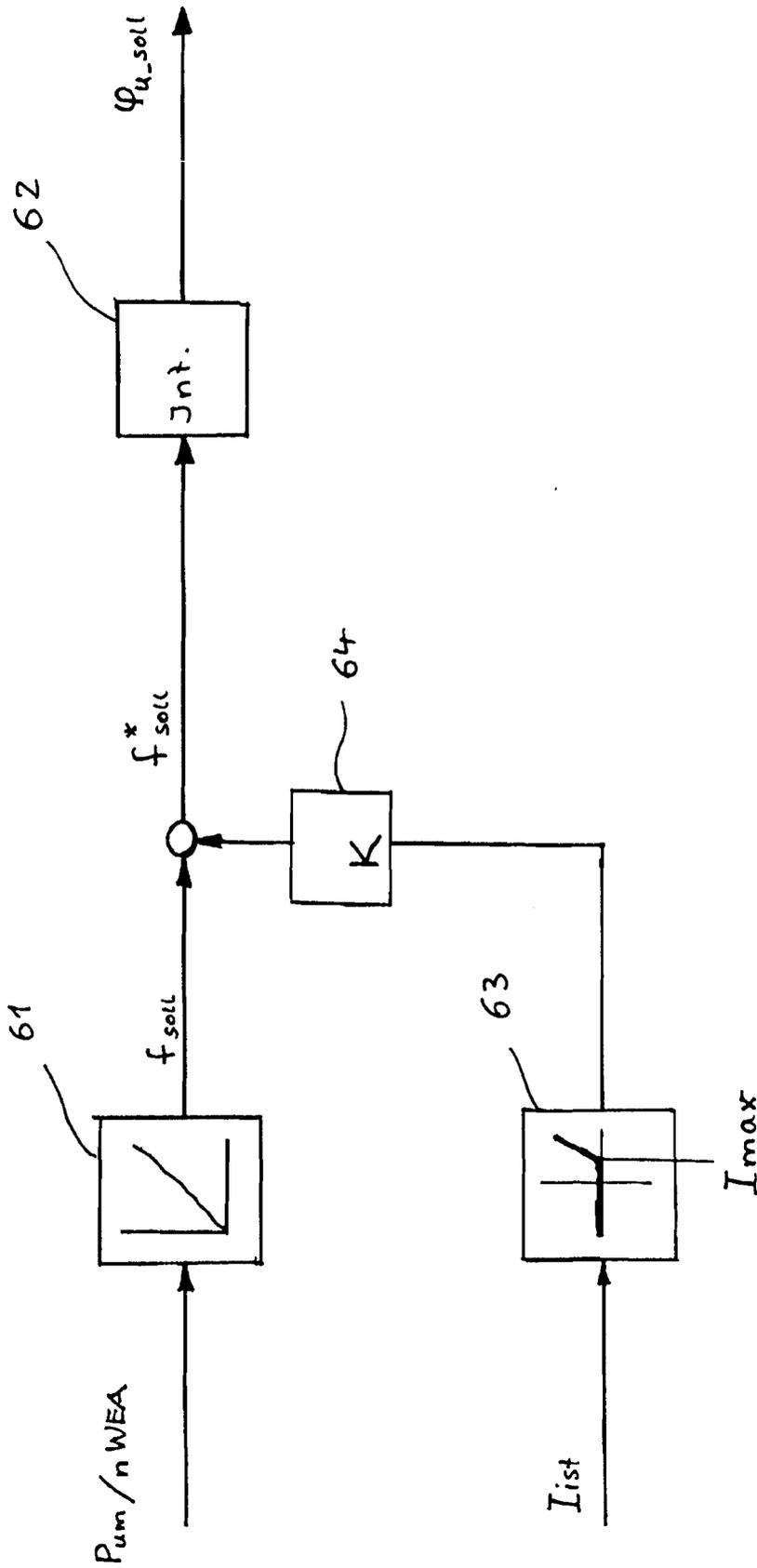


Fig. 2

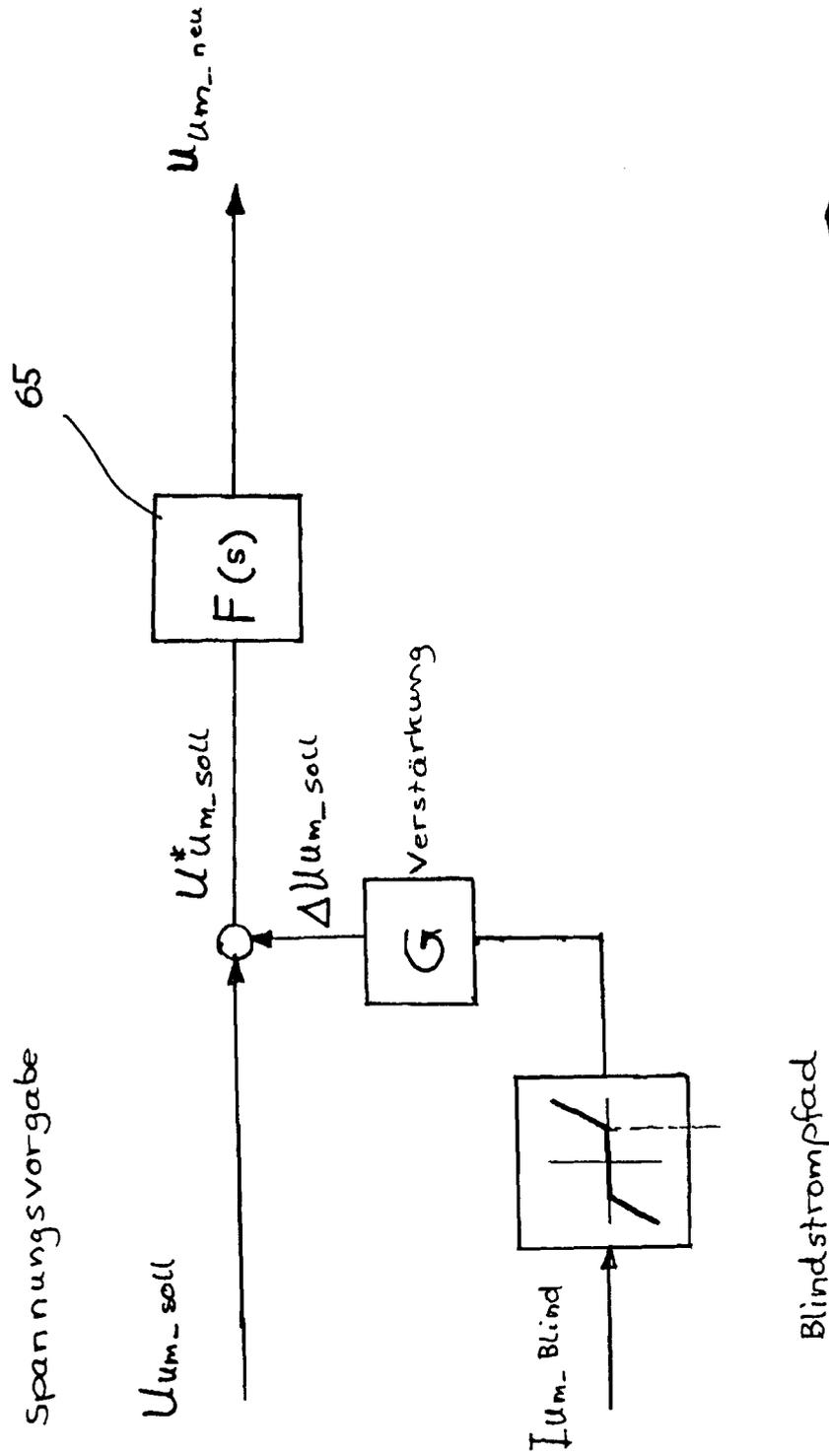
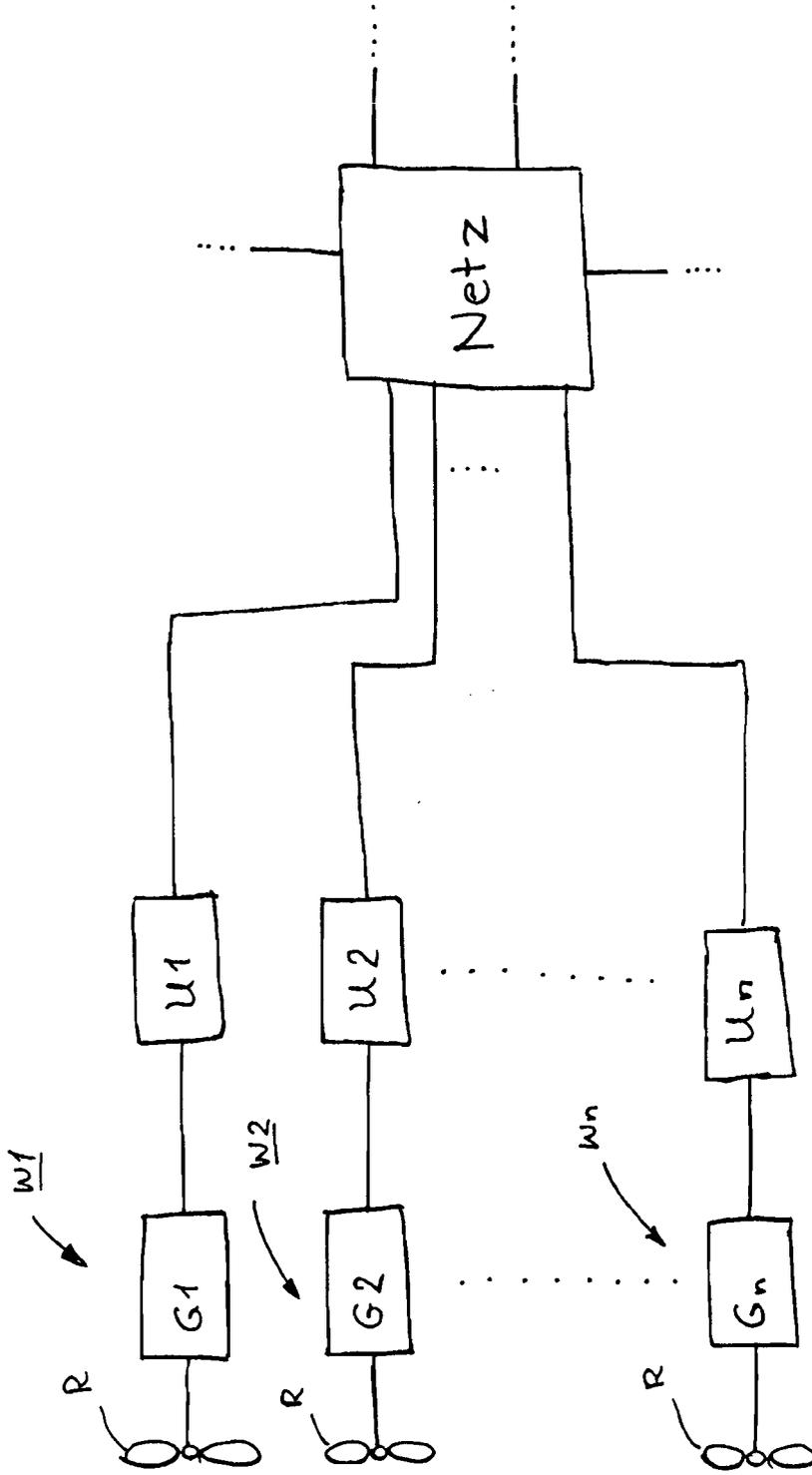


Fig. 3



Stand der Technik

Fig. 4