



(10) **DE 10 2016 009 413 A1** 2018.02.08

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 009 413.3**
(22) Anmeldetag: **04.08.2016**
(43) Offenlegungstag: **08.02.2018**

(51) Int Cl.: **H02J 3/38** (2006.01)
H02J 3/00 (2006.01)
H02P 9/00 (2006.01)
F03D 7/00 (2006.01)
H02J 3/16 (2006.01)

(71) Anmelder:
Senvion GmbH, 22297 Hamburg, DE

(72) Erfinder:
Koestl, Tobias, 20457 Hamburg, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2005 032 693	A1
DE	10 2007 018 888	A1
DE	10 2010 056 457	A1
DE	10 2013 208 410	A1

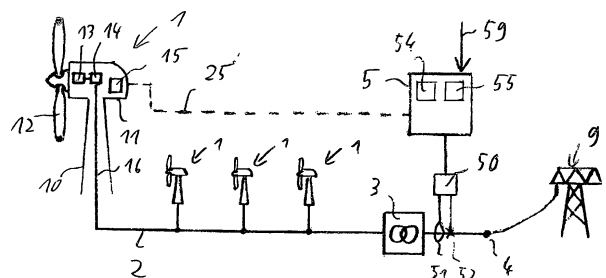
DE	10 2014 114 620	A1
US	2013 / 0 134 789	A1
US	2014 / 0 035 284	A1
US	2015 / 0 285 220	A1
EP	2 457 320	B1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Regeln der Blindleistungsabgabe eines Windparks sowie ein entsprechender Windpark**

(57) Zusammenfassung: Verfahren sowie Windpark zum Regeln einer Blindleistungsabgabe des Windparks. Die Blindleistungsabgabe des Windparks wird vom Parkmaster anhand eines Vorgaberegimes geregelt. Erfindungsgemäß vorgesehen ist bei einem Betrieb des Windparks unter Normal-Netzbedingungen: Ermitteln eines tatsächlichen Blindleistungsstellvermögens, Prüfen ob dieses über einem einstellbaren Schwellwert liegt, wenn dies der Fall ist, dann Abgeben von Blindleistung entsprechend dem Vorgaberegime, wenn dies nicht der Fall ist, dann Umschalten in ein Ersatzregime, wobei das Ersatzregime sich hinsichtlich der Blindleistungsabgabe von dem Vorgaberegime unterscheidet. Damit kann auf Parkebene in Abhängigkeit von dem verfügbaren Blindleistungsstellvermögen auf ein alternatives (schoeneres) Regime umgeschaltet werden. Damit kann eine Überlastung der verbliebenen (aktiven) Windenergieanlagen wirksam vermieden werden. Das macht den Windpark robuster. Es kann sogar eine Regelreserve erhalten bleiben, sodass bei weiteren Spannungsabweichungen noch zusätzliche Blindleistung abgegeben werden kann. Die Netzstabilität verbessert sich damit.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln einer Blindleistungsabgabe eines Windparks, der mehrere Windenergieanlagen, einen Parkmaster und eine Leitung zu einem Verknüpfungspunkt zur Abgabe erzeugte elektrischer Leistung an ein Netz umfasst. Genauer gesagt geht es um die Blindleistungsabgabe des Windparks durch den Parkmaster entsprechend eines einstellbaren Vorgaberegimes, und zwar bei ungestörtem Netz (d. h. Normal-Netzbedingungen).

[0002] Zum Ausbau der Erzeugung elektrischer Energie mittels Windenergie werden Windenergieanlagen und Windparks immer weiter höherer Leistung aufgestellt. Sie befinden sich bevorzugt an Standorten mit großem Windangebot, wie insbesondere auf Erhebungen, Flüssen oder auch schon im Meer. Diese Standorte haben gemeinsam, dass sie meist in dünn oder gar nicht besiedelten Gebieten liegen, in denen das elektrische Netz nur eine geringe Leistungsfähigkeit aufweist. Um dennoch eine ausreichend hohe Versorgungsqualität aufrecht zu halten, werden verschärfte Anforderungen an die Windenergieanlagen bzw. die Windparks in Bezug auf ihre Netzverträglichkeit gestellt.

[0003] Diese Anforderungen werden zusammenfassend als Systemdienstleistungen bezeichnet, die von den Netzbetreibern gefordert werden. Dazu gehört auch die Abgabe von Blindleistung, sei es andauernd oder auf Anforderung durch den Netzbetreiber. Damit beteiligen sich Windenergieanlagen und Windparks ebenso an einer Sicherung der Stabilität des Netzes wie konventionelle Kraftwerke. Ein wesentliches Element hierbei ist, dass auch Windenergieanlagen bzw. Windparks in der Lage sein müssen, die Spannung am Netzanschlusspunkt möglichst genau zu regeln. Häufig ist dazu eine Spannungs-/Blindleistung-Kennlinie vorgegeben, welche von dem Windpark einzuhalten ist. Je nach den elektrischen Charakteristika des Netzanschlusses. (Netzkurzschlussleistung, Netzimpedanz, Phasenwinkel) kann eine unterschiedliche Steigung dieser Kennlinie vorgegeben sein. In der Regel liegt die Steigerung dieser Kennlinie im Bereich von 0% bis 20%. Dabei bedeutet eine Steigung von 0%, dass die Nennspannung innerhalb des stationären Spannungsbandes unabhängig vom Betriebspunkt des Windparks ausgeregelt werden soll.

[0004] Insbesondere bei großen Windparks mit vielen Windenergieanlagen tritt jedoch die Besonderheit hinzu, dass nicht immer alle Windenergieanlagen im Windpark voll betriebsbereit sind und aktiv am Netz betrieben werden. Befinden sich beispielsweise einige Windenergieanlagen nicht im Betrieb (zum Beispiel mangels Wind, wegen Wartungsarbeiten oder aufgrund von Störungen etc.), so kann der Windpark

nicht die volle Leistung abgeben. In Bezug auf die Blindleistung bedeutet dies, dass das Blindleistungsstellvermögen des Windparks eingeschränkt ist. Dies kann zur Folge haben, dass der Windpark nicht mehr genug Blindleistung bereitstellen kann, um den Anforderungen aus einer Spannungsregelung zu genügen. Es besteht vielmehr die Gefahr, dass die gegebenenfalls wenigen am Netz befindlichen Windenergieanlagen des Windparks bezüglich ihrer Blindleistungsabgabe (zu) stark ausgelastet werden. Die Spannungsregelung findet damit nicht in der gewünschten Weise statt, so dass es zu deutlichen Abweichungen von der Nennspannung innerhalb des stationären Spannungsbandes kommen kann. Dies gilt zum einen am Anschlusspunkt des Windparks aber auch und besonders an den lokalen Anschlusspunkten der einzelnen Windenergieanlagen innerhalb des Windparks. Hier können beträchtliche, gegebenenfalls sogar zu Schäden an der Windenergieanlage führende Spannungsabweichungen entstehen. Die volle Ausnutzung der Windenergieanlagen für die Bereitstellung von Blindleistung hat den weiteren Nachteil, dass es durch die hohen dabei fließenden Ströme zu lokalen Wirkleistungsverlusten kommen kann. Ferner besteht ein weiterer erheblicher Nachteil darin, dass bei vollständiger Ausschöpfung des gesamten Blindleistungsstellvermögens keine weitere Blindleistung zum Entgegenwirken bei weiteren Spannungsabweichungen verfügbar ist, was sich äußerst negativ auf die Spannungsstabilität auswirken kann.

[0005] Betreffend die Behandlung eines anderen Szenarios, nämlich dem Verhalten bei Netzfehlern (Spannungsabfall größer als die vorgeschriebene Toleranz, d. h. es liegen keine Normal-Betriebsbedingungen mehr vor) ist es bekannt, auf lokaler Windenergieanlagen-Ebene bei Netzfehlern in einen netzstützenden Modus umzuschalten (EP 2 457 320 B1). Damit soll beim Auftreten eines Netzfehlers zur Stützung des Netzes schnell möglichst viel Blindstrom bereitgestellt werden (Durchfahren von Netzfehlern); dauert der Netzfehler jedoch an, wird die Windenergieanlage abgeschaltet. Eine besondere Behandlung von Situationen, bei denen nicht alle Windenergieanlagen des Windparks einsatzbereit sind, ist nicht vorgesehen.

[0006] Es ist die Aufgabe der Erfindung, ein verbessertes Verfahren und entsprechenden Windpark anzugeben, womit das Blindleistungsregelverhalten des Windparks robuster gemacht werden kann, insbesondere gegenüber Ausfall bzw. Nichtverfügbarkeit von Windenergieanlagen im Windpark.

[0007] Die erfindungsgemäße Lösung liegt in den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0008] Bei einem Verfahren zum Regeln einer Blindleistungsabgabe eines Windparks, der mehrere Windenergieanlagen, einen Parkmaster und eine Leitung zu einem Verknüpfungspunkt zur Abgabe erzeugte elektrischer Leistung an ein Netz umfasst, wobei die Blindleistungsabgabe des Windparks vom Parkmaster anhand eines Vorgaberegimes geregelt wird, ist erfindungsgemäß vorgesehen bei einem Betrieb des Windparks unter Normal-Netzbedingungen: Ermitteln eines tatsächlichen Blindleistungsstellvermögens, Prüfen ob dieses über einem einstellbaren Schwellwert liegt, wenn dies der Fall ist, dann Abgeben von Blindleistung entsprechend dem Vorgaberegime, wenn dies nicht der Fall ist, dann Umschalten in ein Ersatzregime, wobei das Ersatzregime und das Vorgaberegime hinsichtlich der Blindleistungsabgabe verschieden sind.

[0009] Kern der Erfindung ist der Gedanke, bei der Regelung des Windparks (also auf Parkebene, nicht auf Windenergieanlagen-Ebene) in Abhängigkeit von dem verfügbaren Blindleistungsstellvermögen von einem Regelregime zu einem anderen umzuschalten, und zwar auf netzschonende Weise. Eine Überlastung der verbliebenen (aktiven) Windenergieanlagen kann damit wirksam vermieden werden. Indem die verbliebenen Windenergieanlagen nicht überlastet werden, kann eine Regelreserve erhalten bleiben, sodass bei weiteren Spannungsabweichungen noch zusätzliche Blindleistung abgegeben werden kann. Die Netzstabilität verbessert sich damit. Verblüffenderweise erreicht die Erfindung damit, dass obwohl (bei reduzierter Anzahl von Windenergieanlagen im Windpark) planvoll auf ein „weicherer“ Ersatzregime umgeschaltet wird (bei dem in der Regel weniger Blindleistung abgegeben wird), dennoch eine Verbesserung der Netzstabilität erreicht werden kann. Dies ist im einschlägigen Stand der Technik ohne Beispiel.

[0010] Unter dem Begriff des Blindleistungsstellvermögens wird die maximale von dem Windpark abgegebene Blindleistung verstanden, unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Betriebsmittel (insbesondere Windenergieanlagen). Es werden hierbei nur solche Betriebsmittel berücksichtigt, die betriebsbereit sind und Blindleistung abgeben können. Aufgrund von Wartung oder Störungen stillgesetzte Windenergieanlagen zählen nicht mit. Die Größe des Blindleistungsstellvermögens ist also keine Konstante des Windparks, sondern schwankt abhängig von der Verfügbarkeit der Betriebsmittel.

[0011] Zweckmäßigerweise sieht die Erfindung ein gedämpftes Umschalten zwischen Vorgaberegime und Ersatzregime mittels einer Umschalt-Dämpfung vor. Es wird so ein weiches Umschalten erreicht und harte Übergänge, insbesondere Sprünge, werden vermieden. Damit wird eine erhebliche Verbes-

serung in Bezug auf netzschonendes Verhalten realisiert.

[0012] Mit Vorteil umfasst die Umschalt-Dämpfung eine Ratenbegrenzung, vorzugsweise begrenzt auf eine vorbestimmte feste Rate. Alternativ oder zusätzlich ist auch möglich die Verwendung einer PT1-Funktion. Mit einer solchen Ratenbegrenzung wird eine zu scharfe Reaktion beim Umschalten vermieden. Es wird so ein allmähliches Überblenden erreicht, welches sich schonend in Bezug auf das Verhalten des Windparks am Netz und ferner auf die Regelstrecke (insbesondere Windenergieanlage) auswirkt. Zweckmäßigerweise erfolgt die Ratenbegrenzung nur temporär beim Umschalten.

[0013] Weiter umfasst die Umschalt-Dämpfung vorzugsweise eine gezielte Initialisierung des Regelregimes, auf das umgeschaltet wird. Besonders bewährt hat sich eine gezielte Initialisierung des jeweiligen Führungsparameters. Bei einer Spannungsregelung wird hierbei der Spannungssollwert initialisiert, während bei einer Blindleistungsregelung der Blindleistungssollwert bzw. bei einer Leistungsfaktorregelung der Soll-Leistungsfaktor initialisiert wird. Zweckmäßigerweise wird für die gezielte Initialisierung ein aktueller Messwert verwendet.

[0014] Besonders vorteilhaft ist eine Kombination der genannten Maßnahmen zur Dämpfung. Mit Vorteil geschieht dies in der Weise, dass erst die Initialisierung und danach die Ratenbegrenzung erfolgt. Damit wird ein harmonisches und besonders weiches Regelungsverhalten von Anfang an erreicht, und zwar bei gleichzeitig maximal schnellem Übergang zu dem neuen Regelregime.

[0015] Besonders vorteilhaft ist es, zum Umschalten zwischen den Regelregimen eine Umschalt-Hysteresis zu verwenden. Damit wird ein zu häufiges Hin- und Herschalten vermieden und die Regelungsgüte wird somit verbessert.

[0016] Zweckmäßigerweise umfasst das Ersatzregime eine Leistungsfaktor-Regelung. Damit wird auf so einfache wie vorteilhafte Weise eine geeignete Regelung erreicht, die abgestimmt ist für ein vermindertes Blindleistungsstellvermögen des Windparks. Mit einem solchen Ersatzregime ist sichergestellt, dass die verfügbaren, am Netz befindlichen Windenergieanlagen keiner unnötig starken und dauerhaften Belastung durch (zu) hohe Blindleistungsanforderungen unterliegen. Dies schont die Windenergieanlagen und sichert ihre Regelungsfähigkeit, da gegebenenfalls noch Regelungsreserve verbleibt. Überdies werden Wirkleistungsverluste aufgrund zu hoher lokaler Blindleistungsbereitstellung damit wirksam verhindert.

[0017] Besonders bevorzugt ist es, wenn das Ersatzregime einen parkeigenen Parameter als Führungsgröße verwendet. Unter „parkeigen“ wird ein elektrischer Parameter verstanden, der nicht von außen aufgeprägt ist; Leistungsfaktor ist parkeigen, Netzspannung hingegen nicht. Beispielsweise ist somit die Verwendung einer Leistungsfaktorregelung als Ersatzregime zweckmäßig. Dies hat den Vorteil, dass auch dann eine ausreichende und stabile Regelung des gesamten Windparks hinsichtlich der Blindleistungsabgabe erfolgen kann, wenn die Kommunikation gestört oder unterbrochen ist. Damit wird das Ersatzregime besonders robust. Für eine autarke Blindleistungsregelung gilt entsprechendes. Optional kann weiter das Ersatzregime autark in den Windenergieanlagen ausführbar sein.

[0018] Zweckmäßigerweise wird das Blindleistungsvermögen bestimmt anhand einer oder mehrerer Parameter aus einer Liste umfassend die Anzahl betriebsbereiter Windenergieanlagen und/oder Umrichter im Windpark, die am Verknüpfungspunkt eingespeiste Wirkleistung und verfügbare Blindleistung im Windpark. Die Verwendung der Anzahl n der betriebsbereiten Windenergieanlagen bietet den Vorteil, dass der Parameter im Parkmaster in der Regel ohnehin zur Verfügung steht und daher ohne Zusatzaufwand leicht bestimmbar ist (es sei angemerkt, dass bei der Bestimmung der Anzahl auch diejenigen Windenergieanlagen berücksichtigt werden können, die zwar stillstehen aber deren Umrichter am Netz aktiv ist). Die Verwendung der beiden anderen Parameter eingespeiste Wirkleistung bzw. verfügbare Blindleistung bietet den Vorteil, dass es sich um leistungsbezogene Größen handelt die den aktuellen Leistungsstand des Windparks reflektieren.

[0019] Vorteilhafterweise wird das Umschalten in das Ersatzregime verhindert im Fall einer Netzstörung. Damit wird eine klare Trennung geschaffen zwischen dem erfindungsgemäßen Verfahren, welches auf den Normalbetrieb des Windparks unter ungestörten Netzbedingungen zielt, und den davon streng zu unterscheidenden Verfahren zum Betreiben während einer Netzstörung (insbesondere Verfahren zum Durchfahren eines Netzfehlers, wie Low Voltage Ride Through LVRT). Zweckmäßigerweise wird zum vereinfachten Erkennen einer Netzstörung eine Spannungs- und/oder Frequenzabweichung verwendet.

[0020] Die Erfindung erstreckt sich ferner auf einen Windpark umfassend mehrere Windenergieanlagen, einen Parkmaster und eine Leitung zu einem Verknüpfungspunkt zur Abgabe erzeugter elektrischer Leistung an ein Netz, wobei der Parkmaster einen Regler zum Regeln einer Blindleistungsabgabe des Windparks anhand eines Vorgaberegimes aufweist, und erfindungsgemäß der Regler dazu ausgebildet ist, den Betrieb des Windparks unter Normal-Netzbedingungen wie vorstehend beschrieben durchzuführen.

Für weitere Einzelheiten wird auf vorstehende Erläuterung verwiesen.

[0021] Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

[0022] Fig. 1 eine schematische Ansicht eines Windparks mit mehreren Windenergieanlagen und einem Parkmaster gemäß der Erfindung;

[0023] Fig. 2 eine schematische Ansicht eines Blindleistungsregler des Parkmasters mit zwei verschiedenen Regelregimen;

[0024] Fig. 3 einen Ablaufplan zu einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens; und

[0025] Fig. 4 Diagramme darstellend das Regelverhalten gemäß dem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0026] In Fig. 1 ist ein Windpark gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung dargestellt. Der Windpark umfasst mehrere Windenergieanlagen **1**, die an ein parkinternes Netz **2** angeschlossen sind. Das parkinterne Netz **2** ist über einen als Hochspannungstransformator ausgeführten Parktransformator **3** angeschlossen an einen Verknüpfungspunkt **4**, über den die vom Windpark erzeugte elektrische Leistung an ein Übertragungsnetz **9** abgegeben wird.

[0027] Ferner ist ein Parkmaster **5** vorgesehen, der den Betrieb der Windenergieanlage **1** überwacht und steuert. Er erhält Vorgaben von einem Betreiber des Übertragungsnetzes **9** und kommuniziert mit den Windenergieanlagen über ein parkinternes Signalnetz **25**.

[0028] Die Windenergieanlage **1** weist einen Turm **10** mit einer Gondel **11**, die am oberen Ende des Turms **10** in Azimutrichtung schwenkbar gelagert ist. An einer Stirnseite der Gondel **11** ist ein Windrotor **12** drehbar angeordnet, der über eine (nicht dargestellte) Rotorwelle einen Generator **13** zur Erzeugung elektrischer Leistung antreibt, wobei der Generator **13** mit einem Umrichter **14** zusammenwirkt. Die so erzeugte elektrische Leistung wird über eine Anschlussleitung **16** an das parkinterne Netz **2** abgegeben. Die Windenergieanlage **1** weist ferner eine Steuerung **15** auf, welche den Betrieb der einzelnen Komponenten der Windenergieanlage steuert, und zwar auf Basis von Vorgaben des Parkmasters **5**. Diese Vorgaben werden über ein Kommunikationsnetz **25** an die Betriebssteuerung **15** der einzelnen Windenergieanlage **1** ermittelt.

[0029] Der Parkmaster **5** regelt die Windenergieanlagen **1** und überwacht das Verhalten des Wind-

parks im Ganzen gegenüber dem Netz **9**. Dazu sind im Bereich des Verknüpfungspunkts **4** Sensoren für Spannung **51** und Strom **52** vorgesehen. Sie sind angelegt an eine Recheneinheit **50**, welche aus den von den Sensoren **51** und **52** gelieferten Messwerten zu Spannung und Strom Informationen über die Phasenlage, die Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung sowie die Frequenz bestimmt und an den Parkmaster **5** übermittelt. Über das Kommunikationsnetz **25** erhält der Parkmaster **5** Statusinformationen von den Windenergieanlagen **1**, insbesondere zu Blindleistungsvermögen und Betriebszustand (bspw. netzparallel, Stillstand mit Umrichter am Netz, vom Netz getrennt etc.). An dem Parkmaster **5** ist ferner einen Eingang **59** vorgesehen, an den Vorgaben von einer übergeordneten Instanz, beispielsweise einem Betreiber des Übertragungsnetzes **9** angelegt sein können. Auf Grundlage dieser Informationen regelt der Parkmaster **5** die abgegebene Wirkleistung sowie die abgegebene Blindleistung. Hierzu sind ein Wirkleistungsregler **54** sowie ein Blindleistungsregler **55** im Parkmaster **5** vorgesehen.

[0030] Nachfolgend sei die Betriebsweise des Blindleistungsreglers **55** näher anhand von **Fig. 2** beschrieben. Der Blindleistungsregler **55** weist zwei verschiedene Regelregime auf. Ein erstes Regelregime **56** ist für den Normalbetrieb vorgesehen und ist implementiert als eine Spannungsregelung. An einem vor den Eingang des Reglers **56** geschalteten Differenzglied **58** sind Werte für einen Soll-Spannungswert U_S sowie ein Wert für die gemessene tatsächliche Spannung U_i angelegt. Daraus wird eine Spannungsabweichung bestimmt, aus welcher der Spannungsregler einen Sollwert für die Windenergieanlagen zur Blindleistungsregelung ermittelt. Ferner ist ein zweites Regelregime **57** vorgesehen, das dazu ausgebildet ist, eine Blindleistungsregelung basierend auf einem Leistungsfaktor als Vorgabe zu implementieren. Aus der gemessenen Wirkleistung P und dem vorgegebenen Leistungsfaktorsollwert $\cos\varphi$ wird mittels eines Berechnungsblocks **53** ein Wert für eine einzustellende Blindleistung Q_S berechnet. Mittels eines zweiten Differenzglieds **59** wird dieser Wert verglichen mit der gemessenen, tatsächlich abgegebenen Blindleistung Q_i . Daraus wird eine Blindleistungsabweichung ermittelt, die ein Eingangssignal für die Regelung mittels des zweiten Regelregimes **57** bildet.

[0031] Die Umschaltung zwischen den beiden Regelregimen **56**, **57** erfolgt abhängig von dem Blindleistungsstellvermögen des Windparks. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist als Parameter zur Bestimmung des Blindleistungsstellvermögens die Anzahl n der Windenergieanlagen **1** des Windparks, die am Netz verfügbar sind, verwendet. Diese wird mittels des Detektors **70** bestimmt anhand von Statusinformationen, welche im Parkmaster **5** vorliegen. Die so bestimmte Anzahl n wird als Eingangssi-

gnal angelegt an einen Schwellwertschalter **7**. Der Schwellwertschalter **7** ist mit einem Hysteresemodul versehen, welches durch eine Kombination zweier Grenzwertschalter **72**, **73** realisiert ist. Der erste Grenzwertschalter **72** bestimmt, ob die Anzahl der Windenergieanlagen über einem einstellbaren Schwellwert n_1 liegt (oder zumindest gleich groß ist). Vorliegend sei als Beispiel für den Schwellwert n_1 ein Wert von 45 Windenergieanlagen angenommen. Ist das der Fall, dann ist die obere der beiden Ausgangsleitungen der Schwellwertschalter **7** aktiv. Sie ist angelegt an den Setzeingang eines SR-Flipflops (mit Rücksetzdominanz) **61**, welches zusammen mit einer Schalteinheit **62** ein Umschaltmodul **6** bildet. Das Flipflop **61** ist dann gesetzt, und die Schalteinheit **62** so betätigt, dass der Schalter der in **Fig. 2** dargestellte Stellung einnimmt. Damit ist das erste Regelregime **56** geschaltet. – Es sei nun angenommen, dass nur eine geringe Anzahl von Windenergieanlagen **1** in dem Windpark aktiv sei. Das Blindleistungsstellvermögen ist damit stark beschränkt. Die geringe Anzahl sei kleiner als ein zweiter Schwellwert n_2 , für den beispielhaft ein Wert von 40 gewählt sei. Damit schaltet der Grenzwertschalter **73** durch. Es ist nunmehr die untere Ausgangsleistung des Schwellwertschalters **7** aktiv. Diese ist angelegt an einen Rücksetzeingang des SR-Flipflops **61**. Damit wechselt das Flipflop **61** seinen Ausgangszustand, so dass die Schalteinheit **62** entsprechend umschaltet. Es wird somit auf das zweite Regelregime **57** umgeschaltet.

[0032] Damit wird abhängig von dem Blindleistungsstellvermögen des Windparks der Blindleistungsregler **55** des Windparks umgeschaltet zwischen einem ersten Regelregime **56**, bei dem gemäß Vorgabe des Netzbetreibers die Spannung mittels Blindleistung geregelt wird, und einem zweiten Regelregime **57**, welches als ein Ersatzregime fungiert und eine Blindleistung basierend auf dem Leistungsfaktor einregelt.

[0033] Zur Gewährleistung eines weichen Umschaltens ist eine Umschalt-Dämpfung **8** vorgesehen. Sie ist zweiteilig ausgeführt, wobei ein erster Teil **80** auf das erste Regelregime (Vorgaberegime **56**) wirkt und der zweite Teil **81** auf das zweite Regelregime (Ersatzregime **57**). Die Umschalt-Dämpfung **8** ist angesteuert von dem Grenzwertschalter **7**. Der erste Teil **80** weist ein Initialisierungsmodul **82** sowie ein Ratenbegrenzungsmodul **84** auf, wobei letzteres einen Ratenbegrenzer **88** mit fester Rate umfasst. Der zweite Teil **81** ist entsprechend aufgebaut, mit einem zweiten Initialisierungsmodul **83** sowie einem zweiten Ratenbegrenzungsmodul **85**. Die Funktionsweise wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Darstellung des Verfahrens in **Fig. 3** näher erläutert werden.

[0034] Das Verfahren beginnt mit Schritt **100**, wobei mittels des Detektors **70** das Blindleistungsstellvermögen bestimmt wird. In dem dargestellten Ausführungs-

rungsbeispiel geschieht dies dadurch, dass die Anzahl der verfügbaren Windenergieanlagen im Netzbetrieb bestimmt wird. Es sei angenommen, dass die Anzahl größer sei als 45. Im nächsten Schritt **101** wird mittels des Grenzwertschalters **7** geprüft, ob die Anzahl der verfügbaren Windenergieanlagen größer ist als der erste Grenzwert n_1 , der 45 beträgt. Wenn nein (n) erfolgt ein Weitersprung zu Schritt **104**. Wenn ja (y) bedeutet dies, dass die Blindleistungsregelung nach dem Vorgaberegime **56** (Spannungsregelung) durchgeführt werden soll. Es wird dann im folgenden Schritt **102** geprüft, ob dieses Regime bereits aktiv ist. Wenn ja gibt es nichts zu veranlassen, da das korrekte Regelregime bereits aktiv ist. Wenn nein erfolgt eine Verzweigung zu Schritt **103**, womit ein Wechsel des Betriebsmodus von dem Ersatzregime dem Vorgaberegime durchgeführt wird. Dies erfolgt unter Initialisierung des Spannungssollwerts auf die gemessene Spannung U_i mittels des Initialisierungsmoduls **82**, und danach eine temporäre Ratenbegrenzung mittels des Ratenbegrenzungsmoduls **84**. Der Windpark wird dann betrieben mit einer Blindleistungsregelung gemäß dem Vorgaberegime **56** (Spannungsregelung).

[0035] Im Weiteren wird dann geprüft, ob die Anzahl der betriebsbereiten Windenergieanlagen **1** unter die kritische Grenze sinkt. Dies erfolgt mittels des Grenzwertschalters **7** in Schritt **104**, wobei nunmehr der zweite Grenzwert für den Übergang zu dem Ersatzregime **57** maßgebend ist (Hysterese-Funktion des Grenzwertschalters **7**). Ist das nicht der Fall, sind also mindestens 40 Windenergieanlagen betriebsbereit, besteht kein Bedarf für eine Umschaltung, und es wird zum Ende der Programmschleife **107** verzweigt. Das Verfahren beginnt dann von neuem. Ist das jedoch der Fall, dass nunmehr weniger als 40 Windenergieanlagen betriebsbereit sind, so wird in Schritt **105** geprüft, ob das Ersatzregime **57** bereits aktiviert ist. Ist das der Fall, so besteht kein Handlungsbedarf, und es wird zu dem Schleifenende in Schritt **107** verzweigt. Ist das jedoch nicht der Fall, dann ist ein Wechsel des Regelregimes auf das Ersatzregime **57** erforderlich. Dies erfolgt in Schritt **106**. Der Wechsel umfasst eine Initialisierung des Blindleistungs-Sollwerts auf die gemessene Blindleistung mittels des Initialisierungsmoduls **83**, und danach eine Aktivierung der temporären Ratenbegrenzung mittels des Ratenbegrenzungsmoduls **85**.

[0036] Diese Funktionsweise ist in den Diagrammen in **Fig. 4a** bis **c** visualisiert. In **Fig. 4a** ist die Anzahl der verfügbaren Windenergieanlagen dargestellt, wobei sich die Anzahl n über die Zeit hinweg ändert. Anfänglich steigt die Anzahl der betriebsbereiten Windenergieanlagen an und erreicht zum Zeitpunkt t_1 die Anzahl **45**. Dieser Zustand bleibt eine ganze Zeit erhalten, bis dann kurz vor dem Zeitpunkt t_2 die Anzahl der Windenergieanlagen allmählich absinkt, bis sie schließlich zum Zeitpunkt t_2 mit einer

Anzahl **39** den unteren Grenzwert unterschreitet. In den **Fig. 4b** und **Fig. 4c** sind die Spannung sowie die abgegebene Blindleistung bezogen auf den Verknüpfungspunkt **4** dargestellt. Mit gestrichelter Linie sind die jeweils gemessenen Werte für die Spannung U_i bzw. die Blindleistung Q_i dargestellt, während mit durchgezogener Linie der Spannungs-Sollwert U_s bzw. der aus dem Leistungsfaktor ermittelte Blindleistungs-Sollwert Q_s dargestellt sind. Zum Zeitpunkt t_1 erkennt der Grenzwertschalter **7**, dass nunmehr die Anzahl der in Betrieb befindlichen Windenergieanlagen im Windpark ausreicht für einen Betrieb mit Spannungsregelung. Es wird entsprechend auf die Spannungsregelung gemäß Vorgaberegime **56** umgeschaltet. Dies erfolgt in einem ersten Schritt durch Initialisieren des Spannungssollwerts U_s mittels des Initialisierungsmoduls **82** (Phase i). Damit wird ein weiches Einsetzen der Spannungsregelung erreicht. Nach dem Initialisieren wird der Spannungssollwert verändert zu dem an sich vorgesehenen Spannungssollwert, wobei dieser allmählich mittels des Ratenbegrenzung-Moduls **84** angefahren wird (Phase ii). Nachfolgend wird die Spannung eingeregelt (Phase iii). Die Spannungsregelung ist voll aktiv, d. h. die Blindleistung selbst ist nunmehr ein freier Parameter und weicht von ihrem Sollwert ab (vergleiche **Fig. 4c**).

[0037] Die Spannungsregelung gemäß Vorgaberegime **56** wird beibehalten auch bei sinkender Anzahl der Windenergieanlagen **1**, bis schließlich zum Zeitpunkt t_2 der untere Grenzwert erreicht ist. Nunmehr erfolgt ein Umschalten in das Ersatzregime **57**, welches eine Blindleistungsregelung vorsieht. Dies erfolgt in einem ersten Schritt durch Initialisieren des Blindleistungs-Sollwerts auf die gemessene Blindleistung mittels des Initialisierungsmoduls **83** (Phase α). Damit wird ein ruckfreies Einsetzen der Regelung gemäß Ersatzregime **57** erreicht. Um den Übergang weiterhin weich zu gestalten, wird nachfolgend der so initialisierte Blindleistungs-Sollwert verändert zu dem an sich vorgesehenen Blindleistungs-Sollwert Q_s , wobei dieser ratenbegrenzt mittels des Ratenbegrenzung-Moduls **85** angefahren wird (Phase β). Anschließend wird die Blindleistung auf den Sollwert eingeregelt wird (Phase γ).

[0038] Optional ist ein Inhibitor **75** vorgesehen, der auf den Grenzwertschalter **7** und/oder das Umschaltmodul **6** wirkt. Damit wird im Fall einer Netzstörung das Umschalten verhindert. Der Inhibitor kann dazu Eingänge für Messwerte von Spannung U_i und Frequenz f_i aufweisen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 2457320 B1 [0005]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Regeln einer Blindleistungsabgabe eines Windparks, der mehrere Windenergieanlagen (1), einen Parkmaster (5) und eine Leitung zu einem Verknüpfungspunkt (4) zur Abgabe erzeugter elektrischer Leistung an ein Netz (9) umfasst, wobei

die Blindleistungsabgabe des Windparks vom Parkmaster (5) anhand eines Vorgaberegimes (56) geregelt wird,

gekennzeichnet durch

bei einem Betrieb des Windparks unter Normal-Netzbedingungen:

– Ermitteln eines tatsächlichen Blindleistungsabgabevermögens,

– Prüfen ob dieses über einem einstellbaren Schwellwert liegt,

– wenn dies der Fall ist, dann Abgeben von Blindleistung entsprechend dem Vorgaberegime (56),

– wenn dies nicht der Fall ist, dann Umschalten in ein Ersatzregime (57), wobei das Ersatzregime (57) sich hinsichtlich Blindleistungsabgabe von dem Vorgaberegime (56) unterscheidet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch gedämpftes Umschalten zwischen Vorgaberegime (56) und Ersatzregime (57), vorzugsweise mittels einer Umschalt-Dämpfung (8).

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Umschalt-Dämpfung (8) eine Ratenbegrenzung umfasst, vorzugsweise unter Verwendung eines festen Grenzwerts.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Umschalt-Dämpfung (8) und die Ratenbegrenzung nur temporär wirken.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Umschalt-Dämpfung (8) eine gezielte Initialisierung desjenigen Regimes vornimmt, auf das umgeschaltet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die gezielte Initialisierung mittels eines aktuellen Messwerts eines Parameters des Regimes erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Parameter ein Führungsparameter ist.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Verwenden einer Umschalt-Hysterese zum Umschalten zwischen den Regimes.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dass das Ersatzregime (57) einen parakeigenen Parameter als Führungsgröße verwendet.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Ersatzregime (57) autark in den Windenergieanlagen ausführbar ist.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Bestimmen des Blindleistungsstellvermögens anhand einer oder mehrerer Parameter aus einer Liste umfassend die Anzahl betriebsbereiter Windenergieanlagen (1) und/oder Umrichter (14) im Windpark, die am Verknüpfungspunkt (4) eingespeiste Wirkleistung und der Blindleistung der betriebsbereiten Windenergieanlagen (1) und/oder Umrichter (14).

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch Inhibieren des Umschaltens in das Ersatzregime im Fall einer Netzstörung.

13. Verfahren nach Anspruch 12, gekennzeichnet durch Verwenden einer Spannungs- und/oder Frequenzabweichung zum autarken Erkennen einer Netzstörung.

14. Windpark umfassend mehrere Windenergieanlagen (1), einen Parkmaster (5) und eine Leitung zu einem Verknüpfungspunkt (4) zur Abgabe erzeugte elektrischer Leistung an ein Netz (9), wobei der Parkmaster (5) einen Regler (55) zum Regeln einer Blindleistungsabgabe des Windparks (5) anhand eines Vorgaberegimes (56) aufweist,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Regler ein wechselbares Regime (57) aufweist, und ferner vorgesehen sind ein Detektor (70), der bei einem Betrieb des Windparks unter Normal-Netzbedingungen ein tatsächliches Blindleistungsabgabevermögen ermittelt,

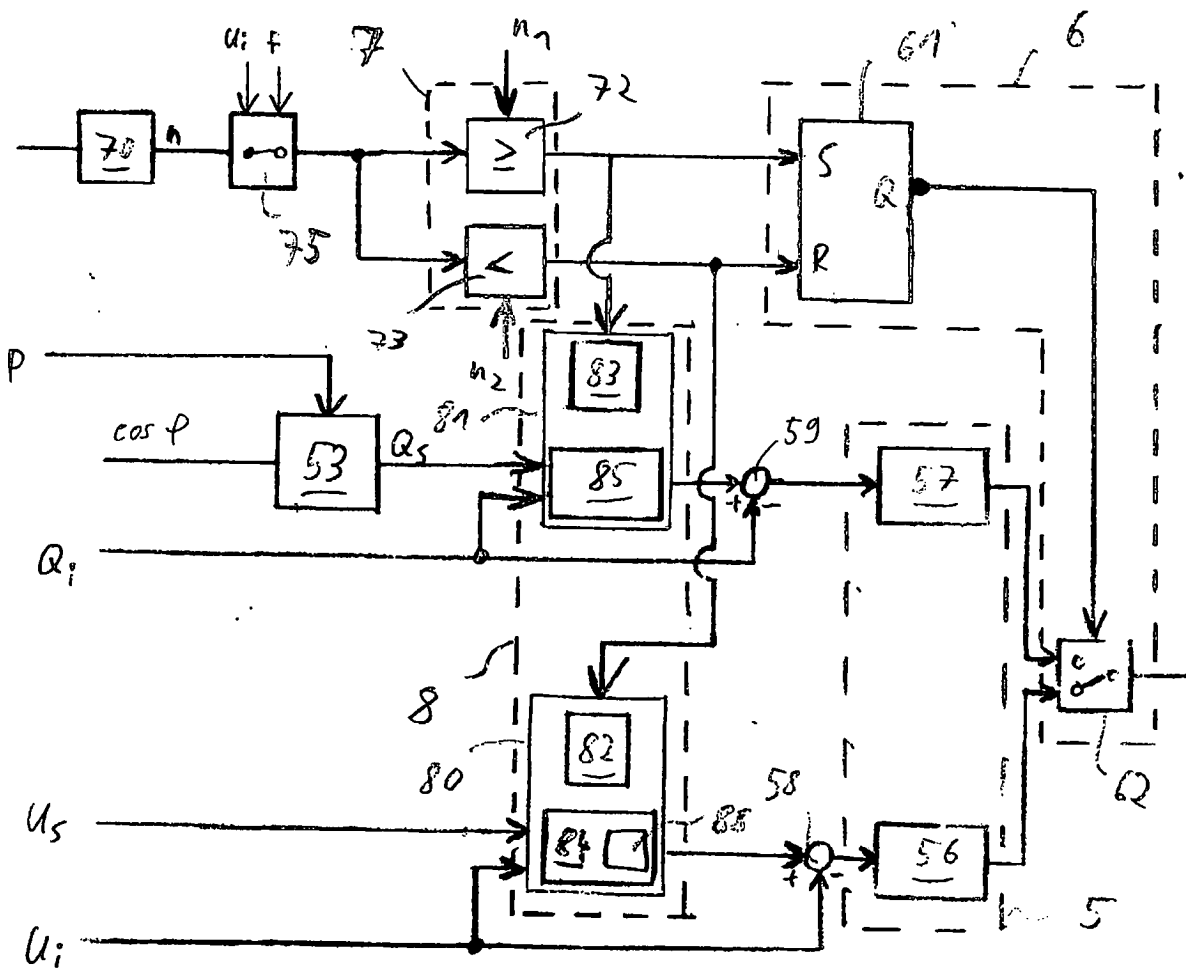
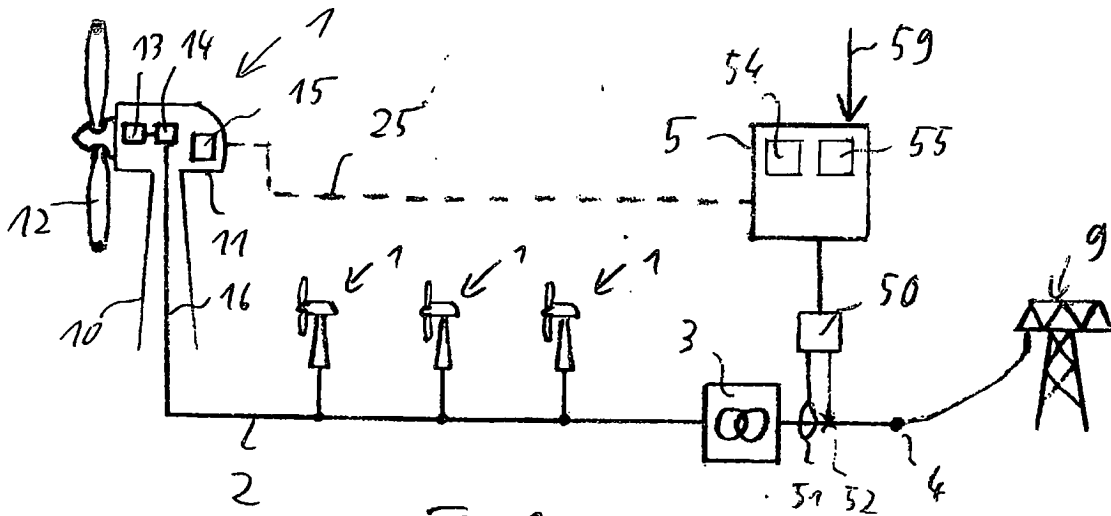
ein Prüfmodul (7), welches bestimmt ob dieses über einem einstellbaren Schwellwert liegt, und

eine Regimewechseleinheit (6), die dazu ausgebildet ist, bei Überschreiten des Schwellwerts ein Regelregime zum Abgeben von Blindleistung entsprechend dem Vorgaberegime (56) zuzuschalten und andernfalls umzuschalten in ein Ersatzregime (57), wobei das Ersatzregime (57) sich hinsichtlich Blindleistungsabgabe von dem Vorgaberegime (56) unterscheidet.

15. Windpark nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Blindleistungsregelung (55) nach einem der Anspruch 1 bis 13 weitergebildet ist.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



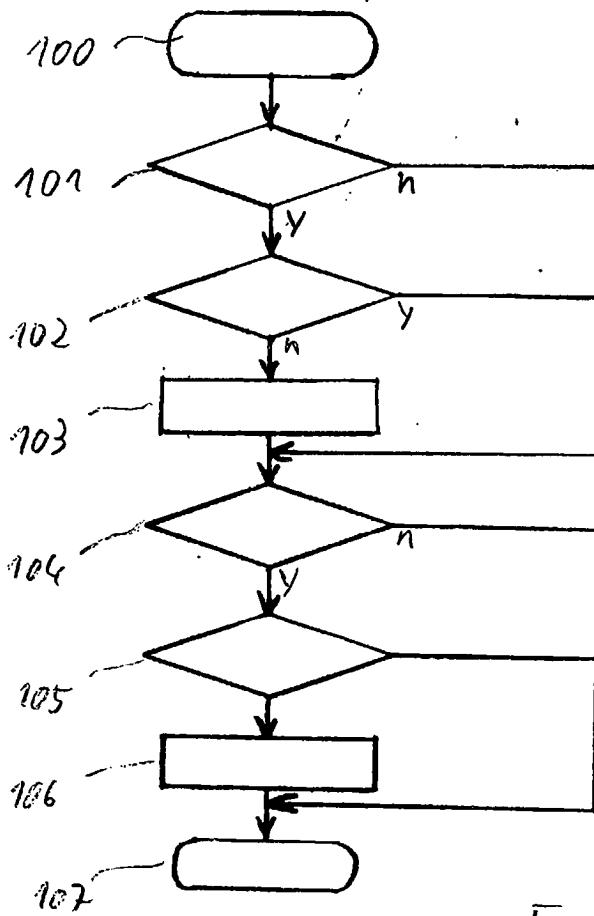


Fig. 3

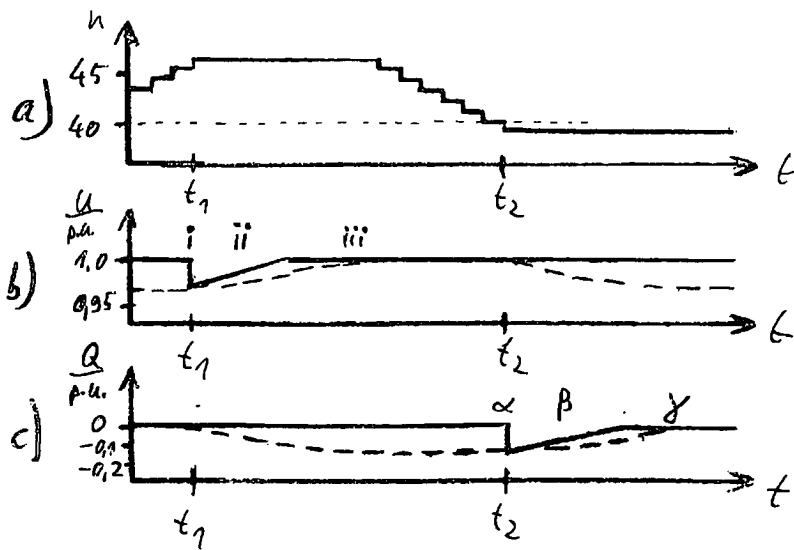


Fig. 4