

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, 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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

a park network that connects the wind energy plants, and the compensatory partial current or the compensatory partial currents are generated in such a way that the total currents to be fed in at a reference point in the park network, in a section between park network and network connection point or in the electric supply network, influences a reference current that occurs or a reference voltage that occurs, in order to achieve a predefined current form for this reference current or a predefined voltage form for this reference voltage.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Windpark zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes an einem Netzanschlusspunkt in ein elektrisches Versorgungsnetz, wobei der Windpark wenigstens eine Windenergieanlage aufweist, die als Kompensationswindenergieanlage ausgebildet ist, und eine aktive Kompensationseinheit aufweist, um einen kompensierenden Teilstrom mit einem aufmodulierten Kompensationsanteil zu erzeugen, wobei der Kompensationsanteil von der aktiven Kompensationseinheit aufmoduliert wird, und wenigstens eine weitere Windenergieanlage aufweist, die als kompensationslose Windenergieanlage dazu eingerichtet ist, einen nicht kompensierenden Teilstrom ohne aufmoduliertem Kompensationsanteil zu erzeugen, wobei sich der kompensierende Teilstrom bzw. die kompensierenden Teilströme und der nicht kompensierende Teilstrom bzw. die nicht kompensierenden Teilströme zu dem einzuspeisenden elektrischen Gesamtstrom in einem die Windenergieanlagen verbindenden Parknetz überlagern und der kompensierende Teilstrom bzw. die kompensierenden Teilströme so erzeugt werden, dass der einzuspeisende Gesamtstrom an einem Referenzpunkt im Parknetz, in einem Abschnitt zwischen Parknetz und Netzanschlusspunkt oder im elektrischen Versorgungsnetz einen auftretenden Referenzstrom oder eine auftretende Referenzspannung beeinflusst, um eine vorgegebene Stromform für diesen Referenzstrom bzw. eine vorgegebene Spannungsform für diese Referenzspannung zu erreichen.

Verfahren zur Kompensation von einzuspeisenden Strömen eines Windparks

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Windpark zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes an einem Netzanschlusspunkt in ein Versorgungsnetz. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung eine solche Kompensationswindenergieanlage sowie eine Verfahren zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes mittels eines solchen
5 Windparks und ein Verfahren zum Erzeugen eines Stromes einer Kompensationswindenergieanlage.

Es ist besonders für Windparks bekannt, elektrischen Wechselstrom zum Einspeisen in ein elektrisches Versorgungsnetz dadurch zu erzeugen, dass mehrere Windenergieanlagen mit jeweils wenigstens einem Wechselrichter jeweils einen Teilstrom erzeugen, der
10 zu einem einzuspeisenden elektrischen Gesamtstrom überlagert und in das elektrische Versorgungsnetz eingespeist wird. Solche Windenergieanlagen werden auch als umrichtergekoppelte Erzeuger bezeichnet

Die Teilströme der umrichtergekoppelten Erzeuger werden zumeist mittels Modulationsverfahren unter Verwendung einer Vielzahl von Wechselrichtern, insbesondere von
15 kaskadierten Wechselrichtern, erzeugt.

Nachteilig bei der Verwendung solcher Modulationsverfahren ist insbesondere, dass die einzelnen Teilströme stark Oberschwingungsbehaftet sein können. Dieser Effekt kann zusätzlich durch die kaskadierte Ausführung der Wechselrichter negativ verstärkt werden, insbesondere so, dass der vom Windpark einzuspeisende elektrische Gesamtstrom nicht
20 mehr den Anforderungen des elektrischen Versorgungsnetzes genügt.

Nachstehend sind unter Oberschwingungen im Wesentlichen harmonische Oberschwingungen eines Stromes zu verstehen, diese können durch eine Reihe von bekannten Analysen-Verfahren ermittelt werden.

Das Deutsche Patent- und Markenamt hat in der Prioritätsanmeldung zu vorliegender
25 Anmeldung folgenden Stand der Technik recherchiert: WO 01/73518 A1; US 8,971,066 B2; "Harmonic Resonances in Wind Power Plants: Modeling, Analysis and Active Mitigation Methods" von F.D. Freijedo et al., IEEE Eindhoven PowerTech, 2015;

"Harmonic Challenges and Mitigation in Large Offshore Wind Power Plants" von Dong Energy Wind Power, Harmony Symposium, 26. August 2015; "Transient Response of a Wind Energy Conversion System Used as Active Filter" von Grazia Todeschini et al., IEEE Transactions on Energy Conversion, Band 26, Nr. 2, Juni 2011.

- 5 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es somit, zumindest eines der oben genannten Probleme zu adressieren. Insbesondere soll eine Lösung vorgeschlagen werden, die auf einfache Art und Weise den Oberschwingungsgehalt des einzuspeisenden Gesamtstromes eines Windparks steuern und/oder kompensieren kann.

10 Erfindungsgemäß wird ein Windpark zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes an einem Netzanschlusspunkt in ein elektrisches Versorgungsnetz gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen. Der Windpark umfasst wenigstens eine Windenergieanlage, die eine aktive Kompensationseinheit aufweist, und wenigstens eine weitere Windenergieanlage, die als kompensationslose Windenergieanlage ausgeführt ist.

15 Die wenigstens eine Windenergieanlage mit der aktiven Kompensationseinheit wird nachfolgend auch als Kompensationswindenergieanlage bezeichnet und ist dazu ausgebildet, einen kompensierenden Teilstrom mit einem aufmodulierten Kompensationsanteil zu erzeugen, also einen Teilstrom, auf den von der aktiven Kompensationseinheit ein Kompensationsanteil aufmoduliert wurde. Hierfür kann beispielsweise ein aktiver Filter verwendet werden, der auf den von der Windenergieanlage erzeugten Strom einen
20 Kompensationsanteil aufmoduliert. Die Kompensationswindenergieanlage erzeugt also in einem ersten Schritt einen üblichen Strom, auf den in einem zweiten Schritt ein Kompensationanteil aufmoduliert wird, der durch eine aktive Kompensationseinheit erzeugt wurde.

25 Die wenigstens eine weitere Windenergieanlage, die nachfolgend auch als kompensationslose Windenergieanlage bezeichnet wird, weist keine aktive Kompensationseinheit im Sinne einer Kompensationswindenergieanlage auf und ist dazu ausgebildet, einen nicht kompensierenden Teilstrom ohne aufmoduliertem Kompensationsanteil zu erzeugen, also im Grunde ganz normal. Das Erzeugen solchen nicht kompensierenden Teilstromes kann bspw. durch einen Frequenzwechsellrichter erfolgen. Der Frequenzwechsellrichter
30 kann bspw. eine Puls-Weiten-Modulation oder ein Toleranzbandverfahren einsetzen, er führt aber für den nicht kompensierenden Teilstrom keine zusätzliche Modulation in dem Sinne durch, dass gezielt Oberwellenanteile oder Kompensationsanteile zu dem so

erzeugten Strom ergänzt werden. Jedenfalls erfolgt keine Modulation durch eine aktive Kompensationseinheit.

5 Ferner sind die Windenergieanlagen des Windparks, also sowohl die Kompensationswindenergieanlagen als auch die kompensationslosen Windenergieanlagen, über ein gemeinsames Parknetz miteinander verbunden und speisen über einen gemeinsamen Netzanschlusspunkt in ein Versorgungsnetz als ein Windpark ein. Die durch die Windenergieanlagen erzeugten kompensierenden und nicht kompensierenden Teilströme überlagern sich also im Parknetz zu einem gemeinsamen einzuspeisenden elektrischer Gesamtstrom.

10 Die Kompensationswindenergieanlage ist erfindungsgemäß dazu ausgebildet den kompensierenden Teilstrom mit einem aufmodulierten Kompensationsanteil so zu erzeugen, dass bei Überlagerung der kompensierenden und der nicht kompensierenden Teilströme, also aller Teilströme, ein einzuspeisender Gesamtstrom erzeugt wird, der an einem Referenzpunkt den dort auftretenden Referenzstrom so bildet, dass der Referenzstrom
15 eine vorgegebene Stromform bzw. einen vorgegebenen Strom erreicht. Je nach Anwendungsfall wird vorgeschlagen, dass statt eines Referenzstroms eine Referenzspannung betrachtet wird und der einzuspeisende Gesamtstrom so erzeugt wird, dass diese Referenzspannung eine vorgegebene Spannungsform bzw. eine vorgegebene Spannung erreicht. Auch das wird durch Überlagerung der kompensierenden und der nicht kompensierenden Teilströme zu dem einzuspeisenden Gesamtstrom erreicht. Die Betrachtung
20 einer Referenzspannung statt eines Referenzstroms wird besonders für einen Referenzpunkt vorgeschlagen, der im elektrischen Versorgungsnetz angeordnet ist. Hier kommt es weniger auf die Stromform als auf die Spannungsform an, wohingegen bei einer Betrachtung des Referenzpunktes im Parknetz, oder in einem Abschnitt zwischen Parknetz und
25 Netzanschlusspunkt die Betrachtung eines Referenzstromes bevorzugt wird.

Nachfolgende Erläuterungen zu Ausführungsformen und Wirkungen im Zusammenhang mit einem Referenzstrom gelten sinngemäß auch für Referenzspannungen.

30 Besonders vorteilhaft ist hierbei die Tatsache, dass eine Windenergieanlage eines bereits bestehenden Windparks auf einfache Art und Weise mit einem aktiven Filter nachgerüstet werden kann, um so die Qualität des einzuspeisenden Stromes des gesamten Windparks zu erhöhen.

Der Referenzpunkt kann hierzu im Parknetz selbst, zwischen dem Parknetz und dem Netzanschlusspunkt oder im Versorgungsnetz liegen.

Vorzugsweise weist der Windpark ein Erfassungsmittel zum Erfassen von am Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen des Referenzstroms auf und die aktive Kompensationseinheit ist dazu eingerichtet, in Abhängigkeit der erfassten, am Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen des Referenzstromes den aufmodulierten Kompensationsanteil so zu erzeugen, dass die am Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen des Referenzstromes bzw. der Referenzspannung kompensiert oder zumindest verringert oder minimiert werden.

Das Erfassungsmittel ist insbesondere dazu eingerichtet die am Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen zu erfassen und diese an die aktive Kompensationseinheit zu übermitteln. Dies kann sowohl direkt als auch indirekt und/oder über Kabel oder Funk oder dergleichen erfolgen. Das Erfassungsmittel kann ferner sowohl als Messmittel oder als Messempfänger ausgebildet sein.

Die aktive Kompensationseinheit erzeugt den aufmodulierten Kompensationsanteil bevorzugt in Abhängigkeit der erfassten Oberschwingungen so, dass die Oberschwingungen am Referenzpunkt kompensiert oder zumindest verringert oder minimiert werden. Beispielsweise kann als Referenzpunkt der Netzanschlusspunkt gewählt werden, sodass die Kompensationswindenergieanlage die Oberschwingungen des einzuspeisenden Gesamtstromes am Netzanschlusspunkt minimiert bzw. im besten Fall komplett eliminiert. Der Windpark speist dann im Wesentlichen ohne Oberschwingungen in das Versorgungsnetz ein. Besonders vorteilhaft hierbei ist, dass eine bzw. wenige Windenergieanlagen mit einer aktiven Kompensationseinheit die gesamten Oberschwingungen eines Windparks nahezu eliminieren können.

Vorzugsweise weist der Windpark genau eine Kompensationswindenergieanlage auf oder der Windpark weist wenigstens ein Teilnetz auf, das genau eine Kompensationswindenergieanlage umfasst.

Die Anzahl der Kompensationswindenergieanlagen wird somit entsprechend der Windparkleistung angepasst. Insbesondere zur Kompensation von Oberschwingungen gemäß einer der vorstehenden Ausführungsformen ist eine Kompensationswindenergieanlage dazu eingerichtet, die Oberschwingungen einer Vielzahl von kompensationslosen Windenergieanlagen zu kompensieren, beispielsweise in einem Verhältnis größer 1:5, insbe-

sondere größer 1:10. Sofern der Windpark mehr als 10 Windenergieanlagen aufweist, wird vorgeschlagen, ihn in Teilnetze zu unterteilen, sodass der erfindungsgemäße Windpark bevorzugt genau eine Kompensationswindenergieanlage pro Teilnetz aufweist. Insbesondere bei der Kompensation von Oberschwingungen werden besonders wenige
5 Kompensationswindenergieanlagen benötigt.

Erfindungsgemäß wird weiterhin eine Windenergieanlage zum Erzeugen elektrischer Leistung zum Einspeisen in ein elektrisches Versorgungsnetz gemäß Anspruch 5 vorgeschlagen. Diese wird vorstehend und nachfolgend als Kompensationswindenergieanlage bezeichnet. Die Kompensationswindenergieanlage weist eine aktive Kompensationseinheit, insbesondere einen aktiven Filter, auf, um einen kompensierenden Teilstrom mit
10 einem aufmodulierten Kompensationsanteil zu erzeugen, wobei der Kompensationsanteil von der aktiven Kompensationseinheit aufmoduliert wird, um eine Soll-Stromform eines Referenzstromes an einem Referenzpunkt zu erreichen bzw. zu erzeugen. Die erfindungsgemäße Windenergieanlage ist somit dazu eingerichtet als Kompensationsanlage
15 eines vorstehend und nachstehend beschriebenen Windpark gemäß wenigstens einer Ausführungsform zu fungieren.

Die Kompensationswindenergieanlage ist ferner als übliche Windenergieanlage ausgebildet, beispielsweise als getriebelose Windenergieanlage mit Synchrongenerator und Vollumrichter, die einen üblichen Teilstrom erzeugt. Zudem weist die Kompensationswindenergieanlage eine aktive Kompensationseinheit auf, die auf diesen üblichen Teilstrom einen Kompensationsanteil moduliert. Die Aufmodulation erfolgt somit durch die
20 aktive Kompensationseinheit. Der übliche Teilstrom wird dabei gemäß einer Ausführungsform entsprechend so mit einem Kompensationsanteil moduliert, dass ein Referenzstrom an einem Referenzpunkt eine bestimmte Soll-Stromform erreicht.

Vorzugsweise ist ein Erfassungsmittel zum Erfassen von am Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen des Referenzstroms vorgesehen und die aktive Kompensationseinheit ist dazu eingerichtet, in Abhängigkeit der erfassten, am Referenzpunkt auftretenden
25 Oberschwingungen des Referenzstromes bzw. der Referenzspannung den Kompensationsanteil so aufzomodulieren, dass die am Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen des Referenzstromes bzw. der Referenzspannung kompensiert oder zumindest
30 verringert oder minimiert werden.

Die aktive Kompensationseinheit der Kompensationswindenergieanlage ist somit dazu eingerichtet, mittels eines Erfassungsmittels Oberschwingungen an einem Referenzpunkt

zu erfassen. Das Erfassungsmittel kann hierbei auch Bestandteil der aktiven Kompensationseinheit oder der Kompensationswindenergieanlage sein.

Zudem ist die aktive Kompensationseinheit bevorzugt dazu eingerichtet, die Oberschwingungen der Kompensationswindenergieanlage so mittels eines Kompensationsanteils zu modulieren, dass die an einem Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen eines Referenzstromes kompensiert bzw. minimiert werden.

Vorzugsweise ist die aktive Kompensationseinheit an einer Niederspannungsseite der Windenergieanlage angeordnet.

Die aktive Kompensationseinheit der Kompensationswindenergieanlage ist beispielsweise als aktiver Filter an der Niederspannungsseite der Windenergieanlage angeordnet. Üblicherweise liegt die Niederspannungsseite an der Primärseite der Windenergieanlage, die eine Nennspannung von unter 1kV aufweist. Die Windenergieanlage ist dann entsprechend über einen Transformator mit dem Versorgungsnetz oder dem Parknetz verbunden, das beispielsweise eine Nennspannung von 10kV oder 20 kV aufweist. Die Windenergieanlage ist somit über einen Transformator mit dem Parknetz verbunden und die aktive Kompensationseinheit ist an der Primärseite des Transformators angeordnet.

Erfindungsgemäß wird ferner ein Verfahren zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes an einem Netzanschlusspunkt in ein elektrisches Versorgungsnetz mittels eines Windparks vorgeschlagen. Das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die Schritte: Erfassen eines von dem Gesamtstrom abhängigen Referenzstromes an einem Referenzpunkt, Erzeugen wenigstens eines ersten Teilstroms des Gesamtstroms mittels einer ersten Windenergieanlage, wobei die erste Windenergieanlage als Kompensationswindenergieanlage ausgebildet ist und eine aktive Kompensationseinheit aufweist, Aufmodulieren eines Kompensationsanteils auf den wenigstens einen ersten Teilstrom mittels der aktiven Kompensationseinheit der ersten Windenergieanlage, um Oberschwingungen des Referenzstromes bzw. der Referenzspannung zu kompensieren oder zu verringern, Erzeugen wenigstens eines zweiten Teilstroms des Gesamtstroms mittels einer zweiten kompensationslosen Windenergieanlage, wobei der zweite erzeugte Teilstrom nicht mittels eines Kompensationsanteils einer aktiven Kompensationseinheit aufmoduliert wird und somit ein nicht kompensierender Teilstrom ohne aufmodulierten Kompensationsanteil erzeugt wird, Überlagern des wenigstens einen ersten kompensierenden Teilstroms mit dem wenigstens einen zweiten nicht kompensierenden Teilstrom an einem Überlage-

zungspunkt zu dem an dem Netzanschlusspunkt einzuspeisenden elektrischen Gesamtstrom.

In einem ersten Schritt werden somit die Oberschwingungen eines Referenzstromes an einem Referenzpunkt erfasst, dies kann beispielsweise unter Verwendung von üblichen
5 Messmitteln erfolgen. Ist als Referenzpunkt der Netzanschlusspunkt gewählt, so entspricht der Referenzstrom dem einzuspeisenden Gesamtstrom. Ist der Referenzpunkt außerhalb des Windparks, so ist der Referenzstrom nur teilweise abhängig vom einzuspeisenden Gesamtstrom. Der Referenzstrom umfasst dann also eine Vielzahl von
eingespeisten Strömen verschiedener Erzeuger und wenigstens einen Teil des einzuspeisenden Gesamtstromes.
10

In einem zweiten Schritt wird dann ein Teilstrom mittels der Kompensationswindenergieanlage erzeugt und anschließend durch die aktive Kompensationseinheit so moduliert, dass die am Referenzpunkt erfassten bzw. auftretenden Oberschwingungen entsprechend kompensiert werden. Hierzu wird auf den Teilstrom ein Kompensationsanteil
15 mittels der aktiven Kompensationseinheit moduliert. Dabei wird berücksichtigt, dass sich der Strom an dem Referenzpunkt aus diesem Teilstrom mit Kompensationsanteil und aus weiteren Teilströmen zusammensetzt, die nicht zur Kompensation moduliert werden. Dabei erfolgt das Kompensieren besonders in Abhängigkeit eines zuvor berechneten Soll-Wertes und/oder so, dass die auftretenden Oberschwingungen minimiert werden,
20 insbesondere eliminiert werden.

Das vorgeschlagene Verfahren ermöglicht somit auf einfache Art und Weise eine Kompensation von Oberschwingungen mittels weniger Kompensationswindenergieanlagen, also üblichen Windenergieanlagen, die mit einem aktiven Filter ausgestattet und/oder
25 nachgerüstet worden sind. Optimaler Weise braucht nur eine Windenergieanlage eines Windparks mit einer Kompensationseinheit ausgestattet zu sein.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist das erfindungsgemäße Verfahren als ein Regelungsverfahren mit Rückführung ausgestaltet und/oder wird mittels einer Windpark-Netzanalyse optimiert.

Vorzugsweise wird für eine Kompensation bzw. Verringerung der Oberschwingungen ein
30 Oberschwingungssollwert vorgegeben und das Erzeugen des wenigstens einen ersten kompensierenden Teilstroms mit aufmoduliertem Kompensationsanteil erfolgt in Abhängigkeit des Oberschwingungssollwertes, insbesondere so, dass der Oberschwingungs-

sollwert für das Erzeugen eine Führungsgröße bildet, um die Oberschwingungen des wenigstens einen kompensierenden Teilstroms vorzugeben oder um die gesamten Oberschwingungen des überlagerten Gesamtstroms vorzugeben, besonders für einen anderen Ort als den Referenzpunkt.

- 5 Durch die Vorgabe von Oberschwingungssollwerten ist es möglich den überlagerten Gesamtstrom fast beliebig zu modulieren. Hierdurch kann sowohl ein Gesamtstrom erzeugt werden, der nahezu frei von Oberschwingungen ist, als auch ein Gesamtstrom der nur noch bestimmte Oberschwingung aufweist, die beispielsweise im Versorgungsnetz vorhandene Oberschwingungen dämpfen. Bevorzugt wird hierfür eine Regelung
10 verwendet bei der die Oberschwingungssollwerte als Führungsgröße der Regelung verwendet werden, um am Referenzpunkt einen beliebigen Referenzstrom zu erzeugen.

- Vorzugsweise wird zum Erfassen der Oberschwingungen am Referenzpunkt ein Zustandsbeobachter verwendet, wobei der Zustandsbeobachter die Oberschwingungen am Referenzpunkt abzüglich der durch den wenigstens einen ersten kompensierenden
15 Teilstrom erreichten Kompensation als nicht kompensierte Oberschwingungen erfasst und zur Erzeugung des wenigstens einen ersten kompensierenden Teilstroms mit aufmodulierten Kompensationsanteil die nicht kompensierten Oberschwingungen berücksichtigt werden.

- Hierdurch kann erreicht werden, dass die zu kompensierenden Oberschwingungen auch
20 dann gut erfasst werden, wenn die Kompensation wirksam ist, wenn also im Idealfall am Referenzpunkt wegen der Kompensation keine Oberschwingungen mehr auftreten. In diesem Fall soll aber dennoch die Kompensation fortgesetzt werden, obwohl am Referenzpunkt keine Oberschwingungen erkennbar sind. Dafür richtet sich die Kompensation dann nach den unkompensierten Oberschwingungen, also den Oberschwingungen am
25 Referenzpunkt abzüglich der durch den wenigstens einen ersten aufmodulierten Kompensationsanteil erreichten Kompensation. Diese unkompensierten Oberschwingungen werden vorzugsweise durch einen Zustandsbeobachter erfasst. Für die Regelung wird somit ein Regler verwendet, der als Beobachter oder Schätzer ausgebildet ist.

Vorzugsweise ist der Referenzpunkt der Netzanschlusspunkt.

- 30 Hierdurch ist es möglich, dass ein das erfindungsgemäße Verfahren verwendender Windpark einen einzuspeisenden Gesamtstrom erzeugt, der keine Oberschwingungen

aufweist, bzw. nur noch geringe Oberschwingungen. Dies ist besonders wünschenswert für Windparks die mit einem schwachen Netz verbunden sind.

Vorzugsweise liegt der Referenzpunkt außerhalb des Windparks, wobei das vorgeschlagene Verfahren ferner die Schritte umfasst: Ermitteln von Oberschwingungssollwerten in Abhängigkeit am Referenzpunkt erfasster Oberschwingungen, Steuern der aktiven Kompensationseinheit in Abhängigkeit der ermittelten Oberschwingungssollwerte, um Oberschwingungen entsprechend der Oberschwingungssollwerte zu erzeugen und den wenigstens einen ersten Teilstrom mit einem aufmodulierten Kompensationsanteil so zu erzeugen, dass der einzuspeisende Gesamtstrom entsprechende Oberschwingungen aufweist.

Als Referenzpunkt wird beispielsweise ein Knotenpunkt im Versorgungsnetz gewählt. Dies ist besonders dann wünschenswert, wenn das erfindungsgemäße Verfahren von einem Windpark durchgeführt wird, der in Bezug auf den Referenzpunkt, der größte Einspeiser bzw. der Netzgeber ist. Sofern nun am Referenzpunkt Oberschwingungen auftreten, können diese umgerechnet und als Soll-Werte an die Kompensationswindenergieanlagen gegeben werden. Der die Kompensationswindenergieanlagen aufweisende Windpark erzeugt dann am Netzanschlusspunkt des Windparks bestimmte Oberschwingungen. Der so erzeugte Gesamtstrom wird dann in das Versorgungsnetz eingespeist und überlagert sich dort derart, dass am Referenzpunkt die Oberschwingungen, nämlich besonders die Spannungsüberschwingungen, kompensiert und somit das Versorgungsnetz stabilisiert wird.

Vorzugsweise wird geprüft, ob Oberschwingungen am Referenzpunkt Grenzwerte überschreiten, insbesondere für die 5., 7., 11., 13., 17. und/oder 19. Oberschwingung, und dass optional das Aufmodulieren des wenigstens einen aufmodulierten Kompensationsanteils auf den ersten Teilstrom nur dann erfolgt, wenn Oberschwingungen am Referenzpunkt wenigstens einen Grenzwert überschritten haben.

Gemäß dieser Ausführungsform wird somit erst dann von einer Oberschwingung ausgegangen bzw. das Verfahren durchgeführt, wenn ein bestimmter Grenzwert überschritten worden ist. Erst bei Überschreiten der Grenzwerte wird dann die Kompensation aktiviert und ein Kompensationsanteil aufmoduliert. Die aktive Kompensationseinheit ist somit zeitweise inaktiv. Ein solches Vorgehen ist besonders gut dazu geeignet ein Aufschwingen in der Kompensationswindenergieanlage, dem Windpark und/oder dem Versorgungsnetz zu verhindern.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird geprüft, ob die 5., 7., 11., 13., 17. und/oder 19. Oberschwingung einen Grenzwert überschreiten. Um die Qualität am Referenzpunkt zu verbessern, werden also gezielt ein oder mehrere Prüfkriterien gewählt. Die 5., 7., 11., 13., 17. und/oder 19. Oberschwingung eignen sich dabei besonders gut, da diese häufig durch Wechselrichter höherer Ordnung erzeugt werden und die Anzahl dieser Wechselrichter mit der Zunahme an dezentralen Erzeugern stetig steigt und weiter steigen wird. Das Verfahren ist somit besonders gut für wechselrichter-dominierte Versorgungsnetze geeignet.

Vorzugsweise umfasst das Prüfen auf Oberschwingungen am Referenzpunkt eine Divergenz Analyse und bei Feststellen einer Divergenz werden die bestimmten Soll-Werte zurückgehalten, solange die Divergenz anhält. Es wird also geprüft, ob Werte divergieren und auf ein Aufschwingen hindeuten.

Es wird vorgeschlagen, dass bei einem Aufschwingen des Netzes, insbesondere der Oberschwingungen, keine Soll-Werte mehr an die aktive Kompensationseinheiten übergeben werden bzw. das Modulieren durch die aktiven Filter eingestellt wird. Das Verfahren zum Kompensieren von Oberschwingungen wird somit gestoppt, wenn das Versorgungsnetz instabil zu werden droht. Somit ist es möglich, das erfindungsgemäße Verfahren auch in kleinen dezentralen Versorgungsnetzen zu verwenden, die zum Aufschwingen neigen.

Vorzugsweise wird der elektrische Gesamtstrom mittels eines Windparks gemäß wenigstens einer vorstehend beschriebenen Ausführungsform erzeugt und/oder wenigstens ein modulierter Teilstrom wird mittels einer Windenergieanlage gemäß wenigstens einer vorstehend beschriebenen Windenergieanlagen-Ausführungsform erzeugt.

Erfindungsgemäß wird zudem ein Verfahren zum Erzeugen wenigstens eines Kompensationsanteils mittels einer aktiven Kompensationseinheit einer erfindungsgemäßen Windenergieanlage, insbesondere gemäß wenigstens einer vorstehend beschriebenen Windenergieanlagen-Ausführungsform vorgeschlagen, wobei der mittels der aktiven Kompensationseinheit modulierte Teilstrom an einer Niederspannungsseite der Windenergieanlage bereitgestellt wird.

Die vorliegende Erfindung wird nun nachfolgend exemplarisch anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren näher erläutert.

- Fig. 1a zeigt eine schematische Ansicht einer Windenergieanlage,
- Fig. 1b zeigt einen üblichen Windpark schematisch,
- Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Windparks,
- Fig. 3a zeigt eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Windparks, wobei der Referenzpunkt der Netzanschlusspunkt ist,
- 5 Fig. 3b zeigt eine schematische Darstellung der Oberschwingungen einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Windparks, wobei der Referenzpunkt der Netzanschlusspunkt ist,
- Fig. 4a zeigt eine besonders bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Windparks, wobei der Referenzpunkt im Versorgungsnetz liegt,
- 10 Fig. 4b zeigt eine schematische Darstellung der Oberschwingungen einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Windparks wobei der Referenzpunkt im Versorgungsnetz liegt,
- Fig. 5 zeigt einen Verfahrensablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens und
- 15 Fig. 6 zeigt einen Verfahrensablauf eines weiteren erfindungsgemäßen Verfahrens in einer bevorzugten Ausführungsform

Fig. 1a zeigt eine Windenergieanlage 100 zum Erzeugen elektrischer Leistung zum Einspeisen in ein elektrisches Versorgungsnetz und/oder in ein Parknetz eines die Windenergieanlage 100 umfassenden Windparks. Die Windenergieanlage 100 weist einen Turm 102 und eine Gondel 104 auf. An der Gondel 104 ist ein aerodynamischer Rotor 106 mit drei Rotorblättern 108 und einem Spinner 110 angeordnet. Der Rotor 106 wird im Betrieb durch den Wind in eine Drehbewegung versetzt und treibt dadurch einen Generator in der Gondel 104 an.

20

Fig. 1b zeigt einen üblichen Windpark 150 mit beispielhaft drei Windenergieanlagen 100 zum Erzeugen elektrischer Leistung mittels eines Generators 112, wobei die Windenergieanlagen 100 gleich oder verschieden sein können. Die drei Windenergieanlage 100 stehen somit repräsentativ für im Grunde eine beliebige Anzahl von Windenergieanlagen

25

100 eines Windparks 150. Die Windenergieanlagen 100 stellen ihre Leistung, nämlich insbesondere den erzeugten Strom, einem Parknetz 152 jeweils als Teilstrom bereit. Dabei werden die jeweils erzeugten Teilströme bzw. Leistungen der einzelnen Windenergieanlage 100 im Parknetz 152 aufaddiert und an einem Transformator 154 bereitgestellt, der auch als Parktransformator 154 bezeichnet wird. Der Parktransformator 154 ist dazu eingerichtet und vorgesehen, die Spannung des Parknetzes 152 hoch zu transformieren und so die elektrische Leistung einem Versorgungsnetz bereitzustellen, insbesondere über eine Verbindungsleitung 156, die den Windpark 156 an einem Netzanschlusspunkt 158 mit einem elektrischen Versorgungsnetz 160 verbindet. Der Netzanschlusspunkt 158 wird auch allgemein als Einspeisepunkt oder PCC bezeichnet und ist der Punkt, an dem der Windpark 150 an das elektrische Versorgungsnetz angeschlossen ist und seine elektrische Leistung einspeist. Optional kann der Netzanschlusspunkt 158 einen weiteren Transformator aufweisen. Fig. 1b ist nur eine vereinfachte Darstellung eines üblichen Windparks 150, die beispielsweise keine Steuerung zeigt, obwohl natürlich eine Steuerung vorhanden ist. Auch kann beispielsweise das Parknetz 152 anders gestaltet sein, indem beispielsweise auch ein Transformator am Ausgang jeder Windenergieanlage 100 vorhanden ist oder mehrere Windenergieanlagen 100 ein Teilnetz ausbilden, deren Vielzahl das Parknetz 152 bildet.

Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Windparks 250 zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes C_{inj} an einem Netzanschlusspunkt 258 in ein elektrisches Versorgungsnetz 260. Der Windpark 250 weist mehrere Windenergieanlagen 200a, 200b auf, wobei jede Windenergieanlage jeweils einen Teilstrom C_{Winda} , C_{Windb} , C_{Windc} des elektrischen Gesamtstromes C_{inj} erzeugt. Wenigstens eine Windenergieanlage 200a des Windparks 250 weist eine aktive Kompensationseinheit 270 auf und ist als Kompensationswindenergieanlage 200a ausgebildet, um einen kompensierenden Teilstrom mit einem aufmodulierten Kompensationsanteil C_{Winda} zu erzeugen, wobei der Kompensationsanteil von der aktiven Kompensationseinheit 270 aufmoduliert wird. Zudem weist der erfindungsgemäße Windpark 250 wenigstens eine weitere Windenergieanlage 200b auf, die als kompensationslose Windenergieanlage 200b dazu eingerichtet ist, einen nicht kompensierenden Teilstrom ohne aufmoduliertem Kompensationsanteil C_{Windb} zu erzeugen, der in Bezug auf eine Modulierung durch eine aktive Kompensationseinheit unmoduliert, also ohne aufmodulierten Kompensationsanteil ist. Als nicht kompensierenden Teilstrom wird also im Grunde nur ein sinusförmiger Strom erzeugt, der aber, ungewollt, von einem idealen sinusförmigen Strom abweichen kann. Die kompensationslosen Windenergieanlagen 200b weisen also keine aktive Kompensationseinheit auf. Der kompensierende Teilstrom mit einem aufmodulierten Kompensationsanteil C_{Winda} und

der nicht kompensierende Teilstrom ohne aufmoduliertem Kompensationsanteil $C_{W\text{indb}}$ überlagern sich im Parknetz 252 zu einem einzuspeisenden elektrischen Gesamtstrom C_{inj} . Dieser wird im Idealfall frei von Verlusten am Netzanschlusspunkt 258 in das elektrische Versorgungsnetz 260 als elektrischer Gesamtstrom C_{inj} eingespeist.

5 Überlicherweise weist der Windpark zudem einen Abschnitt 256, beispielsweise eine Verbindungsleitung zwischen Parknetz 252 und Netzanschlusspunkt 258 auf, der zu Verlusten führen kann. Der Fachmann weiß solche Abschnitte entsprechend zu berücksichtigen, indem er bspw. die Ströme und/oder Spannungen entsprechen anpasst.

Der kompensierende Teilstrom mit aufmoduliertem Kompensationsanteil $C_{W\text{inda}}$ wird

10 entsprechend so erzeugt, dass der einzuspeisende Gesamtstrom C_{inj} einen Referenzstrom beeinflusst, um eine vorgegebene Stromform C_{Set} für diesen Referenzstrom zu erreichen. Der Referenzstrom kann an einem Referenzpunkt 270a, 270b, 270c im Parknetz 252, in einem Abschnitt 256 zwischen Parknetz und Netzanschlusspunkt oder im elektrischen Versorgungsnetz 260 auftreten. Der kompensierende Teilstrom mit

15 aufmoduliertem Kompensationsanteil $C_{W\text{inda}}$ wird also so erzeugt, dass ein an einem Referenzpunkt 270a, 270b und/oder 270c auftretender Referenzstrom einem Soll-Strom entspricht, insbesondere in seiner Stromform einem Soll-Strom C_{Act} entspricht.

Auch kann der erfindungsgemäße Windpark 250 noch weitere Windenergieanlagen 200c

20 aufweisen, die beispielsweise als kompensationslose Windenergieanlage ausgebildet sind.

Zudem sind in einer bevorzugten Ausführungsform die Windenergieanlage 200a, 200b, 200c des erfindungsgemäßen Windparks 250 als getriebelose Windenergieanlage ausgeführt und weisen Synchrongenerator mit Vollumrichter auf.

Fig. 3a zeigt eine bevorzugte Ausführungsform 350 eines erfindungsgemäßen Windparks

25 wie in Figur 2 gezeigt. Der Windpark 350 weist wenigstens eine Kompensationswindenergieanlage 300a mit einer aktiven Kompensationseinheit 370 und weitere kompensationslose Windenergieanlagen 300b, 300c auf. Jede der Windenergieanlagen 300a, 300b, 300c erzeugt jeweils einen Teilstrom $C_{W\text{inda}}$, $C_{W\text{indb}}$, $C_{W\text{indc}}$, wobei der aufzumodulierende Kompensationsanteil der Kompensationswindenergieanlage $C_{W\text{inda}}$

30 durch die aktive Kompensationseinheit 370 erzeugt wird, die bevorzugt als aktiver Filter ausgeführt ist. Die so erzeugten kompensierenden und nicht kompensierenden Teilströme überlagern sich in dem dreiphasigen Parknetz 352 zu einem einzuspeisenden Gesamtstrom C_{inj} . Der einzuspeisende Gesamtstrom C_{inj} wird über den Windparktransforma-

tor 354 und die Anschlussleitung 356 am Netzanschlusspunkt 358 in das elektrische Versorgungsnetz 360 eingespeist.

Durch das Erfassungsmittel 370d wird am Netzanschlusspunkt 358 der auftretende Referenzstrom C_{Act} erfasst und an die aktive Kompensationseinheit 370 übergeben. Die aktive Kompensationseinheit 370 moduliert den Kompensationsanteil so auf, dass der kompensierende Teilstrom C_{Winda} die Oberschwingung des Referenzstroms C_{Act} minimiert, insbesondere kompensiert. Im eingeschwungenen Zustand entspricht somit der einzuspeisende Gesamtstrom C_{Inj} dem Referenzstrom C_{Act} , wobei dieser im Wesentlichen keine Oberschwingungen aufweist. Der Windpark 350 speist somit ohne Oberschwingungen in das Versorgungsnetz ein.

Fig. 3b zeigte eine schematische Darstellung der Oberschwingungen 380 einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Windparks gemäß Fig. 3a. Zur vereinfachten Darstellung sind nur die ersten drei Oberschwingungen schematisch in p.u. abgebildet, nämlich jeweils die Amplitude des jeweiligen Frequenzanteils. Jede Windenergieanlage des erfindungsgemäßen Windparks erzeugt einen Teilstrom, der Oberschwingungen 382a, 382b, 382c aufweist. Diese addieren sich im Parknetz zu einem einzuspeisenden Gesamtstrom, der ebenfalls Oberschwingungen 384 aufweist. Die aktive Kompensationseinheit einer erfindungsgemäßen Windenergieanlage moduliert den Kompensationsanteil nun so auf, dass bei einer Überlagerung der nicht kompensierenden Teilströme, die die Oberschwingungen 388b, 388c aufweisen, und der kompensierenden Teilströme, die die Oberschwingungen 388a aufweisen, ein einzuspeisender Gesamtstrom erzeugt wird, der die minimalen Oberschwingungen 390 aufweist. Der vom erfindungsgemäßen Windpark einzuspeisende Gesamtstrom weist also am Netzanschlusspunkt im Wesentlichen keine Oberschwingungen 390 mehr auf.

Fig. 4a zeigt eine besonders bevorzugte Ausführungsform 450 eines erfindungsgemäßen Windparks, ähnlich wie in Figur 2 gezeigt. Der Windpark 450 weist wenigstens eine Kompensationswindenergieanlage 400a mit einer aktiven Kompensationseinheit 470 und weitere kompensationslose Windenergieanlagen 400b, 400c auf. Jede der Windenergieanlagen 400a, 400b, 400c erzeugt jeweils einen Teilstrom C_{Winda} , C_{Windb} , C_{Windc} , wobei der aufzumodulierende Kompensationsanteil der Kompensationswindenergieanlage C_{Winda} durch die aktive Kompensationseinheit 470 erzeugt wird, die bevorzugt als aktiver Filter ausgeführt ist. Die so erzeugten kompensierenden und nicht kompensierenden Teilströme überlagern sich in dem dreiphasigen Parknetz 452 zu einem einzuspeisenden Gesamtstrom C_{Inj} . Der einzuspeisende Gesamtstrom C_{Inj} wird über den Windparktransforma-

tor 454 und die Anschlussleitung 456 am Netzanschlusspunkt 458 über einen Netztransformator in das elektrische Versorgungsnetz 460 eingespeist.

Durch das Erfassungsmittel 470c wird an einem Punkt im Versorgungsnetz die auftretende Referenzspannung C_{Act} bzw. deren Oberschwingungen erfasst. Aus den so erfassten
5 Oberschwingungen werden Kompensationsoberschwingungen ermittelt und Soll-Werte C_{Set} bestimmt, die an die aktive Kompensationseinheit 470 übergeben werden. Die aktive Kompensationseinheit 470 moduliert den Kompensationsanteil so auf, dass der kompensierende Teilstrom C_{Winda} die Oberschwingung der Referenzspannung C_{Act} minimiert, insbesondere kompensiert. Im eingeschwungenen Zustand entspricht somit die Referenzspannung C_{Act} einer gewünschten Spannungsform. Der Windpark 450 speist somit
10 gezielt mit einigen Oberschwingungen in das Versorgungsnetz so ein, dass die Oberschwingungen der Referenzspannung im Versorgungsnetz minimiert werden. Es werden also die Oberschwingungen der Versorgungsnetzspannung minimiert.

Fig. 4b zeigte eine schematische Darstellung der Oberschwingungen 480 einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Windparks gemäß Fig. 4a. Zur vereinfachten Darstellung sind nur die Amplituden des jeweiligen Frequenzanteils der ersten drei Oberschwingungen schematisch in p.u. abgebildet. Jede Windenergieanlage des erfindungsgemäßen Windparks erzeugt einen Teilstrom, der Oberschwingungen 482a, 482b, 482c aufweist. Diese addieren sich im Parknetz zu einem einzuspeisenden Gesamtstrom, der ebenfalls Oberschwingungen 484 aufweist. Die aktive Kompensationseinheit einer erfindungsgemäßen Windenergieanlage moduliert den Kompensationsanteil nun so auf, dass bei einer Überlagerung der nicht kompensierenden Teilströme, die die
20 Oberschwingungen 488b, 488c aufweisen, und der kompensierenden Teilströme, die die Oberschwingungen 488a aufweisen, ein einzuspeisender Gesamtstrom erzeugt wird, der gezielt Oberschwingungen 390 aufweist. Der vom vorgeschlagenen Windpark einzuspeisende Gesamtstrom weist also am Netzanschlusspunkt einige Oberschwingungen 390 auf, wobei die Vielzahl der restlichen Oberschwingungen minimiert ist.

Fig. 5 zeigt einen schematischen Verfahrensablauf 500 eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes an einem Netzanschlusspunkt in ein elektrisches Versorgungsnetz mittels eines erfindungsgemäßen Windparks.
30

In einem ersten Schritt 510 werden die Oberschwingungen eines Referenzstromes an einem Referenzpunkt, insbesondere am Netzanschlusspunkt, erfasst, beispielsweise durch digitale Mittel zur Erfassung von Oberschwingungen und Strömen.

Die so erfassten Oberschwingungen werden an die aktiven Kompensationseinheiten bzw. die Kompensationswindenergieanlagen übergeben, was durch die Linie 515 angedeutet ist, und ggf. ausgewertet.

Die aktiven Kompensationseinheiten, die bevorzugt auf der Niederspannungsseite der Kompensationswindenergieanlage eingerichtet sind, modulieren in einem nächsten Schritt 520 die Kompensationsanteile so auf, dass die am Referenzpunkt erfassten Oberschwingungen zumindest verringert oder kompensiert werden. Dies kann beispielsweise auch durch eine Soll-Wert-Vorgabe erfolgen.

Durch die sich ständig ändernden vorherrschenden Windbedingungen und Versorgungsnetzschwankungen handelt es sich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren um ein Regelungsverfahren mit Rückführung, bei dem der Referenzstrom einem Soll-Strom nachgeführt wird. Dies ist in Fig. 5 durch die gestrichelte Linie 531 angedeutet.

Fig. 6 zeigt einen schematischen Verfahrensablauf 600 eines weiteren erfindungsgemäßen Verfahrens zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes an einem Netzan-
schlusspunkt in ein elektrisches Versorgungsnetz mittels eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

In einem ersten Schritt 610 werden die Oberschwingungen einer Referenzspannung an einem Referenzpunkt im Versorgungsnetz erfasst, beispielsweise durch digitale Mittel zur Erfassung von Oberschwingungen und Spannungen.

Anschließend werden in einem weiteren Schritt 620 in Abhängigkeit der am Referenzpunkt erfassten Oberschwingungen Kompensations-Oberschwingungen berechnet. Kompensations-Oberschwingungen sind insbesondere solche Oberschwingungen die bei Überlagerungen mit anderen Oberschwingungen eine Dämpfung der gesamten Oberschwingungen wenigstens teilweise erzeugen Die Phasenlage dieser Oberschwingungen sind idealerweise den zu kompensierenden Oberschwingungen um 180° phasenverschoben.

In einem nächsten Schritt 630 werden aus den berechneten Kompensations-Oberschwingungen für wenigstens eine aktive Kompensationseinheit einer Windenergieanlage des Windparks Oberschwingungssollwerte ermittelt, um die ermittelten Kompensations-Oberschwingungen mittels der aktiven Kompensationseinheit zu erzeugen.

Die Oberschwingungssollwerte werden in einem weiteren Schritt 640 an die wenigstens eine aktive Kompensationseinheit übergeben.

In einem weiteren Schritt 650 erzeugt die wenigstens eine aktive Kompensationseinheit anschließend einen aufzumodulierenden Kompensationsanteil mittels dem die Oberschwingungen an dem Referenzpunkt im Versorgungsnetz wenigstens teilweise kompensiert werden. Der Windpark speist somit gezielt mit bestimmten Oberschwingungen in Abhängigkeit einer Soll-Vorgabe in das Versorgungsnetz am Netzanschlusspunkt ein.

In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Erfassen von Oberschwingungen 610 ein Prüfen 612 ob Oberschwingung vorliegen, insbesondere ob vorbestimmte Grenzwerte überschritten worden sind. Hierbei werden insbesondere die 5., 7., 11., 13., 17. und/oder 19. Oberschwingung beobachtet. Sofern solche Oberschwingungen festgestellt werden, kann dann optional ein Erzeugen der Kompensationsanteile zur Kompensierung dieser Oberschwingungen durchgeführt werden. Es werden somit gezielt bestimmte Oberschwingungen im Versorgungsnetz überwacht und mittels eines erfindungsgemäßen Windparks kompensiert. Hierzu weist der Windpark insbesondere am Netzanschlusspunkt gezielt modulierte Oberschwingungen auf.

Zudem umfasst das Prüfen auf Oberschwingungen eine Divergenzanalyse der Oberschwingungen. Sofern die bei Durchführung das Verfahren die Oberschwingungen abnehmend konvergieren wird das Verfahren weiter durchgeführt Y.

Wird hingegen eine Divergenz N der Oberschwingungen festgestellt, also ein Aufschwingen des Versorgungsnetzes im Bereich der Oberschwingungen, werden die berechneten Soll-Werte zurückgehalten. Die Erzeugung der Kompensationsanteile wird also in Ihrem letzten Soll-Wert eingefroren, was durch die Linie F angedeutet wird.

Die Divergenz der Oberschwingungen kann dann entweder weiterhin überwacht werden und bei feststellen konvergierend abnehmender Oberschwingungen weiter fortgeführt werden oder das Verfahren wird mittels eines Totbandes für eine gewisse Zeit ausgesetzt und das Verfahren beginnt dann wieder eigenständig nach Ablauf der Totzeit.

Durch die sich ständig ändernden vorherrschenden Windbedingungen und Versorgungsschwankungen handelt es sich bei dem erfindungsgemäßen Verfahren um ein Regelungsverfahren mit Rückführung, bei dem der Referenzstrom einem Soll-Strom nachgeführt wird. Dies ist in Fig. 6 durch die gestrichelte Linie 691 angedeutet.

Ansprüche:

1. Windpark zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes an einem Netzan-
schlusspunkt in ein elektrisches Versorgungsnetz, wobei
 - der Windpark wenigstens:
 - 5 - eine Windenergieanlage aufweist, die als Kompensationswindenergieanlage
ausgebildet ist, und eine aktive Kompensationseinheit aufweist, um einen
kompensierenden Teilstrom mit einem aufmodulierten Kompensationsanteil
zu erzeugen, wobei der Kompensationsanteil von der aktiven Kompensati-
onseinheit aufmoduliert wird,
 - 10 und wenigstens
 - eine weitere Windenergieanlage aufweist, die als kompensationslose Wind-
energieanlage dazu eingerichtet ist, einen nicht kompensierenden Teilstrom
ohne aufmoduliertem Kompensationsanteil zu erzeugen,

wobei

- 15 - sich der kompensierende Teilstrom bzw. die kompensierenden Teilströme und der
nicht kompensierende Teilstrom bzw. die nicht kompensierenden Teilströme zu
dem einzuspeisenden elektrischen Gesamtstrom in einem die Windenergieanlagen
verbindenden Parknetz überlagern

und

- 20 - der kompensierende Teilstrom bzw. die kompensierenden Teilströme so erzeugt
werden, dass der einzuspeisende Gesamtstrom an einem Referenzpunkt
 - im Parknetz,
 - in einem Abschnitt zwischen Parknetz und Netzanschlusspunkt oder
 - im elektrischen Versorgungsnetz

einen auftretenden Referenzstrom oder eine auftretende Referenzspannung beeinflusst, um eine vorgegebene Stromform für diesen Referenzstrom bzw. eine vorgegebene Spannungsform für diese Referenzspannung zu erreichen.

2. Windpark nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch

- 5 - ein Erfassungsmittel zum Erfassen von am Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen des Referenzstroms bzw. der Referenzspannung, wobei
- die aktive Kompensationseinheit dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit der erfassten, am Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen den aufmodulierten Kompensationsanteil so erzeugen, dass die am Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen kompensiert oder zumindest verringert oder minimiert werden.
- 10

3. Windpark nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- der Windpark genau eine Kompensationswindenergieanlage aufweist oder
- der Windpark wenigstens ein Teilnetz aufweist, das genau eine Kompensationswindenergieanlage umfasst.

- 15 4. Windenergieanlage zum Erzeugen elektrischer Leistung zum Einspeisen in ein elektrisches Versorgungsnetz, wobei die Windenergieanlage eine aktive Kompensationseinheit aufweist, um einen kompensierenden Teilstrom mit einem aufmodulierten Kompensationsanteil zu erzeugen, wobei der Kompensationsanteil von der aktiven Kompensationseinheit aufmoduliert wird, um eine Soll-Stromform eines Referenzstromes oder eine Soll-Spannungsform einer Referenzspannung an dem Referenzpunkt zu erreichen, wobei die Windenergieanlage dazu eingerichtet ist, als Kompensationswindenergieanlage eines Windparks nach einem der Ansprüche 1 bis 3 zu fungieren.
- 20

5. Windenergieanlage nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass

- 25 - ein Erfassungsmittel zum Erfassen der am Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen des Referenzstroms oder der Referenzspannung vorgesehen ist und

- die aktive Kompensationseinheit dazu eingerichtet ist, in Abhängigkeit der erfassten, am Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen den Kompensationsanteil so aufzomodulieren, dass die am Referenzpunkt auftretenden Oberschwingungen kompensiert oder zumindest verringert oder minimiert werden.
- 5 6. Windenergieanlage nach einem der Ansprüche 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass
- die aktive Kompensationseinheit auf einer Niederspannungsseite der Windenergieanlage angeordnet ist.
- 10 7. Verfahren zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes an einem Netzanschlusspunkt in ein elektrisches Versorgungsnetz mittels eines Windparks umfassend die Schritte:
- Erfassen eines von dem Gesamtstrom abhängigen Referenzstromes oder einer von dem Gesamtstrom abhängigen Referenzspannung an einem Referenzpunkt,
 - Erzeugen wenigstens eines ersten Teilstroms des Gesamtstroms mittels einer
15 ersten Windenergieanlage, wobei die erste Windenergieanlage als Kompensationswindenergieanlage ausgebildet ist und eine aktive Kompensationseinheit aufweist,
 - Aufmodulieren eines Kompensationsanteils auf den wenigstens einen ersten
20 Teilstrom mittels der aktiven Kompensationseinheit der ersten Windenergieanlage, um Oberschwingungen des Referenzstromes bzw. der Referenzspannung zu kompensieren oder zu verringern,
 - Erzeugen wenigstens eines zweiten Teilstroms des Gesamtstroms mittels einer
25 zweiten kompensationslosen Windenergieanlage, wobei der zweite erzeugte Teilstrom nicht mittels eines Kompensationsanteils einer aktiven Kompensationseinheit aufmoduliert wird und somit ein nicht kompensierender Teilstrom ohne aufmodulierten Kompensationsanteil erzeugt wird,
 - Überlagern des wenigstens einen ersten kompensierenden Teilstroms mit dem wenigstens einen zweiten nicht kompensierenden Teilstroms an einem Überlage-

rungspunkt zu dem an dem Netzanschlusspunkt einzuspeisenden elektrischen Gesamtstrom.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass für eine Kompensation bzw. Verringerung der Oberschwingungen ein Oberschwingungssollwert vorgegeben wird und das Erzeugen des wenigstens einen ersten kompensierenden Teilstroms mit aufmodulierten Kompensationsanteil in Abhängigkeit des Oberschwingungssollwertes erfolgt, insbesondere so, dass der Oberschwingungssollwert für das Erzeugen eine Führungsgröße bildet, um die Oberschwingungen des wenigstens einen kompensierenden Teilstroms vorzugeben oder um die gesamten Oberschwingungen des überlagerten Gesamtstroms vorzugeben, besonders für einen anderen Ort als den Referenzpunkt.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass
- zum Erfassen der Oberschwingungen am Referenzpunkt ein Zustandsbeobachter verwendet wird,
 - der Zustandsbeobachter die Oberschwingungen am Referenzpunkt abzüglich der durch den wenigstens einen ersten kompensierenden Teilstrom erreichten Kompensation als nicht kompensierte Oberschwingungen erfasst und
 - zur Erzeugung des wenigstens einen ersten kompensierenden Teilstroms mit aufmodulierten Kompensationsanteil die nicht kompensierten Oberschwingungen berücksichtigt werden.
10. Verfahren zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzpunkt der Netzanschlusspunkt ist.
11. Verfahren zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzpunkt außerhalb des Windparks liegt und insbesondere eine Referenzspannung erfasst wird, ferner umfassend die Schritte:
- Ermitteln von Oberschwingungssollwerten in Abhängigkeit am Referenzpunkt erfasster Oberschwingungen,

- 5 - Steuern der aktiven Kompensationseinheit in Abhängigkeit der ermittelten Oberschwingungssollwerte, um Oberschwingungen entsprechend der Oberschwingungssollwerte zu erzeugen und den wenigstens einen ersten Teilstrom mit einem aufmodulierten Kompensationsanteil so zu erzeugen, dass der einzuspeisende Gesamtstrom entsprechende Oberschwingungen aufweist.
12. Verfahren zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 - geprüft wird, ob Oberschwingungen am Referenzpunkt Grenzwerte überschreiten, insbesondere für die 5., 7., 11., 13., 17. und/oder 19. Oberschwingung, und dass optional das Aufmodulieren des wenigstens einen aufmodulierten Kompensationsanteils auf den ersten Teilstroms nur dann erfolgt, wenn Oberschwingungen am Referenzpunkt wenigstens einen Grenzwert überschritten haben.
13. Verfahren zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass
- 15 - das Prüfen auf Oberschwingungen am Referenzpunkt eine Divergenzanalyse umfasst und bei Feststellen einer Divergenz die bestimmten Soll-Werte zurückgehalten werden, solange die Divergenz anhält.
14. Verfahren zum Einspeisen eines elektrischen Gesamtstromes nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Gesamtstrom mittels eines Windparks nach einem der Ansprüche 1 bis 3 erzeugt wird und/oder wenigstens ein kompensierender Teilstrom mit einem aufmodulierten Kompensationsanteil mittels einer Windenergieanlage nach einem der Ansprüche 4 bis 6 erzeugt wird.
- 20
15. Verfahren zum Erzeugen wenigstens eines aufmodulierten Kompensationsanteils eines Teilstroms mittels einer aktiven Kompensationseinheit einer Windenergieanlage nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der wenigstens eine mittels der aktiven Kompensationseinheit erzeugte aufzumodulierende Kompensationsanteil an einer Niederspannungsseite der Windenergieanlage bereitgestellt wird.
- 25

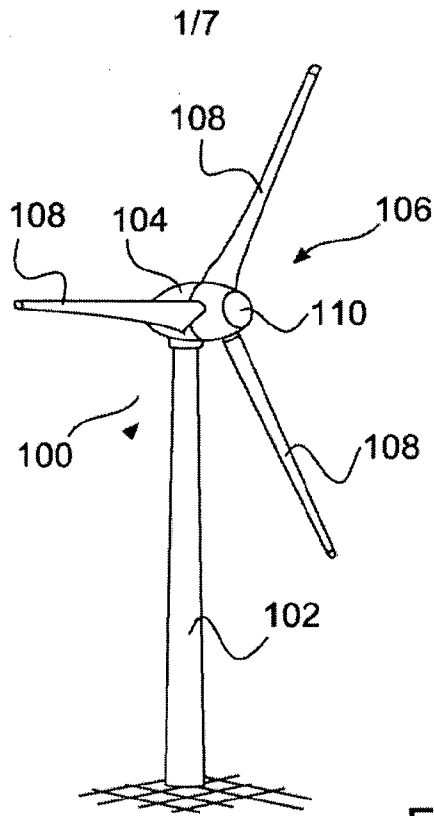


Fig. 1a

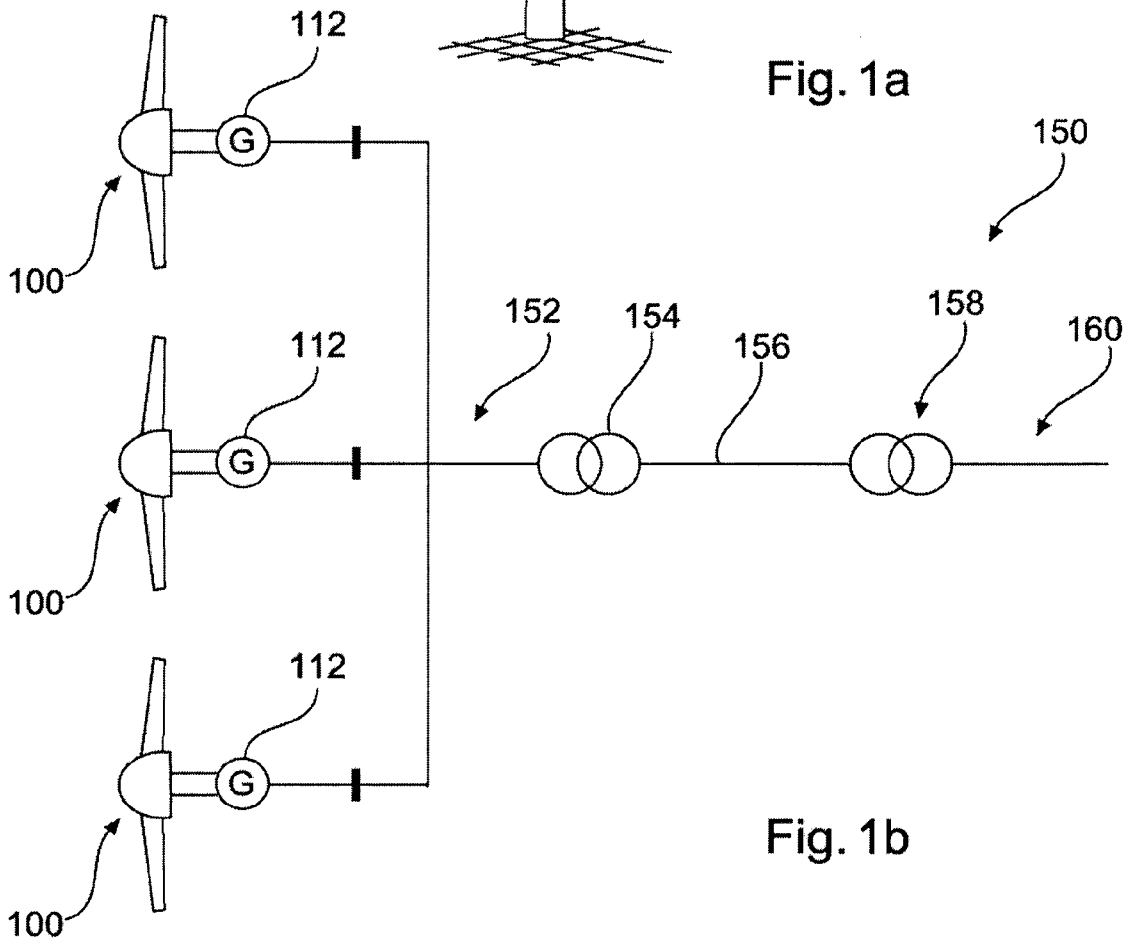
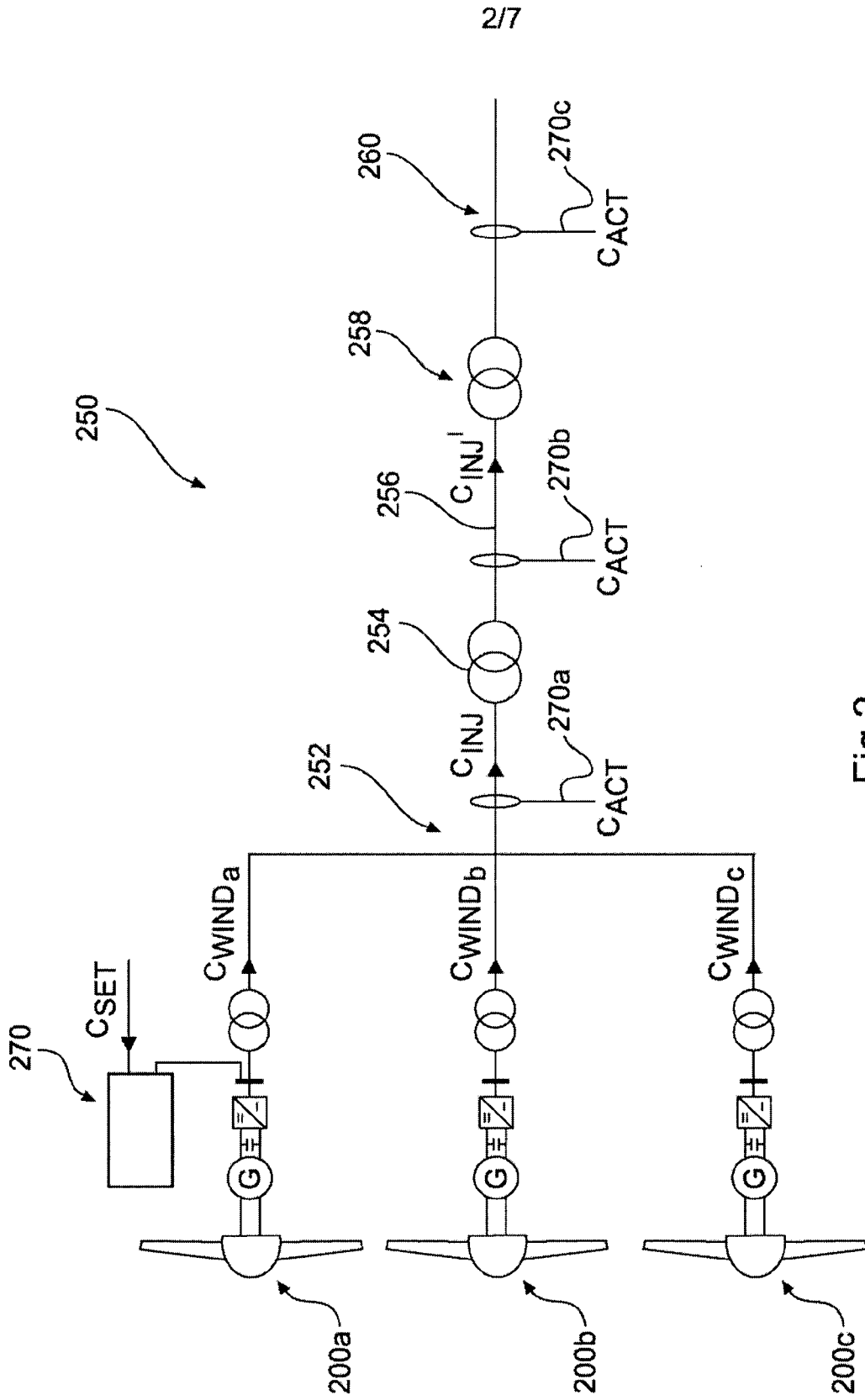


Fig. 1b



2/7

Fig.2

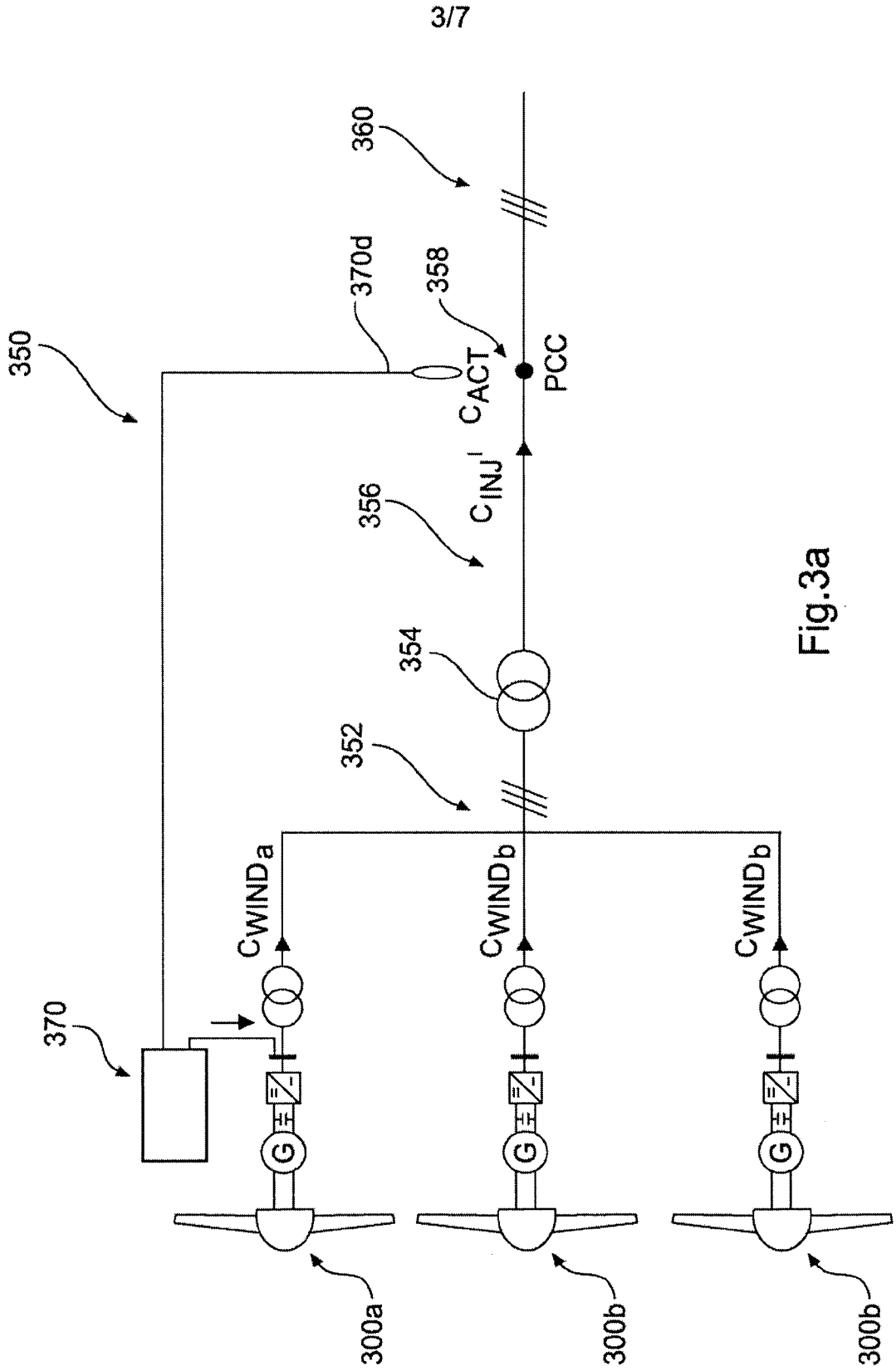


Fig.3a

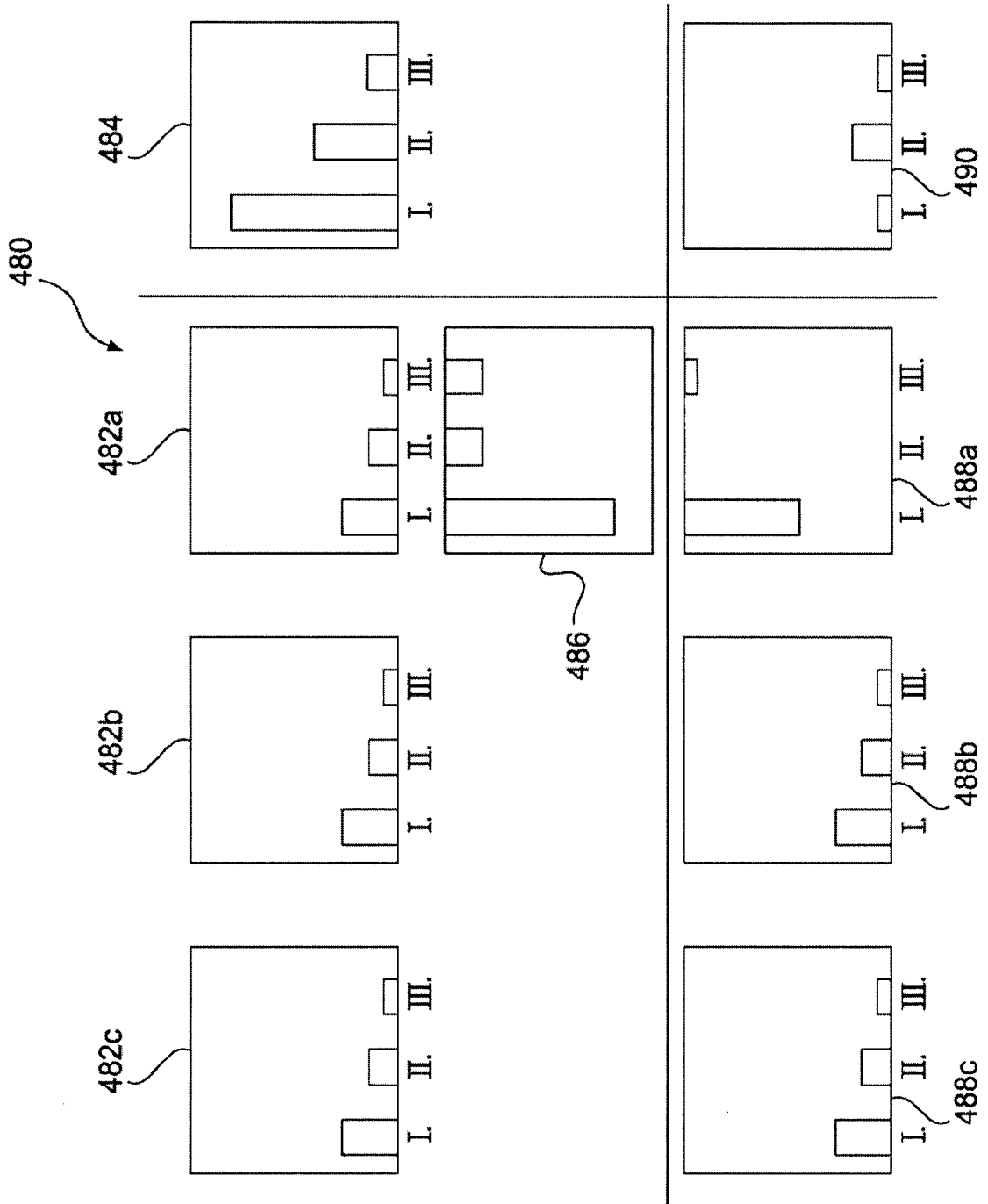


Fig.4b

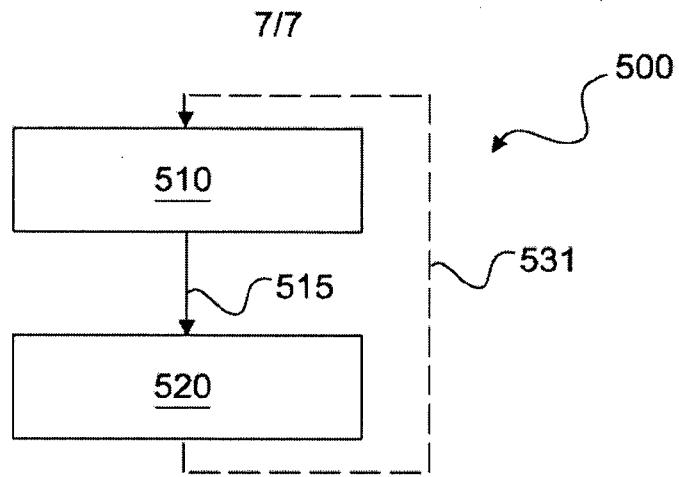


Fig.5

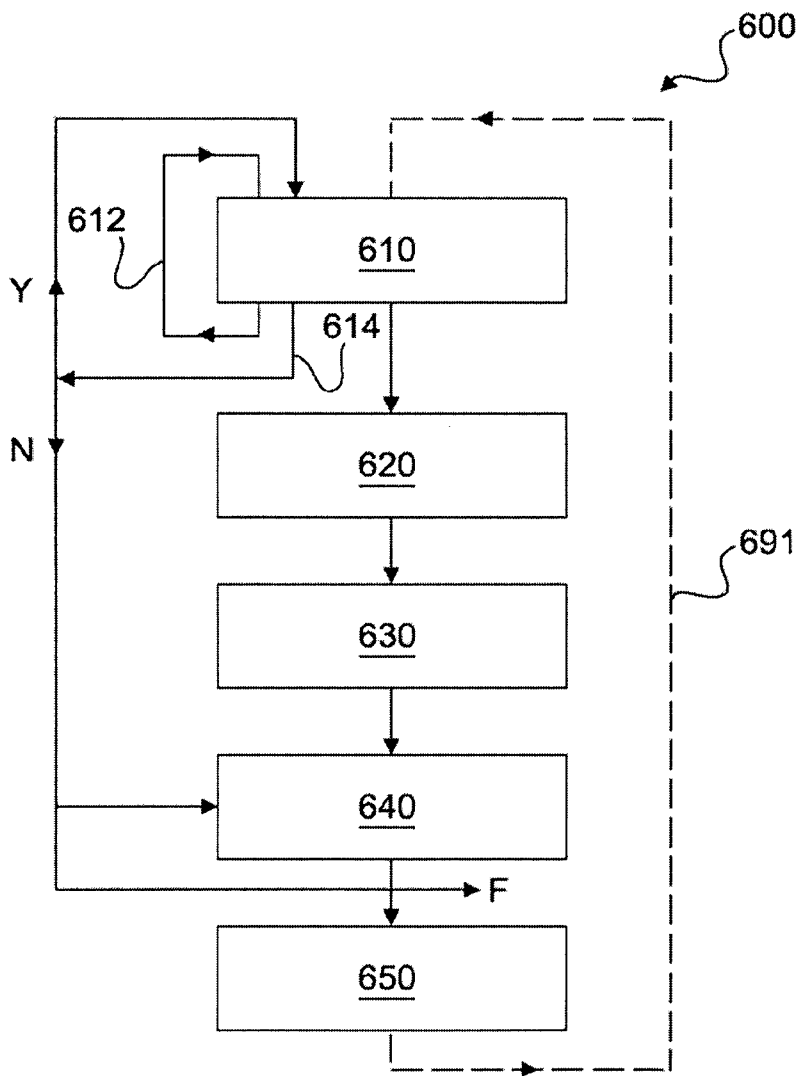


Fig.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/060794

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02J3/38 H02J3/46 H02J3/24
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H02J
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	WO 2014/131454 A1 (SIEMENS AG) 4 September 2014 (2014-09-04) page 7, line 21 - page 8, line 11 page 12, line 18 - page 13, line 7; figure 1	1-8, 12-15 10,11 9
X Y	EP 2 482 418 A1 (SIEMENS AG [DE]) 1 August 2012 (2012-08-01) paragraphs [0033], [0034]; figure 1	4-6 10,11

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

4 July 2017

Date of mailing of the international search report

13/07/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Telega, Pawel

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/060794

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2014131454 A1	04-09-2014	EP 2941808 A1	11-11-2015
		EP 3109463 A1	28-12-2016
		EP 3109464 A1	28-12-2016
		EP 3109966 A1	28-12-2016
		WO 2014131454 A1	04-09-2014

EP 2482418 A1	01-08-2012	CA 2766280 A1	01-08-2012
		CN 102629767 A	08-08-2012
		EP 2482418 A1	01-08-2012
		US 2012193991 A1	02-08-2012

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H02J3/38 H02J3/46 H02J3/24 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H02J		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 2014/131454 A1 (SIEMENS AG) 4. September 2014 (2014-09-04)	1-8, 12-15
Y	Seite 7, Zeile 21 - Seite 8, Zeile 11	10,11
A	Seite 12, Zeile 18 - Seite 13, Zeile 7; Abbildung 1	9

X	EP 2 482 418 A1 (SIEMENS AG [DE]) 1. August 2012 (2012-08-01)	4-6
Y	Absätze [0033], [0034]; Abbildung 1	10,11

<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
4. Juli 2017		13/07/2017
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Telega, Pawel

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/060794

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2014131454 A1	04-09-2014	EP 2941808 A1	11-11-2015
		EP 3109463 A1	28-12-2016
		EP 3109464 A1	28-12-2016
		EP 3109966 A1	28-12-2016
		WO 2014131454 A1	04-09-2014

EP 2482418 A1	01-08-2012	CA 2766280 A1	01-08-2012
		CN 102629767 A	08-08-2012
		EP 2482418 A1	01-08-2012
		US 2012193991 A1	02-08-2012
