

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
27. Mai 2010 (27.05.2010)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/057762 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02P 9/00 (2006.01) **H02P 9/10** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/064365

(22) Internationales Anmeldedatum:
30. Oktober 2009 (30.10.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 037 566.7
19. November 2008 (19.11.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **WOODWARD SEG GMBH & CO. KG** [DE/
DE]; Krefelder Weg 47, 47906 Kempen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **ENGELHARDT, Ste-
phan** [DE/DE]; Löwenkamp 17a, 47665 Sonsbeck (DE).
KRETSCHMANN, Joerg [DE/DE]; Friedrich-Vogts-
Straße 7, 47906 Kempen (DE).

(74) Anwälte: **ZIEBELL, Arnd** et al.; Cohausz & Florack,
Bleichstraße 14, 40211 Düsseldorf (DE).

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

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

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE FOR REGULATING A DOUBLE-FED ASYNCHRONOUS MACHINE

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG ZUR REGELUNG EINER DOPPELT GESPEISTEN ASYNCHRONMASCHINE

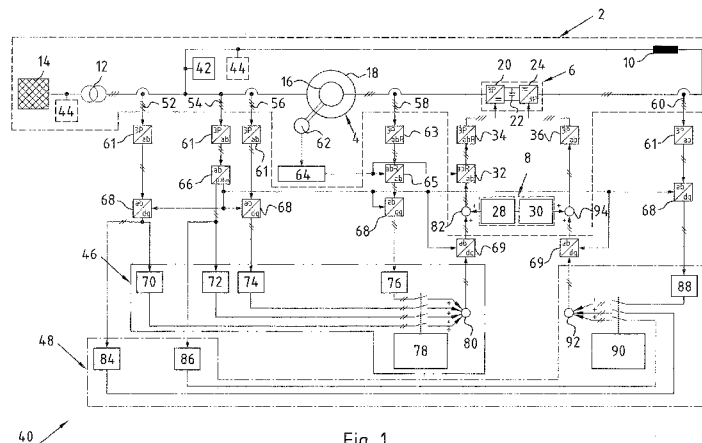


Fig. 1

(57) Abstract: The invention relates to a device for regulating a double-fed asynchronous machine (4), preferably for a power generation plant, particularly for a wind turbine or hydroelectric power plant, comprising an indirect converter (6), which is connected to the double-fed asynchronous machine (4) on the rotor side, wherein the indirect converter (6) comprises a converter (20) on the rotor side and a converter (24) on the power-grid side, and at least one control element (8) is provided for regulating the indirect converter (6), wherein at least one software- and/or hardware-based damping element (40, 46, 48, 120) having variable damping characteristics is provided. The invention further relates to a method for regulating a double-fed asynchronous machine (4) using an indirect converter (6) and a device according to the invention, wherein power-grid characteristics are determined, particularly measured, wherein hardware- and/or software-based damping elements (40, 46, 48, 120) having variable damping characteristics are provided, and the damping characteristics of at least one hardware- and/or software-based damping element (40, 46, 48, 120) are subsequently adapted. The invention further relates to a computer program, a computer program product, and a wind turbine or hydroelectric power plant for generating electrical energy using a double-fed asynchronous machine.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/057762 A2

**Veröffentlicht:**

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

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine (4), vorzugsweise für eine Energieerzeugungsanlage, insbesondere für eine Wind- oder Wasserkraftanlage, mit einem Zwischenkreisumrichter (6), welcher rotorseitig an die doppelt gespeiste Asynchronmaschine (4) angeschlossen ist, wobei der Zwischenkreisumrichter (6) einen rotorseitigen (20) und einen netzseitigen Umrichter (24) aufweist, und mindestens ein Regelglied (8) zur Regelung des Zwischenkreisumrichters (6) vorgesehen ist, wobei mindestens ein Software- und/oder Hardware-basiertes Dämpfungsglied (40, 46, 48, 120) vorgesehen ist, welches veränderbare Dämpfungseigenschaften aufweist. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine (4) mit einem Zwischenkreisumrichter (6) und einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei dem Netzeigenschaften ermittelt, insbesondere gemessen werden, wobei Hardware- und/oder Software-basierte Dämpfungsglieder (40, 46, 48, 120) vorgesehen sind, welche veränderbare Dämpfungseigenschaften aufweisen, und die Dämpfungseigenschaften mindestens eines Hardware- und/oder Software-basierten Dämpfungsgliedes (40, 46, 48, 120) nachträglich angepasst werden. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Computerprogramm, ein Computerprogrammprodukt, sowie eine Wind- oder Wasserkraftanlage zur Erzeugung elektrischer Energie mit einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine.

**Vorrichtung zur Regelung einer doppelt gespeisten
Asynchronmaschine**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine, vorzugsweise für eine
5 Energieerzeugungsanlage, insbesondere für eine Wind- oder Wasserkraftanlage, mit einem Zwischenkreisumrichter, welcher rotorseitig an die doppelt gespeiste Asynchronmaschine angeschlossen ist, wobei der Zwischenkreisumrichter einen rotorseitigen und einen netzseitigen Umrichter aufweist, und
10 mindestens ein Regelglied zur Regelung des Zwischenkreisumrichters vorgesehen ist. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine, vorzugsweise für eine Energieerzeugungsanlage. Die Erfindung betrifft weiterhin ein
15 Computerprogramm, ein Computerprogrammprodukt, sowie eine Wind- oder Wasserkraftanlage zur Erzeugung elektrischer Energie mit einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine.

Doppelt gespeiste Asynchronmaschinen werden üblicherweise bei
20 Anlagen mit variabler Rotordrehzahl, insbesondere bei Wind- oder Wasserenergieanlagen eingesetzt. Unter Verwendung eines an den Rotor angeschlossenen Zwischenkreisumrichters kann die Rotorspannung so geregelt werden, dass die Frequenz und die Phasenlage der Statorspannung trotz variabler Rotordrehzahl
25 konstant bleibt. Der Stator kann somit direkt oder über einen Transformator an das Netz angeschlossen werden. Die einschlägigen Standards für die Grenzwerte von Oberschwingungs-Netzurückwirkungen machen den Einsatz von

Netzfiltern für das doppelt gespeiste System erforderlich.
Abhängig von den Impedanzen des Netzes und dem Design des
Netzfilters ergeben sich daraus Resonanz-Eigenschaften der
Reglungsstrecke, die in einigen Fällen zu einer Instabilität
5 des Gesamtsystems aus Regelungsstrecke und Regelungssystem
führen können, die sowohl das Regelungssystem für den
rotorseitigen Umrichter als auch das Regelungssystem für den
netzseitigen Umrichter betrifft. Die Wahrscheinlichkeit für
derartige Instabilitäten wächst mit zunehmender Anzahl von
10 parallel geschalteten Einzelfiltern und kann insbesondere bei
großen Windparks zu Abschaltung von Anlagen und auch zur
Zerstörung von Komponenten führen. Zur Dämpfung solcher
Resonanzen werden im Stand der Technik bei der Auslieferung
des Systems bzw. bei seiner Installation an den jeweiligen
15 Anlagenstandort angepasste, speziell dimensionierte
Netzfilter eingebaut, welche eine unveränderbare
frequenzabhängige Dämpfung aufweisen, wie beispielsweise in
Durstewitz et al., "Netzspezifische Filterauslegung",
Kasseler Symposium Energie-Systemtechnik 1998, beschrieben
20 wird.

In einem Windpark ändert sich die Wahrscheinlichkeit für das
Auftreten von Instabilitäten, wenn der Windpark um eine neue
Windenergieanlage erweitert wird oder wenn eine
25 Windenergieanlage, z.B. zu Wartungszwecken, vom Netz getrennt
wird. Durch derartige Änderungen können sogar neue Resonanzen
im System entstehen. Dies hat zur Folge, dass die bisher
bekannten Netzfilter aus dem Stand der Technik nicht mehr
optimal an die veränderten Resonanzeigenschaften des Systems
30 angepasst sind und die Resonanzen nicht mehr ausreichend
dämpfen, so dass es zu einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit
für ein Auftreten von Systeminstabilitäten kommt.

Gegebenenfalls muss der Netzfilter sogar ausgebaut und ein neuer Netzfilter mit einer auf die neuen Resonanzeigenschaften des Systems angepassten, festen frequenzabhängigen Dämpfung eingebaut werden. Dies ist mit hohen Kosten verbunden.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zu Grunde, eine Vorrichtung zur Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine zur Verfügung zu stellen, bei welcher die Dämpfung an veränderte Resonanzeigenschaften angepasst werden kann.

Diese technische Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass mindestens ein Software- und/oder Hardware-basiertes Dämpfungsglied vorgesehen ist, welches veränderbare Dämpfungseigenschaften aufweist. Weitere Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Auf diese Weise wird erreicht, dass bei einer Änderung der Resonanzeigenschaften eines Systems mit einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine und einem geregelten Zwischenkreisumrichter die Dämpfungseigenschaften des mindestens einen Dämpfungsglieds an unterschiedliche Resonanzeigenschaften des Netzes angepasst werden können. Ein mit hohen Kosten verbundener Austausch eines Netzfilters wird dadurch vermieden.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung sind die Dämpfungseigenschaften des mindestens einen Dämpfungsglieds im Frequenzbereich bis 2000 Hz, vorzugsweise bis 1200 Hz variabel einstellbar. Es hat sich gezeigt, dass kritische Resonanzen eines Systems mit einer doppelt gespeisten

Asynchronmaschine und einem geregelten Zwischenkreisumrichter in dem Frequenzbereich bis 2000 Hz, insbesondere bis 1200 Hz auftreten. Die Eingrenzung des Frequenzbereiches erlaubt den Einsatz einfacher und preisgünstiger Dämpfungsglieder.

5

Ein besonders einfaches und kostengünstiges Dämpfungsglied wird in einer bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung dadurch erreicht, dass das Hardware-basierte Dämpfungsglied wenigstens eine resistive und/oder eine induktive Komponente aufweist, welche in ihrer Impedanz veränderbar ist. Dabei stellt die Ausführungsform mit entweder einer resistiven oder einer induktiven Komponente, die in ihrer Impedanz veränderbar ist, eine besonders einfache und kostengünstige Variante dar. Durch die Ausführungsform mit einer resistiven und einer induktiven Komponenten, die jeweils in ihren Impedanzen veränderbar sind, wird eine besonders große Anpassungsfähigkeit des Dämpfungsgliedes erreicht. Es ist auch denkbar, dass das Dämpfungsglied eine kapazitive Komponente aufweist, welche in ihrer Impedanz veränderbar ist.

20

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung weist die wenigstens eine resistive und/oder induktive Komponente mehrere Abgriffe oder Anzapfungen auf. Die Größe des Widerstandes bzw. der Induktivität kann bei den verschiedenen Abgriffen bzw. Anzapfungen gleich oder verschieden groß sein und die Abgriffe bzw. Anzapfungen können je nach den gewünschten Dämpfungseigenschaften variabel angeschlossen werden. Auf diese Weise wird auf eine besonders einfache Art erreicht, dass das Dämpfungsglied veränderbare Dämpfungseigenschaften aufweist. So können die Dämpfungseigenschaften einfach über die Wahl der Abgriffe

30

bzw. der Anzapfungen des Widerstands bzw. der Induktivität beeinflusst werden.

Die Anpassung der Dämpfungseigenschaften an veränderte
5 Resonanzeigenschaften des Netzes wird in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung dadurch erreicht, dass ein Software-basiertes netzseitiges und/oder rotorseitiges Dämpfungsglied vorgesehen ist, welches ein Dämpfungssignal erzeugt. Durch diese Software-basierte
10 Anpassung der Dämpfungseigenschaften kann eine Anpassung an veränderte Netzeigenschaften besonders einfach und schnell vorgenommen werden. Unter den Netzeigenschaften werden insbesondere die Resonanzeigenschaften des Netzes verstanden. Die Verwendung entweder eines Software-basierten
15 rotorseitigen Dämpfungselementes oder eines Software-basierten netzseitigen Dämpfungselementes ist besonders einfach, da nur ein Dämpfungselement angepasst werden muss. Die Benutzung eines Software-basierten rotorseitigen Dämpfungselementes und eines Software-basierten netzseitigen
20 Dämpfungselementes führt zu einer besonders effektiven Dämpfung, da das System sowohl rotorseitig als auch netzseitig gedämpft wird.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung
25 sind Mittel vorgesehen, welche das in den Umrichter gespeiste Stellsignal seriell oder parallel aus dem mit dem Regelglied erzeugten Regelsignal und dem Dämpfungssignal erzeugen. Unter dem Stellsignal wird das Signal verstanden, mit dem der netzseitige und/oder rotorseitige Umrichter angesteuert wird.
30 So kann bei der parallelen Erzeugung beispielsweise ein Additionsmodul vorgesehen sein, in dem das Regelsignal und das Dämpfungssignal addiert werden. Bei der seriellen

Erzeugung des Stellsignals dient das Regelsignal als Eingangsgröße des Dämpfungssignals oder umgekehrt.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Vorrichtung wird dadurch erreicht, dass Mittel vorgesehen sind, durch die der Statorstrom i_s , die Statorspannung u_s , der Strom des rotorseitigen Umrichters i_{MSC} , der Netzstrom i_G und/oder die Netzspannung u_G ermittelt werden und als Eingangsgrößen am rotorseitigen Dämpfungsglied zur Verfügung stehen. Es hat sich gezeigt, dass diese Eingangsgrößen insbesondere wegen ihrer Frequenzgänge besonders gut zur Erzeugung des rotorseitigen Dämpfungssignals geeignet sind. Bevorzugt wird der Strom des rotorseitigen Umrichters oder der Statorstrom gewählt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung sind Mittel vorgesehen, durch die der Strom des netzseitigen Umrichters i_{LSC} , der Netzstrom i_G , die Netzspannung u_G , die Spannung des netzseitigen Wechselrichterzweiges des Dreiphasentransformators $u_{tr,LSC}$ und/oder die Statorspannung u_s ermittelt werden und als Eingangsgrößen am netzseitigen Dämpfungsglied zur Verfügung stehen. Es hat sich gezeigt, dass diese Eingangsgrößen insbesondere wegen ihrer Frequenzgänge besonders gut zur Erzeugung des netzseitigen Dämpfungssignals geeignet sind. Bevorzugt wird der Strom des netzseitigen Umrichters i_{LSC} gewählt.

Eine besonders gute Anpassung der Dämpfungseigenschaften des mindestens einen Dämpfungsgliedes wird in einer weiteren Ausführungsform der Vorrichtung dadurch erreicht, dass Mittel vorgesehen sind, mit denen die Regelstrecke des Zwischenkreisumrichters in einem Frequenzbereich bis 2000 Hz,

vorzugsweise bis 1200 Hz angeregt werden kann. Unter der Regelstrecke des Zwischenkreisumrichters wird das System aus der doppelt gespeisten Asynchronmaschine, des Zwischenkreisumrichters, des zugehörigen Regelgliedes, sowie ggf. weitere angeschlossene Komponenten verstanden. Durch die Anregung der Regelstrecke ist es möglich, anhand der Antwort des Systems auf diese Anregung die Resonanzeigenschaften dieses Systems zu messen. Die Anregung wird bevorzugt in dem Frequenzbereich bis 2000 Hz, insbesondere bis 1200 Hz durchgeführt, da in diesem Bereich in der Regel besonders kritische Resonanzen des Systems auftreten. Für die Anregung der Regelstrecke eignet sich besonders ein Frequenzgenerator oder ein Pulsgeber.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung sind Mittel vorgesehen, mit denen die Dämpfungsfunktion für mindestens ein Dämpfungsglied berechnet werden kann. Als Eingangsgröße für diese Berechnung können z.B. die Ergebnisgrößen, d.h. die Antwort des Systems, aus der oben beschriebenen Messung der Resonanzeigenschaften dienen. Auf diese Weise ist die Anpassung der Dämpfungseigenschaften des Dämpfungsgliedes besonders einfach und schnell möglich, da die Berechnung der Dämpfungsfunktion, insbesondere die Berechnung der Übertragungsfunktion $G(z)$, weitgehend automatisch erfolgt und keine separate Berechnung der Dämpfungsfunktion, beispielsweise auf einem zusätzlichen Computer, erforderlich ist. Für die Mittel zur Berechnung eignet sich besonders ein mit einem Mikroprozessor gesteuertes Modul, welches bevorzugt einen elektronischen Speicher mit Befehlen enthält, deren Ausführung durch den Mikroprozessor die Berechnung der Dämpfungsfunktion bewirkt. Diese Ausführungsform ist besonders vorteilhaft in

Kombination mit den Merkmalen der Ausführungsform, bei der Mittel vorgesehen sind, mit denen die Regelstrecke des Zwischenkreisumrichters in einem Frequenzbereich bis 2000 Hz, vorzugsweise bis 1200 Hz angeregt werden kann. So ist es beispielsweise denkbar, dass durch die Anregung der Regelstrecke die Resonanzeigenschaften des Systems ermittelt werden, aus denen dann mit den Mitteln zur Berechnung der Dämpfungsfunktion eine geeignete Dämpfungsfunktion unmittelbar berechnet werden kann.

Eine effektive Dämpfung von Resonanzen wird in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung dadurch erreicht, dass mindestens ein Dämpfungsglied eine Phasenverschiebung bewirkt, welche zu einer Dämpfung führt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung bewirkt mindestens ein Dämpfungsglied einen im Wesentlichen über den gesamten Frequenzbereich bis 2000 Hz, vorzugsweise bis 1200 Hz, konstanten zusätzlichen Phasenvorschub. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, dass die Verbesserung der Stabilitäts-Eigenschaften in einem größeren Frequenzbereich derart bewirkt wird, dass in sehr vielen Fällen eine individuelle Anpassung des Software-basierten Dämpfungsgliedes an die jeweilig unterschiedlichen Resonanzeigenschaften des Netzes überflüssig wird und statt dessen eine konstante Parametrierung des Software-basierten Dämpfungsgliedes für die meisten Netzkonfigurationen und Eigenschaften möglich ist. Auf diese Weise ist es auch möglich, Totzeiten des Regelgliedes auszugleichen.

Die Anpassung der Dämpfungseigenschaften wird in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Vorrichtung dadurch

vereinfacht, dass mindestens ein Dämpfungsglied vorgesehen ist, welches unveränderbare Dämpfungseigenschaften aufweist. Auf diese Weise können Resonanzen, die nur schwach von den Netzeigenschaften abhängig sind, gedämpft werden. Dadurch wird erreicht, dass das Dämpfungsglied, welches veränderbare Dämpfungseigenschaften aufweist, nur für die übrigen Resonanzen angepasst werden muss. Dies erlaubt den Einsatz einfacherer Dämpfungsglieder.

Die technische Aufgabe wird weiterhin mit einem Verfahren dadurch gelöst, dass Hardware- und/oder Software-basierte Dämpfungsglieder vorgesehen sind, welche veränderbare Dämpfungseigenschaften aufweisen, und die Dämpfungseigenschaften mindestens eines Hardware- und/oder Software-basierten Dämpfungsgliedes nachträglich angepasst werden. Weitere Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Auf diese Weise kann auf einen teuren nachträglichen Austausch eines Hardware-basierten Netzfilters mit einer festen frequenzabhängigen Dämpfung verzichtet werden. Dies führt zu einer Kostenersparnis.

Vorzugsweise wird die Anpassung der Dämpfungseigenschaften jeweils nach einer Änderung der Netzeigenschaften durchgeführt. Auf die Änderung von Netzeigenschaften kann so sofort reagiert werden. Der Austausch von Hardware-basierten Netzfiltern mit einer festen frequenzabhängigen Dämpfung wird daher vermieden.

Eine besonders effektive und schnelle Dämpfung der Resonanzen in dem System wird in einer weiteren bevorzugten

Ausführungsform des Verfahrens dadurch erreicht, dass die Regelstrecke im Frequenzbereich bis 2000 Hz, vorzugsweise bis 1200 Hz angeregt, die Antwortfunktion der Regelstrecke gemessen und mindestens ein Dämpfungsglied in Abhängigkeit der Antwortfunktion angepasst wird. Auf diese Weise ist es möglich, die Anpassung des Dämpfungsgliedes weitgehend oder vollständig zu automatisieren. Das Dämpfungsglied kann so einfach und schnell angepasst werden. So ist es denkbar, dass das Verfahren einmalig bei Installation der Anlage, regelmäßig in Intervallen oder jeweils bei Bedarf angewendet und die Dämpfung der Resonanzen in dem System optimiert wird.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens werden der Statorstrom i_s , die Statorspannung u_s , der Strom des rotorseitigen Umrichters i_{MSC} , der Strom des netzseitigen Umrichters i_{LSC} , die Spannung des netzseitigen Wechselrichterzweiges des Dreiphasentransformators $u_{tr,LSC}$, der Netzstrom i_g und/oder die Netzspannung u_g ermittelt und von mindestens einem Dämpfungsglied ein von mindestens einer dieser Größen abhängiges Dämpfungssignal erzeugt. Es hat sich gezeigt, dass diese Eingangsgrößen insbesondere wegen ihrer Frequenzgänge besonders gut zur Erzeugung des netz- und/oder rotorseitigen Dämpfungssignals geeignet sind.

Eine besonders effektive Dämpfung der Resonanzen wird in einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens dadurch erreicht, dass das Dämpfungssignal in mit Netzfrequenz mitbewegten dq-Koordinaten berechnet wird. Auf diese Weise liegt der eingeschwungenen Zustand der Regelung, das heißt der Zustand, bei dem ausschließlich die Netzfrequenz auftritt, bei 0 Hz. Die Übertragungsfunktion kann dann in

einfacher Weise so gewählt werden, dass die Dämpfung bei dieser Frequenz Null ist.

- In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird das netzseitig und/oder rotorseitig in den Umrichter gespeiste Stellsignal aus einem Dämpfungssignal und dem netzseitigen und/oder rotorseitigen Regelsignal, insbesondere durch Addition, erzeugt, wobei optional jeweils ein Dämpfungsglied zur Erzeugung des Dämpfungssignals vorgesehen ist. Der Vorteil dieser Ausführungsform liegt darin begründet, dass unmittelbar auf das Regelsignal des Regelgliedes aktiv Einfluss genommen werden kann, um Dämpfungseigenschaften zu verändern.
- Eine besonders einfache Beaufschlagung des Systems mit dem Dämpfungssignal wird in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens dadurch erreicht, dass die Kombination, insbesondere die Addition des Dämpfungssignals mit dem Regelsignal in ruhenden ab-Koordinaten erfolgt. Dies ist vorteilhaft, da das Regelsignal in der Regel bereits in ab-Koordinaten vorliegt und somit keine Transformation des Regelsignals in ein anderes Koordinatensystem erforderlich ist.
- Die der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe wird auch durch ein Computerprogramm gelöst, wobei das Computerprogramm Befehle aufweist, deren Ausführung einen Prozessor veranlasst, das erfindungsgemäße Verfahren zur Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine durchzuführen. Das vorgestellte Regelverfahren bei Software-basierten Dämpfungsgliedern eignet sich sehr gut zur Implementierung auf einem Mikroprozessor, der beispielsweise als

Eingangsgrößen den Statorstrom i_s , die Statorspannung u_s , den Strom des rotorseitigen Umrichters i_{MSC} , den Strom des netzseitigen Umrichters i_{LSC} , die Spannung des netzseitigen Wechselrichterzweiges des Dreiphasentransformators $u_{tr,LSC}$, den
5 Netzstrom i_G und/oder die Netzspannung u_G erhält und als Ausgangsgröße das Dämpfungssignal ausgibt. Eine nachträgliche Anpassung der Dämpfungsfunktion ist damit möglich. Diese kann beispielsweise nach festgelegten Intervallen oder bei Bedarf durchgeführt werden.

10

Die der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe wird auch durch ein Computerprogrammprodukt gelöst, wobei das Computerprogrammprodukt ein Computerprogramm enthält mit Befehlen, deren Ausführung einen Prozessor veranlasst, das
15 erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen. Das Computerprogrammprodukt kann beispielsweise ein Wechseldatenträger, wie zum Beispiel eine Speicherkarte, eine Diskette oder eine CD sein, auf der mindestens ein Computerprogramm mit den Befehlen zur Ausführung des
20 erfindungsgemäßen Verfahrens abgespeichert ist.

Die der Erfindung zu Grunde liegende Aufgabe wird schließlich durch eine Wind- oder Wasserkraftanlage zur Erzeugung elektrischer Energie mit einer doppelt gespeisten
25 Asynchronmaschine gelöst, in welcher eine erfindungsgemäße Vorrichtung vorgesehen ist.

Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden in der Beschreibung der Ausführungsbeispiele näher
30 erläutert. In den Zeichnungen zeigen

- Fig. 1 ein Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine,
- 5 Fig. 2 ein Blockschaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine,
- 10 Fig. 3 ein Diagramm mit der Sprungantwort für ein drittes Ausführungsbeispiel einer Übertragungsfunktion,
- Fig. 4 ein Diagramm mit dem Frequenzgang der Amplitude des Ausführungsbeispiels aus Fig. 3,
- 15 Fig. 5 ein Diagramm mit dem Frequenzgang der Phase des Ausführungsbeispiels aus Fig. 3,
- 20 Fig. 6 ein Blockschaltbild eines vierten Ausführungsbeispiels für ein Hardware-basiertes Dämpfungsglied,
- Fig. 7 ein Blockschaltbild eines fünften Ausführungsbeispiels zur Durchführung eines Verfahrens zur Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine mit einem Computerprogramm durch einen Prozessor und
- 25 Fig. 8 ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels eines Windparks mit Windkraftanlagen mit einer
- 30

erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Regelung einer
doppelt gespeisten Asynchronmaschine.

Fig. 1 zeigt das Blockschaltbild eines ersten

5 Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur
Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine 4. In dem
dargestellten Ausführungsbeispiel ist die doppelt gespeiste
Asynchronmaschine 4 in einem System 2 angeordnet, wobei das
System einen Zwischenkreisumrichter 6, ein Regelglied 8, eine
10 Drossel 10, einen optionalen Transformator 12 und ein Netz 14
aufweist. Die doppelt gespeiste Asynchronmaschine 4 kann
beispielsweise in einem Windkraftwerk oder einem
Wasserkraftwerk zur Erzeugung elektrischer Energie verwendet
werden. Sie weist einen Rotor 16 und einen Stator 18 auf. Der
15 Zwischenkreisumrichter 6 weist einen rotorseitigen Umrichter
20, einen Zwischenkreis 22 und einen netzseitigen Umrichter
24 auf, wobei der rotorseitige Umrichter 20 mit dem
Zwischenkreis 22 und der Zwischenkreis 22 mit dem
netzseitigen Umrichter 24 elektrisch verbunden ist. Der Rotor
20 16 ist elektrisch mit dem rotorseitigen Umrichter 20
verbunden. Die Drossel 10 ist elektrisch mit dem netzseitigen
Umrichter 24 sowie dem Stator 18 verbunden. Das Regelglied 8
weist ein rotorseitiges Regelglied 28 und ein netzseitiges
Regelglied 30 auf. Die Regelsignale werden im Regelglied 8 in
25 ruhenden ab-Koordinaten erzeugt. Für die Regelung des
rotorseitigen Umrichters ist daher eine Transformation in
rotorfeste abR-Koordinaten mit einem ab/abR-Wandler 32 nötig.
Die für diese Transformation notwendige Eingangsgröße der
Rotorposition wird über einen am Rotor 16 angeschlossenen
30 Drehmesser 62 ermittelt und über einen daran angeschlossenen
Wertgeber 64 an den ab/abR-Wandler 32 weitergeleitet. Der
abR/3P-Wandler 34 transformiert das Regelsignal aus dem abR-

Koordinatensystem in das dreiphasige 3P-Koordinatensystem. Der ab/3P-Wandler 36 transformiert das Regelsignal direkt aus dem ab- in das 3P-Koordinatensystem. Das bisher beschriebene System 2 stellt den Stand der Technik dar. Gemäß dem

5 vorliegenden Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung zeigt das in Fig. 1 dargestellte Blockschaltbild ein Software-basiertes Dämpfungsglied 40 sowie ein optionales Hardware-basiertes Dämpfungsglied 44. Das Hardware-basierte Dämpfungsglied 44 kann beispielsweise wie das in Fig. 6

10 gezeigte Dämpfungsglied ausgebildet sein. Weiterhin ist noch ein Netzfilter 42 mit unveränderbaren Dämpfungseigenschaften vorgesehen.

Das Software-basierte Dämpfungsglied 40 weist ein

15 rotorseitiges Dämpfungsglied 46 und ein statorseitiges Dämpfungsglied 48 auf. Die gemessenen Größen Netzstrom i_G 52, Statorspannung u_s 54, Statorstrom i_s 56, der Strom des rotorseitigen Umrichter i_{MSC} 58 sowie der Strom des netzseitigen Umrichter i_{LSC} 60 werden mit jeweils einem 3P/ab-

20 Wandler 61 bzw. mit einem 3P/abR-Wandler 63 und einem abR/ab-Wandler 65 zunächst in ruhende ab-Koordinaten transformiert. Die Statorspannung u_s wird weiter über einen ab/polar-Wandler 66 in das Polar-Koordinatensystem transformiert. Die Werte für den Netzstrom i_G , den Statorstrom i_s , den Rotorstrom i_{MSC}

25 und den Drosselstrom i_{LSC} werden durch ab/dq-Wandler 66 weiter vom ab-Koordinatensystem in das mit Netzfrequenz rotierende dq-Koordinatensystem transformiert. Der für diese Transformation notwendige Wert der Phase der Statorspannung wird von dem ab/polar-Wandler 66 an alle ab/dq-Wandler 68

30 weitergeleitet. Die Werte des Netzstroms i_G , der Statorspannung u_G , des Statorstroms i_s sowie des Stroms des rotorseitigen Umrichters i_{MSC} liegen als Eingangsgrößen am

rotorseitigen Dämpfungsglied 46 an. Das rotorseitige Dämpfungsglied weist Module 70, 72, 74 und 76 auf, in die jeweils eine der anliegenden Eingangsgrößen eingespeist und mit Hilfe einer zugehörigen Übertragungsfunktion die jeweilige Ausgangsgröße berechnet wird. Das Modul 70 bestimmt aus der Eingangsgröße des Netzstroms i_G mit der zeitdiskreten Übertragungsfunktion $G_{iG,r}[z]$ eine zugehörige Ausgangsgröße. Analog berechnet das Modul 72 entsprechend $G_{uS,r}[z]$ aus der Statorspannung u_S , das Modul 74 entsprechend $G_{iS,r}[z]$ aus dem Statorstrom i_S und das Modul 76 entsprechend $G_{iMSC,r}[z]$ aus dem Strom des rotorseitigen Umrichter i_{MSC} die jeweils zugehörige Ausgangsgröße. Die Übertragungsfunktionen sind vorzugsweise so gewählt, dass die Resonanzen des Systems 2 durch das Dämpfungsglied 46 rotorseitig gedämpft werden.

In dem Addierer 80 werden die in den Modulen 70, 72, 74 und 76 berechneten Signale selektiv addiert. Die Selektion der Signale erfolgt durch den Block 78. Bei der Selektion werden dabei beispielsweise die Netzzustände und die verfügbare Sensorik berücksichtigt. Auf diese Weise kann die Erzeugung des Dämpfungssignals an die Eingangsgrößen mit den besten Übertragungseigenschaften angepasst werden. Mit einem dq/ab-Wandler 69 wird das rotorseitige Dämpfungssignal dann von synchronen dq-Koordinaten in ab-Koordinaten transformiert, so dass es in dem Additionsmodul 82 zu dem ebenfalls in ab-Koordinaten vorliegenden Signal des rotorseitigen Regelgliedes 28 addiert werden kann. Auf diese Weise wird unmittelbar auf das Regelsignal des Regelgliedes 28 aktiv Einfluss genommen, um die Dämpfungseigenschaften zu verändern. Die Werte des Netzstroms i_G 52, der Statorspannung u_S 54 und des Stroms des netzseitigen Umrichters i_{LSC} 60 liegen als Eingangsgrößen an den Modulen 84, 86 und 88 an.

Das Modul 84 bestimmt aus der Eingangsgröße Netzstrom i_G mit der zeitdiskreten Übertragungsfunktion $G_{iG,s}[z]$ eine zugehörige Ausgangsgröße. Analog berechnet das Modul 86 entsprechend $G_{uS,s}[s]$ aus der Statorspannung u_s und das Modul 88 entsprechend $G_{iLSC,s}[z]$ aus dem Strom des netzseitigen Umrichters i_{LSC} die jeweils zugehörige Ausgangsgröße. Die Übertragungsfunktionen sind dabei so gewählt, dass die Resonanzen des Systems 2 durch das Dämpfungsglied 48 netzseitig gedämpft werden. In dem Addierer 92 werden die in den Modulen 84, 86 und 88 berechneten Signale selektiv addiert. Die Selektion der Signale erfolgt durch den mit dem Block 78 vergleichbaren Block 90. Das netzseitige Dämpfungssignal wird dann mit einem dq/ab-Wandler 69 in ab-Koordinaten transformiert, so dass es in dem Additionsmodul 94 zu dem ebenfalls in ab-Koordinaten vorliegenden Signal des netzseitigen Regelgliedes 30 addiert werden kann.

Fig. 2 zeigt das Blockschaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine 4. Das zweite Ausführungsbeispiel ist besonders für große Megawatt-Windanlagen geeignet. Im Unterschied zum ersten Ausführungsbeispiel wird ein Dreiwicklungstransformator 100 zum Anschluss der doppelt gespeisten Asynchronmaschine 4 an das Netz verwendet. Damit ist das dargestellte Ausführungsbeispiel auch für die Abgabe sehr hoher elektrischer Leistungen geeignet. Weiterhin ist ein weiterer Filter 102 im Statorzweig angeschlossen. Der weitere Filter kann beispielsweise ein Hardware-basiertes Dämpfungsglied mit unveränderlichen Dämpfungseigenschaften aufweisen. Zwischen der Drossel 10 und dem Transformator 100 wird die Spannung des netzseitigen Wechselrichterzweiges $u_{tr,LSC}$ 106 abgegriffen

und über zwei Wandler 36, 68 in dq-Koordinaten transformiert. Auch die Netzspannung u_G 50 wird über zwei Wandler 36, 38 in dq-Koordinaten transformiert. In Modul 108 wird mit der Übertragungsfunktion $G_{uG,r}[z]$ und der Netzspannung u_G ein
5 weiteres Signal erzeugt, welches zu den zuvor beschriebenen Signalen des rotorseitigen Dämpfungsgliedes 46 selektiv addiert werden kann. Das netzseitige Dämpfungsglied 48 wird um zwei weitere selektiv addierbare Signale erweitert. Dies sind zum einen das aus Netzspannung u_G sowie der
10 Übertragungsfunktion $G_{uG,s}[z]$ in Modul 110, sowie zum anderen aus der Spannung des netzseitigen Wechselrichterzweiges des Dreiphasentransformators $u_{tr,LSC}$ sowie der Übertragungsfunktion $G_{utr,LSC,s}[z]$ in Modul 112 erzeugte Signal. In Fig. 2 ist weiterhin ein optionales Anregungsglied 114 vorgesehen,
15 welches alternativ auch an einer anderen Stelle angeschlossen werden kann. Das Anregungsglied weist einen Signalgeber auf, der ein Signal in einem Frequenzbereich bis 2000 Hz, vorzugsweise bis 1200 Hz erzeugen und damit die Regelstrecke des Zwischenkreisumrichters anregen kann. Das Anregungsglied
20 114 kann weiterhin Messgeräte aufweisen, welche die Antwortfunktion der Regelstrecke messen. Das Anregungsglied 114 kann beispielsweise eine elektronische Schaltung, insbesondere einen Mikroprozessor und einen Speicher mit Befehlen, enthalten, die aus der gemessenen Antwortfunktion
25 der Regelstrecke neue Übertragungsfunktionen für die Module 70, 72, 74, 76, 84, 88, 108, 110 berechnen und in diese über eine elektrische Datenverbindung (nicht gezeigt) einspeisen.

In den Fig. 3-5 sind berechnete Ergebnisse eines
30 Ausführungsbeispiels dargestellt. Als Übertragungsfunktion $G(z)$ kann die folgende diskrete Funktion gewählt werden:

$$\underline{G}(z) = \frac{\underline{A}(z^{-1})}{\underline{E}(z^{-1})} = \frac{\sum_{j=1}^m (1 + \underline{C}_j \cdot z^{-1})^j - \sum_{j=1}^m (1 + \underline{C}_j)^j}{1 + \sum_{k=1}^n \underline{D}_k \cdot z^{-k}} \cdot \underline{V} \quad (1)$$

mit

$$\underline{V} = V \cdot e^{j\psi} \quad (2)$$

5

Dabei ist $\underline{A}$ die Ausgangsgröße und $\underline{E}$ die Eingangsgröße des zugehörigen Moduls, $\underline{C}_j$ und $\underline{D}_k$ wählbare komplexe Parameter und $\underline{V}$ ist eine wählbare komplexe Gesamtverstärkung. Bei einer geeigneten Wahl der Koeffizienten $\underline{C}_j$ und $\underline{D}_k$ bewirkt das

10 zugehörige Dämpfungsglied eine Dämpfung von Resonanzen bzw. Instabilitäten, die im System 2 durch die Wechselwirkung der Regelung 8 mit dem Netz 14 und dem Netzfilter (nicht gezeigt) entsteht.

15 Beispielsweise eignet sich bei einem Regelungssystem mit einer Abtastfrequenz von 2250 Hz und Instabilitäten im Bereich zwischen 600 Hz und 800 Hz ein Dämpfungsglied mit einem Modul mit einer Übertragungsfunktion nach Gleichung (1) mit den folgenden Parametern:

20

$$m = 5$$

$$C_2 = -0.8$$

$$C_5 = -0.6$$

$$C_1 = C_3 = C_4 = 0$$

25

und

$$n = 3$$

$$D_1 = 0.5$$

$$D_2 = 0$$

$$D_3 = -0.4$$

In Fig. 3 ist die Sprungantwort für dieses Modul dargestellt.

5 Auf der Abszisse ist die Zeit t in Sekunden, auf der Ordinate ist die Spannung U in p.u. angegeben. Die Eingangsgröße E wird zu einem Zeitpunkt t_0 von 0 auf den Wert 0,3

eingeschaltet und bleibt dann konstant. Die Ausgangsgröße A zeigt daraufhin einen gedämpften, oszillierenden Verlauf.

10 Nach 0,02 Sekunden ist A fast vollständig abgeklungen. Es zeigt sich somit, dass das entsprechende Modul eine stabile Sprungantwort aufweist. Dies ist vorteilhaft, da auf diese Weise verhindert wird, dass durch das Dämpfungsglied zusätzliche Instabilitäten in das System 2 eingeführt werden.

15 Fig. 4 zeigt den Frequenzgang der Amplitude des Dämpfungsgliedes. Auf der Abszisse ist die Frequenz f in Hertz, auf der Ordinate ist der Betrag G der Amplitude in p.u. angegeben. Es ist zu erkennen, dass die Amplitude im
20 Bereich von etwa 600 bis über 1000 Hz eine signifikante Ausgangsgröße aufweist.

In Fig. 5 ist der zugehörige Phasengang über der Frequenz dargestellt. Auf der Abszisse ist die Frequenz f in Hertz,
25 auf der Ordinate die Phase φ in Grad angegeben.

Der eingeschwungene Zustand der Regelung entspricht im dq-Koordinatensystem 0 Hz. Das Dämpfungsglied ist dergestalt ausgeführt, dass bei 0 Hz keine Ausgangsgröße erzeugt wird.

30 Damit wird die standardmäßige Regelung im eingeschwungenen Zustand nicht beeinflusst. Im aktiven Frequenzbereich der

Dämpfung trägt diese zu einer deutlichen Stabilisierung des Gesamtsystems bei.

Durch die Veränderung der komplexen Gesamtverstärkung $\underline{V}$ in Betrag V und Winkel ψ kann die Amplitude sowie die Phasenlage des Dämpfungssignals angepasst werden.

Fig. 6 zeigt ein Ausführungsbeispiel für ein Hardware-basiertes Dämpfungsglied 120. Dieses verfügt in jedem der drei Phasenzweige über einen Widerstand 128 mit verschiedenen Abgriffen, eine Induktivität 130 mit verschiedenen Anzapfungen sowie eine Kapazität 132. Damit ist es möglich, das Dämpfungsverhalten an unterschiedliche Gegebenheiten anzupassen. Alternativ könnte auch die Kapazität 132 verschiedene Abgriffe aufweisen oder es könnten verschiedene Kapazitäten vorgehalten werden.

In Fig. 7 ist ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels für die Ausführung eines Verfahrens zur Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine mit einem Computerprogramm durch einen Prozessor dargestellt. Das Computerprogramm ist zunächst auf einem Datenträger 160 gespeichert und wird über ein geeignetes Datenträger-Lesegerät (nicht gezeigt) in den Speicher 162 geladen. Der Speicher 162 ist mit einer Prozessoreinheit 164 verbunden, die einen Prozessor aufweist, der die in dem Computerprogramm gespeicherten Befehle ausführt. Die Prozessoreinheit weist weiterhin einen oder mehrere Eingänge 166 auf, über die Eingangsgrößen in die Prozessoreinheit 164 gelangen können. Die Prozessoreinheit 164 weist weiterhin noch mindestens einen oder mehrere Ausgänge 168 auf. In einer solchen Recheneinheit 170 mit einer Prozessoreinheit 164 und einem

Speicher 162 können beispielsweise die für die Module 70, 72, 74, 76, 84, 88, 108, 110 benötigten Ausgangsgrößen berechnet werden. Dabei ist in dem Computerprogramm die dem Modul zugehörige Übertragungsfunktion $G(z)$ implementiert. Über die
5 Eingänge 166 empfängt die Prozessoreinheit 164 die zu dem Modul gehörige Eingangsgröße, mit der durch Ausführung der Befehle des Computerprogramms in der Prozessoreinheit 164 die zugehörige Ausgangsgröße berechnet wird. In einer solchen Recheneinheit 170 können auch neue Übertragungsfunktionen für
10 die Module 70, 72, 76, 84, 88, 108, 110 berechnet werden, indem in dem Computerprogramm ein Algorithmus implementiert wird, welcher die durch das Anregungsglied 114 hervorgerufene Antwortfunktion der Regelstrecke zur Berechnung der neuen Übertragungsfunktionen nutzt. Über den Eingang 166 empfängt
15 die Prozessoreinheit 164 die Antwortfunktion der Regelstrecke, mit der durch Ausführung der Befehle des Computerprogramms in der Prozessoreinheit 164 die neuen Übertragungsfunktionen berechnet werden. Diese können dann für die entsprechenden Module 70, 72, 74, 76, 84, 88, 108,
20 110 verwendet werden.

Fig. 8 zeigt einen Windpark mit mehreren Windenergieanlagen 186, welche mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 190 ausgestattet und über einen gemeinsamen Verknüpfungspunkt 191
25 an ein Netz 184 angeschlossen sind. Alternativ ist es auch denkbar, die erfindungsgemäße Vorrichtung 190 nicht in jeder einzelnen Windenergieanlage 186, sondern im gemeinsamen Verknüpfungspunkt 191 zu installieren. Die Resonanzeigenschaften dieses Systems können durch die
30 Netzeigenschaften des Netzes 184 beeinflusst werden. Sie können sich aber beispielsweise auch ändern, wenn eine weitere Windkraftanlage an den Verknüpfungspunkt 191

angeschlossen wird oder eine bestehende Windkraftanlage 186 von dem Verknüpfungspunkt 191 getrennt wird. In diesen Fällen kann die erfindungsgemäße Vorrichtung 190 an die neuen Resonanzeigenschaften angepasst werden.

ZI/se 081181WO
29. Oktober 2009

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Regelung einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine (4), vorzugsweise für eine Energieerzeugungsanlage, insbesondere für eine Wind- oder Wasserkraftanlage, mit einem Zwischenkreisumrichter (6), welcher rotorseitig an die doppelt gespeiste Asynchronmaschine (4) angeschlossen ist, wobei der Zwischenkreisumrichter (6) einen rotorseitigen (20) und einen netzseitigen Umrichter (24) aufweist, und mindestens ein Regelglied (8) zur Regelung des Zwischenkreisumrichters (6) vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Software- und/oder Hardware-basiertes Dämpfungsglied (40, 46, 48, 120) vorgesehen ist, welches an veränderte Resonanzeigenschaften des Netzes anpassbare Dämpfungseigenschaften aufweist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Dämpfungseigenschaften des mindestens einen Dämpfungsglieds (40, 46, 48, 120) im Frequenzbereich bis 2000 Hz, vorzugsweise bis 1200 Hz variabel einstellbar sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Hardware-basierte Dämpfungsglied (120) wenigstens eine resistive (128) und/oder eine induktive

Komponente (130) aufweist, welche in ihrer Impedanz veränderbar ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3,

5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass die wenigstens eine resistive (128) und/oder induktive Komponente (130) mehrere Abgriffe oder Anzapfungen aufweist.

10 5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass mindestens ein Software-basiertes netzseitiges und/oder rotorseitiges Dämpfungsglied (46, 48) vorgesehen ist, welches ein Dämpfungssignal erzeugt.

15

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass Mittel (82, 94) vorgesehen sind, welche das in den Umrichter gespeiste Stellsignal seriell oder parallel aus
20 dem mit dem Regelglied erzeugten Regelsignal und dem Dämpfungssignal erzeugen.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
25 dass Mittel vorgesehen sind, durch die der Statorstrom i_s , die Statorspannung u_s , der Strom des rotorseitigen Umrichters i_{MSC} , der Netzstrom i_G und/oder die Netzspannung u_G ermittelt werden und als Eingangsgrößen am rotorseitigen Dämpfungsglied (46) zur Verfügung stehen.

30

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass Mittel vorgesehen sind, durch die der Strom des
netzseitigen Umrichters i_{LSC} , der Netzstrom i_G , die
5 Netzspannung u_G , die Spannung des netzseitigen
Wechselrichterzweiges des Dreiphasentransformators $u_{tr,LSC}$
und/oder die Statorspannung u_s ermittelt werden und als
Eingangsgrößen am netzseitigen Dämpfungsglied (48) zur
Verfügung stehen.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass Mittel (114) vorgesehen sind, mit denen die
Regelstrecke des Zwischenkreisumrichters (6) in einem
15 Frequenzbereich bis 2000 Hz, vorzugsweise bis 1200 Hz
angeregt werden kann.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet,
20 dass Mittel vorgesehen sind, mit denen die
Dämpfungsfunktion für mindestens ein Dämpfungsglied (40,
46, 48, 120) berechnet werden kann.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass mindestens ein Dämpfungsglied (40, 46, 48, 120)
einen im Wesentlichen über den gesamten Frequenzbereich
bis 2000 Hz, vorzugsweise bis 1200 Hz, konstanten
zusätzlichen Phasenvorschub bewirkt.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass mindestens ein Dämpfungsglied (44) vorgesehen ist,
welches unveränderbare Dämpfungseigenschaften aufweist.

5

13. Verfahren zur Regelung einer doppelt gespeisten
Asynchronmaschine (4), vorzugsweise für eine
Energieerzeugungsanlage, insbesondere für eine Wind- oder
Wasserkraftanlage mit einem Zwischenkreisumrichter (6)
und einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
bei dem Netzeigenschaften ermittelt, insbesondere
gemessen werden,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass Hardware- und/oder Software-basierte
Dämpfungsglieder (40, 46, 48, 120) vorgesehen sind,
welche veränderbare Dämpfungseigenschaften aufweisen, und
die Dämpfungseigenschaften mindestens eines Hardware-
und/oder Software-basierten Dämpfungsgliedes (40, 46, 48,
120) nachträglich an veränderte Resonanzeigenschaften des
Netzes angepasst werden.

10

15

20

14. Verfahren nach Anspruch 13,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Regelstrecke im Frequenzbereich bis 2000 Hz,
vorzugsweise bis 1200 Hz angeregt, die Antwortfunktion
der Regelstrecke gemessen und mindestens ein
Dämpfungsglied (40, 46, 48, 120) in Abhängigkeit der
Antwortfunktion angepasst wird.

25

30

15. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass der Statorstrom i_s , die Statorspannung u_s , der Strom

des rotorseitigen Umrichters i_{MSC} , der Strom des netzseitigen Umrichters i_{LSC} , die Spannung des netzseitigen Wechselrichterzweiges des Dreiphasentransformators $u_{tr,LSC}$, der Netzstrom i_G und/oder die Netzspannung u_G ermittelt werden und dass von mindestens einem Dämpfungsglied (40, 46, 48) ein von mindestens einer dieser Größen abhängiges Dämpfungssignal erzeugt wird.

- 10 16. Verfahren nach Anspruch 15,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass das Dämpfungssignal in mit Netzfrequenz mitbewegten dq-Koordinaten berechnet wird.
- 15 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass das netzseitig und/oder rotorseitig in den Umrichter gespeiste Stellsignal aus einem Dämpfungssignal und dem netzseitigen und/oder rotorseitigen Regelsignal,
20 insbesondere durch Addition, erzeugt wird, wobei optional jeweils ein Dämpfungsglied (40, 46, 48) zur Erzeugung des Dämpfungssignals vorgesehen ist.
18. Verfahren nach Anspruch 17,
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
dass die Kombination, insbesondere die Addition des Dämpfungssignals mit dem Regelsignal in ruhenden ab-Koordinaten erfolgt.
- 30 19. Ein Computerprogramm mit Befehlen, deren Ausführung einen Prozessor veranlasst, das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 13 bis 18 durchzuführen.

20. Ein Computerprogrammprodukt, das ein Computerprogramm
enthält mit Befehlen, deren Ausführung einen Prozessor
veranlasst, das Verfahren gemäß einem der Ansprüche 13
5 bis 18 durchzuführen.

21. Wind- oder Wasserkraftanlage zur Erzeugung elektrischer
Energie mit einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
10 dass eine Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12
vorgesehen ist.

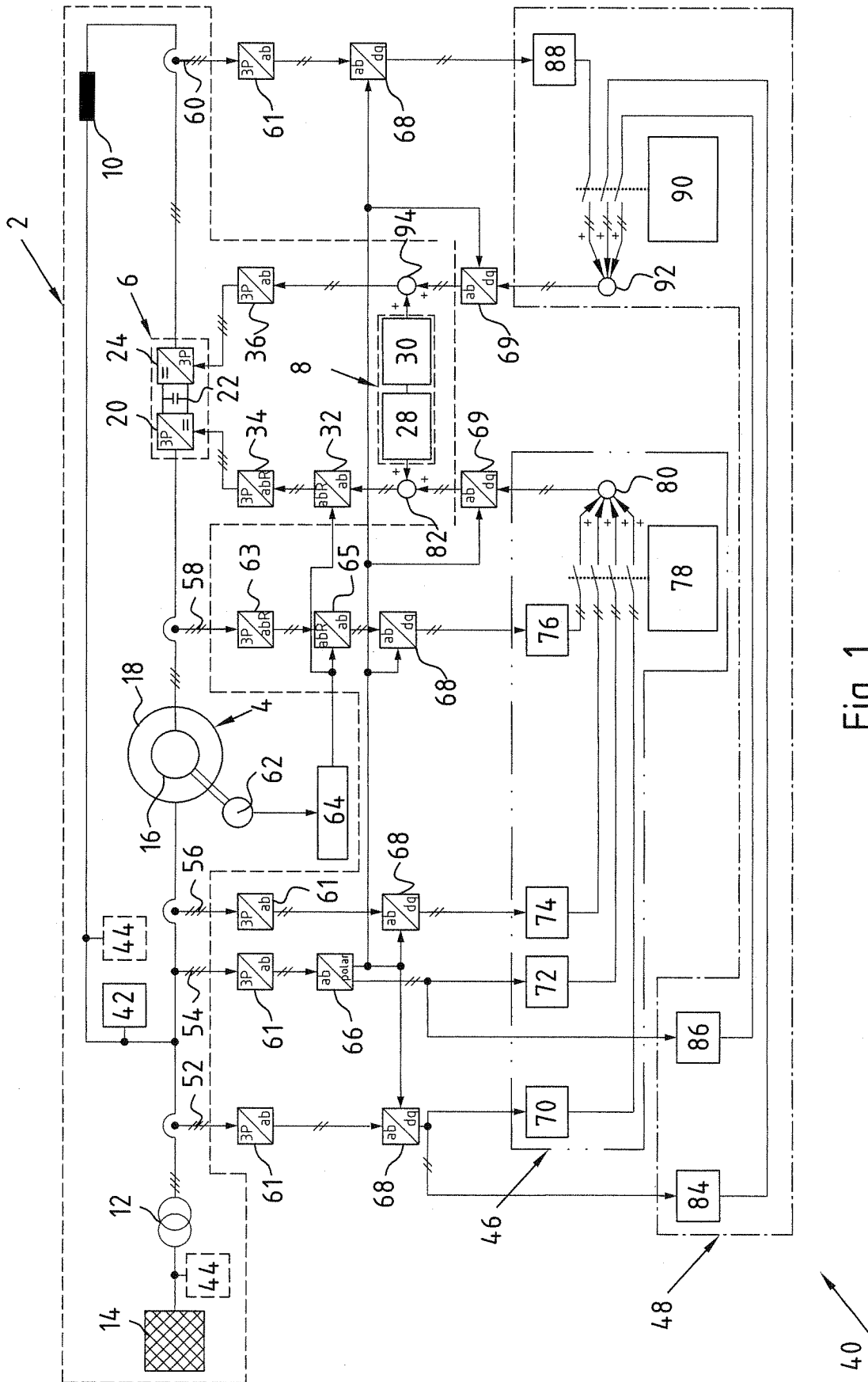


Fig. 1

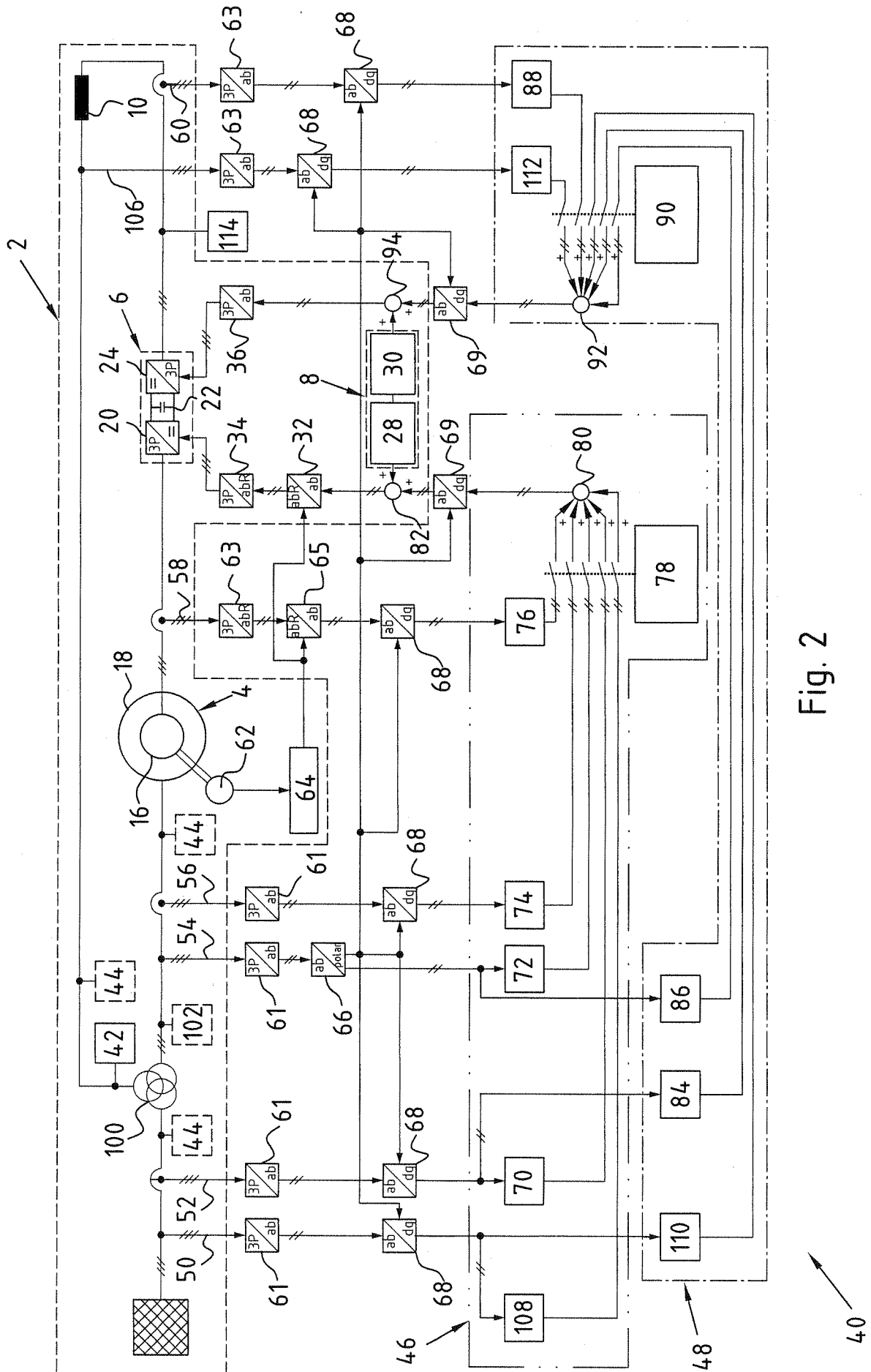


Fig. 2

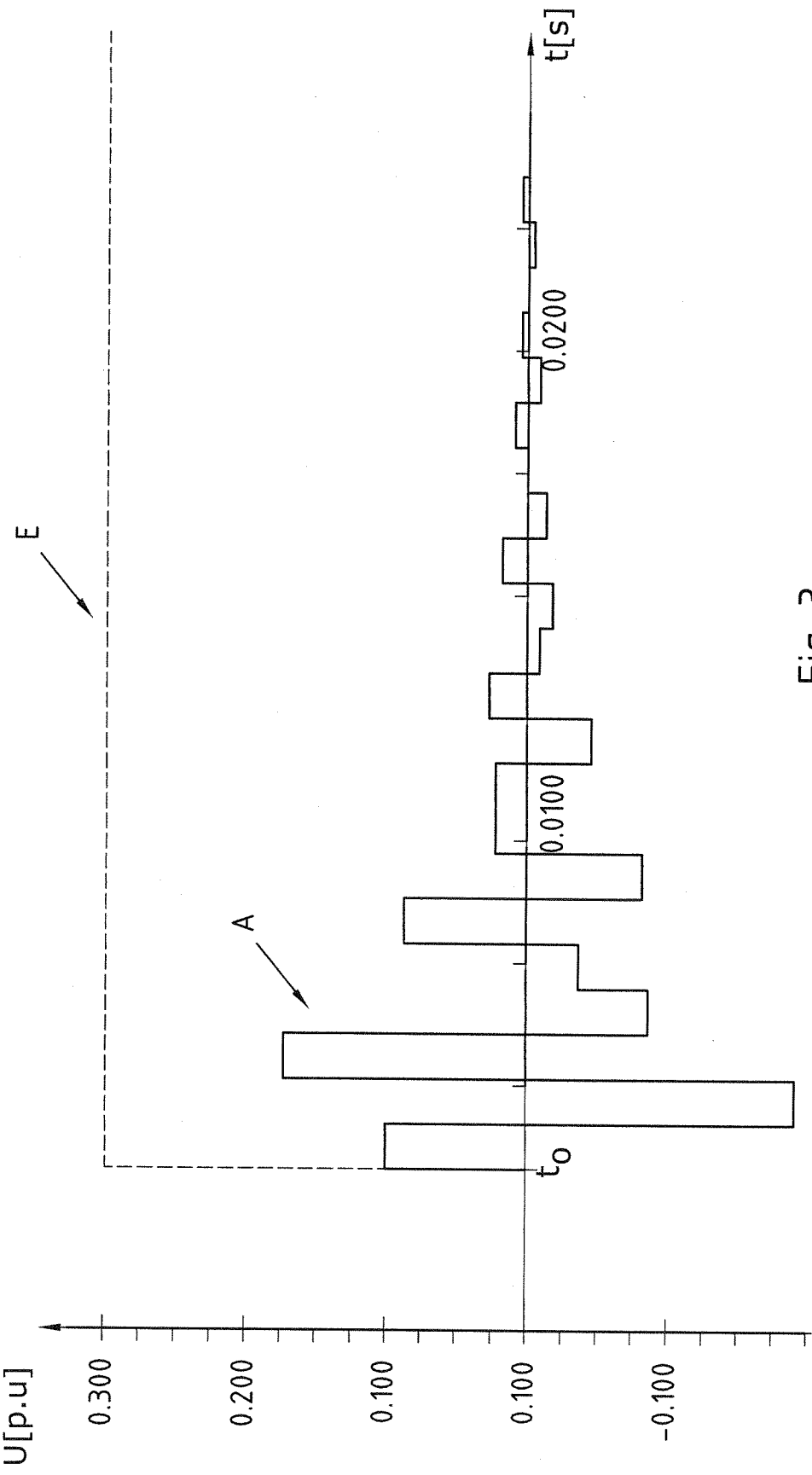


Fig. 3

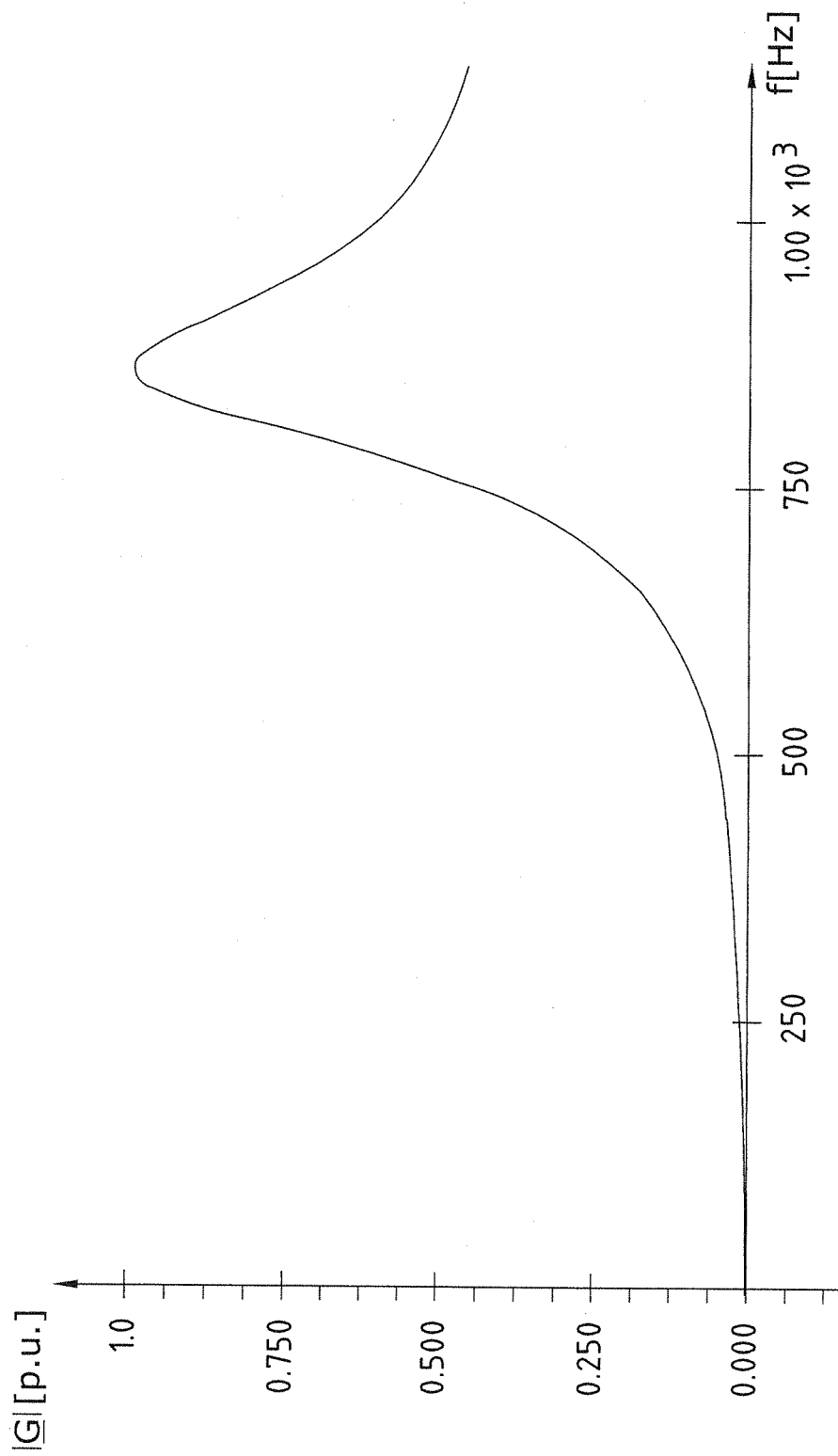


Fig. 4

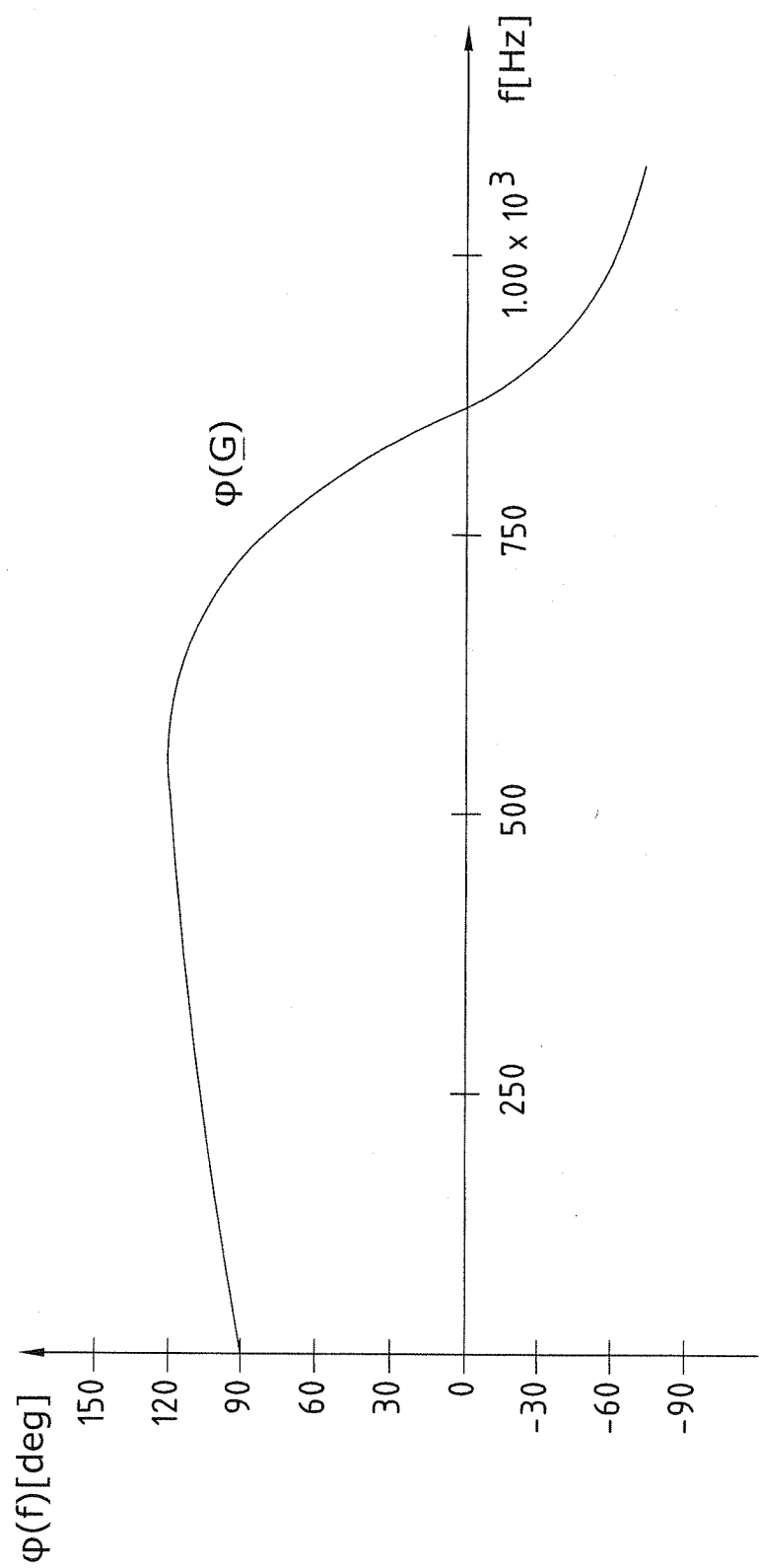


Fig. 5

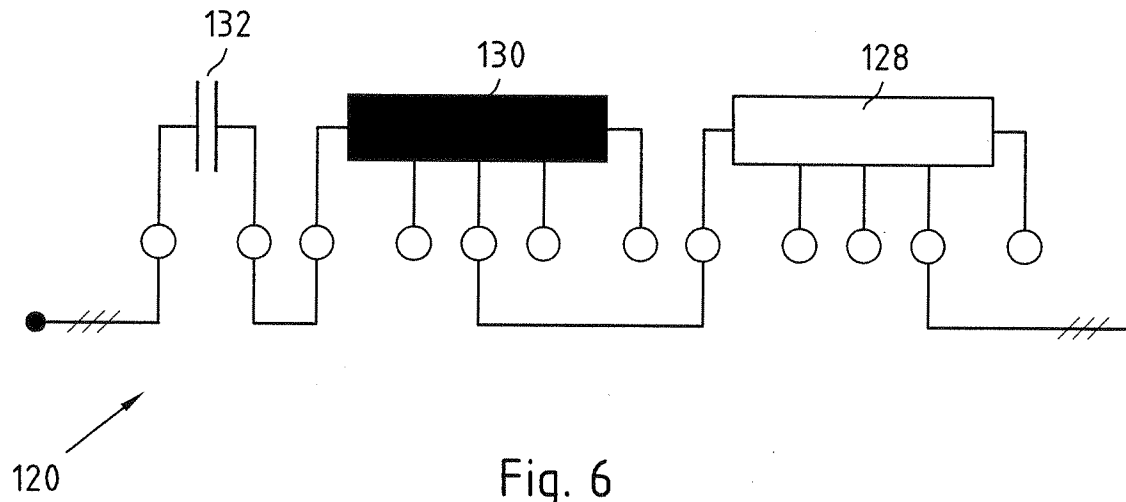


Fig. 6

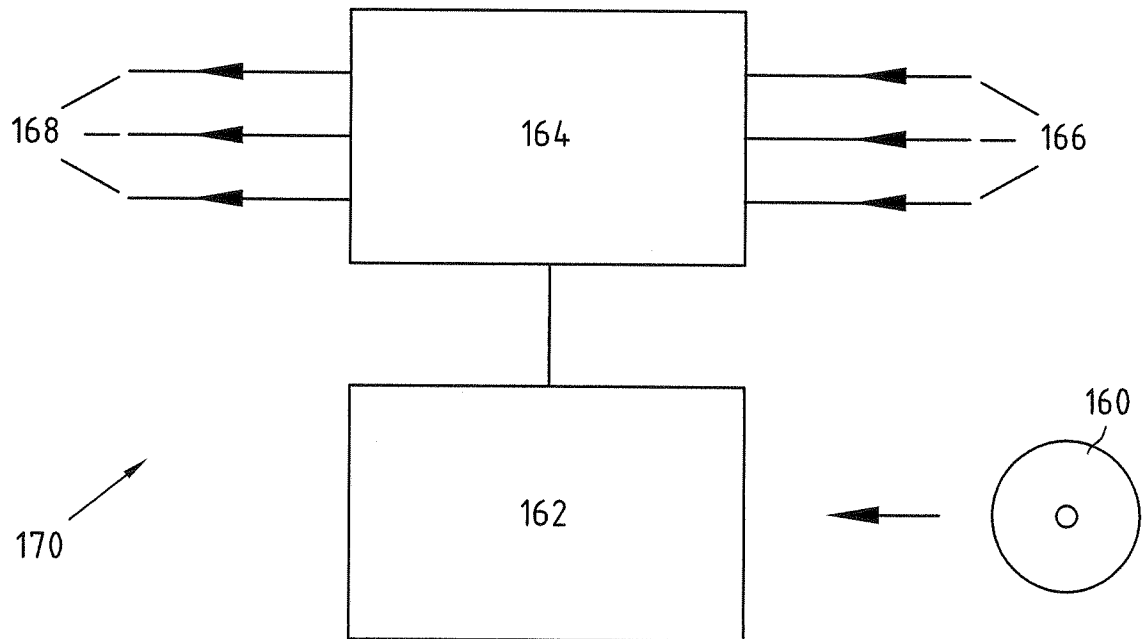


Fig. 7

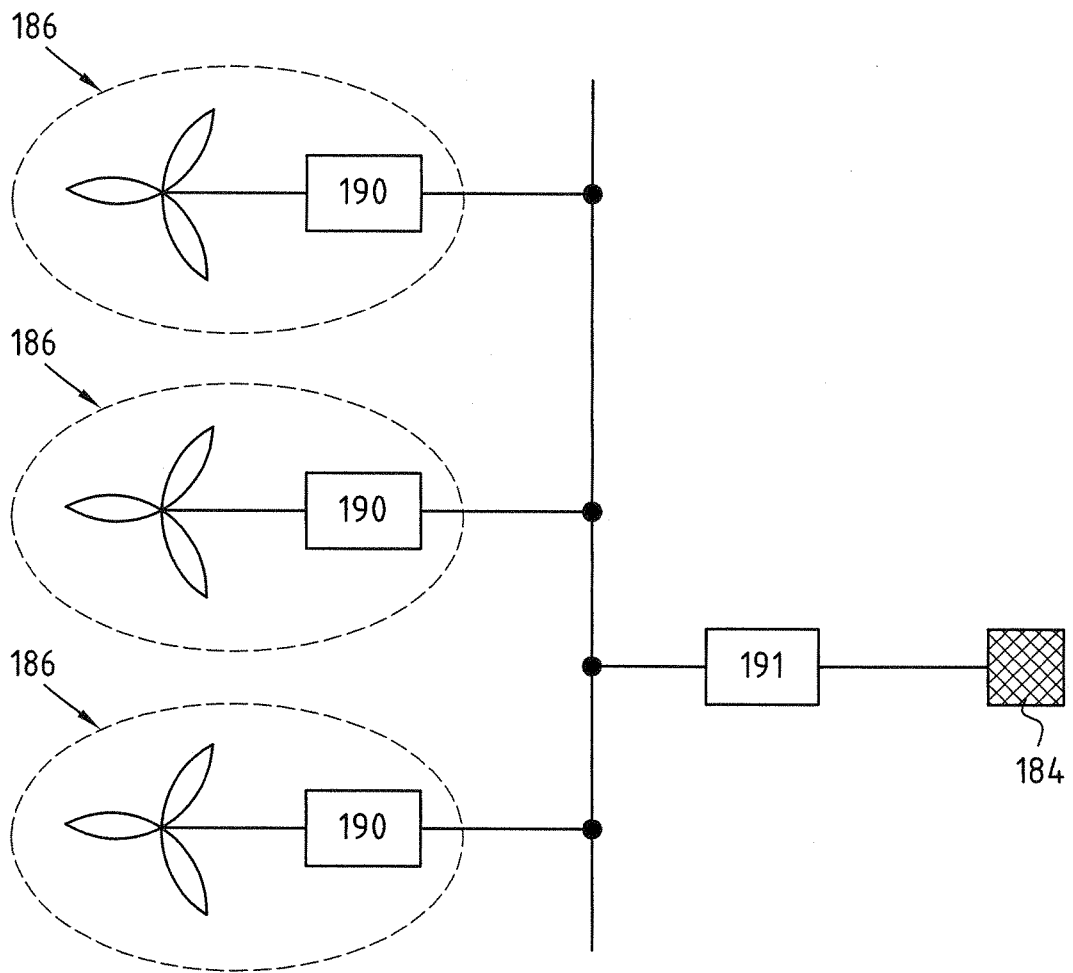


Fig. 8