

(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
23. Dezember 2009 (23.12.2009)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/153187 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02K 19/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/057067

(22) Internationales Anmeldedatum:
9. Juni 2009 (09.06.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 029 377.6 20. Juni 2008 (20.06.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): RIES, Günter [DE/DE]; Schobertweg 2, 91056 Erlangen (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, 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, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

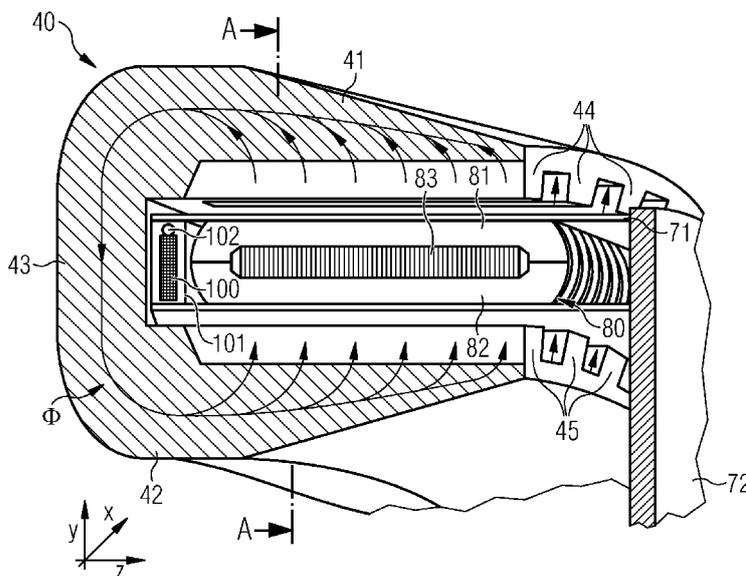
Veröffentlicht:

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

(54) Title: DEVICE FOR A WIND OR WATER POWER SYSTEM FOR GENERATING ELECTRICAL ENERGY

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG FÜR EINE WIND- ODER WASSERKRAFTANLAGE ZUR ERZEUGUNG ELEKTRISCHER ENERGIE

FIG 2



(57) Abstract: The invention relates to a homopolar generator for a device for generating electrical energy. The generator is, in particular, part of a wind or water power generating system and is driven directly, i.e. without intermediately connected gear mechanisms, by the blades of the wind or water power system. A superconducting coil, which is mechanically decoupled from the rotor, i.e. does not rotate along with the rotor, generates a magnetic flux which is conducted by the rotor in such a way that it penetrates the stator winding of a stator in the radial direction. For this purpose, the rotor has rotor sections which surround the stator in the form of a claw and which conduct the magnetic flux. Poles which conduct the magnetic flux and which cause the magnetic flux to vary, viewed in the circumferential direction of the stator, are provided on the rotor sections. When the magnetic field is constant and the rotor is rotating, a voltage is therefore induced in the stator windings. The rotor preferably rotates at a constant frequency. By correspondingly selecting the pole numbers it is possible to adapt the output frequency of the generator to the mains frequency.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/153187 A2



Die Erfindung betrifft einen Homopolargenerator für eine Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie. Der Generator ist insbesondere Teil einer Wind- oder Wasserkraftanlage und wird direkt, d.h. ohne zwischengeschaltetes Getriebe, von den Flügeln der Wind- oder Wasserkraftanlage angetrieben. Eine supraleitende Spule, die mechanisch vom Rotor entkoppelt ist, d.h. nicht mit dem Rotor mitrotiert, erzeugt einen magnetischen Fluss, der vom Rotor derart geleitet wird, dass er die Statorwicklung eines Stators in radialer Richtung durchsetzt. Der Rotor weist hierzu den Stator klauenförmig umgebende Rotorabschnitte auf, die den magnetischen Fluss leiten. An den Rotorabschnitten sind den magnetischen Fluss leitende Pole vorgesehen, die bewirken, dass der magnetische Fluss in Umfangsrichtung des Stators gesehen variiert. Bei konstantem Magnetfeld und rotierendem Rotor wird somit in den Statorwicklungen eine Spannung induziert. Der Rotor rotiert vorzugsweise mit konstanter Frequenz. Durch eine entsprechende Wahl der Polzahlen kann die Ausgangsfrequenz des Generators an die Netzfrequenz angepasst werden.

Beschreibung

Vorrichtung für eine Wind- oder Wasserkraftanlage zur Erzeugung elektrischer Energie

5

Die Erfindung betrifft einen Generator, insbesondere einen Homopolargenerator, für eine Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie. Dabei ist der Generator insbesondere Teil einer Wind- oder Wasserkraftanlage.

10

Das Flügelrad einer großen Windkraftanlage dreht sich üblicherweise mit weniger als einer Umdrehung pro Sekunde. Das Flügelrad ist bei vielen Windkraftanlagen an ein Getriebe gekoppelt, das einen herkömmlichen Synchron- oder Asynchrongenerator mit hoher Drehzahl antreibt. Die Anbindung an ein Stromversorgungsnetz kann direkt oder über Frequenzumrichter erfolgen. Häufig werden doppelt gespeiste Asynchrongeneratoren verwendet, bei denen der Rotor über Schleifringe von einem Frequenzumrichter gespeist wird.

20

Es ist vorteilhaft, den Generator direkt, d.h. ohne teures und störanfälliges Zwischengetriebe an das Flügelrad zu koppeln. Bspw. in US 7 154 191 B2 wird eine Windenergieanlage beschrieben, bei der das Flügelrad direkt mit dem Rotor

25

verbunden ist. Der Rotor trägt Permanentmagnete, mit deren Hilfe ein variierender magnetischer Fluss erzeugt wird, der die Statorwicklungen eines Stators durchsetzt. Ein mit dem Flügelrad angetriebener Generator muss jedoch zur Anbindung an das Stromversorgungsnetz eine Frequenz von 50Hz bzw. 60Hz

30

zur Verfügung stellen. Die wegen der niedrigen Drehfrequenz des Flügelrads niedrige Ausgangsfrequenz des Generators muss daher wieder über Frequenzumrichter auf 50Hz bzw. 60Hz gebracht werden. Eine Alternative besteht darin, den Synchrongenerator direkt mit dem Flügelrad zu koppeln und den Generator mit einem Rotor mit so hoher Polzahl auszustatten, dass eine der Netzfrequenz entsprechende Frequenz bereitgestellt werden kann. In diesem Fall kann er direkt in das Netz einspeisen.

35

Hochpolige direktgetriebene Windgeneratoren mit permanent-
erregten Rotoren sind realisiert. Nachteilig bei direkter
Netzanbindung ist, dass der Blindleistungsbedarf des Netzes
5 nicht über eine variable Erregung des Rotors angepasst werden
kann. Insbesondere bei Offshore-Windanlagen kann dies nach-
teilig für die Netzstabilität sein. Direktgetriebene Genera-
toren mit Netzanbindung über Frequenzumrichter sind ebenfalls
bekannt.

10

Durch Wicklungen über Schleifringe erregte hochpolige Syn-
chrongeneratoren haben sich nicht durchgesetzt. Nachteilig
ist der hohe Materialaufwand für die Vielzahl der Rotorspulen
und der hohe Leistungsbedarf für die Erregung, der den Wirk-
15 ungsgrad verschlechtert. Supraleitende Erregerspulen wurden
vorgeschlagen, sie verringern die Erregerleistung erheblich.
Der hohe Aufwand an Supraleitermaterial und kryogener Kühlung
und Isolierung lassen diese Version ebenfalls als nicht
wirtschaftlich erscheinen.

20

Bspw. in US 7 049 724 B2 wird eine elektrische Maschine bzw.
ein Generator mit einem scheibenförmigen Rotor und einem
scheibenförmigen Stator beschrieben, bei der eine supraleit-
ende, mechanisch vom Rotor entkoppelte Spule verwendet wird.

25

Die Spule erzeugt einen magnetischen Fluss, der mit Hilfe von
Polen des Rotors in axialer Richtung durch den Stator
geleitet wird. Nachteilig bei dieser Maschine ist, dass sie
sehr anfällig auf axial wirkende Kräfte reagiert. Diese
Anfälligkeit wird mit steigendem Rotordurchmesser größer. Es
30 ist daher notwendig, entsprechend große Toleranzen anzusetz-
en, bspw. für den Luftspalt zwischen den Polen des Rotors und
dem Stator, womit der Wirkungsgrad der Maschine schlechter
wird.

35

Den bislang bekannten Methoden ist gemeinsam, dass teure,
störanfällige Getriebe, Frequenzumrichter und/oder
Schleifringe benötigt werden und dass hohe Material-,
Wartungs- und Betriebskosten anfallen.

Durch den Wegfall von Getriebe, Frequenzumrichter und Schleifringen würden sowohl eine höhere Zuverlässigkeit als auch weniger Wartungsaufwand erreicht. Dies ist insbesondere
5 vorteilhaft für den Einsatz in Offshore-Windkraftanlagen, dessen Bedeutung in Zukunft deutlich zunehmen wird.

Zudem könnte bei Verwendung einer feststehenden, nicht rotierenden supraleitenden Spule erheblicher Aufwand für
10 Material und Betrieb eingespart werden, wobei gleichzeitig die Komplexität der Anlage bzw. des Generators abnimmt.

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, eine kostengünstige, robuste und wenig stör anfällige Vorrichtung zur Erzeugung
15 elektrischer Energie anzugeben.

Diese Aufgabe wird durch die in den unabhängigen Ansprüchen angegebenen Erfindungen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.
20

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden die besonderen Vorteile einer Homopolarmaschine ausgenutzt, wie sie bspw. in DE 10 2004 014 123 A1 beschrieben wird. Bei der Homopolarmaschine schwankt im Gegensatz zu Synchron- oder Asynchron-
25 maschinen ein durch eine Erregerspule erzeugter magnetischer Fluss Φ zwar in seiner Amplitude zwischen einem Minimal- und einem Maximalwert, seine Richtung kehrt sich jedoch nicht um, so dass seine Polarität konstant bleibt. Der Rotor einer Homopolarmaschine weist weder Wicklungen noch Schleifkontakte
30 auf. Die Erregerspule ist mechanisch vom Rotor vollständig entkoppelt und muss nicht mit dem Rotor mitrotieren. Die Homopolarmaschine ist daher besonders für Anwendungen geeignet, bei denen eine elektrische Maschine mit einer supraleitenden Erregerspule arbeiten soll, da die Kühlung der
35 Erregerspule wesentlich leichter zu handhaben ist als bei mitrotierender Spule.

Eine Homopolarmaschine ist sehr einfach und robust aufgebaut und kann generell als Motor oder als Generator eingesetzt sein.

5 Die erfindungsgemäße Anlage zur Erzeugung elektrischer Energie umfasst einen Generator, der vorteilhafterweise als Homopolargenerator ausgebildet ist. Dieser beinhaltet einen feststehenden ringförmigen Stator mit Statorwicklung, einen drehbaren ringförmigen Rotor aus ferromagnetischem Material
10 wie bspw. Eisen und eine feststehende ringförmige Erregerspule, wobei der Stator und die Erregerspule in radialer Richtung zwischen einem ersten und einem zweiten Rotorabschnitt angeordnet sind. Ein von der Erregerspule erzeugter magnetischer Fluss Φ wird vom Rotor geleitet und durchsetzt
15 den Stator in radialer Richtung, senkrecht zur Statorwicklung. Beide Rotorabschnitte weisen eine Vielzahl von Polen auf, die in radialer Richtung auf den Stator hin ausgerichtet sind und den magnetischen Fluss Φ leiten. Zwischen den Polen eines Rotorabschnitts befinden sich Polzwischenräume. Die
20 Pole der beiden Rotorabschnitte liegen sich in radialer Richtung jeweils gegenüber, gleiches gilt für die Polzwischenräume.

Bei stromdurchflossener Erregerspule ist der magnetische
25 Fluss zwischen sich gegenüberliegenden Polen erheblich größer als zwischen sich gegenüberliegenden Polzwischenräumen, so dass der magnetische Fluss Φ bei stehendem Rotor in Umfangsrichtung des Rotors gesehen abhängig vom Ort ist. Bei rotierendem Rotor dagegen variiert der magnetische Fluss Φ an
30 einem bestimmten Ort in Umfangsrichtung des Rotor, d.h. bspw. im Bereich eines bestimmten Abschnitts der Statorwicklung, in Abhängigkeit von der Zeit, so dass in der Statorwicklung eine Spannung induziert wird.

35 Da die Erregerspule fest steht, d.h. nicht mitrotiert, kann sie vorteilhafterweise als supraleitende Spule, insbesondere als Hochtemperatur-Supraleiter (HTSL) ausgebildet sein. Dies

wirkt sich darin aus, dass die Erregerspule keine Erregerleistung verursacht, so dass der Wirkungsgrad steigt.

Die Anlage arbeitet mit einer festen, bekannten Umdrehungszahl des Rotors, d.h. im Falle einer Windkraftanlage mit einer festen Umdrehungszahl des Flügelrads. Je nach Netzfrequenz wird eine bestimmte, von der Umdrehungszahl des Rotors abhängige Polanzahl vorgesehen, so dass der Generator immer die korrekte Frequenz zur Verfügung stellt. Frequenzumrichter sind daher nicht notwendig, ein Getriebe ist überflüssig.

Da im Unterschied zu Synchrongeneratoren nur eine einzelne, wenn auch größere Erregerspule vorgesehen ist, reduzieren sich die Material- und Betriebskosten zur Erzeugung des magnetischen Flusses Φ .

Über eine Variation des Erregerstroms kann auch der wechselnde Blindleistungsbedarf des zu speisenden Netzes gedeckt werden.

Da die Erregerspule nicht mitrotiert und auf dem rotierenden Rotor keine elektrischen Bauteile vorhanden sind, kann auf Schleifringe gänzlich verzichtet werden.

Der Generator kann bspw. in Wind- oder Wasserkraftanlagen zum Einsatz kommen, wobei der Rotor des Generators direkt mit dem Flügelrad gekoppelt wird.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus dem im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiel sowie anhand der Zeichnungen.

Dabei zeigt:

Figur 1 eine Windenergieanlage in Rück- und Querschnittsansicht,
Figur 2 einen Ausschnitt aus einem Längsschnitt durch Rotor und Stator,

Figur 3 einen Ausschnitt aus einem Querschnitt durch Teile des Generators,

Figur 4 eine Draufsicht auf eine Statorwicklung in schematischer Ansicht.

5

Die Figur 1 zeigt eine Windkraftanlage 10 in einer Rückansicht und einer Querschnittsansicht mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die einen direkt angetriebenen Generator 20 zur Erzeugung elektrischer Energie beinhaltet. Die
10 Windkraftanlage 10 umfasst im dargestellten Ausführungsbeispiel ein Flügelrad 30 mit drei Flügeln 31, wobei auch mehr oder weniger Flügel vorgesehen sein können. Das Flügelrad 30 ist fest mit einem Rotor 40 des Generators 20 verbunden, so dass bei Wind der Rotor 40 gemeinsam mit den
15 Flügeln 31 und dem Flügelrad 30 in Rotation versetzt wird. Der Rotor 40 ist hierfür mit seiner Drehachse 50 in geeigneten Lagern 60 gelagert, die in einem Gehäuse 70 untergebracht sind. Ebenfalls angedeutet ist eine Befestigungseinrichtung 71, die einen Stator 80 (in Figur 1 nicht dargestellt) des Generators 20 beinhaltet. Der Stator 80 ist
20 konzentrisch zum Rotor 40 angeordnet und über die Befestigungseinrichtung 71 mit dem Gehäuse 70 fest, d.h. unverdrehbar verbunden. Weiterhin ist ein Kryokühler 90 zur Kälteerzeugung für eine zum Rotor 40 und zum Stator 80
25 konzentrische Erregerspule 100 (in Figur 1 nicht dargestellt) des Generators 20 vorgesehen. Die gesamte Konstruktion ist auf einem Mast 110 befestigt.

Die Figur 2 zeigt einen Längsschnitt u.a. durch den Rotor 40
30 und den Stator 80 im Detail. Die Befestigung des Flügelrads 30 am Rotor 40 ist nicht dargestellt, erfolgt aber auf an sich bekannte Weise derart, dass die durch Wind in Bewegung gesetzten Flügel 31 den Rotor 40 über das Flügelrad 30 in Rotation versetzen.

35

Der Generator 20 ist als Homopolargenerator ausgebildet. Der Rotor 40 des Generators 20 umfasst drei Rotorabschnitte 41, 42, 43 und weist ein annähernd U-förmiges Profil auf. Der

erste 41 und der zweite Rotorabschnitt 42 sind in radialer Richtung beabstandet angeordnet, wobei der radial außen liegende erste 41 und der radial innen liegende zweite Rotorabschnitt 42 die U-Schenkel des Profils bilden, während
5 der dritte Rotorabschnitt 43 die Abschnitte 41, 42 verbindet. Insbesondere ist das Profil des Rotors 40 wie ein liegendes U geformt, d.h. die U-Schenkel sind in axialer bzw. in z-Richtung orientiert.

10 In radialer Richtung zwischen den Rotorabschnitten 41, 42 bzw. zwischen den U-Schenkeln ist im Bereich des dritten Rotorabschnitts 43 die feststehende Erregerspule 100 angeordnet. Speziell aufgrund dessen, dass die Erregerspule 100 fest steht, bietet es sich an, eine supraleitende Erreger-
15 spule 100 zu verwenden, da die Kühlung wesentlich einfacher zu bewerkstelligen ist als bei einer mitrotierenden Spule.

Die Erregerspule 100 ist bevorzugt ein Hochtemperatur-Supraleiter. Sie befindet sich in einem Kryostaten 101 und
20 wird durch eine Kühlleitung 102 auf Betriebstemperatur gehalten. Die Kühlleitung 102 wird durch den in der Figur 1 dargestellten Kryokühler 90 versorgt. Die Kühlung kann bspw. indirekt mit flüssigem Neon oder Wasserstoff in einem Thermosyphon erfolgen. Die supraleitende Erregerspule 100
25 kann mit Gleichstrom betrieben werden und verursacht im Unterschied zu herkömmlichen, Normaltemperaturleitern, keine Erregerleistung, wodurch der Wirkungsgrad der Gesamtanlage steigt.

30 Alternativ kann die ringförmige Erregerspule auch mit einem Normalleiter wie bspw. einem Kupfer- oder Aluminiumleiter bei Umgebungstemperatur betrieben werden. Dies erfordert zwar Erregerleistung, die aber weit unterhalb des Leistungsaufwands für den Rotor einer hochpoligen herkömmlichen Synchron-
35 maschine bleibt. Der Wirkungsgrad der Homopolarmaschine ist entsprechend höher. Eventuell muss eine derartige Normalleiter-Spule bspw. mit Luft über einen Lüfter oder mit einem Wasserkreislauf zwangsgekühlt werden.

Die Erregerspule 100 erzeugt einen magnetischen Fluss Φ , der vom Rotor 40 bzw. von den Rotorabschnitten 41, 42, 43 wie durch die Pfeile symbolisiert geleitet wird. An den

5 Rotorabschnitten 41 bzw. 42 sind zum Leiten des magnetischen Flusses Φ in radialer Richtung erste 44 bzw. zweite Pole 45 angeformt, die in radialer Richtung von den Rotorabschnitten 41, 42 hervorstehen. Zwischen zwei ersten Polen 44 (bzw. zwischen zwei zweiten Polen 45) liegt ein erster Polzwischenraum 46 (bzw. ein zweiter Polzwischenraum 47). Die Pole 44, 45 erstrecken sich in axialer Richtung vorzugsweise über den gesamten Bereich, der von der Tiefe der Stators, d.h. von dessen Erstreckung in axialer Richtung vorgegeben wird. Gegenüberliegende erste und zweite Pole 44, 45 bilden dabei

15 ein Polpaar 48. In Umfangsrichtung des Rotors 40 gesehen weisen die ersten Pole 44 und die ersten Polzwischenräume 46 des ersten Rotorabschnitts 41 die gleiche Breite w_R auf. Gleiches gilt für die zweiten Pole 45 und die zweiten Polzwischenräume 47 des zweiten Rotorabschnitts 42. Vorzugsweise

20 ist der gesamte Rotor 40 umfassend die Rotorabschnitte 41, 42, 43 und die Pole 44, 45 einstückig aus massivem Eisen ausgebildet, um den magnetischen Fluss Φ bestmöglich zu leiten.

25 Der feststehende Stator 80 umfasst zwei dreiphasige Statorwicklungen 81, 82 und einen Statorkern 83 aus geblechtem Eisen zum Leiten des magnetischen Flusses Φ , wobei der Stator 80 und damit die Statorwicklungen 81, 82 in radialer Richtung zwischen den Rotorabschnitten 41, 42 bzw. zwischen

30 den U-Schenkeln angeordnet sind. In axialer Richtung sind der Stator 80 und die Erregerspule 100 nebeneinander angeordnet. Dadurch, dass zwei Wicklungen 81, 82 verwendet werden, verdoppelt sich die Ausgangsleistung des Generators 20 gegenüber einer einzelnen Wicklung. Generell können auch

35 zwei-, vier- oder mehrphasige Statorwicklungen eingesetzt werden. Ebenso ist es denkbar, mehr oder weniger als zwei Wicklungen vorzusehen.

Der Stator 80 wird mit Hilfe einer Befestigungseinrichtung 71 an einem Teil 72 des Gehäuses 70 befestigt. Die Befestigungseinrichtung 71 fixiert darüber hinaus auch den Kryostaten 101 mit der Erregerspule 100 und der Kühlleitung 102. Bspw. kann
5 die Befestigungseinrichtung 71 ausgebildet sein wie ein doppelwandiger Zylinder, wobei der Stator 80 und der Kryostat 101 zwischen den Zylinderwänden angeordnet und befestigt sind.

10 Das einzige bewegte Teil des Generators 20 ist demnach der Rotor 40 umfassend die Rotorabschnitte 41, 42, 43 und die Pole 44, 45. Der Stator 80 und -im Unterschied zu Synchron-
generatoren- die Erregerspule 100 sind fest mit dem Gehäuse 70 verbunden, können daher nicht rotieren. Alternativ
15 könnten der Stator 80 und/oder die Erregerspule 100 mit einem anderen feststehenden Teil der Windkraftanlage 10 fest, d.h. nicht dreh- oder verschiebbar, verbunden sein. Hierfür käme
bspw. der Mast 110 in Frage.

20 Da der Rotor 40 keine elektrischen Bauteile wie etwa Spulen o.ä. trägt, kann vorteilhafterweise auf Schleifringe etc. verzichtet werden.

Die Figur 3 zeigt einen Schnitt durch den Rotor 40, den
25 Stator 80 und die Statorwicklungen 81, 82 entsprechend der in der Figur 2 angedeuteten Linie A-A. Die Pole 44, 45 des Rotors 40 sind auf den dem Stator 80 zugewandten Seiten der Rotorabschnitte 41, 42 angeordnet und bewirken, dass der magnetische Fluss Φ wie durch die Pfeile angedeutet den
30 Stator 80 und die Statorwicklungen 81, 82 in radialer Richtung, d.h. senkrecht zu den Statorwicklungen 81, 82 durchsetzt. Die Statorwicklungen 81, 82 weisen jeweils drei Phasen u,v,w auf. Zwischen den ersten Polen 44 und dem Stator 80 sowie zwischen den zweiten Polen 45 und dem Stator 80
35 befindet sich jeweils ein Luftspalt, der idealerweise möglichst klein ausfällt, d.h. in einer Größenordnung von 5-15mm. Der den Stator 80 durchsetzende magnetische Fluss Φ ist im Bereich zwischen zwei sich gegenüberliegenden Polen 44,

45, d.h. im Bereich eines Polpaars 48, größer als in dem Bereich, der zwischen zwei sich gegenüberliegenden Polzwischenräumen 46, 47 liegt. Bei einer Rotation des Rotors 40 ausgelöst durch eine Bewegung der Flügel 31 variiert daher im Bereich der Statorwicklungen 81, 82 der magnetische Fluss Φ in Abhängigkeit von der Zeit, so dass in den Statorwicklungen 81, 82 eine Spannung induziert wird, die an nicht dargestellter Stelle abgegriffen werden kann.

10 Da die Oberflächen der Pole 44, 45 auf (gedachten) Zylinderoberflächen liegen und der magnetische Fluss Φ den Stator 80 in radialer Richtung durchsetzt, ist es vergleichsweise einfach, durch konstruktive Mittel wie Speichen und/oder Scheiben die radialen Abstände von der Drehachse des Rotors 15 40 einzustellen und damit die Luftspalte zwischen Rotor 40 und Stator 80 unabhängig von Magnet-, Wind- oder sonstigen Kräften genau einzuhalten. Dies ist vorteilhaft -insbesondere für Maschinen mit großem Durchmesser wie Windkraftanlagen- bspw. gegenüber dem in US 7 049 724 B2 beschriebenen 20 Generator mit scheibenhafter Anordnung von Rotor und Stator bei axial gerichtetem magnetischen Fluss. Weitere Nachteile der in US 7 049 724 B2 beschriebenen Anlage wurden bereits erwähnt.

25 Der in den Figuren 2 und 3 gezeigt Generator 20 kann in einer konkreten Ausführung ein 5MW-Generator 20 sein, dessen direkt, d.h. ohne zusätzliches Getriebe angetriebener Rotor 40 unabhängig von den Windverhältnissen mit einer festen Drehfrequenz von 15 Umdrehungen/Minute rotiert. Je 30 nach Frequenz des Netzes, in das die mit dem Generator 20 erzeugte elektrische Energie eingespeist werden soll, wird eine bestimmte Anzahl von ersten 44 bzw. zweiten Polen 45 benötigt. Bspw. für eine Frequenz von 50Hz werden 200 Polpaare 48, d.h. jeweils 200 erste und zweite Pole 44, 45 35 benötigt. Für eine Frequenz von 60Hz werden dementsprechend 240 Polpaare verwendet. Die Erregerspule erzeugt in den Luftspalten einen magnetischen Fluss von 1T. Die Luftspalte können bspw. 7mm oder 12mm breit sein, wobei sich die Breite

der Luftspalte auf die Amperewindungszahl der supraleitenden Erregerspule 100 in der Art auswirkt, dass bei breiterem Luftspalt eine größere Amperewindungszahl benötigt wird, um den magnetischen Fluss von 1T zu erzeugen. Da hiermit die
5 Kosten der Anlage ansteigen, ist ein möglichst schmaler Luftspalt von Vorteil. Die Breite der Luftspalte hängt ihrerseits im Wesentlichen von den mechanischen Toleranzen von Rotor 40 und Stator 80 ab.

10 Durch die feste Umdrehungszahl und die darauf abgestimmte Anzahl von Polpaaren wird vorteilhafterweise erreicht, dass die erzeugte elektrische Energie direkt in das Netz eingespeist werden kann, dass also keine Frequenzumrichter o.ä. benötigt werden. Typischerweise weist der Rotor 40 eines
15 solchen Generators 20 einen Durchmesser in einer Größenordnung von 10m auf. Die Anregung des Generators 20 erfolgt durch eine feststehende, d.h. nicht-rotierende HTSL-Erregerspule 100, welche mit Hilfe von flüssigem Neon auf 27K gekühlt wird und eine magnetische Flussdichte von 1T in den
20 Luftspalten erzeugt.

Die Figur 4 zeigt schließlich schematisch einen Ausschnitt aus einer Draufsicht auf den Stator 80 in radialer Richtung, bspw. mit Blickrichtung in negative y-Richtung, um den
25 Verlauf der Statorwicklungen 81, 82 zu demonstrieren. In der Draufsicht ist lediglich die drei Phasen u,v,w aufweisende Statorwicklung 81 zu erkennen, die einen mäanderförmigen Verlauf hat, wobei die längeren Leitungsabschnitte in der axialen Richtung (z-Richtung) ausgerichtet sind. Die
30 Erregerspule 100 ist in der Figur 4 nicht dargestellt.

Obige Beschreibung befasst sich mit einer Windkraftanlage. Die Vorrichtung ist jedoch ohne Weiteres bis auf
Modifikationen in der Dimensionierung etc. auch in einer
35 Wasserkraftanlage einsetzbar, bei der die Flügel 31 durch einen Wasserlauf angetrieben werden.

Grundsätzlich kann die erfindungsgemäße elektrische Maschine auch als Motor betrieben werden, wobei die elektrische Maschine an sich ausgebildet ist wie der oben beschriebene Generator 20.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie mit einem Generator (20), insbesondere Homopolargenerator (20), welcher umfasst:
- einen ringförmigen, feststehenden Stator (80),
 - eine ringförmige, feststehende Erregerspule (100) und
 - einen ringförmigen, drehbaren Rotor (40), welcher zumindest einen ersten (41) und einen zweiten Rotorabschnitt (42) aufweist,
- wobei
- der Stator (80), der Rotor (40) und die Erregerspule (100) konzentrisch angeordnet sind,
 - der Stator (80) mindestens eine Statorwicklung (81, 82) aufweist,
 - der Stator (80) und die Erregerspule (100) in radialer Richtung gesehen zwischen dem ersten (41) und dem zweiten Rotorabschnitt (42) angeordnet sind,
- und wobei der Rotor (40), der Stator (80) und die Erregerspule (100) derart angeordnet sind, dass der Rotor (40) einen von der Erregerspule (100) erzeugten magnetischen Fluss Φ leitet und der magnetische Fluss Φ den Stator (80) in radialer Richtung, im Wesentlichen senkrecht zur Statorwicklung (81, 82) durchsetzt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste (41) und der zweite Rotorabschnitt (42) konzentrisch und in radialer Richtung beabstandet angeordnet sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (80) und die Erregerspule (100) in axialer Richtung nebeneinander angeordnet sind.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (40) ein annähernd U-förmiges Profil aufweist, wobei der erste (41) und der zweite

Rotorabschnitt (42) die U-Schenkel des Profils bilden und in axialer Richtung ausgerichtet sind.

5 5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste (41) und der zweite Rotorabschnitt (42) den Stator (80) klauenförmig umfassen.

10 6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass am ersten Rotorabschnitt (41) eine Vielzahl von ersten Polen (44) und am zweiten Rotorabschnitt (42) eine Vielzahl von zweiten Polen (44) angeformt ist, wobei
- die Pole (44, 45) jeweils auf der dem Stator (80) zugewandten Seite des jeweiligen Rotorabschnitts (41, 42)
15 angeordnet sind,
- sich erste (44) und zweite Pole (45) radial gegenüber liegen.

20 7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (40) zumindest umfassend die Rotorabschnitte (41, 42, 43) und die Pole (44, 45) einstückig aus massivem Eisen ausgebildet ist und den von der Erregerspule (100) erzeugten magnetischen Fluss Φ leitet.

25 8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest zwei Statorwicklungen (81, 82) vorgesehen sind und/oder dass jede Statorwicklung (81, 82) zumindest mehrphasig, insbesondere 3-phasig (u,v,w), ausgebildet ist.

30

9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (80) einen geblechten Stator Kern (83) aufweist.

35 10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Erregerspule (100) eine supraleitende Spule ist, insbesondere eine HTSL-Spule.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Erregerspule (100) eine ringförmige Spule aus einem Normalleiter ist.
- 5 12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Erregerspule (100) mit Luft oder Wasser zwangsgekühlt ist.
- 10 13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (40) mit einer festen Drehfrequenz rotiert.
- 15 14. Wind- oder Wasserkraftanlage umfassend eine Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Energie nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
- 20 15. Wind- oder Wasserkraftanlage nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein Flügelrad (30) oder Flügel (31) der Wind- oder Wasserkraftanlage (10) zum Antreiben des Rotors (40) mit dem Rotor (40) verbunden sind.

FIG 1

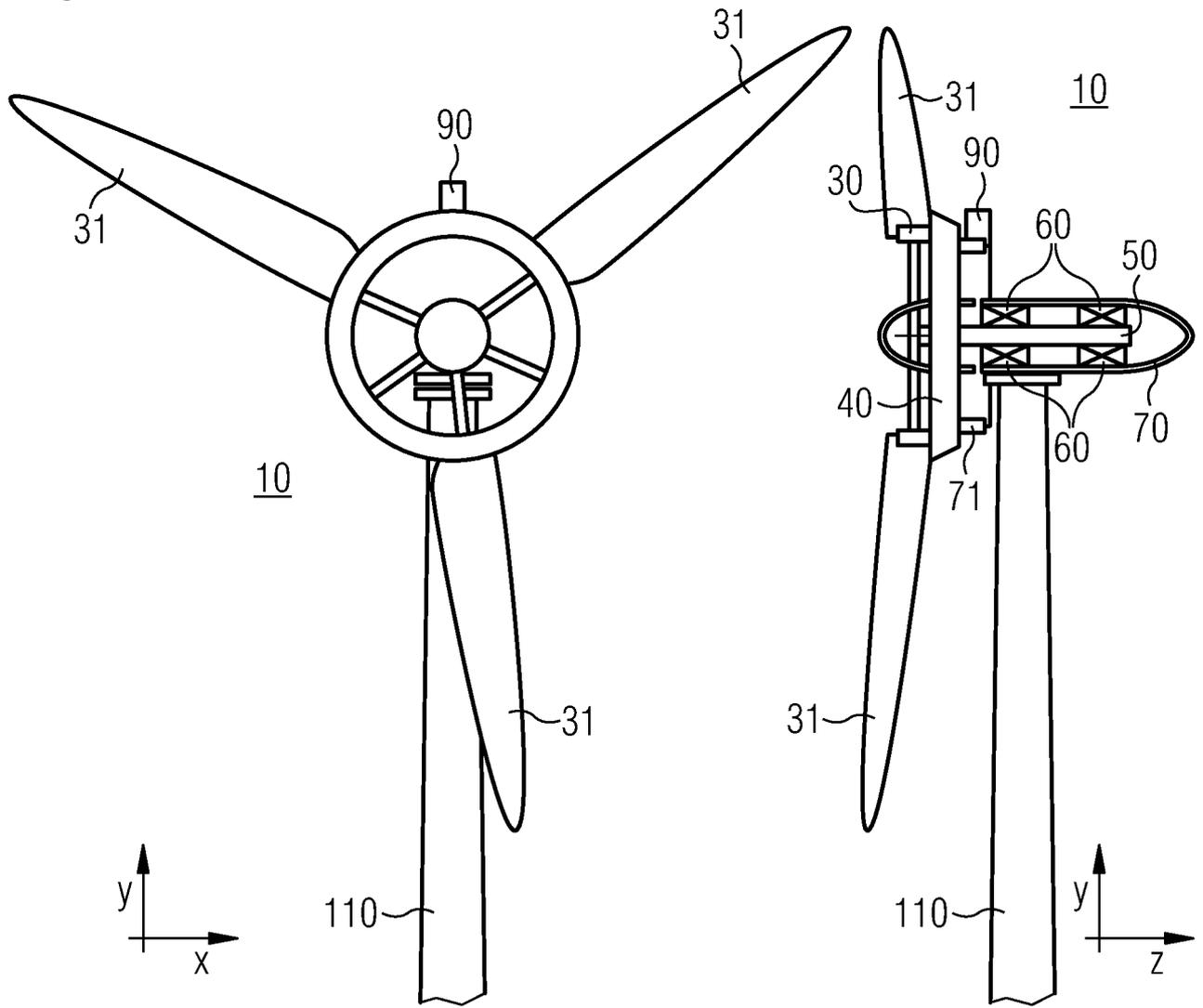


FIG 2

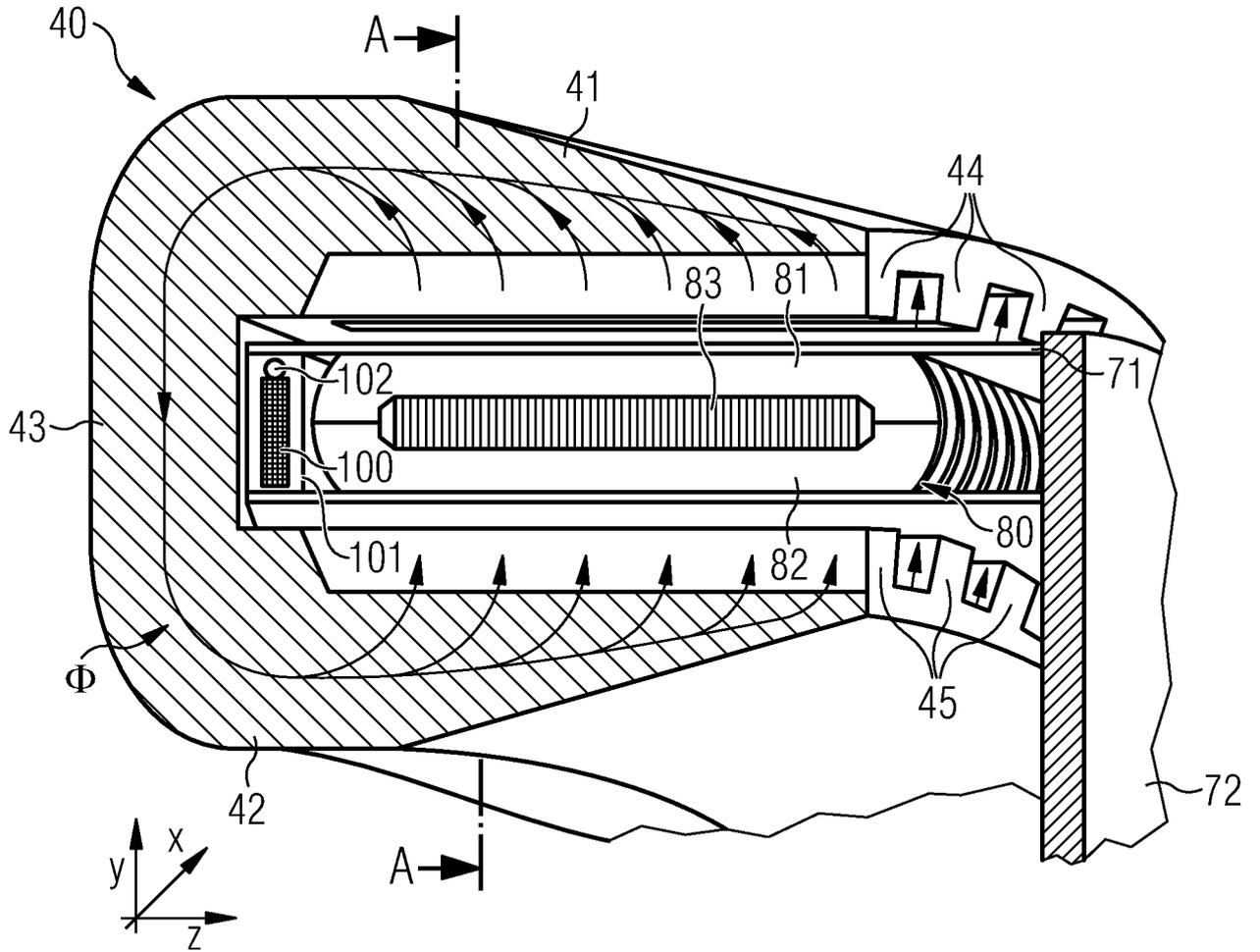


FIG 3

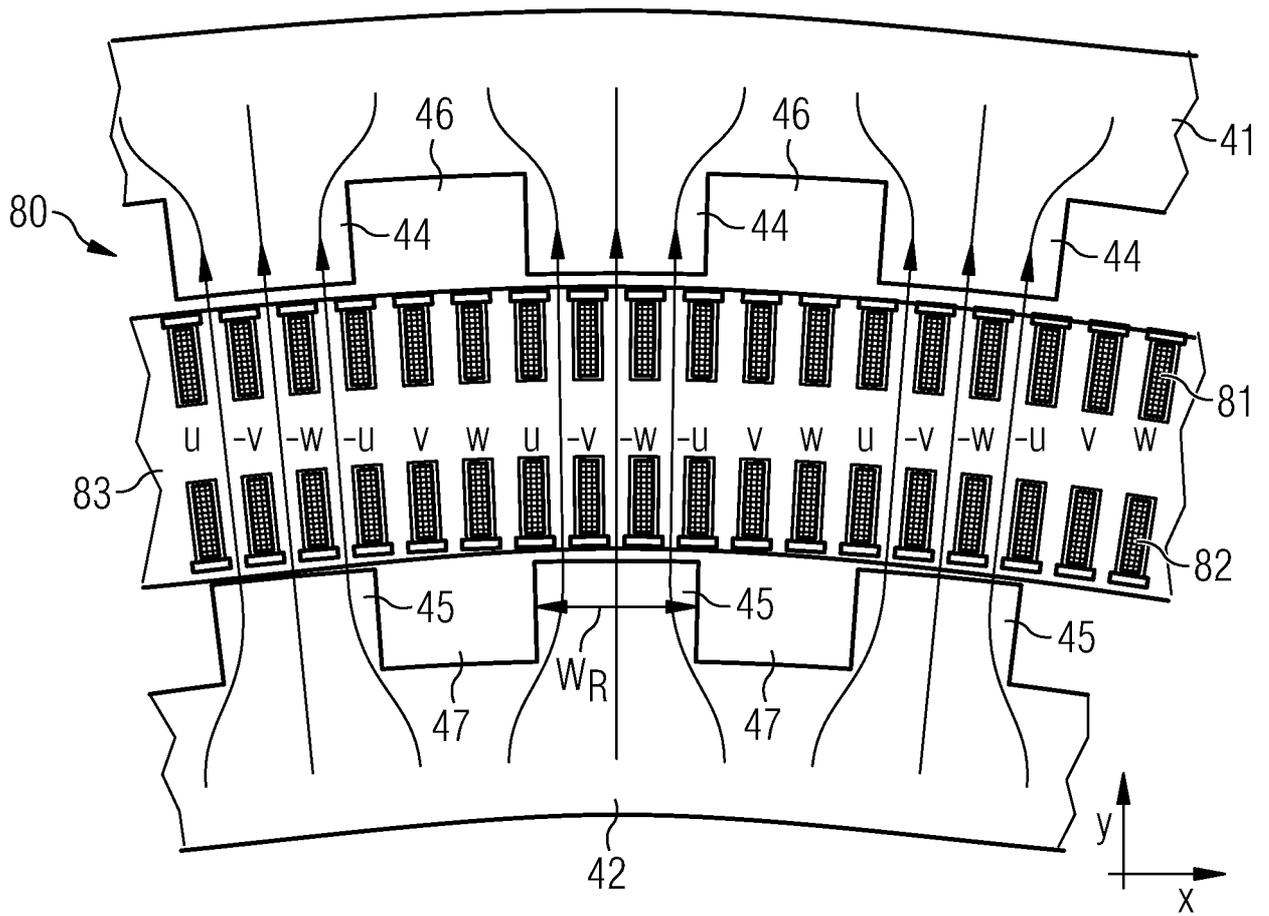


FIG 4

