

(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
12. Oktober 2017 (12.10.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/174638 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H02K 19/24 (2006.01) H02K 21/42 (2006.01)
H02K 16/04 (2006.01) H02K 7/18 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/058074

(22) Internationales Anmeldedatum:
5. April 2017 (05.04.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2016 106 187.5 5. April 2016 (05.04.2016) DE

(71) Anmelder: WOBEN PROPERTIES GMBH [DE/DE];
Borsigstraße 26, 26607 Aurich (DE).

(72) Erfinder: BROMBACH, Johannes; Roedermallee 70,
13437 Berlin (DE).

(74) Anwälte: EISENFÜHR SPEISER PATENTANWÄLTE
RECHTSANWÄLTE PARTGMBB et al.; Postfach 10
60 78, 28060 Bremen (DE).

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

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA,
NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO,
RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,
SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, 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)

(54) Title: GENERATOR HAVING MAGNETIC TRANSLATION

(54) Bezeichnung : GENERATOR MIT MAGNETISCHER ÜBERSETZUNG

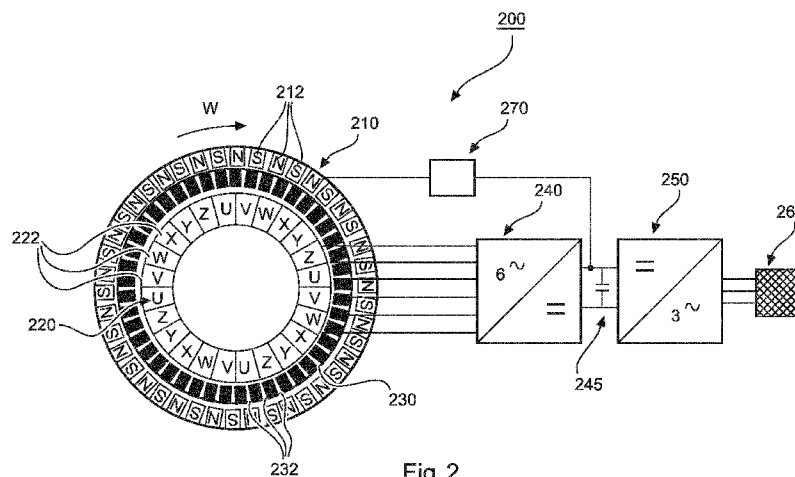


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to an electric machine, in particular a generator having a magnetic translation, and to a wind turbine having such an electric machine as a generator for generating electric power from wind. According to the invention, an electric machine according to claim 1 is proposed. Said electric machine comprises a first stator having a plurality of first stator poles that form one or more first stator pole pairs, prepared for providing a fixed magnetic field that alternates in a circumferential direction, a second stator having a plurality of second stator poles that form one or more second stator pole pairs for guiding a magnetic rotating field, electric windings for guiding an electric alternating current corresponding to the magnetic rotating field, and a modulator that is rotatably mounted between the first and second stator such that there is an interaction between the alternating magnetic field of the first stator, the magnetic rotating field of the second stator, and a rotational movement of the modulator.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2017/174638 A1



Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektrische Maschine, insbesondere einen Generator mit magnetischer Übersetzung, sowie eine Windenergieanlage mit einer solchen elektrischen Maschine als Generator zum Erzeugen elektrischer Leistung aus Wind. Erfindungsgemäß wird eine elektrische Maschine gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen. Diese elektrische Maschine umfasst einen ersten Stator mit mehreren ersten Statorpolen, welche einen oder mehrere erste Statorpolpaare bilden, vorbereitet zum Bereitstellen eines festen, in Umfangsrichtung alternierenden Magnetfeldes, einen zweiten Stator mit mehreren zweiten Statorpolen, welche einen oder mehrere zweite Statorpolpaare bilden, zum Führen eines magnetischen Drehfeldes, mit elektrischen Wicklungen zum Führen eines zu dem magnetischen Drehfeld korrespondierenden elektrischen Wechselstroms und einen zwischen dem ersten und zweiten Stator drehbar gelagerten Modulator, so dass eine Wechselwirkung besteht zwischen dem alternierenden Magnetfeld des ersten Stators, dem magnetischen Drehfeld des zweiten Stators und einer Drehbewegung des Modulators.

Generator mit magnetischer Übersetzung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektrische Maschine, insbesondere einen Generator mit magnetischer Übersetzung, sowie eine Windenergieanlage mit einer solchen elektrischen Maschine als Generator zum Erzeugen elektrischer Leistung aus Wind.

Elektrische Maschinen sind allgemein bekannt, sie sind üblicherweise als rotierende elektrische Maschinen ausgeführt und weisen genau einen Stator und genau einen Läufer auf. Elektrische Maschinen werden zudem als Motor zur Verrichtung von mechanischer Arbeit oder als Generator zur Erzeugung elektrischer Leistung ausgeführt und decken ein breites Anwendungsspektrum ab. In bestimmten Anwendungsgebieten kann es erforderlich sein, dass die elektrische Maschine mittels eines mechanischen Getriebes an ihr Einsatzgebiet angepasst werden muss. Im Bereich der Windenergieanlagen beispielsweise wird hierfür, sofern benötigt, ein mechanisches Getriebe verwendet, welches zwischen dem aerodynamischen Rotor, der durch den Wind angetrieben wird, und dem Läufer des Generators angeordnet ist, also im Antriebsstrang der Windenergieanlage angeordnet. Bei einer solchen Ausführungsform einer Windenergieanlage mit mechanischem Getriebe wird dieses üblicherweise stark durch wechselnde Lasten beansprucht, wobei die Übersetzung von langsamen zu hohen Drehzahlen besonders problematisch ist, und es kann zu sog. Kaltschmiede-Prozessen kommen, die das mechanische Getriebe derart beschädigen, dass es ausgetauscht werden muss. Dies wiederum führt zu einem hohen Wartungsaufwand der Windenergieanlage und kann sehr kostenintensiv sein.

Alternativ können auch Generatoren verwendet werden, welche ohne Getriebe direkt von dem aerodynamischen Rotor angetrieben werden. Aufgrund der geringen Drehzahl des aerodynamischen Rotors muss der Generator vom Durchmesser entsprechend groß und hochpolig ausgeführt werden, was insbesondere den Transport und den Aufbau einer entsprechenden Windenergieanlage aufwändig gestaltet.

Das Deutsche Patent- und Markenamt hat in der Prioritätsanmeldung zur vorliegenden Anmeldung folgenden Stand der Technik recherchiert: US 2011/0285132 A1, WO 2014/127855A1 und CN 102141008A. Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, wenigstens eines der oben genannten Probleme zu adressieren. Insbesondere soll eine möglichst leistungsstarke elektrische Maschine für eine Windenergieanlage vorgeschlagen werden, die ein breites Arbeitsfeld abdeckt und dabei nicht auf ein mechanisches Getriebe angewiesen ist. Zumindest soll eine alternative Lösung vorgeschlagen werden.

Erfindungsgemäß wird eine elektrische Maschine gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen. Diese elektrische Maschine umfasst einen ersten Stator mit mehreren ersten Statorpolen, welche einen oder mehrere erste Statorpolpaare bilden, vorbereitet zum Bereitstellen eines festen, in Umfangsrichtung alternierenden Magnetfeldes, einen zweiten Stator mit mehreren zweiten Statorpolen, welche einen oder mehrere zweite Statorpolpaare bilden, zum Führen eines magnetischen Drehfeldes, mit elektrischen Wicklungen zum Führen eines zu dem magnetischen Drehfeld korrespondierenden elektrischen Wechselstroms und einen zwischen dem ersten und zweiten Stator drehbar gelagerten Modulator, so dass eine Wechselwirkung besteht zwischen dem alternierenden Magnetfeld des ersten Stators, dem magnetischen Drehfeld des zweiten Stators und einer Drehbewegung des Modulators.

Zudem weist die elektrische Maschine einen Modulator auf, der so angeordnet ist, dass er eine Modulation wenigstens eines Magnetfeldes eines Stators ausführt. Hierzu ist der Modulator abschnittsweise als magnetisch wirksamer Körper ausgebildet, beispielsweise aus ferromagnetischen Stoffen wie Eisen. Der Modulator der elektrischen Maschine bildet somit den Läufer der elektrischen Maschine aus. Die Wirkungsweise der vorgeschlagenen elektrischen Maschine ist an die eines magnetischen Getriebes angelehnt. In einer bevorzugten Ausführungsform ist die elektrische Maschine zudem als Synchronmaschine, insbesondere als Synchrongenerator, ausgebildet, sodass durch Drehung des Modulators in dem zweiten Stator ein elektrischer, besonders mindestens dreiphasiger, vorzugsweise aber sechshephasiger Drehstrom erzeugt wird, dessen Frequenz in einem festen Verhältnis zur Drehzahl des Modulators steht.

Vorzugsweise ist der erste Stator fremderregt ausgeführt, so dass das alternierende Magnetfeld durch wenigstens einen Gleichstrom erzeugt wird.

Der erste Stator weist somit Elektromagneten auf, die die Statorpole ausbilden und von einem Gleichstrom durchflossen werden, sodass sie das in Umfangsrichtung alternierende magnetische Feld erzeugen. Besonders wird vorgeschlagen, dass jeder Elektromagnet aus einem Blechpaket mit einer Gleichstromwicklung gebildet ist und der erste Stator
5 dabei in Umfangsrichtung diese Blechpakete aufweist, wobei in Umfangsrichtung der Wickelsinn der Gleichstromwicklungen alterniert.

Besonders vorteilhaft hierbei ist, dass die elektrische Maschine dadurch einfach angesteuert und geregelt werden kann und dass eine magnetische Erregung der ersten Pole und damit des ersten Stators im laufenden Betrieb eingestellt werden kann. Darüber kann
10 auch eine Regelung durchgeführt werden. Zudem müssen für den ersten Stator keine kostspieligen seltenen Erden verwendet werden, wie es beispielsweise bei einer permanenten Erregung des Stators der Fall wäre.

Besonders vorteilhaft ist hierbei eine Ausführung der erfindungsgemäßen elektrischen Maschine als fremderregter Synchrongenerator einer getriebelosen Windenergieanlage.
15 Die Maschine ist dabei besonders hinsichtlich Baugröße, Leistung, Drehzahl und zu erzeugendem Strom an eine getriebelose Windenergieanlage angepasst. Besonders ist sie auf Drehzahlen des Modulators im Bereich von 5 bis 25 Umdrehungen pro Minute (U/Min) angepasst. Vorzugsweise weist die elektrische Maschine eine ringförmige Bauform auf, bei der die beiden Statoren und der Modulator als Ring ausgebildet sind, so
20 dass im Inneren, besonders in den inneren 50% des Gesamtradius der Maschine keine magnetisch wirksamen Elemente angeordnet sind. Es können aber Konstruktionselemente wie Tragstreben vorgesehen sein.

Vorzugsweise ist die elektrische Maschine so aufgebaut, dass der erste Stator, der zweite Stator und der Modulator konzentrisch ineinander gesetzt sind.

25 Die elektrische Maschine ist somit als rotierende elektrische Maschine ausgebildet, wobei der Modulator in radialer Richtung zwischen dem ersten und dem zweiten Stator angeordnet ist. Die elektrische Maschine weist also vorzugsweise einen inneren und einen äußeren Stator auf, wobei der innere Stator einen kleineren mittleren Durchmesser als der äußere Stator aufweist. Dazwischen ist der Modulator angeordnet, insbesondere als
30 mittlerer Modulatorring.

Besonders vorteilhaft hierbei ist, dass die elektrische Maschine selbst mit dem fremderregten ersten Stator gänzlich ohne Schleifringe ausgeführt werden kann. Besonders wird hierdurch der Wartungsaufwand der elektrischen Maschine minimiert.

5 Vorzugsweise weist die elektrische Maschine genau einen drehbar gelagerten Modulator auf.

Die elektrische Maschine besteht somit in einer bevorzugten Ausführungsform im Wesentlichen aus dem ersten Stator, dem zweiten Stator und genau dem einen drehbar gelagerten Modulator, wobei der Modulator als Läufer der elektrischen Maschine angesehen und bezeichnet werden kann. Eine solche Ausführungsform wird insbesondere
10 durch die fremderregte Ausführung eines Stators ermöglicht und führt zu einer kompakten Bauweise der elektrischen Maschine, insbesondere auf Grund des genau einen drehbar gelagerten Modulators. Es wurde erkannt, dass eine solche Ausführung besonders gut an die Verwendung als langsam drehende Maschine, besonders zur Verwendung in einer getriebelosen Windenergieanlage geeignet ist.

15 Vorzugsweise ist der erste Stator in Bezug auf den zweiten Stator radial innen angeordnet, oder der erste Stator ist in Bezug auf den zweiten Stator radial außen.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist ein fremderregter Stator innen angeordnet, er bildet also den inneren Stator aus. Dies hat zur Folge, dass der zweite Stator, der dünner ausgeführt werden kann, außen angeordnet ist und somit die elektrische Maschine kleiner ausgeführt werden kann.
20

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist ein fremderregter Stator außen angeordnet, er bildet also den äußeren Stator. Dies ermöglicht einen konstruktiv einfachen Aufbau der elektrischen Maschine, da die Anzapfung für die Erregung direkt außen an der elektrischen Maschine liegt.

25 Vorzugsweise ist die Maschine so aufgebaut, dass der Modulator im Betrieb der elektrischen Maschine eine Drehbewegung relativ zum ersten Stator aufweist, die ein magnetisches Drehfeld und damit einen Drehstrom im zweiten Stator erzeugt.

Im Betrieb dreht sich der Modulator somit relativ zum ersten Stator und damit relativ zum in Umfangsrichtung alternierenden Magnetfeld des ersten Stators. Es entsteht eine
30 Wechselwirkung, durch die sich ein zeitlich veränderliches Magnetfeld im zweiten Stator

einstellt, nämlich ein Drehfeld, das durch entsprechende Bewicklung des zweiten Stators den elektrischen Drehstrom erzeugt.

Vorzugsweise weist der Modulator mehrere Modulatoreisen auf und die Modulatoreisen sind unbewickelt ausgeführt. Die Modulatoreisen sind aus einem ferromagnetischen Material ausgebildet und in axialer Richtung des Modulators im Modulator ausgerichtet und so angeordnet, dass sie im Betrieb der elektrischen Maschine wenigstens ein magnetisches Polpaar ausbilden. Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass der Modulator wenigstens ein Modulatoreisen mehr oder weniger aufweist als Polpaare im ersten Stator und/oder als Polpaare im zweiten Stator vorhanden sind. Dadurch kann durch Drehung des Modulators ein im ersten Stator schnell umlaufendes Magnetfeld erzeugt werden, das schneller umläuft, als der Modulator sich dreht. Dadurch kann mit einer vergleichsweise langsamen Drehzahl des Modulators ein elektrischer Strom mit hoher Frequenz erzeugt werden. Besonders für eine Verwendung in einer, ansonsten getriebelosen Windenergieanlage kann diese Variante dazu genutzt werden, aus einer langsamen Drehbewegung des aerodynamischen Rotors einen Drehstrom, einschließlich eines dreiphasigen Wechselstroms, mit ausreichend hoher Frequenz zu erzeugen.

Vorzugsweise bilden die Modulatoreisen im Betrieb mehrere magnetische Modulatorpolpaare aus, die der Summe der Statorpolpaare des ersten und des zweiten Stators entsprechen. Alternativ kann die Anzahl der Modulatoreisen auch der Differenz zwischen der Anzahl Polpaare im hochpoligeren Stator und der Anzahl Polpaare im niederpoligeren Stator entsprechen. Für beide Varianten ist besonders bevorzugt vorgesehen, dass der zweite Stator wesentlich weniger Polpaare aufweist als der erste Stator, insbesondere weniger als ein Viertel der Anzahl Polpaare des zweiten Stators.

Beispielsweise weist der erste Stator der elektrischen Maschine 42 Pole und somit 21 Polpaare auf und der zweite Stator der elektrischen Maschine 4 Pole und damit 2 Polpaare auf. Die Summe ist dann 46 Pole bzw. 23 Polpaare und für die Anzahl der Modulatoreisen wird somit 23 vorgeschlagen. Diese Anzahl Modulatoreisen ist dementsprechend im Modulator anzuordnen. Insbesondere bildet jeweils ein Modulatoreisen, das bspw. auch geblecht ausgeführt sein kann, im Betrieb jeweils ein Modulatorpolpaar aus.

Vorzugsweise ist wenigstens ein Stator der elektrischen Maschine hochpolig ausgeführt. Dazu sind vorzugsweise 12 Polpaare oder mehr, insbesondere 24 oder mehr Polpaare vorgesehen, besonders im ersten Stator.

Die elektrische Maschine ist vorzugsweise und insbesondere durch wenigstens eines der vorbeschriebenen Merkmale dazu ausgebildet, in Leistungsklassen über 100 kW zu arbeiten. Insbesondere ist eine solche elektrische Maschine dazu ausgebildet, als Generator in einer Windenergieanlage verwendet zu werden, insbesondere in Leistungsklassen über 1MW.

Vorzugsweise weist die elektrische Maschine einen Außendurchmesser auf, der größer als 3 m und kleiner als 5 m ist. Dadurch kann eine leistungsstarke Maschine geschaffen werden, die gleichwohl noch auf der Straße transportiert werden kann.

Die elektrische Maschine ist bevorzugt als leistungsstarke Maschine, insbesondere als Generator mit einer Leistungsklasse von über 1 MW, ausgebildet. Besonders vorteilhaft hierbei ist, die Ausnutzung der kompakten Bauweise bei gleichzeitigem Verzicht eines mechanischen Getriebes. Die erfindungsgemäße elektrische Maschine ermöglicht somit eine wartungsarme Maschine, insbesondere einen wartungsarmen Generator einer Windenergieanlage, die ohne Schleifringe auskommt. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die elektrische Maschine dabei als Ringgenerator ausgebildet.

Vorzugsweise ist die elektrische Maschine als Generator mit magnetischer Übersetzung ausgebildet, insbesondere als 6-phasiger Generator einer Windenergieanlage, der auch als Magnetgetriebegenerator bezeichnet werden kann. Als 6-phasiger Generator, bzw. als 6-phasiges System allgemein, wird hierbei ein Generator angesehen, der zwei elektrische 3-phasige Systeme aufweist, die zueinander phasenverschoben sind. In dem System sind pro Polpaar 6 Wechselstromwicklungen vorhanden, welche elektrisch 60° phasenverschoben sind.

Besonders vorteilhaft ist die Ausführung einer elektrischen Maschine nach einem der vorstehenden Ausführungsformen als Generator, insbesondere so, dass der Modulator mit der mechanischen Antriebswelle gekoppelt ist, um elektrische Leistung aus einer Drehung des Generators zu erzeugen. Somit ist die elektrische Maschine als 6-phasiger Generator mit einer magnetischen Übersetzung einer Windenergieanlage ausgebildet, die im Vergleich zu üblichen Generatoren gleicher Funktionsweise bzw. gleicher Anwendung einen kleineren Bauraum aufweist bzw. benötigt.

Weiterhin wird eine Windenergieanlage zum Erzeugen elektrischer Leistung aus Wind vorgeschlagen. Die Windenergieanlage umfasst dabei einen vom Wind angetriebenen aerodynamischen Rotor mit wenigstens einem Rotorblatt und einen von dem aerodyna-

mischen Rotor angetriebenen Generator, wobei als Generator eine vorstehend oder nachstehend beschriebene elektrische Maschine, insbesondere nach einem der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen verwendet wird und der Modulator der elektrischen Maschine mit dem aerodynamischen Rotor so gekoppelt ist, dass eine Drehbewegung des aerodynamischen Rotors zu einer, insbesondere identischen, Drehbewegung des Modulators führt, wodurch ein magnetisches Drehfeld im zweiten Stator erzeugt wird und die elektrische Maschine dadurch einen elektrischen Strom und damit eine elektrische Leistung erzeugt.

Gemäß einer Abwandlung wird vorgeschlagen, dass der erste Stator drehbar gelagert ist und der Modulator fest steht, so dass eine körperliche Drehung des ersten Stators über eine Modulation mittels des Modulators zu einem Drehfeld im zweiten Stator führt.

Die Windenergieanlage weist somit einen aerodynamischen Rotor auf, der direkt oder über einen Antriebsstrang mit dem drehbar gelagerten Modulator der elektrischen Maschine gekoppelt ist, um elektrische Leistung zu erzeugen. Der Modulator der elektrischen Maschine, die hierbei als Generator ausgebildet ist bzw. als Generator betrieben werden kann, wird mittels des aerodynamischen Rotors in eine Drehbewegung versetzt. Durch die Drehbewegung des Modulators, wird das Magnetfeld des ersten Stators im zweiten Stator so moduliert, dass ein elektrischer Strom im zweiten Stator induziert wird.

Gemäß einer Ausführungsform ist der aerodynamische Rotor direkt mit dem Modulator gekoppelt, so dass zwischen dem aerodynamischen Rotor und dem Modulator ein Übersetzungsverhältnis von 1:1 vorliegt. Die Windenergieanlage wird somit hierbei getriebeelos ausgeführt.

Die Windenergieanlage weist demnach kein mechanisches Getriebe zwischen aerodynamischem Rotor und Modulator auf.

Besonders vorteilhaft hierbei ist die Vermeidung von Kaltschmiede-Prozessen und anderen Problemen mechanischer Getriebe. Dabei kann der Generator eine kleinere Bauform aufweisen als bisherige Generatoren getriebeloser Windenergieanlagen, weil der Generator so ausgeführt werden kann, dass die Drehung des Modulators ohne mechanisches Getriebe zu einem schneller umlaufenden Drehfeld im zweiten Stator führen kann.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist der Generator als Synchrongenerator einer getriebelosen Windenergieanlage ausgebildet.

Vorzugsweise ist die elektrische Maschine als Ringgenerator einer Windenergieanlage ausgebildet.

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

- 5 Fig. 1 zeigt eine Windenergieanlage in einer perspektivischen Ansicht.
- Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform einer elektrischen Maschine, insbesondere als Generator.
- Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform einer elektrischen Maschine, insbesondere als Generator.
- 10 Fig. 4 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform einer elektrischen Maschine als Generator in einer Windenergieanlage.

Fig. 1 zeigt eine Windenergieanlage 100 zum Erzeugen elektrischer Leistung aus Wind mit einem Turm 102 und einer Gondel 104. An der Gondel 104 ist ein Rotor 106 mit drei Rotorblättern 108 und einem Spinner 110 angeordnet. Der Rotor 106, der auch als aerodynamischer Rotor bezeichnet wird, wird im Betrieb durch den Wind in eine Drehbewegung versetzt und treibt dadurch einen Generator in der Gondel 104. Als Generator wird eine erfindungsgemäße elektrische Maschine mit zwei Statoren und einem Modulator verwendet, wobei der Modulator der elektrischen Maschine mit dem aerodynamischen Rotor so gekoppelt ist, dass die elektrische Maschine elektrische Leistung erzeugt.

20 Bevorzugt ist der Generator im Sinne eines Magnetgetriebegenerators ausgebildet, insbesondere aus einer erfindungsgemäßen elektrischen Maschine als 6-phasiger Ringgenerator, wobei die Windenergieanlage kein mechanisches Getriebe zwischen aerodynamischen Rotor und Generator aufweist.

Fig. 2 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen elektrischen Maschine, die als Generator 200 ausgebildet ist. Der Generator 200 umfasst einen ersten Stator 210 mit mehreren ersten Statorpolen 212, vorbereitet zum Bereitstellen eines festen, in Umfangsrichtung U alternierenden Magnetfeldes, einen zweiten Stator 220 mit mehreren zweiten Statorpolen 222 zum Führen eines magnetischen Wechselfeldes, mit elektrischen Wicklungen U, V, W, X, Y, Z zum Führen eines zu dem elektrischen Drehfeld

korrespondierenden Wechselstroms, und einen zwischen dem ersten und zweiten Stator 210, 220 drehbar gelagerten Modulator 230, so dass eine Wechselwirkung besteht zwischen dem alternierenden Magnetfeld des ersten Stators 210, dem magnetischen Drehfeld des zweiten Stators 220 und einer Drehbewegung des Modulators 230.

5 Der erste Stator 210, der zweite Stator 220 und der Modulator 230 sind konzentrisch ineinander gesetzt und bilden dadurch eine rotierende elektrische Maschine aus, wobei die elektrische Maschine genau einen drehbar gelagerten Modulator 230 aufweist. Der erste Stator 210 ist in Bezug auf den zweiten Stator 220 radial innen angeordnet. Eine Drehbewegung des Modulators 230 relativ zum ersten Stator 210 erzeugt das magneti-
10 sche Drehfeld und damit den elektrischen Drehstrom des zweiten Stators 220, der 6-phasig ausgebildet ist. Der so erzeugte 6-phasige Strom wird über die Phasen U, V, W, X, Y, Z an einen Gleichrichter 240 übergeben, der eine Gleichspannung bzw. einen Gleichstrom erzeugt, welcher mittels eines Wechselrichters 250 in einen Drehstrom gewandelt wird und dann in ein Versorgungsnetz 260 eingespeist wird. Zum Erzeugen
15 des in Umfangsrichtung alternierenden Magnetfeldes ist der erste Stator 210 fremderregt ausgeführt, sodass das alternierende Magnetfeld durch wenigstens einen Gleichstrom erzeugt wird. Dieser Gleichstrom, der als Erregerstrom bezeichnet werden kann, wird dem Gleichspannungszwischenkreis 245 entnommen und mittels einer Ansteuereinheit 270 am ersten Stator für eine Fremderregung bereitgestellt, wie diese Ausführungsform
20 zeigt. Es kommt aber auch in Betracht, den Erregerstrom anderweitig zu erzeugen, wie bspw. durch einen durch einen Drehstrom versorgten Stromsteller, um nur ein weiteres Beispiel zu nennen. Der Modulator 230 weist ferner mehrere Modulatoreisen 232 auf, wobei die Modulatoreisen 232 unbewickelt sind. Hierzu ist der Modulator 230 wenigstens abschnittsweise magnetisch wirksam ausgeführt, also für jeden Pol 232 separat, vor-
25 zugsweise aus Eisen.

In der Ausführungsform der Figur 2 weist der erste Stator 210 zweiundvierzig feststehende fremderregte Magnetpole als Statorpole 212 auf, dessen Magnetfeld durch einen Modulator 230 mit dreiundzwanzig Modulatoreisen ohne Wicklungen moduliert wird, wobei sich im Modulatoreisen temporär Polpaare durch die Wechselwirkung des Modula-
30 tors mit dem ersten Stator dynamisch ausbilden.

Der zweite Stator 220 ist hierbei vierpolig (zwei Polpaare) ausgeführt. Die erste Stator-Polpaarzahl ist somit größer als die zweite Stator-Polpaarzahl und der erste Stator 210 ist hochpolig ausgeführt. Diese elektrische Maschine ist dadurch für große Leistungsklassen bei geringer Drehzahl des Modulators vorbereitet.

Fig. 3 zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen elektrischen Maschine, die als Generator 300 ausgebildet ist. Der Generator 300 umfasst einen ersten Stator 310 mit mehreren ersten Statorpolen 312, vorbereitet zum Bereitstellen eines festen, in Umfangsrichtung U alternierenden Magnetfeldes, einen zweiten Stator 320 mit mehreren zweiten Statorpolen 322 zum Führen eines magnetischen Wechselfeldes, mit elektrischen Wicklungen U, V, W, X, Y, Z zum Führen eines zu dem elektrischen Drehfeld korrespondierenden Wechselstroms, und einen zwischen dem ersten und zweiten Stator 310, 320 drehbar gelagerten Modulator 330, so dass eine Wechselwirkung besteht zwischen dem alternierenden Magnetfeld des ersten Stators 310, dem magnetischen Drehfeld des zweiten Stators 320 und einer Drehbewegung des Modulators 330.

Der erste Stator 310, der zweite Stator 320 und der Modulator 330 sind konzentrisch ineinander gesetzt und bilden dadurch eine rotierende elektrische Maschine aus, wobei die elektrische Maschine genau einen drehbar gelagerten Modulator 330 aufweist. Der erste Stator 310 ist in Bezug auf den zweiten Stator 320 radial außen angeordnet. Eine Drehbewegung des Modulators 330 relativ zum ersten Stator 310 erzeugt das magnetische Drehfeld und damit den magnetisch induzierten Drehstrom des zweiten Stators 320, der 6-phasig ausgebildet ist. Der so erzeugte 6-phasige Strom wird über die Phasen U, V, W, X, Y, Z an einen Gleichrichter 340 übergeben, der einen Gleichstrom erzeugt, welcher mittels eines Wechselrichters 350 in ein Versorgungsnetz 360 eingespeist wird. Hierzu ist der erste Stator 310 fremderregt ausgeführt, sodass das alternierende Magnetfeld durch wenigstens einen Gleichstrom erzeugt wird, wie diese Ausführungsform zeigt. Es kommt aber auch hier in Betracht, den Erregerstrom anderweitig zu erzeugen, wie oben zu Figur 2 bereits erläutert wurde. Dieser Erregerstrom wird dem Gleichspannungszwischenkreis 345 entnommen und mittels einer Ansteuereinheit 370 am ersten Stator für eine Fremderregung bereitgestellt. Der Modulator 330 weist ferner mehrere Modulatoreisen 332 auf, wobei die Modulatoreisen 330 unbewickelt sind. Hierzu ist der Modulator 330 wenigstens abschnittsweise magnetisch wirksam ausgeführt, also für jeden Pol 332 separat, beispielsweise aus Eisen.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist der erste Stator 310 vierpolig (zwei Polpaare) mit feststehenden, fremderregten Wicklungen ausgeführt. Zudem ist der Modulator 330 mit dreiundzwanzig Modulatoreisen ohne Wicklung eingerichtet und der zweite Stator 320 ist als feststehender Stator mit 42-poliger Drehstromwicklung (21 Polpaare) ausgebildet. Die zweite Statorpolpaarzahl ist somit größer als die erste Statorpolpaarzahl.

Fig. 4 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform einer elektrischen Maschine als Generator in einer Windenergieanlage 400. Die Windenergieanlage umfasst einen Turm 402 und eine Gondel 404 (angedeutet), die oberhalb des Turmes 402 angeordnet ist. An der Gondel 404 ist ein Rotor 406 mit drei Rotorblättern 408, von denen eines mit gestrichelten Linien angedeutet ist. Der Rotor 406, der auch als aerodynamischer Rotor bezeichnet wird, wird im Betrieb durch den Wind in eine Drehbewegung ω versetzt und treibt dadurch den Generator 409 in der Gondel 404 an. Als Generator 409 wird eine erfindungsgemäße elektrische Maschine verwendet, die einen ersten Stator 410, einen zweiten Stator 420 und einen Modulator 430 umfasst. Der Modulator 430 des Generators ist mit dem aerodynamischen Rotor 406 so gekoppelt, dass der Generator, der als Ringgenerator ausgeführt ist, elektrische Leistung erzeugt. Der Generator 409 der Windenergieanlage kann somit im Sinne eines Generators mit magnetischer Übersetzung ausgebildet sein, insbesondere als 6-phasiger Ringgenerator. Der Modulator 430 ist direkt mit dem aerodynamischen Rotor 406 gekoppelt und im Statorträger 414 drehbar gelagert. Eine weitere Lagerung wird auch durch Lager 434 erreicht, das den Modulator 430 zusammen mit dem Rotor 406 lagert. Die Statorträger 414, 424 tragen jeweils den ersten bzw. den zweiten Stator direkt auf dem Achszapfen 480 des Maschinenträgers 490, wobei der Maschinenträger 490 auf dem Turm 402 getragen und gelagert ist.

Die Windenergieanlage ist somit ohne mechanisches Getriebe zwischen aerodynamischem Rotor 406 und Generator 409 ausgeführt. Der Antriebsstrang der Windenergieanlage ist also mechanisch getriebeles ausgeführt bzw. das Übersetzungsverhältnis zwischen dem aerodynamischen Rotor und dem Generator, nämlich dem Modulator, ist 1:1. Bevorzugt ist der Außendurchmesser des Generators 409 größer als 3 m und kleiner als 5 m.

Besonders vorteilhaft bei einer erfindungsgemäßen Verwendung einer erfindungsgemäßen elektrischen Maschine in einer Windenergieanlage ist die kompakte Bauweise der elektrischen Maschine. Zudem wird eine Regelung der Spannungsabgabe des Generators der Windenergieanlage über die Fremderregung ermöglicht. Außerdem kann über die Erregung auch der Arbeitspunkt des Generators eingestellt und geregelt werden.

Ein weiterer Vorteil dieses Generatorkonzeptes ist eine einfache Möglichkeit der Einstellung des Übersetzungsverhältnisses bei der Auslegung von der Drehung des Modulators zur Geschwindigkeit des erzeugten umlaufenden Wechselfeldes durch Variation der Modulatoreisen. Auch ermöglicht eine solche Bauweise einen kleineren Luftspalt sowie

einen modularen Aufbau des Generators. Zudem werden Schleifringe nicht mehr benötigt und ein höherer Wirkungsgrad des Generators kann erreicht werden.

Ansprüche

1. Elektrische Maschine, umfassend:
 - einen ersten Stator mit mehreren ersten Statorpolen vorbereitet zum Bereitstellen eines festen, in Umfangsrichtung alternierenden Magnetfeldes,
 - 5 - einen zweiten Stator mit mehreren zweiten Statorpolen zum Führen eines magnetischen Drehfeldes, mit elektrischen Wicklungen zum Führen eines zu dem magnetischen Drehfeld korrespondierenden elektrischen Drehstrom, und
 - einen zwischen dem ersten und zweiten Stator drehbar gelagerten Modulator, so dass eine Wechselwirkung besteht zwischen dem alternierenden Magnetfeld des ersten Stators, dem magnetischen Drehfeld des zweiten Stators und einer Drehbewegung des Modulators.
- 10 2. Elektrische Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
 - der erste Stator fremderregt ausgeführt ist, so dass das alternierende Magnetfeld durch wenigstens einen Gleichstrom erzeugt wird.
- 15 3. Elektrische Maschine nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass
 - der erste Stator, der zweite Stator und der Modulator konzentrisch ineinander gesetzt sind.
4. Elektrische Maschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
 - 20 - die elektrische Maschine genau einen drehbar gelagerten Modulator aufweist.
5. Elektrische Maschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
 - der erste Stator in Bezug auf den zweiten Stator radial innen angeordnet ist, oder
 - der erste Stator in Bezug auf den zweiten Stator radial außen angeordnet ist.
- 25 6. Elektrische Maschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
 - eine Drehbewegung des Modulators relativ zum ersten Stator das magnetische Drehfeld und damit den elektrischen Drehstrom des zweiten Stators erzeugt.
7. Elektrische Maschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 30

- der Modulator mehrere Modulatoreisen aufweist und die Modulatoreisen unbewickelt sind.

8. Elektrische Maschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl der Modulatoreisen, der Hälfte der Summe oder der Differenz
5 der Statorpole des ersten und des zweiten Stators entspricht, bzw. die Anzahl der Modulatoreisen der Summe oder der Differenz der Polpaare im ersten und im zweiten Stator entspricht.

9. Elektrische Maschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

10 - wenigstens ein Stator hochpolig ausgeführt ist.

10. Elektrische Maschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- die elektrische Maschine einen Außendurchmesser aufweist, der größer als 3m und kleiner als 5m ist.

15 11. Elektrische Maschine nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- die elektrische Maschine als Generator ausgebildet ist, insbesondere als 6-phasiger Magnetgetriebegenerator einer Windenergieanlage.

12. Windenergieanlage zum Erzeugen elektrischer Leistung aus Wind, umfassend

20 - einen vom Wind angetriebenen aerodynamischen Rotor mit wenigstens einem Rotorblatt und

- einen von dem aerodynamischen Rotor angetriebenen Generator, wobei

- als Generator eine elektrische Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 11 verwendet wird und der Modulator der elektrischen Maschine mit dem aerodynamischen
25 Rotor so gekoppelt ist, dass die elektrische Maschine eine elektrische Leistung erzeugt.

13. Windenergieanlage zum Erzeugen elektrischer Leistung aus Wind, nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der aerodynamische Rotor direkt mit dem Modulator gekoppelt ist, so dass zwischen dem aerodynamischen Rotor und dem Modulator ein Übersetzungsverhältnis von 1:1 vorliegt.

30 14. Windenergieanlage zum Erzeugen elektrischer Leistung aus Wind, nach einem der Ansprüche 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Maschine als Ringgenerator ausgebildet ist.

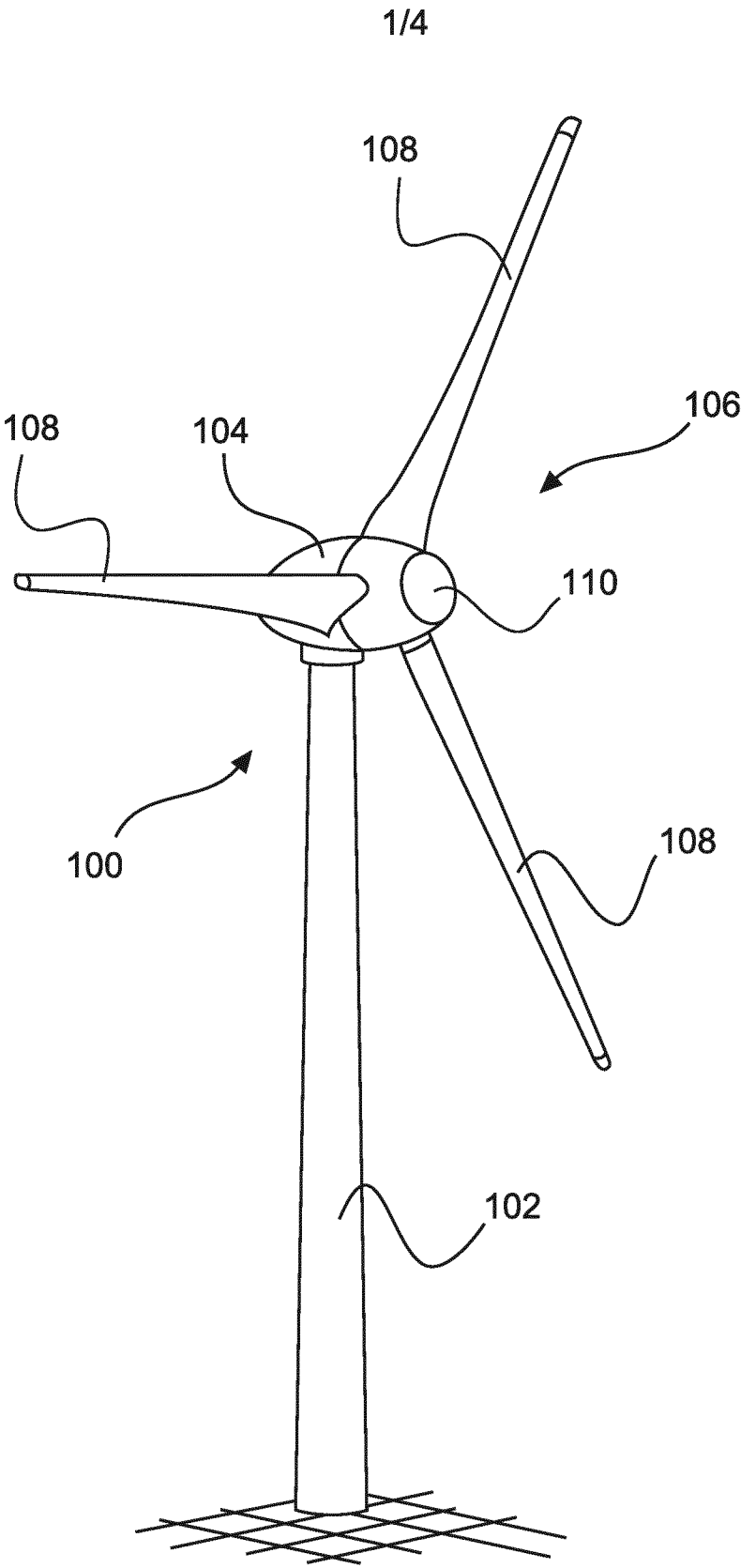
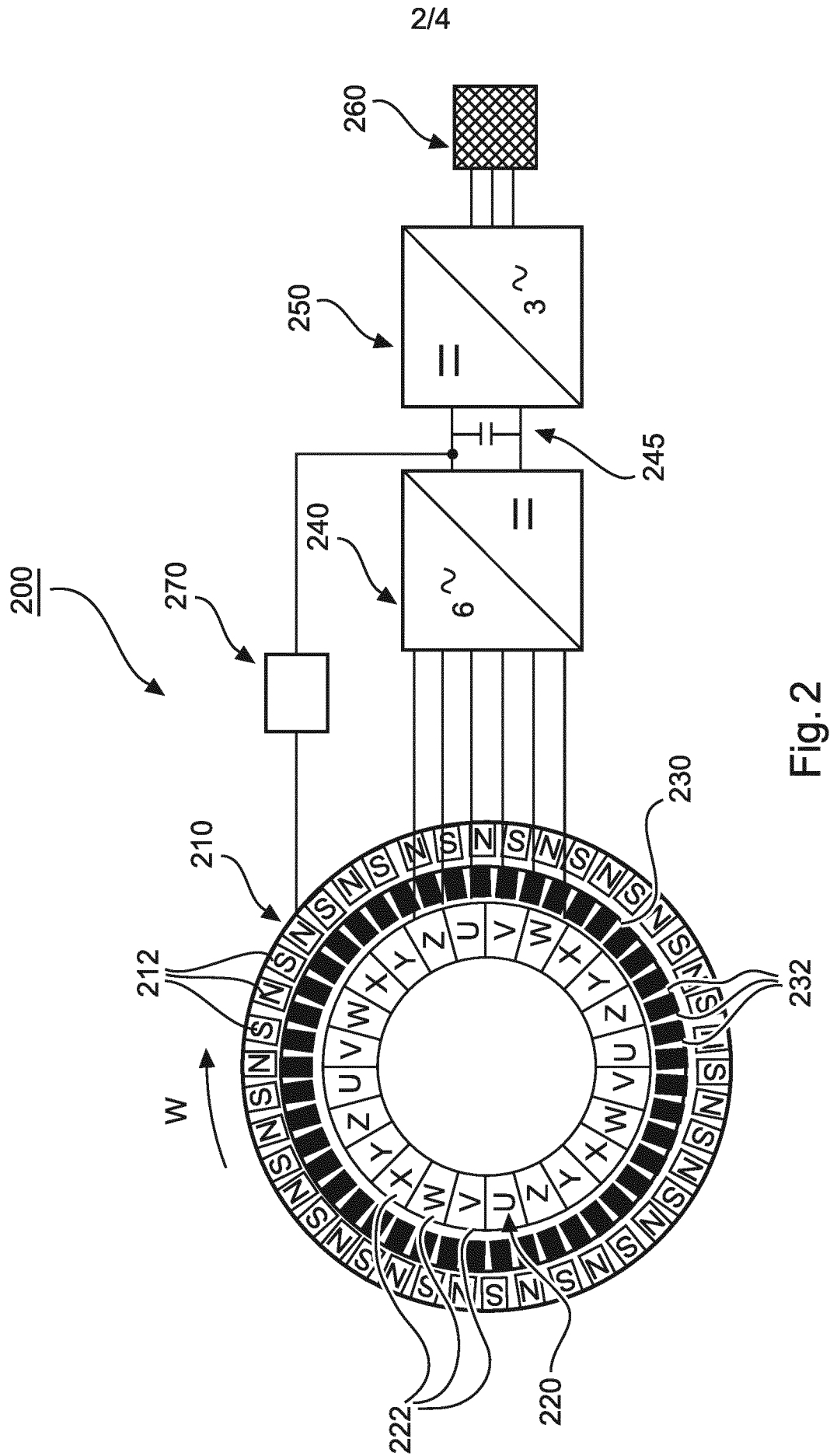


Fig. 1



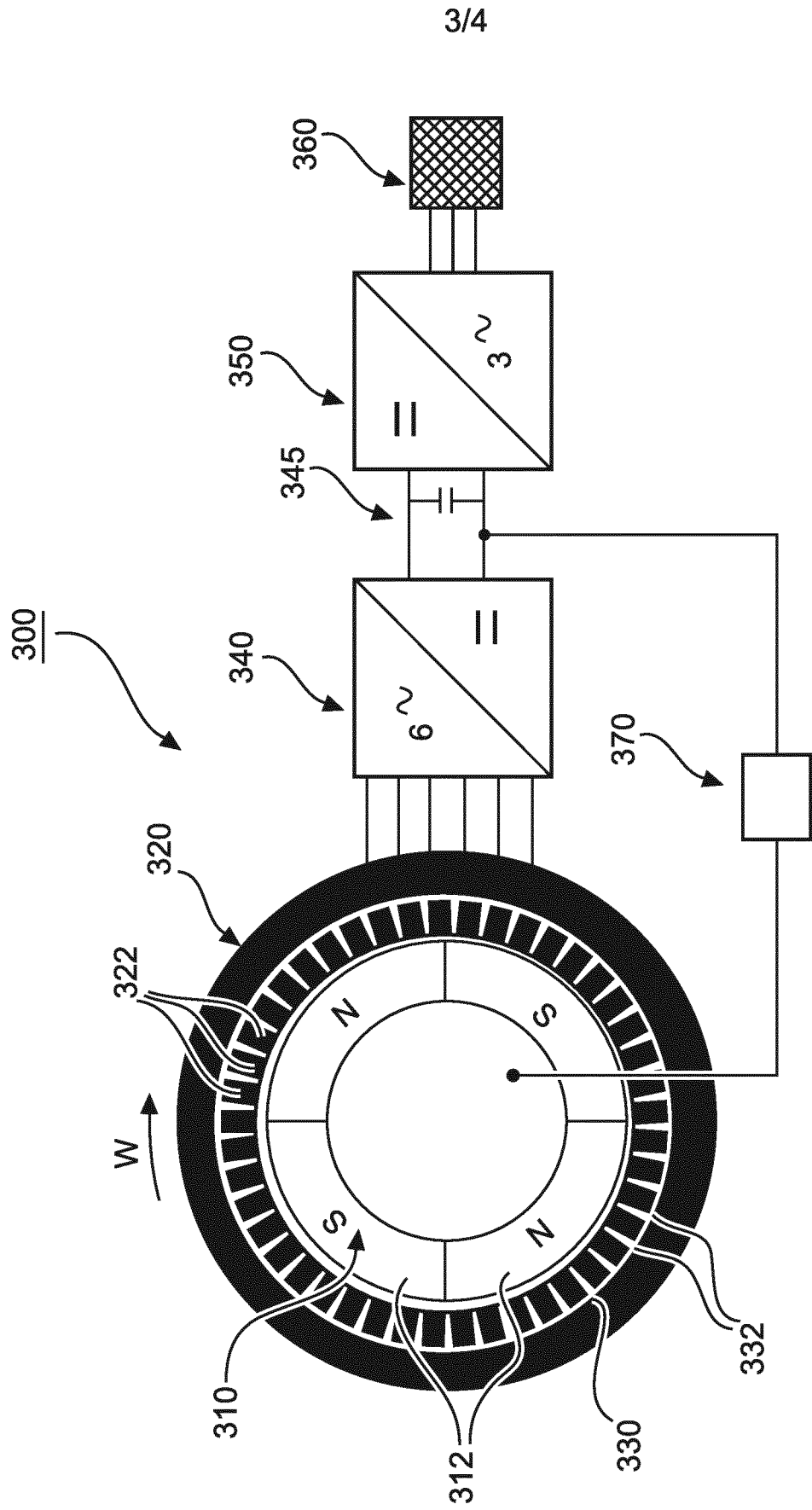


Fig. 3

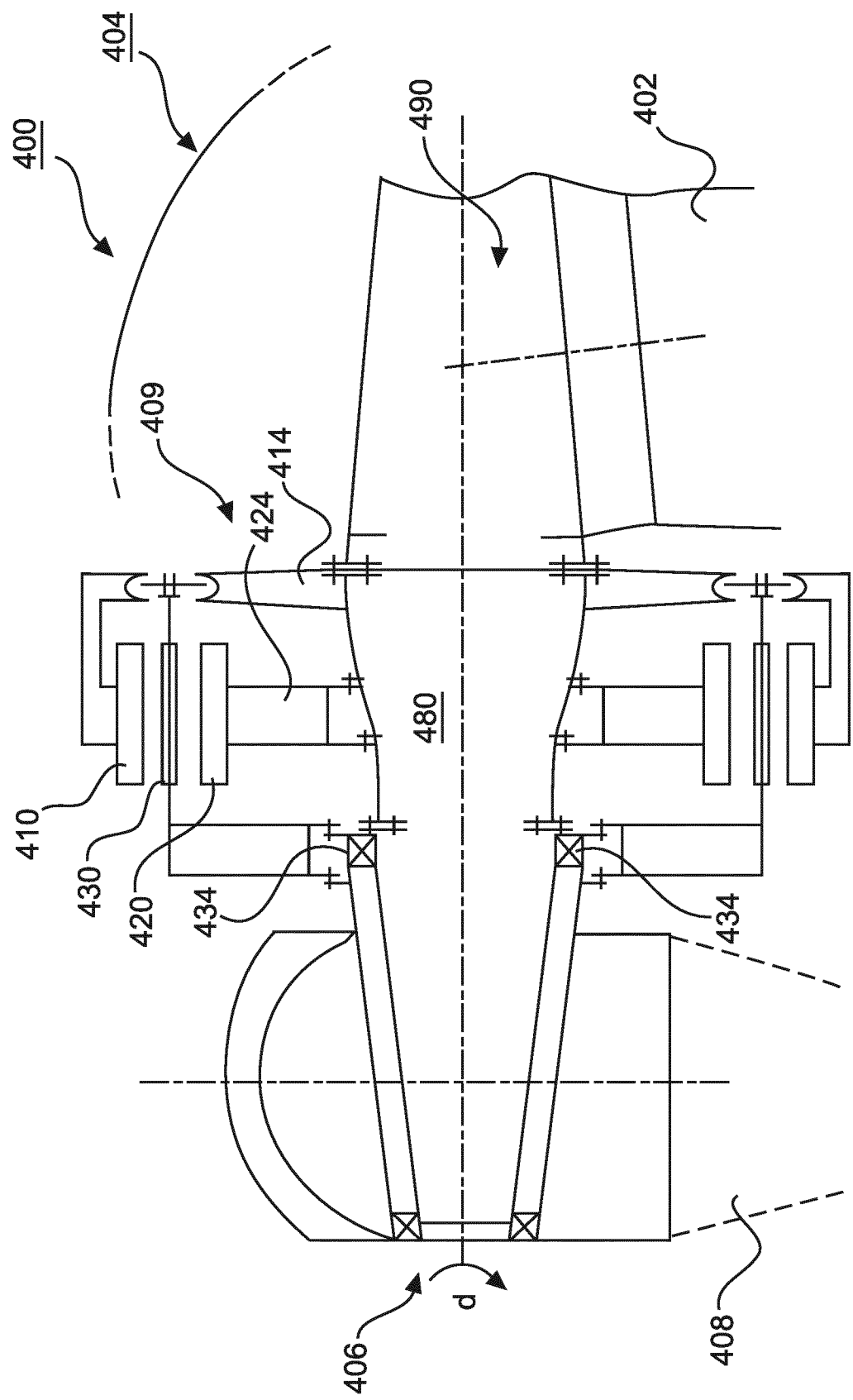


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/058074

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02K19/24 H02K16/04
ADD. H02K21/42 H02K7/18

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)
H02K

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 2 608 370 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 26 June 2013 (2013-06-26)	1,3-7, 11,12,14
Y	paragraph [0025] - paragraph [0034] paragraph [0039]; figures 1,2	2,8-10, 13
Y	US 2007/186692 A1 (WASZAK MICHAL-WOLFGANG [DE] ET AL) 16 August 2007 (2007-08-16) paragraph [0028] - paragraph [0037]; figures 4-7	2,9,13
X	EP 2 770 616 A1 (SIEMENS AG [DE]) 27 August 2014 (2014-08-27)	1,3-9,11
Y	paragraph [0018] - paragraph [0030]; figures 1, 2	8
Y	EP 1 458 080 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]; TMA ELECTRIC CORP [JP]) 15 September 2004 (2004-09-15) figure 1	10



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

14 June 2017

Date of mailing of the international search report

26/06/2017

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

Türk, Severin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/058074

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2608370	A2	26-06-2013	CN 103178677 A 26-06-2013
		DE 102012002347 A1 27-06-2013	
		EP 2608370 A2 26-06-2013	
		KR 20130073839 A 03-07-2013	
		US 2013162066 A1 27-06-2013	

US 2007186692	A1	16-08-2007	NONE

EP 2770616	A1	27-08-2014	EP 2770616 A1 27-08-2014
		EP 2946463 A1 25-11-2015	
		WO 2014127855 A1 28-08-2014	

EP 1458080	A1	15-09-2004	EP 1458080 A1 15-09-2004
		JP 4311643 B2 12-08-2009	
		JP WO2003055045 A1 28-04-2005	
		US 2004155537 A1 12-08-2004	
		WO 03055045 A1 03-07-2003	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H02K19/24 H02K16/04

ADD. H02K21/42 H02K7/18

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

H02K

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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 2 608 370 A2 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 26. Juni 2013 (2013-06-26)	1,3-7, 11,12,14
Y	Absatz [0025] - Absatz [0034] Absatz [0039]; Abbildungen 1,2	2,8-10, 13
Y	US 2007/186692 A1 (WASZAK MICHAL-WOLFGANG [DE] ET AL) 16. August 2007 (2007-08-16) Absatz [0028] - Absatz [0037]; Abbildungen 4-7	2,9,13
X	EP 2 770 616 A1 (SIEMENS AG [DE]) 27. August 2014 (2014-08-27)	1,3-9,11
Y	Absatz [0018] - Absatz [0030]; Abbildungen 1, 2	8
Y	EP 1 458 080 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]; TMA ELECTRIC CORP [JP]) 15. September 2004 (2004-09-15) Abbildung 1	10



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



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 er-
scheinen 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

14. Juni 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

26/06/2017

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

Türk, Severin

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/058074

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2608370	A2	26-06-2013	CN 103178677 A 26-06-2013
			DE 102012002347 A1 27-06-2013
			EP 2608370 A2 26-06-2013
			KR 20130073839 A 03-07-2013
			US 2013162066 A1 27-06-2013

US 2007186692	A1	16-08-2007	KEINE

EP 2770616	A1	27-08-2014	EP 2770616 A1 27-08-2014
			EP 2946463 A1 25-11-2015
			WO 2014127855 A1 28-08-2014

EP 1458080	A1	15-09-2004	EP 1458080 A1 15-09-2004
			JP 4311643 B2 12-08-2009
			JP W02003055045 A1 28-04-2005
			US 2004155537 A1 12-08-2004
			WO 03055045 A1 03-07-2003
