

(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
4. Juni 2009 (04.06.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/068020 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F03D 7/00 (2006.01) **F03D 7/04** (2006.01)

(74) **Anwalt:** KOCH, Carsten; Liermann-Castell, Guten-
bergstrasse 12, 52349 Düren (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2008/001988

(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, 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, 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.

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Dezember 2008 (01.12.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 0058 054.3
30. November 2007 (30.11.2007) DE

(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, 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).

(71) **Anmelder** (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): INNOVATIVE WINDPOWER AG [DE/DE];
Barkhausenstrasse 2, 27568 Bremerhaven (DE).

(72) **Erfinder; und**

(75) **Erfinder/Anmelder** (nur für US): WERNICKE, Jens,
Thomas [DE/DE]; Loheise 42, 48346 Ostbevern (DE).
MILLER, William, Thomas [US/DE]; An der Allee 29,
27568 Bremerhaven (DE).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

(54) **Title:** METHOD FOR REGULATING THE ELECTRICAL LOAD OF A WIND POWER SYSTEM

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR REGELUNG DER ELEKTRISCHEN LAST EINER WINDENERGIEANLAGE

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for regulating the electrical load of a wind power system, wherein the wind power system comprises at least one rotor blade having at least one load sensor, said rotor blade being coupled to a hub via an actuator, and a drive train coupled to the hub, wherein the drive train comprises at least one gear and/or a generator/converter system having a corresponding electrical load. The method comprises determining the load on the rotor blade by means of the load sensor, determining an actuating variable, and tracking the rotor blade by means of the actuator using the actuating variable determined.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der elektrischen Last einer Windenergieanlage, wobei die Windenergieanlage wenigstens ein wenigstens einen Lastsensor aufweisendes Rotorblatt, welches über einen Stellantrieb an eine Nabe gekoppelt ist, und einen an die Nabe gekoppelten Leistungsstrang, wobei der Leistungsstrang wenigstens ein Getriebe und/oder ein Generator-Konvertersystem mit einer entsprechenden elektrischen Last aufweist, aufweist, wobei das Verfahren eine Bestimmung der Last am Rotorblatt mittels des Lastsensors, eine Bestimmung einer Stellgröße und eine Nachführung des Rotorblatts mittels des Stellantriebs anhand der bestimmten Stellgröße umfasst.



WO 2009/068020 A2

Verfahren zur Regelung der elektrischen Last einer Windenergieanlage

[01] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung der elektrischen Last einer Windenergieanlage, wobei die Windenergieanlage wenigstens ein wenigstens einen Lastsensor aufweisendes Rotorblatt, welches über einen Stellantrieb an eine Nabe gekoppelt ist, und einen an die Nabe gekoppelten Leistungsstrang, wobei der Leistungsstrang wenigstens ein Getriebe und/oder ein Generator-Konvertersystem mit einer entsprechenden elektrischen Last aufweist, aufweist, wobei das Verfahren eine Bestimmung der Last am Rotorblatt mittels des Lastsensors, eine Bestimmung einer Stellgröße und eine Nachführung des Rotorblatts mittels des Stellantriebs anhand der bestimmten Stellgröße umfasst.

[02] Moderne Windenergieanlagen passen sich den gegebenen Windparametern an. Insbesondere erfolgt dies durch einen Stellantrieb der Rotorblätter, welcher auch Pitch-Antrieb genannt wird, der insbesondere bei Überlast die Rotorblätter aus dem Wind dreht, und dem geregelten Konverter, welcher die im Generator induzierte Spannung für das Stromnetz aufbereitet. Die Regelung des Konverters und des Stellantriebs der Rotorblätter erfolgt mittels eines Windenergieanlagencontrollers, welcher konverterseitig, d. h., dass der Windenergieanlagencontroller im stehenden Teil der Windenergieanlage und nicht im drehenden Teil (Z. B. Nabe), verortet ist, damit eine möglichst schnelle Regelung des Konverters und somit der elektrischen Last im Generator-Konvertersystem erfolgt. Die Kommunikation mit dem Stellantrieb bzw. den Stellantrieben der Rotorblätter erfolgt über einen Schleifring, über den die Daten ausgetauscht werden. Die Kommunikation ist dabei über den Schleifring (lauf-) zeitverzögert.

[03] Ein solcher Aufbau ist in der WO 2006010190 beschrieben. Dabei ist bei einem Triebstrang einer Windkraftanlage ein Rotor als Antrieb für ein Getriebe vorgesehen,

wobei auf einer Rotornabe des Rotors um ihre Längsachse verdrehbare Rotorblätter gelagert sind. An das Getriebe und an einem Stromnetz ist ein Drehstromgenerator angeschlossen.

[04] Dabei ist zu beachten, dass die Ansprechzeiten für Stellglieder der Rotorblätter mit Hilfe der Pitchmotoren relativ lang ist. Diese Ansprechzeit wird auch dadurch verlängert, dass aufgrund der Übertragung durch den Triebstrang eine mechanische Belastung der Rotorblätter erst zeitverzögert netzseitig bestimmbar ist. Werden nun die Stellwinkel für die Pitchmotoren durch die konverterseitige Steuerung mittels des Windenergieanlagencontrolllers als Stellsignal über den Schleifring wieder zurück über den Triebstrang an die Stellglieder (Pitchmotoren) übermittelt, verlängert sich die Ansprechzeit nochmalig.

[05] In der DE 10219664 sind Lastsensoren beschrieben, welche an einem Rotorblatt angebracht sind und der Ermittlung der mechanischen Belastung dienen. Die dort beschriebene Erfindung betrifft eine Windenergieanlage mit einem Turm, einem im Bereich der Spitze des Turms vorzugsweise auf einer bzgl. einer im wesentlichen in Schwerrichtung verlaufenen Drehachse drehbar gelagerten Maschinengondel, bzgl. einer im Wesentlichen horizontalen Rotorachse drehbar gelagerten und mindestens ein bzgl. der Rotorachse im Wesentlichen radial abstehendes Rotorblatt aufweisenden Rotor, einer dem Rotor zugeordneten Sensoreinrichtung zum Erzeugen von Sensorsignalen in Abhängigkeit von der mechanischen Belastung des Rotors und einer die Sensorsignale empfangene Auswerteeinrichtung, insbesondere Datenverarbeitungseinrichtung, wobei mindestens einem, vorzugsweise jedem Rotorblatt des Rotors mindestens zwei, vorzugsweises paarweise, montierte Sensorelemente zugeordnet sind und die Auswerteeinrichtung zum Ermitteln von den mechanischen Belastungen mindestens eines Rotorblatts darstellenden Auswertungssignalen auf der Grundlage der von diesem Rotorblatt zugeordneten Sensorelementen erzeugten Sensorsignalen ausgelegt ist.

[06] Aufgabe der Erfindung ist es, den Stand der Technik zu verbessern.

[07] Gelöst wird die Aufgabe durch eine Windenergieanlage, welche insbesondere zur Regelung der elektrischen Last ausgestaltet ist, wobei die Windenergieanlage wenigstens ein wenigstens einen Lastsensor aufweisendes Rotorblatt, welches über einen Stellantrieb an eine Nabe gekoppelt ist, und einen an die Nabe gekoppelten Leistungsstrang, wobei der Leistungsstrang wenigstens ein Getriebe und/oder ein Generator-Konvertersystem mit einer entsprechenden elektrischen Last aufweist, aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Windenergieanlage eine nabenseitige Steuerung aufweist, welche eine Bestimmung der Last am Rotorblatt mittels des Lastsensors, eine Bestimmung einer Stellgröße und eine Nachführung des Rotorblatts mittels des Stellantriebs anhand der bestimmten Stellgröße realisiert.

[08] Als Elektrische Last ist das Verhalten der Windenergieanlage am (Einspeise-)Netz zu verstehen. Je nach Windstärke kann sich dies elektrische Last unterschiedlich ausbilden. Die Stellantriebe der hier beschriebenen Art umfassen insbesondere Pitchmotoren, welche das Rotorblatt in Bezug auf die Nabe so verdrehen, dass das Rotorblatt einen anderen Stellwinkel ausbildet. Über diesen Stellwinkel kann die mechanische Last am Rotorblatt beeinflusst werden. Über die Kopplung Triebstrang kann diese mechanische Last auch eine Auswirkung auf die elektrische Last am Netz ausbilden.

[09] Ein Generator- Konverter- System der hier angeführten Art dient der Erzeugung und Aufbereitung der Spannung, welche an das Netz abgegeben wird. Durch die Rotation der Rotorblätter und der Kopplung über den Triebstrang wird eine Spannung im Generator induziert. Diese Spannung wird bei drehzahlveränderlichen Windenergieanlagen mittels Konverter für das Netz aufbereitet. Ein solcher Konverter umfasst den eigentlichen Konverter und kann zusätzlich einen Transformator umfassen. Insbesondere wandelt der Konverter die Generatorspannung in eine Gleichspannung und anschließend in eine netzsynchrone Wechselspannung um. Die steuernden Eingriffe werden durch den Windenergieanlagencontroller umgesetzt. Eine Ausführung eines solchen Windenergie-

anlagencontrollers ist in der DE 10219664 beschrieben, dessen diesbezüglicher Inhalt Bestandteil der vorliegenden Schrift ist.

[10] Durch die nabenseitige Steuerung kann vorteilhafter Weise die zeitintensive Parameterübertragung der Lastwerte an dem Rotorblatt an den Windenergieanlagencontroller, welcher insbesondere auf den Konverter einwirkt, und wieder zurück vermieden werden, da die Steuerung unabhängig von der Konverterseite erfolgt. Somit kann eine wesentlich schnellere Steuerung der nabenseitigen Stellglieder erfolgen.

[11] In einer weiteren Ausprägungsform der Erfindung kann die Windenergieanlage konverterseitig einen Windenergieanlagencontroller aufweisen, welcher anhand von Netzparametern Teile der Anlage steuert.

[12] Somit kann eine unabhängige Regelung erfolgen. So kann beispielsweise die nabenseitige Steuerung bei kritischer Last die Rotorblätter bereits aus dem Wind drehen lassen und parallel der Windenergieanlagencontroller konverterseitig steuernd eingreifen.

[13] Um Parameter der jeweiligen Steuerung zur Verfügung zu stellen, kann in einer weiteren Ausprägungsform der Windenergieanlage ein Datenaustausch zwischen der nabenseitigen Steuerung und dem Windenergieanlagencontroller erfolgen. Dadurch können die Steuerungen Kriterien für einen Eingriff definieren. So kann beispielsweise die nabenseitige Steuerung die Stellmotoren unangesteuert lassen, falls Netzseitig die kurzzeitig höhere Abgabe kein Problem darstellt.

[14] Um ein paralleles Funktionieren der nabenseitigen Steuerung und dem Windenergieanlagencontroller zu gewährleisten kann in einer weiteren Ausprägungsform der Erfindung die nabenseitige Steuerung als Master und der Windenergieanlagencontroller als Slave ausgestaltet sein. So könnte die nabenseitige Steuerung bereits gesetzte Stellwerte seitens des Windenergieanlagencontrollers überschreiben.

[15] In einer weiteren Ausgestaltung der Windenergieanlage kann die nabenseitige Steuerung als Slave und der Windenergieanlagencontroller als Master ausgestaltet sein. In dieser Konfiguration sind Fälle realisierbar, in denen die nabenseitige Steuerung bereits ein „Herausdrehen“ der Rotorblätter initiiert hat, jedoch dies vom Windenergieanlagencontroller nicht gewünscht ist. D. h., die Stellparameter der nabenseitige Steuerung vom Windenergieanlagencontroller überschrieben werden.

[16] Um unterschiedlichen Umweltbedingungen gerecht zu werden, kann die Windenergieanlage eine Master- und Slavefunktion zwischen Windenergieanlagencontroller und nabenseitigen Steuerung wechselseitig schaltbar ausgestalten. Somit kann die nabenseitige Steuerung mal die Funktion des Slaves und mal die Funktion des Masters übernehmen.

[17] In einem weiteren Aspekt der Erfindung kann die nabenseitige Steuerung anhand eines Kennfeldes, welches Lastverläufe der mechanischen Last an den Rotorblättern umfasst, erfolgen. In diesem Kennfeld können für bestimmte Umweltbedingungen Steuerungsvorgaben abgelegt sein.

[18] Ein solches Kennfeld kann beispielsweise nach dem Aufstellen einer Windenergieanlage für ein Jahr bestimmt werden. Danach kann der teure Rechner, welcher die Steueraufgaben mittels Regelalgorithmus umsetzt, durch ein kostengünstiges FPGA Bauteil mit zugeordneten Tabellen, welche zusammen die Regelungsfunktionen nachbilden, ersetzt werden.

[19] In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung kann die Aufgabe gelöst werden durch ein Verfahren zur Steuerung eines Stellantriebs einer Windenergieanlage nach einer der zuvor beschriebenen Ausprägungsformen, wobei die Steuerung nabenseitig erfolgt.

[20] In einer weiteren Ausprägungsform dieses Verfahrens kann eine Regelung der elektrischen Last, welche am Netz anliegt und welche im Wesentlichen mittels Windenergieanlagencontroller erfolgt, unabhängig von der nabenseitigen Steuerung erfolgen.

5 [21] Um die Belastung der Windenergieanlage und des Netzes zu reduzieren, kann ein Paramtertausch zwischen der nabenseitigen Steuerung und dem Windenergieanlagencontroller erfolgen.

[22] In einer weiteren Ausprägungsform dieses Verfahrens kann in einer Master und Slave Ausgestaltung eine Steuerung von Stellgliedern solange vorgenommen werden, bis der Master eine andere Vorgabe gibt.

10 [23] In einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur elektrischen Lastregelung einer Windenergieanlage, wobei die Windenergieanlage wenigstens ein wenigstens einen Lastsensor aufweisendes Rotorblatt, welches über einen Stellantrieb an eine Nabe gekoppelt ist, und einen an die Nabe gekoppelten Leistungsstrang, wobei der Leistungsstrang wenigstens ein Getriebe und/oder ein Gene-
15 rator-Konvertersystem mit einer entsprechenden elektrischen Last aufweist, aufweist, wobei das Verfahren eine Bestimmung der Last am Rotorblatt mittels des Lastsensors, eine Bestimmung einer Stellgröße und eine Nachführung des Rotorblatts mittels des Stellantriebs anhand der bestimmten Stellgröße umfasst.

20 [24] Insbesondere sind bei dem erfinderischen Verfahren ein, zwei, drei oder mehr Rotorblätter umfasst. Weiterhin kann der Stellantrieb so realisiert sein, dass zwischen dem Rotorblatt und der Nabe ein Lager angebracht ist. Weiterhin kann ein Hohlrad am Rotorblatt angebracht sein, in das ein Zahnrad, welches an einen Stellmotor gekoppelt ist, rotierend eingreifen kann. Dabei kann der Stellmotor fest an die Nabe gekoppelt sein, womit eine Rotation des Rotorblatts in Bezug zur Nabe ermöglicht wird.

[25] In einer besonderen Ausführungsform kann der Leistungsstrang einen Generator umfassen. In einer solchen Ausgestaltungsform wird dann von einem Ringgenerator gesprochen. In einer äußerst bevorzugten Ausführungsform kann der Leistungsstrang zusätzlich ein Getriebe aufweisen und kann die Nabe an das Getriebe gekoppelt sein, wobei das Getriebe die Drehzahl der Nabe, welche durch das Einwirken des Windes auf die Rotorblätter der Nabe aufgeprägt wurde, in eine zumeist höhere Drehzahl transformiert. Diese höhere Drehzahl kann von dem Generator in eine Spannung transformiert werden. Die Aufbereitung dieser Spannung für das Stromnetz kann über einen Konverter und in einer weiteren Ausführungsform zusätzlich mittels eines Transformators erfolgen.

[26] Durch die Drehzahl am Generator und die daraus resultierende Spannung liegt am Generator und dem zugeordneten Konverter/Netz eine elektrische Last an. Für das erfinderische Verfahren zur Steuerung dieser elektrischen Last kann eine Bestimmung der mechanischen Last durch mehrere Lastsensoren, insbesondere mechanische und/oder faseroptische Dehnungsmessstreifen, erfolgen. Diese Dehnungsmessstreifen sind elektronisch auslesbar und können somit einer Regelungseinheit zugeführt werden.

[27] In einer ganz besonders bevorzugten Ausführungsform sind wenigstens zwei Lastsensoren im Wesentlichen orthogonal bzw. in einem Winkel ungleich Null zueinander ausgerichtet. Somit kann vorteilhafter Weise sowohl die mechanische Last in Richtung Blattspitze des Rotors als auch die senkrecht dazu auftretenden mechanischen Lasten elektronisch ermittelt werden. Insbesondere können mehrere solche Sensoren über das Rotorblatt verteilt sein, um eine Torsion des Rotorblatts zu bestimmen.

[28] In einer weiteren ganz besonders bevorzugten Ausführungsform kann das Rotorblatt mittels Stellantrieb solange nachgeführt werden, bis eine bzw. mehrere Stellgrößen erreicht sind. Solche Stellgrößen können zuvor in Testläufen bestimmt werden, bei denen die elektrische Last in Abhängigkeit der Lastverteilung am Rotorblatt bestimmt

wurde. Diese Stellgrößen können in Tabellen abgelegt sein, auf die die Regeleinheit zugreift.

[29] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltungsform kann eine Regelung mittels PID-Regelung erfolgen. Eine solche Regelung kann mittels Steuergerät und/oder FPGAs
5 erfolgen.

[30] Weiterhin kann eine Regelung anhand eines Kennfeldes erfolgen. Dieses Kennfeld kann diverse Stellwerte für die Regelung definieren. Die Aufzeichnung dieses Kennfeldes kann wieder vorab mittels Testlauf bzw. Testläufen erfolgen. Bei diesen Testläufen werden unterschiedliche Lastfälle, wie Rotorblattstellungen bei entsprechenden
10 Rotationen der Nabe, abgebildet und die entsprechende Last am Rotorblatt der elektrischen Last zugeordnet.

[31] In einer weiteren besonders bevorzugten Ausgestaltungsform der Erfindung kann wenigstens ein Signalwert für die Bestimmung der Rotation der Nabe und/oder einer schnellen Welle bestimmt und in die Regelung integriert werden. Dieser Signalwert
15 bzw. Stellwert kann die Regelung beeinflussen und somit die Schrittweite des Stellantriebs bestimmen.

[32] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltungsform kann die Regelung nabenseitig erfolgen. Dies kann insbesondere den Vorteil haben, dass die Regelung schnell erfolgt, da eine Datenübertragung von rotierenden Teilen (Nabe) zu stehenden Teilen
20 (Maschinenhaus bzw. Windenergieanlagencontroller) entfällt.

[33] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltungsform kann leistungsstrangseitig ein Windenergieanlagencontroller direkt oder indirekt über einen Konverter die elektrische Last im Generator-Konvertersystem regeln. Dies kann insbesondere den Vorteil haben, dass die Regelung des Stellantriebs unabhängig von der Regelung des Konverters erfolgt. Somit können schnelle Regelungen mittels Konverterregelung und langsamere
25

Regelungen mittels Rotorblattverstellung erfolgen. Direkt bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Konverter unabhängig von der Information der mechanischen Last am Rotorblatt durch den Windenergieanlagencontroller geregelt wird. Indirekt bedeutet, dass die Informationen und Signale der mechanischen Last mit in die Regelung des Konverters einfließen.

[34] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltungsform kann eine Kommunikation zwischen der nabenseitigen Regelung der Rotorblätter und der leistungsstrangseitigen Regelung des Generators erfolgen. Dabei kann vorteilhafter Weise die Regelung des Stellgliedes auf die Konverterparameter bzw. die Konverterregelung auf die Lastparameter der Rotorblätter angepasst werden.

[35] In einer äußerst bevorzugten Ausgestaltungsform kann die nabenseitige Regelung als Master und die leistungsstrangseitige Regelung als Slave realisiert sein. Dabei kann vorteilhafter Weise zuerst nabenseitig eine Regelung erfolgen.

[36] In den folgenden Figuren werden verschiedene Ausgestaltungen der Erfindung offenbart.

[37] Dabei stellt

Fig. 1a ein Rotorblatt mit einem faseroptischen Dehnungsmessstreifen in Explosionsdarstellung,

Fig. 1b ein Rotorblatt mit orthogonal zueinander ausgerichteten Dehnungsmessstreifen,

Fig. 2 zeigt ein Rotorblatt unter Belastung,

Fig. 3 zeigt ein Rotorblatt mit Torsionsbelastung und

Fig. 4 stellt die beteiligten Komponenten am erfinderischen Verfahren dar.

[38] In Fig. 1a ist ein Rotorblatt 100 mit eingearbeitetem faseroptischen Dehnungsmessstreifen 103 dargestellt. Solche faseroptischen Dehnungsmessstreifen basieren auf in Lichtwellenleiter eingeschriebene optische Interferenzfilter (faseroptisches Bragg-Gitter). An die Blattwurzel 102 ist ein Lager angeflanscht (hier in Explosionsdarstellung dargestellt). Dieses Lager kann beispielsweise als Wälz- oder Gleitlager ausgestaltet sein. Zudem ist ein Teil des Lagers an der Nabe 107 angeflanscht (hier in Explosionsdarstellung dargestellt). In der Nabe 107 ist der Stellantrieb 109 (Pitch-Motor) verortet. Dieser Stellantrieb ist fest mit der Nabe 107 verbunden und greift mit seinem Zahnkranz (hier nicht dargestellt) so in das Hohlrad (nicht dargestellt) des Rotorblatts 100 ein, dass bei einer Betätigung des Stellantriebs das Rotorblatt 100 in Bezug auf die Nabe 107 verdreht wird. Somit können die Strömungsbedingungen am Rotorblatt 100 beeinflusst werden.

[39] In Figur 1b ist ebenfalls ein Rotorblatt 100 dargestellt, wobei auf bzw. in dem Rotorblatt Dehnungsmessstreifen 104 angebracht sind, welche im Wesentlichen orthogonal zu dem Dehnungsmessstreifen 103 ausgerichtet sind. Die orthogonalen Dehnungsmessstreifen 104 können als mechanische oder auch als faseroptische Dehnungsmessstreifen ausgestaltet sein. Weiterhin können die orthogonalen Dehnungsmessstreifen 104 in einem Winkel zwischen $>0^\circ$ und 90° in Bezug auf den Dehnungsmessstreifen 103 ausgestaltet sein, da durch die Orthogonalität eine flächige Verteilung der Kräfte bestimmt wird. Zudem kann durch das Anbringen mehrerer zueinander stehender Dehnungsmessstreifen die Kraftverteilung entlang des Rotorblatts 100 bestimmt werden.

[40] In Figur 2 ist der Einfluss des Windes 200 auf das Rotorblatt 100 dargestellt. Insbesondere in Richtung der Spitze des Rotorblatts 100 erfährt das Rotorblatt 100 eine Deformation. Die Stärke dieser Deformation kann mit Hilfe der Dehnungsmessstreifensysteme (201, 203, 205, 207 jeweils mit 103) bestimmt werden.

[41] In Figur 3 ist eine Torsionsdeformation des Rotorblatts 100 dargestellt. Die Torsion kann insbesondere mit den Dehnungsmessstreifensystemen (201, 203, 205, 207 jeweils mit 103) bestimmt werden.

5 [42] Somit kann die mechanische Last, welche aufgrund der Deformation am Rotorblatt 100 anliegt, mit Hilfe der Dehnungsmessstreifensysteme bzw. Dehnungsmessstreifen, welche im Weiteren auch als Lastsensoren bezeichnet werden, bestimmt werden.

[43] In Figur 4 ist ein Teil einer Windenergieanlage, mit Turm 409, Maschinenhaus 407 und an die Nabe 107 gekoppelte Rotorblätter 101 mit gelagerter 401 langsamer Welle (nicht dargestellt), dargestellt, anhand dessen eines der erfinderischen Verfahren
10 erläutert wird. Weiterhin ist die Nabe 107 an das Getriebe 423 gekoppelt. Das Getriebe 423 bewirkt eine Drehmomenttransformation bzw. eine Drehzahländerung, welche durch den Generator 411 in eine Spannung überführt wird. Diese Spannung wird von dem Konverter 419 gleichgerichtet und in eine Wechselspannung überführt. Diese Wechselspannung wird anschließend vom Transformator 421 für das Netz aufbereitet.

15 [44] Das Rotorblatt 100 ist mit Dehnungsmessstreifen 103 (entsprechend der Figuren 1a, b) ausgestaltet. Tritt nun einer der Lastfälle wie in den Figuren 2 und 3 dargestellt auf, wird das Signal der Dehnungsmessstreifen 103 mit der elektronischen Einheit 404 ausgewertet und mittels Signalkonditionierung aufbereitet. Die ermittelten Lasten werden mittels Steuergerät 405 und entsprechendem Regelalgorithmus, welche die naben-
20 seitige Steuerung realisieren, in ein Stellsignal für die Stellglieder/Stellmotoren (Pitchmotoren) umgewandelt, welche das Rotorblatt 100 entsprechend den Windverhältnissen ausrichten.

[45] Dazu kann unabhängig davon ein Steuergerät 417 (Windenergieanlagencontroller) über den Konverter 419 die elektrische Last am Generator 411 bzw. Generator-
25 Konvertersystem regeln. Dies ist unter anderem im WIND ENERGY HANDBOOK von

Burton, Sharpe, Jenkins und Bossanyi 2001 (John Wiley & Sons, LTD) im Kapitel 8.2.3 beschrieben, dessen diesbezüglicher Inhalt Bestandteil dieser Schrift ist.

- 5 [46] Auch kann eine Kommunikation zwischen dem nabenseitig verorteten Steuergerät 405 und dem Konverter 419 erfolgen. Dabei ist das Steuergerät 405 als Master ausgestaltet, welcher der Steuereinrichtung 417, welche als Slave ausgestaltet ist, Signale über den Schleifring 415 und der Signalaufbereitungseinheit 415 zusendet. Somit können Stellsignale zwischen den Steuergeräten ausgetauscht und die Regelung des Konverters/Generators und der Stalleinrichtungen optimiert werden.

Patentansprüche:

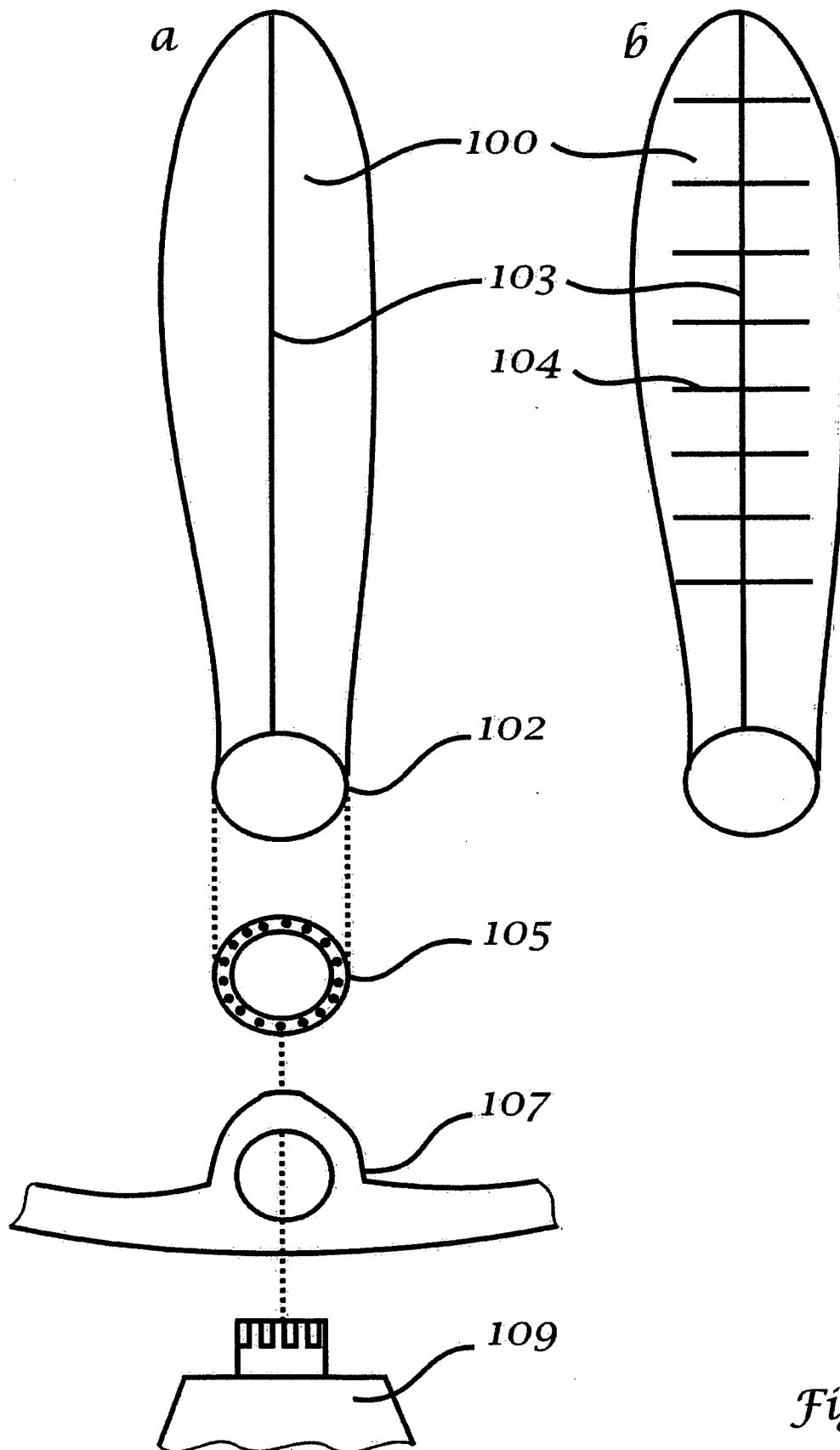
1. Windenergieanlage, welche insbesondere zur Regelung der elektrischen Last ausgestaltet ist, wobei die Windenergieanlage wenigstens ein wenigstens einen Lastsensor aufweisendes Rotorblatt, welches über einen Stellantrieb an eine Nabe gekoppelt ist, und einen an die Nabe gekoppelten Leistungsstrang, wobei der Leistungsstrang wenigstens ein Getriebe und/oder ein Generator-Konvertersystem mit einer entsprechenden elektrischen Last aufweist, aufweist, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die Windenergieanlage eine nabenseitige Steuerung aufweist, welche eine Bestimmung der Last am Rotorblatt mittels des Lastsensors, eine Bestimmung einer Stellgröße und eine Nachführung des Rotorblatts mittels des Stellantriebs anhand der bestimmten Stellgröße realisiert.
2. Windenergieanlage nach Anspruch 1, wobei die Windenergieanlage konverterseitig einen Windenergieanlagencontroller aufweist, welcher anhand von Netzparametern Teile der Anlage steuert.
3. Windenergieanlage nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei ein Datenaustausch zwischen der nabenseitigen Steuerung und dem Windenergieanlagencontroller erfolgt.
4. Windenergieanlage nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die nabenseitige Steuerung als Master und der Windenergieanlagencontroller als Slave ausgestaltet sind.
5. Windenergieanlage nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die nabenseitige Steuerung als Slave und der Windenergieanlagencontroller als Master ausgestaltet sind.

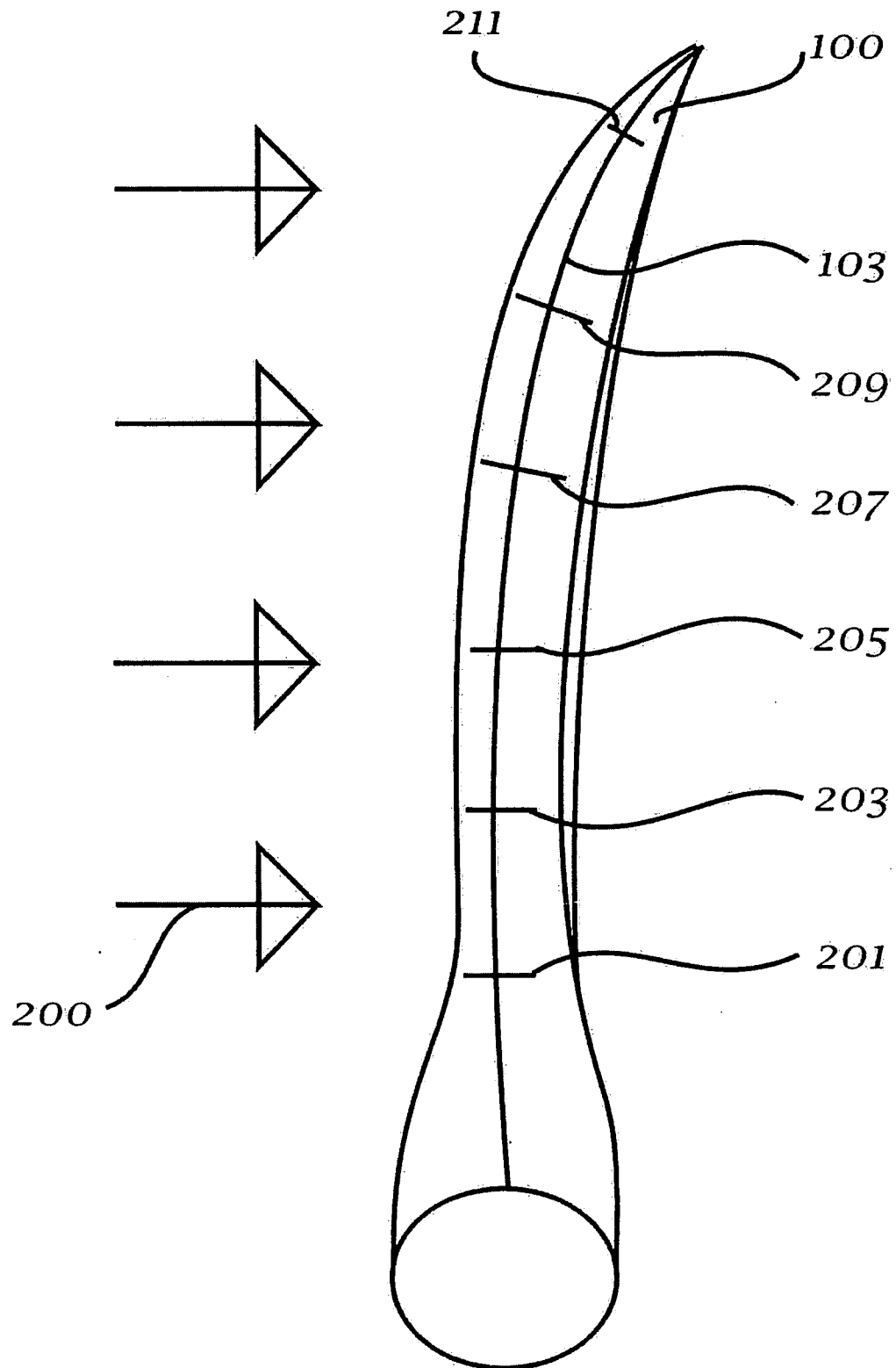
6. Windenergieanlage nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei Master- und Slavefunktion zwischen Windenergieanlagencontroller und nabenseitigen Steuerung wechselseitig schaltbar ausgestaltet sind.
- 5 7. Windenergieanlage nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die nabenseitige Steuerung anhand eines Kennfeldes, welches Lastverläufe der mechanischen Last an den Rotorblättern umfasst, erfolgt.
8. Verfahren zur Steuerung eines Stellantriebs einer Windenergieanlage nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Steuerung nabenseitig erfolgt.
- 10 9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei eine Regelung der elektrischen Last, welche am Netz anliegt und welche im Wesentlichen mittels Windenergieanlagencontroller erfolgt, unabhängig von der nabenseitigen Steuerung erfolgt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9, wobei ein Paramter austausch zwischen der nabenseitigen Steuerung und dem Windenergieanlagencontroller erfolgt.
- 15 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei in einer Master und Slave Ausgestaltung eine Steuerung von Stellgliedern solange vorgenommen wird, bis der Master eine andere Vorgabe gibt.
- 20 12. Verfahren zur Regelung der elektrischen Last einer Windenergieanlage, wobei die Windenergieanlage wenigstens ein wenigstens einen Lastsensor aufweisendes Rotorblatt, welches über einen Stellantrieb an eine Nabe gekoppelt ist, und einen an die Nabe gekoppelten Leistungsstrang, wobei der Leistungsstrang wenigstens ein Getriebe und/oder ein Generator-Konvertersystem mit einer entsprechenden elektrischen Last aufweist, aufweist, wobei das Verfahren eine Bestimmung der Last am Rotorblatt mittels des Lastsensors, eine Bestimmung ei-

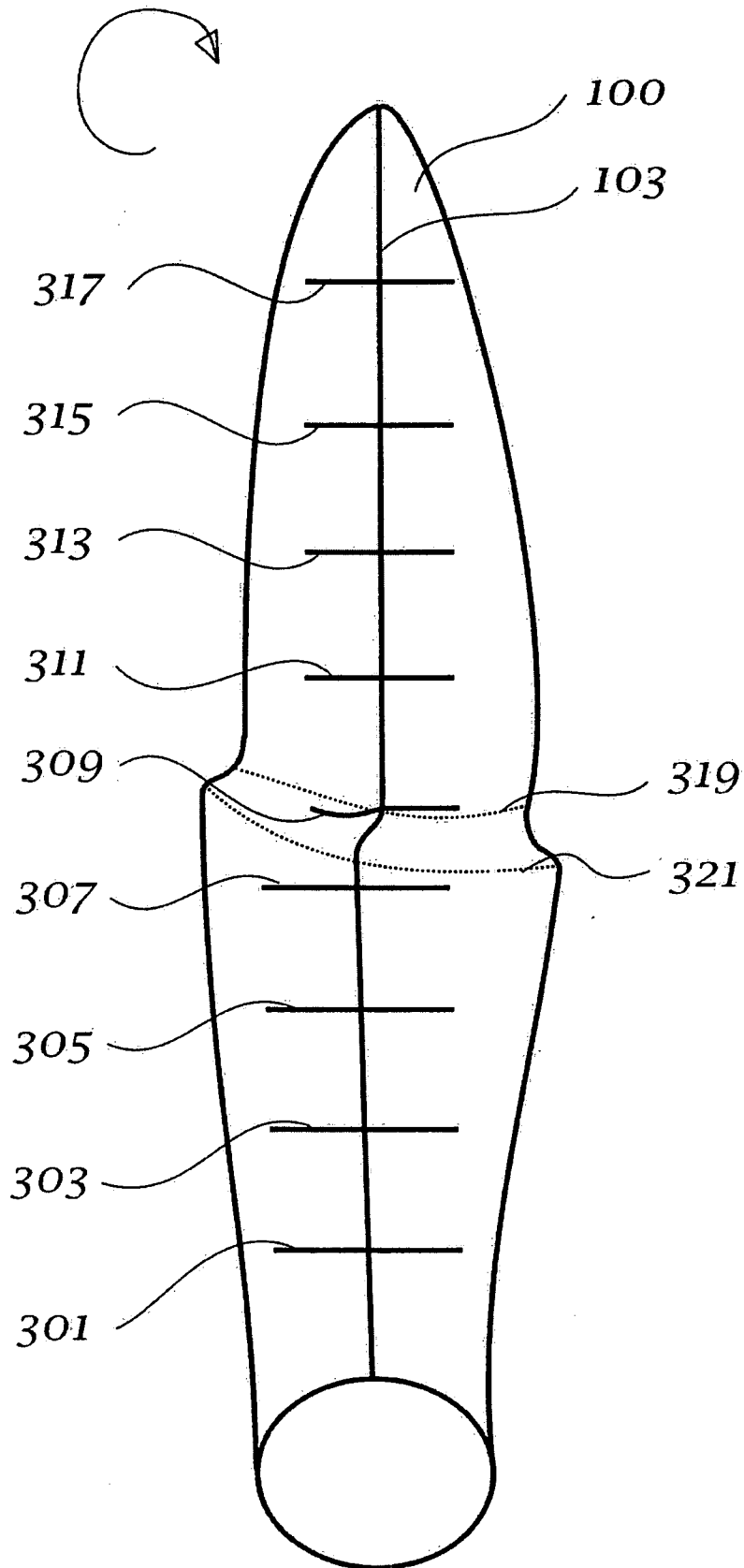
ner Stellgröße und eine Nachführung des Rotorblatts mittels des Stellantriebs anhand der bestimmten Stellgröße umfasst.

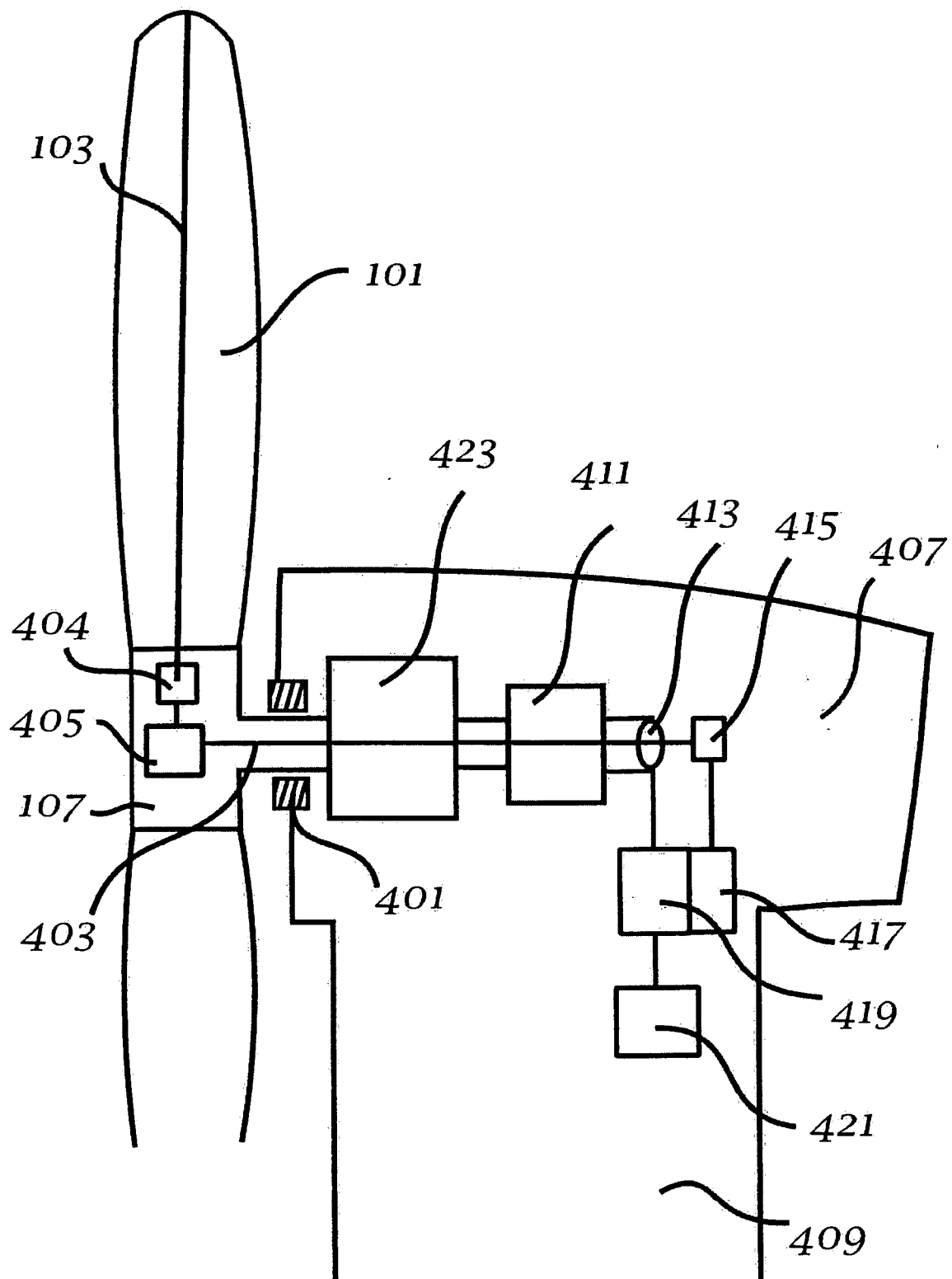
- 5
13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die Bestimmung der Last durch mehrere Lastsensoren, insbesondere mechanische und/oder faseroptische Dehnungsmessstreifen, erfolgt.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 oder 13, wobei wenigstens zwei Lastsensoren einen Winkel zueinander aufweisen.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei das Rotorblatt mittels Stellantrieb solange nachgeführt wird, bis die Stellgröße erreicht ist.
- 10 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, wobei eine Regelung mittels PID-Regelung erfolgt.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 16, wobei eine Regelung anhand eines Kennfeldes erfolgt.
- 15 18. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 17, wobei wenigstens ein Signalwert für die Bestimmung der Rotationsgeschwindigkeit der Nabe und/oder einer schnellen Welle bestimmt und in die Regelung integriert wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 18, wobei die Regelung nabenseitig erfolgt.
- 20 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 19, wobei leistungsstrangseitig ein Windenergieanlagencontroller direkt oder indirekt über einen Konverter die elektrische Last am Generator regelt.

- 5
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 20, wobei eine Kommunikation zwischen der nabenseitigen Regelung der Rotorblätter und der leistungsstrangseitigen Regelung des Generators/Konverters erfolgt.
 22. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 21, wobei die nabenseitige Regelung als Master und die leistungsstrangseitige Regelung als Slave realisiert ist.
 23. Windenergieanlage welche so ausgestaltet ist, so dass wenigstens ein Verfahren der Ansprüche 12 bis 22 realisiert wird.

*Fig. 1*

*Fig.2*

*Fig. 3*

*Fig. 4*