



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 101 897.6**

(22) Anmeldetag: **18.05.2011**

(43) Offenlegungstag: **22.11.2012**

(51) Int Cl.: **F03D 7/00 (2011.01)**

(71) Anmelder:
Nordex Energy GmbH, 22848, Norderstedt, DE

(74) Vertreter:
Hauck Patent- und Rechtsanwälte, 20354, Hamburg, DE

(72) Erfinder:
Merkel, Maximilian, Dipl.-Ing., 21149, Hamburg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE	101 09 553	B4
DE	10 2008 012 956	B4
DE	10 2009 025 445	B3
DE	198 44 258	A1
DE	10 2007 019 665	A1

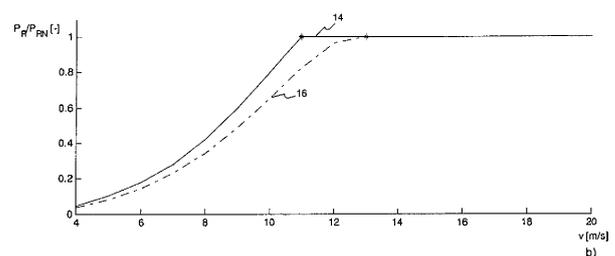
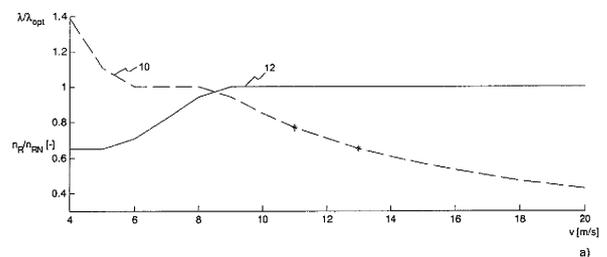
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage, wobei die Windenergieanlage einen Rotor mit mindestens einem in seinem Blatteinstellwinkel verstellbaren Rotorblatt, einen mit dem Rotor verbundenen Generator zur Erzeugung elektrischer Leistung und mindestens eine Messeinrichtung zum Erfassen eines Istwerts einer für eine Drehzahl des Generators repräsentativen Größe aufweist, wobei ein Sollwert für ein Generatormoment abhängig von der Drehzahl vorgegeben und der Sollwert für das Generatormoment abhängig von einer Kenngröße für eine Luftdichte korrigiert wird, mit folgenden Verfahrensschritten:

- Erfassen einer für einen Istwert einer Drehzahl des Generators repräsentierenden Größe,
- Vorgabe eines Sollwerts für das Generatormoment abhängig von dem Istwert der für die Drehzahl des Generators repräsentativen Größe und Korrektur des Sollwerts für das Generatormoment abhängig von einer Kenngröße für die Luftdichte,
- Erfassen eines Werts für den Blatteinstellwinkel und
- Erhöhen des Sollwerts für das Generatormoment, wenn der erfasste Wert für den Blatteinstellwinkel einen vorbestimmten Mindestwert überschreitet.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage, wobei die Windenergieanlage einen Rotor mit mindestens einem in seinem Blatteinstellwinkel verstellbaren Rotorblatt, einen mit dem Rotor verbundenen Generator zur Erzeugung elektrischer Leistung und mindestens eine Messeinrichtung zum Erfassen eines Istwerts einer für eine Drehzahl des Generators repräsentativen Größe aufweist. Zur Steuerung der Windenergieanlage ist vorgesehen, einen Sollwert für ein Generatormoment abhängig von der Drehzahl des Generators vorzugeben, wobei hierzu auf den Istwert der für die Drehzahl des Generators repräsentativen Größe zugegriffen werden kann. Ferner ist vorgesehen, den Sollwert für das Generatormoment abhängig von einer Kenngröße für eine Luftdichte zu korrigieren.

[0002] Aus EP 1 918 581 A2 ist ein Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage bekannt geworden, bei dem die Umgebungstemperatur gemessen und die Ausgangsleistung der Windenergieanlage reduziert wird, wenn die gemessene Umgebungstemperatur unterhalb einer vorbestimmten Temperaturgrenze liegt. Durch dieses Verfahren soll sichergestellt werden, dass die an der Windenergieanlage bei niedrigen Temperaturen angreifenden Lasten reduziert werden.

[0003] Aus US 2008/0001409 A1 ist ein Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage bekannt, bei dem durch eine selbstlernende Regelung die Steuerparameter der Windenergieanlage optimiert werden, um eine maximale Leistung zu erzielen. Die selbstlernende Regelung ist hierbei von Zustandsparametern abhängig, die beispielsweise die Windgeschwindigkeit, die Windrichtung, die Turbulenzintensität, die Temperatur, den Luftdruck oder die Zeitdauer seit dem letzten Regenfall betreffen.

[0004] Aus US 2008/0140263 A1 ist ein Verfahren zur prädiktiven Bestimmung einer Leistungskurve für die Windenergieanlage bekannt geworden. Das bekannte Verfahren berechnet eine Leistungskurve für eine Windenergieanlage, die in großer Höhe über dem Meeresspiegel aufgestellt ist. Bei dem Verfahren wird für einen festgelegten Blatteinstellwinkel die C_p - λ -Kurve berechnet. Nachfolgend wird aus der C_p - λ -Kurve eine erste Leistungskurve ohne eine Begrenzung der Leistung berechnet. Die Leistungskurve für die Windenergieanlage in großer Höhe wird dann abhängig von der Luftdichte aus der ersten Leistungskurve mit einer entsprechenden Leistungsbegrenzung berechnet.

[0005] Aus DE 100 11 393 A1 ist ein Regelungssystem für eine Windkraftanlage bekannt geworden, bei dem Messgrößen für eine standort- und witterungsabhängige Turbinenbelastung und/oder -beanspru-

chung erfasst werden. Eine nachgeschaltete elektronische Signalverarbeitungsanlage führt im Bereich der Nennwindgeschwindigkeit eine Leistungsreduzierung durch und schränkt diese bei hohen Windgeschwindigkeiten auf das den aktuellen Betriebsbedingungen entsprechende wirtschaftliche Optimum ein.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage bereitzustellen, bei dem ein luftdichteabhängiger, leistungsreduzierter Betrieb korrigiert wird, um bei einem stabilen Betrieb der Windenergieanlage eine maximale Leistung zu erzielen.

[0007] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein Verfahren mit den Merkmalen aus Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen bilden den Gegenstand der Unteransprüche.

[0008] Das erfindungsgemäße Verfahren ist vorgesehen und bestimmt zum Betreiben einer Windenergieanlage, wobei die Windenergieanlage einen Rotor mit mindestens einem in seinem Blatteinstellwinkel verstellbaren Rotorblatt, einen mit dem Rotor verbundenen Generator zur Erzeugung elektrischer Leistung und mindestens eine Messeinrichtung zum Erfassen eines Istwerts einer für eine Drehzahl des Generators repräsentativen Größe und eines Istwerts oder Sollwerts des Blatteinstellwinkels aufweist. Der Betrieb der Windenergieanlage erfolgt durch die Vorgabe eines Sollwerts für ein Generatormoment, abhängig von dem Istwert der Drehzahl. Ferner ist für den Betrieb der Windenergieanlage vorgesehen, den Sollwert für das Generatormoment abhängig von einer Kenngröße für die Luftdichte zu korrigieren. Insbesondere wird bei abnehmender Luftdichte der Sollwert für das Generatormoment herabgesetzt, um einen stabilen Betrieb der Windenergieanlage zu ermöglichen. Das erfindungsgemäße Verfahren weist den Verfahrensschritt auf, einen Wert des Blatteinstellwinkels zu erfassen. Bei dem Wert des Blatteinstellwinkels kann es sich um einen gemessenen Istwert oder um einen ausgelesenen Sollwert handeln. Ferner sieht das erfindungsgemäße Verfahren vor, den Sollwert für das Generatormoment zu erhöhen, wenn der erfasste Wert des Blatteinstellwinkels einen vorbestimmten Mindestwert überschreitet. Die Erhöhung des Sollwerts für das Generatormoment wird insbesondere dann durchgeführt, wenn der vorgegebene Sollwert für das Generatormoment aufgrund einer Kenngröße für die Luftdichte korrigiert wurde. Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass bei einem leistungsreduzierten Betrieb der Windenergieanlage aufgrund der Luftdichte die Reduktion des Sollwertes für das Generatormoment stets nur für eine bestimmte Windgeschwindigkeit vorgenommen werden soll. Wird dann die Windenergieanlage zwar bei einer geringeren Luftdichte, aber mit einer größeren Windgeschwindigkeit betrieben, so ist es möglich, den Sollwert für das Generatormoment weniger stark

zu reduzieren. Es erfolgt also bei dem erfindungsgemäßen Verfahren, abhängig von der Größe des Blatteinstellwinkels, eine Korrektur des Sollwerts für das Generatormoment im leistungsreduzierten Betrieb.

[0009] In einer bevorzugten Ausgestaltung werden die erfassten Werte für den Blatteinstellwinkel über ein Zeitintervall gemittelt. Eine Änderung des Sollwerts für das Generatormoment erfolgt also bei dem erfindungsgemäßen Verfahren dann, wenn die Werte für den Blatteinstellwinkel im zeitlichen Mittel einen Mindestwert überschritten haben. Das Zeitintervall, über das die Werte des Blatteinstellwinkels gemittelt werden, ist dabei so gewählt, dass es größer als die Zeitkonstante eines Regelkreises, insbesondere des Regelkreises für den Blatteinstellwinkel, ist.

[0010] In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Bestimmung eines zusätzlichen Generatormoments derart, dass eine zusätzliche Leistung der Windenergieanlage proportional zu dem erfassten Wert des Blatteinstellwinkels oder zu dem gemittelten Wert des Blatteinstellwinkels ist. Die Erhöhung des Generatormoments um das zusätzliche Generatormoment erfolgt dann ausgehend von dem Sollwert für das Generatormoment im leistungsreduzierten Betrieb. In einer alternativen Ausgestaltung wird das zusätzliche Generatormoment derart bestimmt, dass das zusätzliche Generatormoment proportional zu dem erfassten Wert des Blatteinstellwinkels oder zu dem gemittelten Wert des Blatteinstellwinkels ist. Bei diesen beiden Alternativen wird entweder eine Erhöhung des Sollwerts der Leistung oder eine Erhöhung des Sollwerts für das Generatormoment vorgenommen, proportional zu dem erfassten Wert des Blatteinstellwinkels oder zu dem gemittelten Wert des Blatteinstellwinkels. Aufgrund des Zusammenhangs zwischen Leistung, Generatormoment und Drehzahl können diese Größen ineinander umgerechnet werden.

[0011] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird sichergestellt, dass das zusätzliche Generatormoment zusammen mit dem Sollwert für das Generatormoment im leistungsreduzierten Betrieb nicht den Wert überschreitet, der sich bei einem Normalwert für die Luftdichte ergeben würde. Dies bedeutet, dass durch das zusätzliche Generatormoment und die damit verbundene Erhöhung des Sollwerts für das Generatormoment im leistungsreduzierten Betrieb keine Sollwerte erreicht werden, die oberhalb derjenigen Sollwerte für das Generatormoment liegen, die sich bei Normalbedingungen für die Luftdichte ergeben würden. Als Normalbedingung für die Luftdichte wird beispielsweise die Luftdichte auf Meereshöhe angenommen.

[0012] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung erfolgt eine Erhöhung des Sollwerts für das Generatormoment nur dann, wenn der Sollwert für das

Generatormoment aufgrund einer Kenngröße für die Luftdichte korrigiert wurde. Dieser Verfahrensschritt stellt sicher, dass eine Erhöhung der Sollwerte für das Generatormoment nur dann durchgeführt wird, wenn diese zuvor aufgrund der Luftdichte korrigiert wurden.

[0013] Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigt:

[0014] **Fig. 1a** zwei Kurven zur Erläuterung des Zusammenhangs zwischen der Schnelllaufzahl λ , der Drehzahl des Rotors n_R und der Windgeschwindigkeit v ,

[0015] **Fig. 1b** zwei Kennlinien zur Erläuterung des Einflusses der Luftdichte ρ auf die Leistungskurve einer Windenergieanlage,

[0016] **Fig. 2** die Steuerkennlinie für das Generatormoment M_G sowie Kurven für das Rotormoment M_R bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten v , abhängig von der Drehzahl n ,

[0017] **Fig. 3** eine luftdichtekorrigierte Steuerkennlinie für das Generatormoment M_G sowie Kurven für das Rotormoment M_R bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten v , abhängig von der Drehzahl n und

[0018] **Fig. 4** den Verlauf des Generatormoments M_G und des Blatteinstellwinkels β im leistungsreduzierten Betrieb, abhängig von der Zeit t .

[0019] Für ein besseres Verständnis der Erfindung sollen zunächst die physikalisch-technischen Grundlagen erläutert werden.

[0020] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Luftdichte abhängig von einer gemessenen Lufttemperatur T und einem gemessenen Luftdruck p . Bevorzugt kann auch ein Wert für die Luftfeuchte ψ berücksichtigt werden. Die Werte für die Lufttemperatur und den Luftdruck werden hierbei bevorzugt direkt an der Windenergieanlage gemessen. Der Wert ψ für die Luftfeuchte kann abhängig von einer Tages- und/oder Jahreszeit vorgegeben werden. Bei dieser Vorgabe wird ein aus Erfahrungswerten gewonnener Wert ψ für die Luftfeuchte entsprechend vorgegeben. Alternativ ist es auch möglich, die Luftfeuchte ψ direkt zu messen.

[0021] **Fig. 1a** zeigt den Verlauf **10** des Verhältnisses der Schnelllaufzahl λ , bezogen auf eine für das Rotorblatt optimale Schnelllaufzahl λ_{opt} , abhängig von der Windgeschwindigkeit v . Der Rotor einer Windenergieanlage mit seinen beispielsweise drei Rotorblättern besitzt eine kennzeichnende Schnelllaufzahl λ_{opt} , bei der der Leistungsbeiwert C_p maximal ist. Es wird daher angestrebt, die Windenergieanlage möglichst mit der optimalen Schnelllaufzahl λ_{opt} zu betreiben. Dies wird eingeschränkt durch den

zulässigen Drehzahlbereich für das Generator-Umrichtersystem der Windenergieanlage und durch die maximal zulässige Rotorblattspitzengeschwindigkeit. Praktisch kann der Rotor daher nur in einem kleinen Bereich der Windgeschwindigkeit v mit der optimalen Schnelllaufzahl λ_{opt} betrieben werden. Die Kurve **10** in **Fig. 1a** zeigt beispielhaft, dass im Bereich der Windgeschwindigkeit v von ungefähr 6 m/s bis 9 m/s der Rotor mit der optimalen Schnelllaufzahl λ_{opt} betrieben werden kann. Bei höheren Windgeschwindigkeiten v kann die Drehzahl des Rotors n_R nicht weiter gesteigert werden, was zu einem Absinken der Schnelllaufzahl λ führt. In diesem Bereich ist das im Verlauf **12** in **Fig. 1a** aufgetragene Verhältnis der Drehzahl des Rotors n_R bezogen auf die Nenndrehzahl des Rotors n_{RN} konstant und ungefähr gleich 1.

[0022] **Fig. 1b** zeigt den Verlauf **14** des Verhältnisses der Leistung des Rotors P_R bezogen auf die Nennleistung des Rotors P_{RN} bei einer Normalluftdichte ρ_0 . Bei einer Normalluftdichte von $\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$ wird die Nennleistung P_{RN} bei einer Windgeschwindigkeit v von ungefähr 11 m/s erreicht. Bei höheren Windgeschwindigkeiten v wird durch das Verstellen des Blatteinstellwinkels β die Leistung des Rotors P_R begrenzt. Die ebenfalls in **Fig. 1b** dargestellte Kennlinie **16** zeigt das Verhältnis der Leistung des Rotors P_R bezogen auf die Nennleistung des Rotors P_{RN} bei einer reduzierten Luftdichte ρ_1 . Bei einer reduzierten Luftdichte von $\rho_1 = 1,0 \text{ kg/m}^3$ fällt die aus dem Wind aufgenommene Leistung des Rotors P_R ab und die Nennleistung P_{RN} wird erst bei einer Windgeschwindigkeit v von ungefähr 13 m/s erreicht. Der Vergleich mit der Kurve **10** in **Fig. 1a** zeigt, dass der Rotor für Windgeschwindigkeiten v , bei denen die Nennleistung P_{RN} erreicht wurde, bereits eine Schnelllaufzahl λ aufweist, die kleiner als die optimale Schnelllaufzahl λ_{opt} ist und dass die Schnelllaufzahl λ , bei der die Nennleistung P_{RN} erreicht wird, mit fallender Luftdichte ρ abnimmt.

[0023] Windenergieanlagen werden in der Regel nicht abhängig von der Windgeschwindigkeit v gesteuert. Die Regelung der Generatorleistung P_G und damit die entsprechende Regelung des Generatormoments M_G erfolgt abhängig von der Rotordrehzahl n_R . **Fig. 2** zeigt eine Steuerkennlinie **20** für das Generatormoment M_G abhängig von der Drehzahl n bei einer Normalluftdichte von $\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$. Deutlich ist an der Kennlinie **20** zu erkennen, dass für die Nenndrehzahl n_N die Nennleistung P_{GN} des Generators erreicht wird. **Fig. 2** zeigt gleichzeitig das Rotormoment M_R , entsprechend der Kurven **22**, das bei den einzelnen angenommenen Windgeschwindigkeiten von $v = 4 \text{ m/s}$, 6 m/s , 8 m/s , 10 m/s , 11 m/s und 12 m/s an dem Rotor wirksam wird. Der Vergleich der Steuerkennlinie **20** des Generators mit der Kurve **22**, die das Rotormoment M_R abhängig von der Windgeschwindigkeit v zeigt, verdeutlicht, dass im Übergang der Kennlinie **20** zum Nennwert des Genera-

tormoments M_{GN} eine Windgeschwindigkeit v von 11 m/s vorliegen muss. Aus den Kurven **22** ist ebenfalls erkennbar, dass das Rotormoment M_R abhängig von der Rotordrehzahl n_R bei konstanter Windgeschwindigkeit v jeweils ein Maximum besitzt. Wichtig für die Steuerkennlinie **20** ist dabei, dass das gemäß der Steuerkennlinie **20** eingestellte Generatormoment M_G sich stets rechts vom Maximum des in der Kurve **22** dargestellten Rotormoments M_R befindet. Hierdurch wird die Rotordrehzahl n_R selbstständig stabilisiert, da das Rotormoment M_R , bei einem Arbeitspunkt, der sich rechts vom Maximum der Kurve **22** befindet, bei fallender Rotordrehzahl zunimmt und sich somit die Drehzahl n wieder erhöht. Die Arbeitspunkte der Steuerkennlinie **20** sind somit selbststabilisierende Arbeitspunkte.

[0024] **Fig. 3** zeigt eine Kennlinie **24**, die einer Steuerkennlinie des Generators bei einer Luftdichte von $\rho_1 = 1 \text{ kg/m}^3$ entspricht. Deutlich ist in **Fig. 3**, im Vergleich zu **Fig. 2**, auch erkennbar, dass die Kurve **26** bei gleicher Windgeschwindigkeit v ein geringeres Rotormoment M_R zeigt, das aus dem Wind entnommen werden kann. Wichtig an der Kennlinie **24** ist wieder, dass die Arbeitspunkte jeweils rechts von dem Maximum der Kurve **26** liegen, so dass die Arbeitspunkte auf der Kennlinie **24** selbststabilisierend sind. Zum besseren Vergleich ist in **Fig. 3** auch die Kennlinie **20** eingezeichnet, die der Kennlinie **20** aus der **Fig. 2** entspricht. Hier ist zu erkennen, dass das Maximum der Kurve **26** für $v = 12 \text{ m/s}$ rechts des steilen Astes der Steuerkennlinie **20** liegt. Dies bedeutet, dass ein Arbeitspunkt im Übergang der Kennlinie zum Bereich der Nennleistung bei einer nicht luftdichtekorrigierten Kennlinie für eine Luftdichte von $\rho_1 = 1 \text{ kg/m}^3$ nicht selbststabilisierend wäre.

[0025] In **Fig. 3** ist bei einem Vergleich der Kennlinien **20** und **24** ebenfalls zu erkennen, dass, bei der Nenndrehzahl n_N , das Nennmoment des Generators M_{GN} bei einer Luftdichte von $\rho_1 = 1 \text{ kg/m}^3$ auf ungefähr 80% des Nennmoments M_{GN} bei einer Normalluftdichte von $\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$ reduziert ist. Diese Reduktion des Nennmoments M_{GN} führt natürlich zu einer Reduktion der Nennleistung und des Ertrages der Windenergieanlage.

[0026] Die Erfindung sieht vor, die drehzahlabhängige Steuerkennlinie **24** der Windenergieanlage zu korrigieren. Die Korrektur erfolgt abhängig von dem Blatteinstellwinkel β .

[0027] Bei einem geringen Blatteinstellwinkel β vor Erreichen der Nenndrehzahl n_N ergibt sich das Generatormoment M_G und damit die Leistung des Generators P_G nur aus der luftdichtekorrigierten Steuerkennlinie **24**. Wird der Blatteinstellwinkel β durch die Drehzahlregelung der Windenergieanlage erhöht, so führt dies bei gleicher Schnelllaufzahl λ zu einem geringeren Anstellwinkel der Rotorblätter, so dass auch

das Generatormoment M_G erhöht werden kann, ohne den stabilen Bereich des Rotorkennfeldes zu verlassen. Im Einzelnen bedeutet dies, dass bei der Erfindung durch einen zusätzlichen Beitrag ΔM_G zum Sollwert für das Generatormoment M_G die Leistung P der Windenergieanlage erhöht wird. Der zusätzliche Anteil ΔM_G zu dem Sollwert des Generatormoments M_G trägt dazu bei, dass der aufgrund der Korrektur der Luftdichte ρ entstehende Ertragsverlust, zumindest bei großen Windgeschwindigkeiten v , kompensiert werden kann.

[0028] Das erfindungsgemäße Verfahren sieht dabei die folgenden Verfahrensschritte vor:

- Erfassen eines Istwerts einer für eine Drehzahl des Generators n_G repräsentativen Größe,
- Vorgabe eines Sollwerts für das Generatormoment M_G abhängig von dem erfassten Istwert der für die Drehzahl des Generators n_G repräsentativen Größe,
- Erfassen eines Werts für den Blatteinstellwinkel β ,
- Erhöhen des Sollwerts für das Generatormoment M_G , wenn der erfasste Wert für den Blatteinstellwinkel β einen vorbestimmten Mindestwert β_{\min} überschreitet.

[0029] Bevorzugt wird als Istwert einer für die Drehzahl des Generators repräsentativen Größe der Istwert der Drehzahl des Generators erfasst.

[0030] Zur Stabilisierung des Verfahrens kann vorgesehen sein, den erfassten Wert für den Blatteinstellwinkel β über eine vorbestimmte Zeitdauer fortlaufend zu mitteln. Bei dem Wert für den Blatteinstellwinkel kann es sich um einen gemessenen Istwert und/oder einen in der Steuerung des Blatteinstellwinkels vorliegenden Sollwert handeln.

[0031] [Fig. 4](#) zeigt beispielhaft den Verlauf **28** des Generatormoments M_G und den Verlauf **30** des Blatteinstellwinkels β über der Zeit t . Der Sollwert des Generatormoments M_G beträgt in dem leistungsreduzierten Betriebsmodus, bei einer reduzierten Luftdichte ρ_1 , ungefähr 80% des Nennwerts für das Generatormoment M_{GN} im Betrieb bei einer Normalluftdichte ρ_0 . Beginnend ab einer Zeitdauer von ungefähr 200 Sekunden, setzt die Blatteinstellregelung ein und erhöht bis zu einer Zeitdauer von ungefähr 400 Sekunden den Blatteinstellwinkel β auf Werte von bis zu 8° . Aufgrund der hohen Werte für den zeitlich gemittelten Blatteinstellwinkel β wird, ungefähr beginnend ab einer Zeitdauer von 300 Sekunden, der Sollwert für das Generatormoment M_G erhöht. Wie in [Fig. 4](#) dargestellt, führt dies zu einer Erhöhung des Generatormoments M_G entsprechend Kurve **28**. Der auch in dem Zeitintervall von 300 s bis 400 s entsprechend Kurve **30** weiter steigende Blatteinstellwinkel β führt zu einem weiteren Ansteigen des Sollwerts für das Generatormoment M_G . Das hohe Generatormo-

ment M_G bewirkt eine Reduktion der Rotordrehzahl n_R , wodurch nachfolgend aufgrund der Drehzahlregelung auch der Blatteinstellwinkel β verringert wird. Dies wiederum führt zu einer Erhöhung des Rotormoments M_R . Zum Zeitpunkt $t = 600$ Sekunden hat der Blatteinstellwinkel β wieder einen niedrigen Wert von ungefähr 1° bis 2° erreicht und das resultierende Rotormoment M_R entspricht nun dem deutlich höheren Generatormoment M_G entsprechend Kurve **28**. Auf diese Weise kann auch in einem luftdichtekorrigierten Betriebsmodus der Windenergieanlage zuverlässig ein höherer Ertrag erzielt werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 1918581 A2 [[0002](#)]
- US 2008/0001409 A1 [[0003](#)]
- US 2008/0140263 A1 [[0004](#)]
- DE 10011393 A1 [[0005](#)]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage, wobei die Windenergieanlage einen Rotor mit mindestens einem in seinem Blatteinstellwinkel (β) verstellbaren Rotorblatt, einen mit dem Rotor verbundenen Generator zur Erzeugung elektrischer Leistung und mindestens eine Messeinrichtung zum Erfassen eines Istwerts einer für eine Drehzahl des Generators repräsentativen Größe aufweist, wobei ein Sollwert für ein Generatormoment (M_G) abhängig von einer Drehzahl (n) vorgegeben und der Sollwert für das Generatormoment (M_G) abhängig von einer Kenngröße für eine Luftdichte (ρ) korrigiert wird, mit folgenden Verfahrensschritten:

- Erfassen einer für einen Istwert einer Drehzahl des Generators (n_G) repräsentierenden Größe,
- Vorgabe eines Sollwerts für das Generatormoment (M_G) abhängig von dem Istwert der für die Drehzahl des Generators (n_G) repräsentativen Größe und Korrektur des Sollwerts für das Generatormoment abhängig von einer Kenngröße für die Luftdichte (ρ),
- Erfassen eines Werts für den Blatteinstellwinkel (β) und
- Erhöhen des Sollwerts für das Generatormoment (M_G), wenn der erfasste Wert für den Blatteinstellwinkel (β) einen vorbestimmten Mindestwert (β_{\min}) überschreitet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch

- Mitteln der erfassten Werte für den Blatteinstellwinkel (β) über ein vorbestimmtes Zeitintervall.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch

- Bestimmen eines zusätzlichen Generatormoments (ΔM_G) derart, dass eine zusätzliche Leistung (ΔP) der Windenergieanlage proportional zu dem erfassten Wert für den Blatteinstellwinkel (β) ist, und
- Erhöhen des Sollwerts für das Generatormoment (M_G) um das zusätzliche Generatormoment (ΔM_G).

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch

- Bestimmen eines zusätzlichen Generatormoments (ΔM_G) derart, dass ein zusätzliches Generatormoment (ΔM_G) proportional zu dem erfassten Wert für den Blatteinstellwinkel (β) ist, und
- Erhöhen des Sollwerts für das Generatormoment (M_G) um das zusätzliche Generatormoment (ΔM_G).

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, gekennzeichnet durch

- Begrenzen des Sollwerts für das Generatormoment (M_G) auf einen Maximalwert, der sich bei einem Normalwert für die Luftdichte (ρ_0) ergibt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Erhöhung des Soll-

werts für das Generatormoment (M_G) dann erfolgt, wenn aufgrund einer Kenngröße für die Luftdichte (ρ) der Sollwert für das Generatormoment (M_G) korrigiert wurde.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

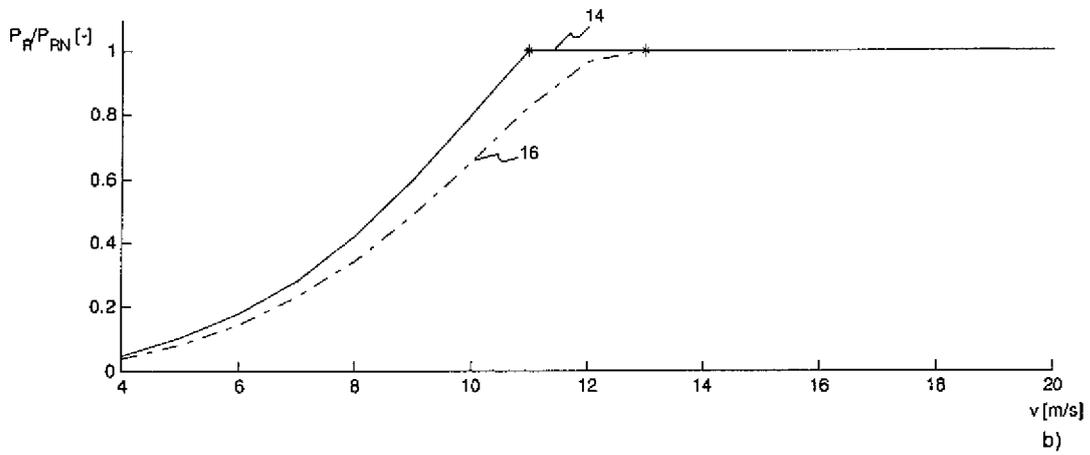
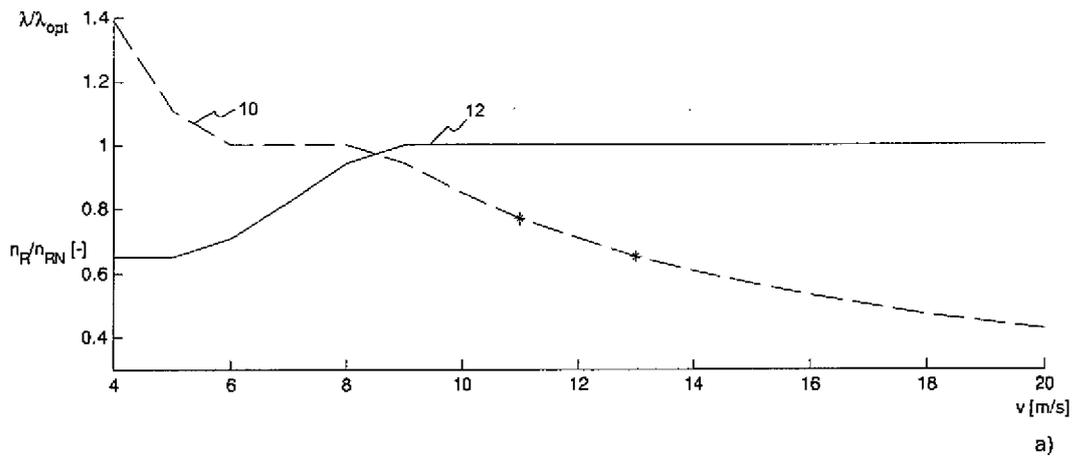


Fig. 1

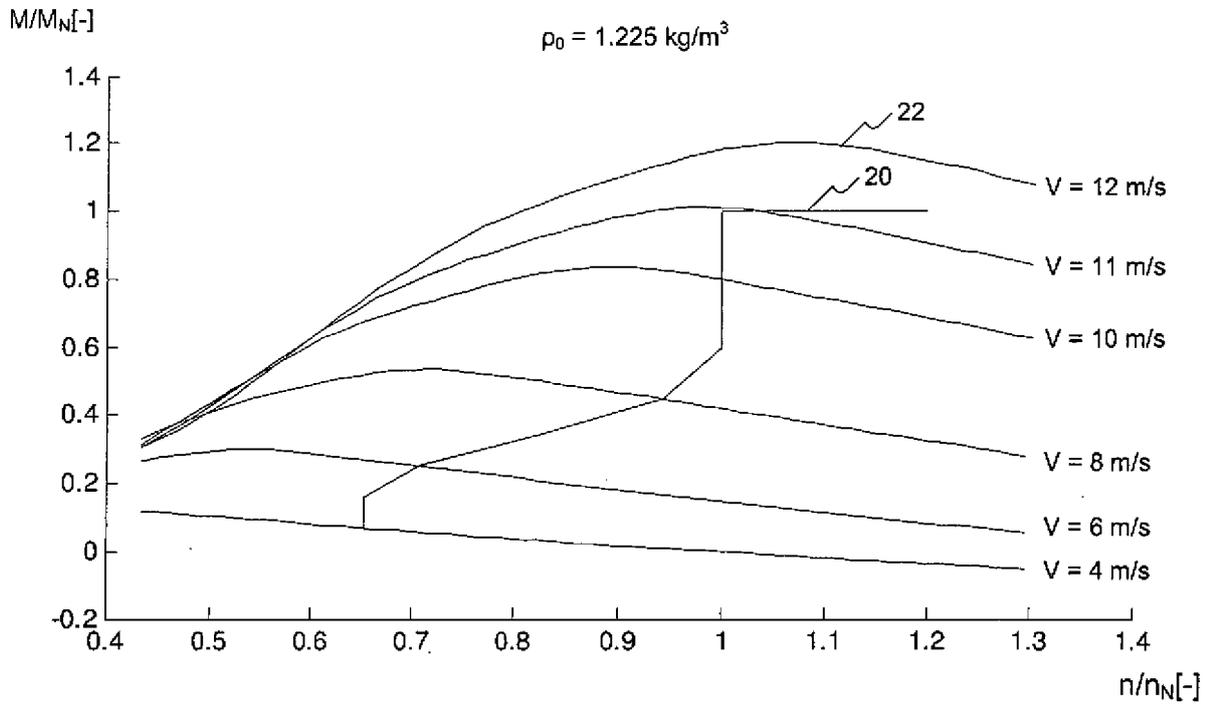


Fig. 2

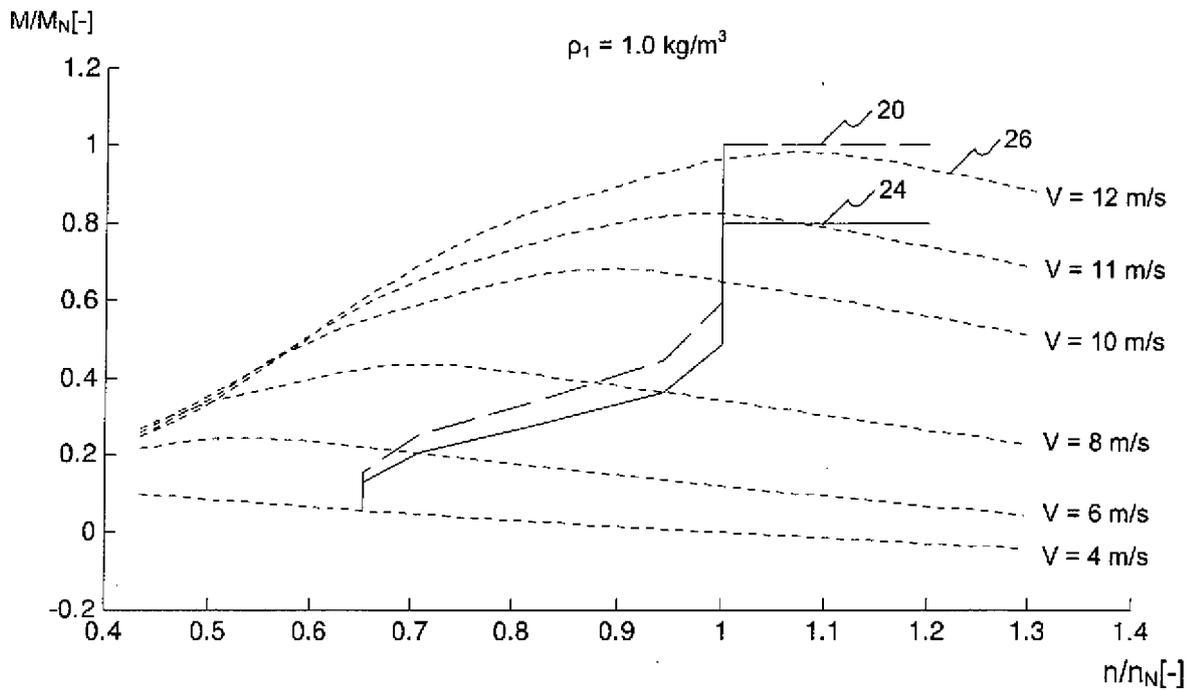
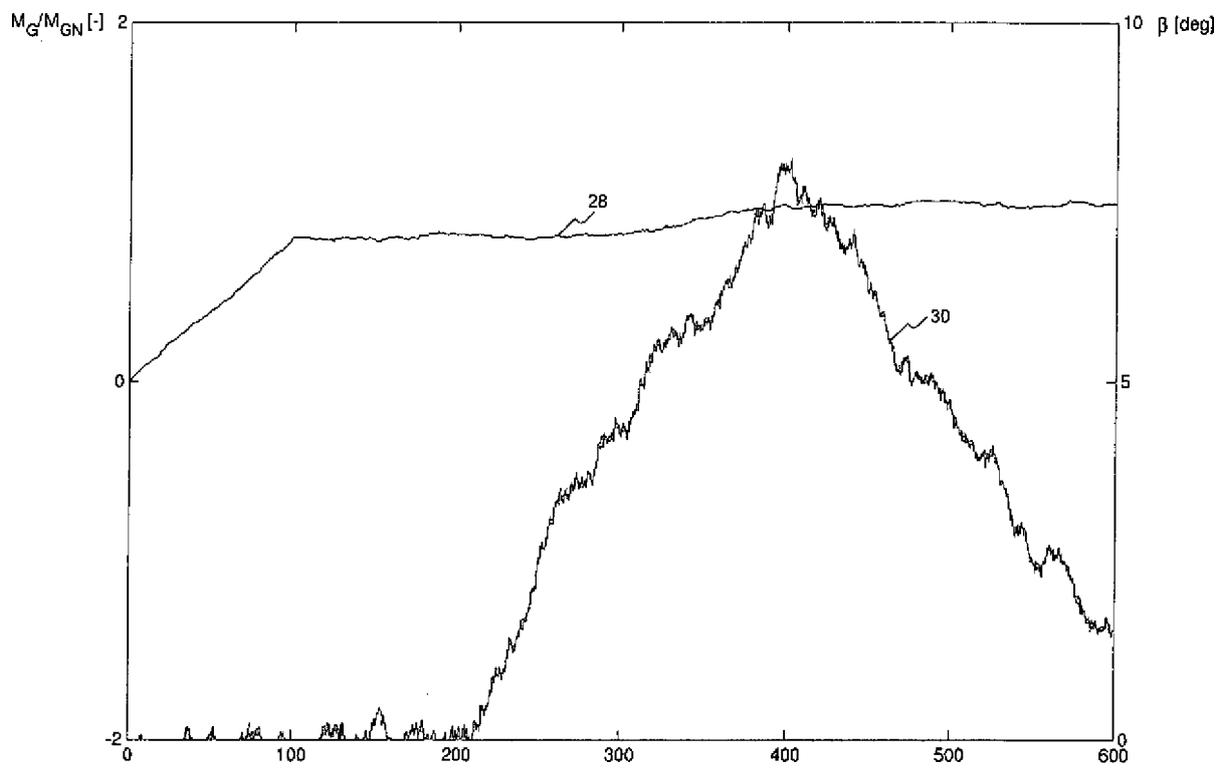


Fig. 3



t [s] Fig. 4