(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2010 051 746 A1** 2011.06.16

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 051 746.1**
(22) Anmeldetag: **19.11.2010**
(43) Offenlegungstag: **16.06.2011**

(51) Int Cl.: ***F03D 7/00*** (2006.01)

(66) Innere Priorität:
20 2009 016 920.0 15.12.2009

(71) Anmelder:
Svendborg Brakes A/S Deutschland, 32257 Bünde, DE

(74) Vertreter:
Bockermann, Ksoll, Griepenstroh, 44791 Bochum

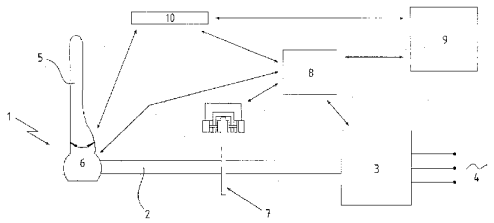
(72) Erfinder:
Möller, Henrik, Svendborg, DK; Altemark, Jens, 24768 Rendsburg, DE; Peters, Uwe, 32130 Enger, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage sowie Windenergieanlage**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage sowie Windenergieanlage, welche einen über Rotorblätter (5) angetriebenen Triebstrang (2) und wenigstens ein auf den Triebstrang (2) wirkendes aerodynamisches oder mechanisches Bremssystem (6, 7) aufweist, wobei die Regelung der Windenergieanlage durch eine Hauptsteuerung (9) und/oder mindestens eine Teilsteuerung erfolgt. Erfindungsgemäß ist eine mit der Hauptsteuerung (9) und/oder der Teilsteuerung in Verbindung stehende Überwachungseinrichtung (8) vorgesehen, durch welche das Bremssystem (6, 7) überwacht sowie im Bedarfsfall geregelt und gesteuert wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage gemäß den Merkmalen im Oberbegriff von Patentanspruch 1 sowie eine mit diesem Verfahren betriebene Windenergieanlage gemäß den Merkmalen im Oberbegriff von Patentanspruch 16.

[0002] Windenergieanlagen dienen dazu, die kinetische Energie des Windes in elektrische Energie umzuwandeln. Hierfür wird die Bewegungsenergie der Windströmung auf die Rotorblätter eines Rotors übertragen, wodurch dieser in eine Drehbewegung versetzt wird. Hierbei wird die kinetische Energie der bewegten Luft in mechanische Arbeit umgesetzt. Der Rotor ist dabei mit einem Triebstrang verbunden, welcher mit einem Generator gekoppelt ist. Die Rotationsenergie des Rotors wird dabei innerhalb des Generators in elektrische Energie umgewandelt, welche dann pro Zeit als Leistung in das Stromnetz eingespeist wird.

[0003] Windenergieanlagen verfügen über mindestens ein Bremssystem, welches auf den Triebstrang wirkt. Bei dem Bremssystem kann es sich beispielsweise um eine mechanische oder aerodynamische Bremse handeln. Während das mechanische Bremssystem die kinetische Energie aus der Drehung des Triebstrangs mittels Reibung in Wärme umwandelt, erfolgt die Bremswirkung des aerodynamischen Bremssystems durch eine axiale Winkelverstellung der Rotorblätter des Rotors.

[0004] Die Dimensionierung der einzelnen Bauteile der Windenergieanlage, beispielsweise der Gründung, des Turms, des Maschinenträgers sowie der einzelnen Wellen und der Rotorblätter, ergibt sich rein konstruktiv durch die möglichen Belastungen innerhalb der einzelnen Betriebszustände der Windenergieanlage. Neben den Belastungen wie beispielsweise der Windkraft ergeben sich zusätzliche Belastungen aus der Regelung der Windenergieanlage, beispielsweise durch einen Bremsvorgang des Rotors.

[0005] Mögliche Bauformen moderner Windenergieanlagen sind in dem Standardwerk zur Windenergietechnik von Erich Hau: "Windkraftanlagen – Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit; 4. Auflage" ausführlich beschrieben. Die im weiteren Verlauf vorgestellten Merkmale der vorliegenden Erfindung sind grundsätzlich dazu geeignet, in allen heute gängigen Bauformen von Windenergieanlagen eingesetzt zu werden.

[0006] Der Betrieb einer Windenergieanlage wird mindestens durch eine Hauptsteuerung geregelt. Darüber hinaus ist beispielsweise aus dem Bericht der NASA "DOE/NASA/20370-23" bekannt, dass zusätzlich zur Hauptsteuerung ein davon unabhängiges Sicherheitssystem angeordnet sein muss. Dieses Sicherheitssystem kann beispielsweise ein Überdrehzahlrelais, einen Vibrationsschalter, ein Watchdog-Relais, einen Überstromauslöser oder einen Not-Aus-Schalter aufweisen. Derartige Sicherheitssysteme werden im Stand der Technik "Fail Safe" ausgeführt, so dass sie bei Verlust der Versorgungsspannung über das Sicherheitssystem einen Alarm auslösen.

[0007] Die US 6,771,903 B1 offenbart im Zusammenhang mit Sicherheitssystemen die optische Datenübertragung, wodurch deren Effizienz gesteigert wird.

[0008] Die EP 1 764 664 A2 beschreibt die Auswertung von Sensoren (Messvorrichtungen) einer Windenergieanlage unter Verwendung einer zusätzlichen Logik.

[0009] Die EP 2007 002 07 58 beschreibt die Möglichkeit, wie Toleranzen aus der Fertigung des mechanischen Bremssystems durch einen hydraulischen Speicher ausgeglichen werden können.

[0010] Die DE 10 2007 040 834 A1 offenbart ein Verfahren zum Betreiben einer Windenergieanlage, bei dem eine Bremse so angesteuert wird, dass Drehzahlschwankungen der Windenergieanlage bei Netzproblemen ausgeglichen werden.

[0011] Im Stand der Technik ist auch die Verwendung mehrfach redundanter aerodynamischer Bremssysteme in Kombination mit mechanischen Bremssystemen vorbekannt. Die mechanischen Bremssysteme sind zumeist so ausgelegt, dass sie in Form von Haltebremsen in der Lage sind, ein Mehrfaches des Nennmoments einer Windenergieanlage zu halten. Des Weiteren sind so genannte Pitch-Systeme zur axialen Neigungsverstellung der einzelnen Rotorblätter bekannt, deren Einstellgeschwindigkeit von ca. 2 Grad pro Sekunde bis 20 Grad pro Sekunde im Sicherheitsbetrieb (aerodynamisches Bremssystem) reicht. Dabei unterscheiden diese Pitch-Systeme den Sicherheitsbetrieb von dem normalen Arbeitsbetrieb, bei welchem die Drehzahlsteuerung des Rotors über die axiale Verstellung der Rotorblätter erfolgt.

[0012] Im Betrieb einer Windenergieanlage muss deren Überlastung vermieden werden. Insbesondere darf eine Windenergieanlage aus offensichtlichen Sicherheitsgründen niemals umfallen oder Bauteile verlieren (vgl. Germanischer Lloyd "Zertifizierungsrichtlinien"). Bei der Zertifizierung muss daher nachgewiesen werden, dass diese Anforderungen unter allen denkbaren Betriebszuständen der Windenergieanlage eingehalten werden. Die möglicherweise auftretenden Betriebszustände, wie sie beispielsweise allein aus den Regelungen der Windenerfgieanla-

ge resultieren, bestimmen daher maßgeblich die geforderte Dimensionierung der einzelnen Komponenten.

[0013] Die im Stand der Technik vorbekannten Sicherheitssysteme stellen eine ausreichende Lösung für die Überwachung von Windenergieanlagen kleiner Baugröße dar. Bei der Herstellung großer Windenergieanlagen treten jedoch höhere Betriebslasten auf, die den Einsatz derartiger einfacher Sicherheitssysteme nicht zulassen oder aber eine entsprechend große Dimensionierung relevanter Komponenten der Windenergieanlage, wie beispielsweise des Turms, des Maschinenträgers sowie des Triebstrangs oder der Rotorblätter erfordern.

[0014] Die alleinige Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit einzelner Komponenten des Sicherheitssystems reicht nicht aus, um die im Betrieb auf die Windenergieanlage einwirkenden regelungsbedingten Betriebslasten zu senken. Auch die ein Mehrfaches des Nennmoments der Windenergieanlage haltenden mechanischen Bremssysteme weisen dabei thermische Probleme auf, da sie bereits nach kurzer Betätigung zu hohe Temperaturen erreichen. Um diese Betriebslasten dennoch aufnehmen zu können, ist derzeit der Einsatz vieler Tonnen Stahl zur Verstärkung der einzelnen Komponenten erforderlich.

[0015] Vor diesem Hintergrund bietet daher der Betrieb einer Windenergieanlage noch Raum für Verbesserungen.

[0016] Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage dahingehend zu verbessern, dass die durch die Regelung bedingten Betriebslasten der Windenergieanlage in allen Betriebszuständen reduziert werden. Darüber hinaus soll eine Windenergieanlage mit in allen Betriebszuständen reduzierten regelungsbedingten Betriebslasten aufgezeigt werden, wodurch deren konstruktiv wirtschaftlichere Herstellung ermöglicht wird.

[0017] Die Lösung des verfahrensmäßigen Teils der Aufgabe besteht nach der Erfindung in einem Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage gemäß den Merkmalen von Patentanspruch 1.

[0018] Hiernach wird ein Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage aufgezeigt, welche einen über Rotorblätter angetriebenen Triebstrang und wenigstens ein auf den Triebstrang wirkendes Bremssystem aufweist. Die Regelung der Windenergieanlage erfolgt durch eine Hauptsteuerung und/oder mindestens eine Teilsteuerung. Erfindungsgemäß ist eine mit der Hauptsteuerung und/oder der Teilsteuerung in Verbindung stehende intelligente Überwachungseinrichtung vorgesehen, durch welche das Bremssystem überwacht sowie im Bedarfsfall geregelt und gesteuert wird.

[0019] Der besondere Vorteil liegt in der die Hauptsteuerung und/oder die Teilsteuerung überwachenden Überwachungseinrichtung, welche bereits vor der Hauptsteuerung und/oder Teilsteuerung mögliche kritische Betriebszustände erkennt und somit bereits im Vorfeld mit Hilfe des Bremssystems eingreifen kann. In vorteilhafter Weise ist die Überwachungseinrichtung dabei mit den einzelnen Bremssystemen verbunden, so dass deren jeweiligen Betriebszustände ausgewertet oder entsprechende Informationen an die Bremssysteme gegeben werden können. Hierdurch wird nicht erst beim Erreichen etwaiger Schwellenwerte eine mögliche Reaktion der bestehenden Hauptsteuerung und/oder Teilsteuerung abgewartet, wodurch die sonst zwangsläufig auftretenden Betriebslasten bereits im Vorfeld vermieden werden. Im Ergebnis müssen die somit vermiedenen extremen Betriebszustände nicht in die Dimensionierung der einzelnen Komponenten der Windenergieanlage einfließen, wodurch deren konstruktive Ausgestaltung wirtschaftlicher erfolgen kann.

[0020] Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind Inhalt der abhängigen Ansprüche 2 bis 16.

[0021] Hierbei ist mindestens eine mit der Überwachungseinrichtung in Verbindung stehende Messvorrichtung vorgesehen, aus deren Messwerten entsprechende Steuerwerte für das jeweilige Bremssystem generiert werden. Bei einer Anordnung mehrerer Messvorrichtungen können somit diverse Werte durch die Überwachungseinrichtung überwacht werden, welche auch zum Auslösen des Sicherheitssystems führen können. Neben den Drehzahlen können beispielsweise auch Drücke sowie Temperaturen und die Lebenszeichen (Watchdog) der Hauptsteuerung, beispielsweise in Form eines Frequenzsignals, überwacht werden.

[0022] Bei entsprechender Anordnung der Messvorrichtung können auch Schwingungsniveaus, beispielsweise des Turms oder anderer Bauteile der Windenergieanlage, überwacht werden. Weiterhin denkbar ist eine Überwachung der einzelnen Drehmomente an Wellen, beispielsweise an der Hauptwelle des Triebstrangs. Auch das vom Generator/Umrichtersystem gemeldete Drehmoment kann dabei durch die Überwachungseinrichtung überwacht werden. Weiterhin denkbar sind auch die Überwachung der Kraft oder eines Drehmomentsignals, beispielsweise von den Rotorblättern.

[0023] Darüber hinaus können auch die Stellungssignale, wie beispielsweise von den Rotorblättern, sowie Geschwindigkeitssignale, wie beispielsweise des

Pitch-Systems oder des Generators/Umrichtersystems überwacht werden. Aus den jeweiligen Messwerten werden durch die Überwachungseinrichtung entsprechende Steuerwerte berechnet, welche auf das Bremssystem wirken.

[0024] Bevorzugt werden durch die über die Überwachungseinrichtung erfolgende Regelung und Steuerung des Bremssystems die Betriebslasten der Windenergieanlage während oder nach dem Bremsvorgang reduziert. In Kombination mit der Überwachung möglicher Turmschwankungen werden hierdurch die vorhandenen Bremssysteme derart eingesetzt, dass die möglichen Turmschwankungen gedämpft werden (vergleichbar mit dem Einsatz von ESP bei Kraftfahrzeugen). Insgesamt erfolgt durch den Einsatz der Überwachungseinrichtung ein neuartiges Auswerten der durch die Messvorrichtungen zur Verfügung gestellten Messwerte in Kombination mit der Erkennung möglicherweise fehlerhafte Reaktionen, beispielsweise der Hauptsteuerung, so dass bereits vor Erreichen eines kritischen Niveaus dieses durch Eingriff der Überwachungseinrichtung in das Bremssystem verhindert werden kann.

[0025] Weiterhin ist vorgesehen, dass durch die Überwachungseinrichtung auch die Reaktionszeit des Bremssystems während oder nach dem Bremsvorgang reduziert wird. Hierbei werden insbesondere die Nachteile von Schwimmsätteln oder ähnlichen, mit höheren Reaktionszeiten behafteten Bremssystemen ausgeglichen. Dabei wird das Bremssystem präventiv bei Erreichen von Warnschwellen derart kurzzeitig aktiviert, dass die Reaktionszeiten insgesamt reduziert werden. Bei hydraulischen Bremssystemen werden hierfür die Betätigungsventile kurz betätigt, um bereits im Vorfeld so viel Druck aufzubauen, wie erfahrungsgemäß zur Überwindung der bevorstehenden Reibung benötigt wird.

[0026] Darüber hinaus wird über die Überwachungseinrichtung auch die thermische Belastung eines mechanischen Bremssystems während oder nach dem Bremsvorgang reduziert. Hierbei wird die benötigte Bremsscheibe nur oberhalb und unterhalb gewisser Drehzahlniveaus sowie innerhalb gewisser Drehzahlbeschleunigungen benutzt. Bevorzugt wird dabei auch die Beschleunigung der Drehzahl überwacht. Tritt eine starke negative Beschleunigung der Drehzahl auf, so wird das mechanische Bremssystem etwas gelöst, da offensichtlich das den Bremsvorgang auslösende Ereignis vorbei, nicht so schlimm wie erwartet oder aber beispielsweise das aerodynamische Bremssystem stark genug wirkt.

[0027] In vorteilhafter Weise können hierbei auch Bremssysteme eingesetzt werden, welche an sich nicht in der Lage sind, einen vollen Bremsvorgang thermisch zu überstehen. Diese können dann durchaus zur Unterstützung des Bremsvorgangs benutzt werden. Die verblüffend einfache Erkenntnis dabei ist, dass nur gebremst werden muss, wenn die Drehzahl entsprechend ansteigt. Während des Abfallens der Drehzahl kann die Bremse wieder abkühlen, wobei sie thermisch nicht mehr belastet wird.

[0028] Bevorzugt wird die Reaktionszeit bei einem mechanischen Bremssystem dadurch reduziert, dass dessen erforderliche Beläge bereits vor dem Erreichen kritischer Schwellenwerte so nahe wie möglich an die Bremsscheibe angelegt werden. Beim Einsatz von Bremskolben wird dabei kurzzeitig das Steuerventil angesteuert, um die Bremszangen schon zum Anliegen an die Bremsscheibe zu bringen.

[0029] Bevorzugt wird der notwendige Bremsdruck für das mechanische Bremssystem bereits vor einem möglichen Bremsvorgang aufgebaut. Bei Bedarf wird der so aufgebaute Bremsdruck dann an das mechanische Bremssystem angelegt. Hierdurch wird die Reaktionszeit des mechanischen Bremssystems infofern verkürzt, als dass die sonst notwendige Zeit zum Aufbau des notwendigen Bremsdrucks ab dem den Bremsvorgang auslösenden Ereignis entfällt.

[0030] Der besondere Vorteil liegt somit darin begründet, dass der notwendige Bremsdruck bereits im Vorfeld eines möglichen Bremsmanövers aufgebaut wird. Sollte sich das seitens der Überwachungseinrichtung eingeschätzte Bremsszenario als richtig erweisen, liegt so der notwendige Bremsdruck für das mechanische Bremssystem bereits im Vorfeld der Auslösung an und kann direkt an das mechanische Bremssystem weitergeleitet werden.

[0031] Die Reaktionszeit bei einem durch axiale Verstellung der Rotorblätter arbeitenden aerodynamischen Bremssystems wird erfindungsgemäß dadurch reduziert, dass dieses bereits vor dem Erreichen kritischer Schwellenwerte in Betriebsbereitschaft versetzt wird. Hierfür wird auf die zur Verstellung dienende Betätigungseinrichtung bereits eine unterhalb der Betätigungskraft liegende Vorspannkraft ausgeübt. Beim Einsatz elektrischer Pitch-Systeme wird hierfür beispielsweise ein Aufweckbefehl seitens der Überwachungseinrichtung abgegeben, um das Pitch-System aus dem Energiesparmodus zu wecken.

[0032] Insbesondere für die mechanischen Bremssysteme erfolgt auch eine Messung oder Berechnung der thermischen Reserven des Bremssystems, aufgrund derer der Betrieb der Windenergieanlage vorübergehend gestoppt oder nur reduziert freigegeben wird. Der reduzierte Betrieb kann beispielsweise drehzahlreduziert, leistungsreduziert oder mit vermindertem Abschaltwind erfolgen.

[0033] Die Erfindung sieht ferner vor, dass die intelligente Überwachungseinrichtung gezielt in die Regelung des Bremssystems eingreift, wodurch das ma-

ximal zulässige Drehmoment für die Windenergieanlage nicht überschritten wird. Die Überwachungsreinrichtung regelt dabei die Stärke des Bremsvorgangs anhand der Drehzahlreduktion. Dabei wird das mechanische Bremssystem geregelt. Eine entsprechende Überwachung der Bremsstärke kann auch anhand der Kraft oder über entsprechende Drucksensoren erfolgen.

[0034] Erfordert der jeweilige Betriebszustand ein Steuern ohne Regeln, kann dieses auch per proportionalem Stellmechanismus erfolgen (beispielsweise durch den Einsatz eines Proportionalventils bei hydraulischen Systemen oder vergleichbares bei elektromechanischen Systemen). Diese Ausführungsform berücksichtigt insbesondere auch die nicht linearen Eigenschaften des aerodynamischen Bremssystems hinsichtlich dessen unterschiedlicher Wirkung bezogen auf die jeweilige Winkelstellung. Diese bewirkt, dass beispielsweise während der Wegstrecke 0 Grad bis ca. 10 Grad weniger Leistungsverlust eintritt als bei der Wegstrecke von 10 Grad bis 20 Grad. Die Arbeitsposition der Rotorblätter liegt hierbei bei 0 Grad, während die Fahnenposition entsprechend bei 90 Grad liegt.

[0035] Grundsätzlich ist vorgesehen, dass die durch die Messvorrichtung ermittelten Messwerte direkt oder indirekt erfasst werden. Auf diese Weise werden alle zur Verfügung stehenden direkten Sensoren oder indirekten Messungen erfasst, wie beispielsweise auch das Drehmomentsignal des Generatorumrichters, die Kraftmessung aus dem Triebstrang und den Rotorblättern. Darüber hinaus können beispielsweise auch weitere, die möglichen auftretenden Kräfte messende Sensoren an Generator, Getriebe und Triebstrang oder andere geeignete Sensoren erfasst werden.

[0036] Insgesamt kombiniert die Überwachungseinrichtung die Möglichkeiten der mechanischen und aerodynamischen Bremssysteme in der Art, dass deren Reaktionszeiten, Wirkungen und thermischen Möglichkeiten optimal verbunden werden. Eine bevorzugte Ausführungsform sieht beispielsweise vor, dass das mechanische Bremssystem nur während starker Beschleunigung angesteuert wird. Dafür können in der Überwachungseinrichtung einer oder mehrere Schwellenwerte hinterlegt sein. Dieser Vorgang kann auch mit weiteren Logikfunktionen in Abhängigkeit vom Betriebspunkt verknüpft sein. Denkbar ist beispielsweise eine Betätigung des mechanischen Bremssystems auch nur zum Anfang des Bremsvorgangs, nur zum Ende oder nur bei Betätigung eines mechanischen Not-Aus-Schalters.

[0037] Zur näheren Erläuterung sei nachfolgend die Überwachung der Drehzahl als Beispiel für eine bevorzugte Ausführungsform beschrieben:

Erfahrungsgemäß treten im Betrieb der Windenergieanlage große Drehzahlschwankungen (Drehzahlbeschleunigungen) auf. Ferner ist bekannt, dass die größten Drehzahlschwankungen bei Eintreten von extremen Böen, beispielsweise bei Jahresböen, und auch beim plötzlichen Lastabwurf durch Netzausfall oder Versagen des Generatorumrichters auftreten. Da die Hauptsteuerung nicht wissen kann, ob auf die starke Beschleunigung ein kritischer Betriebszustand der Windenergieanlage folgt, wird von der Überwachungseinrichtung zur Vermeidung desselben das entsprechende Bremssystem bereits voraktiviert. Somit wird beim Erreichen von kritischen Drehzahlniveaus wertvolle Zeitersparnis und damit auch ein Mehr an Sicherheit erreicht (vergleichbar mit einem Gurtstraffer oder dem Hochklappen von Kopfstützen in modernen Kraftfahrzeugen).

[0038] Grundsätzlich kann die Überwachungseinrichtung die mögliche Voraktivierung des Bremssystems selber vornehmen oder aber auf Anforderung der Hauptsteuerung.

[0039] Bevorzugt wird die Hauptsteuerung und/oder die Teilsteuerung der Windenergieanlage derart von der Überwachungseinrichtung überwacht, dass deren mögliches Versagen bereits vor dem Erreichen kritischer Schwellenwerte erkannt wird. Hierbei wird durch die Überwachungseinrichtung in die Regelung und Steuerung des Bremssystems eingegriffen. Hierfür wird eine Plausibilitätsüberwachung durchgeführt, wobei die Messwerte der Überwachungseinrichtung mit den Werten aus der Hauptsteuerung verglichen werden.

[0040] Das ebenfalls durch die Überwachungseinrichtung überwachte Pitch-System, welches beispielsweise auch durch Neigung der Rotorblätter für das aerodynamische Bremssystem arbeitet, könnte beispielsweise beim Ausfall der Hauptsteuerung in die falsche Richtung arbeiten oder auch stehen bleiben. Mittels in der Überwachungseinrichtung hinterlegter Plausibilitätswerte und Funktionen in Kombination mit anderen Sensordaten kann somit rechtzeitig das Sicherheitssystem aktiviert werden. Neben den Fehlern des Pitch-Systems sind aber auch Drehzahlplausibilität und Fehler des Generators/Generatorumrichtersystems bevorzugte Überwachungsfunktionen der Überwachungseinrichtung.

[0041] Weiterhin ist vorgesehen, dass durch die Überwachungseinrichtung mindestens die Funktion eines Watchdog-Überwachungsgeräts und eines Überdrehzahlrelais übernommen werden. In vorteilhafter Weise wird dabei die jeweilige Funktion des Watchdog-Überwachungsgeräts und des Überdrehzahlrelais durch eine ständige Selbstdiagnose überwacht.

[0042] Bei den vielen einfachen im Stand der Technik bekannten Geräten ist aus Kosten- und Komplexitätsgründen keine Selbstdiagnose enthalten. Daher wird aus Ausfall des Sicherheitssystems gar nicht oder erst bei einer Wartung bemerkt. Darüber hinaus wird das Eintreten von so genannten Doppelfehlern, bei denen ein gleichzeitiges Versagen der Hauptsteuerung und des Sicherheitssystems auftreten, als derart unwahrscheinlich eingestuft, dass dieser Nachweis für Windenergieanlagen derzeit nicht gefordert ist. Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung folglich auch die einfache Erkenntnis zugrunde, dass eine Bündelung von mehreren Funktionen innerhalb der Überwachungseinrichtung keinen Verlust an Sicherheit mit sich bringt.

[0043] In vorteilhafter Weise erstreckt sich die Selbstdiagnose auch in das Sicherheitssystem hinein. Dabei überwacht das Sicherheitssystem sowohl beim Start als auch im laufenden Betrieb die Plausibilität der angeschlossenen Sensoren und/oder vergleicht die Ergebnisse mit denen, welche beispielsweise über ein Bus-System von der Hauptsteuerung oder anderen Teilsteuerungen gemeldet werden.

[0044] In vorteilhafter Weise überwacht die Überwachungseinrichtung auch das Drehmoment, welches vom Generator abgefordert wird, und vergleicht dieses mit einem maximal zulässigen Drehmoment, welches sich beispielsweise aus der möglichen mechanischen Belastung ergibt. Hierdurch wird verhindert, dass sich die Bremsmomente des Generators und des mechanischen Bremssystems zu einer Überlast addieren. Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung reduziert dabei die Bremswirkung bei Überlastung des Triebstrangs bis an den maximalen Wert. In diesem Zusammenhang wird beispielsweise auch der Druck der Bremse überwacht.

[0045] Die Lösung des gegenständlichen Teils der Aufgabe besteht nach der Erfindung in einer Windenergieanlage mit einer entsprechenden Überwachungseinrichtung gemäß den Merkmalen von Patentanspruch 17.

[0046] Die Windenergieanlage weist dabei einen über Rotorblätter angetriebenen Triebstrang und wenigstens ein auf den Triebstrang wirkendes Bremssystem sowie eine Hauptsteuerung und/oder mindestens eine Teilsteuerung zur Regelung auf. Die Hauptsteuerung und/oder die Teilsteuerung steht dabei mit der Überwachungseinrichtung in Verbindung. Erfindungsgemäß ist ein Sicherheitssystem vorgesehen, wobei die Überwachungseinrichtung in dem Sicherheitssystem integriert ist, oder das Sicherheitssystem zumindest durch die Überwachungseinrichtung auslösbar ist.

[0047] Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Windenergieanlage sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche 18 und 19.

[0048] Hiernach ist vorgesehen, dass die Überwachungseinrichtung ein Bestandteil der Hauptsteuerung der Windenergieanlage ist. Die Überwachungseinrichtung kann dabei mittels eines speziell dafür entwickelten elektronischen Bausteins (Chip) oder mittels einer frei programmierbaren Steuerung ausgeführt sein. Einzelne Funktionen der Überwachungseinrichtung können dabei auch als Teilprogramm der Hauptsteuerung ausgeführt sein, sofern die Sicherheitsanforderungen an die Windenergieanlage dieses zulassen.

[0049] Im Rahmen der Erfindung sind für die Windenergieanlage ein Stetigventil und ein Schaltventil vorgesehen. Das Schaltventil ist zwischen dem Stetigventil und dem mechanischen Bremssystem angeordnet. Beide Ventile sind mit dem mechanischen Bremssystem verbunden. Der Aufbau sieht vor, dass das zum Aufbau des Bremsdrucks notwendige Medium durch das Ansteuern des Stetigventils so geleitet wird, dass dieses zunächst zum Schaltventil gelangt. Das Schaltventil bildet dabei eine schnell schaltende Schleuse zwischen dem Stetigventil und dem mechanischem Bremssystem. Durch das Ansteuern des Stetigventils ist der notwendige Bremsdruck an das Schaltventil anlegbar.

[0050] Durch den beschriebenen Aufbau wird eine gezielte Vorspannung des mechanischen Bremssystems ermöglicht. Dabei kann das mechanische Bremssystem hydraulisch oder pneumatisch betrieben sein. Bei geöffnetem Schaltventil ist der an dem mechanischen Bremssystem anliegende Bremsdruck über das Stetigventil regelbar.

[0051] Derzeitige Systeme werden nur über ein Stetigventil in Form eines Proportionalventils angesteuert, um die notwendige Bremskraft regeln zu können. Allerdings unterliegen derartige Proportionalventile einer entsprechenden Trägheit, welche auf die Regelbarkeit der Proportionalventile zurückzuführen ist. Als Regelventile weisen diese zumeist eine Verzögerung von rund 70 Millisekunden auf. Hingegen erreicht ein einfaches Schaltventil in Form eines An-/Aus-Ventils Verzögerungen von nur 10 bis 20 Millisekunden.

[0052] Erfindungsgemäß werden somit die Vorteile eines Stetigventils mit denen des Schaltventils kombiniert. Hierbei wird zunächst ein Ereignis seitens der Überwachungseinrichtung detektiert, durch welches ein mögliches Bremsmanöver bevorstehen kann. Um dieses nun innerhalb kürzester Zeit durchführen zu können, sorgt die Überwachungseinrichtung für ein entsprechendes Signal an das Propor-

tionalventil, welches eine entsprechende Durchflussmenge für das Druckmedium eröffnet.

[0053] Durch das in Wirkrichtung hinter dem Proportionalventil angeordnete Schaltventil (An-/Aus-Ventil) wird der entsprechende Bremsdruck zunächst aufgebaut und liegt somit an diesem an. Sofern die Bremskraft benötigt wird, öffnet das Schaltventil schlagartig, wodurch der bereits aufgebaute Bremsdruck bis zu den Bremsbacken des mechanischen Bremssystems durchschlägt.

[0054] In vorteilhafter Weise handelt es sich bei dem Schaltventil um ein Schnellschussventil.

[0055] Auch wenn sich durch das Öffnen des Schaltventils der Bremsdruck zunächst entspannt, wird durch das Zusammenwirken der beiden Ventile insgesamt eine Beschleunigung der Reaktionszeit erreicht.

[0056] Die vorliegende Erfindung zeigt ein Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage sowie eine Windenergieanlage auf, welche durch den Einsatz einer intelligenten Überwachungseinrichtung eine deutlich wirtschaftlichere Herstellung erfährt. Die Wirtschaftlichkeit richtet sich dabei auf die schlankere Ausführbarkeit der einzelnen Komponenten der Windenergieanlage, deren erforderliche Ausführung sich nach den zu erwartenen Belastungen ergibt. Insbesondere durch die Reduzierung der im Betrieb auf die Windenergieanlage einwirkenden regelungsbedingten Betriebslasten reduziert sich auch der sonst notwendige hohe Materialeinsatz.

[0057] Die intelligente Überwachungseinrichtung führt neben ihrer Überwachung insbesondere auch die Regelung und Steuerung der einzelnen Bremssysteme im Bedarfsfall aus. Über die Überwachungseinrichtung werden sich abzeichnende maximale Belastungen der Windenergieanlage bereits im Vorfeld erkannt und durch geeignete Maßnahmen von vorn herein abgemildert.

[0058] Neben der so erfolgenden intelligenten Regelung und Steuerung der Windenergieanlage wird insbesondere auch der mögliche Ausfall einzelner Steuerungen vorzeitig erkannt, wobei deren ausgefallene Funktion dann durch die Überwachungseinrichtung kompensiert wird. Durch die Möglichkeit der Selbstdiagnose werden somit mögliche Defekte bereits beim Auftreten erkannt und gemeldet. Je umfangreicher die Überwachungseinrichtung mit Messwerten der entsprechenden Messeinrichtungen versorgt wird, umso genauer und vorausschauender erfolgt die Regelung und Steuerung der Windenergieanlage durch seitens der Überwachungseinrichtung generierter Steuerwerte.

[0059] Die Erfindung wird nachfolgend anhand einiger in den Zeichnungen schematisch dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

[0060] Fig. 1 einen schematischen Regelungsaufbau einer erfindungsgemäßen Windenergieanlage;

[0061] Fig. 2 die Funktionsweise einer Watchdog-Funktion der in Fig. 1 dargestellten Windenergieanlage;

[0062] Fig. 3 die Darstellung einer Integration der erfindungsgemäßen Überwachungseinrichtung in ein Sicherheitssystem;

[0063] Fig. 4 eine schematische Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0064] Fig. 5 eine schematische Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Drehmomentsteuerung;

[0065] Fig. 6 eine schematische Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens des oszillierenden Betriebs einer Bremseinrichtung sowie

[0066] Fig. 7 eine schematische Erläuterung der erfindungsgemäßen vorgespannten Ansteuerung einer mechanischen Bremseinrichtung.

[0067] Fig. 1 zeigt die schematische Darstellung wesentlicher Komponenten einer erfindungsgemäßen Windenergieanlage. Die Windenergieanlage besteht in Bezug auf ihre mechanischen Bauteile im Wesentlichen aus einem Rotor **1** und einem mit dem Rotor **1** verbundenen Triebstrang **2**. Der Triebstrang **2** ist mit einem Generatorsystem/Generatorumrichtersystem **3** mechanisch verbunden. Das Generatorsystem/Generatorumrichtersystem **3** ist dabei mit einem Stromnetz **6** verbunden. Der Rotor **1** selbst setzt sich im Wesentlichen aus flügelartigen Komponenten zusammen, wobei in der Darstellung von Fig. 1 nur ein Rotorblatt **5** des Rotors **1** dargestellt ist. Das Rotorblatt **5** verfügt über ein aerodynamisches Bremssystem **6**, welches durch eine axiale Verstellung des Rotorblatts **5** arbeitet. Der Rotor **1** und der Triebstrang **2** sind in nicht näher dargestellter Weise drehbar gelagert.

[0068] Weiterhin ist ein auf den Triebstrang **2** wirkendes mechanisches Bremssystem **7** dargestellt, welches sich aus aus einer mit dem Triebstrang **2** verbundenen Bremsscheibe und einer auf die Bremsscheibe wirkenden Bremszange mit entsprechenden Belägen zusammensetzt.

[0069] Die Regelung und Steuerung der Windenergieanlage erfolgt über schematisch dargestellte Einheiten, welche sich aus einer erfindungsgemäßen Überwachungseinrichtung **8** sowie einer Hauptsteue-

rung **9** und einem Sicherheitssystem **10** zusammensetzen. Die Hauptsteuerung **9** steht dabei mit der Überwachungseinrichtung **8** und dem Sicherheitssystem **10** in Verbindung. Das Sicherheitssystem **10** selbst steht mit dem aerodynamischen Bremssystem **5** des Rotors **1** in Verbindung. Die Überwachungseinrichtung **8** weist neben ihrer Verbindung zur Hauptsteuerung **9** auch jeweils eine Verbindung sowohl zum Sicherheitssystem **10** und dem Generatorsystem/Generatorumrichtersystem **3** als auch zum mechanischen Bremssystem **7** und dem Rotor **1** mit seinem aerodynamischen Bremssystem **6** auf.

[0070] Fig. 2 stellt eine übernommene Funktion der Überwachungseinrichtung **8** als Watchdog-Überwachungsgerät dar. Hierfür wird die Verbindung der Überwachungseinrichtung **8** mit der Hauptsteuerung **9** genutzt. In dieser Funktion wird ein Frequenzsignal **11** zur Watchdog-Überwachung der Überwachungseinrichtung **8** von der Hauptsteuerung **9** erfasst.

[0071] Eine Messvorrichtung **12** in Form eines Sensors ist mit der Überwachungseinrichtung **8** verbunden, während eine weitere Messvorrichtung **12a** in Form eines Sensors mit der Hauptsteuerung **9** verbunden ist. Beide Messvorrichtungen **12**, **12a** liefern somit entsprechende Messwerte sowohl an das Überwachungsgerät **8** als auch an die Hauptsteuerung **9**.

[0072] Die Überwachungseinrichtung **8** und die Hauptsteuerung **9** sind über ein Bus-System **13** miteinander verbunden, wodurch die Überwachungseinrichtung **8** eine Plausibilitätsüberprüfung der Messwerte der einzelnen Messvorrichtungen **12**, **12a** durchführen kann. Die Überwachungseinrichtung **8** überprüft dabei, ob die einzelnen Messwerte der Messvorrichtungen **12**, **12a** übereinstimmen.

[0073] Fig. 3 veranschaulicht die Zusammenlegung der Überwachungseinrichtung **8** mit dem Sicherheitssystem **10**. In dieser Kombination ist die Einheit sowohl mit dem aerodynamischen Bremssystem **6** als auch mit dem mechanischen Bremssystem **7** verbunden.

[0074] Fig. 4 veranschaulicht die Bereitstellung des mechanischen Bremssystems **7** im Vorfeld kritischer Schwellenwerte. Ein in Fig. 4 dargestelltes Koordinatensystem weist eine mit X bezeichnete Abszisse sowie eine mit Y bezeichnete Ordinate auf. Während die Abszisse X den Zeitverlauf veranschaulicht, stellt die Ordinate Y die aktuelle Drehzahl der Windenergieanlage über die Zeit dar. Der innerhalb des Koordinatensystems dargestellte Graph zeigt, dass die Drehzahl der Windenergieanlage über die Zeit schwankt.

[0075] Dieser Verlauf wird über die Überwachungseinrichtung **8** überwacht. Sofern die Überwachungseinrichtung **8** Anzeichen für ein bevorstehendes weiteres Ansteigen der Drehzahl erkennt, wird ein entsprechendes Signal an ein Ventil oder Schaltelement **14** des mechanischen Bremssystems **7** geleitet, woraufhin dieses in eine Art Bereitschaftsstellung verbracht wird. Hierfür ist das mechanische Bremssystem **7** mit einem Flüssigkeits- oder Energiespeicher **15** verbunden, wodurch die Beläge des mechanischen Bremssystems **7** auf das Signal der Überwachungseinrichtung **8** hin bereits so nahe an die Bremsscheibe herangefahren werden, dass nur noch eine geringe Druckerhöhung nötig ist, um den bevorstehenden Bremsvorgang durchzuführen. Hierdurch wird die Reaktionszeit des mechanischen Bremssystems gegenüber dem Stand der Technik verbessert.

[0076] Fig. 5 verdeutlicht die erfindungsgemäße Drehmomentsteuerung, wobei die Überwachungseinrichtung **8** das maximal zulässige Moment Mmax eines Getriebes **16** des Triebstrangs **2** sowie ein globales maximales Moment $Mmax_2$ der Windenergieanlage überwacht. Über die Messvorrichtung **12** in Form eines Sensors werden weitere aktuelle Daten wie beispielsweise die jeweilige Stellung der Rotorblätter **5** an die Überwachungseinrichtung **8** weitergeleitet. Darüber hinaus liefert auch das Generatorsystem/Generatorumrichtersystem **3** sein aktuelles Moment an die Überwachungseinrichtung **8**.

[0077] In Abhängigkeit der einzelnen maximalen Momente sowie dem durch das Generatorsystem/Generatorumrichtersystem **3** erzeugten Moment in Kombination mit weiteren Messwerten der Messvorrichtung **12** werden entsprechende Informationen in Form von Steuerewerten innerhalb der Überwachungseinrichtung **8** generiert, welche neben der Überwachung des mechanischen Bremssystems **7** eine intelligente Steuerung und Regelung derselben übernimmt. Hierdurch wird ein mögliches Überbremsen des mechanischen Bremssystems **7** verhindert, da die Überwachungseinrichtung **8** beispielsweise Kenntnisse darüber hat, dass das Widerstandsmoment des Generatorsystems/Generatorumrichtersystems **3** demnächst ansteigen wird.

[0078] Fig. 6 verdeutlicht die intelligente Ansteuerung des mechanischen Bremssystems **7**. Hierbei ist zunächst ein Sensorwertverlauf S der Messvorrichtung **12**, **12a** auf der Ordinate eines Koordinatensystems über der auf einer Abszisse aufgetragenen Zeit T dargestellt. Der so aufgezeigte Graph zeigt die über die Zeit gemessenen Drehzahlverläufe der Windenergieanlage.

[0079] Bezüglich der Drehzahl sind sowohl ein oberer Schwellenwert O als auch ein unterer Schwellenwert U definiert.

[0080] Parallel zum Drehzahlverlauf ist auch die von der Messvorrichtung **12**, **12a** und deren Messwerten abhängige Bremseinwirkung auf den Triebstrang **2**

der Windenergieanlage dargestellt. Aus Fig. 6 geht hervor, dass die Überwachungseinrichtung **8** in der Lage ist, die jeweiligen Drehzahlverläufe in der Art zu erkennen, dass ein unmittelbar nach einem Drehzahlhoch erfolgender Abfall der Drehzahl mit einem frühzeitigen Lösen der Bremsen einhergeht. Hierdurch ergibt sich eine mögliche Reduzierung einer Bremsenergie E, wodurch sich auch die thermische Belastung des mechanischen Bremssystems **7** reduziert.

[0081] Fig. 7 zeigt die schematische Ansteuerung des mechanischen Bremssystems **7**. Das mechanische Bremssystem **7** ist hierbei über ein Stetigventil **17** und ein Schaltventil **18** mit einer Druckleitung P verbunden. Bei dem Stetigventil **17** handelt es sich um ein Proportionalventil, bei dem die Durchflussmenge eines Druckmediums geregelt werden kann. Das Stetigventil **17** ist dazu geeignet, das in der Druckleitung P eingestellte Druckniveau derart zu regeln, dass nach dem Stetigventil **17** ein Bremsdruck in benötigter Höhe ansteht. Hierfür ist das Stetigventil **17** auch mit einer Rücklaufleitung R verbunden.

[0082] Der über das Stetigventil **17** eingestellte Bremsdruck liegt gemäß der Darstellung von Fig. 7 an dem Schaltventil **18** an. Bei dem Schaltventil **18** handelt es sich um ein reines An-/Aus-Ventil. Sofern das Schaltventil **18** geöffnet wird, wird der zwischen dem Stetigventil **17** und dem Schaltventil **18** eingestellte Bremsdruck in der Druckleitung P an das mechanische Bremssystem **7** schlagartig weitergeleitet.

[0083] Hierdurch ist es möglich, dass bereits im Vorfeld einer möglichen Bremsung über das Stetigventil **17** ein entsprechender Bremsdruck eingestellt wird, welcher zunächst an dem Schaltventil **18** anliegt. Sofern die Bremsleistung des mechanischen Bremssystems **7** abgefordert wird, erfolgt die Öffnung des Schaltventils **18**, wodurch der Bremsdruck direkt bis zum mechanischen Bremssystem **7** durchschlägt.

[0084] Auf diese Weise wird die für einen Bremsvorgang notwendige Reaktionszeit nochmals deutlich gesenkt.

Bezugszeichenliste

1	Rotor
2	Triebstrang
3	Generator- oder Generatorumrichtersystem
4	Stromnetz
5	Rotorblatt
6	Bremssystem, aerodynamisch
7	Bremssystem, mechanisch
8	Überwachungseinrichtung
9	Hauptsteuerung
10	Sicherheitssystem
11	Frequenzsignal
12	Messvorrichtung
12a	Messvorrichtung
13	Bussystem
14	Ventil oder Schaltelement
15	Flüssigkeits- oder Energiespeicher
16	Getriebe
17	Stetigventil
18	Schaltventil
E	Bremsenergie
M	Moment
Mmax	Drehmoment, maximal v. **2**
$Mmax_2$	Drehmoment, maximal
O	Schwellenwert, oben
P	Druckleitung
U	Schwellenwert, unten
R	Rücklaufleitung
S	Sensorwertverlauf
T	Zeit
X	Abszisse
Y	Ordinate

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

- US 6771903 B1 [0007]
- EP 1764664 A2 [0008]
- EP 20070020758 [0009]
- DE 102007040834 A1 [0010]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Erich Hau: ”Windkraftanlagen – Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit; 4. Auflage” [0005]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Windenergieanlage, welche einen über Rotorblätter (**5**) angetriebenen Triebstrang (**2**) und wenigstens ein auf den Triebstrang (**2**) wirkendes Bremssystem (**6**, **7**) aufweist, wobei die Regelung der Windenergieanlage durch eine Hauptsteuerung (**9**) und/oder mindestens eine Teilsteuerung erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine mit der Hauptsteuerung (**9**) und/oder der Teilsteuerung in Verbindung stehende Überwachungseinrichtung (**8**) vorgesehen ist, durch welche das Bremssystem (**6**, **7**) überwacht sowie im Bedarfsfall geregelt und gesteuert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine mit der Überwachungseinrichtung (**8**) in Verbindung stehende Messvorrichtung (**12**, **12a**) vorgesehen ist, aus deren Messwerten entsprechende Steuerwerte für das Bremssystem (**6**, **7**) generiert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass durch die über die Überwachungseinrichtung (**8**) erfolgende Regelung und Steuerung des Bremssystems (**6**, **7**) die Betriebslasten der Windenergieanlage während oder nach dem Bremsvorgang reduziert werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Überwachungseinrichtung (**8**) die Reaktionszeit des Bremssystems (**6**, **7**) während oder nach dem Bremsvorgang reduziert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Überwachungseinrichtung (**8**) die thermische Belastung eines mechanischen Bremssystems (**7**) während oder nach dem Bremsvorgang reduziert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionszeit bei einem mechanischen Bremssystem (**7**) dadurch reduziert wird, dass dessen Beläge bereits vor dem Erreichen kritischer Schwellenwerte so nah wie möglich an die Bremsscheibe angelegt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der notwendige Bremsdruck für das mechanische Bremssystem **7** bereits vor einem möglichen Bremsvorgang aufgebaut wird und bei Bedarf an das mechanische Bremssystem **7** angelegt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Reaktionszeit bei einem durch axiale Verstellung der Rotorblätter (**5**) wirkenden aerodynamischen Bremssystem (**6**) dadurch reduziert wird, dass dieses bereits vor dem Erreichen kritischer Schwellenwerte in Betriebsbereitschaft versetzt wird, wobei auf die zur Verstellung dienende Betätigungseinrichtung bereits eine unterhalb der Betätigungskraft liegende Vorspannkraft ausgeübt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass eine Messung oder Berechnung der thermischen Reserven des mechanischen Bremssystems (**7**) erfolgt, aufgrund derer der Betrieb der Windenergieanlage vorübergehend gestoppt oder nur reduziert freigegeben wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Überwachungseinrichtung (**8**) gezielt in die Regelung des Bremssystems (**6**, **7**) eingreift, wodurch das maximal zulässige Drehmoment für die Windenergieanlage nicht überschritten wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die durch die Messvorrichtung (**8**) ermittelten Messwerte direkt oder indirekt erfasst werden.

12. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Hauptsteuerung (**9**) und/oder die Teilsteuerung derart von der Überwachungseinrichtung (**8**) überwacht werden/wird, dass deren mögliches Versagen bereits vor dem Erreichen kritischer Schwellenwerte erkannt wird, woraufhin durch die Überwachungseinrichtung (**8**) in die Regelung und Steuerung des Bremssystem (**6**, **7**) eingegriffen wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine Plausibilitätsüberwachung durchführt wird, wobei Messwerte der Überwachungseinrichtung (**8**) mit den Werten aus der Hauptsteuerung (**9**) verglichen werden.

14. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine Plausibilitätsüberwachung durchführt wird, wobei Messwerte der Überwachungseinrichtung (**8**) mit den Werten aus einem die axiale Neigung der Rotorblätter (**5**) steuernden Pitchsystem verglichen werden.

15. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass eine Plausibilitätsüberwachung durchführt wird, wobei Messwerte der Überwachungseinrichtung (**8**) mit den Werten aus einem Generatorumrichtersystem der Windenergieanlage verglichen werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Überwachungseinrichtung (**8**) mindestens die Funktionen eines Watchdog-Überwachungsgeräts und eines Überdrehzahl-Relais übernommen werden, wobei die jeweilige Funktion des Watchdog-Überwachungsge-

räts und des Überdrehzahl-Relais durch eine ständige Selbstdiagnose überwacht wird.

17. Windenergieanlage, welche einen über Rotorblätter (**5**) angetriebenen Triebstrang (**2**) und wenigstens ein auf den Triebstrang (**2**) wirkendes Bremssystem (**6**, **7**) sowie eine Hauptsteuerung (**9**) und/oder mindestens eine Teilsteuerung zur Regelung aufweist, wobei die Hauptsteuerung (**9**) und/oder die Teilsteuerung mit einer Überwachungseinrichtung (**8**) gemäß den vorhergehenden Ansprüchen 1 bis 16 in Verbindung steht, dadurch gekennzeichnet, dass ein Sicherheitssystem (**10**) vorgesehen ist, wobei die Überwachungseinrichtung (**8**) in dem Sicherheitssystem (**10**) integriert ist oder das Sicherheitssystem (**10**) zumindest durch die Überwachungseinrichtung (**8**) auslösbar ist.

18. Windenergieanlage nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Überwachungseinrichtung (**8**) ein Bestandteil der Hauptsteuerung (**9**) ist.

19. Windenergieanlage nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass ein Stetigventil **17** und ein Schaltventil **18** vorgesehen sind, wobei das Schaltventil **18** zwischen dem Stetigventil **17** und dem mechanischem Bremssystem **7** angeordnet ist und ein notwendiger Bremsdruck durch Ansteuern des Stetigventils **17** an das Schaltventil **18** anlegbar ist.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

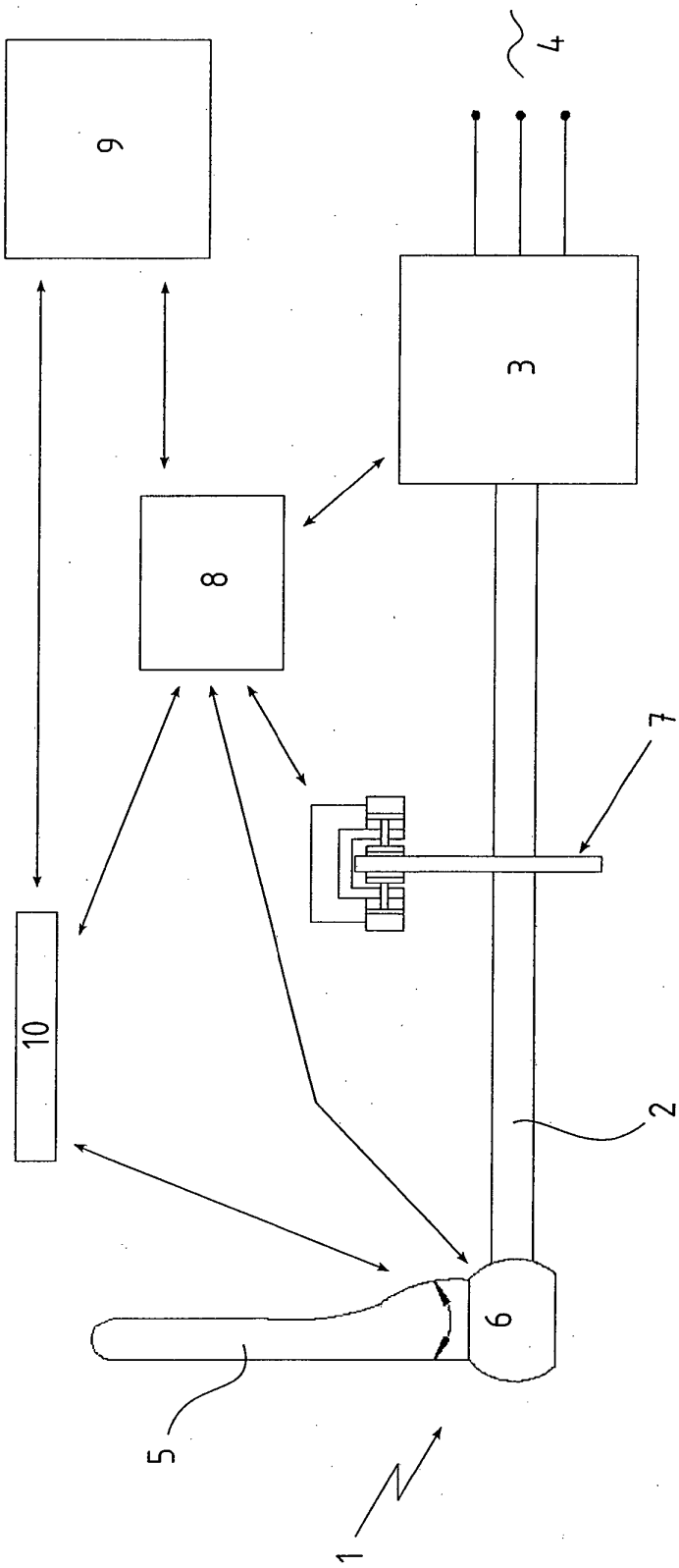


Fig. 1

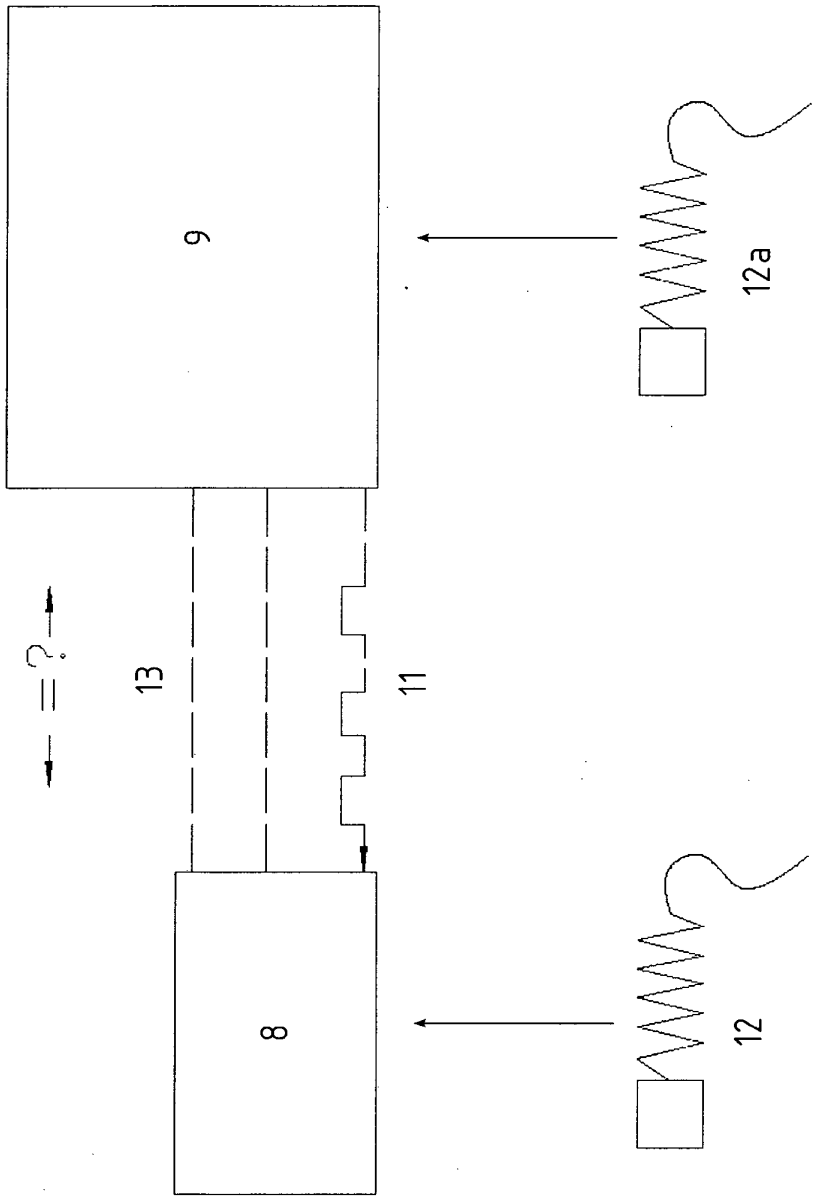


Fig. 2

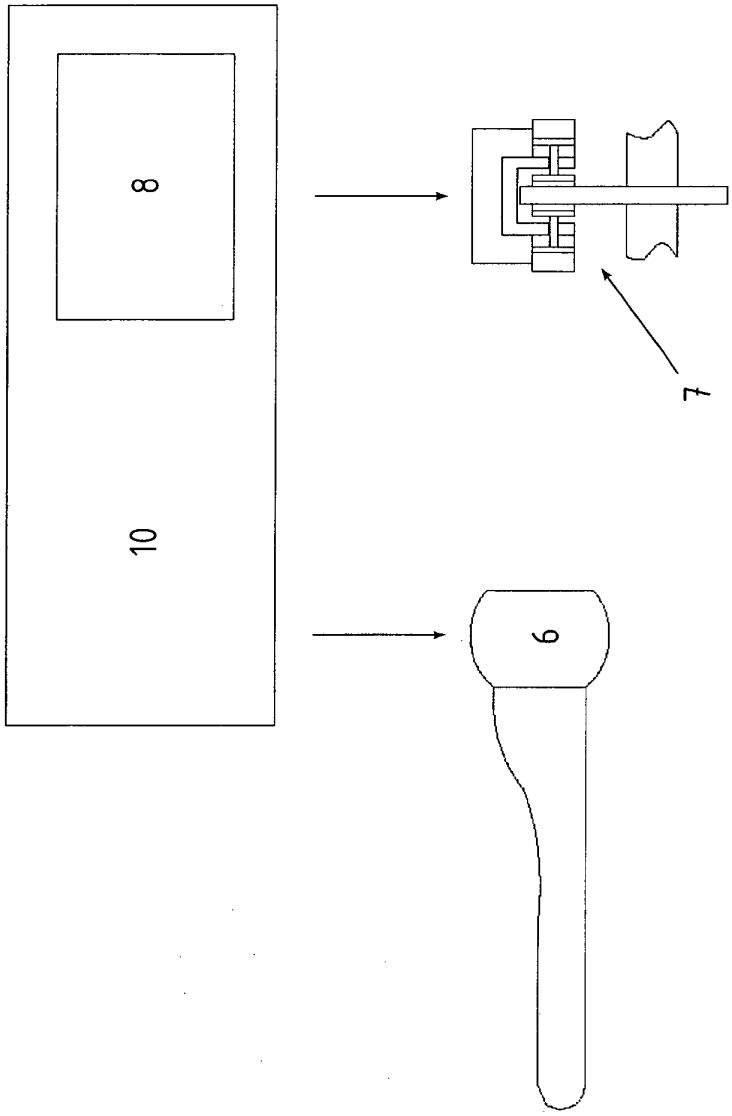


Fig. 3

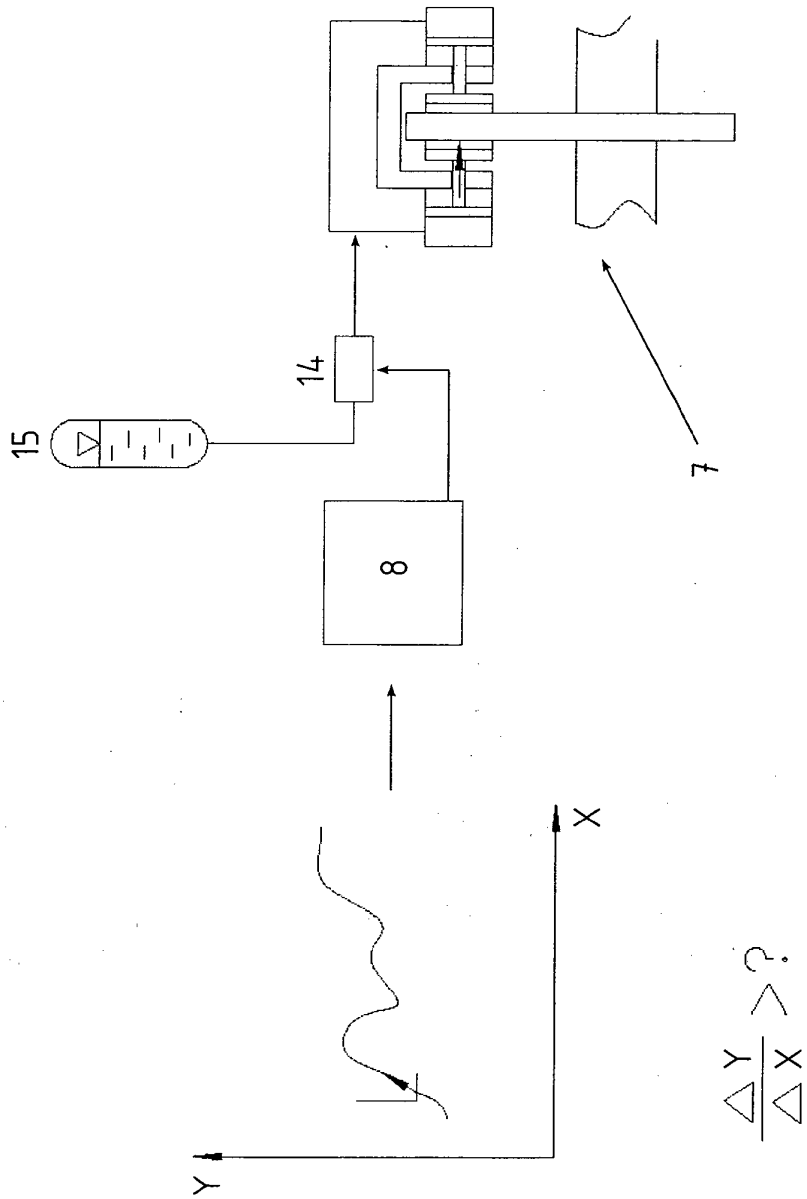


Fig. 4

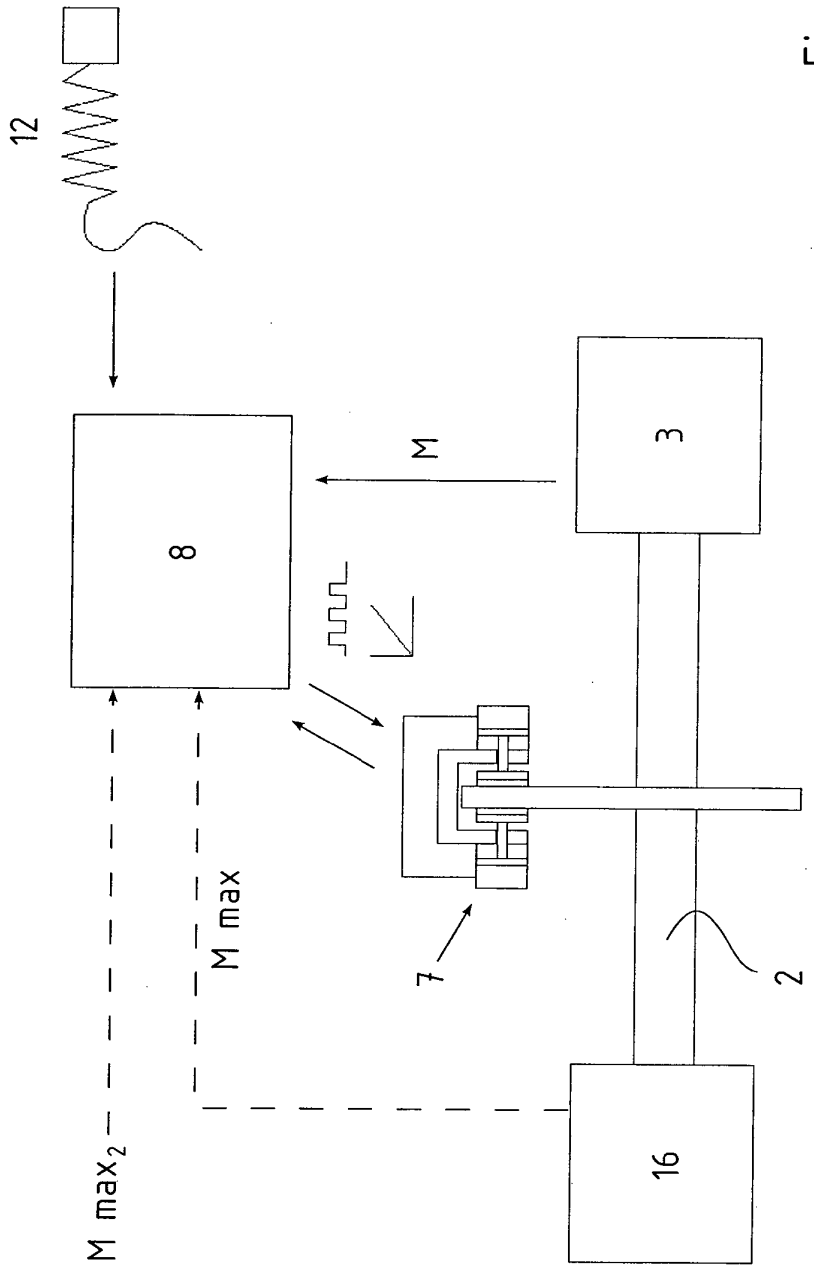


Fig. 5

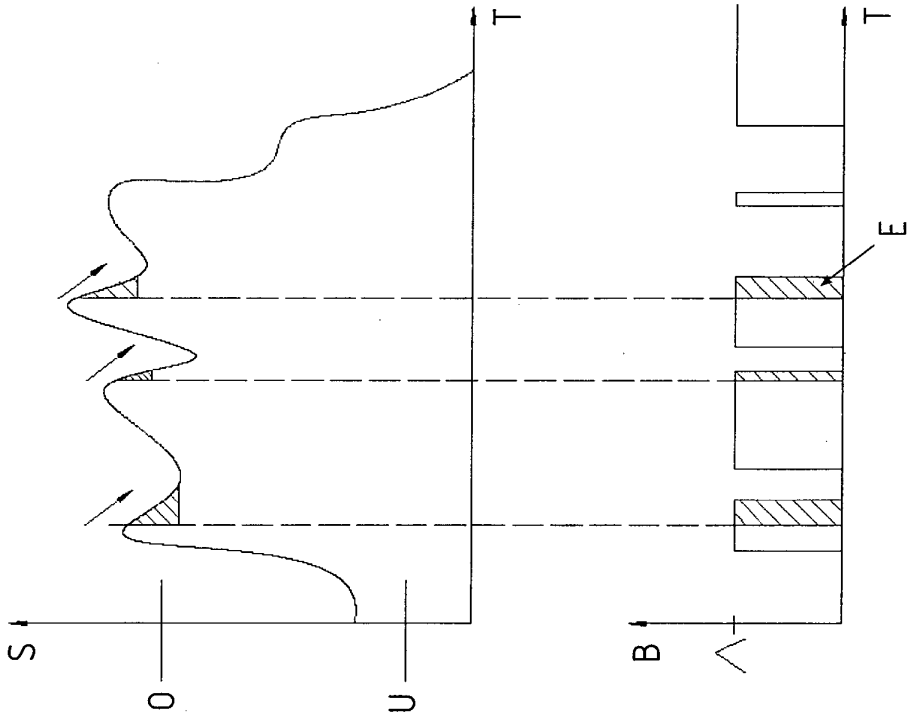


Fig. 6

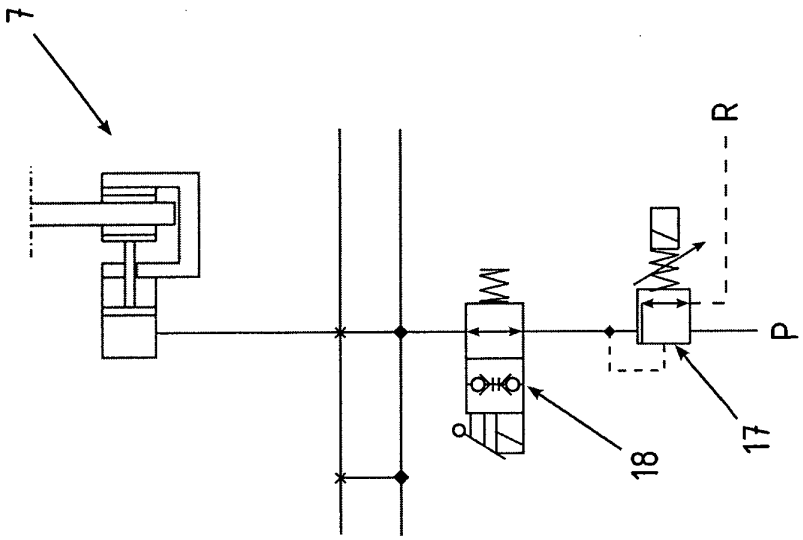


Fig. 7