

(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
3. Dezember 2009 (03.12.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/144061 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
G01H 1/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/053892

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. April 2009 (01.04.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
00582/08 15. April 2008 (15.04.2008) CH

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ALSTOM TECHNOLOGY LTD** [CH/CH];
Brown Boveri Strasse 7, CH-5400 Baden (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HOBELSBERGER, Max** [DE/CH]; Römerstrasse 23, CH-5303 Würenlingen (CH). **MARK, Bernhard** [DE/DE]; Kirschbaumweg 18, 79761 Waldshut (DE).

(74) Anwalt: **ALSTOM Technology Ltd**; CHTI Intellectual Property, Brown Boveri Str. 7/664/2, CH-5401 Baden (CH).

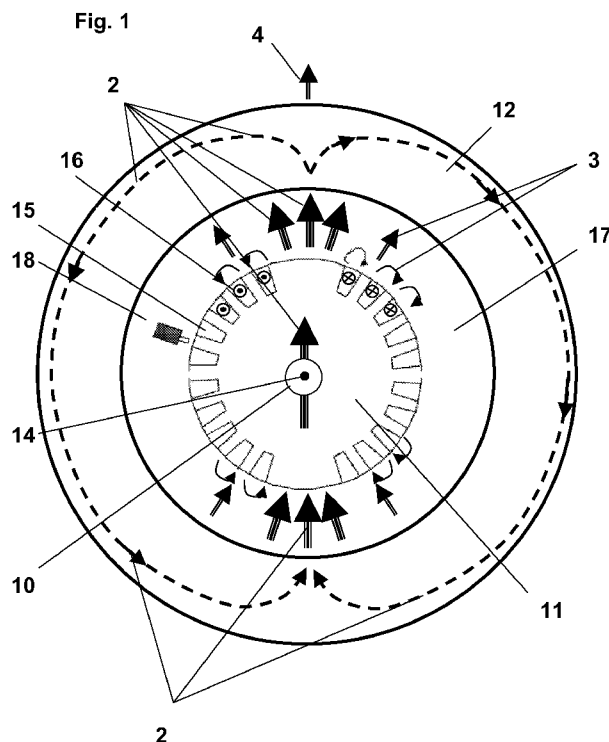
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, 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.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR MONITORING AN ELECTRODYNAMIC MOTOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ÜBERWACHUNG EINER ELEKTRODYNAMISCHEN MASCHINE



(57) Abstract: The invention relates to a method for monitoring an electrodynamic motor, especially a generator (1) comprising a rotor arrangement (11) mounted along a rotatable shaft (10) inside a stator (12), forming an air gap (17) with the stator (12). According to said method, measuring signals depending on a magnetic field generated by the electrodynamic motor are detected and evaluated by means of at least one sensor (18) arranged inside the air gap (17) or inside the stator (12). The method is characterised in that the measuring signals are taken as a basis for evaluating the dynamic load on the shaft (10).

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird ein Verfahren zur Überwachung einer elektrodynamischen Maschine, insbesondere eines Generators (1), mit einer innerhalb eines Stators (12) längs einer drehbaren Welle (10) gelagerten Rotoranordnung (11), die mit dem Stator (12) einen Luftspalt (17) einschließt, bei dem mittels wenigstens eines innerhalb des Luftspalts (17) oder innerhalb des Stators (12) angeordneten Sensors (18) Messsignale erfasst und ausgewertet werden, die von einem von der elektrodynamischen Maschine erzeugten Magnetfeld abhängen. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die Messsignale zur Beurteilung der dynamischen Belastung der Welle (10) zugrunde gelegt werden.



SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). **Veröffentlicht:**

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

Verfahren zur Überwachung einer elektrodynamischen Maschine

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Überwachung einer elektrodynamischen Maschine, insbesondere eines Generators, mit einer innerhalb eines Stators längs einer drehbaren Welle gelagerten Rotoranordnung, die mit dem Stator einen Luftspalt einschließt, bei dem mittels wenigstens eines innerhalb des Luftspalts oder innerhalb des Stators angeordneten Sensors Messsignale erfasst und ausgewertet werden, die von einem von der elektrodynamischen Maschine erzeugten Magnetfeld abhängen.

Stand der Technik

Elektrodynamische Maschinen wandeln mechanische Energie in elektrische Energie (Generatorbetrieb) beziehungsweise elektrische Energie in mechanische Energie (Elektromotorbetrieb) um. Die Umwandlung beruht auf der Lorentzkraft, die auf bewegte Ladungen in einem Magnetfeld wirkt.

Im Nachfolgenden wird beispielhaft, ohne eine Einschränkung vorzunehmen, auf elektrodynamische Maschinen, die als Generatoren arbeiten, eingegangen. Insbesondere beziehen sich die Ausführungen auf grosstechnische Anlagen, z.B. grosse Synchrongeneratoren, wie sie beispielsweise bei der industriellen Stromerzeugung eingesetzt werden.

Der Generator weist einen auf einer Welle gelagerten Rotor auf, der sich innerhalb eines feststehenden Stators mit einer Rotor-Drehfrequenz dreht. Der Rotor erzeugt bei Rotation ein umlaufendes magnetisches Gleichfeld, das in den Statorwicklungen eine sinusförmige elektrische Spannung und damit einen sinusförmigen Strom

induziert. Das Gleichfeld des Rotors wird durch stromdurchflossene Wicklungen erzeugt, die in Nuten, die parallel zur Drehachse verlaufen, angeordnet sind. Die Wicklungen bestehen bei grosstechnischen Anlagen beispielsweise aus hohlen Metallbändern, deren äussere Oberflächen mittels einer Kunststoffschicht untereinander elektrisch isoliert sind. Im Inneren der hohlen Metallbänder zirkuliert zumeist ein Kühlmedium.

Elektrodynamische Maschinen, insbesondere grosse Generatoren, werden während des Betriebs überwacht, um insbesondere Vibrationen der Welle oder deren Ursachen frühzeitig zu erkennen und um somit Schäden an der Maschine vermeiden zu können.

Die Vibrationen der Welle treten vorzugsweise in Form von Torsionsschwingungen, Pendelschwingungen und/oder auch Biegeschwingungen auf.

Torsionsschwingungen sind Schwingungen, die zu einer uneinheitlichen Rotationsfrequenz entlang der Welle und damit zu einer Torsion der Welle führen. Sie können beispielsweise durch plötzliche Lastwechsel verursacht werden. Bei den Torsionsschwingungen handelt es sich um sehr kleine Schwingungen, üblicherweise mit einer Phasenamplitude im Bereich von $0,01^\circ$, die aber dennoch zu einer sehr hohen Belastung der Welle führen können. Die Frequenzen, mit denen Torsionsschwingungen auftreten, hängen von der Materialbeschaffenheit und der Dicke der Welle, der mit der Welle verbundenen Massen und der Grösse der Anlage ab.

Als Pendelschwingungen werden quasi-periodisch-gedämpfte Änderungen der Drehfrequenz der Welle um die Netzfrequenz (typisch 50 oder 60 Hz) bezeichnet, die beispielsweise durch stossartige Störungen aus dem Netz hervorgerufen werden und die ebenfalls eine torsionale Wirkung auf die Welle besitzen. Typischerweise führen jedoch Pendelschwingungen zu deutlich langsameren Änderungen der momentanen Winkelgeschwindigkeit, mit der sich die Welle dreht, bzw. der momentanen Phase der Drehbewegung als die erwähnten Torsionsschwingungen. Beispielsweise treten bei einem grosstechnischen Generator zur industriellen Stromerzeugung, der eine Nenn-Rotordrehfrequenz von typischerweise 50 oder 60 Hz hat,

Torsionsschwingungen mit typischen Frequenzen zwischen 100 und 300 Hz und Pendelschwingungen mit typischen Frequenzen von 5 bis 10 Hz auf.

Darüber hinaus können Vibrationen auch durch Rotorwindungsschlüsse verursacht werden oder auch durch ungleichmäßige Polanordnungen des durch den Rotor erzeugten Magnetfeldes bedingt sein.

Zum Schutz der elektrodynamischen Maschine vor Beschädigung wird diese bei Auftreten von zu grossen Vibrationen abgeschaltet.

Aus der US 3,506,914 geht eine Methode hervor, mit der Rotorwindungsschlüsse detektiert werden können, die wie oben erwähnt zu Vibrationen führen können. Zur Detektion von Rotorwindungsschlüssen wird die sogenannte Streufeldmessung eingesetzt, bei der mit Hilfe von Luftspaltsensoren, die im Luftspalt zwischen Rotor und Stator angebracht sind, das vom Rotor erzeugte, tangential zur Rotoroberfläche verlaufende magnetische Streufeld gemessen wird. Dabei wird ausgenutzt, dass Windungsschlüsse eine im Luftspalt messbare Modifikation des Streufeldes bewirken.

Ein anderer Ansatz zur Bestimmung von Wellenschwingungen, der aus verschiedenen Druckschriften, wie bspw. US 3,934,459, US 3,885,420, US 4,148,222, US 4,137,780, US 4,317,371 hervorgeht, besteht darin, dass zur Erfassung von Torsionsschwingungen der Welle ausserhalb von Rotor und Stator ein Zahnrad mit der Welle verbunden ist, das während der Rotation der Welle in einem oder mehreren umliegenden Sensoren periodische Messsignale erzeugt, wobei die Periode von der Anzahl der Zähne sowie der Drehfrequenz der Welle abhängt. Torsionsschwingungen der Welle bewirken eine Phasen- bzw. Frequenzmodulation der erfassten Signale. Der Nachteil dieser Vorgehensweise besteht jedoch darin, dass ein Zahnrad als Signalgeber vorgesehen sein muss. Eine nachträgliche Installation kann unmöglich bzw. schwierig und mit entsprechend hohen Kosten verbunden sein.

Eine aus US 4,444,064 bekannte Methode zur Erfassung von Torsionsschwingungen besteht darin, zuerst ein magnetisches Muster in die Welle einzuprägen, das im Betrieb als Impulsgeber wirkt.

Aus der US 4,793,186 ist ein Messgerät zur Torsionsmessung bekannt, das an die Phasenwicklungsklemmen eines Permanentmagnet-Generators angeschlossen wird, der mit der Welle eines Generators gekoppelt ist. Durch Auswertung, d.h. durch Frequenzdemodulation mittels PLL-Technik, der erzeugten Spannungen wird auf die Torsionsschwingungen geschlossen. Das Verfahren ist nur bei Systemen mit Permanentmagnet-Generator einsetzbar und darüber hinaus relativ ungenau.

Eine weitere Möglichkeit zur Feststellung von Torsionsschwingungen längs einer Generatorwelle beschreibt die JP 52110449. Sie basiert auf der Messung und Auswertung von Phasenklemmenströmen des Generators. Auch diese Methode ist relativ ungenau und erfordert darüber hinaus Stromwandler für höhere Frequenzen.

Die vorstehend genannten Verfahren beziehen sich ausschließlich auf die Messung von Torsionsschwingungen, jedoch nicht auf die Erfassung von Biegeschwingungen.

Die EP 1 537 390 B1 zeigt dagegen ein Verfahren, mit dem neben Torsionsschwingungen auch Pendel- und Biegeschwingungen erfasst werden können. Hierzu werden auf der Welle auftretende Wellenströme und/oder Wellenspannungen außerhalb des Generators abgegriffen und ausgewertet.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde ein Verfahren zur Überwachung einer elektrodynamischen Maschine, insbesondere eines Generators, derart weiterzubilden, dass eine zuverlässige Erfassung weitgehend sämtlicher längs der Welle auftretenden Schwingungsformen möglich wird. Hierzu sollen möglichst kostengünstige und auch bei bereits in Betrieb befindlichen Generatoren nachrüstbare Massnahmen erforderlich sein.

Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Das lösungsgemässe Verfahren zur Überwachung einer elektrodynamischen Maschine in vorteilhafter Weise weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der weiteren Beschreibung insbesondere unter Bezugnahme auf das Ausführungsbeispiel zu entnehmen.

Lösungsgemäss zeichnet sich das Verfahren zur Überwachung einer elektrodynamischen Maschine mit einer innerhalb eines Stators längs einer drehbaren Welle gelagerten Rotoranordnung, die mit dem Stator einen Luftspalt einschließt, bei dem mittels wenigstens eines innerhalb des Luftspalts (17) oder innerhalb des Stators angeordneten Sensors Messsignale erfasst und ausgewertet werden, die von einem von der elektrodynamischen Maschine erzeugten Magnetfeld abhängen, dadurch aus, dass die mit den im Luftspalt oder innerhalb des Stators angeordneten Sensoren gewonnenen Messsignale zur Erfassung von Schwingungen der Welle zugrunde gelegt werden. Dabei handelt es sich bei den Schwingungen insbesondere um Torsionsschwingungen, Pendelschwingungen und/oder Biegeschwingungen. In besonders vorteilhafter Weise werden die Messsignale zur Bestimmung der Eigenfrequenzen der Wellenschwingung entsprechend ausgewertet.

Besonders bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem die auszuwertenden Messsignale durch bereits vorhandene Sensoren erfasst werden, die auch zur Detektion von Rotor-Windungsschlüssen vorgesehen sind. Solche Sensoren erfassen vorzugsweise das tangentielle und/oder radiale magnetische Feld, das von der elektrodynamischen Maschine im Luftspalt zwischen Rotoranordnung und Stator erzeugt wird. Alternativ oder in Kombination hierzu wird auch der magnetische Hauptfluss im Stator-Blechkpaket erfasst. Eingesetzt werden vorzugsweise magnetfeldsensible Sensoren in Art einer Spule, einer Leiterschleife, eines Hallsensors oder eines magnetoresistiven Messaufnehmers.

Die sensorisch erfassten Messsignale werden vorzugsweise im Zeitbereich und/oder im Frequenzbereich, bspw. durch Fouriertransformation von im Zeitbereich erfassten

Messsignale analysiert, wobei die erfassten Messsignale bei einer Nenn-Rotordrehfrequenz und/oder einer Vielfachen der Nenn-Rotordrehfrequenz hinsichtlich des Phasen-, Frequenz- und/oder Amplitudenverhaltens ausgewertet werden.

Insbesondere werden die erfassten Messsignale in Bezug auf darin enthaltene Frequenz-, Phasen- und/oder Amplitudenmodulationen untersucht. Diese sind im Spektrum als Nebenlinien der Nenn-Rotordrehfrequenz bzw. ihrer Harmonischen zu erkennen bzw. als Verbreiterung der zu der Nenn-Rotordrehfrequenz bzw. ihrer Harmonischen gehörenden Spektrallinien. Das Phasen- oder Frequenzverhalten wird bevorzugt durch aus der Funktechnik bekannte Demodulationsverfahren analysiert. Darunter zählen sowohl analoge Verfahren, z.B. Methoden zur Frequenzverschiebung oder digitale Verfahren, z.B. Abtastverfahren mit zeitlich periodischen Tastzeitpunkten.

Zur Analyse des Amplitudenverhaltens werden vorzugsweise bekannte analoge oder digitale Verfahren der Amplitudendemodulation eingesetzt.

Insbesondere werden bei den digitalen Demodulationsverfahren die erfassten Messsignale oder hiervon abgeleitete Signale mit einer Abtastrate abgetastet, die der Nenn-Rotordrehfrequenz oder einer ganzzahligen Vielfachen, d.h. einer Harmonischen, dieser Frequenz annähernd entspricht.

Vorzugsweise werden die Phasen- oder Frequenzschwankungen der erfassten Messsignale bei der Nenn-Rotordrehfrequenz und/oder der Vielfachen der Nenn-Rotordrehfrequenz bezogen auf einen jeweiligen Referenzphasen- oder Referenzfrequenzverlauf ermittelt. Die Phasen- oder Frequenzschwankungen der erfassten Messsignale werden nachfolgend zur Bewertung der Rotordrehbewegung bei Nenn-Rotordrehfrequenz zu Grunde gelegt und dienen als Mass für die Ausprägung der Torsionsschwingungen und/oder die Pendelschwingungen der Welle. Der Referenzphasen- bzw. Frequenzverlauf wird dabei aus einem Referenzsignal gewonnen, das eine grössere Phasenkonstanz aufweist. Geeignet ist

insbesondere ein aus der Netzspannung abgeleitetes Signal.

Um die tatsächliche, zeitlich veränderliche Torsion der Welle möglichst exakt bestimmen zu können, die sich in einer Abweichung von einem linearen Phasenverlauf der Drehbewegung bezogen auf die Zeit äußert, werden vorzugsweise mehrere Frequenzbänder der erfassten Messsignale simultan analysiert. Dabei wird untersucht, ob die Phasenschwankungen in den unterschiedlichen Frequenzbändern miteinander korreliert sind. Zur weiteren Bewertung werden aus der Menge der erfassten Phasenschwankungen der Messsignale vorzugsweise nur jene herangezogen, die eine Korrelation aufweisen.

In einer vorteilhaften Vorgehensweise werden Grenzwerte für die Phasen- oder Frequenzschwankungen vorgegeben. Wird ein Überschreiten der Grenzwerte durch die erfassten Messwerte festgestellt, wird ein Signal generiert oder eine Abschaltung der elektrodynamischen Maschine durchgeführt. Insbesondere werden die Grenzwerte jeweils für jedes Frequenzband, d.h. für die Nenn-Rotordrehfrequenz und deren Vielfache, angegeben und mit den jeweiligen zugeordneten Werten der Phasenschwankung verglichen.

Weiterhin ist erkannt worden, dass ermittelte Amplitudenschwankungen als Mass für Biegeschwingungen in geeigneter Weise gewertet werden können. Dabei werden vorzugsweise gleichsam mehrere Frequenzbänder der erfassten Messsignale simultan analysiert und auf korrelierte Amplitudenschwankungen untersucht. Besonders bevorzugt wird ausschliesslich auf Grundlage der korrelierten Amplitudenschwankungen ein Wert für die Bewertung der Rotorbewegung ermittelt.

Insbesondere wird ein Grenzwert für die Amplitudenschwankungen vorgegeben und bei Überschreiten des Grenzwertes ein Signal generiert oder eine Abschaltung der elektrodynamischen Maschine erzwungen.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens zur Detektion von Biegeschwingungen kann als Sensor eine induktive Luftspule eingesetzt werden, die mit einem höherfrequenten Strom- oder Spannungssignal beaufschlagt wird.

Insbesondere weist dieses Signal eine Frequenz oberhalb von 500 Hz auf. Ausgewertet werden Impedanzschwankungen der induktiven Luftspule. Durch die Messung der Impedanzschwankungen bzw. der Strom- oder Spannungsschwankungen, der Sensorspule, die beispielsweise aufgrund von Wirbelstromverlusten oder Induktivitätsänderungen auftreten, können Biegeschwingungen erfasst werden. Dies entspricht dem Funktionsprinzip eines Wirbelstromsensors. Besonders vorteilhaft ist dabei die Kombination von Feldsensor und Vibrationssensor in einem Sensorkopf.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens werden die Torsions-, Pendel- und/oder Biegeschwingungen erfasst, die durch transiente Vorgänge, beispielsweise durch plötzlich auftretende Lastwechsel oder stossartige Störungen im Netz, ausgelöst werden. Der transiente Vorgang äussert sich in einer plötzlichen Veränderung des Phasen-, Frequenz- und/oder Amplitudenverhaltens der erfassten Messsignale, insbesondere in transienten Phasen-, Frequenz- und/oder Amplitudenmodulationen. Die angeregten Torsions-, Pendel- und/oder Biegeschwingungen klingen nach der transienten Anregung mit charakteristischen Zeitkonstanten wieder ab. Aus den während des Anregungszustands gewonnenen Informationen über die Phasen-, Frequenz- und/oder Amplitudenschwankung, insbesondere aus deren Spektren, kann auf die Torsions- oder Biegeschwingungs-Eigenfrequenzen der Welle geschlossen werden. Vor allem aber weisen transiente Phasenmodulationen, die bei Harmonischen der Nenn-Rotordrehfrequenz auftreten, auf Torsionsschwingungen der Welle hin.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird insbesondere zur Dauer-Überwachung einer elektrodynamischen Maschine eingesetzt.

Kurze Beschreibung der Erfindung

Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die

Zeichnung exemplarisch beschrieben. Alle für das unmittelbare Verständnis der Erfindung nicht wesentlichen Elemente sind fortgelassen worden. Es zeigt:

Fig. 1 schematischer Schnitt durch einen Generator mit einem innerhalb des Luftspaltes angebrachten Sensor

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

Figur 1 zeigt einen schematischen Schnitt durch eine Generatoranordnung 1 zur Darstellung von Details zur Magnetfelderzeugung. Der Rotor 11 ist innerhalb des Stators 12 auf einer Welle 10 längs einer Drehachse 14 drehbar gelagert angeordnet. Der Rotor 11 weist in Nuten 15 verlaufende stromdurchflossene Rotorwicklungen 16 auf, die das magnetische Hauptfeld 2 erzeugen. Der Verlauf der Magnetfeldlinien des Hauptfeldes 2 ist durch Pfeile innerhalb des Rotors 11, des Luftspaltes 17 sowie durch die strichlierte Linienführung im Statorbereich 12 veranschaulicht. Neben dem Hauptfeld 2, dessen Feldlinien im Wesentlichen orthogonal zur Rotoroberfläche austreten, bildet sich im Luftspalt 17 ein Luftspaltstreufeld 3 mit zur Rotoroberfläche tangentialen und radialen Feldkomponenten aus, das bei mit einem oder mehreren so genannten Luftspaltsensoren 18 vermessen wird. Der Luftspaltsensor 18 diente bisher ausschliesslich zur Detektion von Rotor-Wicklungsschlüssen, die sich durch eine deutliche Änderung der Amplitude des gemessenen Streufeldes 3 bei einer bestimmten Winkelstellung der Rotoranordnung zeigt.

Das lösungsgemässe Verfahren sieht eine darüber hinaus gehende Analyse des Ausgangssignals des Luftspaltsensors 18 vor.

Das Ausgangssignal des Luftspaltsensors 18, das durch das Streufeld 3 erzeugt wird, ändert sich während der Rotation der Rotoranordnung, bestehend aus Rotor 11 und Welle 10, wobei typischerweise jede Nut 15 des Rotors 11 eine lokalisierbare Signaländerung, beispielsweise in Form einer sinusförmigen Signalspitze, erzeugt.

Das Ausgangssignal des Luftspaltsensors 18 ist demzufolge ein periodisches Wechselsignal mit ausgeprägten Harmonischen der Nenn-Rotordrehfrequenz. Insbesondere weist das Ausgangssignal eine Harmonische im Bereich der Nutanzahl N auf, d.h. einen Spektralanteil bei dem N-fachen der Nenn-Rotordrehfrequenz.

Torsionale Bewegungen bzw. Drehschwankungen des Rotors 11, und damit der Welle 10, drücken sich in Schwankungen des Phasenwinkels dieses Signals bzw. in Schwankungen der Phasenwinkel der einzelnen Harmonischen dieses Signals aus, ein Erscheinung, die einer Phasen- bzw. Frequenzmodulation gleichkommt.

Zur Bestimmung von torsionalen Bewegungen, also Torsionsschwingungen oder Pendelschwingungen, werden die Ausgangssignale des Luftspaltsensors 18 daher demoduliert, um die Phasenänderung, die durch die Nenn-Drehbewegung der Rotoranordnung zu erwarten ist, von den Phasenschwankungen aufgrund von torsionalen Bewegungen zu trennen.

Dabei wird das Ausgangssignal bevorzugt simultan in verschiedenen Frequenzbereichen, insbesondere bei den Harmonischen der Nenn-Rotordrehfrequenz untersucht. Das Ausgangssignal oder ein hiervon abgeleitetes Signal - das beispielsweise durch Filterung und Vorverstärkung generiert wird - wird beispielsweise zunächst gesplittet, um es parallel verschiedenen Demodulationsstufen zuzuführen. In den verschiedenen Demodulationsstufen werden dann die einzelnen Spektralanteile des Ausgangssignals oder des hiervon abgeleiteten Signals, demoduliert.

Die Rotorbewegung teilt sich simultan in fast allen Streufeld-Harmonischen mit. So lassen sich die Harmonischen der Zeitfunktion $s_k(t)$ des Streufeldes durch folgenden Zusammenhang formulieren:

$$s_k(t) = C_k \cdot \cos(k\omega t + \Phi_k + \Delta\Phi_k)$$

Im Idealfall stehen die einzelnen Phasenschwankungswinkel $\Delta\Phi_i$ zueinander in folgendem Verhältnis:

$$\Delta\Phi_i / \Delta\Phi_j = i/j.$$

Dabei sind:

- i, j, k Ordnungszahlen der Harmonischen,
- ω Nenn-Rotordrehfrequenz
- $s_k(t)$ Zeitfunktion der k-ten Harmonischen
- C_k Amplitude der k-ten Harmonischen
- Φ_k Phasenoffset der k-ten Harmonischen
- $\Delta\Phi_k$ zeitlich veränderliche Phasenschwankung der k-ten Harmonischen.

Aus der Menge der simultan erfassten Phasenschwankungswinkel werden durch geeignete Filterung diejenigen ausgewählt, die miteinander bzw. stark mit der Rotorbewegung (und damit der Wellenbewegung) korreliert sind, um hieraus die tatsächliche Rotorbewegung und damit die tatsächliche torsionale Bewegung zu ermitteln. Harmonische, deren Phasenschwankungen nicht stark mit den Rotorbewegungen korreliert sind, wie z.B. die Harmonische mit der Netz-Grundfrequenz, werden hingegen aus der Berechnung ausgeblendet. Im Gegensatz zur Analyse eines einzigen Spektralanteils ist hierdurch eine höhere Störfestigkeit des Messergebnisses gewährleistet.

Biegeschwingungen längs der Welle führen zu einer Variation des Abstandes von Rotor 11 und Luftspaltsensor 18, so dass sich die Amplitude des Ausgangssignals des Luftspaltsensors 18 verändert. Entsprechend kann mit Methoden der Amplitudendemodulation auf die Amplitude und die Frequenz der Biegeschwingungen zurück geschlossen werden.

Die im Ausführungsbeispiel beschriebenen Verfahrensschritte können analog auch in einem Verfahren eingesetzt werden, das das magnetische Feld mittels im Stator-Blechpaket angeordneten Sensoren erfasst, da auch hier eine rotationswinkelabhängige Änderung des Magnetfelds auswertbar ist.

Bezugszeichenliste

- | | |
|----|-----------------|
| 1 | Generator |
| 2 | Hauptfeld |
| 3 | Luftspaltfeld |
| 4 | Streufeld |
| 5 | Fundament |
| 10 | Welle |
| 11 | Rotor |
| 12 | Stator |
| 13 | Gehäuse |
| 14 | Rotor-Drehachse |
| 15 | Nut |
| 16 | Rotorwicklungen |
| 17 | Luftspalt |
| 18 | Luftspaltsensor |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung einer elektrodynamischen Maschine, insbesondere eines Generators (1), mit einer innerhalb eines Stators (12) längs einer drehbaren Welle (10) gelagerten Rotoranordnung (11), die mit dem Stator (12) einen Luftspalt (17) einschließt, bei dem mittels wenigstens eines innerhalb des Luftspalts (17) oder innerhalb des Stators (12) angeordneten Sensors (18) Messsignale erfasst und ausgewertet werden, die von einem von der elektrodynamischen Maschine erzeugten Magnetfeld abhängen, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsignale zur Erfassung von Schwingungen der Welle (10) zugrunde gelegt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Schwingungen der Welle (10) in Form von Torsionsschwingungen und/oder Pendelschwingungen und/oder Biegeschwingungen ausbilden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erfassten Messsignale oder von den Messsignalen abgeleitete Signale zur Bestimmung von Eigenfrequenzen der Schwingungen der Welle (10) ausgewertet werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsignale von wenigstens einem Sensor (18) erfasst werden, der auch zur Detektion von Rotor-Wicklungsschlüssen eingesetzt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zum Erfassen der Messsignale ein magnetfeldsensibler Sensor (18) in Art einer Spule, einer Leiterschleife, eines Hallsensors oder eines magnetoresistiven Messaufnehmers eingesetzt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die erfassten Messsignale im Zeitbereich und/oder im Frequenzbereich analysiert werden, und dass die erfassten Messsignale bei einer Nenn-

Rotordrehfrequenz und/oder einer Vielfachen der Nenn-Rotordrehfrequenz hinsichtlich ihres Phasen-, Frequenz- und/oder Amplitudenverhaltens analysiert werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die erfassten Messsignale in Bezug auf darin enthaltene Frequenzmodulationen und/oder Amplitudenmodulationen untersucht werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die erfassten Messsignale mit einer Abtastrate abgetastet werden, die der Nenn-Rotordrehfrequenz oder einer ganzzahligen Vielfachen dieser Frequenz entspricht.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass Phasen- oder Frequenzschwankungen der erfassten Messsignale bei der Nenn-Rotordrehfrequenz und/oder der Vielfachen der Nenn-Rotordrehfrequenz ermittelt werden, und dass die Phasen- oder Frequenzschwankungen der erfassten Messsignale zur Bewertung der Rotordrehbewegung bei Nenn-Rotordrehfrequenz zu Grunde gelegt werden und als Maß für die Torsionsschwingungen und/oder die Pendelschwingungen der Welle dienen.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Frequenzbänder der erfassten Messsignale simultan analysiert und auf korrelierte Phasenschwankungen untersucht werden.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass ausschliesslich auf Grundlage der korrelierten Phasenschwankungen ein Wert für die Bewertung der Rotorbewegung ermittelt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass Grenzwerte für die Phasen- oder Frequenzschwankungen vorgegeben werden, und dass bei Überschreiten der Grenzwerte ein Signal generiert wird oder eine

Abschaltung der elektrodynamischen Maschine erfolgt

13. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass ermittelte Amplitudenschwankungen als Mass für Biegeschwingungen gewertet werden.
14. Verfahren nach Anspruch 6 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Frequenzbänder der erfassten Messsignale simultan analysiert und auf korrelierte Amplitudenschwankungen untersucht werden.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass ausschliesslich auf Grundlage der korrelierten Amplitudenschwankungen ein Wert für die Bewertung der Rotorbewegung ermittelt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass ein Grenzwert für die Amplitudenschwankungen vorgegeben wird, und dass bei Überschreiten des Grenzwertes ein Signal generiert wird oder eine Abschaltung der elektrischen Maschine erfolgt.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erfassung der Biegeschwingungen eine induktive Luftspule als Sensor (18) verwendet wird, die mit einem höherfrequenten Strom- oder Spannungssignal beaufschlagt wird, und dass Impedanzänderungen der induktiven Luftspule ausgewertet werden.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass transiente Vorgänge Torsions-, Pendel- und/oder Biegeschwingungen der Welle (10) auslösen, und dass in einem Spektrum der erfassten Messsignale oder in einem Spektrum demodulierter Signale transiente Phasen-, Frequenz- und/oder Amplitudenmodulationen auftreten.
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die transienten Phasenmodulationen der Harmonischen der Nenn-Rotordrehfrequenz als

Hinweis auf Torsionsschwingungen gewertet werden.

20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erfassung der Eigenfrequenzen der Schwingungen der Welle ein Teil des Spektrums der erfassten Messsignale und/oder ein Teil des Spektrums der demodulierten Signale ausgewertet werden, in denen die transienten Phasen-, Frequenz- und/oder Amplitudenmodulationen auftreten.

