(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
31. Juli 2014 (31.07.2014)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
**WO 2014/114673 A2**

(51) **Internationale Patentklassifikation**: *H02K 3/30* (2006.01)

(21) **Internationales Aktenzeichen**: PCT/EP2014/051245

(22) **Internationales Anmeldedatum**: 22. Januar 2014 (22.01.2014)

(25) **Einreichungssprache**: Deutsch

(26) **Veröffentlichungssprache**: Deutsch

(30) **Angaben zur Priorität**:
102013201294.2 28. Januar 2013 (28.01.2013) DE

(71) **Anmelder**: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) **Erfinder**: **GLINKA, Martin**; Am Vogelherd 16, 91080 Uttenreuth (DE). **KÖRNER, Olaf**; Friedrichsthaler Str. 3b, 90469 Nürnberg (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

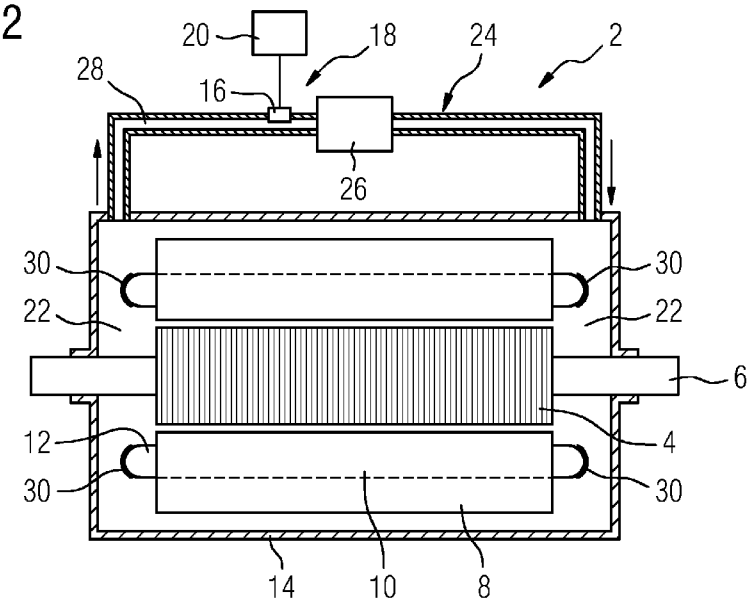
**Veröffentlicht**:

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

**(54) Title**: DETECTION OF A WINDING STATE OF AN ELECTRICAL MACHINE

**(54) Bezeichnung** : ERKENNUNG EINES WICKLUNGSZUSTANDS EINER ELEKTRISCHEN MASCHINE

FIG 2




**(57) Abstract**: The invention relates to a method for detecting a winding state of an electrical machine (2), in which a winding (10) of the electrical machine (2) is heated and a part of a winding material detaches itself at least partially from the material. In order to detect even a preliminary winding short-circuit, it is proposed that the part is detected by means of a gas sensor system (18).

**(57) Zusammenfassung**:

*[Fortsetzung auf der nächsten Seite]*

WO 2014/114673 A2

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen eines Wicklungszustands einer elektrischen Maschine (2), bei dem eine Wicklung (10) der elektrischen Maschine (2) erwärmt wird und sich ein Bestandteil eines Wicklungsmaterials zumindest teilweise aus dem Material löst. Um bereits einen sich vorbereitenden Wicklungskurzschluss zu erkennen, wird vorgeschlagen, dass der Bestandteil durch ein Gassensorsystem (18) erkannt wird.

Beschreibung

Erkennung eines Wicklungszustands einer elektrischen Maschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen eines Wicklungszustands einer elektrischen Maschine, bei dem eine Wicklung der elektrischen Maschine erwärmt wird und sich ein Bestandteil eines Wicklungsmaterials zumindest teilweise aus dem Material löst.

In Wicklungen von elektrischen Maschinen kann es vorkommen, dass Isolationen zwischen Wicklungen schadhaft werden und ein Wicklungskurzschluss in der Wicklung entsteht. Durch die in der Wicklung anliegende Spannung entsteht ein Lichtbogen und somit sehr schnell ein Brand in der elektrischen Maschine. Wird ein solcher Brand erkannt, wird die elektrische Maschine abgeschaltet und die Wicklungen werden spannungslos geschaltet, um die Ursache des Maschinenbrands zu beseitigen. Wird der Maschinenbrand jedoch nicht zügig erkannt, so brennt die Maschine auch bei abgeschalteter Spannung weiter und es entstehen schwere Schäden.

Zum Erkennen von Wicklungskurzschlüssen in elektrischen Maschinen sind Sensoren bekannt, die einen Wicklungsbrand anhand der von dem Brand verursachten Wärme erkennen, und die die Wicklung abschalten.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, das Erkennen eines Wicklungsdefekts zu erleichtern.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei dem der Bestandteil erfindungsgemäß durch ein Gassensorsystem erkannt wird.

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass ein Wicklungskurzschluss bei permanent erregten Maschinen besonders gravierend ist, wenn die Maschine auch im Leerlauf und im abgeschalteten Zustand weiterdreht und die Permanentmagneten

hohe Spannungen in die Wicklungen initiieren. Durch das Abschalten kann somit die Brandursache, nämlich der durch die Spannungen erzeugte Lichtbogen, nicht beseitigt werden, so dass sich der Maschinenbrand bei einmal entwickeltem Kurzschluss weiter nährt. Es bleibt daher nur, die elektrische Maschine abzubremsen, um die die Wärme erzeugenden Spannungen zu verringern oder zu beseitigen.

Bei Schienenfahrzeugen besteht des Weiteren das Problem, dass die permanent erregten Antriebsmotoren nicht von den angetriebenen Achsen des fahrenden Zugs mechanisch entkuppelbar sind, so dass der gesamte fahrende Zug bei einem Motorbrand möglichst schnell abgebremst werden muss. Das Abbremsen des Zugs ist jedoch ein längerer Vorgang, währenddessen der Motorbrand durch die weiter vorliegenden Spannungen weiter genährt wird. Der Schaden weitet sich aus und die Gefahr für einen Brand des angetriebenen Wagens steigt. Es ist daher vorteilhaft einen Wicklungskurzschluss nicht erst beim Auftreten des Kurzschlusses zu erkennen, sondern ein Mittel zur Hand zu haben, mit dem der Kurzschluss bereits vor seinem Auftreten bemerkt werden kann, so dass die elektrische Maschine abgebremst werden kann, bevor der Kurzschluss die Wicklungsisolation zerstört und einen Lichtbogen erzeugt.

Die Erfindung geht von der weiteren Überlegung aus, dass sich eine schadhafte Isolation meist nicht schlagartig sondern zunächst langsam zersetzt. Lässt die Isolationswirkung der Wicklungsisolation nach, so treten zunächst Teilentladungen in Form von Mikroblitzen in der Isolation auf. Solche Teilentladungen lösen das Isolationsmaterial ein Stück weit auf, so dass ein oder mehrere Bestandteile des Isolationsmaterials in einem gasförmigen Zustand übergehen. Eine Zersetzung des Isolationsmaterials beginnt somit langsam und lange vor dem eigentlichen Kurzschluss.

Ferner werden durch die Zersetzung des Isolationsmaterials Zersetzungsprodukte freigesetzt. Vorteilhafterweise ist der sich aus dem Wicklungsmaterial herauslösende Bestandteil ein

in einen gasförmigen Zustand übergegangener Bestandteil des Wicklungsmaterials. Ein Gassensor, der auf ein solches Zersetzungsprodukt sensitiv ist, erkennt das Zersetzungsprodukt sehr frühzeitig, so dass die elektrische Maschine bei einem entsprechenden Alarmsignal des Sensors bereits vor einem Kurzschluss untersucht und gegebenenfalls repariert oder ausgetauscht werden kann. Ein Wicklungsbrand und eine Zerstörung der elektrischen Maschine kann hierdurch zuverlässig vermieden werden.

Das Verfahren ist insofern auch gerichtet auf ein Verfahren zum Erkennen eines beginnenden Kurzschlusses oder einer einem Kurzschluss vorangehenden Zersetzung von Wicklungsmaterial.

Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf elektrische Motoren und erst recht nicht auf permanent erregte elektrische Motoren beschränkt, da sie eben so gut auch bei anderen elektrischen Maschinen, beispielsweise einem Generator zur Stromerzeugung, verwendbar ist. Auch ist sie nicht beschränkt auf das Erkennung von Zersetzungsprodukten aus Isolationsmaterial, da das sich durch die Teilentladungen zersetzende Material nicht zwingen Isolationsmaterial sein muss.

Die Erwärmung der elektrischen Maschine geschieht üblicherweise durch den Betrieb der elektrischen Maschine, und insbesondere durch eine über dem regulären Betriebsverschleiß ausgehende Teilzerstörung des Wicklungsmaterials, insbesondere durch Teilentladungen, die durch schadhaftes Wicklungsmaterial hervorgerufen sein können.

Das Wicklungsmaterial ist ein Material der Wicklung. Es kann jedes Material sein, das zur Wicklung oder zur Umgebung der Wicklung gehört und bei einem anfangenden Wicklungsbrand heiß wird. Es kann ein Isolationsmaterial sein, wie Harz, Kapton und/oder Glimmerband. Ebenso kann es ein anderes zur Wicklung zugehöriges Material, z.B. ein die Wicklungen zusammenhaltendes Material sein, auch ohne Isolationseigenschaften, oder ein an der Wicklung angeordnetes Material. Weiter kann es ein

Material in einer Isolierung der Wicklung sein, das an sich keine oder nur eine geringe Isolierungswirkung hat.

Der Bestandteil des Wicklungsmaterials kann ein solches Material sein, das sich bei einem Erwärmen des Wicklungsmaterials aus diesem löst und/oder sich aus diesem bildet, zweckmäßigerweise in Gasform. Es kann eine ursprüngliche Komponente des Wicklungsmaterials sein, zweckmäßigerweise in verdampfter Form, beispielsweise ein Weichmacher, oder ein Material, das aus einer chemischen Umwandlung aus dem Wicklungsmaterial entsteht, z.B. ein oxidiertes Wicklungsmaterial oder ein Zersetzungsprodukt, das bei Einwirkung von Wärme auf das Wicklungsmaterial entsteht. Vorteilhafterweise ist es ein gasförmiges Material, das bei einer Erwärmung einer Wicklungsisolation und/oder von darin oder daran befindlichem Material, z.B. Indikatormaterial, entsteht. Der Bestandteil kann auch CO, $NO_x$, oder ein anderes Verbrennungsgas sein, das sich bei einem Wicklungsbrand bildet. Die Erwärmung, bei der der Bestandteil entsteht, liegt zweckmäßigerweise oberhalb von 200°C, insbesondere zwischen 200°C und 500°C. Weiter ist es vorteilhaft, wenn der Bestandteil ein solches Material ist, das sich bei Mikroentladungen im Wicklungsmaterial, insbesondere im Isolationsmaterial, bildet.

Das Gassensorsystem umfasst einen oder mehrere Gassensoren und zweckmäßigerweise eine Auswerteeinheit, die zum Auswerten von Signalen eines Gassensors vorbereitet ist. Ein Gassensor ist zum Erkennen des aus dem Wicklungsmaterial heraus gelösten Materialbestandteils vorbereitet. Ein Gassensor ist ein Sensor, der zu einer Erkennung gasförmiger Substanzen vorbereitet ist. Er kann ein Chemosensor oder ein Sensor sein, der mithilfe eines physikalischen Prinzips arbeitet. Ein auf einer physikalischen Messmethode aufbauender Sensor kann molekulare Eigenschaften zur Detektion verwenden, wie magnetische Eigenschaften der Molekülstruktur, Diffusionsverhalten, Molekülmasse, Molekülstabilität und/oder Molekülbeweglichkeit. Ein auf einer chemischen Messmethode aufbauender Sensor kann

chemische Eigenschaften ausnutzen, wie Oxidierbarkeit, Reduzierbarkeit und/oder Reaktivität.

In Abwandlung von der oben angegebenen Erfindung kann anstelle der Wicklung und/oder des Wicklungsmaterials eine andere Baueinheit der elektrischen Maschine erwärmt werden, so dass sich ein Bestandteil aus einem Baueinheitsmaterial löst, das durch das Gassensorsystem erkannt wird.

In einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist das Wicklungsmaterial ein Isolationsmaterial aus der Wicklungsisolation. Es kann ein Zersetzen des Isolationsmaterials erkannt werden, so dass eine Verringerung der Isolationswirkung des Isolationsmaterials bereits frühzeitig erkannt werden kann.

Weiter ist es vorteilhaft, wenn bei Erkennen eines Bestandteils des Wicklungsmaterials in gasförmiger Form ein Betrieb der elektrischen Maschine unterbrochen wird. Das Unterbrechen kann unmittelbar aufgrund des Erkennen des Bestandteils erfolgen oder das Vorliegen eines weiteren Parameters erfordern, beispielsweise dass das Vorliegen eines bestimmten oder weiteren Bestandteils erkannt wird oder ein vorbestimmte Maschinenzustand vorliegen muss.

Wicklungsmaterialien bestehen in der Regel aus einer Vielzahl von Bestandteilen, die sich bei unterschiedlichen Temperaturen des Wicklungsmaterials aus diesem herauslösen. Insofern können unterschiedliche Bestandteile des Wicklungsmaterials als Indikatoren für unterschiedliche Zustände des Wicklungsmaterials verwendet werden. Hierfür ist es vorteilhaft, wenn der Gassensor zwischen diesem sich bei verschiedenen Temperaturen herauslösenden unterschiedlichen Bestandteilen unterscheiden kann. Hierfür kann das Gassensorsystem mehrere unterschiedliche Sensoren aufweisen, die beispielsweise jeder auf einen gasförmigen Bestandteil sensitiv sind.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird vorgeschlagen, dass aus dem Vorliegen eines Bestandteils des Wicklungsmaterials in gasförmiger Form auf eine Temperatur des Wicklungsmaterials geschlossen wird. Es kann hieraus erkannt werden, ob bereits eine kritische Temperatur der elektrischen Maschine erreicht ist, so dass Schutzmaßnahmen eingeleitet werden sollten. Ähnlich wie die Geruchsbildung einer elektrischen Maschine einem Bediener zu erkennen gibt, dass die elektrische Maschine heiß wird, kann durch das Gassensorsystem das Heißwerden der elektrischen Maschine erkannt werden und es kann eine Gegenmaßnahme eingeleitet werden.

Auch ist es vorteilhaft, wenn aus einer quantitativen Auswertung eines oder mehrerer Gasbestandteile auf eine Temperatur oder einen Zustand des Wicklungsmaterials geschlossen wird.

Insbesondere bei höheren Temperaturen liegen üblicherweise unterschiedliche Bestandteile des Wicklungsmaterials in gasförmiger Form vor. Zweckmäßigerweise wird aus dem Vorliegen der unterschiedlichen Bestandteile auf eine Temperatur des Wicklungsmaterials geschlossen. So kann es beispielsweise sein, dass zwei Stoffe einzeln nicht zwingender Weise eine hohe Temperatur des Wicklungsmaterials kennzeichnen, da diese beispielsweise aus früheren Motorbeanspruchungen noch vorliegen können. Erst das gemeinsame Vorliegen, insbesondere in vorbestimmten Quantitativen Mengenverhältnissen, zeigt die hohe Motortemperatur zuverlässig an. Insofern ist es vorteilhaft, wenn die unterschiedlichen Bestandteile quantitativ erfasst werden und aus einem Mengenverhältnis der Bestandteile auf eine Temperatur des Wicklungsmaterials geschlossen werden.

Mit gleichem Vorteil kann aus dem Vorliegen eines Bestandteils des Wicklungsmaterials in gasförmiger Form auf einen Zustand des Wicklungsmaterials geschlossen werden. Um die Schadhaftigkeit beispielsweise von Isolationsmaterial zu erkennen, ist es nicht zwingend notwendig, deren Temperatur zu kennen. Die Schadhaftigkeit kann auch in Form von Zuständen

definiert werden, die beispielsweise anhand des Vorliegens bestimmter heraus gelöster Stoffe charakterisiert werden können.

Ähnlich wie eine Geruchsbildung einer elektrischen Maschine bei hohen Betriebstemperaturen nicht unbedingt auf eine sofortige Beschädigung der Maschine hindeuten, kann auch bei einem Vorliegen eines vorbestimmten Bestandteils des Wicklungsmaterials in gasförmiger Form ein Weiterbetrieb der elektrischen Maschine noch für eine längere Zeit möglich und sinnvoll sein. Jedoch kann sich aus dem bestimmten Bestandteil ergeben, dass eine Reparatur in absehbarer Zeit notwendig ist. Insofern ist es vorteilhaft, wenn aus einem Vorliegen eines vorbestimmten Bestandteils des Wicklungsmaterials in gasförmiger Form ein Reparaturzeitpunkt der elektrischen Maschine bestimmt wird.

Außerdem ist die Erfindung gerichtet auf eine Vorrichtung zum Erkennen eines Wicklungszustands einer elektrischen Maschine, die eine Wicklung mit einem Wicklungsmaterial umfasst.

Um das Erkennen eines Wicklungsdefekts zu erleichtern, wird vorgeschlagen, dass die Vorrichtung ein Gassensorsystem aufweist, das so auf das Wicklungsmaterial abgestimmt ist, dass es auf einem Bestandteil des Wicklungsmaterials sensitiv ist, das sich bei einem Erwärmen des Wicklungsmaterials aus diesem löst.

Das Erwärmen kann hierbei ein Erwärmen über eine vorbestimmte Temperatur sein, beispielsweise eine kritische Temperatur, die oberhalb eines regulären Betriebstemperaturbands liegt. Unter einer Sensitivität auf den Bestandteil des Wicklungsmaterials wird im Folgenden verstanden, dass das Gassensorsystem bei Vorliegen des Bestandteils in Gasform in der Umgebung des Sensorsystems ein Signal ausgibt, dass das Vorhandensein des Bestandteils anzeigt. Zweckmäßigerweise ist das Gassensorsystem dazu vorbereitet, die Konzentration des Bestandteils im das Gassensorsystem umgebenden Gas zu messen und ein

quantitatives Signal auszugeben, das mit der Bestandteilkonzentration im Umgebungsgas korreliert.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung schlägt vor, dass das Gassensorsystem dazu vorbereitet ist, den Bestandteil zu erkennen und aus dem Erkennen eine Folgeaktion einzuleiten. Hierzu umfasst das Gassensorsystem zweckmäßigerweise eine Auswerteeinheit, die ein Signal eines Gassensors des Gassensorsystems auswertet und das Auswertungsergebnis zu einem Steuersignal verarbeitet, durch das die Folgeaktion angestoßen wird. Die Folgeaktion ist zweckmäßigerweise eine Steuerung der elektrischen Maschine, insbesondere ein Abbremsen der elektrischen Maschine. Ein Folgeaktion kann auch eine erst später durchzuführende Aktion sein, beispielsweise eine Wartung der elektrischen Maschine, die jedoch bereits durch das Gassensorsystem bei oder kurz nach dem Erkennen des Bestandteils festgelegt wird, beispielsweise in ihren Termin.

Vorteilhafterweise ist das Wicklungsmaterial, aus dem der Bestandteil sich herauslöst, ein Isolationsmaterial der Wicklung. Ein Zerfall des Isolationsmaterials kann schnell und zuverlässig erkannt und das Isolationsmaterial kann ausgetauscht werden.

Abgesehen davon ist es zweckmäßig, dass das Wicklungsmaterial ein Indikationsmaterial aufweist, das zusätzlich zum Isolationsmaterial vorhanden sein kann. Dieses kann ein oder mehrere Materialien aufweisen, das bei Erreichen einer vorbestimmten Temperatur oder bei einem vorbestimmten Vorgang im Indikationsmaterial einen gasförmigen Stoff bzw. einen Bestandteil abgibt. Es ist außerdem möglich und vorteilhaft, dass das Indikationsmaterial Bestandteil eines übergeordneten Materials sein ist insgesamt oder teilweise zum Übergang in einen gasförmigen Zustand bei Erreichen einer vorbestimmten Temperatur vorbereitet ist.

Das Indikatormaterial kann in die Wicklungsisolation eingebracht sein, beispielsweise direkt in das Isolationsmaterial

als zusätzlicher Bestandteil und/oder als ein Material, das zusätzlich zur vollständigen Isolation der Wicklung an der Wicklung angeordnet ist, beispielsweise als zusätzliche Schicht auf einer Isolationsschicht oder als punktuell angebrachter Indikator, beispielsweise an temperaturkritischen oder kurzschlusskritischen Stellen. Das Verwenden des Indikatormaterials hat den Vorteil, dass die Anpassung von Material und Gassensorsystem vereinfacht werden kann. So kann das Indikatormaterial ein solches Material umfassen, das besonders einfach und zuverlässig und zweckmäßigerweise bereits bei einer sehr geringen Konzentration im Umgebungsgas erkannt werden kann.

Weiter ist es vorteilhaft wenn zumindest ein Gassensor des Gassensorsystems in einem Gehäuse angeordnet ist, das die Wicklung umgibt, beispielsweise ein Maschinengehäuse der elektrischen Maschine. Hierdurch kann eine Bestandteilkonzentration innerhalb des Gehäuses relativ einfach ansteigen, so dass der Bestandteil von dem innerhalb des Gehäuses angeordneten Gassensors schnell und zuverlässig gemessen werden kann.

Gerade bei größeren elektrischen Maschinen gibt es ein Lüftungssystem, das das die Wicklung umgebende Gas umwälzt und beispielsweise reinigt und/oder kühlt. Ein solches Lüftungssystem weist einen Gasweg auf, durch den das umzuwälzende Gas hindurchgeführt wird. In diesem Gasweg kann der Gassensor des Gassensorsystems eingebracht werden. Das von der Wicklung kommende und mit dem Bestandteil versehene Gas wird diesen Gasweg entlang geführt und passiert den Gassensor, so dass dieser den Bestandteil erkennen kann.

Besonders vorteilhaft ist die Erfindung anwendbar bei einer elektrischen Maschine in Form eines Antriebsmotors eines Schienenfahrzeugs, da hier bei einer frühzeitigen Schadenserkennung ein sehr vorteilhafter Sicherheitsgewinn für Fahrgäste erzielt werden kann. Zweckmäßigerweise ist die Wicklung eine Wicklung eines Stators.

Weiter ist es vorteilhaft, wenn die elektrische Maschine eine permanent erregte Maschine, beispielsweise ein permanent erregter Synchronmotor, und zweckmäßigerweise ein Antriebsmotor eines Schienenfahrzeugs ist. Permanent erregte Maschinen sind bei einer fortgesetzten Rotation nicht ohne weiteres abschaltbar, da die Permanentmagneten bei fortgesetzter Rotation weiter hohe Spannungen in die schadhafte Wicklung induzieren und sie somit weiter beschädigen können. Durch eine frühzeitige Schadenserkennung kann die Maschine frühzeitig abgebremst werden und ein Motorbrand kann vermieden werden.

Die bisher gegebene Beschreibung vorteilhafter Ausgestaltungen der Erfindung enthält zahlreiche Merkmale, die in den einzelnen Unteransprüchen teilweise zu mehreren zusammengefasst wiedergegeben sind. Diese Merkmale wird der Fachmann jedoch zweckmäßigerweise auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen. Insbesondere sind diese Merkmale jeweils einzeln und in beliebiger geeigneter Kombination mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß den unabhängigen Ansprüchen kombinierbar.

Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung, sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Die Ausführungsbeispiele dienen der Erläuterung der Erfindung und beschränken die Erfindung nicht auf die darin angegebene Kombination von Merkmalen, auch nicht in Bezug auf funktionale Merkmale. Außerdem können dazu geeignete Merkmale eines jeden Ausführungsbeispiels auch explizit isoliert betrachtet, aus einem Ausführungsbeispiel entfernt, in ein anderes Ausführungsbeispiel zu dessen Ergänzung eingebracht und/oder mit einem beliebigen der Ansprüche kombiniert werden.

Es zeigen:

FIG 1 eine schematische seitliche Schnittdarstellung durch einen permanent erregten Synchronmotor mit einem Gassensorsystem und

FIG 2 eine elektrische Maschine mit einem Belüftungssystem zum Umwälzen von Gas innerhalb eines Maschinengehäuses.

FIG 1 zeigt eine elektrische Maschine 2, die als permanent erregter Synchronmotor ausgeführt ist und ein Antriebsmotor eines Schienenfahrzeugs ist. Die elektrische Maschine 2 umfasst einen Rotor 4 mit einer darin befestigten Antriebswelle 6 und nicht extra dargestellten Permanentmagneten. Um den Rotor 4 herum ist der Stator 8 angeordnet, der eine Vielzahl von elektrischen Wicklungen 10 umfasst, die in den Figuren nicht einzeln dargestellt sind, und die zwei gegenüberliegende Wicklungsköpfe 12 durchlaufen. Der Stator 8 ist umgeben von einem Gehäuse 14, das ein Maschinengehäuse beziehungsweise Motorgehäuse sein kann.

In den Wicklungsköpfen 12 sind die im Betrieb unter Spannung stehenden Wicklungen 10 eng zusammengeführt und im Wesentlichen durch ein Isolationsmaterial um die entsprechende Wicklung beziehungsweise Leitung der Wicklung 10 voneinander elektrisch getrennt. Daher ist der Bereich der Wicklungsköpfe 12 der für Kurzschlüsse gefährdetste Bereich.

In der Nähe der beiden gegenüberliegenden Wicklungsköpfe 12 ist jeweils ein Gassensor 16 eines Gassensorsystems 18 angeordnet, das außer dem Gassensoren 16 noch eine Auswerteeinheit 20 zum Auswerten der Signale der Gassensoren 16 aufweist. Jeder Gassensor 16 ist mit einem Gaseinlass versehen, so dass den Gassensor 16 umgebendes Gas in den Gassensor 16 hinein gelangen kann. Die Gassensoren 16 sind jeweils darauf spezialisiert, eine Reihe von chemischen Substanzen zu erkennen beziehungsweise bei Vorliegen dieser chemischen Substan-

zen ein Signal auszusenden, das das entsprechende Vorliegen signalisiert. Hierbei sind die Gassensoren 16 in der Lage, zwischen mehreren verschiedenen Substanzen zu unterscheiden und also auch unterschiedliche Signale auszugeben, wobei jede zu erkennende Substanz ihrem individuellen Signal zugeordnet wird. Alternativ sind mehrere Gassensoren 16 vorhanden, die jeder auf eine chemische Substanz sensitiv sind und die chemischen Substanzen verschieden sind.

Außerdem sind die Gassensoren 16 in der Lage, das Vorliegen eines zu detektierenden Bestandteils im Umgebungsgas auch quantitativ zu erfassen, so dass ein geringfügiges Vorliegen ein anderes Signal erzeugt als ein stärker konzentriertes Vorliegen des detektierten Bestandteils.

Während des Betriebs der elektrischen Maschine 2 kann eine Wicklung heiß werden, so dass sich ein Bestandteil des Wicklungsmaterials aus diesem heraus löst. Der gasförmige Bestandteil wird vom Gassensor 16 erkannt und die Auswerteeinheit 20 kann auch die Temperatur des Wicklungsmaterials schließen.

Außerdem kann es aufgrund von Materialermüdung während des regulären Betriebs und/oder einer Überlastung der elektrischen Maschine zu Defekten im Isolationsmaterial der Wicklungen 10 und insbesondere im Bereich der Wicklungsköpfe 12 kommen. Im Isolationsmaterial kommt es zu Mikroentladungen, also räumlich sehr kleinen aber sehr heißen Zuständen, die das Isolationsmaterial zersetzen und einen oder mehrere Bestandteile in die Gasform bringen, die für diesen heißen Zustand charakteristisch sind. Der Bestandteil verlässt die Wicklung 10 und gelangt in den Gasraum 22, der die Wicklungsköpfe 12 und die Gassensoren umgibt. Der Bestandteil wird vom nächstliegenden Gassensor 16, insbesondere von beiden Gassensoren 16, erfasst und das entsprechende Signal wird ausgegeben. Das Signal kann eine Überhitzung anzeigen oder eine Mikroentladung, je nach erkanntem Bestandteil.

Das Signal wird von der Auswerteeinheit 20 aufgenommen und zu einem Zustandssignal verarbeitet, das einen Zustand der Wicklung 10 beziehungsweise der elektrischen Maschine 2 anzeigt. Dieser Zustand kann ein Wicklungszustand sein und beispielsweise in Kategorien gefasst sein oder einen Temperaturzustand angeben, der eine Temperatur der Wicklung 10, beziehungsweise des Rotors 4, der elektrischen Maschine 2 angibt. Zusätzlich oder alternativ zu einem solchen Zustandssignal kann ein Aktionssignal von der Auswerteeinheit 20 ausgegeben werden, beispielsweise ein Steuersignal zum Ansteuern der elektrischen Maschine 2, so dass die Drehzahl der elektrischen Maschine 2 reduziert wird.

Ein anderes vorteilhaftes Folgesignal ist ein Wartungs- oder Reparatursignal, das die Notwendigkeit einer Wartung beziehungsweise Reparatur beschreibt und zweckmäßigerweise mit einer Betriebszeitangabe oder einem Termin versehen ist, nach Ablauf derer die Wartung oder Reparatur erfolgen soll. Ausgelöst durch das Aktionssignal wird eine entsprechende Folgeaktion entweder sofort oder zu einem späteren Zeitpunkt, beispielsweise nach Ablauf der Betriebzeit, ausgelöst.

Die Gassensoren 16 sind in der Lage, unterschiedliche Bestandteile, die bei verschiedenen Temperaturen und/oder verschieden starken Teilentladungen aus dem Wicklungsmaterial gasförmig entweichen. Auf diese Weise kann – je nach gemessenem Bestandteil – erfasst werden, in welchem Zustand das Wicklungsmaterial ist und ob ein sofortiges Eingreifen, beispielsweise Stoppen der elektrischen Maschine, oder erst eine spätere Folgeaktion notwendig ist.

Fig. 2 zeigt eine gleichartige elektrische Maschine 2, die jedoch zusätzlich zu dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel an ein Gassystem 24 angeschlossen ist. Die nachfolgende Beschreibung beschränkt sich im Wesentlichen auf die Unterschiede zum Ausführungsbeispiel in FIG 1, auf das bezüglich gleich bleibender Merkmale und Funktionen verwiesen wird. Im Wesentlichen gleich bleibende Bauteile sind grundsätzlich mit

den gleichen Bezugszeichen beziffert und nicht erwähnte Merkmale sind in den folgenden Ausführungsbeispielen übernommen, ohne dass sie erneut beschrieben sind.

Dieses Gassystem 24 umfasst beispielsweise einen Gaskühler mit einem Wärmetauscher 26, der in einer Leitung 28 des Gassystems 24 angeordnet ist. Über eine nicht dargestellte Pumpe wird Gas aus dem Gasraum 22 innerhalb des Gehäuses 14 abgesaugt, wie durch den linken Pfeil in FIG 2 angedeutet ist. Das Gas strömt durch die Leitung 28 und den Wärmetauscher 26, wird dort abgekühlt und wieder in den Gasraum 22 eingepumpt, wie durch den rechten und nach unten weisenden Pfeil in FIG 2 angedeutet ist. Das gekühlte Gas durchströmt die elektrische Maschine 2 und insbesondere einen Spalt zwischen Rotor 4 und Stator 8 und kühlt so die elektrische Maschine 2. Aus dem Wicklungsmaterial heraus gelöste Bestandteile werden ebenfalls mit umgepumpt und erreichen so den Gassensor 16 des Gassensorsystems 18, der in der Leitung 28 angeordnet ist und den Bestandteil erfasst. Bei einer gekapselten Maschine, bei der der Luftraum um die Wicklungen vom Luftspalt zwischen Rotor 4 und Stator 8 getrennt ist, ist die Erfindung ebenso gut anwendbar. Hier wäre die Luft bzw. das Gas um die Wicklungen umzupumpen und durch den Sensor 16 bzw. das Gassensorsystem 18 auf den gasförmigen Bestandteil des Wicklungsmaterials hin zu untersuchen.

Bei dem in FIG 2 gezeigten Ausführungsbeispiel umfasst das Wicklungsmaterial ein auf dem Wicklungskopf 12 aufgebrachtes Indikatormaterial 30, das bei vorbestimmten Temperaturen vorbestimmte Bestandteile abgibt, zweckmäßigerweise gasförmig, die durch den Gassensor 16 erfasst werden können. Das Indikatormaterial 30 ist nur punktförmig auf die Wicklungsköpfe aufgebracht, um Bestandteile des Isolationsmaterials, die bei Zersetzungsprozessen des Isolationsmaterials gasförmig entweichen, nicht daran zu hindern, den Gasraum 22 zu erreichen und durch den Sensor 16 erfasst zu werden. Alternativ kann das Indikatormaterial 30 großflächig und insbesondere gleichmäßig auf dem gesamten Wicklungsmaterial aufgebracht sein, um

eine Erwärmung möglichst überall einfach und zuverlässig detektieren zu können. Um Mikroentladungen frühzeitig zu erkennen, kann das Indikatormaterial 30 auch in das Isolationsmaterial eingemischt werden, so dass es auch im Inneren des Isolationsmaterials vorhanden ist.

Zusätzlich zu in FIG 1 beschriebenen Möglichkeiten besteht durch das Indikatormaterial 30 die weitere Möglichkeit, die Temperatur des Wicklungskopfes 12 an seiner heißesten Stelle relativ genau zu erfassen. Hierzu gibt das Indikatormaterial 30 in Abhängigkeit von der Temperatur unterschiedliche Bestandteile ab, so dass aus dem Vorliegen eines Bestandteils auf die Temperatur des Indikatormaterials 30 geschlossen werden kann.

Um auch eine räumliche Bestimmung des Schadens erfassen zu können, kann unterschiedliches Indikatormaterial 30 an verschiedenen Stellen auf- oder eingebracht sein, das unterschiedliche Bestandteile abgibt. Auf diese Weise kann aus dem Vorliegen eines Bestandteils auf die Art des Indikatormaterials 30 und hieraus auf den Ort innerhalb der elektrischen Maschine 2 bzw. der Wicklungen 10 geschlossen werden, an dem eine außergewöhnliche Erwärmung stattfindet und/oder Mikroentladungen vorkommen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen eines Wicklungszustands einer elektrischen Maschine (2), bei dem eine Wicklung (10) der elektrischen Maschine (2) erwärmt wird und sich ein Bestandteil eines Wicklungsmaterials zumindest teilweise aus dem Material löst,
dadurch gekennzeichnet, dass der Bestandteil durch ein Gassensorsystem (18) erkannt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass das Wicklungsmaterial ein Isolationsmaterial aus der Wicklungsisolation ist und sich der Bestandteil aus der Wicklungsisolation löst und durch das Gassensorsystem (18) erkannt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass bei Erkennen eines Bestandteils des Wicklungsmaterials in gasförmiger Form ein Betrieb der elektrischen Maschine (2) unterbrochen wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass sich bei verschiedenen Temperaturen unterschiedliche Bestandteile des Wicklungsmaterials aus diesem lösen und das Gassensorsystem (18) zwischen diesen unterscheidet.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Vorliegen unterschiedlicher Bestandteile des Wicklungsmaterials in gasförmiger Form in verschiedenen Bestandteilen auf eine Temperatur des Wicklungsmaterials geschlossen wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Vorliegen eines Bestandteils des Wicklungsmaterials in gasförmiger Form auf einen Zustand des Wicklungsmaterials geschlossen wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus einem Vorliegen eines vorbestimmten Bestandteils des Wicklungsmaterials in gasförmiger Form ein Reparaturzeitpunkt der elektrischen Maschine (2) bestimmt wird.

8. Vorrichtung zum Erkennen eines Wicklungszustands einer elektrischen Maschine (2), die eine Wicklung (10) mit einem Wicklungsmaterial umfasst, gekennzeichnet durch ein Gassensorsystem (18), das so auf das Wicklungsmaterial abgestimmt ist, dass es auf einen Bestandteil des Wicklungsmaterials sensitiv ist, das sich bei einem Erwärmen des Wicklungsmaterials aus diesem löst.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Gassensorsystem (18) dazu vorbereitet ist, den Bestandteil zu erkennen und aus dem Erkennen eine Folgeaktion einzuleiten.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Wicklungsmaterial ein Isolationsmaterial der Wicklung (10) ist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Wicklungsmaterial ein zum Isolationsmaterial zusätzliches Indikatormaterial (30) aufweist, das zum Übergang in einen gasförmigen Zustand bei Erreichen einer vorbestimmten Temperatur vorbereitet ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Gassensor (16) des Gassensorsystems (18) in einem Gehäuse (14) angeordnet ist, das die Wicklung umgibt.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Gassensor (16) des Gassensorsystems (18) in einem Gasweg (28) angeordnet ist, durch den die Wicklung (10) umgebendes Gas gepumpt wird.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Maschine (2) ein Antriebsmotor eines Schienenfahrzeugs und die Wicklung (10) eine Wicklung eines Stators ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Maschine (2) ein permanent erregter Synchronmotor ist.

FIG 1

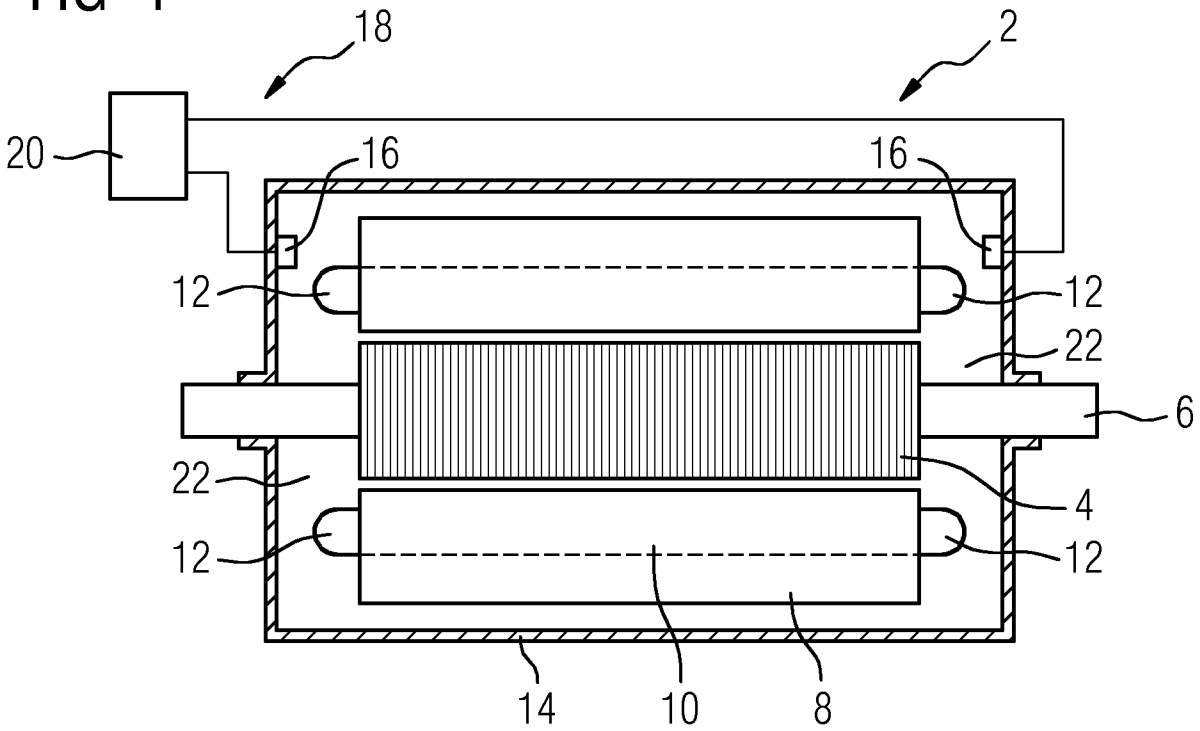
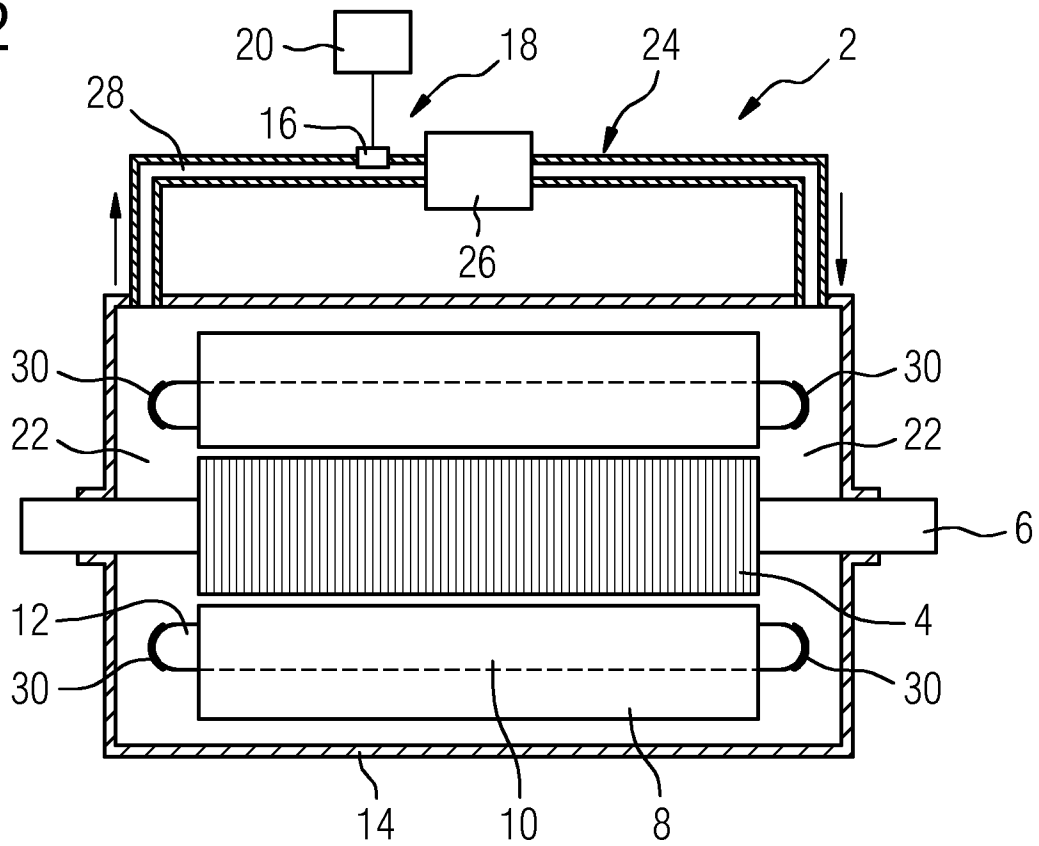

18
2
20
16
16
12
12
22
6
22
4
12
12
14
10
8

FIG 2


20
18
24
2
28
16
26
30
30
22
22
6
12
4
30
30
14
10
8