

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50854/2021
(22) Anmeldetag: 28.10.2021
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2024

(51) Int. Cl.: **H02P 6/00** (2006.01)
H02P 9/00 (2006.01)
H02P 9/30 (2006.01)
H02P 21/14 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
EP 0582470 A1
DE 102018105672 A1
DE 102015224471 A1
CN 110007228 A
CN 105591582 A

(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

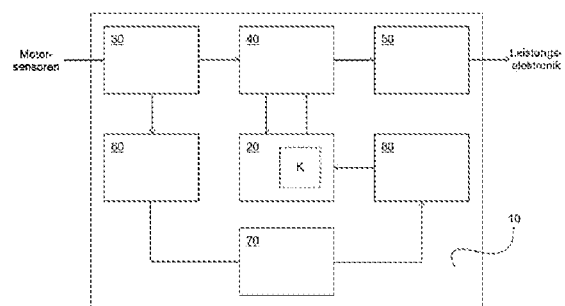
(72) Erfinder:
GARCIA DE MADINABEITIA MERINO Inigo
8010 Graz (AT)
KISS Gergely Mate MBA, MSc.
8020 Graz (AT)
GARMENDIA GUTIERREZ Jorge MSc.
1120 Wien (AT)
AHMED Mohamed Essam MSc.
8020 Graz (AT)
DUCHI Francesco Dott. Mag.
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Kennfeldgestütztes Kontrollverfahren für drehende elektrische Maschinen und Erzeugungsverfahren für das Kennfeld**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren und eine Kontrollvorrichtung (10) zur Kontrolle eines Betriebs einer drehenden elektrischen Maschine, aufweisend die Schritte: Erfassen von gemessenen Betriebsparametern; Auslesen von hinterlegten Betriebsparametern aus einem Kennfeld (K), die den erfassten Betriebsparametern zugeordnet sind, wobei das Kennfeld (K) in Verhältnismäßigkeiten von zugeordneten Betriebsparametern einen vorbestimmten Wechselstromwiderstand ($R_{(s,AC)}$) einer Phasenwicklung berücksichtigt; und Einstellen von Betriebsparametern an der drehenden elektrischen Maschine auf die ausgelesenen Betriebsparameter. Die Erfindung betrifft ferner eine Erzeugung des Kennfeldes (K) sowie eine mögliche Kalibrierung und Aktualisierung desselben.

Fig. 2



Beschreibung

KENNFELDGESTÜTZTES KONTROLLVERFAHREN FÜR DREHENDE ELEKTRISCHE MASCHINEN UND ERZEUGUNGSVERFAHREN FÜR DAS KENNFELD

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren zur Kontrolle eines Betriebs einer drehenden elektrischen Maschine, insbesondere Synchronmaschine, extern erregt oder mit variablen Fluss, basierend auf einem Kennfeld, das einen variablen Wechselstromwiderstand einer Phasenwicklung berücksichtigt, sowie ein Erzeugungsverfahren zur Erzeugung des Kennfelds, das optional zumindest teilweise und/oder zeitweise integriert mit dem Kontrollverfahren ausgeführt wird.

[0002] Die vorliegende Erfindung liegt auf dem technischen Gebiet der Steuerungs- und Regelungstechnik für drehende elektrische Maschinen wie insbesondere Elektromotoren oder Generatoren. Eine entsprechende Steuerung und Regelung dient dazu, mittels eines Leistungs-Umrichters zur Energieumformung, die an den Phasenwicklungen des Stators zuzuführenden Ströme und Spannungen hinsichtlich verschiedener Parameter zu modulieren und einzustellen. Dabei wird hinsichtlich der Einstellung einer Phasenspannung i.d.R. ein Mittelweg beschritten zwischen einerseits der Vermeidung eines Auftretens von Überspannungen, die zu Schäden an den Phasenwicklungen führen, sowie andererseits einem Anlegen einer wesentlich geringen Phasenspannung als einer zulässigen Grenzspannung, die zu einer effizienzverminderten Betriebsweise und einer geringeren Ausnutzung der Leistungskapazität eines Elektromotors führt.

[0003] Es sind Steuerungen für Elektromotoren bekannt, die für eine Einstellung eines Phasenstroms und zur Einhaltung einer Phasenspannung innerhalb der zuvor genannten Rahmenbedingungen einen Gleichstromwiderstand einer Phasenwicklung ermitteln. Diese ist unter anderem materialspezifisch und kann unter Annahme eines linearen Verhaltens zu einer erfassten Temperatur abgeschätzt werden. Der Gleichstromwiderstand entspricht jedoch nur bedingt dem realen Widerstand einer Phasenwicklung eines Stators, der mit einem Wechselstrom bzw. Drehstrom angesteuert wird, da für eine genauere Ermittlung eines Gesamtwiderstandwertes auch eine Komponente des Wechselstromwiderstands erforderlich ist.

[0004] Im Stand der Technik wird für eine Steuerung die lediglich den Gleichstromwiderstand unter Annahme von linearen Zusammenhängen berücksichtigt, i.d.R. ein Sicherheitsfaktor bzw. -betrag in Bezug zu einer zulässigen Grenzspannung herangezogen, um eine Ungenauigkeit in der Bestimmung des realen Widerstands zu kompensieren. Der Sicherheitsfaktor bzw. -betrag hilft zu verhindern, dass bei der Bestimmung und Einstellung eines Phasenstroms dessen resultierende Phasenspannung die zulässige Grenzspannung überschreitet und eine für die Maschine schädliche Überspannung auftritt. Diese Methodik kann mit der üblicherweise bereitgestellten Sensorik eines elektrischen Antriebs realisiert werden.

[0005] Allerdings kann die Phasenspannung aufgrund der relativ ungenauen Bestimmung des realen Widerstands einer Phasenwicklung und zum Schutz vor Überspannungen lediglich bis auf eine vorgegebene Marge an die sicherheitsrelevante vorgegebene Grenzspannung angenähert werden. Demnach verbleibt im Stand der Technik ein Bedarf nach einer höheren Genauigkeit in einer Parameterbestimmung von Widerstandswerten, die einer Kontrolle der Betriebsweise einer drehenden elektrischen Maschine zugrunde gelegt und zu einer Steigerung der Effizienz der Betriebsweise verhelfen können.

[0006] Ferner sind externe Messapparaturen bekannt, die dazu geeignet wären, einen Wechselstromwiderstand einer Phasenwicklung durch Messsignale und Antwortsignale direkt zu erfassen. Derartige Lösungen würden die Nachteile einer ungewünschten Überlagerung bzw. Wechselwirkung von Mess- und Betriebsgrößen oder einer entsprechend komplexen und kostenintensiven Messtechnik aufweisen. Ferner würden sich solche Lösungen anhand der zusätzlichen Messtechnik und Sensibilität nur bedingt für mobile Anwendungen unter äußeren Einflüssen eignen.

[0007] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Verfahrenstechnik zur Kontrolle ei-

ner drehenden elektrischen Maschine zu schaffen, die im Hinblick auf die genannten Bedingungen und Nachteile im Stand der Technik eine effizientere Betriebsweise gewährleistet.

[0008] Dabei besteht ferner eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine derartige Verfahrenstechnik bereitzustellen, die basierend auf einer herkömmlichen Ausstattung ohne zusätzliche Erfordernisse an die Messtechnik, insbesondere ohne eine zusätzliche Sensorik zur Erfassung eines Wechselstromwiderstands einer Phasenwicklung auskommt.

[0009] Die voranstehenden Aufgaben werden durch ein kennfeldgestütztes Kontrollverfahren mit den Schritten des Anspruchs 1 und ein Erzeugungsverfahren für das Kennfeld mit den Schritten des Anspruchs 11 gelöst, wobei beide Verfahren sich gegenseitig bedingen und im Folgenden zwar zunächst getrennt voneinander betrachtet, jedoch nicht notwendigerweise getrennt voneinander, sondern auch teilweise und/oder zeitweise integriert ausgeführt werden können. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der Beschreibung. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen kennfeldgestützten Kontrollverfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Erzeugungsverfahren für das Kennfeld, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird bzw. werden kann.

[0010] Erfindungsgemäß ist ein Kontrollverfahren zur Kontrolle eines Betriebs einer drehenden elektrischen Maschine basierend auf einem Kennfeld vorgesehen. Hierzu umfasst das Kontrollverfahren folgende Schritte: Erfassen von gemessenen Betriebsparametern in einem Betrieb der drehenden elektrischen Maschine; Auslesen von hinterlegten Betriebsparametern aus einem Kennfeld, die den erfassten Betriebsparametern zugeordnet sind, wobei das Kennfeld in Verhältnismäßigkeiten von zugeordneten Betriebsparametern einen vorbestimmten Wechselstromwiderstand einer Phasenwicklung berücksichtigt; und Einstellen von Betriebsparametern an der drehenden elektrischen Maschine auf die ausgelesenen Betriebsparameter, wobei die einzustellenden Betriebsparameter einen Phasenstrom und/oder eine Phasenspannung einer Phasenwicklung umfassen.

[0011] Ferner ist erfindungsgemäß ein Erzeugungsverfahren zur Erzeugung eines Kennfelds zum Kontrollieren eines Betriebs einer drehenden elektrischen Maschine vorgesehen, wobei das Kennfeld einen variablen Wechselstromwiderstand von wenigstens einer Phasenwicklung berücksichtigt. Hierzu weist das Erzeugungsverfahren folgende Schritte auf: Messen von wenigstens einer Referenztemperatur in einem im Wesentlichen lastfreien Leerlaufbetrieb der drehenden elektrischen Maschine; Messen eines Gleichstromwiderstands von wenigstens einer Phasenwicklung bei anliegender Leerlaufspannung unter Zuordnung der gemessenen Referenztemperatur; Bestimmen einer temperaturabhängigen Funktion des Gleichstromwiderstands der wenigstens einen Phasenwicklung basierend auf wenigstens einem Messwert bei der wenigstens einen Referenztemperatur; Bestimmen einer temperaturabhängigen Funktion einer induzierten Spannung an der wenigstens einen Phasenwicklung; Bestimmen einer temperaturabhängigen Funktion einer Referenz-Flussverkettung basierend auf der vorbestimmten Funktion der induzierten Spannung; Messen einer Spannung jeweils in Bezug zu einer d-Achse und einer q-Achse der drehenden elektrischen Maschine in einem Betrieb der drehenden elektrischen Maschine unter einer Betriebslast; Messen eines Stroms jeweils in Bezug zu der d-Achse und der q-Achse der drehenden elektrischen Maschine in dem Betrieb; Messen einer Drehzahl oder einer rotationsabhängigen elektrischen Frequenz in dem Betrieb; Messen eines Drehmoments in dem Betrieb; Messen einer Temperatur des Stators und/oder des Rotors in dem Betrieb; Berechnen einer Induktanz jeweils in Bezug zu der d-Achse und der q-Achse der drehenden elektrischen Maschine basierend auf den gemessenen Größen; Berechnen eines Gesamtwiderstands der wenigstens einen Phasenwicklung basierend auf den gemessenen und berechneten Größen; Berechnen des Wechselstromwiderstands der wenigstens einen Phasenwicklung basierend auf dem Gesamtwiderstand und dem temperaturabhängigen Gleichstromwiderstand; und Erzeugen und Speichern eines Kennfeldes, das ein Verhältnis eines Phasenstroms, einer Phasenspannung und des berechneten Wechselstromwiderstands der wenigstens einen Phasenwicklung berücksichtigt.

[0012] Wahlweise erfolgen Schritte des erfindungsgemäßen Erzeugungsverfahrens zu dem Zwecke einer Initiierung eines Kennfelds zeitlich vorgelagert zu dem Kontrollverfahren. Alternativ erfolgen Schritte des erfindungsgemäßen Erzeugungsverfahrens zu dem Zwecke einer Kalibrierung des Kennfelds oder einer Aktualisierung von Kennfeldparametern während eines Betriebs des erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens oder auch anhand gespeicherter Werte zeitlich nachgelagert zu dem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren. Die erfindungsgemäße Verfahrenstechnik ermöglicht mehrere Vorteile und daraus vorteilhafte Wirkungen.

[0013] Die genaue Bestimmung und Einbeziehung der Komponente des Wechselstromwiderstands ermöglicht den Vorteil der Erzielung einer verbesserten Effizienz. Eine elektrische Leistungszufuhr an der drehenden elektrischen Maschine wird demnach sowohl mittels einer temperaturgeführten als auch genaueren widerstandsgeführten Einstellung des Phasenstroms und der Phasenspannung optimiert. Bei der Modulierung und Einstellung der zugeführten leistungsrelevanten Parameter, wie ein Verhältnis von Phasenstrom und Phasenspannung, kann auf eine Variabilität von Widerstandswerten in der Maschine aufgrund von Einflüssen, wie schwankenden Lastzustände und Temperaturschwankungen, die insbesondere in mobilen Anwendungen und an Traktionsmotoren von Fahrzeugen charakteristisch sind, schnell reagiert und nachgeführt werden.

[0014] Genauer genommen, kann aufgrund der Reaktionsfähigkeit auf variable Widerstandswerte sowie eine genauere Bestimmung derselben eine einzustellende Phasenspannung näher an einen vorbestimmten obere Grenzspannung herangeführt werden, ohne dass am Stator Schäden durch unkontrollierte Entladungen von kritischen Überspannung und Isolationsbeschädigung auftreten. Durch die Nutzung höherer Phasenspannungen im Vergleich zu herkömmlichen Steuerungen können bei gleicher angeforderter Leistung niedrigere Phasenströme eingestellt werden, wodurch eine Blindleistung bzw. Leistungsverluste durch Ohm'sche Widerstände der Maschine sowie ein durch die zugeführte Leistung bewirkter Wärmeeintrag gesenkt werden.

[0015] In letzterem Anwendungsfall eines elektrischen Traktionsmotors eines Fahrzeugs wirkt sich die auf erfindungsgemäße Weise gesteigerte Effizienz besonders vorteilhaft auf eine Vergrößerung der Reichweite des Fahrzeugs aus.

[0016] Thermisch bedingt kann aufgrund der Verringerung des durch die zugeführte Leistung bewirkten Wärmeeintrags eine für den konstanten Dauerbetrieb maßgebliche Nennleistung eines elektrischen Antriebs angehoben werden.

[0017] Des Weiteren kann durch die Nutzung höherer Phasenspannungen eine zur Abdeckung von vorübergehenden Belastungsspitzen, wie Beschleunigungen oder Bergfahrten maßgebliche Maximalleistung eines elektrischen Antriebs gesteigert und verlängert werden.

[0018] Ferner wirkt sich die erfindungsgemäß optimierte Berechnung und Reaktionsmöglichkeit durch sensiblere Temperaturführung und Widerstandsbestimmung im Betrieb vorteilhaft auf eine Drehmomentwelligkeit eines elektrischen Antriebs, d.h. einen vibrationsärmeren Lauf desselben aus.

[0019] Eine geringere thermische Belastung aufgrund der im Vergleich zu herkömmlichen Steuerungen gesenkten Phasenströme, spiegelt sich ebenso in einem verringerten Wärmeeintrag auf eine dem elektrischen Antrieb vorgelagerte Leistungselektronik zur Energieumformung, d.h. einen Umrichter wie z.B. einen IGBT wieder, einschließlich der bereits erläuterten vorteilhaften Wirkungen bezüglich der Effizienz, sowie der an dem Inverter umsetzbaren Nennleistung und Maximalleistung.

[0020] Ein weiterer Vorteil gegenüber dem Stand der Technik besteht darin, dass die erfindungsgemäße Verfahrenstechnik auf Basis der Sensorik und Hardware umsetzbar ist, mit denen ein elektrischer Antrieb üblicherweise ausgestattet ist. Dabei ist insbesondere keine zusätzliche messtechnische Vorrichtung zur Erfassung des Wechselstromwiderstands einer Phasenwicklung erforderlich, da dieser in Abhängigkeit aller herkömmlich verfügbaren Parameter einschließlich Messungen von Temperatur, Strom, Spannung, Drehzahl, Drehmoment und Gleichstromwiderstand berechnet und als vorbestimmter Parameter in einem Kennfeld abgelegt wird.

[0021] Zudem kann die erfindungsgemäß verbesserte Genauigkeit in der Bestimmung eines realen Widerstands einer Phasenwicklung in vorteilhafterweise in weiteren Anwendungen weiterverarbeitet werden, wie beispielsweise durch Überwachung und Aufzeichnung des Zustands der Statorwicklung im Rahmen einer prädikativen Instandhaltung oder der Erstellung eines Fehlerprotokolls.

[0022] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0023] Wie im Zusammenhang mit den Randbedingungen zur Einstellung der Phasenspannungen erwähnt, ist es von Vorteil, wenn der Phasenstrom derart kontrolliert wird, dass eine Phasenspannung eine zulässige Maximalspannung nicht überschreitet. Ebenso ist es vorteilhaft, wenn der Phasenstrom derart kontrolliert wird, dass eine Phasenspannung unterhalb der zulässigen Maximalspannung an diese angenähert und nachgeführt wird. Durch die erhöhte Genauigkeit der erfindungsgemäßen Bestimmung von Widerstandswerten, insbesondere einer Komponente des Wechselstromwiderstands an den Phasenwicklungen, kann, trotz einer engeren Annäherung der Phasenspannung an eine zulässige Maximalspannung, ein Überschreiten derselben auch in einem dynamischen Betriebsverlauf effektiv unterdrückt werden.

[0024] Wie bereits erwähnt, besteht ein Anwendungsfall mit hoher Leistungsdichte, bei der sich die genannten Vorteile besonders positiv auswirken, bei der Umsetzung des Kontrollverfahrens und ggf. auch des Erzeugungsverfahrens in einem Fahrzeug, welches die drehende elektrische Maschine als Traktionsmotor umfasst. Hierbei kann die erfindungsgemäße Verfahrenstechnik mittels einer CPU an Board bzw. inline durchgeführt werden.

[0025] Ein weiterer vorteilhafter Anwendungsfall, in dem auch komplexere Aufgaben sowie Testreihen für die Entwicklung und herstellereitige Initialisierung des Kennfelds mittels stationärer, höherer Rechenleistung online durchgeführt werden können, besteht in einer Umsetzung des Erzeugungsverfahrens und ggf. des Kontrollverfahrens an einem Prüfstand für einen Prüfbetrieb eines Fahrzeugs oder einer drehenden elektrischen Maschine bzw. elektrischen Motors.

[0026] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des Kontrollverfahrens besteht näher im Detail darin, dass der in dem Kennfeld berücksichtigte Wechselstromwiderstand basierend auf einer temperaturabhängigen Messung eines Gleichstromwiderstands in einem Leerlaufbetrieb der drehenden elektrischen Maschine, in dem der Stator vorübergehend von einer Leistungszufuhr getrennt ist, also bei einem Leerlaufbetrieb kein Strom fließt und auf einer Messung von Temperatur, Strom, Spannung, Drehzahl oder rotationsabhängiger Frequenz und Drehmoment in einem Lastbetrieb der drehenden elektrischen Maschine bestimmt wird. Insbesondere kann vorteilhafterweise das in dem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren verwendete Kennfeld durch das erfindungsgemäße Erzeugungsverfahren bereitgestellt und durch dieses kalibriert oder fortlaufend aktualisiert werden.

[0027] Für die Genauigkeit der Bestimmung des temperaturabhängigen Wechselstromwiderstands einer Phasenwicklung ist es von Vorteil, wenn das Messen der wenigstens einen Referenztemperatur in dem Leerlaufbetrieb eine Temperatur des Stators und eine Temperatur des Rotors umfasst. Dabei kann vorteilhafterweise das Bestimmen der temperaturabhängigen Funktion des Gleichstromwiderstands die Temperatur des Stators umfassen, und das Bestimmen der temperaturabhängigen Funktionen der induzierten Spannung sowie der Referenz-Flussverketzung die Temperatur des Rotors umfassen.

[0028] Gemäß einer vorteilhaften messtechnischen Ausgestaltung kann das Messen der wenigstens einen Referenztemperatur in dem Leerlaufbetrieb wenigstens zwei Referenztemperaturen umfassen. Hierbei ist es ebenfalls von Vorteil und bedarfsgerecht, wenn das Messen der wenigstens einen Referenztemperatur in dem Leerlaufbetrieb eine Referenztemperatur innerhalb eines bevorzugten Betriebstemperaturbereichs umfasst.

[0029] Für die Genauigkeit der Messungen der wenigstens einen Referenztemperatur ist es von Vorteil, wenn der Stator der drehenden elektrischen Maschine in dem Leerlaufbetrieb vorübergehend von der Leistungszufuhr getrennt wird.

[0030] Um auch Zustandsänderungen der Maschine über die Lebensdauer berücksichtigen zu können, ist es von Vorteil, wenn der in dem Kennfeld berücksichtigte, variable Wechselstromwiderstand basierend auf zumindest den Messungen in dem Leerlaufbetrieb fortlaufend kalibriert wird.

[0031] Wie bereits erläutert, ist es für eine Umsetzung der erfindungsgemäßen Verfahrenstechnik ohne dem Erfordernis zusätzlicher Sensorik von Vorteil, wenn die die Messung von Temperatur, Strom, Spannung, Drehzahl oder rotationsabhängiger Frequenz und Drehmoment sowie die Berechnungen der Induktanz, des Gesamtwiderstands und/oder des Wechselstrom-Widerstands im Betrieb der drehenden elektrischen Maschine in Echtzeit umgesetzt und in dem Verfahren verarbeitet werden.

[0032] Um Zustandsänderungen in der Maschine stets im Betrieb berücksichtigen zu können, ist es von Vorteil, wenn der in dem Kennfeld berücksichtigte, variable Wechselstromwiderstand basierend auf den in Echtzeit umgesetzten und in dem Verfahren verarbeiteten Messungen und Berechnungen fortlaufend aktualisiert wird.

[0033] In einer vorteilhaften Ausgestaltung kann das Messen der Rotortemperatur durch eine berührungslose infrarotbasierte Messtechnik oder durch eine auf virtueller Sensorik basierenden Messtechnik umgesetzt werden.

[0034] In einer vorteilhaften Integration, insbesondere zur fortlaufenden Kalibrierung oder Aktualisierung von Parametern des Kennfelds im Betrieb, können Schritte des erfindungsgemäßen Erzeugungsverfahrens und Schritte des Kontrollverfahrens zumindest teilweise und/oder zeitweise überschneidend oder zeitgleich, und in zumindest teilweise getrennter oder wechselseitiger Folge integriert ausgeführt werden. Beispielsweise können zu einer Kalibrierung dienliche Schritte des Erzeugungsverfahrens während des Kontrollverfahrens in einem Leerlaufbetrieb vor jeder Inbetriebnahme der drehenden elektrischen Maschine oder separat vorab herstellerseitig auf einem Prüfstand durchgeführt werden. Ebenso können zu einer Aktualisierung von Parametern dienliche Schritte des Erzeugungsverfahrens vor oder nach jeder Inbetriebnahme oder im Betrieb der drehenden elektrischen Maschine durchgeführt werden. Damit bringen die verschiedenen teilweise oder vollständig integrierten Varianten der erfindungsgemäße Verfahrenstechnik die gleichen Vorteile mit sich, wie sie zuvor in getrennter Betrachtung des Kontrollverfahrens und des Erzeugungsverfahrens ausführlich erläutert worden sind.

[0035] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnung, Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein. Es zeigt schematisch:

[0036] Fig. 1 Ein Blockschaltbild einer Kontrollvorrichtung, die das Kontrollverfahren für eine drehende elektrische Maschine gemäß einer Ausführungsform der Erfindung umsetzt;

[0037] Fig. 2 Ein Blockschaltbild einer Kontrollvorrichtung, die zusätzlich zu dem Kontrollverfahren auch das Erzeugungsverfahren für das Kennfeld gemäß einer Ausführungsform der Erfindung umsetzt.

[0038] In der vorliegenden Offenbarung ist der Begriff Kontrollieren bzw. Kontrolle derart definiert, dass er das technische Verständnis eines Steuerns bzw. einer Steuerung und/oder eines Regeln bzw. einer Regelung umfasst.

[0039] Der Begriff einer drehenden elektrischen Maschine ist in der vorliegenden Offenbarung derart definiert, dass er sowohl elektrische Antriebe, wie insbesondere Elektromotoren oder auch Generatoren umfasst.

[0040] Ferner ist in der vorliegenden Offenbarung der Begriff Kennfeld K derart definiert, dass er eine digitale Nachschlagtabelle zu Verhältnismäßigkeiten von Betriebsparametern, eine Kennlinie in einem zweidimensionale Diagramm, eine Fläche oder eine Werte Schaar in einem dreidi-

mensionalen oder mehrdimensionalen Raum oder dergleichen umfasst, sodass sich anhand erfasster Parameter entsprechend zugeordnete, vorbestimmte und hinterlegte Parameter auslesen lassen.

[0041] Außerdem ist in der vorliegenden Offenbarung der Begriff Wechselstromwiderstand $R_{(s, AC)}$ derart definiert, dass er das technische Verständnis einer Impedanz umfasst, und eine Komponente eines realen Widerstands einer Phasenwicklung darstellt, wobei sich ein dem realen Widerstand entsprechender Gesamtwiderstand $R_{(s)}$ aus der Summer des Wechselwiderstands $R_{(s, AC)}$ und eines temperaturabhängigen Gleichstromwiderstands $R_{(s, DC)}$ der Phasenwicklung ergibt.

[0042] Die erfindungsgemäße Verfahrenstechnik ist in der nachfolgenden Ausführungsform in einer Kontrollvorrichtung 10, wie z.B. einem Mikrocontroller für eine drehende elektrische Maschine, wie insbesondere einem elektrischen Traktionsmotor für ein Fahrzeug implementiert. Abgesehen davon, kann die erfindungsgemäße Verfahrenstechnik ebenso als Software auf einem Computer, wie insbesondere einem Rechner eines Prüfstands für Fahrzeuge oder jeglichen anderen Anwendungen zur Kontrolle eines elektrischen Antriebs oder Generators verwirklicht sein und ggf. auf einem geeigneten Datenträger hinterlegt sein.

[0043] In Fig. 1 ist eine Kontrollvorrichtung 10 bzw. ein Controller dargestellt, in dem mehrere funktionale Module zur Ausführung ähnlicher Verfahrensschritte implementiert sind. So weist die Kontrollvorrichtung 10 ein Speichermodul 20 mit einem gespeicherten Kennfeld K, ein Erfassungsmodul 30, ein Auslesemodul 40 und ein Einstellmodul 50 auf.

[0044] Die Kontrollvorrichtung 10 dient in dem Kontext einer Systemumgebung des Ausführungsbeispiels eines elektrischen Antriebs dazu, durch Ausgabe von Befehlssignalen zu einer Leistungselektronik, d.h. einem Umrichter wie einem IGBT, Einstellbefehle vorzugeben und somit eine Leistungsumformung zwischen einer elektrischen Leistungszufuhr und einem Motor zu kontrollieren bzw. zu steuern und regeln. Demnach gibt die Kontrollvorrichtung 10 eine Leistungsansteuerung von Phasenwicklungen an einem Stator des Motors vor. Die Leistungsansteuerung kann je nach Ausgestaltung und Phasenanzahl des Motors beispielsweise als eine Modulation eines 3- oder 6-phasigen Drehstroms unter Steuerung und Regelung eines zeitlich variablen Verhältnisses von zugeführtem Strom und Spannung an jeder Phase erfolgen.

[0045] Die Kontrollvorrichtung 10 gibt einerseits über das Einstellmodul 50 an die Leistungselektronik Einstellsignale mit Sollwerten zur Einstellung der Leistung, wie insbesondere Strom und Spannung der zugeführten Leistung an einer oder jeder Phasenwicklung aus. Andererseits nimmt die Kontrollvorrichtung 10 über das Erfassungsmodul 30 von Motorsensoren Messsignale mit Istwerten von Betriebsparametern, wie Strom und Spannung an einer oder jeder Phasenwicklung, einer Drehzahl und Drehmoment, Temperaturen von Stator und Rotor usw. auf. Dabei ist zumindest für die Messung bzw. Erfassung der Rotortemperatur eine berührungslose Messtechnik mittels eines Infrarot-Temperatursensors vorgesehen.

[0046] Das Auslesemodul 40 steht mit dem Speichermodul 20 in Kommunikation, um auf das abgespeicherte Kennfeld K zuzugreifen. Hierzu ruft das Auslesemodul 40 die von dem Erfassungsmodul 30 erfassten Messwerte der Motorsensoren ab und orientiert sich anhand der Messwerte entlang einer Kennlinie oder an sonstigen zwei-, drei-, oder mehrdimensionalen Verhältnismäßigkeiten und liest Wertepaare oder Wertesätze aus, die den erfassten Messwerten zugeordnet sind.

[0047] Das Kennfeld K umfasst insbesondere Spannungswerte, wie eine Grenzspannung bzw. ein zulässiger Maximalwert der Phasenspannung U in Abhängigkeit eines veränderlichen Gesamtwiderstands $R_{(s)}$ einer Phasenwicklung, und den Spannungswerten zugeordnete Stromwerte, wie ein Sollwert des Phasenstroms I , der im Rahmen einer angeforderten Leistung einer von unten an die Grenzspannung angenäherten Phasenspannung I entspricht.

[0048] Erfindungswesentlich ist hierbei, dass zur höheren Genauigkeit in einer vorab geleisteten Bestimmung einer widerstandsabhängigen Verhältnismäßigkeit von zugeordneten Werten in dem Kennfeld, ein Wechselstromwiderstand $R_{(s, AC)}$ von einer oder jeder Phasenwicklung mit be-

rücksichtigt ist. Dabei wird der Wechselstromwiderstand $R_{(s, AC)}$ nicht mittels Sensor gemessen bzw direkt erfasst, sondern aus anderen direkt erfassbaren Messwerten vorbestimmt, wie später beschrieben wird. Ferner fließt der vorbestimmte Wechselstromwiderstand $R_{(s, AC)}$ als eine Komponente neben einer weiteren Komponente eines temperaturabhängigen und materialspezifischen Gleichstromwiderstands $R_{(s, DC)}$ in Summe in den Wert eines Gesamtwiderstands $R_{(s)}$ einer Phasenwicklung ein. Der so berechnete Gesamtwiderstand $R_{(s)}$ reicht mit hoher Genauigkeit an den realen Widerstand der Phasenwicklung im Betrieb des Motors heran und wird in der Verhältnismäßigkeit zugeordneter Werte in dem Kennfeld K zugrunde gelegt. Bei einer Leistungsansteuerung auf Basis der im Kennfeld K enthaltenen Wertesätze, werden die Phasenströme und die resultierenden Phasenspannungen nahe an die entsprechend genau bestimmte zulässige Grenzspannung einer Phasenwicklung herangeführt, welche direkt von dem im Kennfeld K dargestellten Widerstand der Phasenwicklung abhängt.

[0049] Das Auslesemodul 40 liest die im Kennfeld K zugeordneten Werte zu den erfassten Messwerten aus dem Speichermodul 20 aus und übergibt diese an das Einstellmodul 50. Das Einstellmodul 50 erstellt Einstellsignale, welche die ausgelesenen Werte als Sollwerte enthalten und gibt diese als Einstellbefehle an die Leistungselektronik aus, welche die Leistungszufuhr entsprechend den Sollwerten der Leistungsansteuerung, wie insbesondere Phasenstrom I und Phasenspannung U umformt und an den Phasenwicklungen zuführt.

[0050] Als regelungstechnische Rückkopplung nimmt die Kontrollvorrichtung 10 laufend die Messwerte der Motorsensoren, wie u.a. Temperaturen und Gleichstromwiderstand $R_{(s, DC)}$ im Betrieb des Motors auf, um eine gewünscht enge Nachführung der Phasenspannung U an die temperaturabhängigen Abweichungen der widerstandsabhängigen zulässigen Grenzspannung permanent anzupassen.

[0051] Nachstehend wird mit Bezug auf Fig. 2 eine Erzeugung des Kennfelds K näher beschrieben, die in der dargestellten Ausführungsform anhand zusätzlicher in der Kontrollvorrichtung 10 integrierter Module implementiert ist. Abgesehen davon, kann die Erzeugung, insbesondere zur erstmaligen Bereitstellung des Kennfelds K für die Kontrollvorrichtung 10 ebenso als Software auf einem herstellerseitigen Rechner eines Prüfstands für Fahrzeuge oder dergleichen realisiert werden.

[0052] Fig. 2 zeigt eine erweiterte Kontrollvorrichtung 10 bzw. einen Controller, der zu den beschriebenen Modulen aus Fig. 1 zusätzlich ein Bestimmungsmodul 60, ein Berechnungsmodul 70 und ein Erzeugungsmodul 80 umfasst.

[0053] Das Bestimmungsmodul 60 erlangt von dem Erfassungsmodul 30 bestimmte Messwerte von den Motorsensoren, die vorzugsweise in einem Leerlaufbetrieb, d.h. ohne eine Antriebslast und in einem entmagnetisierten Zustand des Stators gemessen werden. Hierbei werden Klemmen des Stator vorübergehend von einem Umrichter der Leistungszufuhr getrennt. Die Messwerte, welche das Bestimmungsmodul 60 zur weiteren Bestimmung anfordert, umfassen mehrere temperaturabhängige Gleichstromwiderstandswerte $R_{(s, DC)}$ einer oder jeder Phasenwicklung bei mehreren zugeordneten Referenztemperaturen T_{ref} , die sowohl am Stator als auch am Rotor zeitgleich erfasst werden.

[0054] Basierend auf den erlangten Messwerten bestimmt das Bestimmungsmodul 60 eine mathematische Funktion eines Verlaufs des Gleichstromwiderstands $R_{(s, DC)}$ in Abhängigkeit der Temperatur von einer oder jeder Phasenwicklung. Ferner bestimmt das Bestimmungsmodul 60 eine mathematische Funktion $F(t)$ eines Verlaufs einer induzierten Spannung U_i in Abhängigkeit der Temperatur. Danach bestimmt das Bestimmungsmodul 60 basierend auf der Funktion $F(t)$ der temperaturabhängigen induzierten Spannung U_i eine mathematische Funktion $F(t)$ eines Verlaufs einer Referenz-Flussverkettung $\Phi_{(ref)}$ in Abhängigkeit der Temperatur. Danach übergibt die Bestimmungsvorrichtung 60 die Funktion $F(t)$ des temperaturabhängigen Gleichstromwiderstands $R_{(s, DC)}$, die Funktion $F(t)$ der temperaturabhängigen induzierten Spannung U_i und die Funktion $F(t)$ der temperaturabhängigen Referenz-Flussverkettung $\Phi_{(ref)}$ für weitere Berechnungen basierend auf Betriebsparametern, d.h. Messwerten im Lastbetrieb des Motors an das Berechnungsmodul 70.

[0055] Das Berechnungsmodul 70 erlangt von dem Erfassungsmodul 30 direkt oder indirekt über das Bestimmungsmodul 60 bestimmte Betriebsparameter, d.h. Messwerten, die von den Motorsensoren im Betrieb, insbesondere Lastbetrieb des Motors gemessen werden. Die Messwerte, welche Berechnungsmodul 70 zur weiteren Berechnung anfordert, umfassen jeweils eine Spannung U_d und U_q in Bezug zu der d-Achse und der q-Achse des Motors, jeweils einen Strom i_d und i_q in Bezug zu der d-Achse und der q-Achse des Motors, eine Drehzahl in Form einer elektrischen Frequenz ω_e im Verhältnis zu einer Rotationsgröße, ein Drehmoment M, sowie die Temperatur T des Stators und der Rotors.

[0056] Basierend auf den erlangten Messwerten berechnet das Berechnungsmodul 70 jeweils eine Induktanz in Bezug zu der d-Achse und der q-Achse des Motors und einen Gesamtwiderstand $R(s)$ von einer oder jeder Phasenwicklung. Danach berechnet das Berechnungsmodul 70 den Wechselstromwiderstand $R(s, AC)$ der einen oder jeder Phasenwicklung basierend auf dem Gesamtwiderstand $R(s)$ und dem temperaturabhängigen Gleichstromwiderstands $R(s, DC)$ und übergibt den berechneten Wechselstromwiderstand $R(s, AC)$ an das Erzeugungsmodul 80.

[0057] Das Erzeugungsmodul 80 erzeugt das zuvor näher beschriebene Kennfeld K, in dessen Verhältnismäßigkeiten von Temperaturen und zugeordneten Wertesätzen der zuvor berechnete Wechselstromwiderstand $R(s, AC)$ von einer oder jeder Phasenwicklung berücksichtigt ist, und übergibt das Kennfeld K an das Speichermodul 20, d.h. speichert es in diesem ab.

[0058] In einer alternativen Ausführungsform werden die Messungen der Motorsensoren für die Berechnungen des Berechnungsmoduls 70 über eine Lebensdauer des Motors hinweg regelmäßig oder in Reaktion auf Abweichungen wiederholt, um das Kennfeld K zu aktualisieren.

[0059] In einer alternativen Ausführungsform werden auch der Leerlaufbetrieb und die Messungen der Motorsensoren für die Bestimmungen des Bestimmungsmoduls 60 über eine Lebensdauer des Motors hinweg regelmäßig oder in Reaktion auf Abweichungen wiederholt, um die Ausgangsparameter der Berechnungsgrundlage zu kalibrieren.

[0060] In näherer Erläuterung zu den Messungen im Leerlaufbetrieb für die Bestimmungen des Bestimmungsmoduls 70 werden zur Erstellung der temperaturabhängigen Parameterverläufe vorzugsweise mehrere Messpunkte sowie darunter auch Messpunkte an Grenzwerten zulässiger Temperaturen genommen, sodass vorzugsweise eine Interpolation anstelle einer Extrapolation von Messwerten zur Erstellung der temperaturabhängigen Parameterverläufe erfolgen kann. Dabei liegt wenigstens ein Messpunkt im Bereich eines üblichen Betriebstemperaturbereichs des Motors.

[0061] In näherer Erläuterung zu den einzelnen Schritten des Bestimmungsmoduls 70 erfolgt die Bestimmung der temperaturabhängigen Funktion $F(t)$ der induzierten Spannung U_i zur Verbesserung der Genauigkeit basierend auf der Temperatur des Rotors. Die Bestimmung der temperaturabhängigen $F(t)$ des Gleichstromwiderstands $R(s, DC)$ erfolgt zur Verbesserung der Genauigkeit basierend auf Temperatur des Stators umfasst. Die Bestimmung der temperaturabhängigen Funktion $F(t)$ der Referenz-Flussverkettung Φ_{ref} erfolgt zur Verbesserung der Genauigkeit basierend auf der Temperatur des Rotors.

[0062] In näherer Erläuterung zu den einzelnen Berechnungsschritten des Berechnungsmoduls 80, werden folgende physikalische Zusammenhänge und mathematische Verhältnismäßigkeiten der beteiligten Größen zugrunde gelegt.

[0063] Die Referenz-Flussverkettung, die im nachfolgenden Beispiel eine permanentmagnetische Referenz-Flussverkettung $\Phi_{PM, ref}$ ist, steht zu der induzierten Spannung U_i in folgendem Verhältnis:

$$\Phi_{PM, ref}(T) = U_i(T) / \omega_e$$

[0064] Die gemessenen Spannungen stehen zu der Induktanz (L_d, L_q) in folgenden Verhältnissen:

$$U_q = R_s i_q + \Phi_{PM, ref} \omega_e + L_d i_d \omega_e \text{ und}$$

$$U_d = R_s i_d - L_q i_q \omega_e.$$

[0065] Das gemessene Drehmoment steht zu der Induktanz (L_d , L_q) in folgendem Verhältnis:

$$M = \frac{m}{2} p [\Phi_{PM,ref} + (L_d - L_q) i_d] i_q.$$

[0066] Der Gesamtwiderstand $R_-(s)$ steht zu den gemessenen und berechneten Größen in folgendem Verhältnis:

$$R_s = (U_q - U_i(T) - X i_d \omega_e + \frac{U_d i_d}{i_q}) / (i_q + i_d^2 / i_q),$$

wobei folgende Substitution enthalten ist:

$$X = (L_d - L_q) = \frac{M - \frac{m}{2} p \Phi_{PM,ref}(T)}{\frac{m}{2} p i_d i_q}.$$

[0067] Schließlich steht der Wechselstromwiderstand $R_-(s, AC)$ zu dem Gesamtwiderstand $R_-(s)$ in folgendem Verhältnis:

$$R_{s,AC} = R_s - R_{s,DC}(T).$$

[0068] Die voranstehenden Erläuterungen der Ausführungsformen beschreiben die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen. Selbstverständlich können einzelne Merkmale der Ausführungsformen, sofern technisch sinnvoll, frei miteinander kombiniert werden, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

BEZUGSZEICHENLISTE

10	Kontrollvorrichtung
20	Speichermodul
30	Erfassungsmodul
40	Auslesemodul
50	Einstellmodul
60	Bestimmungsmodul
70	Berechnungsmodul
80	Erzeugungsmodul
K	Kennfeld
i_d	d-Achsen-Strom [A]
i_q	q-Achsen-Strom [A]
U_d	d-Achsen-Spannung [V]
U_q	q-Achsen-Induktanz [V]
L_d	d-Achsen-Induktanz [H]
L_q	q-Achsen-Induktanz [H]
ω_e	elektrische Frequenz [rad/s]
$R(s)$	Gesamtwiderstand einer Wicklung [Ohm]
$R(s, DC)$	Gleichstromwiderstand einer Wicklung [Ohm]
$R(s, AC)$	Wechselstromwiderstand einer Wicklung [Ohm]
U	Phasenspannung bzw. Anschlussspannung [V]
U_i	induzierte Spannung [V]
M	Drehmoment [Nm]
p	Anzahl von Polpaaren
m	Anzahl von Phasen
K_T	Koeffizient der Induktion
T_{max}	Maximaltemperatur eines Rotors oder ggf. Permanentmagnets [k]
T_{ref}	Referenztemperatur eines Rotors oder ggf. Permanentmagnets [k]
$\emptyset_{(ref)}$	Referenz-Flussverkettung [Wb]
$\emptyset_{(PM, ref)}$	permanentmagnetische Referenz-Flussverkettung [Wb]

Patentansprüche

1. Kontrollverfahren zur Kontrolle eines Betriebs einer drehenden elektrischen Maschine basierend auf einem Kennfeld (K), aufweisend die Schritte:
Erfassen von gemessenen Betriebsparametern in einem Betrieb der drehenden elektrischen Maschine;
Auslesen von hinterlegten Betriebsparametern aus einem Kennfeld (K), die den erfassten Betriebsparametern zugeordnet sind, wobei das Kennfeld (K) in Verhältnismäßigkeiten von zugeordneten Betriebsparametern einen vorbestimmten Wechselstromwiderstand ($R_{(s, AC)}$) einer Phasenwicklung berücksichtigt; und
Einstellen von Betriebsparametern an der drehenden elektrischen Maschine auf die ausgelesenen Betriebsparameter, wobei die einzustellenden Betriebsparameter einen Phasenstrom (I) und/oder eine Phasenspannung (U) einer Phasenwicklung umfasst.
2. Kontrollverfahren nach Anspruch 1, wobei der Phasenstrom derart kontrolliert wird, dass eine Phasenspannung (U) eine zulässige Maximalspannung nicht überschreitet.
3. Kontrollverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Phasenstrom (I) derart kontrolliert wird, dass eine resultierende Phasenspannung (U) unterhalb der zulässigen Maximalspannung an diese angenähert und nachgeführt wird.
4. Kontrollverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Kontrollverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche in einem Fahrzeug, welches die drehende elektrische Maschine als Traktionsmotor umfasst, umgesetzt wird.
5. Kontrollverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Kontrollverfahren an einem Prüfstand für einen Prüfbetrieb der drehende elektrischen Maschine umgesetzt wird.
6. Kontrollverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der in dem Kennfeld berücksichtigte Wechselstromwiderstand ($R_{(s, AC)}$) basierend auf einer temperaturabhängigen Messung eines Gleichstromwiderstands ($R_{(s, DC)}$) in einem Leerlaufbetrieb der drehenden elektrischen Maschine, in dem der Stator vorübergehend von einer Leistungszufuhr getrennt ist, und auf einer Messung von Temperatur, Strom, Spannung, Drehzahl oder rotationsabhängiger Frequenz und Drehmoment in einem Lastbetrieb der drehenden elektrischen Maschine bestimmt ist.
7. Kontrollverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Kennfeld gemäß einem Erzeugungsverfahren nach einem der nachfolgenden Ansprüche 11 bis 27 erzeugt ist.
8. Kontrollverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in dem Kennfeld (K) zu jeder Phasenwicklung der drehenden elektrischen Maschine jeweils eine Kennlinie unter Berücksichtigung des vorbestimmten Wechselstromwiderstands ($R_{(s, AC)}$) der Phasenwicklung zugeordnet ist, und der Phasenstrom (I) und/oder die Phasenspannung (U) von jeder Phasenwicklung in Abhängigkeit der jeweils zugeordneten Kennlinie in dem Kennfeld (K) kontrolliert wird.
9. Kontrollverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei zu jeder Phasenwicklung der drehenden elektrischen Maschine jeweils ein Kennfeld (K) unter Berücksichtigung des vorbestimmten Wechselstromwiderstands ($R_{(s, AC)}$) der Phasenwicklung zugeordnet ist, und der und/oder die Phasenspannung (U) von jeder Phasenwicklung in Abhängigkeit des jeweils zugeordneten Kennfeldes (K) kontrolliert wird.
10. Kontrollverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Schritte des Kontrollverfahrens und Schritte des Erzeugungsverfahrens nach einem der nachfolgenden Ansprüche zumindest teilweise und/oder zeitweise überschneidend oder zeitgleich, und in zumindest teilweise getrennter oder wechselseitiger Folge integriert ausgeführt werden.

11. Erzeugungsverfahren zur Erzeugung eines Kennfelds (K) zum Kontrollieren eines Betriebs einer drehenden elektrischen Maschine, wobei das Kennfeld (K) einen variablen Wechselstromwiderstand ($R_{(s, AC)}$) von wenigstens einer Phasenwicklung berücksichtigt, aufweisend die Schritte:
 - Messen von wenigstens einer Referenztemperatur (T_{ref}) in einem im Wesentlichen lastfreien Leerlaufbetrieb der drehenden elektrischen Maschine;
 - Messen eines Gleichstromwiderstands ($R_{(s, DC)}$) von wenigstens einer Phasenwicklung bei anliegender Leerlaufspannung unter Zuordnung der gemessenen Referenztemperatur (T_{ref});
 - Bestimmen einer temperaturabhängigen Funktion ($F(t)$) des Gleichstromwiderstands ($R_{(s, DC)}$) der wenigstens einen Phasenwicklung basierend auf wenigstens einem Messwert bei der wenigstens einen Referenztemperatur (T_{ref});
 - Bestimmen einer temperaturabhängigen Funktion ($F(t)$) einer induzierten Spannung (U_i) an der wenigstens einen Phasenwicklung;
 - Bestimmen einer temperaturabhängigen Funktion ($F(t)$) einer Referenz-Flussverkeftung ($\Phi_{(ref)}$) basierend auf der vorbestimmten Funktion ($F(t)$) der induzierten Spannung (U_i);
 - Messen einer Spannung (U_d, U_q) jeweils in Bezug zu einer d-Achse und einer q-Achse der drehenden elektrischen Maschine in einem Betrieb der drehenden elektrischen Maschine unter einer Betriebslast;
 - Messen eines Stroms (i_d, i_q) jeweils in Bezug zu der d-Achse und der q-Achse der drehenden elektrischen Maschine in dem Betrieb;
 - Messen einer Drehzahl oder einer rotationsabhängigen elektrischen Frequenz (ω_e) in dem Betrieb;
 - Messen eines Drehmoments (M) in dem Betrieb; und
 - Messen einer Temperatur (T) des Stators und/oder des Rotors in dem Betrieb;
 - Berechnen einer Induktanz (L_d, L_q) jeweils in Bezug zu der d-Achse und der q-Achse der drehenden elektrischen Maschine basierend auf den gemessenen Größen;
 - Berechnen eines Gesamtwiderstands ($R_{(s)}$) der wenigstens einen Phasenwicklung basierend auf den gemessenen und berechneten Größen;
 - Berechnen des Wechselstromwiderstands ($R_{(s, AC)}$) der wenigstens einen Phasenwicklung basierend auf dem Gesamtwiderstand ($R_{(s)}$) und dem temperaturabhängigen Gleichstromwiderstand ($R_{(s, DC)}$); und
 - Erzeugen und Speichern des Kennfeldes (K), das ein Verhältnis eines Phasenstroms (I), einer Phasenspannung (U) und des berechneten Wechselstromwiderstands $R_{(s, AC)}$ der wenigstens einen Phasenwicklung berücksichtigt.
12. Erzeugungsverfahren nach Anspruch 11, wobei das Messen der wenigstens einen Referenztemperatur (T_{ref}) in dem Leerlaufbetrieb eine Temperatur (T) des Stators und eine Temperatur (T) des Rotors umfasst.
13. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 12, wobei das Bestimmen der temperaturabhängigen Funktion ($F(t)$) des Gleichstromwiderstands ($R_{(s, DC)}$) die Temperatur (T) des Stators umfasst.
14. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei das Bestimmen der temperaturabhängigen Funktion ($F(t)$) der induzierten Spannung (U_i) die Temperatur (T) des Rotors umfasst.
15. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei das Bestimmen der temperaturabhängigen Funktion ($F(t)$) der Referenz-Flussverkeftung ($\Phi_{(ref)}$) die Temperatur (T) des Rotors umfasst.

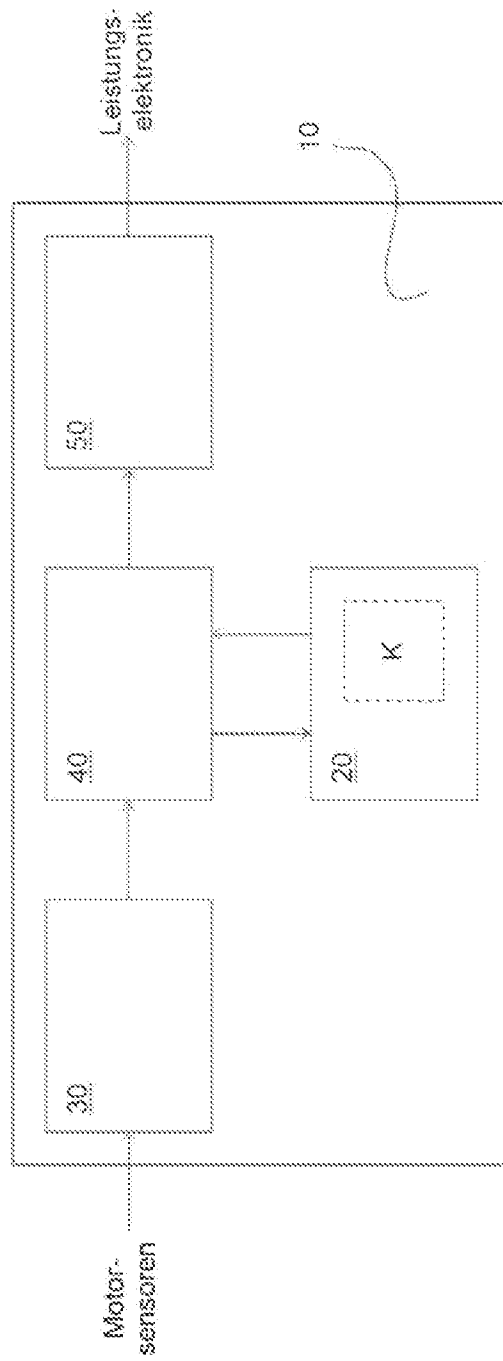
16. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15, wobei das Messen der wenigstens einen Referenztemperatur (T_{ref}) in dem Leerlaufbetrieb wenigstens zwei Referenztemperaturen umfasst.
17. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 16, wobei das Messen der wenigstens einen Referenztemperatur (T_{ref}) in dem Leerlaufbetrieb eine Referenztemperatur (T_{ref}) innerhalb eines bevorzugten Betriebstemperaturbereichs umfasst.
18. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 17, wobei der Stator der drehenden elektrischen Maschine in dem Leerlaufbetrieb vorübergehend von einer Leistungszufuhr getrennt wird.
19. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 18, wobei die wenigstens eine Phasenwicklungen zur Entmagnetisierung vorübergehend von einer Leistungszufuhr getrennt wird.
20. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 19, wobei der in dem Kennfeld (K) berücksichtigte, variable Wechselstromwiderstand ($R_{(s, AC)}$) basierend auf zumindest den Messungen in dem Leerlaufbetrieb fortlaufend kalibriert wird.
21. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 20, wobei die Messung von Temperatur, Strom, Spannung, Drehzahl oder rotationsabhängiger Frequenz und Drehmoment im Betrieb der drehenden elektrischen Maschine in Echtzeit umgesetzt und in dem Verfahren verarbeitet werden.
22. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 21, wobei die Berechnungen der Induktanz (L_d, L_q), des Gesamtwiderstands $R_{(s)}$ und/oder des Wechselstromwiderstands ($R_{(s, AC)}$) im Betrieb der drehenden elektrischen Maschine in Echtzeit umgesetzt und in dem Verfahren verarbeitet werden.
23. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 22, wobei der in dem Kennfeld (K) berücksichtigte, variable Wechselstromwiderstand ($R_{(s, AC)}$) basierend auf den in Echtzeit umgesetzten und in dem Verfahren verarbeiteten Messungen und Berechnungen fortlaufend aktualisiert wird.
24. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 23, wobei das Messen der Rotor-temperatur (T) durch eine berührungslose infrarotbasierte Temperaturmesstechnik umgesetzt wird.
25. Erzeugungsverfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 24, wobei das Messen der Rotor-temperatur (T) durch eine auf virtueller Sensorik basierenden Messtechnik umgesetzt wird.
26. Kontrollvorrichtung (10), eingerichtet zur Kontrolle eines Betriebs einer drehenden elektrischen Maschine basierend auf einem Kennfeld, **gekennzeichnet durch** ein Speichermodul (20) zum Speichern eines Kennfelds (K), wobei das Kennfeld (K) in Verhältnismäßigkeiten von zugeordneten Betriebsparametern einen vorbestimmten Wechselstromwiderstand ($R_{(s, AC)}$) einer Phasenwicklung berücksichtigt; ein Erfassungsmodul (30) zum Erfassen von gemessenen Betriebsparametern in einem Betrieb der drehenden elektrischen Maschine; ein Auslesem modul (40) zum Auslesen von hinterlegten Betriebsparametern aus dem Kennfeld (K), die den erfassten Betriebsparametern zugeordnet sind; ein Einstellmodul (50) zum Einstellen der Betriebsparameter an der drehenden elektrischen Maschine auf die ausgelesenen Betriebsparameter; wobei das Speichermodul (20), das Kennfeld (K), das Erfassungsmodul (30), das Auslesem modul (40) und Einstellmodul (50) für eine Ausführung des Kontrollverfahrens mit den Schritten nach einem der Ansprüche 1 bis 10 ausgebildet ist.
27. Kontrollvorrichtung (10) nach Anspruch 26, ferner eingerichtet zur Erzeugung, Kalibrierung und/oder Aktualisierung des Kennfelds, ferner **gekennzeichnet durch** ein Bestimmungsmodul (60) zum Bestimmen von Funktionen aus Verhältnismäßigkeiten von gemessenen Betriebsparametern in einem Leerlaufbetrieb der drehenden elektrischen Maschine; ein Berechnungsmodul (70) zum Berechnen des Wechselstromwiderstands ($R_{(s, AC)}$) einer Pha-

senwicklung anhand von gemessenen Betriebsparametern und vorbestimmten Funktionen; und ein Erzeugungsmodul (80) zum Erzeugen des Kennfelds (K), das den vorbestimmten Wechselstromwiderstand ($R_{(s, AC)}$) berücksichtigt; wobei das Bestimmungsmodul (60), das Berechnungsmodul (70) und das Erzeugungsmodul (80) für eine Ausführung des Erzeugungsverfahrens mit den Schritten nach einem der Ansprüche 11 bis 27 ausgebildet ist.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

1/2

Fig. 1



2/2

Fig. 2

