



(10) **DE 10 2018 222 562 A1** 2020.06.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 222 562.1**

(22) Anmeldetag: **20.12.2018**

(43) Offenlegungstag: **25.06.2020**

(51) Int Cl.: **G01R 31/34** (2006.01)
H02P 101/45 (2015.01)

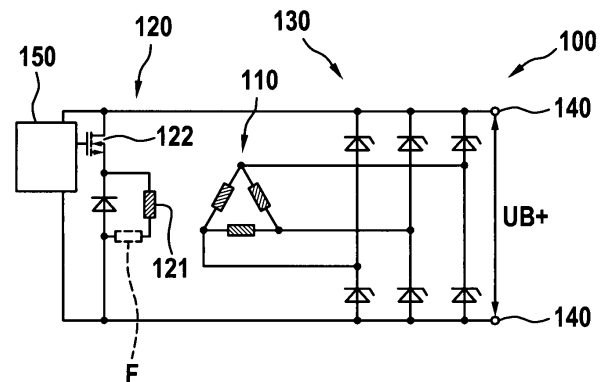
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
**Dittmann, Carina, 73249 Wernau, DE; Wang, Yi,
74343 Sachsenheim, DE; Mueller, Ronald, 71522
Backnang, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Erkennen eines Fehlerzustands einer elektrischen Maschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen eines Fehlerzustands (100A, 100B) in einem Erregerkreis (121) eines Rotors (120) einer elektrischen Maschine (100), weiter aufweisend einen Stator (110) und eine mit dem Stator (110) verbundene Gleichrichterschaltung (130), wobei die elektrische Maschine (100) mittels eines Ansteuersignals (DFM) einer Recheneinheit (150) getaktet angesteuert wird, wobei ein zeitlicher Verlauf eines Erregerstroms (I_{Err}) der elektrischen Maschine (100) erfasst (310) und mit einem ersten Referenzwert (I_{ErrRef}) verglichen (316) wird, wobei ein zeitlicher Verlauf des Ansteuersignals (DFM) der elektrischen Maschine (100) erfasst wird (330) und mit einem weiteren Referenzwert (DFM_{Ref}) verglichen wird (336), wobei bei einer festgelegten Abweichung des Erregerstroms (I_{Err}) vom ersten Referenzwert (I_{ErrRef}) und einer festgelegten weiteren Abweichung des Ansteuersignals (DFM) vom weiteren Referenzwert (DFM_{Ref}) auf einen Fehler (F) im Erregerkreis (121) geschlossen (320) wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erkennen eines Fehlerzustands einer elektrischen Maschine sowie eine Recheneinheit und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung.

Stand der Technik

[0002] Um Netze bzw. Laststromkreise zu versorgen, können verschiedene Arten von Stromerzeugern verwendet werden. Beispielsweise kann mittels Drehstromgeneratoren ein mehrphasiger Strom erzeugt werden. Zur Speisung von Gleichstromnetzen aus derartigen Drehstromgeneratoren können als Gleichrichter betriebene Umrichter eingesetzt werden, um einen von der Drehstromquelle erzeugten mehrphasigen Strom in Gleichstrom zu wandeln. Die Gleichrichtung kann mittels passiver (Dioden) oder aktiver (Halbleiterschalter) Gleichrichterelemente erfolgen. Bei einem aktiven Gleichrichter ist neben dem Feldregler auch eine entsprechende Ansteuerung Teil des Generatorreglers. Oftmals können Drehstromgeneratoren als elektrische Maschinen realisiert sein, welche generatorisch betrieben werden können, um elektrische Energie zu erzeugen, oder motorisch, um elektrische Energie in mechanische zu wandeln.

[0003] Beispielsweise können derartige Stromerzeuger in Kraftfahrzeugen zur Versorgung eines Kraftfahrzeugbordnetzes verwendet werden. Eine entsprechende elektrische Maschine kann beispielsweise generatorisch betrieben werden, um das Kraftfahrzeugbordnetz zu versorgen oder eine Kraftfahrzeugbatterie zu laden. Zu diesem Zweck kann die elektrische Maschine über sog. Endstufen bzw. Endstufenschaltung mit dem Bordnetz verbunden oder von diesem getrennt werden.

Offenbarung der Erfindung

[0004] Erfindungsgemäß werden ein Verfahren zum Erkennen eines Fehlerzustands in einem Erregerkreis vorzugsweise eines Rotors einer elektrischen Maschine sowie eine Recheneinheit und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0005] Die elektrische Maschine kann insbesondere als ein Generator ausgebildet sein, z.B. als Klauenpool- oder Schenkelpoolgenerator. Ferner kann die elektrische Maschine auch als motorisch und/oder generatorisch betreibbare elektrische Maschine mit den zuvor genannten Geometrien ausgebildet sein. Die elektrische Maschine weist insbesondere einen Rotor und einen Stator auf sowie eine mit dem Sta-

tor verbundene Gleichrichterschaltung zum Gleichrichten einer an dem Stator anliegenden Wechselspannung. Die Gleichrichterschaltung kann insbesondere Brückenschaltungen aus passiven Schaltelementen, insbesondere Dioden, oder auch aktive Schaltelemente, insbesondere Halbleiterschalter wie Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MOSFET), aufweisen.

[0006] Durch die Erfindung wird eine Möglichkeit bereitgestellt, auf einfache Weise einen Fehlerzustand im Erregerkreis des Rotors zu erkennen. Auch eine Klassifikation nach Umfang und Fortschritt des zuvor genannten Fehlers ist gegeben.

[0007] Zur Erreichung einer Generatorspannung wird die elektrische Maschine durch eine Recheneinheit mittels eines Ansteuersignals getaktet angesteuert.

[0008] Im Rahmen des Verfahrens zur Erkennung eines Fehlerzustands in einem Erregerkreis des Rotors, insbesondere einer graduellen Widerstandszunahme oder Unterbrechung im Erregerkreis, wird ein zeitlicher Verlauf eines Erregerstroms der elektrischen Maschine erfasst und im Anschluss mit einem ersten Referenzwert verglichen. Zudem wird ein zeitlicher Verlauf des Ansteuersignals der elektrischen Maschine erfasst und mit einem weiteren Referenzwert verglichen. Wird nun eine festgelegte Abweichung des Erregerstroms vom ersten Referenzwert und eine festgelegte Abweichung des Ansteuersignals vom weiteren Referenzwert erkannt, kann sicher auf einen Fehler im Erregerkreis geschlossen werden. Dieses Vorgehen ist besonders einfach und auch bezüglich einer Fehlererkennung entsprechend robust und kann während des Betriebs der elektrischen Maschine entweder zeitweilig innerhalb bestimmter Detektionszeitfenster oder auch dauerhaft durchgeführt werden, ohne dass hierbei der Betrieb der elektrischen Maschine beeinträchtigt wird. Zudem ist besonders vorteilhaft, dass die genannten Größen, die zur Ermittlung eines Fehlerzustands in einem Erregerkreis des Rotors der elektrischen Maschine herangezogen werden, ohnehin bereits der Recheneinheit oder einem weiteren übergeordneten Steuergerät zur Verfügung stehen.

[0009] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird als Erregerstrom ein zeitlich gemittelter Erregerstrom und/oder als Referenzwert ein zeitlich gemittelter Erregerstrom und/oder als Ansteuersignal ein zeitlich gemittelter Ansteuersignal und/oder als weiterer Referenzwert ein zeitlich gemittelter Referenzwert herangezogen.

[0010] Durch eine zeitliche Mittelung der Eingangsgrößen im Verfahren zur Erkennung eines Fehlerzustands ist vorteilhaft, da hierdurch betriebsbedingte oder sonstige Störeinflüsse aus den Signalen her-

ausgemittelt werden können, wodurch die Fehlererkennung mit noch größerer Sicherheit vorgenommen werden kann und dadurch robuster wird.

[0011] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der Erregerstrom und/oder das Ansteuersignal und/oder der erste Referenzwert und/oder der weitere Referenzwert derart ermittelt, dass deren zeitlichen Verläufe gefiltert werden, vorzugsweise mittels eines Hochpassfilters und/oder eines Tiefpassfilters, besonders bevorzugt mittels eines sogenannten „Moving-Average-Filters“ und/oder eines entsprechenden Bandpassfilters erfolgt. Eine Filterung der Eingangsgrößen bzw. der jeweiligen Referenzwerte im Verfahren zur Ermittlung eines Fehlerzustands ist vorteilhaft, da man sich hierdurch besonders einfach etwaiger Störeinflüsse wie z.B. Rauschen oder sonstiger, dem Messsignal überlagerter höher- oder niederfrequenter Signale, entledigen kann.

[0012] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird dann auf einen Fehlerzustand im Erregerkreis geschlossen, wenn der Erregerstrom im Wesentlichen größer oder gleich dem ersten Referenzwert ist und das Ansteuersignal größer als der weitere Referenzwert ist. Gemäß eines ersten typischen Fehlerbilds des Erregerstroms, das in Bezug steht zu einer graduellen Widerstandszunahme oder einer Unterbrechung im Erregerkreis, entspricht der Erregerstrom in etwa dem Referenzwert des Erregerstroms, wobei das Ansteuersignal bzw. die Ansteuererrate der elektrischen Maschine im Fehlerfall deutlich größer ist als der Referenzwert im nichtdefekten Zustand. Anhand von einem derartigen charakteristischen Verhalten kann daher sicher auf einen Fehler im Erregerkreis, insbesondere eine Unterbrechung desselben, geschlossen werden.

[0013] Vom Betrag der Abweichung des Ansteuersignals vom jeweiligen Referenzwert kann zudem auf einen Fortschritt des Fehlerzustands geschlossen werden, insbesondere dann, wenn die Unterbrechung im Erregerkreis keine vollständige Unterbrechung, sondern eine graduell zunehmende Unterbrechung in Form eines sich vergrößernden Widerstands im Erregerkreis darstellt. Vorzugsweise kann auch die aufgrund des Fehlers erforderliche Anpassung der Ansteuererrate und damit des Erregerstroms über die Zeit ermittelt und/oder bzgl. des Fehlerfortschritts ausgewertet werden.

[0014] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird dann auf einen Fehlerzustand im Erregerkreis geschlossen, wenn der Erregerstrom ungleich dem ersten Referenzwert, vorzugsweise kleiner als der erste Referenzwert ist und das Ansteuersignal größer als der weitere Referenzwert ist, vorzugsweise einem Maximum der Ansteuererrate, vorzugsweise im Wesentlichen 100% der An-

steuererrate entspricht. Gemäß dem weiteren Fehlerbild, das mit einer graduellen Widerstandszunahme oder einer Unterbrechung im Erregerkreis einhergeht, ist eine deutliche Abweichung des Erregerstroms vom ersten Referenzwert zu beobachten. Insbesondere ist der Erregerstrom im Fehlerfall deutlich kleiner als der erste Referenzwert. Zudem ist die Ansteuererrate bzw. das Ansteuersignal der elektrischen Maschine deutlich größer als der Referenzwert, insbesondere nimmt ein Maximum in der Ansteuererrate, insbesondere 100% der Ansteuererrate an.

[0015] Anhand von dieser Charakteristik kann daher mit einer sehr großen Sicherheit ein Fehlerzustand ermittelt werden. Zudem kann aus der betragsmäßigen Abweichung des Erregerstroms von der ersten Referenz und/oder der betragsmäßigen Abweichung des Ansteuersignals von der weiteren Referenz auf den Fortschritt der Schädigung im Erregerkreis geschlossen werden. Auch die Art und der Fortschritt dieser Schädigung, insbesondere ein gradueller Fortschritt der Schädigung oder eine sprunghafte Form des Fortschritts der Schädigung kann entsprechend in bzw. aus den Signalen Erregerstrom und Ansteuersignal abgeleitet werden. Auch eine Aufzeichnung und/oder Auswertung der zuvor genannten Abweichungen zum Zwecke der Ermittlung eines Fehlerfortschritts ist bevorzugt.

[0016] Es versteht sich, dass die jeweiligen Referenzsignale im Fall einer fehlerfreien Maschine, insbesondere für jede elektrische Maschine charakteristisch für verschiedene Betriebssituationen ermittelt und in einem entsprechenden Steuergerät, insbesondere der vorliegenden Recheneinheit, hinterlegt werden. Bei einem Vergleich von dem Erregerstrom und/oder der Ansteuererrate mit dem jeweiligen Referenzwert, wird vorzugsweise der Referenzwert mit gleicher oder vergleichbarer Betriebssituation, insbesondere gegeben durch Drehzahl und Belastung der elektrischen Maschine, herangezogen.

[0017] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät eines Kraftfahrzeugs ist, insbesondere programmtechnisch dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0018] Auch die Implementierung des Verfahrens in Form eines Computerprogramms ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten verursacht, insbesondere dann, wenn ein ausführendes Steuergerät noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin bereits vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere magnetische, optische und elektrische Speicher, wie z.B. Festplatten, Flash-Speicher, EPROMs, DVDs usw. auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist grundsätzlich möglich.

[0019] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnungen.

[0020] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf diese Zeichnungen beschrieben.

Figurenliste

Fig. 1 zeigt schematisch eine elektrische Maschine mit einer bevorzugten Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Recheneinheit, die dazu eingerichtet ist, eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens durchzuführen;

Fig. 2 zeigt schematisch ein Spannungs-Zeit-Diagramm eines zeitlichen Verlaufs eines Stromwerts, welcher im Zuge einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens bestimmt werden kann;

Fig. 3 zeigt schematisch eine elektrische Maschine in einem Fehlerzustand;

Fig. 4 a-d zeigen die Erkennung eines Fehlerzustands gemäß einer ersten Konfiguration aus ermitteltem Erregerstrom und Ansteuerung der elektrischen Maschine (a,b) und die Erkennung eines weiteren Fehlerzustands gemäß einer weiteren Konfiguration aus ermitteltem Erregerstrom und Ansteuerung der elektrischen Maschine (c,d); und

Fig. 5 zeigt schematisch ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zur Fehlererkennung.

[0021] In **Fig. 1** ist eine elektrische Maschine in Form eines Generators schematisch dargestellt und mit 100 bezeichnet.

[0022] Die elektrische Maschine 100 ist in diesem Beispiel als eine dreiphasige elektrische Maschine ausgeführt, wobei Ständerinduktivitäten (Phasen) eines Stators 110 zu einer Dreieckschaltung verbunden sind. Ein Rotor 120 weist eine Erregerwicklung 121 mit einer parallel geschalteten Diode auf. In einem Erregerstromkreis kann weiterhin ein Erregertransistor 122 vorgesehen sein. Durch Ein- und Ausschalten des Erregertransistors 122, üblicherweise mittels PWM-Betriebs, wird an die Erregerwicklung 121 eine Spannung (hier die gleichgerichtete Generatorspannung) intermittierend angelegt, worauf sich ein Erregerstrom einstellt. Durch Verändern der Tastrate (Duty-Cycle), auch Ansteuerung genannt, des PWM-Betriebs sind insbesondere die Höhe des Erregerstroms und damit die Höhe der Generatorspannung veränderbar.

[0023] Die elektrische Maschine 100 weist weiterhin eine mit dem Stator 110 verbundene Gleichrichterschaltung 130 mit drei Halbbrücken zum Gleichrichten einer an dem Stator 110 anliegenden dreiphasigen Wechselspannung auf. Jede Halbbrücke weist zwischen ihren zwei hier als Dioden ausgebildeten Gleichrichterelementen jeweils einen Mittelabgriff auf, über welchen die jeweilige Halbbrücke mit einem Phasenanschluss des Stators 110 verbunden ist.

[0024] Zwischen zwei Gleichspannungsanschlüssen 140 der Gleichrichterschaltung 130 wird eine Gleichspannung U_B+ als gleichgerichtete Generatorspannung bereitgestellt. Die elektrische Maschine 100 kann beispielsweise in einem Kraftfahrzeug zum Versorgen eines Kraftfahrzeugbordnetzes verwendet werden, welches mit den Gleichspannungsanschlüssen 140 verbunden ist.

[0025] Eine Recheneinheit 150 ist zum Ansteuern der elektrischen Maschine 100 vorgesehen. Beispielsweise kann die Recheneinheit 150 als ein Steuergerät des entsprechenden Kraftfahrzeugs ausgebildet sein. Die Recheneinheit 150 ist dazu eingerichtet, eine Erkennung von Fehlerzuständen der elektrischen Maschine durchzuführen. Zu diesem Zweck ist die Recheneinheit 150, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens durchzuführen.

[0026] In **Fig. 2** ist in einem Spannungs-Zeit-Diagramm der zeitliche Verlauf 200 der Gleichspannung U_B+ bei einem fehlerfreien Zustand der elektrischen Maschine 100 schematisch dargestellt.

[0027] In **Fig. 3** ist die in **Fig. 1** bereits beschriebene elektrische Maschine, jedoch mit einer Unterbrechung F im Erregerkreis 121 dargestellt. Die Unterbrechung bzw. Fehler F ist der Gestalt, dass sich der ansonsten im Leiter übliche Widerstand R_1 von in etwa 0 je nach Ausprägung der Unterbrechung R_2 im Erregerkreis 121 vergrößert. In der Realität kommt es hierbei am Ende eines derartigen Prozesses zu einem Durchbrennen der Erregerspule, wodurch der Rotor 120 seine übliche Funktion verliert. Die entsprechenden Verläufe des Erregerstroms I_{Err} im Erregerkreis 121 sowie die Ansteuersignale DFM der Recheneinheit 150 sind für zwei Fehlerzustände oder Fehlerbilder 100A (**Fig. 4 a, b**) und 100B (**Fig. 4 c, d**), die mit einem sich vergrößernden Widerstand R_2 im Erregerkreis 121 einhergehen, in **Fig. 4a** bis **Fig. d** dargestellt.

[0028] In **Fig. 4a** und **b** ist ein erstes typisches Verhalten 100A bei einer zunehmenden Unterbrechung, d.h. einem sich vergrößernden Widerstand im Erregerkreis 121, dargestellt. Hierbei entspricht der Erregerstrom I_{Err} im Wesentlichen dem Referenzwert I_{ErrRef} des Erregerstroms, wobei der Referenzwert

im Zustand eines intakten Stators **120** und gleichen oder vergleichbaren Betriebsbedingungen der elektrischen Maschine **100** ermittelt wurde. Dem gegenübergestellt ist in **Fig. 4b** das Ansteuersignal DFM im Fehlerzustand, das einem Referenzwert des Ansteuersignals DFM_{Ref} gegenübergestellt ist. Charakteristisch an diesem ersten Fehlerzustand **100A** ist, dass der Erregerstrom I_{Err} im Wesentlichen größer oder gleich dem ersten Referenzwert I_{ErrRef} ist, wohingegen das oszillierende Ansteuersignal DFM deutlich größer als der Referenzwert DFM_{Ref} des Ansteuersignals (vergl. **Fig. 4b**) ist. Aus diesem Charakteristikum lässt sich sicher und sehr robust auf das Vorliegen eines sich vergrößernden Widerstands **R2** im Erregerkreis **121** schließen. Zur Sicherstellung einer entsprechend großen Robustheit der Fehlererkennung kann für die Abweichung vom gemessenen Ansteuersignal DFM zum Referenzwert DFM_{Ref} ein entsprechender Schwellwert angenommen werden, wobei bei Überschreitung dieses Schwellwerts einer Differenz zwischen dem Ansteuersignal und dem entsprechenden Referenzwert auf einen Fehler erkannt wird. Je nach betragsmäßiger Abweichung des Ansteuersignals DFM vom Referenzwert DFM_{Ref} kann zudem auf ein Fortschreiten des Fehlers im Erregerkreis **121**, insbesondere auf eine entsprechende Widerstandszunahme **R2** im Erregerkreis **121** des Fehlers **F** geschlossen werden.

[0029] In den **Fig. 4c** und **Fig. d** ist eine Fehlersituation **100B** dargestellt, bei der sich der Erregerstrom I_{Err} im Fehlerfall deutlich vom Erregerstrom I_{ErrRef} im Referenzfall unterscheidet. Vorliegend ist der Erregerstrom I_{Err} deutlich kleiner als der Erregerstrom I_{ErrRef} im Referenzfall und somit im Fall, bei dem der Erregerkreis **121** noch intakt ist. Diese Situation geht einher mit einem charakteristischen Ansteuersignal DFM, das im Wesentlichen bei Maximalausschlag DFM_{Max} liegt. Dieses Ansteuersignal kann auch etwas unter dem Maximalausschlag DFM_{Max} sein, ist jedoch stets im Bereich des Maximalausschlags und größer als das Referenzsignal DFM_{Ref} .

[0030] Grundsätzlich sind in den **Fig. 4a** bis **Fig. d** auch Mittelwerte des Erregerstroms I_{ErrM} bzw. der entsprechenden Referenz I_{ErrRefM} bzw. Mittelwerte der entsprechenden Ansteuersignale und deren Referenzen DFM_{M} und DFM_{RefM} angegeben. Diese sind die bevorzugten Bezugsgrößen bei einer Auswertung bzw. Ermittlung eines jeweiligen Fehlerzustandes **100 A, B** bzw. dessen Fortschritts im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0031] In **Fig. 5** ist ein schematisches Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Erkennung der in **Fig. 4** gezeigten Fehlerzustände **100A, 100B** gezeigt. Das Verfahren beginnt im Schritt **300** mit einem Start oder Initialisierungsschritt. Im Schritt **310** wird der Erregerstrom I_{Err} ermittelt und gegebenenfalls in den Schritten **312** zeitlich gemittelt und/oder im Schritt **314** durch entsprechende Filter nachbearbeitet. Es versteht sich, dass die Schritte **312** und **314** optional sind. Hierzu parallel wird im Schritt **330** das Ansteuersignal DFM des Erregerkreises **121** ermittelt. Entsprechend zur zeitlichen Mittelung und Filterung beim Erregerstrom I_{Err} kann auch das Ansteuersignal DFM in den Schritten **332** zeitlich gemittelt bzw. im Schritt **334** durch entsprechende Filter geglättet werden.

[0032] Die optionale Mittelung bzw. Glättung in den Schritten **312, 314** bzw. **332** und **334** sind vorteilhaft, da hierdurch betriebsbedingte Schwankungen oder Störsignale im Erregerstrom I_{Err} oder dem Ansteuersignal DFM beseitigt werden können, wodurch eine Fehlerermittlung der elektrischen Maschine **100** mit entsprechend größerer Sicherheit und Robustheit vorgenommen werden kann. Im Schritt **316** wird nun der Erregerstrom I_{Err} mit einem Referenzwert verglichen. Entspricht nun der Erregerstrom I_{Err} dem Referenzwert I_{ErrRef} , wird nun im Schritt **336** überprüft, ob das Ansteuersignal DFM vom entsprechenden Referenzwert DFM_{Ref} abweicht. Liegt keine Abweichung vor, d.h. entspricht das Ansteuersignal DFM im Wesentlichen dem Referenzsignal DFM_{Ref} ist der Erregerkreis in Ordnung. Liegt jedoch eine Abweichung des Ansteuersignals DFM vom Referenzsignal DFM_{Ref} vor, die optional oberhalb eines festgelegten Schwellwerts liegen kann, so wird auf einen Fehler des Erregerkreises in Form einer Unterbrechung des Erregerkreises **121** erkannt. Je nach Art und Umfang der Abweichung kann zudem auch auf einen jeweiligen Fortschritt des Fehlers erkannt werden.

[0033] Wird nun im Schritt **316** erkannt, dass der Erregerstrom I_{Err} ungleich, vorzugsweise kleiner als im ersten Referenzwert I_{ErrRef} ist, wird im Schritt **318** geprüft, ob das Ansteuersignal DFM im Wesentlichen ein Maximum der Ansteuerung DFM_{Max} erreicht. Sind beide Bedingungen erfüllt, wird ebenfalls im Schritt **320** auf einen Fehler erkannt. Erreicht die Ansteuerung im Wesentlichen das Maximum der Ansteuerung DFM_{Max} nicht, wird im Schritt **322** auf eine funktionstüchtige elektrische Maschine erkannt und das Verfahren im Schritt **322** auf eine funktionstüchtige elektrische Maschine **100** erkannt und das Verfahren im Schritt **324** sodann beendet. Auch im Schritt **336** wird bei Erkennen eines zum Referenzwert I_{ErrRef} gleichen Erregerstrom I_{Err} in Schritt **316** auf eine funktionstüchtige elektrische Maschine erkannt, sofern im Schritt **336** das Ansteuersignal DFM im Wesentlichen gleich ist zum Referenzwert DFM_{Ref} (Schritt **322**). Auch nach einer Feststellung einer funktionstüchtigen elektrischen Maschine über diesen Pfad, wird sodann im Schritt **324** das Verfahren beendet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen eines Fehlerzustands (**100A, 100B**) in einem Erregerkreis (**121**) einer elek-

trischen Maschine (100), weiter aufweisend einen Stator (110) und eine mit dem Stator (110) verbundene Gleichrichterschaltung (130), wobei die elektrische Maschine (100) mittels eines Ansteuersignals (DFM) einer Recheneinheit (150) getaktet angesteuert wird, wobei ein zeitlicher Verlauf eines Erregerstroms (I_{Err}) der elektrischen Maschine (100) erfasst (310) und mit einem ersten Referenzwert (I_{ErrRef}) verglichen (316) wird, wobei ein zeitlicher Verlauf des Ansteuersignals (DFM) der elektrischen Maschine (100) erfasst wird (330) und mit einem weiteren Referenzwert (DFM_{Ref}) verglichen wird (336), wobei bei einer festgelegten Abweichung des Erregerstroms (I_{Err}) vom ersten Referenzwert (I_{ErrRef}) und einer festgelegten weiteren Abweichung des Ansteuersignals (DFM) vom weiteren Referenzwert (DFM_{Ref}) auf einen Fehler (F) im Erregerkreis (121) geschlossen (320) wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Erregerstrom (I_{Err}) ein zeitlich gemittelter Erregerstrom (I_{ErrM}) und/oder der erste Referenzwert (I_{ErrRef}) ein zeitlich gemittelter Erregerstrom ($I_{ErrRefM}$) ist und/oder das Ansteuersignals (DFM) ein zeitlich gemittelter Ansteuersignal (DFM_M) und/oder der weitere Referenzwert (DFM_{Ref}) ein zeitlich gemittelter Referenzwert (DFM_{RefM}) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Erregerstrom (I_{Err}) und/oder das Ansteuersignals (DFM) und/oder der erste Referenzwert (I_{ErrRef}) und/oder der weitere Referenzwert (DFM_{Ref}) derart ermittelt werden, dass deren zeitliche Verläufe gefiltert werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Filterung mittels eines Hochpassfilters und/oder eines Tiefpassfilters, vorzugsweise eines Moving Average Filters, und/oder eines entsprechenden Bandpassfilters erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei dann auf einen Fehlerzustand (100A) im Erregerkreis (121) geschlossen wird, wenn der Erregerstrom (I_{Err}) im Wesentlichen gleich dem ersten Referenzwert (I_{ErrRef}) ist und das Ansteuersignal (DFM) größer als der weitere Referenzwert (DFM_{Ref}) ist.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei dann auf einen Fehlerzustand (100B) im Erregerkreis (121) geschlossen wird, wenn der Erregerstrom (I_{Err}) ungleich dem ersten Referenzwert (I_{ErrRef}), vorzugsweise kleiner als der erste Referenzwert (I_{ErrRef}), ist und das Ansteuersignal (DFM) größer als der weitere Referenzwert (DFM_{Ref}) ist, vorzugsweise einem Maximum der Ansteuerrate (DFM_{Max}), weiter vorzugsweise im Wesentlichen 100% entspricht.

7. Recheneinheit (150), die durch Hardware und/oder durch Software dazu eingerichtet ist, ein Verfah-

ren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.

8. Computerprogramm, das eine Recheneinheit (150) dazu veranlasst, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 durchzuführen, wenn es auf der Recheneinheit (150) ausgeführt wird.

9. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 8.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

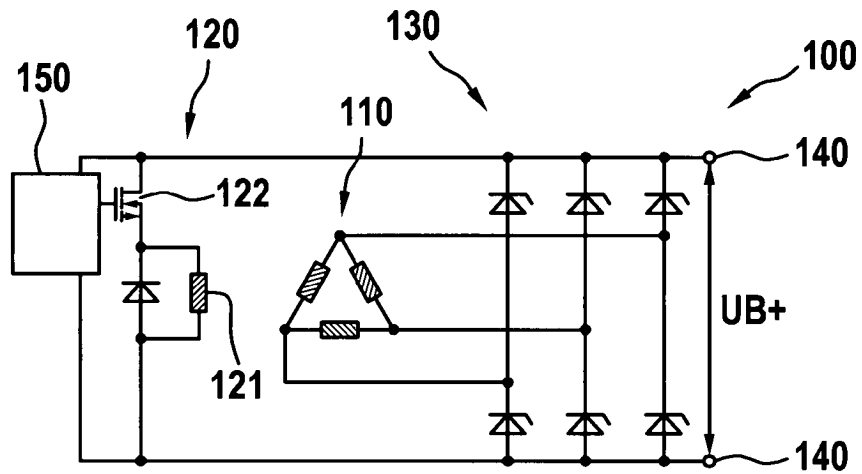


Fig. 2

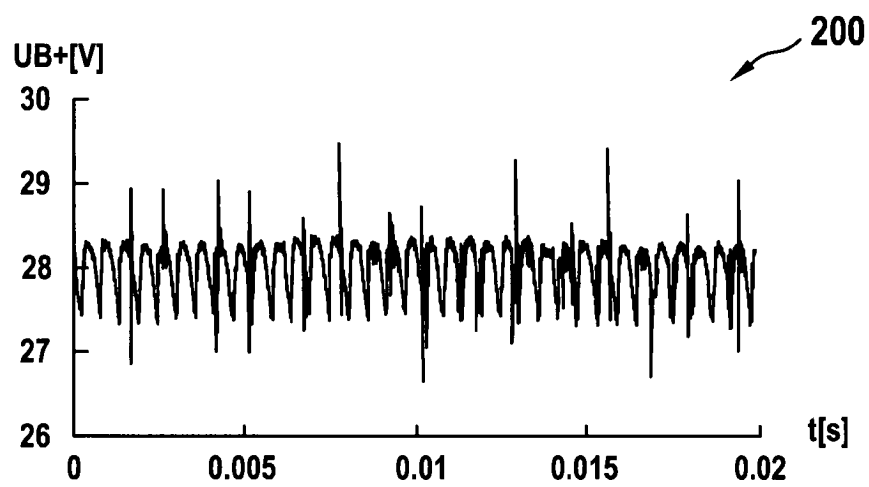


Fig. 3

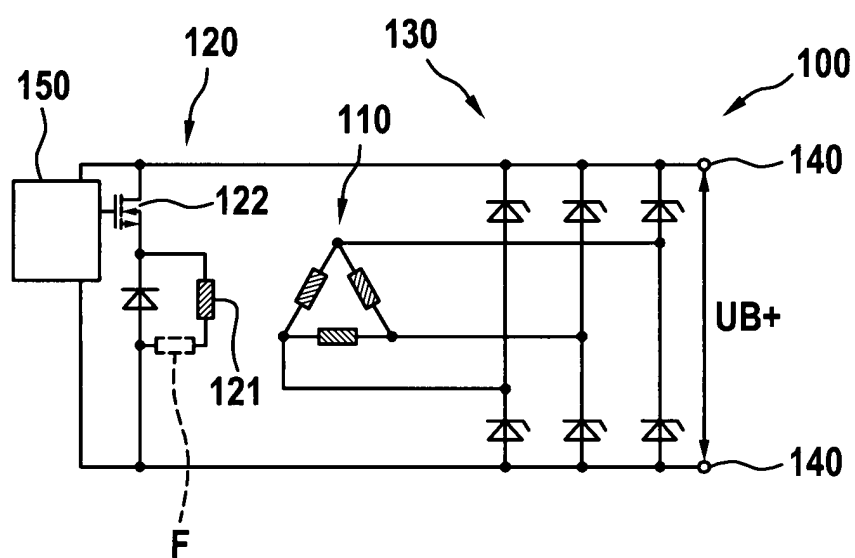


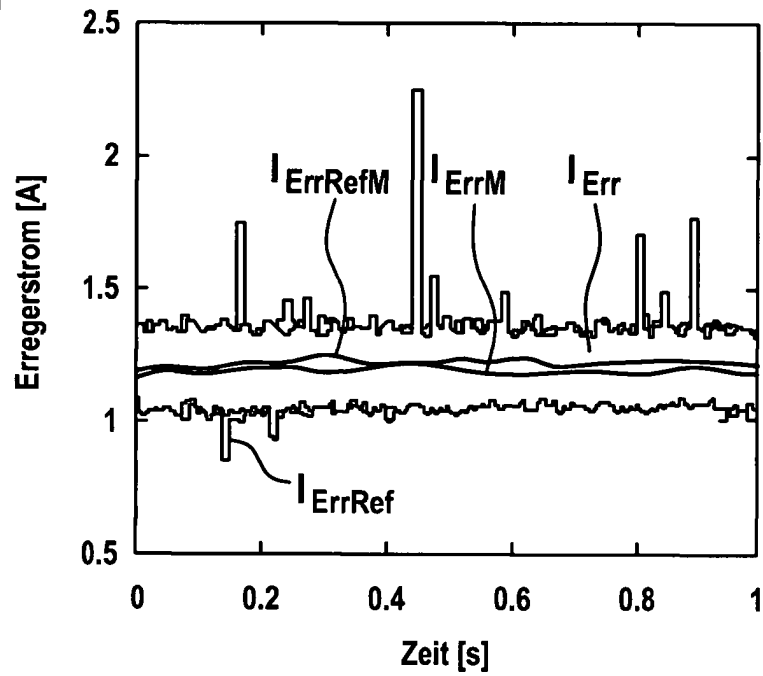
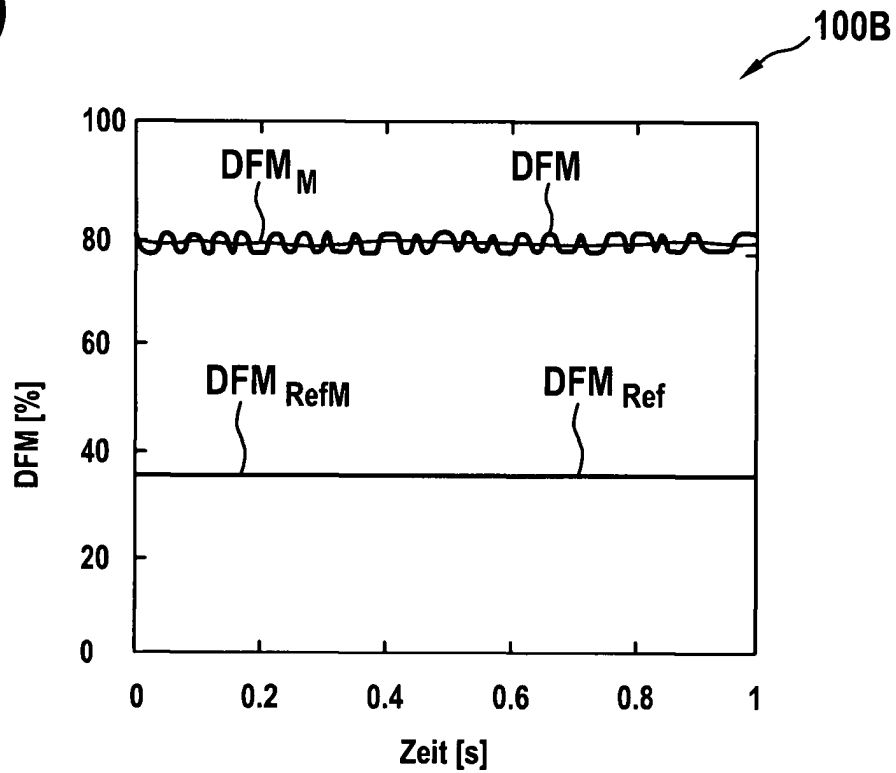
Fig. 4**a)****b)**

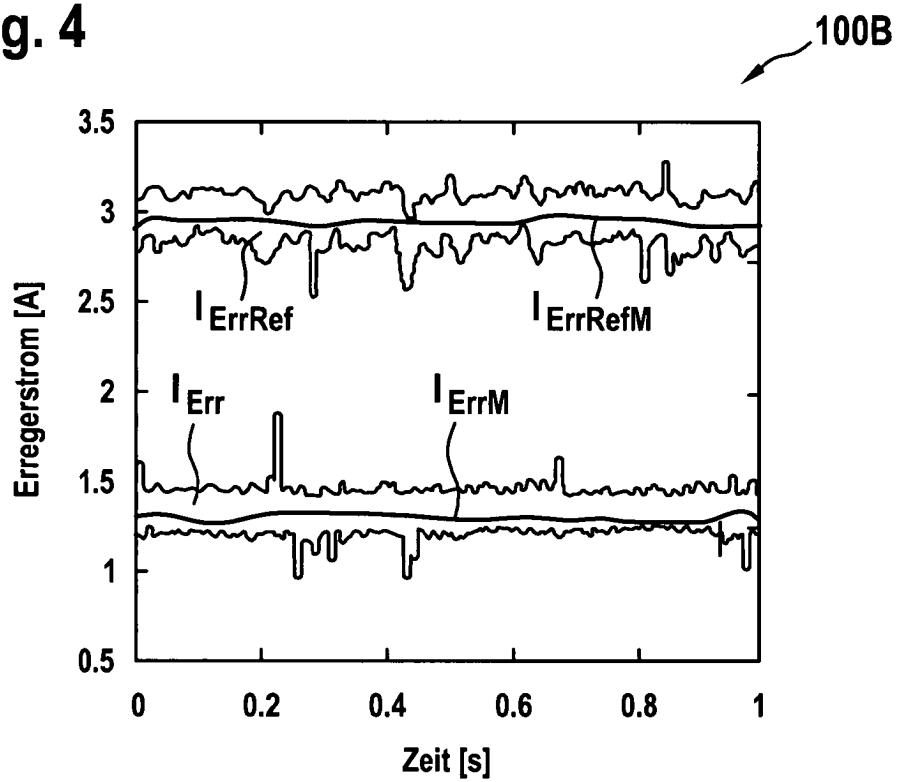
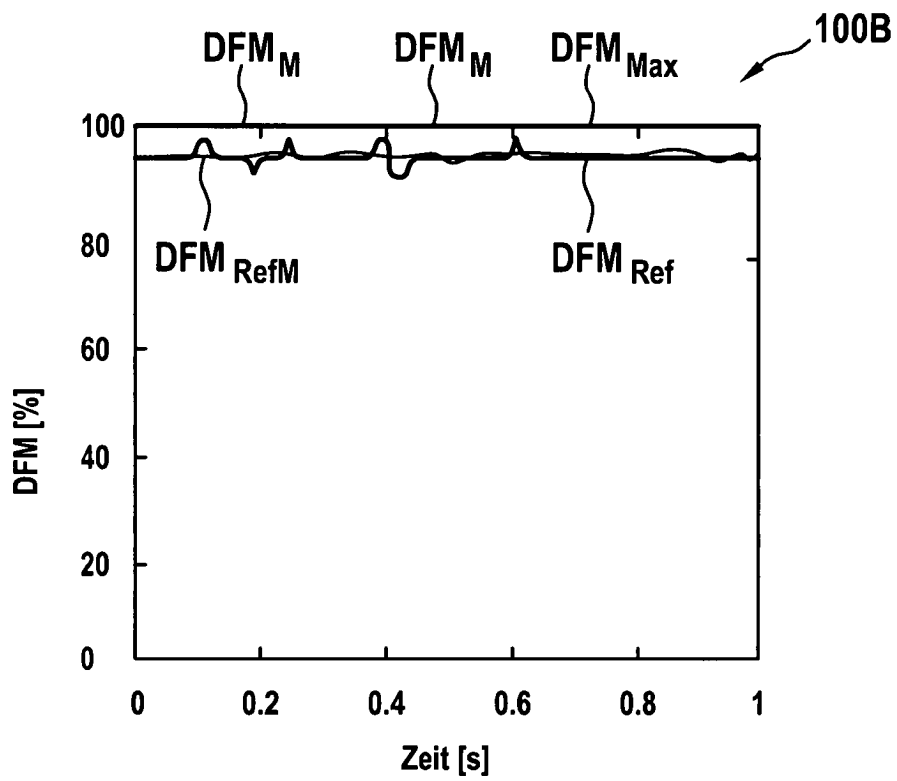
Fig. 4**c)****d)**

Fig. 5