



(10) **DE 10 2018 222 575 A1** 2020.06.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 222 575.3**

(22) Anmeldetag: **20.12.2018**

(43) Offenlegungstag: **25.06.2020**

(51) Int Cl.: **G01R 31/34** (2006.01)
G01R 31/50 (2020.01)

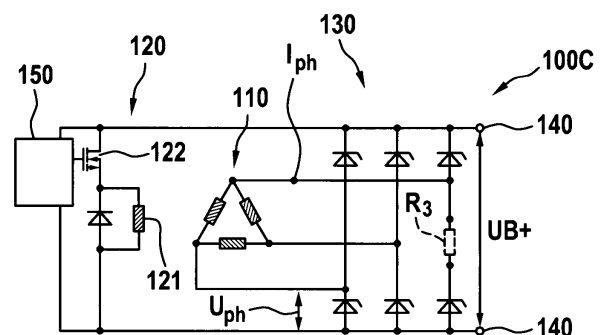
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(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 (100C) einer elektrischen Maschine (100), mit einem Rotor (120), einem Stator (110) und einer mit dem Stator (110) verbundenen Gleichrichterschaltung (130), wobei ein zeitlicher Verlauf (200C) eines Anschlusswerts ($UB+$, $IB+$; U_{ph} , I_{ph}) der elektrischen Maschine (100) erfasst wird (310), dadurch gekennzeichnet, dass eine statistische Größe (Q) des Anschlusswerts ($UB+$, $IB+$; U_{ph} , I_{ph}) ermittelt wird (204), wobei auf einen Fehler (F) in der Gleichrichterschaltung (130) geschlossen (210) wird, wenn die statistische Größe (Q) einen Schwellenwert (S) unterschreitet.



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 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 Klauenpol- oder Schenkelpolgenerator, und/oder insbesondere als eine elektrische Maschine, welche motorisch und/oder generatorisch betrieben werden kann. Die elektrische Maschine weist insbesondere einen Rotor und einen Stator auf sowie eine mit dem Stator verbundene Gleichrichterschaltung zum Gleichrichten einer an dem Stator anliegenden Wechselspannung.

Die Gleichrichterschaltung kann insbesondere Brückenschaltungen aus passiven Schaltelemente, insbesondere Dioden, oder aus aktiven Schaltelementen, insbesondere Halbleiterschalter wie Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MOSFET), aufweisen.

[0006] Durch die Erfindung wird eine Möglichkeit bereitgestellt, auf einfache Weise unterschiedliche Fehlerzustände der elektrischen Maschine und deren Stärke zu erkennen. Auch eine Klassifikation nach Art, Umfang und Fortschritt des Fehlers ist daher grundsätzlich möglich.

[0007] Im Rahmen des Verfahrens wird ein zeitlicher Verlauf eines Anschlusswerts der elektrischen Maschine erfasst, insbesondere eines Spannungswerts oder Stromwerts einer von der elektrischen Maschine bereitgestellten Gleichspannung, insbesondere der gleichgerichteten Generatorspannung oder eines entsprechenden Stroms.

[0008] Nach der Ermittlung eines entsprechenden Anschlusswerts wird eine statistische Größe des Anschlusswerts ermittelt, wobei dann auf einen Fehler in der Gleichrichterschaltung geschlossen wird, wenn die statistische Größe einen Schwellenwert unterschreitet. Das Heranziehen einer statistischen Größe, die mit einem entsprechenden Schwellenwert, der vorzugsweise maschinenspezifisch festgelegt wird, abgeglichen wird, ist besonders vorteilhaft, da hierdurch grundsätzlich der Einsatz zusätzlicher Filter oder eine Mittelung der Daten entbehrlich ist.

[0009] Als statistische Größe wird vorzugsweise ein Quantil des Anschlusswerts herangezogen. Die Verwendung eines Quantils hat den Vorteil, dass bei sich in den Spannungs- bzw. Stromverläufen niederschlagenden Fehlerbildern, die gekennzeichnet sind durch einen besonders starken Ausschlag zu kleinen oder großen Werten von Spannung und/oder Strom, besonders einfach umgesetzt werden kann. Zudem kann mittels des Quantils ein dem Spannungs- oder Stromsignals überlagertes Rauschen im Bereich der Maxima besonders gut eliminiert werden.

[0010] Als Quantil ist grundsätzlich eine statistische Größe zu verstehen, die angibt, welcher Anteil der ermittelten Daten oberhalb bzw. unterhalb des durch das Quantil definierten Wertes liegt. Vorzugsweise wird ein Quantil im Intervall zwischen 1% und 10%, vorzugsweise 2% verwendet. Die Verwendung eines derartigen Quantils, das vorzugsweise spezifisch auf eine entsprechende elektrische Maschine und/oder den zu detektierenden Fehler abstimmbare ist, ist vorteilhaft, da hierdurch das jeweilige Quantil auf das entsprechende Fehlerbild bzw. auf das typische Rauschverhalten in den Spannungs- und/oder Stromwerten der elektrischen Maschine anpassbar ist. Somit bezeichnet beispielsweise das 2%-Quan-

til den Spannungswert, bei dem 2% der ermittelten Spannungswerte unterhalb dieser Grenze und 98% der ermittelten Spannungswerte gleich oder oberhalb dieser Grenze liegen.

[0011] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens wird die statistische Größe innerhalb eines Zeitintervalls ermittelt, das vorzugsweise kleiner oder gleich 100 ms, weiter vorzugsweise kleiner oder gleich 10 ms ist. Das vorliegende Verfahren ist besonders gut dazu geeignet, anhand von wenigen Spannungs- oder Stromfeatures, welche die Information über eine fehlerhafte Struktur, insbesondere in der Gleichrichterschaltung der elektrischen Maschine tragen (Fehlerbild) den entsprechenden Fehler auch mit sehr großer Sicherheit zu ermitteln. Daher genügen in der Regel bereits schon sehr kleine Zeitfenster von 10 ms welche je nach Drehzahl der elektrischen Maschine entsprechende Spannungsfeatures mit einer Anzahl etwa 10 enthalten kann. Eine entsprechende Anzahl von 10 oder auch weniger Spannungsfeatures innerhalb des Intervalls ist typischerweise bereits ausreichend, um mittels des Verfahrens sicher auf einen entsprechenden Fehler zu erkennen.

[0012] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird der Schwellenwert basierend auf einem Minimum des Anschlusswerts bei einer fehlerfreien elektrischen Maschine ermittelt. Der entsprechende Schwellenwert kann beispielsweise bei einer defektfreien elektrischen Maschine über verschiedene Betriebszustände der elektrischen Maschine, wie beispielsweise verschiedenen Drehzahlen und Auslastungen der elektrischen Maschine, hinweg ermittelt werden und in einem entsprechenden Steuergerät hinterlegt werden. Dies ist vorteilhaft, da nach Abgleich des Schwellenwerts mit einem entsprechenden Quantil oder der jeweiligen statistischen Größe sicher auf einen entsprechenden Fehler geschlossen werden kann.

[0013] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens wird anhand des Betrags der Differenz der statistischen Größe, insbesondere in Form des Quantils, und des Schwellenwerts auf Umfang und/oder Fortschritt des Fehlers, insbesondere auf eine Widerstandserhöhung zwischen zwei Schaltelementen einer der Halbbrücken der Gleichrichterschaltung, geschlossen. Der Abgleich des Quantils mit dem Schwellenwert kann vorliegend somit nicht nur zur Detektion eines Fehlers, sondern bei Betrachtung der betragsmäßigen Differenz zwischen der statistischen Größe, insbesondere in Form des Quantils, und des Schwellenwerts auch zur Ermittlung des Umfangs und/oder des Fortschrittes des Fehlers genutzt werden. Hierbei gilt, dass je größer die Differenz zwischen dem Quantil und Schwellenwert ist, je größer ist der Umfang bzw. der Fortschritt des Fehlers und je größer ist folglich auch der Widerstand der Unter-

brechung. Eine entsprechende Ermittlung des Unterbrechungswiderstands ist daher gegeben.

[0014] Auch hier ist es vorzugsweise möglich, entsprechende Schwellen für die betragsmäßige Differenz vorzusehen, nach denen der Fehler nur geringfügig, mittelmäßig oder entsprechend stark ausgeprägt ist. Anhand der jeweiligen Schwellen kann vorzugsweise eine entsprechende Maßnahme, wie z. B. eine Übermittlung eines Fehlers eines Warnsignals, eines Notbetriebs der elektrischen Maschine oder dergleichen vorgesehen sein.

[0015] Vorteilhafterweise wird ein zeitlicher Verlauf eines Spannungswerts einer an einer Gleichrichterschaltung der elektrischen Maschine anliegenden Gleichspannung der elektrischen Maschine erfasst. Der Spannungswert kann insbesondere zwischen Gleichspannungsanschlüssen der elektrischen Maschine bzw. der Gleichrichterschaltung messtechnisch erfasst werden und wird zumeist ohnehin für den regulären Betrieb der elektrischen Maschine erfasst. Auch die Erfassung zumindest einer der Phasenspannungen und/oder Phasenströmen als Anschlusswert ist möglich, um im Rahmen des Verfahrens die Funktionstüchtigkeit der elektrischen Maschine zu überprüfen.

[0016] Besonders vorteilhaft eignet sich die Erfindung für die Verwendung in einem Kraftfahrzeug. Durch die elektrische Maschine kann dabei beispielsweise ein Kraftfahrzeugbordnetz gespeist und/oder eine Kraftfahrzeugbatterie geladen werden. Ein Kraftfahrzeugbordnetz kann dabei an Gleichspannungsanschlüssen der Gleichrichterschaltung angeschlossen werden. Insbesondere wird im Rahmen des Verfahrens ein zeitlicher Verlauf einer zwischen diesen Gleichspannungsanschlüssen anliegenden Gleichspannung und/oder zumindest einer Phasenspannung erfasst und dieser Spannungsverlauf wird der erfindungsgemäßen Ermittlung der Funktionstüchtigkeit zugrunde gelegt.

[0017] Das Verfahren zum Erkennen eines Fehlerzustands kann dabei beispielsweise von einem Steuergerät des Kraftfahrzeugs durchgeführt werden. Die Erfindung eignet sich beispielsweise besonders für Fahrzeuge mit Funktionen, die erhöhte Sicherheitsanforderungen besitzen, z.B. automatisiertes oder autonomes Fahren, oder für Fahrzeuge mit langen Wartungsintervallen, z.B. Nutzfahrzeuge.

[0018] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät eines Kraftfahrzeugs, ist, insbesondere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0019] Auch die Implementierung des Verfahrens in Form eines Computerprogramms ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten verursacht, insbe-

sondere wenn ein ausführendes Steuergerät noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere magnetische, optische und elektrische Speicher, wie z.B. Festplatten, Flash-Speicher, EEPROMs, DVDs u.a.m. Auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist möglich.

[0020] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0021] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung 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 a, b zeigt schematisch eine elektrische Maschine in einem Fehlerzustand (a) und eine Generatorspannung im Fehlerfall (b);

Fig. 4 a, b zeigen den Verlauf einer Phasenspannung ohne Fehler (a) und mit Fehler (b) in einem der Gleichrichterpfade; und

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

[0022] In **Fig. 1** ist eine elektrische Maschine in Form eines Generators schematisch dargestellt und mit der Bezugsziffer **100** bezeichnet.

[0023] 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 Ansteuertrate genannt, des PWM-Betriebs

sind insbesondere die Höhe des Erregerstroms und damit die Höhe der Generatorspannung veränderbar.

[0024] 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. Zur Gleichrichtung bzw. für einen motorischen Betrieb der elektrischen Maschine können auch aktive Schaltelemente in Form von Transistoren vorgesehen sein (nicht abgebildet).

[0025] Zwischen zwei Gleichspannungsanschlüssen **140** der Gleichrichterschaltung **130** wird eine Gleichspannung $UB+$ 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.

[0026] 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.

[0027] In **Fig. 2** ist in einem Spannungs-Zeit-Diagramm der zeitliche Verlauf **200** der Gleichspannung $UB+$ bei einem fehlerfreien Zustand der elektrischen Maschine **100** schematisch dargestellt.

[0028] In **Fig. 3a** ist die elektrische Maschine aus **Fig. 1** schematisch in einem Fehlerzustand dargestellt. Weiterhin ist in **Fig. 3b** analog zu **Fig. 2** ein Spannungsverlauf der Gleichspannung $UB+$ schematisch dargestellt, welcher im vorliegenden Fehlerzustand im Rahmen des Verfahrens in Schritt **310** erfasst werden kann.

[0029] In **Fig. 3a** ist die elektrische Maschine aus **Fig. 1** in einem Fehlerzustand **100C** schematisch dargestellt. In diesem ersten Fehlerzustand **100C** liegt eine Unterbrechung in einem Schaltelementpfad der Gleichrichterschaltung **130** vor. Dabei liegt ein erhöhter Widerstand (ggf. unendlicher) R_3 zwischen zwei Schaltelementen einer der Halbbrücke der Gleichrichterschaltung **130** vor. Ein entsprechender Ver-

lauf **200C** der Gleichspannung $UB+$, welcher in diesem Fehlerzustand **100C** erfasst werden kann, ist schematisch in **Fig. 3b** dargestellt. In **Fig. 3b** ist der zeitliche Verlauf **200C** der Gleichspannung $UB+$ dargestellt, welcher in einem derartigen Fehlerzustand **100C** im Rahmen des Verfahrens in Schritt **310** erfasst werden kann. Zudem kann eine derartige Fehlerermittlung auch auf Grundlage einer Phasenspannung U_{ph} oder eine Phasenstroms I_{ph} ermittelt werden. Der Spannungs- bzw. Stromabgriff ist in **Fig. 3a** dargestellt und die Verläufe der Phasenspannung U_{ph} für eine Referenzspannung U_{Ref} in einem defektfreien Zustand der elektrischen Maschine **100**, insbesondere der Gleichrichterschaltung, ist **Fig. 4a**) und in einem Fehlerzustand **100C** ist **Fig. 4 b**) zu entnehmen.

[0030] In **Fig. 4** ist zudem der Schwellwert **S** bei einer defektfreien elektrischen Maschine (vgl. **Fig. 4a**) und bei einer defekt behafteten Maschine **100**, bei der sich beispielsweise eine Degradierung des Leiterelements zwischen zwei Schaltelementen einer Halbbrücke der Gleichrichterschaltung **130**, mit einhergehenden Widerstandserhöhung des Widerstand R_3 eingestellt hat. Als Charakterisierungsmerkmal für eine Fehlererkennung ist vorliegend auch das Quantil **Q**, beispielhaft anhand eines 2%-Quantils für eine defektfreie elektrische Maschine (**Fig. 4a**) und eine defektbehaftete elektrische Maschine (vgl. **Fig. 4 b**) dargestellt.

[0031] Im Fall der defektfreien elektrischen Maschine (**Fig. 4a**) ist zu sehen, dass die Minima der Phasenspannung U_{Ref} knapp unterhalb der Nulllinie enden und bei einem Schwellwert von in etwa -2,5 Volt das Quantil des 2%-Quantils **Q** stets oberhalb dieses Schwellwertes liegt. Anhand dieses Charakterisierungskriteriums kann daher sicher auf eine funktionstüchtige elektrische Maschine **100**, insbesondere auf eine defektfreie Funktion der Schaltelemente innerhalb der Halbbrücken und eine Verbindung zwischen den Halbbrücken der Gleichrichterschaltung **130** geschlossen werden.

[0032] Im defektbehafteten Fall (vgl. **Fig. 4b**) ist zu sehen, dass die Ausschläge der Minima der Phasenspannung U_{ph} deutlich über die -10 Volt hinausgehen. Dieses Verhalten ist charakteristisch für eine Widerstandserhöhung innerhalb der Gleichrichterschaltung **130** und der leitenden Verbindungen zwischen den jeweiligen Schaltelementen der Halbbrücke. Das entsprechende Quantil in Form des 2% Quantils verschiebt sich durch eine entsprechende Herabsetzung der Minima der Phasenspannung U_{ph} im defektbehafteten Fall auch deutlich nach unten, wodurch das Quantil **Q** in Form des 2%-Quantils im fehlerbehafteten Fall stets unterhalb des für eine defektfreie elektrische Maschine definierten Schwellwerts **S** verläuft. Anhand dieses Kriteriums kann sicher auf einen Fehler und auch auf eine konkrete Zu-

ordnung des Fehlers im Hinblick auf eine Degradierung zumindest eines Leiters zwischen zwei Schaltelementen innerhalb der Halbbrücke der Gleichrichterschaltung **130** geschlossen werden. Auf Grundlage der betragsmäßigen Abweichung des Quantils, vorliegend in Form des 2%-Quantils vom jeweiligen Schwellenwert **S** kann zudem auf Umfang und/oder Fortschritt des Fehlers bzw. Degradierung des Leiterelements zwischen zwei Schaltelementen innerhalb einer Halbbrücke der Gleichrichterschaltung **130** geschlossen werden. Hierbei gilt, je größer der Betrag der Abweichung zwischen dem Quantil **Q** und dem Schwellwert **S** ist, je größer ist der Umfang bzw. je weiter fortgeschritten ist der Fehler. D. h. je größer dieser Betrag ist, desto größer ist der der Degradierung des Leiterelements zwischen zwei Schaltelementen zugeordnete Widerstand R_3 .

[0033] In **Fig. 5** ist ein schematisches Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Ermittlung eines Federzustands einer elektrischen Maschine, insbesondere eine Widerstandserhöhung eines Widerstands R_3 zwischen zwei Schaltelementen einer der Halbbrücken der Gleichrichterschaltung **130** dargestellt.

[0034] Das Verfahren beginnt mit einem Initialisierungsschritt **300**. Im Schritt **310** werden die Anschlusswerte in Form der Gleichrichterspannung $UB+$ bzw. des Gleichrichterstroms $IB+$ und/oder der Phasenspannung U_{ph} und/oder I_{ph} ermittelt (Schritt **310**). Im Schritt **320** wird ein Quantil **320** des jeweiligen Anschlusswerts $UB+$, $IB+$; U_{ph} , I_{ph} ermittelt. Vorzugsweise handelt es sich hierbei um ein Quantil innerhalb des Bereichs 1% bis 10%, vorzugsweise 2%. Im Schritt **330** wird das ermittelte Quantil, das vorzugsweise innerhalb eines Intervalls von 100 ms, vorzugsweise etwa 10 ms ermittelt wird, mit einem Schwellwert **S** verglichen, der im defektfreien Zustand einer elektrischen Maschine **100** ermittelt wird. Ist nun das Quantil $Q \leq$ dem Schwellwert **S** wird in Schritt **340** auf einen entsprechenden Fehler der elektrischen Maschine **100** erkannt (gekennzeichnet durch ein +). Ist nun im Schritt **340** auch ein Fehler erkannt worden, kann in Schritt **345** optional einer oder mehrere Schritte eingeleitet werden. Diese Schritte umfassen insbesondere einen Warnhinweis oder eine entsprechende Notlauffunktion der elektrischen Maschine **100**, um einen weiteren Fortschritt des Fehlerzustands zu verhindern. Auch ein entsprechender Warnhinweis und/oder ein Hinweis dahingehend, dass möglichst bald für einen Ersatz der elektrischen Maschine **100** gesorgt werden soll, kann hierbei im Schritt **345** erfolgen.

[0035] Im Anschluss wird das Verfahren im Schritt **360** beendet. Ist nun das Quantil **Q** größer als der entsprechende Schwellwert wird auf eine bzgl. des zu erkennenden Fehlers defektfreie elektrische Maschine **100** im Schritt **350** erkannt (gekennzeichnet

durch ein -). Wurde nun die elektrische Maschine **100** als defektfrei erkannt, wird das Verfahren im Schritt **360** ebenfalls vorerst beendet. Eine weitere Aufnahme des Verfahrens mit dem Schritt **300** zu einem anderen Zeitpunkt kann dabei wieder vorgenommen werden.

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

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen eines Fehlerzustands (100C) einer elektrischen Maschine (100), mit einem Rotor (120), einem Stator (110) und einer mit dem Stator (110) verbundenen Gleichrichterschaltung (130), wobei ein zeitlicher Verlauf (200C) eines Anschlusswerts ($UB+$, $IB+$; U_{ph} , I_{ph}) der elektrischen Maschine (100) erfasst wird (310), **dadurch gekennzeichnet**, dass eine statistische Größe (Q) des Anschlusswerts ($UB+$, $IB+$; U_{ph} , I_{ph}) ermittelt wird (204), wobei auf einen Fehler (F) in der Gleichrichterschaltung (130) geschlossen (210) wird, wenn die statistische Größe (Q) einen Schwellenwert (S) unterschreitet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die statistische Größe ein Quantil (Q) des Anschlusswerts ($UB+$, $IB+$; U_{ph} , I_{ph}) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Quantil (Q) im Intervall zwischen 1% und 10%, vorzugsweise 2%, liegt.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die statistische Größe (Q) innerhalb eines Zeitintervalls (Δt), vorzugsweise kleiner oder gleich 100ms, weiter vorzugsweise kleiner oder gleich 10ms, ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Schwellenwert (S) basierend auf einem Minimum des Anschlusswerts ($UB+$, $IB+$; U_{ph} , I_{ph}) bei einer fehlerfreien elektrischen Maschine (100) ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei anhand des Betrags der Differenz der statistischen Größe (Q) und des Schwellenwerts (S) auf Umfang und/oder Fortschritt des Fehlers (F), insbesondere auf eine Widerstandserhöhung (R_3) zwischen zwei Schaltelementen einer der Halbbrücken der Gleichrichterschaltung 130, geschlossen wird.

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

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

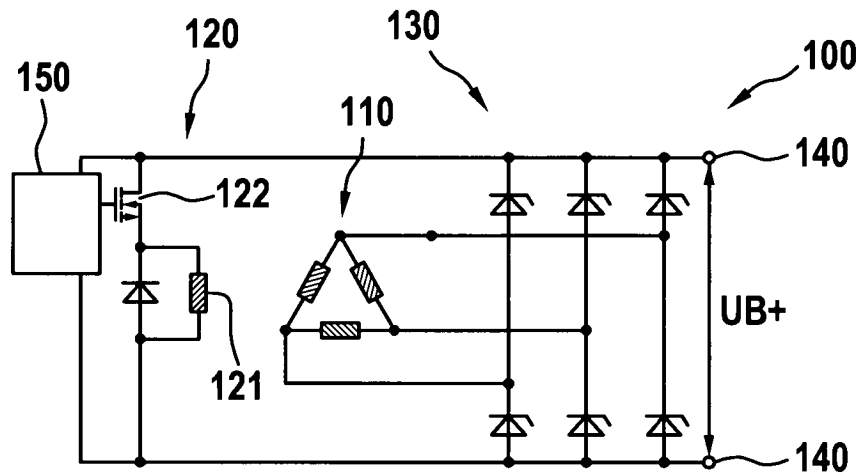


Fig. 2

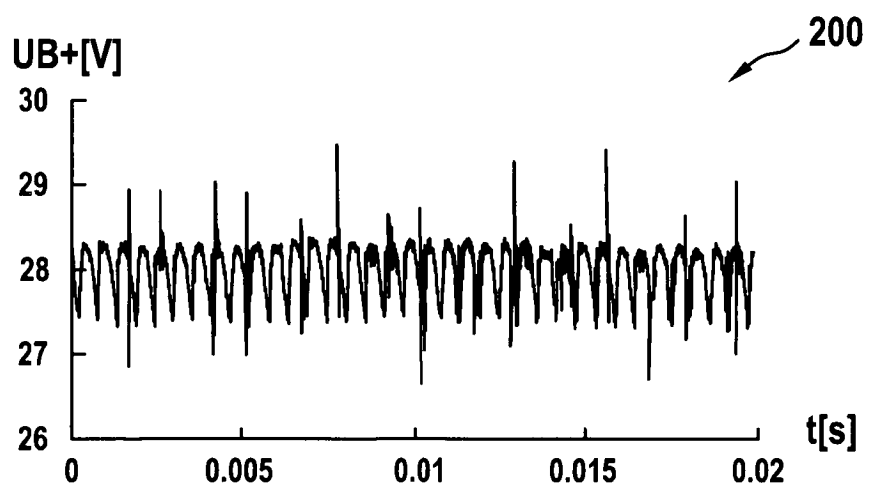


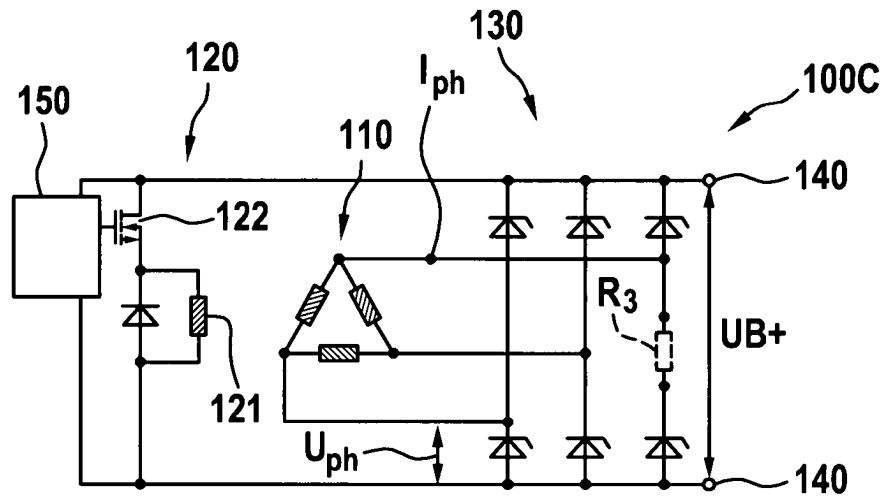
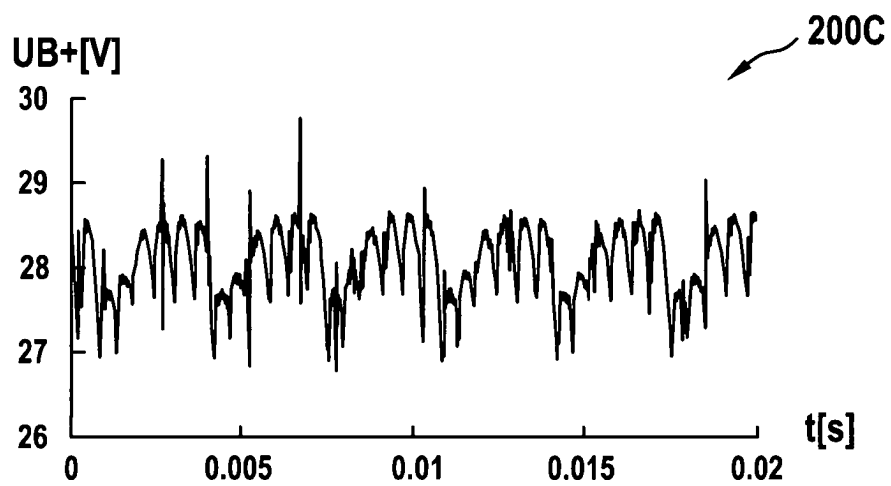
Fig. 3a**Fig. 3b**

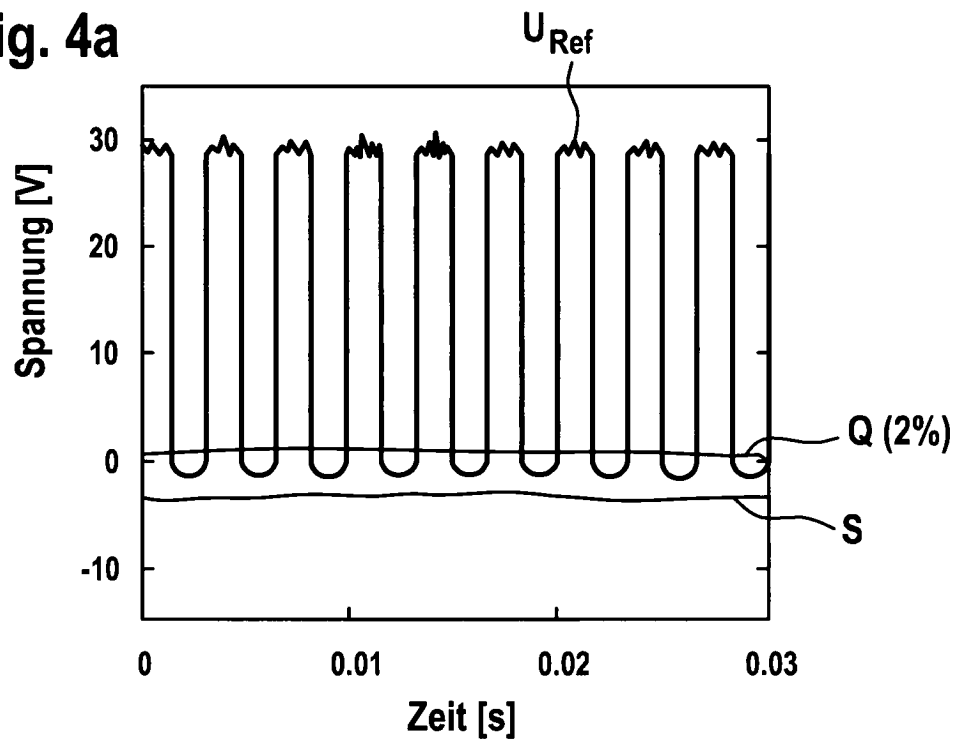
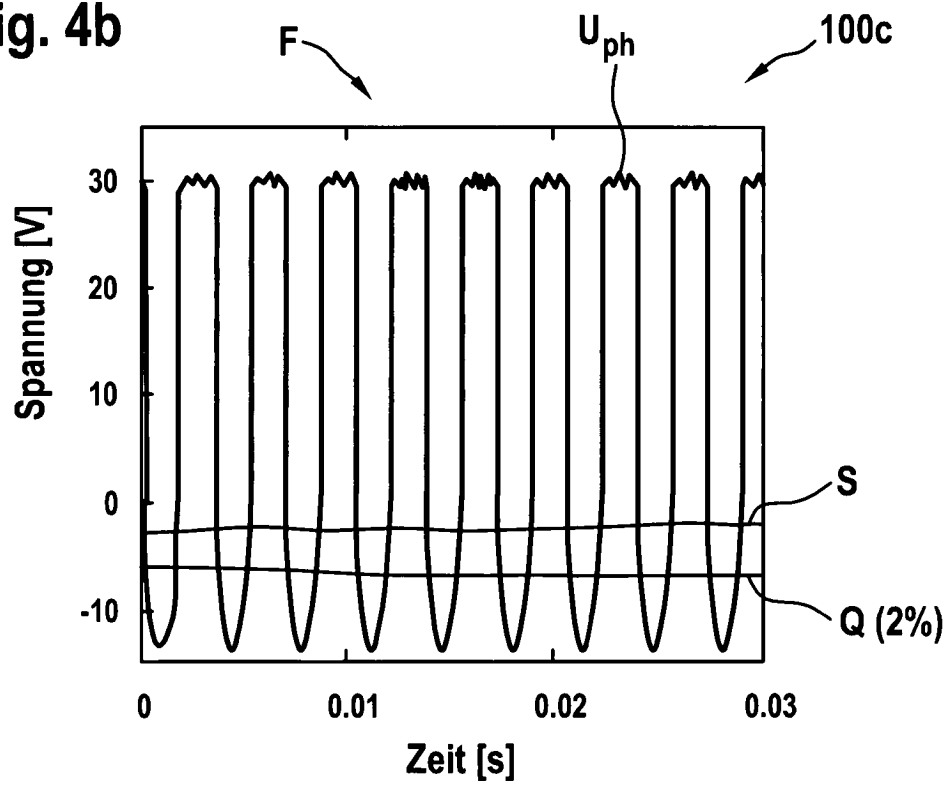
Fig. 4a**Fig. 4b**

Fig. 5

