



(10) **DE 10 2018 222 566 A1** 2020.06.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 222 566.4**
(22) Anmeldetag: **20.12.2018**
(43) Offenlegungstag: **25.06.2020**

(51) Int Cl.: **G01R 31/34** (2006.01)
G01R 31/50 (2020.01)
H02P 101/45 (2015.01)

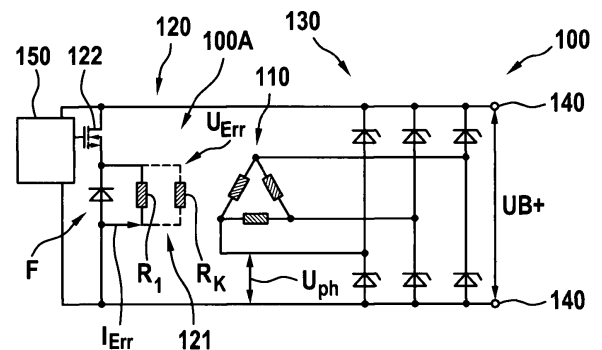
(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(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) in einem Erregerkreis (121) einer elektrischen Maschine (100), weiter aufweisend einen Stator (110) und eine mit dem Stator (110) verbundene Gleichrichterschaltung (130), wobei ein zeitlicher Verlauf eines Erregerstroms (I_{Err}) der elektrischen Maschine (100) erfasst (310) wird, dadurch gekennzeichnet, dass eine erste statistische Größe (Q1) des Erregerstroms (I_{Err}) ermittelt wird und ein weitere statistische Größe (Q2) des Erregerstroms (I_{Err}) ermittelt wird, wobei auf einen Fehler (F) im Erregerkreis (121) geschlossen (320) wird, wenn die Differenz (D) des ersten statistischen Größe (Q1) und der weiteren statistischen Größe (Q2) einen Schwellenwert (S) übersteigt.



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 eines sich anbahnenden Kurzschlusses im Erregerkreis, wird ein zeitlicher Verlauf eines Erregerstroms der elektrischen Maschine erfasst. Im Anschluss hieran wird eine erste statistische Größe des Erregerstroms ermittelt und es wird eine weitere statistische Größe des Erregerstroms ermittelt, wobei dann auf einen Fehler im Erregerkreis geschlossen wird, wenn die Differenz der ersten statistischen Größe und der weiteren statistischen Größe einen Schwellenwert übersteigt. Vorliegend handelt es sich bei der ersten statistischen Größe vorzugsweise um ein erstes Quantil des Erregerstroms und bei der weiteren statistischen Größe vorzugsweise um ein weiteres Quantil des Erregerstroms.

[0009] Eine derartige statistische Auswertung der Erregerstromwerte zur Überprüfung, ob ein Fehler, insbesondere ein Kurzschluss im Erregerkreis vorliegt, ist besonders einfach und robust im Sinne einer Sicherheit einer Fehlerermittlung umsetzbar. Durch die Wahl eines geeigneten Quantils als untere Grenze und eines weiteren geeigneten Quantils als obere Grenze, kann insbesondere das im Erregerstromsignal enthaltende Rauschen beseitigt werden. Zudem liefert die Differenz des zuvor genannten Quantile ein gutes Maß für den zuvor genannten Fehler.

[0010] Durch den Vergleich der Differenz des ersten Quantils und des weiteren Quantils mit einem Schwellenwert, kann der Fehler besonders leicht ermittelt werden. Der Schwellenwert hingegen ergibt sich aus einem Referenzverlauf des Erregerstroms bei einer elektrischen Maschine im defektfreien Zustand. Die jeweiligen Schwellenwerte können je nach Betriebspunkt der elektrischen Maschine in einem Steuergerät für die entsprechende Verwendung hinterlegt werden. In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung

der Erfindung liegt das erste Quantil im Intervall zwischen 1% und 10%, vorzugsweise 2%, und das weitere Quantil im Intervall zwischen 90% und 99%, vorzugsweise 98%.

[0011] Anhand dieser bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung lässt sich spezifisch für eine entsprechende elektrische Maschine die Quantile derart festlegen, dass der Rauschanteil im Erregerstromsignal sicher ausgeschlossen werden kann. Anhand einer derartigen Wahl der Quantile, das vorzugsweise 2% als untere Grenze und 98% als obere Grenze beträgt, kann das erfindungsgemäße Verfahren besonders treffsicher einen Kurzschluss im Erregerkreis diagnostizieren. Hierbei ist das 2% Quantil dadurch gegeben, dass 2% der ermittelten Messwerte, die insbesondere innerhalb eines definierten Zeitintervalls ermittelt wurden, unterhalb des Werts des Quantils liegen oder diesem entsprechen. In Folge dessen liegen 98 % der ermittelten Werte, in diesem Fall des Erregerstroms, über diesem Wert.

[0012] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird der Erregerstrom bzw. das erste Quantil und/oder das weitere Quantil innerhalb eines Zeitintervalls, vorzugsweise kleiner oder gleich 100 ms, weiter vorzugsweise kleiner oder gleich 10 ms ermittelt.

[0013] Zur Ermittlung des Erregerstroms und hieraus des ersten Quantils und/oder des weiteren Quantils sind für eine sichere Fehlerermittlung im Erregerkreis lediglich sehr kleine Zeitintervalle nötig, um eine entsprechende Diagnose durchzuführen. Hierfür genügen lediglich einige wenige charakteristische Features im Erregerstrom, die jeweils durch die im Wesentlichen periodischen Spannungsschwankungen gegeben sind.

[0014] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der Schwellenwert anhand eines Sprungstroms im Erregerkreis ermittelt. Die Festlegung des Schwellenwert anhand des Sprungstroms eines Erregerkreises innerhalb einer elektrischen Maschine ist vorteilhaft, da dieser Sprungstrom anhand einer analytischen Formel leicht ermittelbar ist.

[0015] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird anhand des Betrags der Differenz der ersten statistischen Größe und/oder der weiteren statistischen Größe, vorzugsweise des ersten Quantils und/oder des weiteren Quantils auf Umfang und/oder Fortschritt des Fehlers, insbesondere eines Kurzschlusses im Erregerkreis, geschlossen. Durch geeignete Wahl des ersten Quantils und des weiteren Quantils kann anhand deren Differenz und Vergleich derselben mit einem Schwellenwert besonders sicher auf einen Defekt innerhalb des Erregerkreises geschlossen werden. Am Betrag der Differenz lässt sich die Schwere und/oder der Fortschritt

des Fehlers innerhalb des Erregerkreises ableiten. Umso größer der Betrag ist, umso schwerwiegender bzw. weiterfortgeschritten ist der Fehler. Auch dies lässt sich mit entsprechenden Betragsgrenzen klassifizieren, wobei zwischen moderaten, schweren und sehr schweren Fehlern unterschieden und entsprechende Maßnahmen, wie z.B. eine Warnmeldung oder eine Notabschaltung erfolgen kann.

[0016] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät eines Kraftfahrzeugs ist, insbesondere programmtechnisch dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0017] 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.

[0018] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnungen.

[0019] 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. 4a-b zeigen den Verlauf des Erregerstroms ohne Kurzschluss (a) und mit Kurzschluss (b) im Erregerkreis; und

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

[0020] In Fig. 1 ist eine elektrische Maschine in Form eines Generators schematisch dargestellt und mit 100 bezeichnet.

[0021] 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 Ansteuerungsrate genannt, des PWM-Betriebs sind insbesondere die Höhe des Erregerstroms und damit die Höhe der Generatorspannung veränderbar.

[0022] 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.

[0023] 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.

[0024] 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.

[0025] 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.

[0026] In Fig. 3 ist die in Fig. 1 bereits beschriebene elektrische Maschine, jedoch mit einem Fehler F,

in Form eines Kurzschlusses 100A im Erregerkreis 121, dargestellt. Der Kurzschluss 100A bzw. Fehler F ist der Gestalt, dass dem Leiter im Erregerkreis 121 mit einem Widerstand R_1 von wenigen mΩ ein weiterer Leiter mit Widerstand R_K parallel geschaltet ist, dessen Widerstand, je nach Ausprägung des Kurzschlusses, gegen 0 Ω geht.

[0027] Bei dem Kurzschluss des Erregerkreises 121, fließt zusätzlicher Strom auf dem Kurzschlusszweig mit Widerstand R_K , wenn der Erreger-Transistor 122 vom Regler 150 eingeschaltet wird. Wird der Transistor 122 ausgeschaltet, fließt ein Strom wegen der Induktivität weiter über Diode zurück, jedoch fließt nur ein geringer Strom über den Kurzschlusszweig. Deswegen tritt ein periodischer Stromsprung I_{Sp} im Erregerstromverlauf I_{Err} auf, wenn ein Erregerkreis-Kurzschluss vorliegt. Dieses Verhalten ist im Erregerstromverlauf I_{Err} insbesondere dann gut beobachtbar, wenn der Generator nicht voll belastet ist. Der theoretische Stromsprung in diesem Fall kann mit der Gleichung (1) berechnet werden:

$$I_{Sp} \approx U_{Err} / R_K \quad \text{Gl. (1)}$$

[0028] U_{Err} ist die Erregerspannung und R_K ist der Widerstand im Kurzschlusszweig. Dadurch kann der Erregerkreis-Kurzschluss mit dem Stromsprung I_{Sp} lokalisiert werden. Die Stärke, also der Fortschritt und/oder der Umfang des Fehlers zeigt sich in der betragsmäßigen Größe des Stromsprungs I_{Sp} .

[0029] Die entsprechenden Verläufe des Erregerstroms I_{Err} im Erregerkreis 121 sind für den Kurzschluss 100A in Fig. 4b dargestellt. Fig. 4a zeigt einen typischen Verlauf des Erregerstroms I_{ErrRef} ohne Kurzschluss im Erregerkreis 121.

[0030] Zudem ist der Schwellwert S, der vorliegend in etwa 1 A entspricht, sowie das erste Quantil Q1 als Minimum und das weitere Quantil Q2 als Maximum gegeben. Das erste Quantil Q1 entspricht vorliegend in etwa dem 2%-Quantil und das weitere Quantil Q2 entspricht vorliegend in etwa dem 98%-Quantil. Ist nun die Differenz D aus dem Quantil Q2 und dem Quantil Q1 betragsmäßig größer als der Schwellwert S, liegt ein Fehler vor. Ist die betragsmäßige Differenz des ersten Quantils Q1 und des weiteren Quantils $Q2 \leq$ dem Schwellwert (vgl. Fig. 4a) so ist der Erregerkreis 121 der elektrischen Maschine intakt und es liegt kein Fehler vor. Bereits sehr kleiner Zeitintervalle Δt von ca. 10ms reichen bereits aus, um anhand der Differenz D der Quantile Q1 und Q2 sicher auf einen Fehler im Erregerkreis 121 zu schließen. Das entsprechende Verfahren zur Ermittlung des Fehlers ist in Fig. 5 näher erläutert.

[0031] In Fig. 5 ist ein schematisches Ablaufdiagramm eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Er-

kennung des in den **Fig. 3** und **Fig. 4** gezeigten Fehlerzustands **100A** in Form eines Kurzschlusses dargestellt. Hierbei beginnt das Verfahren mit einem Initialisierungsschritt **200**. Im Schritt **202** wird der Erregerstrom, vorzugsweise innerhalb des Zeitintervalls Δt ermittelt. Im Schritt **204** wird das erste Quantil **Q1** bzw. die erste statistische Größe ermittelt. Im Schritt **206** wird die zweite statistischen Größe, vorzugsweise das weitere Quantil **Q2** ermittelt. In Schritt **208** wird die betragsmäßige Differenz der ersten statistischen Größe bzw. des ersten Quantils **Q1** und der weiteren statistischen Größe, vorzugsweise des weiteren Quantils **Q2** ermittelt. In Schritt **210** wird die betragsmäßige Differenz der Quantile $|Q2-Q1|$ mit einem Schwellwert **S** verglichen. Ist nun die betragsmäßige Differenz der Quantile größer oder gleich dem Schwellwert (dargestellt in **Fig. 5** mit einem +) wird in Schritt **214** auf einen Fehler erkannt.

[0032] Optional können in Schritt **216** eine entsprechende Fehlermeldung in Form einer Flag im Steuergerät der elektrischen Maschine hinterlegt bzw. eine Warnmeldung oder weitergehende Maßnahmen für einen Notlauf der elektrischen Maschine **100** eingeleitet werden. Im Anschluss wird das Verfahren im Schritt **218** beendet. Wird nun im Schritt **210** festgestellt, dass die betragsmäßige Differenz des ersten Quantils **Q1** und des weiteren Quantils **Q2** nicht größer oder gleich dem Schwellwert **S** ist (dargestellt mit einem -) wird in Schritt **212** erkannt, dass die elektrische Maschine, insbesondere der Erregerkreis **120** der elektrischen Maschine intakt ist. Im Anschluss wird das Verfahren im Schritt **218** ebenfalls beendet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erkennen eines Fehlerzustands (100A) in einem Erregerkreis (121) einer elektrischen Maschine (100), weiter aufweisend einen Stator (110) und eine mit dem Stator (110) verbundene Gleichrichterschaltung (130), wobei ein zeitlicher Verlauf eines Erregerstroms (I_{Err}) der elektrischen Maschine (100) erfasst (202) wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine erste statistische Größe (Q1) des Erregerstroms (I_{Err}) ermittelt wird (204) und ein weitere statistische Größe (Q2) des Erregerstroms (I_{Err}) ermittelt wird (206), wobei auf einen Fehler (F) im Erregerkreis (121) geschlossen (210) wird, wenn die Differenz (D) der ersten statistischen Größe (Q1) und der weiteren statistischen Größe (Q2) einen Schwellenwert (S) übersteigt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die erste statistische Größe ein erstes Quantil (Q1) des Erregerstroms (I_{Err}) ist und die weitere statistische Größe ein weiteres Quantil (Q2) des Erregerstroms (I_{Err}) ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das erste Quantil (Q1) im Intervall zwischen 1% und 10%, vorzugsweise 2%, und das weitere Quantil (Q2) im In-

tervall zwischen 90% und 99%, vorzugsweise 98%, liegt.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die erste statistische Größe (Q1) und die weitere statistische Größe (Q2) innerhalb eines Zeitintervalls (Δt), vorzugsweise kleiner oder gleich 100ms, weiter vorzugsweise kleiner oder gleich 10 ms, ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Schwellenwert (S) der Sprungstrom (I_S) im Erregerkreis (121) ist.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei anhand des Betrags der Differenz der ersten statistischen Größe (Q1) und der weiteren statistischen Größe (Q2) auf Umfang und/oder Fortschritt des Fehlers (F), insbesondere eines Kurzschlusses im Erregerkreis (121), 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 7 durchzuführen, wenn es auf der Recheneinheit (150) ausgeführt wird.

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

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

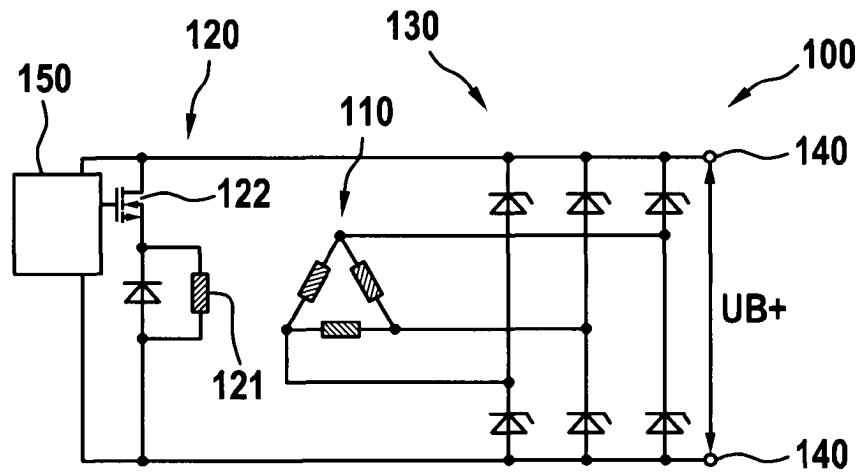


Fig. 2

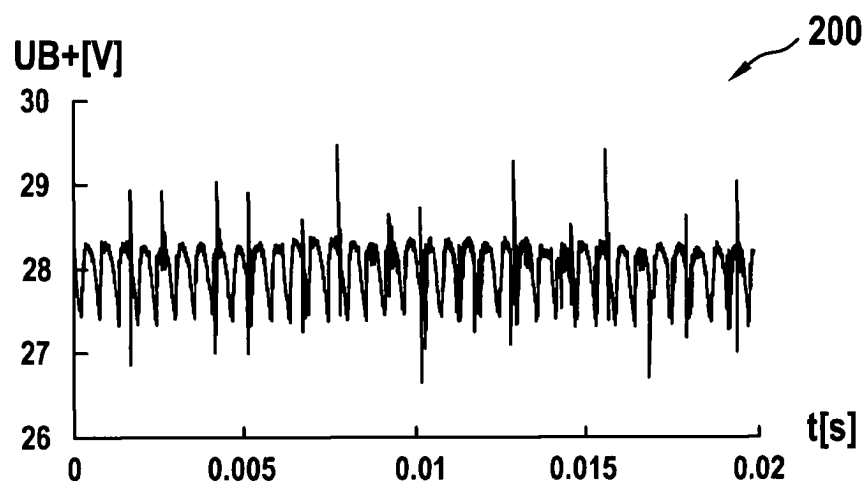


Fig. 3

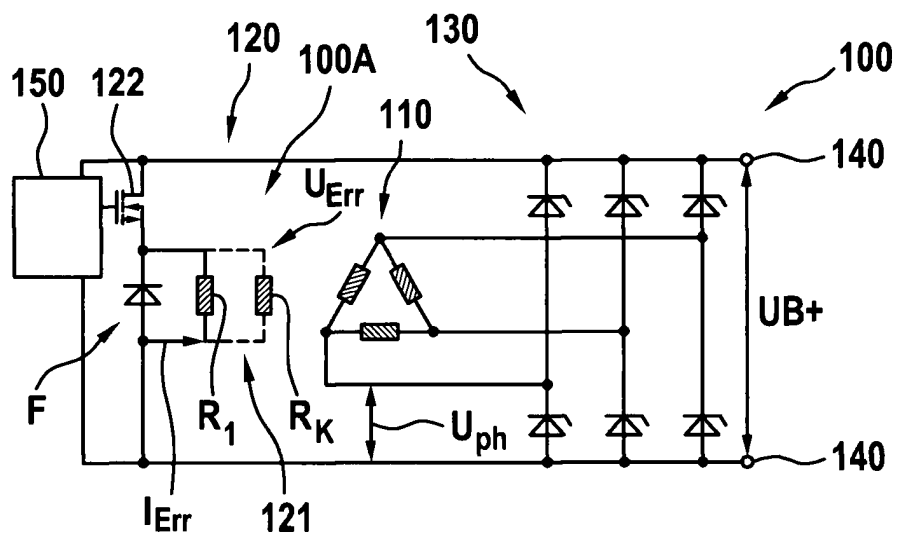


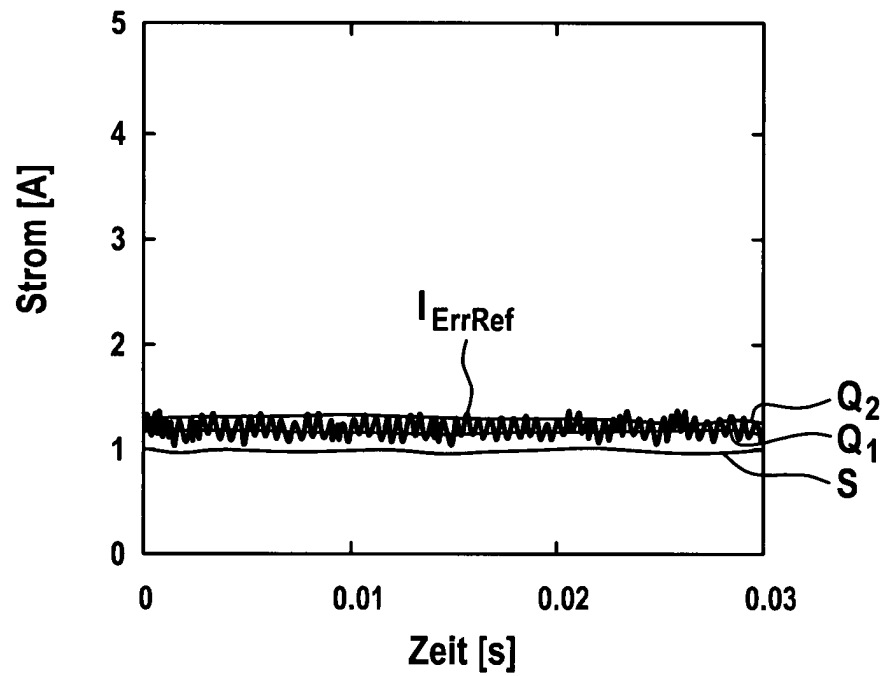
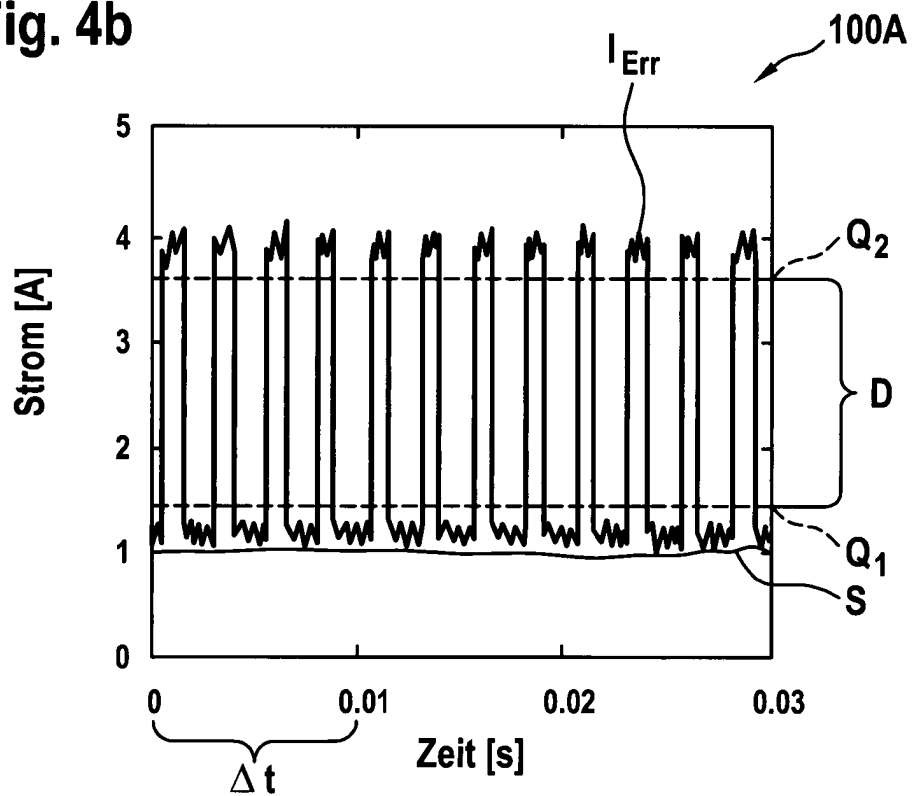
Fig. 4a**Fig. 4b**

Fig. 5