



(10) **DE 10 2019 218 303 A1** 2021.05.27

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 218 303.4**

(22) Anmeldetag: **26.11.2019**

(43) Offenlegungstag: **27.05.2021**

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

G01R 19/00 (2006.01)

H02K 29/00 (2006.01)

H02K 19/00 (2006.01)

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

(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE 10 2016 220 235 A1

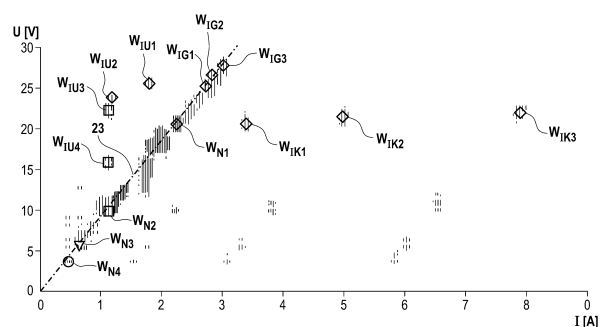
(72) Erfinder:
Wang, Yi, 74343 Sachsenheim, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben eines Generators, Steuergerät für einen Generator, Generator**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Generators (1), der einen Rotor (2) und einen Stator (8) aufweist, wobei der Rotor (2) auf einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Welle drehfest angeordnet ist und einen Erregerkreis (3) mit einer Rotorwicklung (4) aufweist, wobei der Stator (8) gehäusefest angeordnet ist und einen Generatorkreis (9) mit einer Statorwicklung (10) aufweist, und wobei bei drehender Welle die Rotorwicklung (4) mit einer elektrischen Erregerspannung beaufschlagt wird, um ein mit dem Rotor (2) mitdrehendes Magnetfeld zu erzeugen, das einen elektrischen Statorstrom in der Statorwicklung (10) induziert. Es ist vorgesehen, dass in einem vorgegebenen Betriebszustand des Generators (1) eine elektrische Ist-Erregerspannung der Rotorwicklung (4) und ein durch die Rotorwicklung (4) fließender Ist-Erregerstrom ermittelt werden, wobei in Abhängigkeit von der Ist-Erregerspannung und dem Ist-Erregerstrom ermittelt wird, ob eine Fehlfunktion des Erregerkreises (3) und/oder eine Fehlfunktion des Generatorkreises (9) vorliegt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Generators, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, der einen Rotor und einen Stator aufweist, wobei der Rotor auf einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Welle drehfest angeordnet ist und einen Erregerkreis mit einer Rotorwicklung aufweist, wobei der Stator gehäusefest angeordnet ist und einen Generatorkreis mit einer Statorwicklung aufweist, und wobei bei drehender Welle die Rotorwicklung mit einer elektrischen Erregerspannung beaufschlagt wird, um ein mit dem Rotor mitdrehendes Magnetfeld zu erzeugen, das einen elektrischen Statorstrom in der Statorwicklung induziert.

[0002] Die Erfindung betrifft außerdem ein Steuergerät zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens.

[0003] Ferner betrifft die Erfindung einen Generator mit einem derartigen Steuergerät.

Stand der Technik

[0004] Ein Generator weist in der Regel einen Rotor und einen Stator auf. Der Rotor ist dabei drehfest auf einer in einem Gehäuse des Generators drehbar gelagerten Welle angeordnet. Der Stator ist gehäusefest angeordnet, sodass der Rotor und der Stator zueinander verdrehbar sind. Dabei sind Rotoren bekannt, die einen elektrischen Erregerkreis mit einer Rotorwicklung aufweisen, und Statoren, die einen elektrischen Generatorkreis mit einer Statorwicklung aufweisen. Die Rotorwicklung und die Statorwicklung weisen dabei jeweils zumindest eine, vorzugsweise mehrere, Windungen auf.

Zum Betreiben derartiger Generatoren wird bei drehender Welle die Rotorwicklung mit einer elektrischen Erregerspannung beaufschlagt.

[0005] Infolgedessen fließt ein elektrischer Erregerstrom durch den Erregerkreis beziehungsweise die Rotorwicklung und es wird ein mit dem Rotor mitdrehendes Magnetfeld erzeugt. Der Stator ist derart verteilt um den Rotor angeordnet, dass durch das Magnetfeld ein elektrischer Statorstrom in der Statorwicklung induziert wird. Mittels des induzierten Statorstroms kann z.B. mittels eines Gleichrichters ein Generatorstrom (z.B. als Gleichstrom) erzeugt werden. Mit diesem Generatorstrom ist dann beispielsweise ein elektrisch mit dem Generatorkreis verbundener elektrischer Energiespeicher aufladbar.

[0006] Mit anderen Worten: In der Regel weist der Generator einen Gleichrichter auf, um den in der Statorwicklung induzierten Statorstrom, bei dem es sich um einen Wechselstrom handelt, der auch als Phasenstrom bezeichnet werden kann, in einen Gleich-

strom (Generatorstrom) zum Laden des Energiespeichers zu richten.

Offenbarung der Erfindung

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 hat den Vorteil, dass eine Fehlfunktion des Generators zum einen zuverlässig ermittelt wird, und dass zum anderen vorteilhaft unterschieden werden kann, ob die ermittelte Fehlfunktion den Erregerkreis oder den Generatorkreis betrifft. Dies kann vorteilhaft eine Wartung bzw. Reparatur des Generators vereinfachen, da die Quelle des Fehlers bereits während des Betriebs eingegrenzt werden kann. Weiterhin vorteilhaft kann so auf den identifizierten Fehler bereits im Betrieb individuell und spezifisch reagiert werden.

[0008] Erfindungsgemäß ist hierzu vorgesehen, dass in einem vorgegebenen Betriebszustand des Generators eine elektrische Ist-Erregerspannung der Rotorwicklung ermittelt wird und ein durch die Rotorwicklung fließender elektrischer Ist-Erregerstrom ermittelt wird, und dass in Abhängigkeit von der (ermittelten) Ist-Erregerspannung und dem (ermittelten) Ist-Erregerstrom ermittelt wird, ob eine Fehlfunktion des Erregerkreises und/oder des Generatorkreises vorliegt.

[0009] Unter der Ist-Erregerspannung ist dabei eine effektiv an der Rotorwicklung anliegende elektrische Spannung zu verstehen.

[0010] Es wird davon ausgegangen, dass sowohl den Erregerkreis als auch den Generatorkreis betreffende Fehlfunktionen den Ist-Erregerstrom und/oder die Ist-Erregerspannung beeinflussen. Die Ist-Erregerspannung und/oder der Ist-Erregerstrom werden dabei je nachdem, ob eine Fehlfunktion des Generatorkreises oder eine Fehlfunktion des Erregerkreises vorliegt, unterschiedlich beeinflusst. Die Fehlfunktionen sind somit anhand des (ermittelten bzw. erfassten) Ist-Erregerstroms und der (ermittelten bzw. erfassten) Ist-Erregerspannung zuverlässig ermittelbar und eine Fehlfunktion des Generatorkreises ist von einer Fehlfunktion des Erregerkreises unterscheidbar. Der Generator weist dabei zumindest einen Betriebszustand auf. Der Betriebszustand wird durch zumindest einen den Betrieb des Generators beeinflussenden Parameter beschrieben. Vorzugsweise sind mehrere Betriebszustände vorgesehen, wobei sich die Betriebszustände zumindest in einem den Betrieb des Generators beeinflussenden Parameter voneinander unterscheiden.

[0011] Die Ist-Erregerspannung und der Ist-Erregerstrom können z.B. unmittelbar ermittelt werden. Die Ist-Erregerspannung kann z.B. durch das Erfassen mittels eines Spannungssensors, eines Spannungsmessgeräts, etc. erfasst bzw. ermittelt werden. Der

Ist-Erregerstrom kann z.B. mittels eines Stromsensors, eines Strommessgeräts, etc. erfasst bzw. ermittelt werden. Es ist aber auch möglich, dass die Ist-Erregerstromspannung und der Ist-Erregerstrom lediglich mittelbar ermittelt werden, z.B. durch eine Verknüpfung mehrerer anderer Größen (z.B. durch eine Berechnung aus einem Tastverhältnis eines Schaltelements und einer am Schaltelement anliegenden Betriebsspannung). Der Ausdruck „ermitteln“ umfasst somit auch den Ausdruck „erfassen“.

[0012] Im Kontext dieser Anmeldung werden im Hinblick auf den Generator drei verschiedene Spannungen bzw. Ströme unterschieden.

[0013] Der Erregerstrom bzw. die Erregerstromspannung sind Größen, die am Rotor gemessen werden und das Magnetfeld des Rotors beeinflussen. Erregerstrom und Erregerstromspannung sind bevorzugt als Gleichstrom bzw. Gleichspannung ausgebildet.

[0014] Der Statorstrom bzw. die Statorstromspannung stellen diejenigen Größen dar, die in den Wicklungen des Stators anfallen (Phasenströme, Phasenspannungen). Sie liegen üblicherweise als Wechselstrom bzw. Wechselspannung vor.

[0015] Der Generatorstrom bzw. die Generatorstromspannung stellen diejenigen Größen dar, die nach dem Durchlaufen der Statorströme bzw. Statorstromspannungen durch den Gleichrichter an den Ausgängen des Generators anliegen. Mit der Generatorstromspannung kann z.B. das Bordnetz eines Kraftfahrzeugs gespeist werden bzw. eine Batterie bzw. ein Energiespeicher geladen werden. Generatorstrom und Generatorstromspannung können (nach Durchlaufen eines Gleichrichters) als Gleichstrom bzw. Gleichspannung vorliegen. Beispielsweise kann auch die Wicklung des Rotors mit dem Generatorstrom bestromt werden (siehe oben: Erregerstrom).

[0016] Als Erregerkreis ist im Kontext dieser Anmeldung der Stromkreis zu verstehen, der die Rotorwicklung umfasst.

[0017] Als Generatorkreis ist im Kontext dieser Anmeldung derjenige Stromkreis zu verstehen, der die Statorwicklung(en) umfasst. Außerdem umfasst der Generatorkreis für den Fall, dass der Generator einen Gleichrichter umfasst, auch die Elemente des Gleichrichters, insbesondere die Schaltelemente des Gleichrichters (z.B. Dioden, IGBTs, Thyristoren, etc.).

[0018] Durch das vorgeschlagene Verfahren kann somit ermittelt werden, in welchem der beiden Kreise (Erregerkreis bzw. Generatorkreis) eine Fehlfunktion vorliegt bzw. sogar, welcher Art diese Fehlfunktion ist (verringerte Leitfähigkeit in wenigstens einem Leiter oder in einem Schaltelement bzw. zumindest teilwei-

ser Kurzschluss zwischen Leitern bzw. Überbrücken von Schaltelementen).

[0019] Der Generator kann z.B. eine Lichtmaschine eines Kraftfahrzeugs sein. Er kann z.B. jedoch auch als ein Starter-Generator ausgebildet sein, welcher sowohl motorisch als auch generatorisch betrieben werden kann. Grundsätzlich kann es sich um eine generatorisch betreibbare elektrische Maschine handeln. Der Generator kann z.B. für ein 12V-Bordnetz eines Kraftfahrzeugs oder für ein 24V-Bordnetz oder für ein 36V-Bordnetz oder für ein 48V-Bordnetz ausgebildet sein.

[0020] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass in dem vorgegebenen Betriebszustand des Generators der Erregerkreis derart bestromt wird, dass eine elektrische Ist-Generatorstromspannung des Generators einer vorgegebenen Soll-Generatorstromspannung entspricht.

[0021] Dadurch wird vorteilhaft bewirkt, dass z.B. die Spannung in einem an den Generator angeschlossenen Bordnetz im Wesentlichen stets konstant ist. Weiterhin vorteilhaft kann dadurch die Ermittlung des Ist-Erregerstroms und der Ist-Erregerstromspannung besonders präzise durchgeführt werden, wodurch die Sensitivität für das Erkennen einer Fehlfunktion vorteilhaft verbessert wird.

[0022] Unter der Soll-Generatorstromspannung ist dabei das elektrische Potential einer elektrischen Leitung des Generators zu verstehen, durch die der Gleichrichter mit dem Energiespeicher und/oder zumindest einem elektrischen Verbraucher, der durch den Generator betrieben werden soll, elektrisch verbunden ist (siehe oben). Vorzugsweise handelt es sich bei der elektrischen Leitung um eine Versorgungsleitung des Generators, sodass es sich bei der Generatorstromspannung um eine Versorgungsspannung des Generators handelt. Zumindest bei der vorgegebenen Soll-Generatorstromspannung handelt es sich somit um einen den Betriebszustand des Generators beschreibenden Parameter.

[0023] Liegt eine Fehlfunktion in dem Generatorkreis vor, so ist verglichen mit dem fehlerfreien Generatorkreis eine andere Bestromung des Erregerkreises notwendig, damit die Ist-Generatorstromspannung der Soll-Generatorstromspannung entspricht. Durch das Ändern der Bestromung des Erregerkreises werden die Ist-Erregerstromspannung und/oder der Ist-Erregerstrom beeinflusst. Gemäß dieser Ausführungsform ist demnach eine Fehlfunktion des Generatorkreises besonders einfach ermittelbar.

[0024] Vorzugsweise ist die Rotorwicklung mittels eines Schaltelementes elektrisch mit der elektrischen Leitung, deren Potential die Ist-Generatorstromspannung ist, verbunden/verbindbar. Zum Ändern der Bestro-

mung des Erregerkreises wird dann ein Tastgrad des Schaltelementes verändert. Besonders bevorzugt wird zum Ermitteln der Ist-Erregerspannung die Ist-Generatorspannung erfasst, wobei die Ist-Erregerspannung in Abhängigkeit von der Ist-Generatorspannung einerseits und dem Tastgrad des Schaltelementes andererseits (somit mittelbar) ermittelt wird. Alternativ dazu wird die Ist-Erregerspannung mittels einer Sensoreinrichtung erfasst (und dadurch unmittelbar ermittelt).

[0025] Alternativ oder zusätzlich ist vorgesehen, dass in dem vorgegebenen Betriebszustand des Generators der Erregerkreis derart bestromt wird, dass ein elektrischer Ist-Generatorstrom einem vorgegebenen Soll-Generatorstrom entspricht. Dadurch kann vorteilhaft sichergestellt werden, dass sämtliche an das Bordnetz angeschlossene Verbraucher stets ausreichend mit Strom versorgt werden. Beispielsweise kann der Soll-Generatorstrom anhand der an den Generator angeschlossenen Verbraucher und deren ermittelter Stromanforderung ermittelt werden.

[0026] Vorteilhaft kann dadurch die Ermittlung des Ist-Erregerstroms und der Ist-Erregerspannung besonders präzise durchgeführt werden, wodurch die Sensitivität für das Erkennen einer Fehlfunktion vorteilhaft verbessert wird.

[0027] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass der vorgegebene Betriebszustand des Generators durch einen Soll-Generatorstrom gegeben ist. Zumindest bei dem Soll-Generatorstrom handelt es sich demnach um einen den Betriebszustand des Generators beschreibenden Parameter. Unter dem Generatorstrom ist der elektrische Strom zu verstehen, der durch die elektrische Leitung des Generators fließt, durch die der Gleichrichter mit dem Energiespeicher und/oder zumindest einem elektrischen Verbraucher verbunden ist (siehe auch die Definition weiter oben). Entsprechend handelt es sich bei dem Soll-Generatorstrom um einen erwarteten Wert dieses Stroms. Der Soll-Generatorstrom wird dabei beispielsweise durch eine Anzahl und eine Ausgestaltung der elektrischen Verbraucher beeinflusst. Es versteht sich, dass der Generator in diesem Fall so geregelt werden kann, dass der Ist-Generatorstrom dem Soll-Generatorstrom (möglichst) entspricht.

[0028] Durch diese Vorgabe des Betriebszustandes kann für verschiedene reale Stromverbrauchs-Szenarien (verschiedene Betriebszustände) jeweils eine Fehlfunktion des Erregerkreises und/oder des Generatorkreises ermittelt werden. Dadurch können in einfacher Weise Fehlfunktionen im Betrieb des Generators für verschiedenen Lastzuständen ermittelt werden.

[0029] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass der vorgegebene Betriebszustand des Generators durch eine definierte Drehzahl gegeben ist. Zumindest bei der definierten Drehzahl handelt es sich somit um einen den Betriebszustand des Generators beschreibenden Parameter. Unter der Drehzahl ist dabei eine Drehzahl des Rotors zu verstehen.

[0030] Es wird davon ausgegangen, dass die Drehzahl einen Spannungswert der Ist-Generatorspannung beeinflusst. Beispielsweise wird durch eine Erhöhung der Drehzahl (des Rotors) der Spannungswert der Ist-Generatorspannung miterhöht. Dadurch ist wiederum eine andere Bestromung des Erregerkreises notwendig, um die vorgegebene Soll-Generatorspannung zu erhalten.

[0031] Das Berücksichtigen der Drehzahl als den Betriebszustand beschreibender Parameter ist somit vorteilhaft, weil das Ermitteln der Fehlfunktion in Abhängigkeit von dem Ist-Erregerstrom und der Ist-Erregerspannung vereinfacht wird. Vorzugsweise handelt es sich sowohl bei der Soll-Generatorspannung als auch bei der definierten Drehzahl jeweils um einen den Betriebszustand des Generators beschreibenden Parameter.

[0032] Es versteht sich, dass der Generator in diesem Fall so geregelt werden kann, dass der Ist-Generatorstrom dem Soll-Generatorstrom (möglichst) entspricht. Dies gilt insbesondere für Generatoren, die über ein Getriebe, z.B. ein stufenloses Getriebe, mit einem Antriebselement gekoppelt sind. Das Antriebselement kann z.B. eine Brennkraftmaschine oder eine elektrisch betriebene Maschine sein, es kann sich dabei jedoch auch um rotierende Antriebsräder handeln, die mit dem Generator gekoppelt sind.

[0033] Durch diese Vorgabe des Betriebszustandes kann z.B. für einen optimalen Betriebspunkt hinsichtlich einer Geräuschentwicklung des Generators bzw. für verschiedene Betriebszustände eines mit dem Generator gekoppelten Antriebselements jeweils eine Fehlfunktion des Erregerkreises und/oder des Generatorkreises ermittelt werden. Dadurch können in einfacher Weise Fehlfunktionen im Betrieb des Generators für verschiedenen Drehzahlen des Generators ermittelt werden.

[0034] Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass der vorgegebene Betriebszustand des Generators durch eine definierte Temperatur des Generators gegeben ist.

[0035] Besonders bevorzugt handelt es sich bei der vorgegebenen Soll-Generatorspannung, dem Soll-Generatorstrom, der definierten Drehzahl und der definierten Temperatur um (verschiedene) den Betriebszustand beschreibende Parameter. Es versteht

sich, dass weitere Parameter vorgesehen werden können, die den Betriebszustand des Generators beschreiben.

[0036] Vorzugsweise wird durch einen Vergleich der Ist-Erregerspannung und des Ist-Erregerstroms mit einer vorgegebenen Normal-Erregerspannung und einem vorgegebenen Normal-Erregerstrom ermittelt, ob eine Fehlfunktion des Erregerkreises und/oder des Generatorkreises vorliegt. Unter der Normal-Erregerspannung ist dabei eine Erregerspannung zu verstehen, die im fehlerfreien Betrieb des Generators in dem vorgegebenen Betriebszustand erfasst werden würde. Analog dazu ist unter dem Normal-Erregerstrom ein Erregerstrom zu verstehen, der im fehlerfreien Betrieb des Generators in dem vorgegebenen Betriebszustand erfasst werden würde. Dadurch kann vorteilhaft in besonders einfacher Weise und damit kostengünstig eine Fehlfunktion des Generators ermittelt werden.

[0037] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass die vorgegebene Normal-Erregerspannung und der vorgegebene Normal-Erregerstrom als Normal-Wertepaar für den vorgegebenen Betriebszustand des Generators vorab mit einem Generator ohne Fehlfunktion erfasst werden. Durch eine derartige Vorgehensweise ist gewährleistet, dass die korrekte Normal-Erregerspannung und der korrekte Normal-Erregerstrom mit der Ist-Erregerspannung und dem Ist-Erregerstrom verglichen werden. Als Generator ohne Fehlfunktion wird dabei vorzugsweise der Generator, der mittels des Verfahrens betrieben wird, verwendet, zu einem Zeitpunkt, zu dem davon auszugehen ist, dass der Generator keine Fehlfunktion aufweist. Alternativ dazu wird als Generator ohne Fehlfunktion ein sich von dem Generator, der mittels des Verfahrens betrieben wird, unterscheidender weiterer Generator verwendet.

[0038] Dadurch wird vorteilhaft bewirkt, dass die Normal-Wertepaare in der Praxis ermittelt werden und nicht lediglich ein theoretisches Simulationsmodell des Generators. Die Ermittlung von Fehlfunktionen wird dadurch präziser möglich. Gleichzeitig sinkt das Risiko, eine vermeintliche Fehlfunktion festzustellen.

[0039] Vorzugsweise werden eine Vielzahl von Normal-Wertepaaren für eine Vielzahl von vorgegebenen Betriebszuständen vorab erfasst. Mittels des Verfahrens ist dann der Generator in der Vielzahl von vorgegebenen Betriebszuständen vorteilhaft betreibbar. Vorzugsweise wird aus der Vielzahl der Normal-Wertepaare ein Kennfeld gebildet und/oder zumindest eine Kennlinie ermittelt.

[0040] Dadurch kann auch eine Interpolation von nicht vorab gemessenen bzw. erfassten bzw. ermittelten Werten präziser erfolgen.

[0041] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass das Verhältnis der ermittelten Ist-Erregerspannung zu dem ermittelten Ist-Erregerstrom als Ist-Verhältnis gebildet wird, wobei das Verhältnis der Normal-Erregerspannung zu dem Normal-Erregerstrom als Normal-Verhältnis gebildet wird, und wobei festgestellt wird, dass die Fehlfunktion des Erregerkreises vorliegt, wenn eine Abweichung des Ist-Verhältnisses von dem Normal-Verhältnis einen vorgegebenen Schwellenwert übersteigt. Das Ist-Verhältnis und das Normal-Verhältnis sind durch Quotientenbildung mathematisch einfach berechenbar und können graphisch als Teil eines Kennfeldes oder einer Kennlinie vorteilhaft dargestellt werden. Außerdem korrespondiert die Abweichung des Ist-Verhältnisses von dem Normal-Verhältnis besonders genau mit Fehlfunktionen des Generators.

[0042] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass als Fehlfunktion des Erregerkreises eine zumindest partielle Unterbrechung, insbesondere wenigstens eine Unterbrechung, des Erregerkreises festgestellt wird, wenn das Ist-Verhältnis größer ist als das Normal-Verhältnis. Dadurch wird vorteilhaft bewirkt, dass bei Erkennen eines solchen Fehlerbildes eine Überlastung der Rotorwindung und/oder vorgelagerter Komponenten und damit ein Totalausfall vermieden werden kann. Denn um z.B. eine konstante Generatorspannung aufrecht zu erhalten müsste mit zunehmender Unterbrechung eine immer höhere Spannung an die Rotorwicklung angelegt werden, um den notwendigen Rotorstrom und damit das vom Rotor erzeugte Magnetfeld bereitzustellen.

[0043] Unter einer zumindest partiellen Unterbrechung des Erregerkreises ist dabei zu verstehen, dass die Stromleitungsfähigkeit zumindest eines Teils des Erregerkreises verringert ist. Dies ist beispielsweise bei einem altersbedingten Verschleiß einer elektrischen Leitung des Erregerkreises der Fall oder wenn eine elektrische Verbindungsstelle zwischen einem ersten Leitungsteil und einem zweiten Leitungsteil der Leitung des Erregerkreises beschädigt ist.

[0044] Im Unterschied zu der partiellen Unterbrechung ist unter einer vollständigen Unterbrechung des Erregerkreises zu verstehen, dass zumindest ein Teil des Erregerkreises nicht mehr zum Leiten von Strom geeignet ist (eine Generierung von Strom im Stator ist dann auf niedrigem Niveau dennoch möglich). Liegt die zumindest partielle Unterbrechung des Erregerkreises vor, so wird zum Erreichen eines bestimmten Ist-Erregerstroms verglichen mit dem fehlerfreien Erregerkreis eine erhöhte Ist-Erregerspannung benötigt, sodass das Ist-Verhältnis dann größer ist als das Normal-Verhältnis.

[0045] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass als Fehlfunktion des Erregerkreises ein zumindest partieller Kurzschluss, insbesondere wenigstens ein Kurzschluss, im Erregerkreis festgestellt wird, wenn das Ist-Verhältnis kleiner ist als das Normal-Verhältnis. Dadurch wird vorteilhaft bewirkt, dass bei Erkennen eines solchen Fehlerbildes eine Überlastung der Rotorwindung und/oder vorgelagerter Komponenten und damit ein Totalausfall vermieden werden kann.

[0046] Unter einem zumindest partiellen Kurzschluss ist dabei zu verstehen, dass ein elektrischer Widerstand zumindest eines Teils des Erregerkreises verglichen mit dem fehlerfreien Erregerkreis verringert ist. Im Unterschied zu dem partiellen Kurzschluss ist unter einem vollständigen Kurzschluss des Erregerkreises zu verstehen, dass der Widerstand des Erregerkreises auf einen Wert nahe null fällt. Liegt der zumindest partielle Kurzschluss des Erregerkreises vor, so fließt bei einer bestimmten Ist-Erregerspannung verglichen mit dem fehlerfreien Erregerkreis ein erhöhter Ist-Erregerstrom durch den Erregerkreis, so dass das Ist-Verhältnis dann kleiner ist als das Normal-Verhältnis.

[0047] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass festgestellt wird, dass eine Fehlfunktion des Generatorkreises vorliegt, wenn die Ist-Erregerspannung größer ist als die Normal-Erregerspannung und wenn insbesondere das Ist-Verhältnis zumindest im Wesentlichen dem Normal-Verhältnis entspricht. Dabei ist unter dem Begriff „zumindest im Wesentlichen“ zu verstehen, dass das Ist-Verhältnis von dem Normal-Verhältnis z.B. um weniger als 10% abweicht, bevorzugt um weniger als 5%, besonders bevorzugt um weniger als 3% und ganz besonders bevorzugt um weniger als 1,5%.

[0048] Dadurch kann vorteilhaft mit einfachen Mitteln eine Fehlfunktion des Generatorkreises ermittelt werden und eine Überlastung des Generatorkreises vermieden werden.

[0049] Liegt eine Fehlfunktion des Generatorkreises vor, so wird zum Erreichen der vorgegebenen Soll-Generatorspannung verglichen mit dem fehlerfreien Generatorkreis eine erhöhte Ist-Erregerspannung benötigt. Eine Fehlfunktion des Generatorkreises ist somit durch Vergleichen der Ist-Erregerspannung mit der Normal-Erregerspannung einfach feststellbar. Liegt eine Fehlfunktion des Generatorkreises (inklusive eines ggf. vorhandenen Gleichrichters) vor und der Erregerkreis ist fehlerfrei, so sind die Ist-Erregerspannung und der Ist-Erregerstrom erhöht, jedoch entspricht das Ist-Verhältnis im Wesentlichen dem Normal-Verhältnis.

[0050] Bei der Darstellung der Normal-Verhältnisse in einem Diagramm mit dem Erregerstrom als x-

Achse und der Erregerspannung als y-Achse kann sich z.B. für einen definierten Betriebszustand (z.B. konstante Drehzahl, konstante Temperatur, konstante Soll-Generatorspannung) für verschiedene zu erreichende Soll-Generatorströme eine Gerade ergeben, auf welcher die Normal-Verhältnisse angeordnet sind. Liegt eine Fehlfunktion im Generatorkreis vor, so kann das ermittelte Ist-Verhältnis auch (im Wesentlichen) auf dieser Geraden liegen, jedoch zu höheren x- und y-Werten verschoben gegenüber dem Normal-Verhältnis, welches für den angestrebten Soll-Generatorstrom erwartet würde.

[0051] Vorzugsweise wird deshalb festgestellt, dass eine Fehlfunktion des Generatorkreises vorliegt, wenn zum einen die Ist-Erregerspannung größer ist als die Normal-Erregerspannung und wenn zusätzlich dazu beziehungsweise zeitgleich dazu das Ist-Verhältnis zumindest im Wesentlichen dem Normal-Verhältnis entspricht, also von dem Normal-Verhältnis z.B. um weniger als 10% abweicht, bevorzugt um weniger als 5%, besonders bevorzugt um weniger als 3% und ganz besonders bevorzugt um weniger als 1, 5%.

[0052] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass, wenn festgestellt wird, dass eine Fehlfunktion des Generators vorliegt, ein Fehlersignal bereitgestellt wird. Einem Benutzer des Generators wird somit eine festgestellte Fehlfunktion des Generators mitgeteilt, sodass geeignete Maßnahmen durchgeführt werden können. Als Fehlersignal wird vorzugsweise ein optisch, haptisch und/oder akustisch wahrnehmbares Fehlersignal bereitgestellt. Vorzugsweise unterscheidet sich ein bei einer Fehlfunktion des Generatorkreises bereitgestelltes Fehlersignal von einem bei einer Fehlfunktion des Erregerkreises bereitgestellten Fehlersignal. Dadurch wird vorteilhaft sichergestellt, dass eine Beschädigung des Generators in Folge einer unerkannten bzw. nicht mitgeteilten Fehlfunktion vermieden werden kann.

[0053] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass, wenn festgestellt wird, dass eine Fehlfunktion des Generators vorliegt, der Generator in einen sicheren Betriebszustand überführt wird. Beispielsweise werden hierzu der Tastgrad des Schaltelementes begrenzt und/oder die vorgegebene Soll-Generatorspannung verringert. Vorteilhaft wird dadurch eine Beschädigung des Generators oder daran angeschlossener Verbraucher verhindert.

[0054] Beispielsweise kann der Betrieb des Generators eingestellt werden, wenn festgestellt wird, dass eine Fehlfunktion vorliegt. Beispielsweise kann der Generator in Abhängigkeit von der ermittelten Fehlfunktion in jeweils unterschiedliche sichere Betriebszustände überführt werden. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht auf diese Weise eine intelligenten-

te Betriebsstrategie, die beispielsweise zumindest eine sichere Teilnutzung des Generators zumindest über einen begrenzten Zeitraum hinweg auch im Fehlerfall ermöglicht, ohne den Generator dabei (weiter) zu beschädigen.

[0055] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Steuergerät für einen Generator vorgeschlagen.

[0056] Der Generator weist einen Rotor und einen Stator auf, wobei der Rotor auf einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Welle drehfest angeordnet ist und einen Erregerkreis mit einer Rotorwicklung aufweist, und wobei der Stator gehäusefest angeordnet ist und einen Generatorkreis mit einer Statorwicklung aufweist. Dabei ist vorgesehen, dass das Steuergerät speziell dazu hergerichtet ist, bei bestimmungsgemäßem Gebrauch das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen.

[0057] Auch daraus ergeben sich die bereits genannten Vorteile. Weitere bevorzugte Merkmale und Merkmalskombinationen ergeben sich aus dem zuvor Beschriebenen sowie aus den Ansprüchen.

[0058] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Generator für ein Kraftfahrzeug vorgeschlagen.

[0059] Der Generator weist einen Rotor und einen Stator auf, wobei der Rotor auf einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Welle drehfest angeordnet ist und einen Erregerkreis mit einer Rotorwicklung aufweist, und wobei der Stator gehäusefest angeordnet ist und einen Generatorkreis mit einer Statorwicklung aufweist. Dabei weist der Generator ein erfindungsgemäßes Steuergerät auf.

[0060] Auch daraus ergeben sich die zuvor bereits genannten Vorteile. Z.B. kann der Generator eine Strommesseinrichtung aufweisen, die dazu ausgebildet ist, den Ist-Erregerstrom zu erfassen und dem Steuergerät den erfassten Ist-Erregerstrom bereitzustellen. Alternativ oder zusätzlich kann der Generator lediglich beispielhaft eine Spannungsmesseinrichtung aufweisen, die dazu ausgebildet ist, die Ist-Generatorspannung zu erfassen und dem Steuergerät die erfasste Ist-Generatorspannung bereitzustellen. Der Generator kann z.B. auch eine weitere Spannungsmesseinrichtung zur Erfassung der Erregerspannung aufweisen. Beispielsweise kann der Generator ein Schaltelement aufweisen, durch das die Rotorwicklung elektrisch mit einem Energiespeicher verbunden/verbindbar ist, wobei das Steuergerät dazu ausgebildet ist, das Schaltelement anzusteuern. Das Steuergerät kann z.B. auch eingerichtet sein, aus verschiedenen Größen die Ist-Rotorspannung bzw. die Ist-Erregerspannung zu ermitteln, z.B. aus dem Tastgrad des Schaltelements und einer am

Schaltelement für die Rotorwicklung anliegenden Betriebsspannung.

[0061] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnungen näher beschrieben. Dazu zeigen

Fig. 1 ein elektrisches Ersatzschaltbild eines Generators, der einen Erregerkreis und einen Generatorkreis aufweist,

Fig. 2 ein Verfahren zum Betreiben des Generators und

Fig. 3 Wertepaare einer elektrischen Erregerspannung und eines elektrischen Erregerstroms im fehlerfreien Betrieb des Generators und bei Vorliegen einer Fehlfunktion,

Fig. 4a-4d vier elektrische Ersatzschaltbilder in Anlehnung an **Fig. 1**, in denen jeweils eine mögliche Fehlfunktion im Generatorkreis dargestellt ist,

Fig. 5a und **Fig. 5b** zwei elektrische Ersatzschaltbilder in Anlehnung an **Fig. 1**, in denen jeweils eine mögliche Fehlfunktion im Erregerkreis dargestellt ist.

[0062] **Fig. 1** zeigt in einer schematischen Darstellung ein elektrisches Ersatzschaltbild eines Generators **1**. Bei dem Generator **1** handelt es sich vorliegend um den Generator eines Kraftfahrzeugs, beispielsweise eine Lichtmaschine des Kraftfahrzeugs oder um eine elektrische Maschine im Generatorbetrieb, z.B. um einen Starter-Generator. Der Generator **1** kann z.B. für ein Bordnetz vorgesehen sein bzw. an ein solches angeschlossen sein, welches eine 12V-Gleichspannung oder eine 24V-Gleichspannung oder eine 36V-Gleichspannung oder eine 48V-Gleichspannung oder eine andere Spannung bereitstellt. Der Generator **1** weist einen Rotor **2** auf, der auf einer nicht dargestellten Welle drehfest angeordnet. Die Welle ist dabei z.B. in einem Gehäuse drehbar gelagert. Der Rotor **2** weist einen elektrischen Erregerkreis **3** auf. Der Erregerkreis **3** weist eine Rotorwicklung **4** auf, die z.B. eine Vielzahl von Windungen aufweist.

[0063] Der Generator **1** weist außerdem einen Stator **8** auf. Der Stator **8** ist z.B. gehäusefest angeordnet, sodass der Rotor **2** und der Stator **8** zueinander verdrehbar sind. Der Stator **8** weist einen Generatorkreis **9** mit einer Statorwicklung **10** auf. Die Statorwicklung **10** weist vorliegend drei Phasen **U**, **V** und **W** auf, die z.B. mittels einer Dreieckschaltung miteinander verschaltet sind. Anschlussstellen **11**, **12** und **13** der Statorwicklung **10** sind jeweils mit einem drei Halbbrücken **14**, **15**, **16** aufweisenden Gleichrichter **22** des Generators **1** verbunden. Die Elemente des Gleichrichters **22**, insbesondere die drei Halbbrücken **14**, **15**, **16**, sind bezüglich der Ermittlung von Fehlfunktionen dem Generatorkreis **9** zuzurechnen.

Der Generator **1** weist außerdem eine elektrische Leitung **6** auf. Bei der Leitung **6** handelt es sich um eine Versorgungsleitung **6** des Generators. Die elektrische Leitung **6** ist z.B. mit einem nicht dargestellten elektrischen Energiespeicher elektrisch verbunden. Außerdem ist die elektrische Leitung **6** mit dem Gleichrichter **22** und mittels eines Schaltelementes **5** mit der Rotorwicklung **4** elektrisch verbunden. Die elektrische Leitung **6** weist ein positives elektrisches Potential auf. Dieses wird im Folgenden als Generatorspannung bezeichnet.

[0064] Der Generator **1** weist außerdem eine Erdungsleitung **7** beziehungsweise Masseleitung **7** auf. Auch die Erdungsleitung **7** ist mit dem Gleichrichter **22** und mit der Rotorwicklung **4** elektrisch verbunden.

[0065] Ist das Schaltelement **5** leitend, so liegt die Generatorspannung an der Rotorwicklung **4** an. Eine effektive an der Rotorwicklung **4** anliegende Spannung wird dabei als Erregerspannung bezeichnet. Die Erregerspannung wird durch die Generatorspannung (bzw. die Spannung des Energiespeichers) einerseits und durch einen Tastgrad des Schaltelementes **5** andererseits beeinflusst. Die Erregerspannung bewirkt, dass ein elektrischer Strom durch die Rotorwicklung **4** fließt. Dieser elektrische Strom wird als Erregerstrom bezeichnet. Durch den elektrischen Erregerstrom wird dabei ein Magnetfeld erzeugt. Bei drehender Welle dreht sich das erzeugte Magnetfeld mit dem Rotor **2** mit. Die Statorwicklung **10** ist derart verteilt um den Rotor **2** angeordnet, dass bei drehender Welle durch das erzeugte Magnetfeld ein elektrischer Wechselstrom in der Statorwicklung **10** induziert wird. Der Wechselstrom wird durch den Gleichrichter **22** gerichtet, wobei durch den gerichteten Strom einerseits die Generatorspannung beeinflusst und andererseits der Energiespeicher aufgeladen wird.

[0066] Der Generator **1** weist hier z.B. außerdem ein Steuergerät **17** auf. Das Steuergerät **17** ist dazu ausgebildet, das Schaltelement **5** anzusteuern.

[0067] Der Generator **1** weist außerdem eine erste Strommesseinrichtung **18** auf. Die erste Strommesseinrichtung **18** ist dazu ausgebildet, einen durch die Rotorwicklung **4** fließenden Ist-Erregerstrom, also den tatsächlich durch die Rotorwicklung **4** fließenden elektrischen Erregerstrom, zu erfassen. Die erste Strommesseinrichtung **18** ist außerdem kommunikationstechnisch mit dem Steuergerät **17** verbunden, um dem Steuergerät **17** den erfassten Ist-Erregerstrom zu übermitteln.

[0068] Der Generator **1** weist hier z.B. außerdem eine Spannungsmesseinrichtung **19** auf. Die Spannungsmesseinrichtung **19** ist dazu ausgebildet, eine elektrische Ist-Generatorspannung, also das tatsächliche elektrische Potential der Leitung **6**, zu erfassen. Die Spannungsmesseinrichtung **19** ist außer-

dem kommunikationstechnisch mit dem Steuergerät **17** verbunden, um dem Steuergerät **17** die erfasste Ist-Generatorspannung zu übermitteln.

[0069] Der Generator **1** weist hier lediglich beispielhaft außerdem einen Temperatursensor **20** auf. Der Temperatursensor **20** ist dazu ausgebildet, eine Temperatur des Generators **1** beispielsweise im Bereich des Rotors **2** zu erfassen. Der Temperatursensor **20** ist kommunikationstechnisch mit dem Steuergerät **17** verbunden, um dem Steuergerät **17** die erfasste Temperatur zu übermitteln.

[0070] Der Generator **1** weist außerdem eine zweite Strommesseinrichtung **21** auf. Die zweite Strommesseinrichtung **21** ist dazu ausgebildet, einen durch die Leitung **6** fließenden elektrischen Ist-Strom zu erfassen, der als Ist-Generatorstrom bezeichnet wird. Der Ist-Generatorstrom ist z.B. abhängig von einer Anzahl und Ausgestaltung von elektrischen Verbrauchern, die mit der Leitung **6** elektrisch verbunden sind, um durch den Ist-Generatorstrom betrieben zu werden. Die zweite Strommesseinrichtung **21** ist kommunikationstechnisch mit dem Steuergerät **17** verbunden, um dem Steuergerät **17** den erfassten Ist-Generatorstrom bereitzustellen.

[0071] Im Folgenden wird mit Bezug auf **Fig. 2** ein vorteilhaftes Verfahren zum Betreiben des Generators **1** anhand eines Flussdiagramms näher erläutert.

[0072] In einem ersten Schritt **S1** wählt das Steuergerät **17** einen Betriebszustand aus mehreren möglichen Betriebszuständen aus. Der Betriebszustand ist dabei z.B. durch wenigstens eine der folgenden Größen definiert: eine definierte Drehzahl des Rotors **2**, eine durch den Temperatursensor **20** erfasste Temperatur, einen erwarteten Soll-Generatorstrom und eine gewünschten Soll-Generatorspannung.

[0073] In Abhängigkeit von dem ausgewählten Betriebszustand bestimmt das Steuergerät **17** in einem zweiten Schritt **S2** ein Ansteuersignal zum Ansteuern des Schaltelementes **5**. Das Ansteuersignal beschreibt dabei einen Tastgrad des Schaltelementes **5** und wird derart bestimmt, dass mittels des Ansteuersignals die gewünschte Soll-Generatorspannung im Falle eines fehlerfreien Generators **1** erreicht wird, wobei dies bei dem gewählten Betriebszustand erfolgt. Dieser ist z.B. abhängig von einer oder mehreren der folgenden Größen: Drehzahl des Rotors **2**, Temperatur, Soll-Generatorspannung, Soll-Generatorstrom.

[0074] In einem dritten Schritt **S3** steuert dann das Steuergerät **17** das Schaltelement **5** in Abhängigkeit von dem bestimmten Ansteuersignal an, um die Rotorwicklung **4** zu bestromen. Infolgedessen wird ein mit dem Rotor **2** mitdrehendes Magnetfeld erzeugt, das einen Wechselstrom in der Statorwicklung **10** in-

duziert, wobei der Wechselstrom durch den Gleichrichter **22** in einen Gleichstrom gerichtet wird.

[0075] In einem vierten Schritt **S4** erfasst die Spannungsmesseinrichtung **19** die Ist-Generatorspannung und übermittelt dem Steuergerät **17** die erfasste Ist-Generatorspannung.

[0076] In einem fünften Schritt **S5** vergleicht das Steuergerät **17** die Ist-Generatorspannung mit der vorgegebenen Soll-Generatorspannung. Ergibt der Vergleich, dass eine Abweichung der Ist-Generatorspannung von der Soll-Generatorspannung eine vorgegebene Schwellenabweichung übersteigt, so wird ein sechster Schritt **S6** ausgeführt.

[0077] Im sechsten Schritt **S6** bestimmt das Steuergerät **17** ein angepasstes Ansteuersignal und es wird auf den Schritt **S3** zurückverwiesen, in dem das Steuergerät **17** dann das Schaltelement **5** in Abhängigkeit von dem angepassten Ansteuersignal ansteuert.

[0078] Ergibt der Vergleich im fünften Schritt **S5** jedoch, dass die Abweichung der Ist-Generatorspannung von der Soll-Generatorspannung die Schwellenabweichung unterschreitet, so wird auf einen siebten Schritt **S7** verwiesen.

[0079] In diesem siebten Schritt **S7** wird durch die erste Strommesseinrichtung **18** der Ist-Erregerstrom erfasst und dem Steuergerät **17** bereitgestellt. Außerdem ermittelt das Steuergerät **17** in dem Schritt **S7** die Ist-Erregerspannung in Abhängigkeit von der Ist-Generatorspannung einerseits und dem Tastgrad des Schaltelementes **5** andererseits. Alternativ oder zusätzlich kann zur Erfassung bzw. unmittelbaren Ermittlung der Ist-Erregerspannung in Schritt **S7** auch ein (hier nicht dargestellter) Spannungssensor im Erregerkreis vorgesehen sein.

[0080] In einem achten Schritt **S8** ermittelt das Steuergerät **17** ein Ist-Verhältnis der Ist-Erregerspannung zu dem Ist-Erregerstrom. Hierzu berechnet das Steuergerät **17** den Quotienten aus der Ist-Erregerspannung und dem Ist-Erregerstrom, also das Verhältnis $U_{\text{Ist, Rotor}} / I_{\text{Ist, Rotor}}$.

[0081] In einem neunten Schritt **S9** vergleicht das Steuergerät **17** das ermittelte Ist-Verhältnis mit einem Normal-Verhältnis. Unter dem Normal-Verhältnis ist dabei das Verhältnis zu verstehen, das im fehlerfreien Betrieb des Generators **1** durch das Steuergerät **17** ermittelt werden würde. Das Steuergerät **17** weist dabei einen nicht dargestellten Datenspeicher auf, in dem z.B. eine Vielzahl von Normal-Verhältnissen abgespeichert ist, wobei jedem Betriebszustand jeweils eines der Normal-Verhältnisse zugeordnet ist.

[0082] Ergibt der Vergleich, dass der Generator **1** fehlerfrei ist, so wird auf einen zehnten Schritt **S10**

verwiesen und der Generator **1** wird weiterhin in dem ausgewählten Betriebszustand betrieben.

[0083] Ergibt der Vergleich jedoch, dass der Erregerkreis **3** oder der Generatorkreis **9** eine Fehlfunktion aufweist, so wird auf einen elften Schritt **S11** verwiesen und der Generator **1** wird in einen sicheren Betriebszustand überführt. Beispielsweise wird hierzu ein Betriebszustand mit einer geringeren Soll-Generatorspannung ausgewählt und/oder der Tastgrad des Schaltelementes **5** wird begrenzt.

[0084] Im Folgenden wird mit Bezug auf **Fig. 3** beispielhaft erläutert, wie festgestellt wird, dass eine Fehlfunktion des Erregerkreises **3** oder eine Fehlfunktion des Generatorkreises **9** vorliegt. Hierzu zeigt **Fig. 3** ein Diagramm, wobei die Abszisse des Diagramms den Erregerstrom und die Ordinate die Erregerspannung beschreibt. In dem Diagramm ist beispielhaft eine Vielzahl von Wertepaaren **W** dargestellt. Jedes der Wertepaare **W** weist dabei jeweils eine Erregerspannung sowie einen Erregerstrom auf und wurde im Betrieb des Generators **1** erfasst. Beim Erfassen der Wertepaare **W** wurden hier beispielhaft die Temperatur des Generators **1** und die Drehzahl des Rotors **2** konstant gehalten.

[0085] In dem Diagramm sind vier Normal-Wertepaare **W_N** dargestellt. Die Normal-Wertepaare **W_N** weisen jeweils eine Normal-Erregerspannung und einen Normal-Erregerstrom auf. Unter der Normal-Erregerspannung und dem Normal-Erregerstrom der jeweiligen Normal-Wertepaare **W_N** sind die Erregerspannung beziehungsweise der Erregerstrom zu verstehen, die im fehlerfreien Betrieb des Generators **1** bei einer bestimmten Ist-Generatorspannung (z.B. 14V zum Laden des Energiespeichers eines 12V-Bordnetzes oder 28V zum Laden eines Energiespeichers eines 24V-Bordnetzes, usw.) erfassbar sind. Die Normal-Wertepaare **W_N** können beim Ermitteln einer Fehlfunktion des Generators **1** deshalb als Referenz-Wertepaare verwendet werden.

[0086] Um die Normal-Wertepaare **W_N** zu ermitteln kann dabei z.B. wie folgt vorgegangen werden:

Temperatur und Drehzahl des fehlerfreien Generators **1** werden konstant gehalten. Weiterhin wird die Ist-Generatorspannung so geregelt, dass sie während der Ermittlung der Normal-Wertepaare **W_N** der Soll-Generatorspannung (z.B. 14V, 28V, etc.) entspricht und damit konstant bleibt. Um nun die Normal-Wertepaare **W_N** für verschiedene Soll-Generatorströme zu ermitteln können z.B. jeweils ein oder mehrere Verbraucher zusätzlich an den Generator **1** zugeschaltet werden bzw. die elektrische Last eines am Generator **1** angeschlossenen Verbrauchers sukzessive variiert (erhöht/verringert) werden.

[0087] Ein erstes Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_{N1}$, beschreibt dabei die Normal-Erregerspannung und den Normal-Erregerstrom bei einem ersten Ist-Generatorstrom von 100 Ampere. Ein zweites Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_{N2}$ beschreibt die Normal-Erregerspannung und den Normal-Erregerstrom bei einem zweiten Ist-Generatorstrom von 50 Ampere. Ein drittes Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_{N3}$ beschreibt dabei die Normal-Erregerspannung und den Normal-Erregerstrom bei einem dritten Ist-Generatorstrom von 20 Ampere. Ein viertes Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_{N4}$ beschreibt dabei die Normal-Erregerspannung und den Normal-Erregerstrom bei einem vierten Ist-Generatorstrom von 5 Ampere. Wie aus der **Fig. 3** ersichtlich ist, liegen die Normal-Wertepaare $\mathbf{W}_{N1-4}$ alle zumindest im Wesentlichen auf einer Geraden **23**. Ein Verhältnis beziehungsweise Normal-Verhältnis der Normal-Erregerspannung zu dem Normal-Erregerstrom ist also bei jedem der Normal-Wertepaare $\mathbf{W}_{N1-4}$ dasselbe.

[0088] Jedes der Normal-Wertepaare $\mathbf{W}_{N1-4}$ ist hierbei durch ein anderes Zeichen dargestellt: $\mathbf{W}_{N1}$, durch eine Raute, $\mathbf{W}_{N2}$ durch ein Rechteck, $\mathbf{W}_{N3}$ durch ein Dreieck und $\mathbf{W}_{N4}$ durch einen Kreis.

[0089] Es versteht sich, dass die Bestimmung der Normal-Wertepaare $\mathbf{W}_N$ auch auf andere Weise erfolgen kann (z.B. können für jedes Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_N$ auch sowohl die Ist-Generatorspannung als auch der Ist-Generatorstrom variiert werden).

[0090] Zusätzlich zu den Normal-Wertepaaren $\mathbf{W}_N$ sind in dem Diagramm auch Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_I$ dargestellt. Die Ist-Wertepaare weisen jeweils eine Ist-Erregerspannung und einen Ist-Erregerstrom auf. Die Ist-Erregerspannung und der Ist-Erregerstrom wurden in einem Betrieb des Generators **1** erfasst wurden, in dem der Generator **1** möglicherweise eine Fehlfunktion aufweist.

[0091] Wie mit Bezug auf **Fig. 2** erläutert wurde, wird der Generator **1** derart betrieben, dass die Ist-Generatorspannung der Soll-Generatorspannung entspricht. Weisen der Erregerkreis **3** oder der Generatorkreis **9** eine Fehlfunktion auf, resultiert daraus verglichen mit dem fehlerfreien Zustand des Generators **1** eine andere Ist-Erregerspannung und/oder ein anderer Ist-Erregerstrom.

[0092] Weist beispielsweise der Generatorkreis **9** eine Fehlfunktion auf, beispielsweise eine zumindest partielle Unterbrechung oder einen zumindest partiellen Kurzschluss, so ist verglichen mit dem fehlerfreien Betrieb des Generators **1** eine höhere Ist-Erregerspannung notwendig, damit die Ist-Generatorspannung der Soll-Generatorspannung entspricht. Ist der Erregerkreis **3** dabei fehlerfrei, so ist der Ist-Erregerstrom entsprechend der Ist-Erregerspannung erhöht, gleichzeitig ist das Verhältnis beziehungsweise Ist-Verhältnis aus der Ist-Erregerspannung und dem Ist-

Erregerstrom jedoch nicht verändert. Ist-Wertepaare, die bei einem Betrieb des Generators **1** mit einem eine Fehlfunktion aufweisenden Generatorkreis **9** erfasst wurden, liegen demnach (im Wesentlichen) auf der Geraden **23**, weisen allerdings verglichen mit dem zugehörigen Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_{N1-4}$ eine erhöhte Ist-Erregerspannung und einen erhöhten Ist-Erregerstrom auf (sie sind somit entlang der Geraden **23** nach oben verschoben gegenüber dem Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_N$, welches zu dem zugehörigen Soll-Generatorstrom gehört).

[0093] Beispiele für Fehlfunktionen des Generatorkreises **9** sind in den **Fig. 4a**, **Fig. 4b**, **Fig. 4c** und **Fig. 4d** dargestellt.

Fig. 4a zeigt in einem an **Fig. 1** angelehnten Ersatzschaltbild eine (teilweise) Unterbrechung einer Phase des Stators **8**.

Fig. 4b zeigt in einem an **Fig. 1** angelehnten Ersatzschaltbild einen (teilweisen) Kurzschluss zwischen zwei Phasen des Stators **8**.

Fig. 4c zeigt in einem an **Fig. 1** angelehnten Ersatzschaltbild eine (teilweise) Unterbrechung einer Diode einer Halbbrücke **14** des Gleichrichters **22**.

Fig. 4a zeigt in einem an **Fig. 1** angelehnten Ersatzschaltbild einen (teilweisen) Kurzschluss Unterbrechung einer Diode einer Halbbrücke **14** des Gleichrichters **22**.

[0094] Die sich aus einer Fehlfunktion des Generatorkreises **9** ergebenden Fehlerbilder sind in **Fig. 3** ersichtlich.

[0095] Beispielsweise wurden für einen Soll-Generatorstrom von 100 Ampere die Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IG1}$, $\mathbf{W}_{IG2}$ und $\mathbf{W}_{IG3}$ (als Rauten dargestellt) bei einer Fehlfunktion des Generatorkreises **9** erfasst. Diese Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IG1}$, $\mathbf{W}_{IG2}$ und $\mathbf{W}_{IG3}$ weisen verglichen mit dem zugehörigen Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_{N1}$, eine erhöhte Ist-Erregerspannung und einen erhöhten Ist-Erregerstrom auf, liegen jedoch (im Wesentlichen) auf der Geraden **23**.

[0096] Beispiele für Fehlfunktionen des Erregerkreises **3** sind in den **Fig. 5a** und **Fig. 5b** dargestellt.

Fig. 5a zeigt in einem an **Fig. 1** angelehnten Ersatzschaltbild einen (teilweisen) Kurzschluss des Erregerkreises **3**.

Fig. 5b zeigt in einem an **Fig. 1** angelehnten Ersatzschaltbild eine (teilweise) Unterbrechung des Erregerkreises **3**.

[0097] Die sich aus einer Fehlfunktion des Erregerkreises **3** ergebenden Fehlerbilder sind wiederum in **Fig. 3** ersichtlich.

[0098] Weist der Erregerkreis **3** als Fehlfunktion wenigstens einen zumindest partiellen Kurzschluss auf (**Fig. 5a**), so ist der Ist-Erregerstrom verglichen mit dem zugehörigen Normal-Wertepaar erhöht. Die Ist-Erregerspannung kann dabei z.B. zwar zumindest ungefähr der Normal-Erregerspannung des zugehörigen Normal-Wertepaares entsprechen (sie weicht dann also z.B. um maximal 15% von derjenigen des Normal-Wertepaares ab, bevorzugt um maximal 7, 5%, besonders bevorzugt um maximal 5% und ganz besonders bevorzugt um maximal 2,5%).

[0099] Ist-Wertepaare, die bei einem Betrieb des Generators **1** mit einem Kurzschluss des Erregerkreises **3** erfasst wurden (**Fig. 5a**), liegen jedoch insbesondere nicht auf der Geraden **23**. Vielmehr ist das Ist-Verhältnis derartiger Ist-Wertepaare dann kleiner als das Normal-Verhältnis des zugehörigen Normal-Wertepaares.

[0100] Beispielsweise wurden für einen Soll-Generatorstrom von 100 Ampere die Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IK1}$, $\mathbf{W}_{IK2}$ und $\mathbf{W}_{IK3}$ (als Rauten dargestellt) bei einem Kurzschluss des Erregerkreises **3** erfasst. Diese Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IK1}$, $\mathbf{W}_{IK2}$ und $\mathbf{W}_{IK3}$ weisen verglichen mit dem zugehörigen Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_{N1}$ ein kleineres Verhältnis der Erregerspannung zu dem Erregerstrom auf.

[0101] Weist der Erregerkreis **3** als Fehlfunktion jedoch wenigstens eine zumindest partielle Unterbrechung auf, so ist die Ist-Erregerspannung verglichen mit dem zugehörigen Normal-Wertepaar erhöht, um die Soll-Generatorspannung dennoch zu erreichen. Durch die Erhöhung der Ist-Erregerspannung kann der Ist-Erregerstrom z.B. ungefähr dem Normal-Erregerstrom des zugehörigen Normal-Wertepaares entsprechen. Ist-Wertepaare, die bei einem Betrieb des Generators **1** mit einer Unterbrechung des Erregerkreises **3** erfasst wurden, liegen jedoch insbesondere nicht auf der Geraden **23**. Vielmehr ist das Ist-Verhältnis derartiger Ist-Wertepaare dann größer als das Normal-Verhältnis des zugehörigen Normal-Wertepaares.

[0102] Beispielsweise wurden die Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IU3}$ und $\mathbf{W}_{IU4}$ (als Rechtecke) für einen Soll-Generatorstrom von 50 Ampere bei einer (teilweisen) Unterbrechung des Erregerkreises **3** erfasst.

[0103] Das Ist-Wertepaar $\mathbf{W}_{IU4}$ wurde dabei bei einer geringeren Unterbrechung aufgenommen als das Ist-Wertepaar $\mathbf{W}_{IU3}$. Um auf denselben Ist-Erregerstrom von hier ca. 1A zu gelangen und damit auf das notwendige Ist-Erregermagnetfeld, welches den Betriebspunkt **50A** Generatorstrom erfüllt, muss die Ist-Erregerspannung mit zunehmender Unterbrechung immer weiter erhöht werden. Dabei ist zu beachten, dass in dem hier beispielhaften 28V-Bordnetz ei-

ne Ist-Erregerspannung von 28V nicht überschritten werden kann.

[0104] Diese Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IU3}$ und $\mathbf{W}_{IU4}$ weisen verglichen mit dem zugehörigen Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_{N2}$ ein größeres Verhältnis der Erregerspannung zu dem Erregerstrom auf und liegen weit beabstandet von der Geraden **23** (hier also links von der Geraden **23**).

[0105] Für einen Soll-Generatorstrom von 100 Ampere wurden die Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IU1}$ und $\mathbf{W}_{IU2}$ (als Rauten dargestellt) bei einer (teilweisen) Unterbrechung des Erregerkreises **3** erfasst. Dabei entspricht das Ist-Wertepaar $\mathbf{W}_{IU1}$ einer schwachen Unterbrechung und das Ist-Wertepaar $\mathbf{W}_{IU2}$ einer stärkeren Unterbrechung.

[0106] Für den Betriebspunkt **100A** Generatorstrom wird im Normalbetrieb (defektfreier Generator **1**) hier ein Normal-Erregerstrom von ca. 2,2A (siehe Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_{N1}$) benötigt.

[0107] Aufgrund der (teilweisen) Unterbrechung im Erregerkreis **3** müsste nun, um den Betriebspunkt **100A** Generatorstrom zu halten, die Spannung im Erregerkreis erhöht werden (siehe die Beschreibung oben für den Betriebspunkt **50A**). Allerdings kann beim Betriebspunkt **100A** die Erregerspannung nicht über die Bordnetzspannung (hier: 28V) gesteigert werden, so dass in diesem Fall die Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IU1}$ und $\mathbf{W}_{IU2}$ nicht ungefähr senkrecht über dem Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_{N1}$ liegen. Durch die Begrenzung auf 28V wird vielmehr der Betriebspunkt **100A** als Soll-Generatorstrom nicht mehr erreicht. Es ist sogar zu erkennen, dass trotz eines Tastverhältnisses von 100% nicht einmal die Bordnetzspannung von 28V erreicht wird. In einer Situation mit „unbegrenzt“ verfügbarer Spannung würden allerdings auch hier die Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IU1}$ und $\mathbf{W}_{IU2}$ ungefähr senkrecht über dem Normal-Wertepaar $\mathbf{W}_{N1}$ liegen (also hier bei ca. 2,2 A).

[0108] Mit anderen Worten: Dies ist dadurch erklärbar, dass im Falle der Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IU1}$ und $\mathbf{W}_{IU2}$ selbst bei der Vorgabe eines maximalen Tastgrades für das Schaltelement **5** die Ist-Erregerspannung nicht derart weit erhöht werden konnte, dass der Ist-Erregerstrom dem Normal-Erregerstrom entspricht. Weil der Ist-Erregerstrom geringer ist als der Normal-Erregerstrom, sind im Falle der Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IU1}$ und $\mathbf{W}_{IU2}$ auch die Ist-Generatorspannung und der Ist-Generatorstrom geringer als die Soll-Generatorspannung und der Soll-Generatorstrom. Im Falle der Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IU1}$ und $\mathbf{W}_{IU2}$ ist demnach die Leistung des Generators verringert.

[0109] Deutlich erkennbar ist dennoch, dass das Ist-Verhältnis der Ist-Wertepaare $\mathbf{W}_{IU1}$ und $\mathbf{W}_{IU2}$ verglichen mit dem Normal-Verhältnis des zugehörigen

Normal-Wertepaare W_{N1} erhöht ist und die Ist-Wertepaare W_{IU1} und W_{IU2} deutlich entfernt von der Geraden **23** liegen (hier also links von der Geraden **23**).

[0110] Vorzugsweise vergleicht das Steuergerät **17** den durch die Strommesseinrichtung **21** erfassten Ist-Generatorstrom mit dem Soll-Generatorstrom, um eine in Abhängigkeit von dem Ist-Erregerstrom und der Ist-Erregerspannung ermittelte Fehlfunktion des Generators **1** zu verifizieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Generators, insbesondere eines Kraftfahrzeugs, der einen Rotor (2) und einen Stator (8) aufweist, wobei der Rotor (2) auf einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Welle drehfest angeordnet ist und einen Erregerkreis (3) mit einer Rotorwicklung (4) aufweist, wobei der Stator (8) gehäusefest angeordnet ist und einen Generatorkreis (9) mit einer Statorwicklung (10) aufweist, wobei bei drehender Welle die Rotorwicklung (4) mit einer elektrischen Erregerspannung beaufschlagt wird, um ein mit dem Rotor (2) mitdrehendes Magnetfeld zu erzeugen, das einen elektrischen Statorstrom in der Statorwicklung (10) induziert, wobei in einem vorgegebenen Betriebszustand des Generators (1) eine elektrische Ist-Erregerspannung der Rotorwicklung (4) und ein durch die Rotorwicklung (4) fließender Ist-Erregerstrom ermittelt werden, wobei in Abhängigkeit von der Ist-Erregerspannung und dem Ist-Erregerstrom ermittelt wird, ob eine Fehlfunktion des Erregerkreises (3) und/oder des Generatorkreises (9) vorliegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei in dem vorgegebenen Betriebszustand des Generators (1) der Erregerkreis (3) derart bestromt wird, dass eine elektrische Ist-Generatorspannung des Generators (1) einer vorgegebenen Soll-Generatorspannung entspricht und/oder dass ein elektrischer Ist-Generatorstrom einem vorgegebenen Soll-Generatorstrom entspricht.

3. Verfahren nach den vorhergehenden Ansprüchen, wobei der vorgegebene Betriebszustand des Generators (1) durch einen Soll-Generatorstrom gegeben ist.

4. Verfahren nach den vorhergehenden Ansprüchen, wobei der vorgegebene Betriebszustand des Generators (1) durch eine definierte Drehzahl gegeben ist und/oder wobei der vorgegebene Betriebszustand des Generators (1) durch eine definierte Temperatur des Generators (1) gegeben ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei durch einen Vergleich der Ist-Erregerspannung und des Ist-Erregerstroms mit einer vorgegebenen Normal-Erregerspannung und einem vorgegebenen Normal-Erregerstrom ermittelt wird, ob eine Fehlfunktion des Erregerkreises (3) und/oder des Generatorkreises (9) vorliegt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die vorgegebene Normal-Erregerspannung und der vorgegebene Normal-Erregerstrom als Normal-Wertepaar (W_N) für den vorgegebenen Betriebszustand des Generators (1) vorab mit einem Generator (1) ohne Fehlfunktion erfasst werden, wobei insbesondere eine Vielzahl von Normal-Wertepaaren (W_N) für eine Vielzahl von vorgegebenen Betriebszuständen vorab erfasst werden, wobei insbesondere aus der Vielzahl der Normal-Wertepaare (W_N) ein Kennfeld gebildet wird und/oder zumindest eine Kennlinie ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verhältnis der ermittelten Ist-Erregerspannung zu dem ermittelten Ist-Erregerstrom als Ist-Verhältnis gebildet wird, wobei das Verhältnis der Normal-Erregerspannung zu dem Normal-Erregerstrom als Normal-Verhältnis gebildet wird, wobei festgestellt wird, dass die Fehlfunktion des Erregerkreises (3) vorliegt, wenn eine Abweichung des Ist-Verhältnisses von dem Normal-Verhältnis einen vorgegebenen Schwellenwert übersteigt.

8. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei als Fehlfunktion des Erregerkreises (3) eine zumindest partielle Unterbrechung, insbesondere wenigstens eine Unterbrechung, des Erregerkreises (3) festgestellt wird, wenn das Ist-Verhältnis größer ist als das Normal-Verhältnis.

9. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei als Fehlfunktion des Erregerkreises (3) ein zumindest partieller Kurzschluss, insbesondere wenigstens ein Kurzschluss, im Erregerkreis (3) festgestellt wird, wenn das Ist-Verhältnis kleiner ist als das Normal-Verhältnis.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei festgestellt wird, dass eine Fehlfunktion des Generatorkreises (9) vorliegt, wenn die Ist-Erregerspannung größer ist als die Normal-Erregerspannung und wenn insbesondere das Ist-Verhältnis zumindest im Wesentlichen dem Normal-Verhältnis entspricht.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei, wenn festgestellt wird, dass eine Fehlfunktion des Generators (1) vorliegt, ein Fehler-signal bereitgestellt wird.

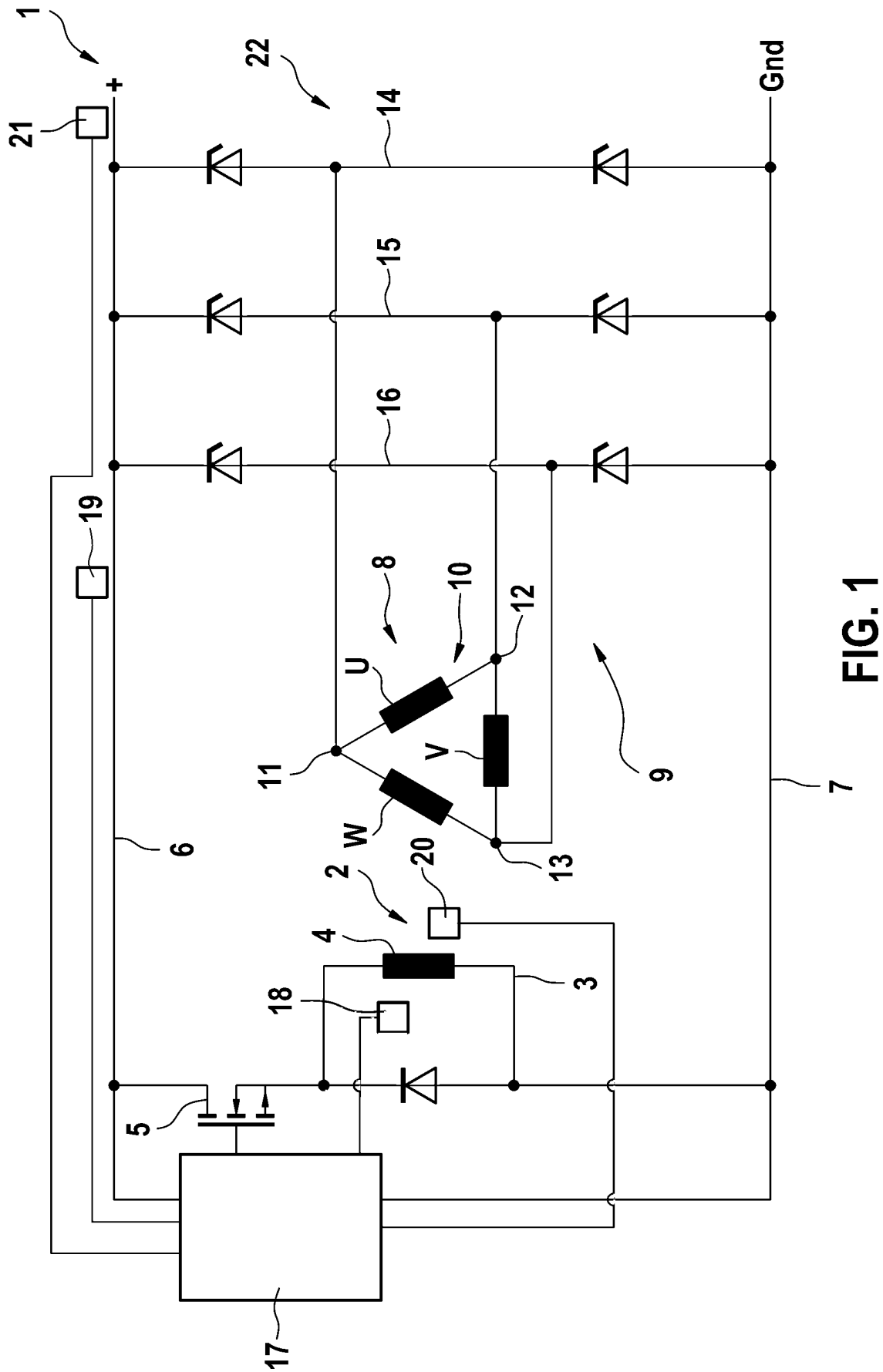
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei, wenn festgestellt wird, dass eine Fehlfunktion des Generators (1) vorliegt, der Generator (1) in einen sicheren Betriebszustand überführt wird.

13. Steuergerät für einen Generator, der einen Rotor (2) und einen Stator (8) aufweist, wobei der Rotor (2) auf einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Welle drehfest angeordnet ist und einen Erregerkreis (3) mit einer Rotorwicklung (4) aufweist, und wobei der Stator (8) gehäusefest angeordnet ist und einen Generatorkreis (9) mit einer Statorwicklung (10) aufweist, wobei das Steuergerät (17) speziell dazu hergerichtet ist, bei bestimmungsgemäßem Gebrauch das Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche durchzuführen.

14. Generator für ein Kraftfahrzeug, der einen Rotor (2) und einen Stator (8) aufweist, wobei der Rotor (2) auf einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Welle drehfest angeordnet ist und einen Erregerkreis (3) mit einer Rotorwicklung (4) aufweist, und wobei der Stator (8) gehäusefest angeordnet ist und einen Generatorkreis (9) mit einer Statorwicklung (10) aufweist, **gekennzeichnet durch** ein Steuergerät (17) gemäß dem vorhergehenden Anspruch.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



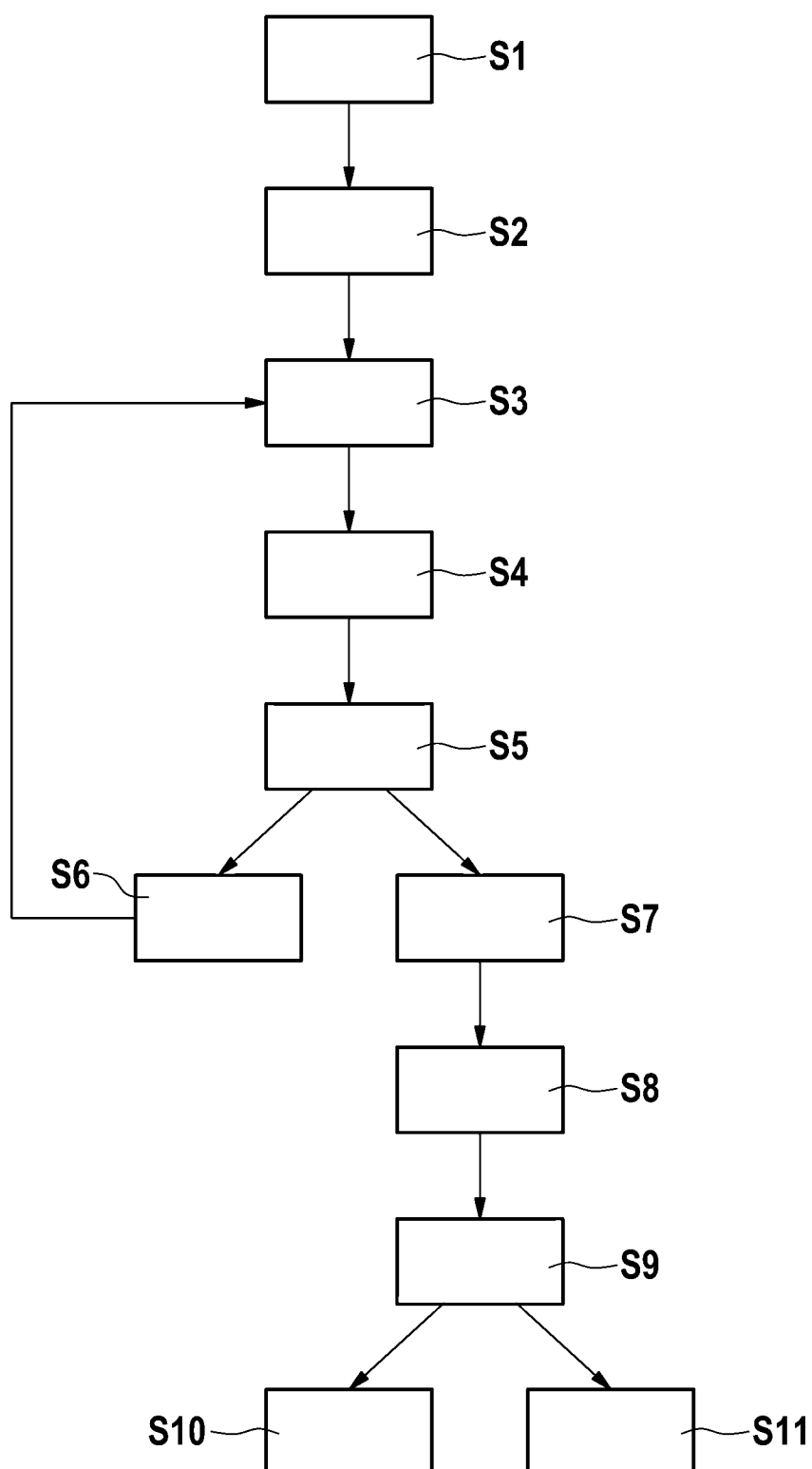


FIG. 2

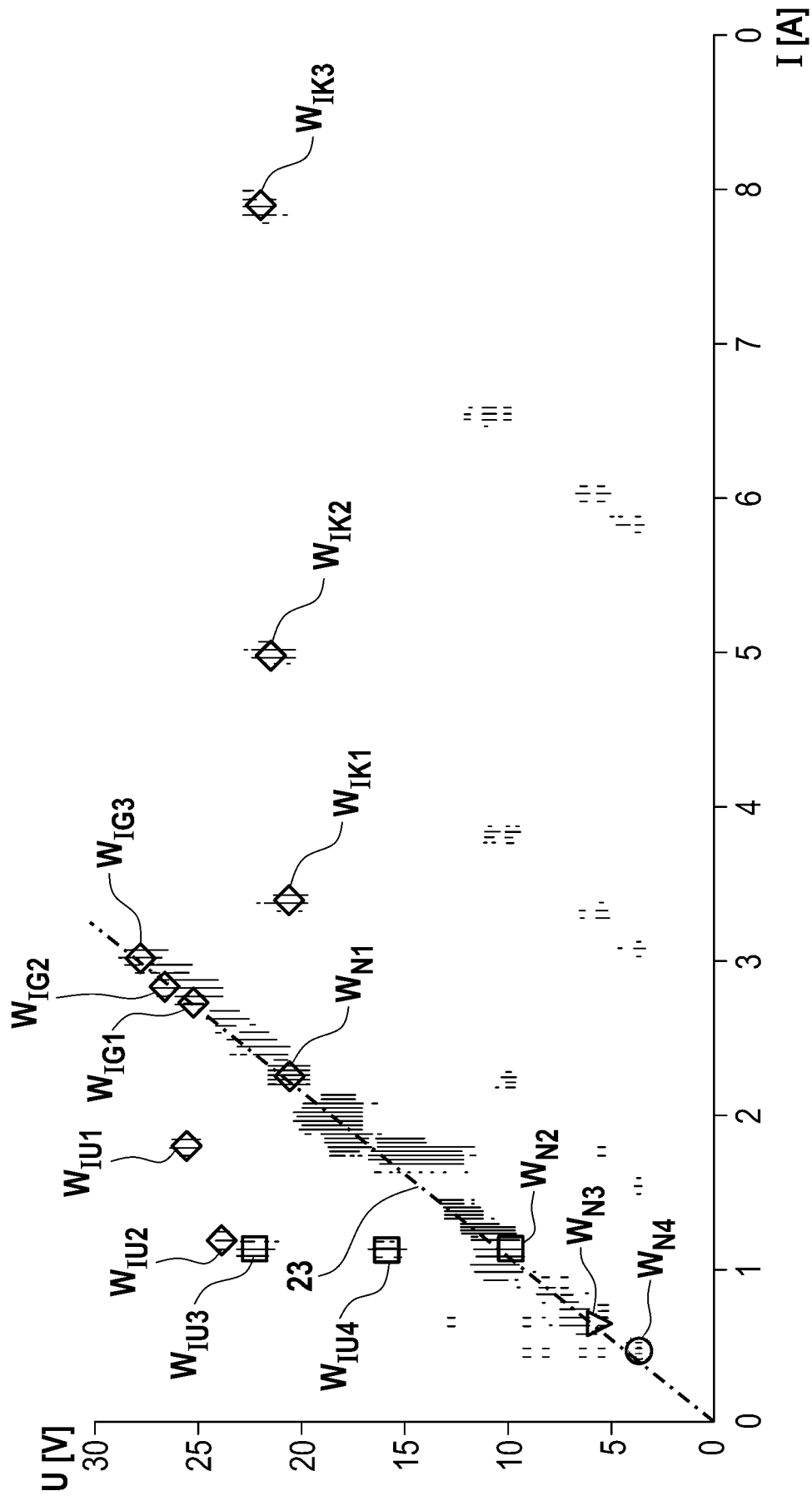
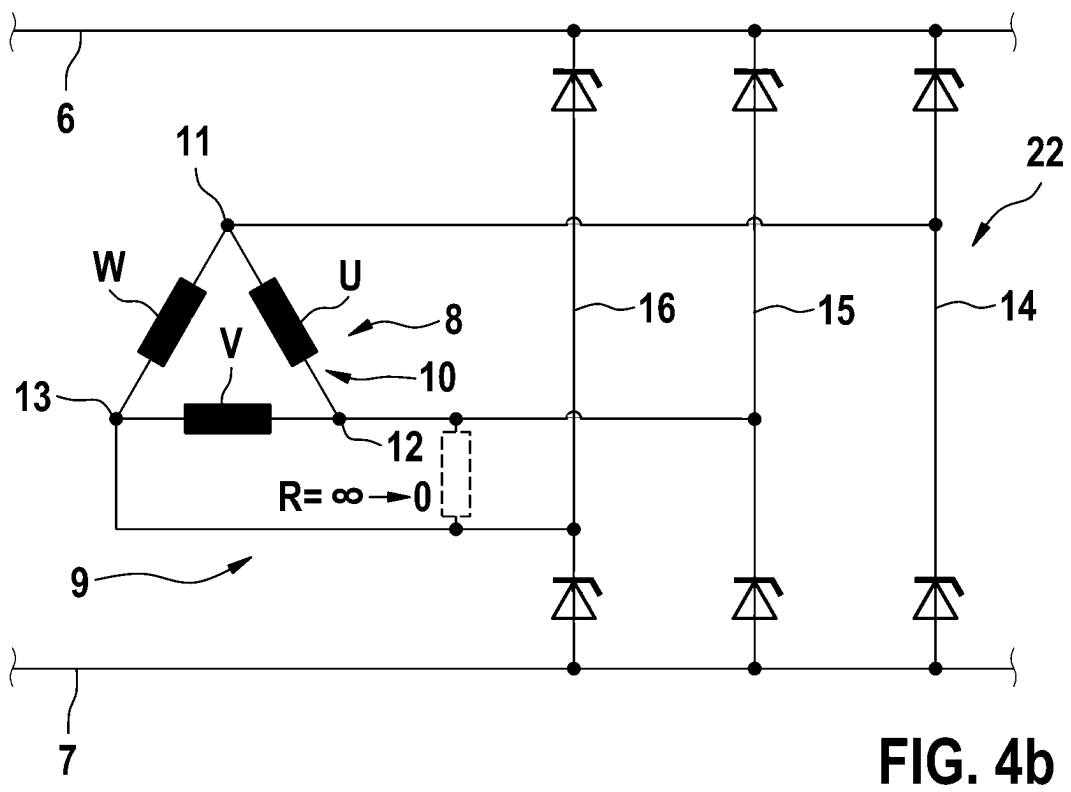
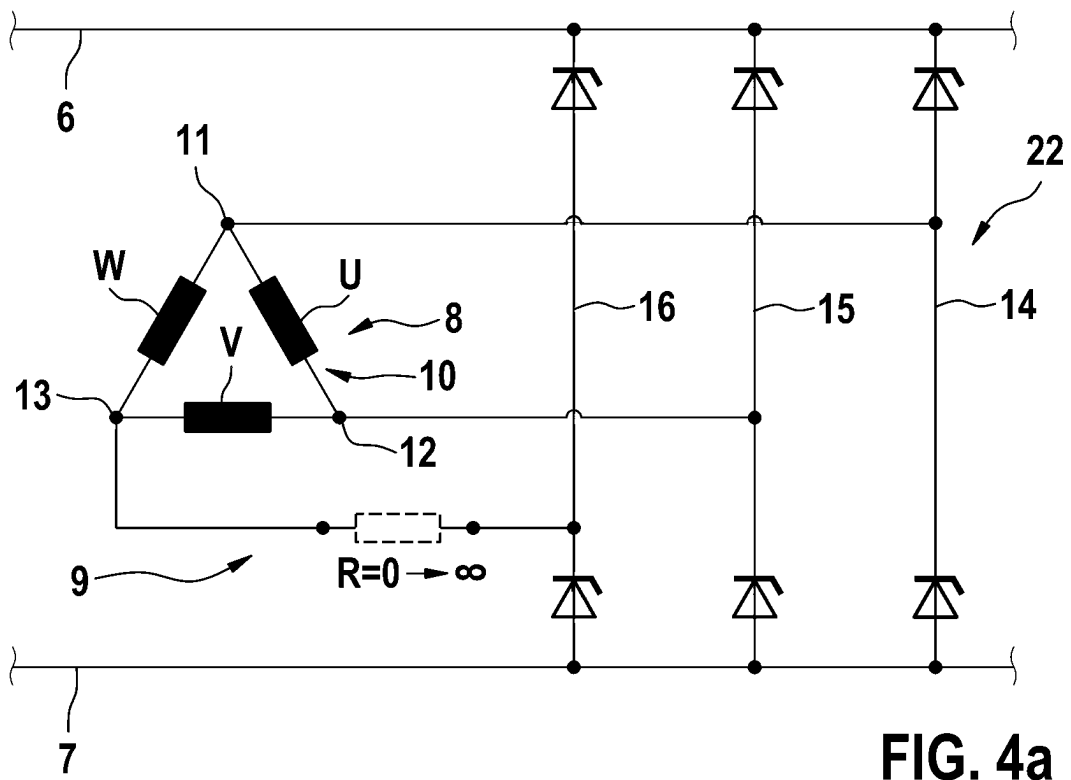


FIG. 3



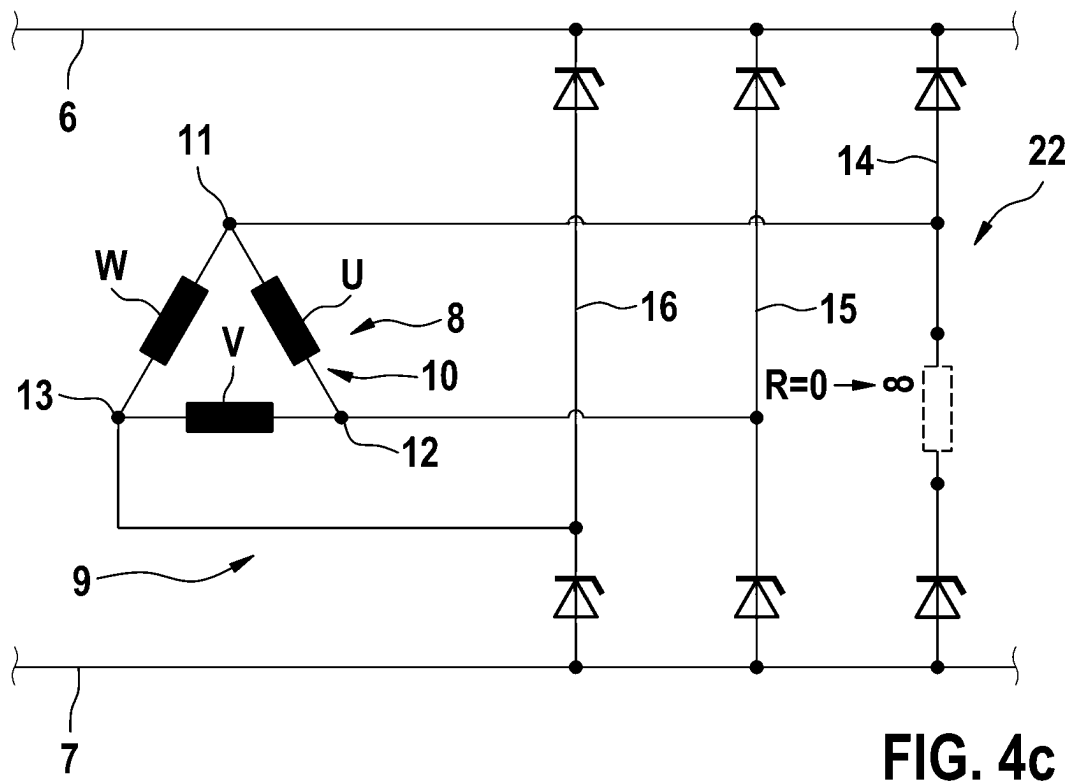


FIG. 4c

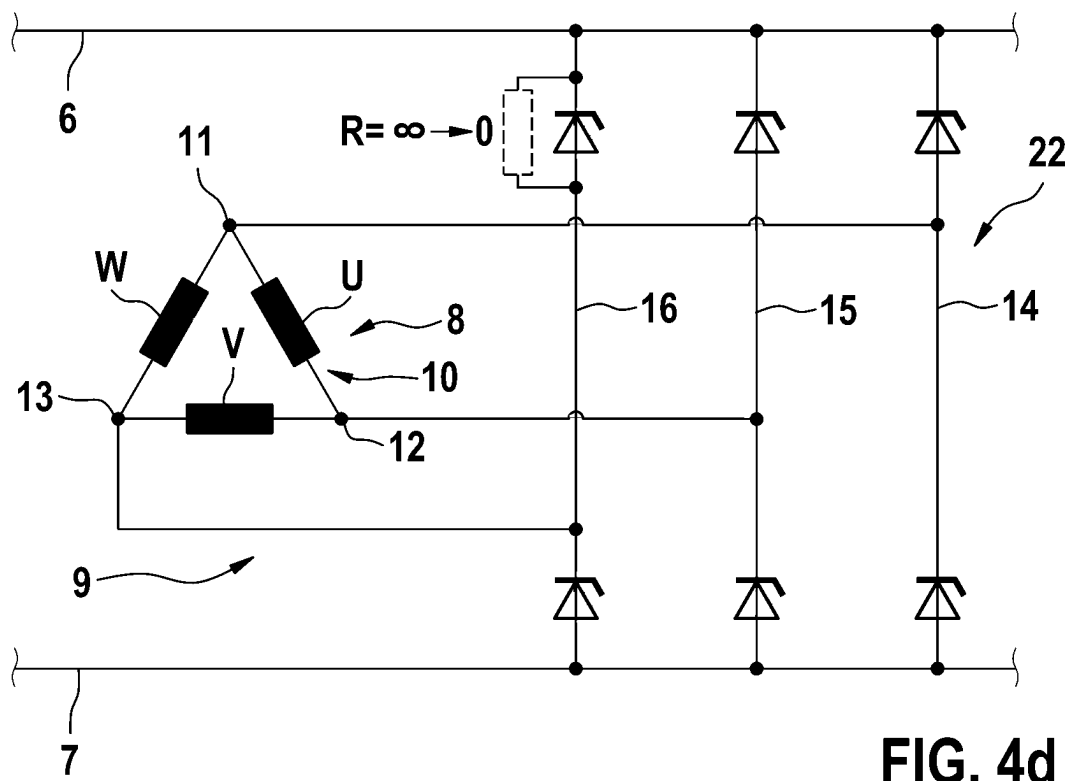


FIG. 4d

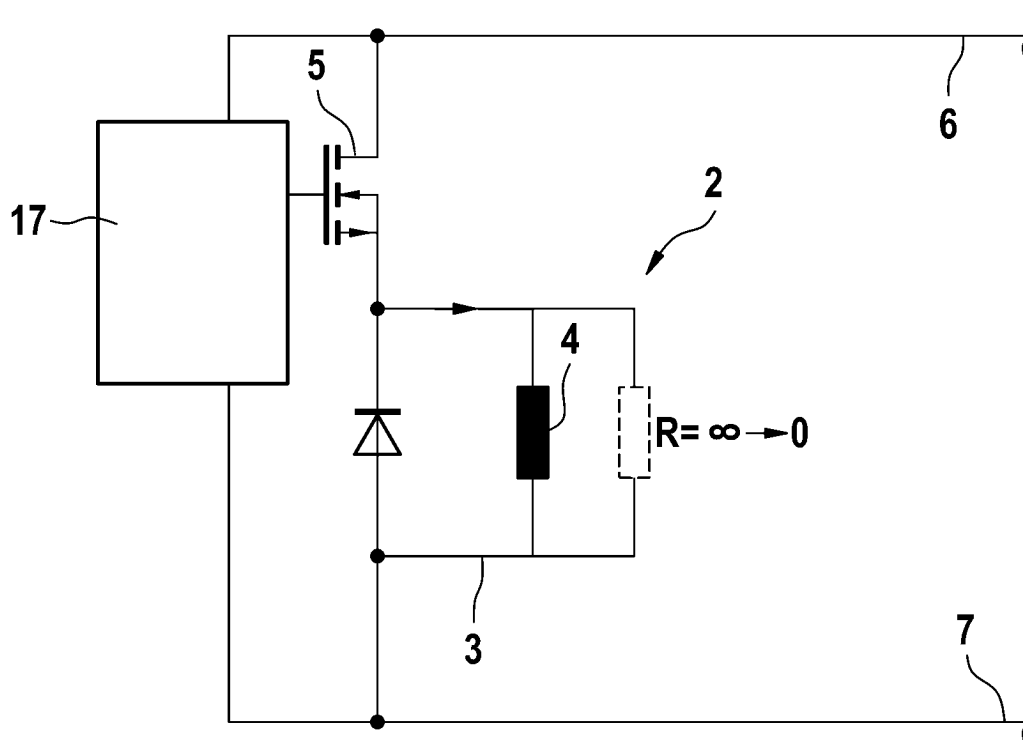


FIG. 5a

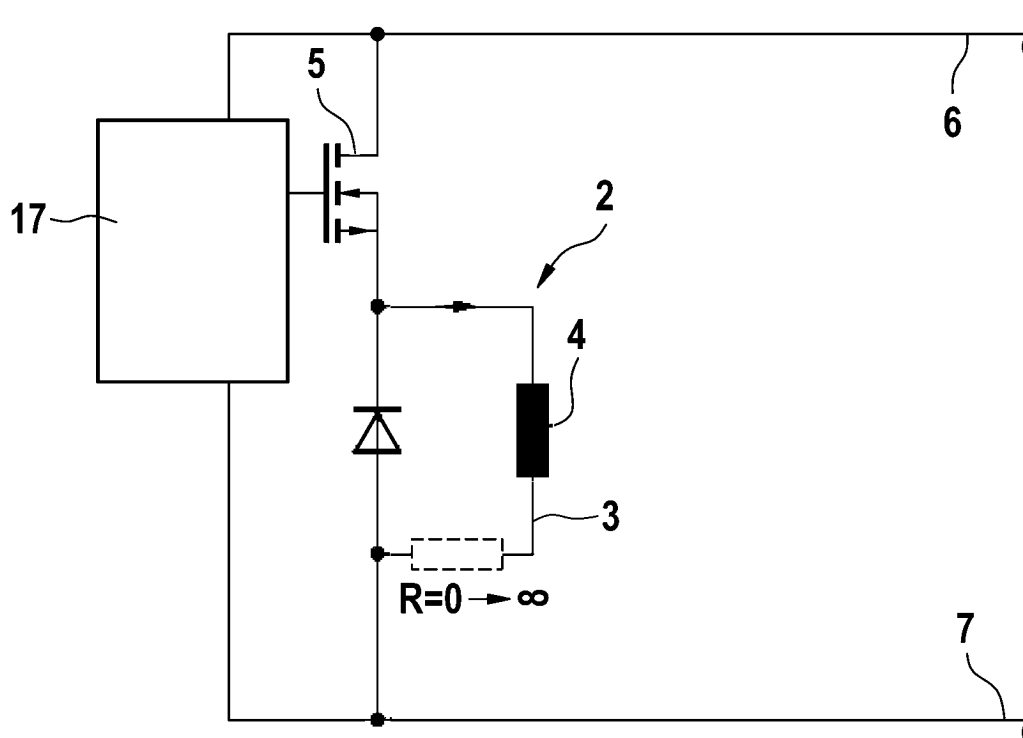


FIG. 5b