

(19)



Deutsches  
Patent- und Markenamt



(10) **DE 10 2010 029 299 A1** 2011.12.01

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 029 299.0**

(22) Anmeldetag: **26.05.2010**

(43) Offenlegungstag: **01.12.2011**

(51) Int Cl.: **B60R 16/03 (2006.01)**

**H02J 7/14 (2006.01)**

**H02J 1/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Robert Bosch GmbH, 70469, Stuttgart, DE**

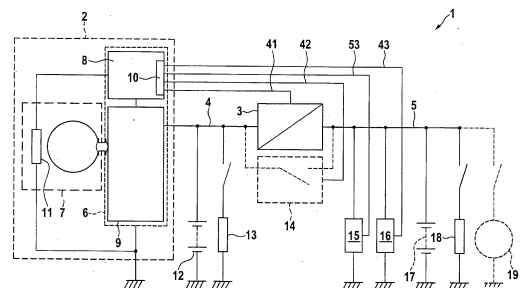
(72) Erfinder:

**Wolf, Gert, 71563, Affalterbach, DE; Beck, Markus,  
71711, Steinheim, DE**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben eines Systems, System, Steuerung und Computerprogrammprodukt**

(57) Zusammenfassung: Es wird Verfahren zum Betreiben eines Systems (1) für ein Kraftfahrzeug beschrieben, wobei das System (1) eine Steuerung (8), ein Hochspannungsbordnetz (4), ein Niederspannungsbordnetz (5), einen DC/DC-Wandler (3), der das Hochspannungsbordnetz (4) und das Niederspannungsbordnetz (5) verbindet, und eine elektrische Maschine (2), insbesondere einen Starter- oder Motorgenerator, umfasst. Um das System (1) effizienter und mit einer höheren Funktionalität einsetzbar weiterzubilden, wird ein Betriebsmodus (20–31) des Systems (1) abhängig von Betriebsanforderungen, insbesondere eines Betriebszustands des Kraftfahrzeugs, variiert.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Betreiben eines Systems für ein Kraftfahrzeug, wobei das System eine Steuerung, ein Hochspannungsbordnetz, ein Niederspannungsbordnetz, einen DC/DC-Wandler, der das Hochspannungsbordnetz und das Niederspannungsbordnetz verbindet, und eine elektrische Maschine, insbesondere einen Starter- oder Motorgenerator, umfasst. Die Erfindung bezieht sich auch auf ein solches System.

**[0002]** Die Erfindung bezieht sich ferner auf eine Steuerung für ein Kraftfahrzeug, und zwar insbesondere für ein solches System. Die Erfindung bezieht sich schließlich auch auf ein Computerprogrammprodukt.

**[0003]** Es ist bekannt, einen Mehrspannungsgenerator in einem Mehrspannungsbordnetz anzuordnen.

**[0004]** Die DE 103 30 703 A1 beschreibt ein Mehrspannungsbordnetz mit einem Mehrspannungsgeneratormotor mit einem Regler, einem Pulswechselrichter, einen DC/DC-Wandler und einer Steuerung. Der DC/DC-Wandler verbindet einen Niederspannungsbordnetz und ein Hochspannungsbordnetz.

**[0005]** Die WO 2008/00098 A1 beschreibt ein Mikro-Hybrid-System für ein Fahrzeug mit einem Startergenerator, der mechanisch mit einer Brennkraftmaschine vom Fahrzeug verbunden ist sowie einem Wechselstrom-Gleichstrom-Wandler, einem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler und zwei elektrischen Energiespeichern um von der elektrischen Drehstrommaschine erzeugten Stromverbrauchern zur Verfügung zu stellen.

**[0006]** Es ist Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines Systems, ein System, eine Steuerung und ein Computerprogrammprodukt der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, so dass das System effizienter und mit einer höheren Funktionalität einsetzbar ist.

## Offenbarung der Erfindung

**[0007]** Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch den Gegenstand der Patentansprüche 1, 9, 12 und 14 gelöst. Die abhängigen Ansprüche definieren bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung.

**[0008]** Es ist ein Gedanke der Erfindung, dass ein Betriebsmodus eines Systems abhängig von Betriebsanforderungen, insbesondere durch einen Betriebszustand des Kraftfahrzeugs, variiert wird. Dazu werden vorzugsweise die Betriebsanforderung, die während einem Betrieb des Kraftfahrzeugs auftreten,

von einer Steuerung aufgenommen und das System, insbesondere eine elektrische Maschine, abhängig davon betrieben.

**[0009]** Die Aufgabe wird auch durch ein System gelöst, das für ein zuvor oder nachfolgend beschriebenes Verfahren ausgebildet ist und bei dem insbesondere die elektrische Maschine als mehrphasige Wechselstrommaschine ausgebildet ist. Ferner wird die Aufgabe auch durch die Steuerung, insbesondere für das System, gelöst, die zum Ausführen der zuvor oder nachfolgend beschriebenen Verfahren ausgebildet ist, und zwar insbesondere mit einer Betriebsstrategie zum Variieren des Betriebsmodus des Systems.

**[0010]** Sofern nicht explizit genannt, bezeichnet der Begriff Steuerung zumindest ein Steuergerät, beispielsweise ein Steuergerät der elektrischen Maschine, ein Motorsteuergerät, ein Bordnetzsteuergerät, ein Steuergerät des DC/DC-Wandlers, ein Steuergerät einer Bremssicherheitsvorrichtung, ein Batteriesteuergerät, und/oder auch ein zentrales Steuergerät für das System oder auch für das Kraftfahrzeug. Dabei kann die Steuerung auch eine Kombination, insbesondere dieser, Steuergeräte, umfassen und es können die zuvor und nachfolgend beschriebenen Verfahrensschritte jeweils in genau einem Steuergerät oder auch in einer Mehrzahl Steuergeräte verteilt ausgeführt werden.

**[0011]** Die elektrische Maschine ist vorzugsweise als ein Starter- oder Motorgenerator ausgebildet, so dass die elektrische Maschine in einem Motorbetrieb und/oder einem Generatorbetrieb, insbesondere als Starter und/oder als Generator, betreibbar ist.

**[0012]** Vorzugsweise kann eine elektrische Abgabeleistung des Generators, also der generatorisch betriebenen elektrischen Maschine, insbesondere mittels der Steuerung, variiert werden, insbesondere um das Drehmoment zu steuern.

**[0013]** Die elektrische Maschine ist vorzugsweise mit einer Brennkraftmaschine des Fahrzeugs gekoppelt und beeinflusst direkt oder indirekt einen Antriebsstrang des Kraftfahrzeugs. Über die Kopplung, beispielsweise mit einem Riementrieb, kann ein hohes Drehmoment, beispielsweise 10 Nm bis 17 Nm auf einer Welle der elektrischen Maschine oder 30 Nm bis 50 Nm auf einer Kurbelwelle der Brennkraftmaschine, insbesondere auch mit sehr hohen Gradienten, beispielsweise 1500 Nm pro Sekunde bis 5000 Nm pro Sekunde auf der Kurbelwelle, auf eine angetriebene Achse des Kraftfahrzeugs übertragen werden.

**[0014]** Gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform kann das System, insbesondere bei einem Schubbetrieb oder einem Bremsbetrieb des Kraftfahrzeugs, in einem Rekuperationsmodus betrieben

werden, wobei die elektrische Maschine mit dem von der Steuerung ansteuerbaren Drehmoment, insbesondere einem Bremsmoment, betrieben wird, und zwar insbesondere in Kommunikation mit der Bremssicherheitsvorrichtung des Kraftfahrzeugs, wie nachfolgend erläutert wird. Durch den Rekuperationsmodus lässt sich Bewegungsenergie des Kraftfahrzeugs rückgewinnen, indem die elektrische Maschine als Generator betrieben wird, beispielsweise um einen Kraftstoffverbrauch zu reduzieren.

**[0015]** Bei dem Rekuperationsmodus im Schubbetrieb, dem sogenannten Schubmodus, nämlich bei einer Betriebsanforderung, bei der die Brennkraftmaschine durch das Kraftfahrzeug geschleppt wird, wird das Drehmoment der elektrischen Maschine vorzugsweise auf einen geeigneten Wert limitiert, der insbesondere geringer als ein maximales Drehmoment ist, beispielsweise um ein starkes Abbremsen des Kraftfahrzeugs zu verhindern. Auch kann das Drehmoment so gesteuert werden, beispielsweise bei einer Bergabfahrt des Kraftfahrzeugs, dass dessen Geschwindigkeit im Wesentlichen konstant gehalten oder nur langsam verändert wird.

**[0016]** Bei dem Rekuperationsmodus im Bremsbetrieb, dem sogenannten Bremsmodus, also bei einer Betriebsanforderung zur, insbesondere raschen, Reduzierung der Geschwindigkeit des Kraftfahrzeugs, insbesondere durch Betätigen eines Bremspedals, wird vorzugsweise eine Limitierung des Drehmoments aufgehoben, sodass, insbesondere auch durch eine maximale elektrische Abgabeleistung, ein maximales Drehmoment möglich ist. Dabei kann das Drehmoment der elektrischen Maschine in Abhängigkeit einer erforderlichen Bremsleistung variiert werden.

**[0017]** Durch die Kopplung zwischen der Brennkraftmaschine und der elektrischen Maschine, insbesondere durch das Drehmoment, kann eine Bremskraftverteilung deutlich gestört werden. Es ist deshalb vorteilhaft, und zwar insbesondere beim Rekuperationsmodus, dass das Drehmoment, vorzugsweise von der Bremssicherheitsvorrichtung, beispielsweise einem Antiblockiersystem oder einer Steuerung, die ein elektronisches Stabilitätsprogramm umfasst, berücksichtigt wird, beispielsweise um eine Anpassung der Bremskraftverteilung vorzunehmen. Zusätzlich oder auch alternativ kann ein Verlauf des zukünftigen Drehmoments, vorzugsweise von der Bremssicherheitsvorrichtung, berücksichtigt werden, und zwar insbesondere falls das System aufgrund einer Betriebsanforderung in dem Rekuperationsmodus betrieben werden soll, beispielsweise falls aus einem Steuergerät ein Rekuperationsvorgang angekündigt wird.

**[0018]** Dazu kann, insbesondere von der Steuerung, eine Information über das Drehmoment oder überein

zukünftiges Drehmoment der elektrischen Maschine, ermittelt werden, wie später erläutert wird. Dabei kann die Information Daten, insbesondere Betriebsgrößen der elektrischen Maschine, umfassen, aus denen das Drehmoment ableitbar ist. Es ist bevorzugt, dass die Information direkt dem Drehmoment entspricht, sodass beispielsweise die Anpassung der Bremskraftverteilung vereinfacht realisierbar ist. Vorzugsweise wird die Information an das Steuergerät der Bremssicherheitsvorrichtung übertragen, und zwar beispielsweise von dem Steuergerät der elektrischen Maschine, dem Motorsteuergerät oder auch dem zentralen Steuergerät des Systems.

**[0019]** Ferner kann, insbesondere durch die Bremssicherheitsvorrichtung, beispielsweise falls eine kritische fahrdynamische Situation wie einer schnellen Fahrt in eine Kurve erkannt wird, das Drehmoment beschränkt und/oder, um das Drehmoment der elektrischen Maschine im Wesentlichen zu verhindern, der Rekuperationsmodus unterdrückt oder auch abgebrochen werden. So lässt sich ein zusätzliches Drehmoment, insbesondere der generatorisch beschriebenen elektrischen Maschine, auf zumindest eine Antriebsachse des Kraftfahrzeugs und damit ein instabiler Fahrzustand verhindern. Das Steuergerät der Bremssicherheitsvorrichtung kann in Kommunikation mit einem weiteren Steuergerät, beispielsweise dem Steuergerät der elektrischen Maschine oder des Systems, ausgebildet sein, insbesondere um ein Signal zum Unterdrücken des Rekuperationsmodus zu übertragen.

**[0020]** Ist das Drehmoment oder auch ein Gradient des Drehmoments zu hoch, beispielsweise indem ein gewisser Grenzwert überschritten wird, kann ein Tastverhältnis oder auch ein Erregerstrom der elektrischen Maschine beschränkt werden, um, wie zuvor genannt, das Drehmoment beziehungsweise den Gradienten zu beschränken oder zu reduzieren. Dazu kann auch ein Gradient des Tastverhältnisses und/oder auch ein Gradient des Erregerstroms beschränkt werden.

**[0021]** Im Übrigen kann das Drehmoment, insbesondere das Bremsmoment auf der Antriebsachse erhöht werden, indem eine Niederspannung des Niederspannungsbordnetzes erhöht wird, sodass sich auch ein Strom durch den DC/DC-Wandler erhöht. So lässt sich, insbesondere während des Rekuperationsmodus, der generatorisch betriebenen elektrischen Maschine eine höhere elektrische Leistung entnehmen, und ihr Drehmoment erhöhen. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass bei der erhöhten Niederspannung auch mehr Energie während des Rekuperationsmodus in einer Batterie aufgenommen werden kann, um diese später wieder an das Bordnetz abzugeben.

**[0022]** Vorzugweise wird die Erregerspannung während des Rekuperationsmodus über einen Maximalwert der Erregerspannung für einen Dauerbetrieb, insbesondere einen generatorischen Standardbetriebsmodus, erhöht, und zwar insbesondere um das Drehmoment zu erhöhen und/oder auch eine höhere Abgabeleistung der elektrischen Maschine für eine erhöhte Gewinnung von Rekuperationsenergie zu erreichen. Dies ist, wie später erläutert, zulässig, da es sich bei dem Rekuperationsmodus um einen zeitlich beschränkten Betriebsmodus handelt.

**[0023]** Die elektrische Maschine kann auch außerhalb des Rekuperationsmodus generatorisch betrieben werden, beispielsweise mit dem generatorischen Standardbetriebsmodus während eines normalen Fahrbetriebs des Kraftfahrzeugs, bei dem sowohl das Kraftfahrzeug als auch die elektrische Maschine durch die Brennkraftmaschine angetrieben werden.

**[0024]** Dabei kann das Hochspannungsbordnetz mit elektrischer Energie unmittelbar durch die elektrische Maschine als Generator versorgt werden, und zwar bei einer Hochspannung, die beispielsweise 10 V bis 42 V beträgt.

**[0025]** Außerdem kann das Niederspannungsbordnetz, insbesondere über den DC/DC-Wandler aus dem Hochspannungsbordnetz, mit einer Niederspannung gespeist werden, um Niederspannungsverbraucher zu versorgen, wobei die Niederspannung beispielsweise etwa 10 V bis 16 V beträgt.

**[0026]** Ferner lässt sich auch Energie in einem Energiespeicher des Bordnetzes, und zwar des Niederspannungsbordnetzes und/oder des Hochspannungsbordnetzes, speichern. Dabei ist eine konventionelle Batterie als Energiespeicher des Niederspannungsbordnetzes und ein Kondensator oder eine Leistungsbatterie als Energiespeicher des Hochspannungsbordnetzes bevorzugt.

**[0027]** Um bei dem Rekuperationsmodus eine genügende Pufferspeicherleistung des Energiespeichers zur Aufnahme von gewonnener Rekuperationsenergie sicherzustellen, wird die elektrische Maschine außerhalb des Rekuperationsmodus, insbesondere beim generatorischen Standardbetriebsmodus, bei einer generatorischen Spannung zwischen etwa ein Drittel und etwa zwei Drittel einer maximal zulässigen generatorischen Spannung betrieben. Der Energiespeicher wird also vorzugsweise außerhalb des Rekuperationsmodus nicht vollständig geladen, sodass bei dem Rekuperationsmodus eine verbleibende Ladekapazität des Energiespeichers zur Aufnahme der Rekuperationsenergie verfügbar ist.

**[0028]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann das System in einem Hochspan-

nungsmodus betrieben werden, wobei die elektrische Maschine generatorisch zur Erzeugung der Hochspannung betrieben wird, und zwar insbesondere mit einer erhöhten Leerlaufdrehzahl der Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeugs. Durch den Hochspannungsmodus kann das Hochspannungsbordnetz, insbesondere auch ein Hochspannungsverbraucher, unmittelbar mit elektrischer Leistung von der als Generator betriebenen elektrischen Maschine versorgt werden. Die Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeugs wird während des Hochspannungsmodus vorzugsweise mit der, insbesondere gegenüber dem generatorischen Standardbetriebsmodus, erhöhten Leerlaufdrehzahl betrieben, um eine Generatorspannung der elektrischen Maschine zu erhöhen, die proportional zu einer Drehzahl der elektrischen Maschine ist, wobei die Drehzahlen der elektrischen Maschine und der Brennkraftmaschine aufgrund derer Kopplung gekoppelt sind. So lässt sich die Versorgung des Hochspannungsverbrauchers sicherzustellen. Im Übrigen kann ein solcher Hochspannungsverbraucher beispielsweise eine Schnellheizung des Fahrzeugsinnenraums oder auch eine Scheibenheizung sein.

**[0029]** Ferner lässt sich die Leistung eines Verbrauchers, insbesondere des Hochspannungsverbrauchers, über die Generatorspannung steuern, und insbesondere auch erhöhen. Beispielsweise kann eine Lüfterleistung eines elektrisch betriebenen Lüfters durch Steuern der Generatorspannung gesteuert werden, und insbesondere durch Erhöhen der Leerlaufdrehzahl der Brennkraftmaschine erhöht werden. So kann auf eine separate Steuerung des Verbrauchers, beispielsweise eine PWM- oder stufenförmige Ansteuerung des Lüfters, verzichtet werden.

**[0030]** Im Übrigen wird während des Hochspannungsmodus vorzugsweise ein kleinerer Erregerstrom und/oder eine kleinere Erregerspannung, insbesondere gegenüber dem Rekuperationsmodus, eingestellt, da der Hochspannungsmodus auch über längere Zeit eingenommen wird, sodass eine Überschreitung von dauerhaft zulässigen Werten verhindert wird.

**[0031]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann das System in einem Versorgungsmodus betrieben werden, wobei die elektrische Maschine motorisch, also als Motor, betrieben wird. Insbesondere über die Kopplung, beispielsweise den Riementrieb, können in dem Versorgungsmodus Komponenten des Kraftfahrzeugs mit der elektrischen Maschine als Motor antreiben werden. So kann beispielsweise eine Klimaanlage angetrieben werden, und zwar insbesondere während eines Stillstands der Brennkraftmaschine, vorzugsweise bei einem Start-Stopp-Betrieb des Kraftfahrzeugs, bei dem während einer kurzen Haltephase des Fahrzeugs, die Brennkraftmaschine ausgeschaltet wird. Dabei kann

die elektrische Maschine aus dem Energiespeicher versorgt werden, und zwar beispielsweise von dem Niederspannungsbordnetz oder, vorzugsweise, von dem Hochspannungsbordnetz.

**[0032]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das System in einem Antriebsmodus betrieben, wobei die elektrische Maschine motorisch betrieben wird, insbesondere zumindest zur Unterstützung eines Antriebs oder zum Direktantrieb des Kraftfahrzeugs. Durch den Antriebsmodus kann beispielsweise eine Antriebsleistung für das Kraftfahrzeug erhöht werden, indem das Kraftfahrzeug zusätzlich zur Brennkraftmaschine auch durch die elektrische Maschine angetrieben wird. Dieses Verfahren wird auch als „boosten“ bezeichnet. Außerdem lässt sich so Rekuperationsenergie aus einem vorhergehenden Rekuperationsmodus, die, beispielsweise als elektrische Energie in dem Energiespeicher, in dem System gespeichert ist, in Bewegungsenergie des Kraftfahrzeugs umwandeln, beispielsweise um einen Kraftstoffverbrauch zu reduzieren. Außer der genannten Unterstützung der Brennkraftmaschine ist auch ein Direktantrieb des Kraftfahrzeugs durch die elektrische Maschine, insbesondere bei ausgeschalteter Brennkraftmaschine oder während diese gestartet wird, möglich, beispielsweise für kurze Fahrstrecken oder ein zügiges Losfahren, vorzugsweise bei dem Start-Stopp-Betrieb des Kraftfahrzeugs.

**[0033]** Vorzugsweise wird vor dem Antriebsmodus ein Ladezustand des Energiespeichers überprüft und der Antriebsmodus nur dann zugelassen, falls die gespeicherte Energie für den motorischen Betrieb der elektrischen Maschine und gleichzeitig für die Versorgung des Bordnetzes, insbesondere des Niederspannungsbordnetzes, ausreicht. Dazu kann eine Bordnetzspannung, insbesondere die Hochspannung und/oder die Niederspannung, mit einer für den Antriebsmodus minimal zulässigen Spannung verglichen werden.

**[0034]** Ferner ist bevorzugt, dass während des Antriebsmodus die Erregerspannung der elektrischen Maschine über den Maximalwert der Erregerspannung im generatorischen Standardbetrieb erhöht wird, um ein höheres Drehmoment, insbesondere ein Antriebsmoment, der elektrischen Maschine zu erzielen. Dies ist, wie nachfolgend erläutert, zulässig, da es sich bei dem Antriebsmodus um einen zeitlich beschränkten Betriebsmodus des Systems handelt.

**[0035]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das System in einem Startmodus betrieben, wobei die elektrische Maschine motorisch zum Starten der Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeugs betrieben wird. Somit ist die elektrische Maschine auch als Startermotor für die Brennkraftmaschine nutzbar, nämlich vorzugsweise bei einem Start-Stopp-Betrieb des Kraftfahrzeugs, und zwar

insbesondere auch zusätzlich zu einem konventionellen Niederspannungsstarter, der vorzugsweise über das Niederspannungsbordnetz für einen Kaltstart betrieben wird, während die elektrische Maschine, vorzugsweise über das Hochspannungsbordnetz, als Startermotor für einen Warmstart betrieben wird.

**[0036]** Vorzugsweise wird während des Startmodus die Erregerspannung der elektrischen Maschine über den Maximalwert der Erregerspannung im generatorischen Standardbetrieb erhöht, um ein höheres Drehmoment, insbesondere ein Startmoment, zu erreichen. Dies ist, wie nachfolgend erläutert, zulässig, da der Startmodus einen zeitlich beschränkten Betriebsmodus darstellt.

**[0037]** Bei einem motorischen Betriebsmodus, insbesondere beim Antriebs- und/oder beim Startmodus, bei dem die elektrische Maschine als Motor betrieben wird, kann die elektrische Maschine zwar auch mit der Niederspannung betrieben werden, vorzugsweise wird sie jedoch, wie zuvor genannt, bei einer höheren Spannung, insbesondere der Hochspannung des Hochspannungsbordnetzes, betrieben, um das Drehmoment oder auch einen Wirkungsgrad zu erhöhen.

**[0038]** Bei dem motorischen Betriebsmodus wird die elektrische Maschine vorzugsweise aus dem Energiespeicher, insbesondere des Hochspannungsbordnetzes, gespeist, wobei der Energiespeicher eine Batterie und/oder einen Kondensator, beispielsweise einen sogenannten Supercap, umfassen kann. Vorzugsweise wird vor und/oder während dem Startmodus geprüft, ob in dem Energiespeicher genügend Energie zum Starten der Brennkraftmaschine gespeichert ist, beispielsweise indem geprüft wird, ob eine Spannung des Energiespeichers über einem gewissen Grenzwert liegt. Dann kann ein Start-Stopp-Betrieb, und zwar insbesondere ein Stopp der Brennkraftmaschine, zugelassen werden, da das Starten der Brennkraftmaschine sichergestellt ist. Ferner werden vorzugsweise zumindest ein, möglichst viele oder alle Hochspannungsverbraucher bei einem Stillstand der Brennkraftmaschine, insbesondere während des Startmodus und/oder vorzugsweise während des Start-Stopp-Betriebs, ausgeschaltet. So verbleibt mehr Energie für den motorischen Betriebsmodus der elektrischen Maschine.

**[0039]** Zusätzlich oder auch alternativ, insbesondere falls die zuvor genannte Prüfung des Energiespeichers negativ ist, kann der DC/DC-Wandler so betrieben werden, dass er die Niederspannung zu einer höheren Spannung umwandelt, und zwar vorzugsweise zumindest auf einen minimalen Spannungswert zum motorischen Betreiben der elektrischen Maschine, insbesondere als Startermotor. Dabei wird also die Stromrichtung des DC/DC-Wandlers beim Stillstand der Brennkraftmaschine gegenüber einem genera-

torischen Betriebsmodus der elektrischen Maschine umgekehrt. Ferner kann so die Energie zum Starten der Brennkraftmaschine dem Niederspannungsbordnetz entnommen werden.

**[0040]** Im Übrigen kann ein Ladezustand des Energiespeichers, insbesondere bezüglich eines minimal zulässigen Wertes, überprüft werden. Alternativ kann das System, insbesondere der Energiespeicher, mit einem Ladezustandsensor, beispielsweise einem Batteriesensor, ausgebildet sein, um den Ladezustand zu überprüfen. Ferner kann auch ein Spannungseinbruch aufgrund des Startmodus vorausberechnet werden und geprüft werden, ob er einen kritischen Wert unterschreitet. So lässt sich bei dem Start-Stopp-Betrieb des Kraftfahrzeugs ein Stopp der Brennkraftmaschine unterdrücken, da ein Ausschalten der Brennkraftmaschine den Ladezustand des Leistungsspeichers des Niederspannungsbordnetzes zusätzlich verschlechtern würde.

**[0041]** Ferner kann beim Startmodus, insbesondere mittels des Energiespeichers, Rekuperationsenergie zum Starten der Brennkraftmaschine genutzt werden, beispielsweise bei dem Start-Stopp-Betrieb, bei dem die Brennkraftmaschine bei kurzen Haltephasen des Kraftfahrzeugs ausgeschaltet wird und für eine Weiterfahrt, vorzugsweise mit der elektrischen Maschine als Startermotor, wieder gestartet wird.

**[0042]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist das System, insbesondere die Steuerung, mit einer Erfassungseinrichtung für zumindest eine Betriebsgröße, insbesondere einen Erregerstrom, eine Drehzahl, eine Generatorspannung, ein Tastverhältnis der Erregerkreisendstufe, eine Bauteiltemperatur, einen Abgabestrom des Generators, einen Strom in einer Phase, und/oder einen Strom in einem Brückengleichrichterzweig, und mit einer Auswerteeinrichtung zum Ableiten des Drehmoments oder der Information über das Drehmoment der elektrischen Maschine aus zumindest der Betriebsgröße oder einer Kombination von Betriebsgrößen ausgebildet. Vorzugsweise kann mit der Erfassungseinrichtung also zumindest eine Betriebsgröße erfasst und mit der Auswerteeinrichtung das Drehmoment oder die Information über das Drehmoment aus zumindest der Betriebsgröße oder einer Kombination von Betriebsgrößen abgeleitet werden. Die Betriebsgrößen stellen also Daten dar, aus denen das Drehmoment ableitbar ist.

**[0043]** Dabei ist bevorzugt, das Drehmoment aus der Generatorspannung oder auch aus einer der folgenden Kombination der Betriebsgrößen abzuleiten oder zu berechnen, nämlich insbesondere aus der Generatorspannung, dem Abgabestrom und der Drehzahl; der Generatorspannung, dem Erregerstrom und der Drehzahl; der Generatorspannung, dem Tastverhältnis der Erregerkreisendstufe, der

Bauteiltemperatur und der Drehzahl; der Generatorspannung, dem Strom in einer Phase und der Drehzahl der Generatorspannung, dem Strom in einem Brückengleichrichterzweig und der Drehzahl.

**[0044]** Wie zuvor genannt, kann eine Information über ein zukünftiges Drehmoment berechnet und berücksichtigt werden. Die Berechnung kann anhand der zuvor genannten Betriebsgrößen des Systems und/oder weiteren Betriebsgrößen, insbesondere einer Kondensatorkapazität oder einer Spannung an einem Kondensator, erfolgen. Dabei wird das Drehmoment vorzugsweise aus der Generatorspannung oder auch aus einer der folgenden Kombination der Betriebsgrößen berechnet, nämlich aus der Generatorspannung, dem Abgabestrom, der Drehzahl und der Kondensatorkapazität; der Generatorspannung, dem Erregerstrom, der Drehzahl und der Kondensatorkapazität; der Generatorspannung, dem Tastverhältnis der Erregerkreisendstufe, der Bauteiltemperatur, der Drehzahl und der Kondensatorkapazität; der Generatorspannung, dem Strom in einer Phase, der Drehzahl und der Kondensatorkapazität; der Generatorspannung, dem Strom in einem Brückengleichrichterzweig, der Drehzahl und der Kondensatorkapazität.

**[0045]** Das Drehmoment und/oder auch das zukünftige Drehmoment können über zumindest ein Kennfeld und/oder eine Näherungsformel von der Steuerung berechnet werden, und zwar insbesondere aus einer oder einer Kombination der Betriebsgröße(n). Es können auch entsprechende Kennfelder oder Formeln zumindest zweier elektrischer Maschinen hinterlegt sein, wobei insbesondere eine jeweilige elektrische Maschine, beispielsweise über eine Schnittstelle und/oder anhand eines Identifikationscodes, ermittelbar ist, insbesondere indem der Identifikationscode, vorzugsweise an das Steuergerät mit der Auswerteeinrichtung, übermittelt wird.

**[0046]** Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird ein Schlupf der Kopplung zwischen der elektrischen Maschine und der Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeugs erkannt, und zwar insbesondere indem eine Drehzahl der elektrischen Maschine mit einer Drehzahl der Brennkraftmaschine verglichen wird. Dabei lässt sich die Drehzahl der elektrischen Maschine beispielsweise über einen Resolver oder über ein Spannungssignal einer oder mehrerer Phasen der elektrischen Maschine ermitteln. Dann lässt sich, insbesondere bei dem Rekuperationsmodus, das Drehmoment über eine Begrenzung des Erregerstroms oder des Tastverhältnisses begrenzen, um den Schlupf zu reduzieren oder sogar zu verhindern.

**[0047]** Außerdem lässt sich der Schlupf als ein Fehlerzustand ermitteln und bei einem Betriebsmodus des Systems berücksichtigen, beispielsweise indem

von der Steuerung eine Fehlermeldung in dem System abgesetzt wird.

**[0048]** Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die elektrische Maschine mit der Brennkraftmaschine über einen Riementrieb mit einem Riemen gekoppelt und umfasst das System einen, insbesondere elektrischen, Riemenspanner für den Riemen. Dann kann der Schlupf reduziert oder auch eliminiert werden, indem eine Riemenspannung erhöht wird, und zwar vorzugsweise so lange, bis kein Schlupf mehr auftritt. Vorzugsweise wird vor oder auch während des Rekuperationsmodus, des Antriebsmodus und/oder auch des Startmodus die Riemenspannung mit dem Riemenspanner erhöht, um das Drehmoment möglichst schlupffrei zu übertragen.

**[0049]** Wird die elektrische Maschine, beispielsweise ein Kohleschleifringsystem der elektrischen Maschine, bei einem Betriebsmodus, insbesondere dem Rekuperations-, dem Hochspannungs-, dem Antriebs- und/oder dem Startmodus, nur kurzfristig belastet, so kann dabei ein dauerhaft zulässiger Maximalwert, beispielsweise die Erregerspannung oder der Erregerstrom, überschritten werden. So wird insbesondere eine Überhitzung bei kurzfristiger Überschreitung des Maximalwerts aufgrund einer Wärmekapazität und einer nachfolgenden Wärmeabgabe nach dem kurzfristigen Betriebsmodus verhindert und ein Verschleiß oder eine Lebensdauer nicht oder nur unwesentlich erhöht beziehungsweise verkürzt.

**[0050]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird der DC/DC-Wandler in seiner Funktionsweise, insbesondere durch die Steuerung, überwacht. Dazu kann die Niederspannung des Niederspannungsbordnetzes erfasst und ausgewertet werden, und zwar beispielsweise durch das Steuergerät der elektrischen Maschine.

**[0051]** Im Übrigen kann die Steuerung, insbesondere das Steuergerät der elektrischen Maschine, über einen Sensepfad zur Erfassung der Niederspannung des Niederspannungsbordnetzes ausgebildet sein. Alternativ dazu kann die Niederspannung mit einem weiteren Steuergerät überwacht beziehungsweise erfasst werden und der Wert der Niederspannung oder auch eine Information über ein Überschreiten des zulässigen Maximalwertes über eine Schnittstelle übertragen werden.

**[0052]** Ferner ist bevorzugt, dass das System einen Überbrückungsschalter zum Überbrücken des DC/DC-Wandlers aufweist, sodass das Hochspannungsbordnetz und das Niederspannungsbordnetz direkt miteinander verbindbar sind. Vorzugsweise werden dann das Niederspannungsbordnetz und das Hochspannungsbordnetz mit der Niederspannung betrieben und insbesondere von der generatorisch betrie-

benen elektrischen Maschine gespeist, indem diese die Niederspannung erzeugt.

**[0053]** Eine Fehlfunktion des DC/DC-Wandlers kann festgestellt werden, indem ein Überschreiten der Niederspannung über einen zulässigen Maximalwert der Niederspannung ermittelt wird. Dann kann automatisch der Rekuperationsmodus gestoppt werden und/oder die Generatorspannung der generatorisch betriebenen elektrischen Maschine an die Niederspannung angeglichen oder auch auf einen Sollwert der Niederspannung gesenkt werden. Dazu kann der DC/DC-Wandler mit dem Überbrückungsschalter überbrückt werden, um das Niederspannungsbordnetz direkt mit elektrischer Leistung aus der generatorisch betriebenen elektrischen Maschine zu versorgen. Falls der Überbrückungsschalter geschlossen ist, also der DC/DC-Wandler überbrückt ist, darf das System nur in den Grenzen der zulässigen Spannung des Niederspannungsnetzes rekupieren.

**[0054]** Falls die Niederspannung einen minimal zulässigen Spannungswert unterschreitet, kann der Überbrückungsschalter ebenfalls geschlossen werden, also der DC/DC-Wandler überbrückt werden, und die Generatorspannung der generatorisch betriebenen elektrischen Maschine an die Niederspannung angepasst werden, wobei dieser Fehlerfall dadurch bedingt sein kann, dass der DC/DC-Wandler keine Leistung mehr überträgt. Vorzugsweise wird dabei ein Stopp der Brennkraftmaschine bei dem Start-Stopp-Betrieb unterdrückt, da ein Ausschalten der Brennkraftmaschine den Ladezustand des Energiespeichers zusätzlich verschlechtern würde.

**[0055]** Die Niederspannung kann zwischen 10 Volt und 16 Volt liegen. Im Übrigen sind an das Niederspannungsbordnetz vorzugsweise das Steuergerät der Bremssicherheitsvorrichtung, das Batteriesteuergerät, eine konventionelle Batterie, ein Niederspannungsstarter für einen Kaltstart der Brennkraftmaschine und/oder auch weitere Niederspannungsverbraucher angeschlossen.

**[0056]** Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform werden mit dem DC/DC-Wandler Spannungsspitzen in dem Bordnetz, insbesondere in dem Niederspannungsbordnetz, gesenkt. Werden induktive Lasten in dem Bordnetz abgeschaltet, kann es zu Spannungsüberhöhungen kommen. Um diese zu minimieren ist es vorteilhaft, wenn ab einer maximal zulässigen Spannung des Bordnetzes der DC/DC-Wandler Energie aus dem Bordnetz transferiert, wobei vorzugsweise mit diesem Verfahren Spannungsüberhöhungen des Niederspannungsbordnetzes reduziert werden, indem mit dem DC/DC-Wandler Energie in das Hochspannungsbordnetz transferiert wird. Ein solches Verfahren wird auch als „load dump“ bezeichnet.

**[0057]** Dabei wird vorzugsweise die Spannung des Bordnetzes so gefiltert, dass Spannungsspitzen, die durch das Abschalten einer induktiven Last verursacht sind, von andersartig verursachten Spannungsschwankungen unterscheidbar sind.

**[0058]** Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die elektrische Maschine als Wechselstrommotorgenerator ausgebildet, und zwar insbesondere mit einer Erregerwicklung und einer elektronischen Schaltungsanordnung. Dabei umfasst die elektrische Schaltungsanordnung vorzugsweise das Steuergerät der elektrischen Maschine und/oder auch einen Gleichrichter und einen Wechselrichter. Um Überspannungen beim Abschalten der Erregerwicklung zu vermeiden, kann parallel zu der Erregerwicklung eine Freilaufdiode geschaltet sein.

**[0059]** Ferner kann die elektrische Maschine, insbesondere deren Steuergerät, eine Drehzahlerfassungseinrichtung zum Erfassen der Drehzahl der elektrischen Maschine aufweisen. Dabei kann eine Wechselspannung über der Erregerwicklung, insbesondere an dem Gleich- und/oder Wechselrichter, abgegriffen werden und aus deren Frequenz die Drehzahl berechnet werden. Außerdem kann das System, insbesondere die elektrische Maschine, einen Sensor für ein Winkellagesignal eines Rotors der elektrischen Maschine umfassen und aus dem Winkellagesignal eine Drehzahl abgeleitet werden.

**[0060]** Im Übrigen kann die Steuerung, insbesondere das Steuergerät der elektrischen Maschine, mit zumindest einer Schnittstelle zur Übermittlung von Daten ausgebildet sein. So lassen sich Daten, insbesondere die zuvor und nachfolgend genannten Informationen über das Drehmoment, zwischen zumindest zwei Steuergeräten, beispielsweise dem Steuergerät der elektrischen Maschine und dem Steuergerät des DC/DC-Wandlers, dem Motorsteuergerät, dem Batteriesteuergerät und/oder auch dem Steuergerät der Bremssicherheitsvorrichtung, übermitteln, wobei auch über eine einzige Schnittstelle Daten zu und/oder von zumindest zwei weiteren Steuergeräten übermittelbar sind, insbesondere auch indirekt über ein weiteres Steuergerät, insbesondere ein zentrales Steuergerät des Systems oder des Motorsteuergeräts.

**[0061]** Die elektrische Maschine als Wechselstrommotorgenerator kann mit drei phasenbildenden Wicklungssträngen ausgebildet sein. Im Übrigen kann die elektrische Maschine fünfphasig ausgebildet sein. Vorzugsweise ist die elektrische Maschine siebenphasig ausgebildet.

**[0062]** Höhere Phrasenzahlen verringern die Verluste im Rotor und führen zu einer besseren Verteilung des Stroms auf die Schalter des Wechselrichters.

**[0063]** Die Aufgabe wird auch durch ein Computerprogrammprodukt gelöst, das in einen Programmspeicher mit Programmbefehlen, insbesondere eines Mikrocomputers, für das System oder für die Steuerung ladbar ist, um alle Schritte eines zuvor oder nachfolgend beschriebenen Verfahrens auszuführen, insbesondere wenn das Programm in der Steuerung ausgeführt wird. Dabei ist der Mikrocomputer vorzugsweise Bestandteil der Steuerung und der Programmspeicher vorzugsweise als ein Halbleiterspeicher ausgebildet, wobei die Steuerung, insbesondere bei einer Mehrzahl Steuergeräten des Systems, auch eine Mehrzahl Mikrocomputer und auch Speicher, sowie eine Mehrzahl Computerprogrammprodukte oder auch ein auf die Mehrzahl Steuergeräte verteilt realisiertes Computerprogrammprodukt aufweisen kann. Das Computerprogrammprodukt erfordert nur wenige oder keine zusätzlichen Bauteile in der Steuerung und lässt sich vorzugsweise als ein Modul in einer bereits vorhandenen Steuerung, insbesondere zur Steuerung des Rekuperationsmodus, des Hochspannungsmodus, des Antriebsmodus und/oder auch des Startmodus implementieren. Das Computerprogrammprodukt hat den weiteren Vorteil, dass es leicht an individuelle und bestimmte Kundenwünsche anpassbar ist, sowie eine Verbesserung oder Optimierung einzelner Verfahrensschritte mit geringem Aufwand kostengünstig möglich ist.

**[0064]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen verwendbar sind.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0065]** Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

**[0066]** [Fig. 1](#) einen schematischen Schaltplan eines Systems mit einer Steuerung und elektrischer Maschine mit variabler Spannung,

**[0067]** [Fig. 2](#) eine Übersichtsdarstellung einiger Betriebsmodi des Systems,

**[0068]** [Fig. 3](#) ein Flussdiagramm mit Verfahrensschritten zur Fehlerüberwachung,

**[0069]** [Fig. 4](#) einen schematischen Schaltplan einer elektrischen Maschine mit Leistungselektronik,

**[0070]** [Fig. 5](#) einen schematischen Schaltplan einer elektrischen Maschine mit fünf phasenbildenden Wicklungssträngen,



**[0071]** [Fig. 6](#) einen schematischen Schaltplan einer elektrischen Maschine mit sieben phasenbildenden Wicklungssträngen und

**[0072]** [Fig. 7](#) einen Klauenpolgenerator in der Seitenansicht.

#### Ausführungsformen der Erfindung

**[0073]** Die [Fig. 1](#) zeigt einen schematischen Schaltplan eines Systems **1** für ein Kraftfahrzeug, das eine elektrische Maschine **2**, ein Hochspannungsbordnetz **4**, ein Niederspannungsbordnetz **5** und einen DC/DC-Wandler **3**, der das Hochspannungsbordnetz **4** und das Niederspannungsbordnetz **5** verbindet, umfasst.

**[0074]** Die elektrische Maschine **2** ist als Wechselstrommaschine, und zwar als Wechselstrommotor-generator, ausgebildet, die sowohl in einem generatorischen als auch in einem motorischen Betriebsmodus betreibbar ist. Dabei umfasst die elektrische Maschine **2** einen elektromechanischen, insbesondere elektromagnetisch aktiven, Teil **7**, der eine Erregerwicklung **11** umfasst und in der [Fig. 7](#) näher erläutert wird, und eine elektronische Schaltungsanordnung **6**, die ein Steuergerät **8** mit Schnittstellen **10** und einen gesteuerten Gleichrichter/Wechselrichter **9**, der beispielsweise als Pulswechselrichter ausgebildet ist, umfasst. Die elektrische Maschine **2** ist mit einer nicht dargestellten Brennkraftmaschine gekoppelt, und zwar über einen Riementrieb mit einem Riemen.

**[0075]** Das Steuergerät **8** steuert und regelt eine variable Ausgangsspannung der Leistungselektronik, nämlich des Gleichrichters/Wechselrichters **9**, durch Beeinflussung eines Erregerstroms in der Erregerwicklung **11** mit Hilfe einer nicht dargestellten Endstufe. Ebenfalls nicht dargestellt ist eine parallel zur Erregerwicklung **11** geschaltete Freilaufdiode, um Überspannungen beim Abschalten der Erregerwicklung **11** zu vermeiden.

**[0076]** Die Schaltungsanordnung **6** umfasst ferner eine elektrische Verbindung zu Verschaltungspunkten **200**, **201**, **202** der Erregerwicklung **11**, um während eines generatorischen Betriebs eine Drehzahl der als Generator betriebenen elektrischen Maschine **2** aus einer Frequenz einer Wechselspannung ableiten zu können. Zusätzlich erhält das Steuergerät **8** aus einem in der [Fig. 1](#) nicht dargestellten Sensor **160** ein Winkellagesignal eines Rotors der elektrischen Maschine **2**.

**[0077]** Über die Schnittstellen **10** können Daten zwischen dem Steuergerät **8** und weiteren Steuergeräten, die später erläutert sind, übermittelt werden. Bei diesem Ausführungsbeispiel, erfolgt die Übermittlung der Daten zwischen jeweils zwei Steuergeräten über separate Datenleitungen **41**, **43**, **53**. Alternativ

könnte die Datenübermittlung auch über einen Datenbus und/oder verkettet geschaltete Steuergeräte, also indirekt über zumindest ein zwischengeschaltetes Steuergerät, realisiert sein.

**[0078]** Das Hochspannungsbordnetz **4** wird durch die elektrische Maschine **2** versorgt und umfasst einen Zweischichtkondensator **12** als Energiespeicher sowie zumindest einen zuschaltbaren Hochspannungsverbraucher **13**, beispielsweise einen Motorlüfter oder eine Scheibenheizung. Eine Hochspannung des Hochspannungsbordnetzes **4** ist durch das Steuergerät **8** über den Gleichrichter/Wechselrichter **9** variabel, vorzugsweise zwischen 10 V und 42 V, regelbar. Dabei lässt sich durch Regeln der Hochspannung direkt auch eine Abgabeleistung des Hochspannungsverbrauchers **13** regeln.

**[0079]** Das Niederspannungsbordnetz **5** wird über den DC/DC-Wandler **3** mit einer Niederspannung versorgt, die vorzugsweise zwischen 10 V und 16 V liegt.

**[0080]** Bei einer Fehlfunktion des DC/DC-Wandlers **3** kann dieser, wie in der [Fig. 3](#) näher erläutert, mittels eines Überbrückungsschalters **14** überbrückt und das Niederspannungsbordnetz **5** also direkt mit dem Hochspannungsbordnetz **4** verbunden werden, wobei dann beide Bordnetze **4**, **5** mit der Niederspannung versorgt werden, indem der Gleichrichter/Wechselrichter **9** durch das Steuergerät **8** so angesteuert wird, dass die elektrische Maschine **2** nur noch die Niederspannung abgibt. Der Überbrückungsschalter **14** ist über eine Steuerleitung **42** ansteuerbar.

**[0081]** Der DC/DC-Wandler **3** umfasst ferner ein Steuergerät, über das insbesondere eine Richtung der Gleichspannungswandlung und einer Ausgangsspannung steuerbar sind. Das Steuergerät des DC/DC-Wandlers **3** ist über eine Datenleitung **41** mit dem Steuergerät **8** der elektrischen Maschine **2** verbunden.

**[0082]** An dem Niederspannungsbordnetz **5** sind ein Steuergerät einer Bremssicherheitsvorrichtung, nämlich ein ESP/ABS Steuergerät **15**, ein Batteriesteuergerät **16** für einen weiteren Energiespeicher, nämlich eine herkömmliche Batterie **17**, zumindest ein schaltbarer Niederspannungsverbraucher **18** und, optional, ein herkömmlicher Niederspannungsstarter **19** für einen Kaltstart einer nicht dargestellten Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeugs angeschlossen.

**[0083]** Ferner sind jeweils das Batteriesteuergerät **16**, um den Zustand der Batterie **17** abzufragen, und das ESP/ABS Steuergerät **15** mit Steuerleitungen **43**, **53** über die Schnittstellen **10** mit dem Steuergerät **8** verbunden.

**[0084]** Die [Fig. 2](#) zeigt eine Übersichtsdarstellung einiger Betriebsmodi (**20–31**) des Systems **1**, zwischen denen abhängig von Betriebsanforderungen, insbesondere eines Betriebszustandes des Kraftfahrzeugs, variiert wird. Das System **1** mit der elektrischen Maschine **2** lässt sich prinzipiell in einem motorischen Betriebsmodus **20** oder in einem generatorischen Betriebsmodus **21** der elektrischen Maschine **2** betreiben. Dabei kann das System **1** bei dem motorischen Betriebsmodus **20** in einem sogenannten Versorgungsmodus **22**, einem Startmodus **23** oder einem Antriebsmodus **24**, bei dem ein sogenannter Boostmodus **28** und ein Direktantriebsmodus **29** unterscheidbar sind, betrieben werden. In dem generatorischen Betriebsmodus **21** kann das System **1** in einem generatorischen Standardbetriebsmodus **25**, einem Rekuperationsmodus **26**, bei dem ein Bremsmodus **30** und ein Schubmodus **31** unterscheidbar sind, und eine Hochspannungsmodus **27** betrieben werden.

**[0085]** Bei einem motorischen Betriebsmodus **20** wird die elektrische Maschine **2** mit elektrischer Energie über das Hochspannungsbordnetz **4** aus dem Zweischichtkondensator **12** oder auch mittels des DC/DC-Wandlers **3** aus der Batterie **17** des Niederspannungsbordnetzes **5** versorgt, wobei die elektrische Maschine **2**, wie nachfolgend erläutert, als Motor dient.

**[0086]** Bei einem generatorischen Betriebsmodus **21** wird die elektrische Maschine **2** durch die Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeugs angetrieben. Dabei lässt sich mit der elektrischen Maschine **2** elektrische Energie gewinnen und in das Hochspannungsbordnetz **4** und auch über den DC/DC-Wandler **3** in das Niederspannungsbordnetz **5** einspeisen.

**[0087]** Beim Versorgungsmodus **22** werden mit der elektrischen Maschine **2** als Motor Verbraucher des Kraftfahrzeugs, beispielsweise eine Klimaanlage, angetrieben, und zwar bei einem ausgeschalteten Zustand der Brennkraftmaschine, insbesondere während einer kurzen Haltephase des Kraftfahrzeugs bei einem Start-Stopp-Betrieb.

**[0088]** Beim Startmodus **23** wird die Brennkraftmaschine mittels der elektrischen Maschine **2** gestartet, und zwar mit einem Warmstart bei dem Start-Stopp-Betrieb des Kraftfahrzeugs. Dabei wird eine Erregerspannung der Erregerwicklung **11** gegenüber einem Maximalwert im generatorischen Standardmodus **25** erhöht, um ein höheres Startmoment zu erzielen. Dies ist zulässig, da das Starten der Brennkraftmaschine ein zeitlich beschränktes, insbesondere kurzfristiges, Ereignis ist, also die zulässigen Werte nur kurzfristig überschritten werden.

**[0089]** Im Übrigen wird für einen Startmodus **23** vorab geprüft, ob in dem Zweischichtkondensator

**12** oder auch in der Batterie **17** genügend Energie zum Starten der Brennkraftmaschine gespeichert ist. Andernfalls wird bei einem Start-Stopp-Betrieb des Kraftfahrzeugs die Brennkraftmaschine nicht ausgeschaltet, also ein Start-Stopp-Zyklus unterdrückt. Ein Kaltstart der Brennkraftmaschine wird vorzugsweise mit dem Niederspannungsstarter **19** durchgeführt, kann jedoch auch durch die elektrische Maschine **2** erfolgen.

**[0090]** Primär wird beim Startmodus **23** die elektrische Maschine **2** mit Leistung aus dem Zweischichtkondensator **12** versorgt. Falls die in dem Zweischichtkondensator **12** gespeicherte Energie nicht zum Starten der Brennkraftmaschine ausreicht, erfolgt die elektrische Versorgung über die Batterie **17**. Zum Überprüfen der Energiespeicher **12**, **17** kann beispielsweise die Spannung des jeweiligen Bordnetzes **4**, **5** gemessen und mit einem kritischen Wert verglichen werden. Alternativ kann ein Ladezustand der Batterie **17** auch mit einem Batteriesensor erfasst werden oder auch ein Spannungseinbruch vorausberechnet und dieser mit einem kritischen Wert, beispielsweise einer minimalen Batteriespannung, verglichen werden.

**[0091]** Ferner werden bei einem Stillstand der Brennkraftmaschine vorzugsweise die Hochspannungsverbraucher **13** ausgeschaltet, um nicht unnötig Energie zu verbrauchen. Ferner kann die Hochspannung des Hochspannungsbordnetzes **4** auf einen minimalen Wert zum Starten der Brennkraftmaschine reduziert werden. Wird zusätzlich Energie aus dem Niederspannungsbordnetz **5** benötigt, so wird die Wandlungsrichtung des DC/DC-Wandlers **3** gegenüber eines generatorischen Betriebsmodus **21** umgekehrt, also Energie aus dem Niederspannungsbordnetz **5** in das Hochspannungsbordnetz **4** transferiert.

**[0092]** In dem Antriebsmodus **24** wird die elektrische Maschine **2** motorisch betrieben, und zwar um in dem Boostmodus **28** die Brennkraftmaschine zu unterstützen oder in dem Direktantriebsmodus **29** das Kraftfahrzeug direkt anzutreiben. In dem Boostmodus **28** wird also die Antriebsleistung der Brennkraftmaschine um eine Antriebsleistung der elektrischen Maschine **2** ergänzt und somit insgesamt eine Antriebsleistung des Kraftfahrzeugs erhöht. In dem Direktantriebsmodus **29** wird das Kraftfahrzeug ohne Unterstützung durch die Brennkraftmaschine mittels der elektrischen Maschine **2** angetrieben, und zwar beispielsweise für kurze Fahrstrecken und/oder für ein zügiges Anfahren bei einem Start-Stopp-Betrieb, insbesondere bis die Brennkraftmaschine gestartet ist.

**[0093]** Der Antriebsmodus **24**, insbesondere der Boostmodus **28** und/oder der Direktantriebsmodus **29**, werden dabei nur ausgeführt, falls in dem Bord-

netz **4, 5** genügend elektrische Energie zur Verfügung steht, sodass insbesondere gleichzeitig die Versorgung der Bordnetze **4, 5** gewährleistet ist. Dazu kann geprüft werden, ob die Hochspannung und/oder die Niederspannung größer als ein gewisser Grenzwert sind, ab dem der entsprechende Antriebsmodus **24, 28, 29** sinnvoll möglich ist.

**[0094]** Im generatorischen Standardbetriebsmodus **25** wird die elektrische Maschine **2** als Generator durch die Brennkraftmaschine angetrieben, und zwar bei einem regulären Fahrbetrieb, bei dem durch die Verbrennung eines Kraftstoffs von der Brennkraftmaschine sowohl der Antrieb des Kraftfahrzeugs als auch der elektrischen Maschine **2** gewährleistet ist. So wird mit der elektrischen Maschine **2** vorzugsweise die Hochspannung erzeugt und unmittelbar das Hochspannungsbordnetz **4** mit Energie versorgt, wobei dabei die Generatorspannung etwa ein Drittel bis zwei Drittel einer maximal zulässigen Generatorspannung beträgt. Dann wird der Zweischichtkondensator **12** nicht mit seiner maximalen Kapazität aufgeladen, sodass er über genügend Pufferspeicherleistung für den Rekuperationsmodus **26** verfügt. Ferner werden die Hochspannungsverbraucher **13** versorgt und außerdem über den DC/DC-Wandler **3** das Niederspannungsbordnetz **5**.

**[0095]** Bei dem Hochspannungsmodus **27** wird die Brennkraftmaschine mit einer Leerlaufdrehzahl betrieben, die gegenüber einer Leerlaufdrehzahl beim generatorischen Standardbetriebsmodus **25** erhöht ist, um eine sichere Versorgung der Hochspannungsverbraucher **13** zu gewährleisten, da die Generatorspannung **2** proportional zu der Drehzahl der elektrischen Maschine, also auch proportional zur Drehzahl der Brennkraftmaschine, ist. Ferner kann so die Leistung der Hochspannungsverbraucher **13** direkt über die Leerlaufdrehzahl der Brennkraftmaschine gesteuert werden, sodass eine separate Leistungssteuerung des Hochspannungsverbrauchers **13** nicht notwendig ist.

**[0096]** Während des Hochspannungsmodus **27** ist es sinnvoll, einen kleineren Erregerstrom der elektrischen Maschine **2** als beispielsweise bei dem Rekuperationsmodus **26** einzustellen, da der Hochspannungsmodus **27** auch über längere Zeit andauern kann. Vorzugsweise wird der zuvor genannte Maximalwert des Erregerstroms beim generatorischen Standardbetriebsmodus **25** nicht überschritten, um eine Schädigung der elektrischen Maschine **2** zu verhindern.

**[0097]** Beim Rekuperationsmodus **26** wird die elektrische Maschine **2** mit einem von dem Steuergerät **8** ansteuerbaren Drehmoment betrieben, um Bewegungsenergie des Kraftfahrzeugs mittels der elektrischen Maschine **2** als Generator in elektrische Energie umzuwandeln und diese vorzugsweise in dem

Zweischichtkondensator **12** zu speichern. Außerdem kann die so gewonnene Energie auch in der Niederspannungsbatterie **17** gespeichert werden, wobei vorzugsweise die Niederspannung des Niederspannungsbordnetzes **5** während des Rekuperationsmodus **26** erhöht wird, um durch einen verstärkten Stromfluss durch den DC/DC-Wandler **3** und auch die höhere Niederspannung mehr Energie in der Niederspannungsbatterie **17** zu speichern.

**[0098]** Im Übrigen wird dabei der Bremsmodus **30**, bei dem ein, insbesondere starkes, abbremsendes Kraftfahrzeug erwünscht ist, und der Schubmodus **31**, bei dem ein, insbesondere starkes, Abbremsen des Kraftfahrzeugs verhindert werden soll, unterschieden, sodass bei dem Schubmodus **31** das Drehmoment, also das Bremsmoment der elektrischen Maschine **2**, limitiert wird und bei dem Bremsmodus **30** keine Drehmomentlimitation realisiert wird.

**[0099]** Durch das Drehmoment der generatorisch betriebenen elektrischen Maschine **2**, insbesondere beim Rekuperationsmodus **26**, kann eine Bremskraftverteilung des Kraftfahrzeugs deutlich gestört werden, da hohe Bremsmomente, beispielsweise 10 bis 17 Nm auf einer Welle der elektrischen Maschine **2** beziehungsweise 30 bis 50 Nm auf einer Kurbelwelle der Brennkraftmaschine, und zwar auch mit sehr hohen Gradienten, beispielsweise 1500 bis 5000 Nm pro Sekunde auf der Kurbelwelle, auf eine angetriebene Achse des Kraftfahrzeugs übertragen werden können. Deshalb wird das Drehmoment, insbesondere das Bremsmoment, in dem System berücksichtigt, und zwar vorzugsweise an das ESP/ABS Steuergerät **15** übermittelt, um eine Anpassung der Bremskraftverteilung vorzunehmen.

**[0100]** Dazu erhält das ESP/ABS Steuergerät **15** eine Informationen, die entweder direkt dem Drehmoment der elektrischen Maschine **2** entspricht, oder Daten, aus denen das Drehmoment ableitbar ist. Diese Daten können folgende Betriebsgrößen sein: der Erregerstrom IE, die Drehzahl ng, die Generatorspannung Ug, ein Tastverhältnis der Erregerkreisendstufe DF, eine Bauteiltemperatur Ta, ein Abgabestrom des Generators Ig, ein Strom in einer Phase Iph oder auch ein Strom in einem Brückengleichrichterzweig IGLR. Dabei sind folgende Kombinationen sinnvoll:

Ug, Ig, ng  
Ug, Ie, ng  
Ug, DF, Ta, ng  
Ug, Ig, ng  
Ug, Iph, ng  
Ug  
Ug, IGLR, ng.

**[0101]** Ferner kann das Drehmoment über Kennfelder oder auch über eine Näherungsformel berechnet werden, und zwar beispielsweise in dem Steuergerät

**8**, in einem Motorsteuergerät, in einem Bordnetzsteuergerät oder in dem ESP/ABS Steuergerät **15**. Dabei ist das Kennfeld oder die Formel in dem Steuergerät hinterlegt oder es können auch Kennfelder beziehungsweise Formeln mehrerer elektrischer Maschinen **2** hinterlegt sein, wobei eine jeweilige elektrische Maschine **2** mit einem Identifikationscode, der über die Schnittstelle **10** übermittelt wird, zugeordnet werden.

**[0102]** Wird aufgrund einer Betriebsanforderung des Kraftfahrzeugs der Rekuperationsmodus **26**, insbesondere von einem Steuergerät, angekündigt, wird der Verlauf des Drehmoments, also ein zukünftiges Drehmoment, berechnet und in dem ESP/ABS Steuergerät **15** berücksichtigt. Dabei kann die Berechnung anhand der zuvor genannten Betriebsgrößen durchgeführt werden, wobei außerdem auch eine Kondensatorkapazität C und/oder eine Kondensatorspannung UC am Zweischichtkondensator **12** berücksichtigt wird. Dementsprechend wird der Verlauf des Drehmoments vorzugsweise aus der Generatorspannung Ug oder aus den zuvor genannten Kombinationen jeweils in Verbindung mit der Kondensatorkapazität C abgeleitet.

**[0103]** Ist das Drehmoment oder auch der Gradient des Drehmoments, insbesondere in Schubmodus **31**, zu hoch, wird das Tastverhältnis DF oder der Erregerstrom IE so beschränkt, dass das Drehmoment beziehungsweise der Gradient des Drehmoments in einen unkritischen Bereich fallen. Ferner kann auch der Gradient des Tastverhältnisses DF oder des Erregerstroms IE begrenzt werden.

**[0104]** Falls das ESP/ABS Steuergerät **15** eine kritische fahrdynamische Situation, beispielsweise eine schnelle Fahrt in einer Kurve, erkennt, unterdrückt das ESP/ABS Steuergerät **15** über die Schnittstelle **10** den Rekuperationsmodus **26**, um das zusätzliche Bremsmoment der elektrischen Maschine **2** auf die Antriebsachse und damit einen instabilen Fahrzustand zu verhindern.

**[0105]** Bei der Kopplung der Brennkraftmaschine mit der elektrischen Maschine **2** kann ein Schlupf durch einen Vergleich einer Drehzahl der elektrischen Maschine **2** und einer Drehzahl der Kurbelwelle der Brennkraftmaschine erkannt werden und das Drehmoment der elektrischen Maschine **2**, wie zuvor beschrieben, limitiert werden, um den Schlupf zu reduzieren oder zu verhindern. Ferner kann bei einem Schlupf eine entsprechende Fehlermeldung in dem System abgesetzt werden oder auch ein elektrischer Riemenspanner angesteuert werden, um die Riemenkraft solange zu erhöhen, bis kein Schlupf mehr auftritt.

**[0106]** Im Übrigen wird die Riemenspannkraft mit dem elektrischen Riemenspanner bereits vor einem

Betriebsmodus, bei dem ein hohes Drehmoment erwartet wird, erhöht, um den Schlupf von vornherein möglichst zu vermeiden. Dies ist insbesondere bei dem Rekuperationsmodus **26**, bei dem Boostmodus **28**, bei dem Direktantriebsmodus **29** und/oder bei dem Startmodus **23** realisiert.

**[0107]** Ferner wird während dem Rekuperationsmodus **26** die Erregerspannung IE über einen Maximalwert im generatorischen Standardbetriebsmodus **25** gelegt, um ein höheres Bremsmoment und eine höhere Abgabeleistung der elektrischen Maschine **2** zu erreichen.

**[0108]** Die [Fig. 3](#) zeigt ein Flussdiagramm mit Verfahrensschritten zum Betreiben des Systems **1**, und zwar zur Fehlerüberwachung.

**[0109]** In einem Schritt **32** wird geprüft, ob die Niederspannung des Niederspannungsbordnetzes **5** einen zulässigen Maximalwert überschreitet, und zwar indem das Steuergerät **8** mit einem Sensepfad zur Erfassung der Niederspannung ausgebildet ist. So lässt sich eine Fehlfunktion des DC/DC-Wandlers **3** feststellen. Trifft dies zu, wird in einem Schritt **35** der Rekuperationsmodus **26** automatisch gestoppt und die Generatorspannung Ug auf einen Sollwert der Niederspannung gesenkt. Im Übrigen ist es möglich, die Generatorspannung Ug auch an die Niederspannung anzugleichen. Ferner wird der Überbrückungsschalter **14** geschlossen, sodass der DC/DC-Wandler **3** bei einer Fehlfunktion überbrückt wird und das Niederspannungsbordnetz **5** direkt von der elektrischen Maschine **2** als Generator versorgt wird. Alternativ zu dem Sensepfad ist es möglich, die Niederspannung über ein Steuergerät zu überwachen und den Wert der Niederspannung über eine Schnittstelle **10** zu übertragen.

**[0110]** Ferner wird in einem Schritt **33** geprüft, ob die Niederspannung einen zulässigen Minimalwert unterschreitet. Dies ist ein Indikator, dass der DC/DC-Wandler **3** keine Leistung mehr überträgt, also ebenfalls eine Fehlfunktion vorliegt. Dann wird in einem Schritt **36** die Generatorspannung Ug an die Niederspannung angeglichen und der Überbrückungsschalter **14** geschlossen. Zusätzlich wird bei einem Start-Stopp-Betrieb des Kraftfahrzeugs ein Motorstopp unterdrückt, da ein Ausschalten der Brennkraftmaschine einen Ladezustand der Niederspannungsbatterie **17** zusätzlich verschlechtern würde.

**[0111]** In einem Schritt **34** wird geprüft, ob eine Spannungsüberhöhung im Niederspannungsbordnetz **5** aufgrund eines Abschaltens einer stark induktiven Last im Niederspannungsbordnetz **5** vorliegt, indem die Niederspannung entsprechend gefiltert wird, um solche Spannungsüberhöhungen zu erkennen. Trifft dies zu, wird in einem Schritt **37** mit dem DC/DC-Wandler **3** Energie aus dem Niederspannungsbord-



netz **5** in das Hochspannungsbordnetz **4** transferiert, um die Spannungsüberhöhung zu reduzieren. Dabei wird also die Wandlungsrichtung des DC/DC-Wandlers **3** umgekehrt.

**[0112]** Die [Fig. 4](#) zeigt einen Schaltplan einer elektrischen Maschine **2**, die als Wechselstrommotor-generator mit drei phasenbildenden Wicklungssträngen **190**, **191**, **192** ausgebildet ist. Die Gesamtheit aller Wicklungsstränge **190**, **191**, **192** bildet eine Statorwicklung **118**. Die drei phasenbildenden Wicklungsstränge **190**, **191**, **192** sind an Verschaltungspunkten **200**, **201**, **202** zu einer Grundschialtung als Dreieck verschaltet, wobei sie einen Winkel von circa 60° el. einschließen.

**[0113]** Dabei sind die Wicklungsstränge **190**, **191**, **192** wie folgt verschaltet: Der Wicklungsstrang **190** ist am Verschaltungspunkt **200** mit dem Wicklungsstrang **191** verbunden. Der Wicklungsstrang **191** ist an seinem gegenüberliegenden Ende am Verschaltungspunkt **201** mit dem Wicklungsstrang **192** verbunden. Der Wicklungsstrang **192** ist an seinem gegenüberliegenden Ende am Verschaltungspunkt **202** mit dem Wicklungsstrang **190** verbunden. Die Verschaltungspunkte **200**, **201**, **202** befinden sich vorzugsweise axial auf oder neben einem elektronikseitigen Wickelkopf **146**, um möglichst kurze Verschaltungswege zu realisieren. Hierzu treten jeweils zu verschaltende Anschlussdrähten der Wicklungsstränge **190**, **191**, **192** eines Verschaltungspunktes **200**, **201**, **202** vorzugsweise aus in Umfangsrichtung direkt benachbarten Nuten **119** aus.

**[0114]** Über die Anschlussdrähte sind die Wicklungsstränge **190**, **191**, **192** an den Verschaltungspunkten **200**, **201**, **202** mit dem Gleich-/Wechselrichter **9**, nämlich einem Brückengleichrichter/Brückenwechselrichter, verbunden, der aus zumindest drei Lowsideschaltern **208** und drei Highsideschaltern **209** aufgebaut ist. Die Anzahl der Lowsideschalter **208** und Highsideschalter **209** entspricht jeweils mindestens der Anzahl der phasenbildenden Wicklungsstränge **190**, **191**, **192**. Dabei sind die Schalter vorzugsweise oder alternativ auch parallel geschaltet.

**[0115]** Die Lowsideschalter **208** und die Highsideschalter **209** sind vorzugsweise als MOS (Metalloxidhalbleiter) Transistoren, Bipolartransistoren, IGPT (Isolier-Gate-Bipolartransistoren) oder ähnliche Schaltbauteile ausgebildet. Insbesondere bei Bipolartransistoren oder IGPT als Lowsideschalter **208** oder Highsideschalter **209** sind jeweils Flächendioden parallel zu diesen so geschaltet, dass eine Gleichstromfließrichtung der Flächendiode jeweils gegenüber einer Gleichstromrichtung der Schaltbauteile umgekehrt ist.

**[0116]** Die Schaltbauteile der Highsideschalter **209** beziehungsweise der Lowsideschalter **208** sind vor-

zugsweise als Leistungstransistoren ausgebildet, deren Träger Elektronen sind, um Widerstandsverluste und Kosten zu reduzieren. Es werden also n-Kanal MOS-Transistoren in allen Arten von MOS-Transistoren, npn-Transistoren in allen Arten von Bipolartransistoren oder isolierte Gate-npn-Transistoren in allen Arten von IGPT ausgewählt.

**[0117]** Gleichspannungsseitig ist das Steuergerät **8** parallel geschaltet, das durch eine Beeinflussung des Stroms durch die Erregerwicklung **11** eine Generatorspannung  $U_g$  regelt. Das Steuergerät **8** kann zusätzlich noch eine Verbindung zum Gleich-/Wechselrichter **9** aufweisen, um eine Frequenz der Wechselspannung der durch die phasenbildenden Wicklungen **190**, **191**, **192** induzierten Spannung zu ermitteln und daraus eine aktuelle Drehzahl  $n_g$  der elektrischen Maschine **2** zu ermitteln.

**[0118]** Im Übrigen ist das Steuergerät **8** zum Empfang eines Rotorpositionssignals mittels eines Sensors **160** zur Winkellagemessung, zum Empfangen von Signalen über eine Schnittstelle **10** und zum Empfang eines Steuersignals, welches von zumindest einem weiteren, in der [Fig. 2](#) nicht dargestellten Steuergerät außerhalb der elektrischen Maschine **2** übermittelt wird, in Betrieb. Das Steuergerät **8** ist ferner in Betrieb, um Gatespannungen  $V_{G1}$  bis  $V_{G6}$  der Lowsideschalter **208** und der Highsideschalter **209** basierend auf den empfangenen Signalen zu erzeugen, wobei die erzeugten Gatespannungen  $V_{G1}$  bis  $V_{G6}$  an Gate-Anschlüsse  $G_1$  bis  $G_6$  der Lowsideschalter **208** und Highsideschalter **209** geschaltet werden, um jeweils einen Ein- sowie einen Ausschaltzustand dieser schaltbar zu steuern.

**[0119]** Ferner umfasst die Schaltungsanordnung **6** Senseleitungen  $V_1$  bis  $V_6$ , die jeweils mit einem schaltbaren Ausgang der Highsideschalter **209** und Lowsideschalter **208** verbunden sind, um jeweils Spannungen über den Wicklungssträngen **190**, **191**, **192** zu erfassen. Aus einem Wechselspannungsverlauf dieser Spannungen wird von dem Steuergerät **8** die Drehzahl  $n_g$  der elektrischen Maschine **2** berechnet.

**[0120]** Die [Fig. 5](#) zeigt einen Schaltplan einer elektrischen Maschine **2**, die als ein Wechselstrommotor-generator mit fünf phasenbildenden Wicklungssträngen **170** bis **174** ausgebildet ist. Die Gesamtheit dieser Wicklungsstränge **170** bis **174** bildet eine Statorwicklung **118**, wobei die phasenbildenden Wicklungsstränge **170** bis **174** zu einer Grundschialtung als fünfzackiger Stern (Drudenfuß) verschaltet sind, wobei die jeweils in den Zacken verschalteten Wicklungsstränge **170** bis **174** einen Winkel von circa 36°, el. einschließen. Im Übrigen trifft die Beschreibung des Ausführungsbeispiels der [Fig. 4](#) analog auf dieses Ausführungsbeispiel zu, wobei dementsprechend der Gleich-/Wechselrichter **9** mit fünf Highsi-

deschaltern **209** und fünf Lowsideschaltern **208** mit Gate-Anschlüsse G1 bis G10 und die Schaltungsanordnung **6** mit zehn Senseleitungen V1 bis V10 ausgebildet ist.

[0121] Die **Fig. 6** zeigt einen Schaltplan einer elektrischen Maschine **2**, die als Wechselstrommotor-generator mit sieben phasenbildenden Wicklungssträngen **600** bis **606** in Analogie zu den in der **Fig. 4** und der **Fig. 5** dargestellten Ausführungsbeispielen ausgebildet ist. Dementsprechend ist der Gleich-/Wechselrichter **9** mit sieben Highsideschaltern **209** und sieben Lowsideschaltern **208** mit Gate-Anschlüsse G1 bis G14 und die Schaltungsanordnung **6** mit 14 Senseleitungen V1 bis V14 ausgebildet. Vorteile von mehrphasigen, insbesondere fünf oder siebenphasigen Maschinen sind, dass der Generatorenstrom sich auf mehrere Schalter verteilt, dadurch wird eine bessere Kühlung erreicht. Außerdem werden die Rotorverluste reduziert, da weniger Wirbelstromverluste entstehen und das Magnetgeräusch wird ebenfalls verringert.

[0122] Die **Fig. 7** zeigt eine Schnittdarstellung einer elektrischen Maschine **2**, die als ein Wechselstrommotor-generator für ein Kraftfahrzeug ausgebildet ist. Der Wechselstrommotor-generator **2** weist ein zweiteilige Gehäuse **113** auf, das ein erstes Lagerschild **113.1** und ein zweites Lagerschild **113.2** umfasst. Die Lagerschilder **113.1**, **113.2** nehmen einen Stator **116** auf, der mit einem kreisringförmigen Blechpaket **117** ausgebildet ist, in dessen nach innen offenen und sich axial erstreckenden Nuten **119** die Statorwicklung **118** eingelegt ist. Der ringförmige Stator **116** umgibt mit seiner radial nach innen gerichteten Oberfläche einen elektromagnetisch erregten Rotor **120**, der als Klauenpolläufer ausgebildet ist.

[0123] Der Rotor **120** umfasst unter anderem zwei Klauenpolplatinen **122**, **123**, an deren Außenumfang sich jeweils in axialer Richtung erstreckende Klauenpolfinger **124**, **125** angeordnet sind. Dabei sind beide Klauenpolplatinen **122**, **123** im Rotor **120** derart angeordnet, dass ihre sich in axialer Richtung erstreckenden Klauenpolfinger **124**, **125** am Umfang des Rotors **120** einander als Nord- und Südpole abwechseln. So sind magnetisch erforderliche Klauenpolzwischenräume zwischen den gegenseitig magnetisierenden Klauenpolfingern **124**, **125** realisiert, welche sich wegen der sich zu ihren freien Enden hin verzüngenden Klauenpolfingern **124**, **125** leicht schräg zur Maschinenachse verlaufen. In diesen Klauenpolzwischenräumen können Permanentmagnete zur Streuflusskompensation eingebracht sein. Vereinfacht wird dieser Verlauf als axial bezeichnet.

[0124] Der Rotor **120** ist mittels einer Welle **127** und je einem auf je einer Rotorseite befindlichen Wälzlager **128** in jeweils den Lagerschilden **113.1**, **113.2** drehbar gelagert. Er weist zwei axiale Stirnflächen

auf, an denen jeweils ein Lüfter **130** befestigt ist. Die Lüfter **130** bestehen im Wesentlichen aus einem plattenförmigen beziehungsweise scheibenförmigen Abschnitt, von dem Lüfterschaufeln in bekannter Weise ausgehen. Die Lüfter **130** dienen dazu, über Öffnungen **140** in den Lagerschilden **113.1**, **113.2** einen Luftaustausch zwischen einer Außenseite und einem Innenraum des Wechselstrommotorgenerators **2** zu ermöglichen. Dazu sind Öffnungen **140** an axialen Enden der Lagerschilder **113.1**, **113.2** vorgesehen, über die mittels der Lüfter **130** Kühlluft in den Innenraum des Wechselstrommotorgenerators **2** eingesaugt wird. Die Kühlluft wird durch eine Rotation der Lüfter **130** radial nach Außen beschleunigt, so dass sie durch einen kühlluftdurchlässigen Wickelkopf **145** auf einer Antriebsseite und einen kühlluftdurchlässigen Wickelkopf **146** auf einer Elektronikseite hindurchtreten kann. Durch diesen Effekt werden die Wickelköpfe **145**, **146** gekühlt. Die Kühlluft nimmt nach dem Hindurchtreten durch die Wickelköpfe **145**, **146**, beziehungsweise nach dem Umströmen dieser Wickelköpfe **145**, **146**, einen Weg radial nach Außen durch nicht dargestellte Öffnungen.

[0125] Ferner sind verschiedene Bauteile vor Umgebungseinflüssen durch eine Schutzkappe **147** geschützt. So deckt die Schutzkappe **147** beispielsweise eine Schleifringbaugruppe **149** ab, die eine Erregerwicklung **11** mit Erregerstrom versorgt. Um die Schleifringbaugruppe **149** herum ist ein Kühlkörper **153** angeordnet, der als Kühlkörper für einen gesteuerten Gleich-/Wechselrichter **9** und für ein Steuergerät **8** wirkt. Zwischen dem Lagerschild **113.2** und dem Kühlkörper **153** ist eine Anschlussplatte **156** angeordnet, welche Anschlussdrähte von Wicklungssträngen mit Anschlüssen des Steuergeräts **8** beziehungsweise des Gleich-/Wechselrichters **9** verbindet. Alle Figuren zeigen lediglich schematische nicht maßstabsgerechte Darstellungen. Im Übrigen wird insbesondere auf die zeichnerische Darstellungen für die Erfindung als Wesentlich verwiesen.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 10330703 A1 [[0004](#)]
- WO 2008/00098 A1 [[0005](#)]

**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Betreiben eines Systems (1) für ein Kraftfahrzeug, wobei das System (1) eine Steuerung (8), ein Hochspannungsbordnetz (4), ein Niederspannungsbordnetz (5), einen DC/DC-Wandler (3), der das Hochspannungsbordnetz (4) und das Niederspannungsbordnetz (5) verbindet, und eine elektrische Maschine (2), insbesondere einen Starter- oder Motorgenerator, umfasst, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Betriebsmodus (20–31) des Systems (1) abhängig von Betriebsanforderungen, insbesondere eines Betriebszustands des Kraftfahrzeugs, variiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass, insbesondere bei einem Schubbetrieb oder einem Bremsbetrieb des Kraftfahrzeugs, das System (1) in einem Rekuperationsmodus (26) betrieben wird, wobei die elektrische Maschine (2) mit einem von der Steuerung (8) ansteuerbaren Drehmoment betrieben wird, und zwar insbesondere in Kommunikation mit einer Bremssicherheitsvorrichtung (15) des Kraftfahrzeugs.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das System (1) in einem Hochspannungsmodus (27) betrieben wird, wobei die elektrische Maschine (2) generatorisch zur Erzeugung einer Hochspannung betrieben wird, und zwar insbesondere mit einer erhöhten Leerlaufdrehzahl einer Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeugs.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das System (1) in einem Antriebsmodus (24) betrieben wird, wobei die elektrische Maschine (2) motorisch betrieben wird, insbesondere zumindest zur Unterstützung eines Antriebs oder zum Direktantrieb des Kraftfahrzeugs.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das System (1) in einem Startmodus (23) betrieben wird, wobei die elektrische Maschine (2) motorisch zum Starten der Brennkraftmaschine des Kraftfahrzeugs betrieben wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das System (1) mit einer Erfassungseinrichtung und einer Auswerteeinrichtung ausgebildet ist, wobei mit der Erfassungseinrichtung zumindest eine Betriebsgröße, insbesondere ein Erregerstrom (IE), eine Drehzahl (ng), eine Generatorspannung (Ug), ein Tastverhältnis der Erregerkreisendstufe (DF), eine Bauteiltemperatur (Ta), ein Abgabestrom des Generators (Ig), ein Strom in einer Phase (Iph), ein Strom in einem Brückengleichrichterzweig (IGLR) und insbesondere eine Kondensatorkapazität (C) und/oder eine Spannung am Kondensator (UC), erfasst wird und mit der Auswerteeinrichtung ein Drehmoment der elektrischen Maschine

(2) aus zumindest der Betriebsgröße oder einer Kombination von Betriebsgrößen abgeleitet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem DC/DC-Wandler (3) Spannungsspitzen in einem Bordnetz (4, 5), insbesondere in dem Niederspannungsbordnetz (5), gesenkt werden und/oder dass der DC/DC-Wandler (3) in seiner Funktionsweise, insbesondere durch die Steuerung (8), überwacht wird, wobei insbesondere eine Niederspannung des Niederspannungsbordnetzes (5) erfasst und ausgewertet wird.

8. System (1) für ein Kraftfahrzeug, das eine Steuerung (8), ein Hochspannungsbordnetz (4), ein Niederspannungsbordnetz (5), einen DC/DC-Wandler (3), der das Hochspannungsbordnetz (4) und das Niederspannungsbordnetz (5) verbindet, und eine elektrische Maschine (2), insbesondere einen Starter- oder Motorgenerator, umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass das System (1) für ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 ausgebildet ist und insbesondere dass die elektrische Maschine (2) als mehrphasige, insbesondere dreiphasige, fünfphasige oder siebenphasige, Wechselstrommaschine ausgebildet ist.

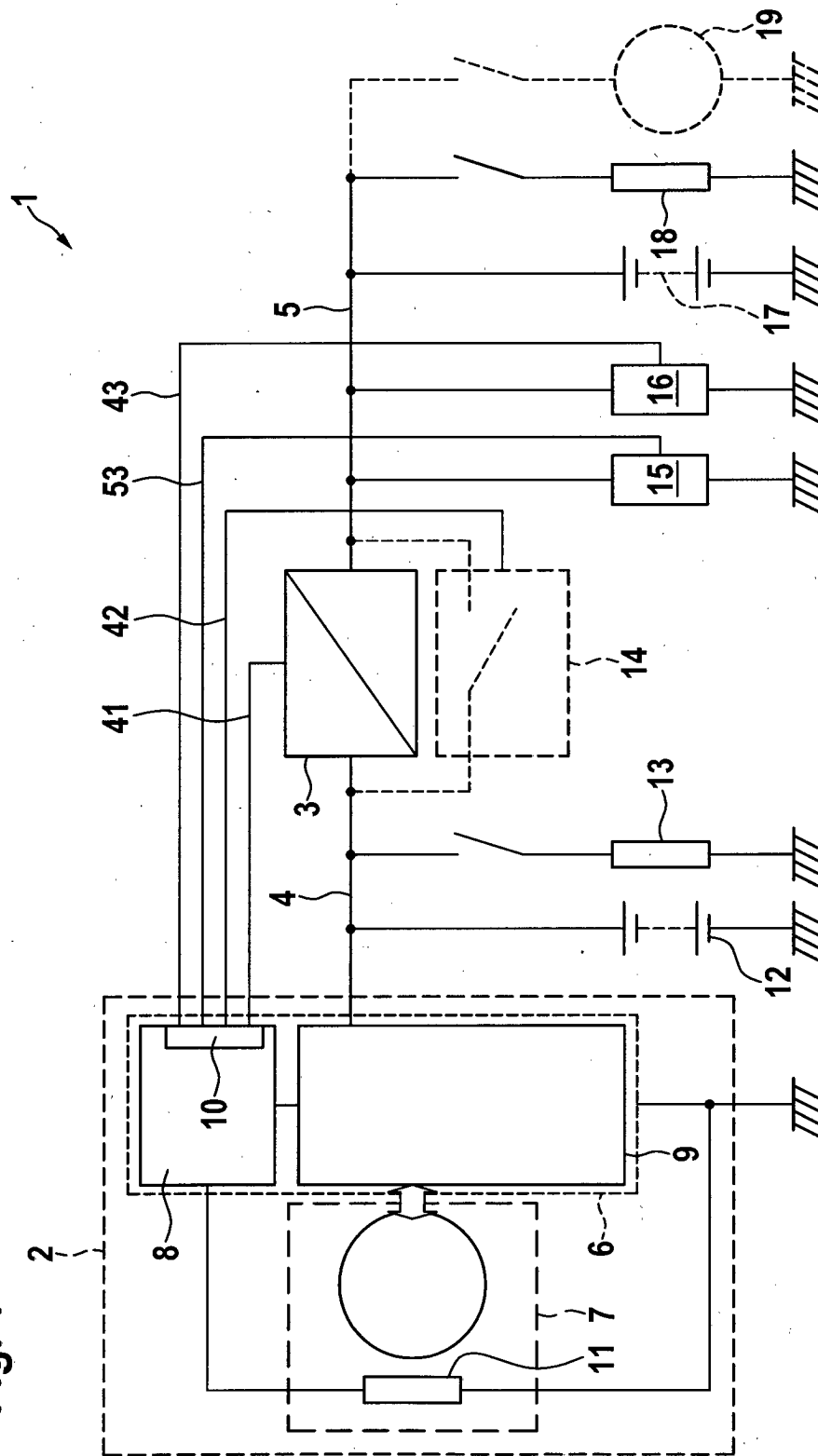
9. Steuerung (8), insbesondere für ein System (1) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (8) für ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 ausgebildet ist, und zwar insbesondere mit einer Betriebsstrategie zum Variieren eines Betriebsmodus (20–31) des Systems.

10. Computerprogrammprodukt, das in einen Programmspeicher mit Programmbefehlen für ein System (1), insbesondere nach Anspruch 8, oder für eine Steuerung (8), insbesondere nach Anspruch 9, ladbar ist, um alle Schritte eines Verfahrens nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 7 auszuführen.

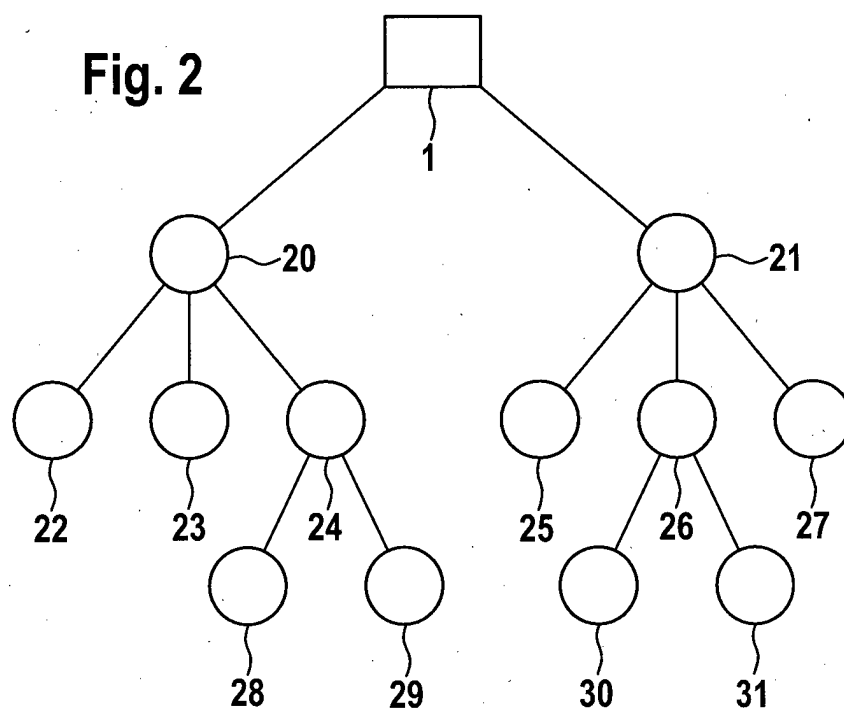
Es folgen 6 Blatt Zeichnungen



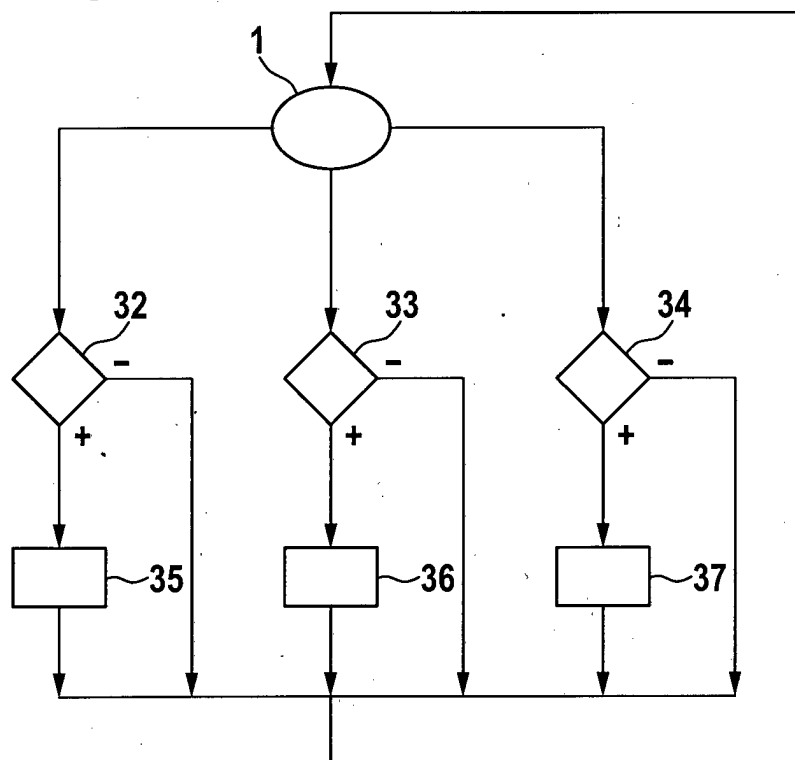
**Fig. 1**

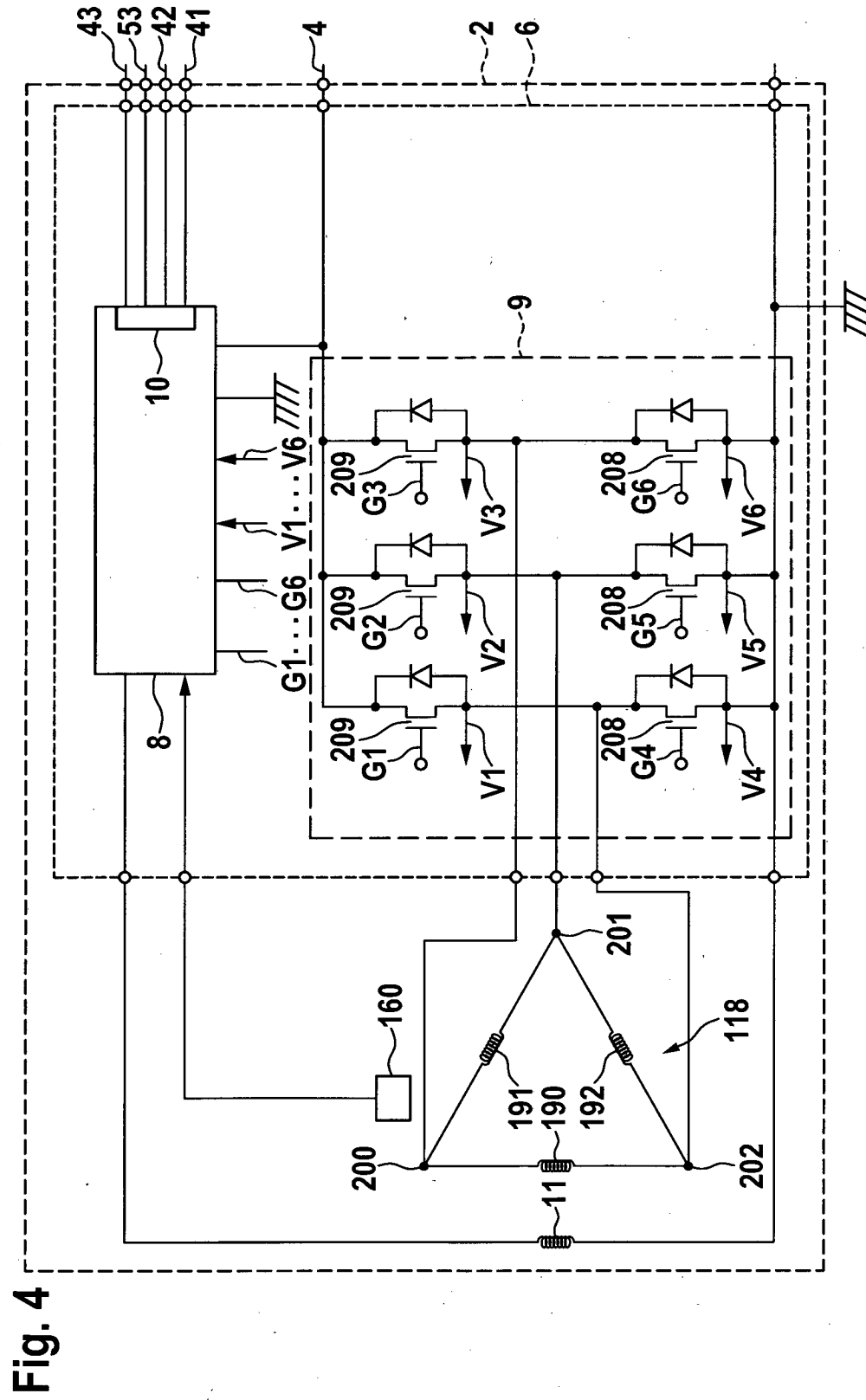


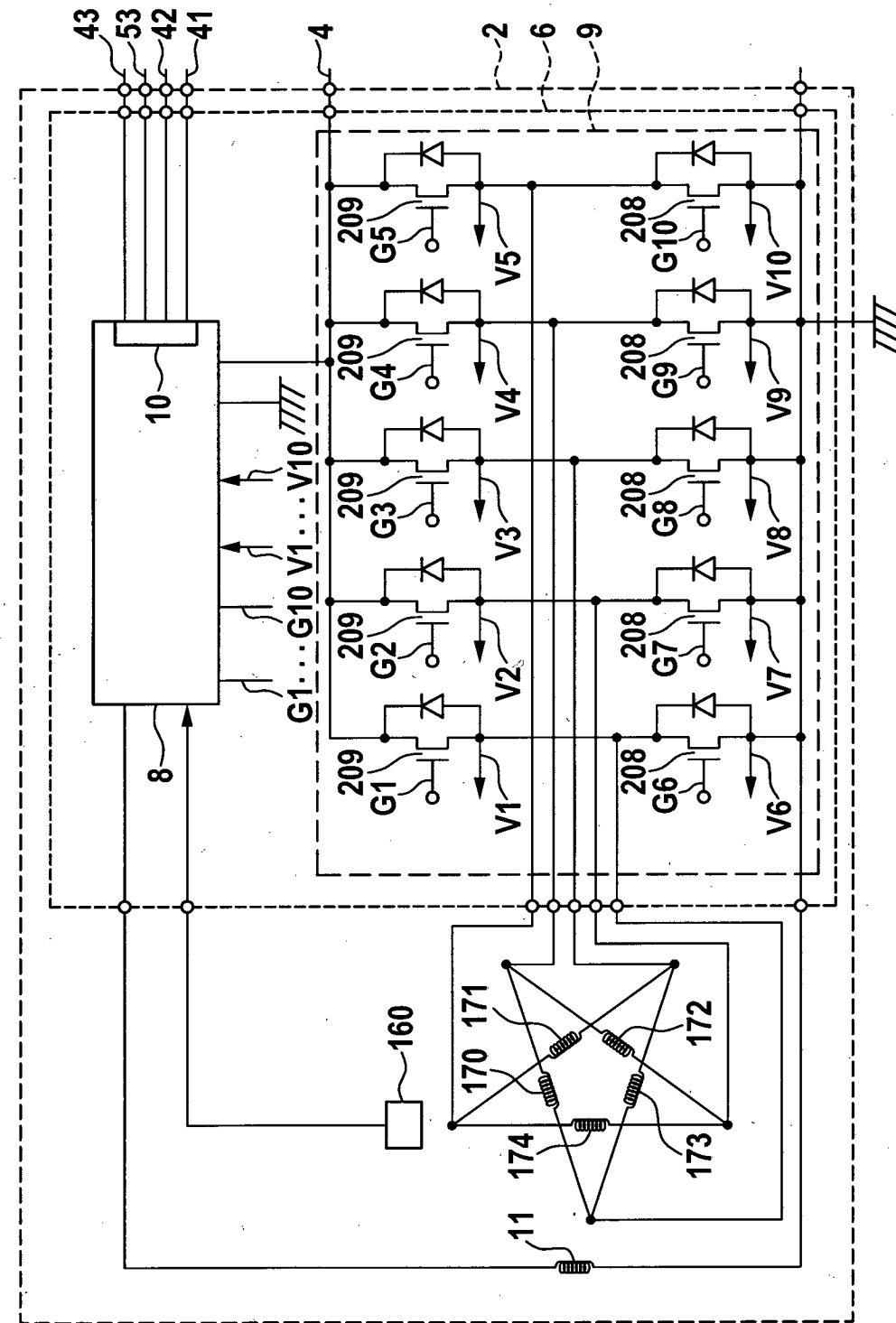
**Fig. 2**



**Fig. 3**







**Fig. 5**

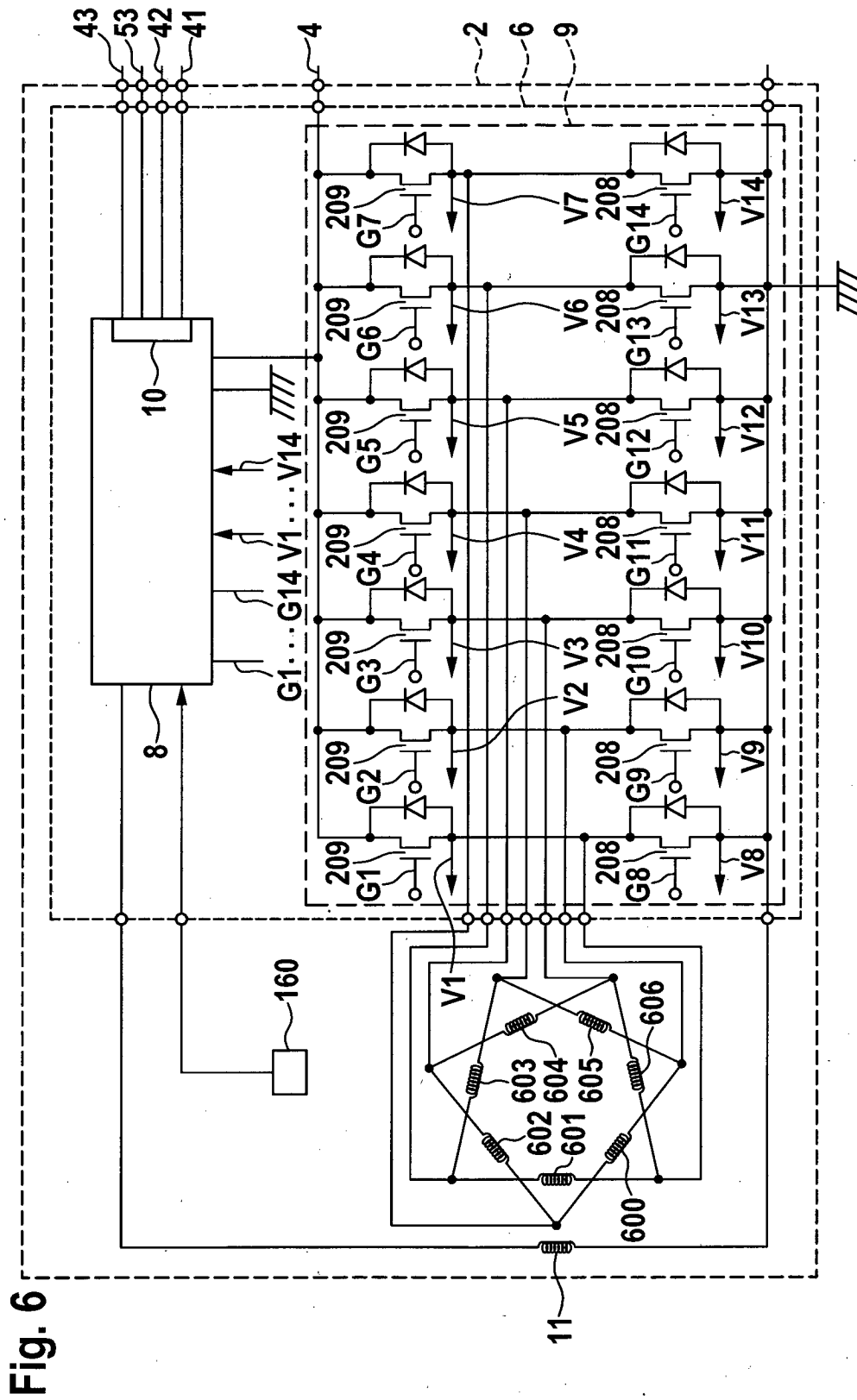


Fig. 7

