



(10) **DE 10 2010 019 151 A1** 2011.11.03

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 019 151.5**

(22) Anmeldetag: **03.05.2010**

(43) Offenlegungstag: **03.11.2011**

(51) Int Cl.: **H02J 1/00 (2006.01)**
B60L 11/18 (2006.01)

(71) Anmelder:
Volkswagen AG, 38440, Wolfsburg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

(72) Erfinder:
**Hinrichsen, Uwe, Dr.-Ing., 38124, Braunschweig,
DE; Merk, Peter, 38446, Wolfsburg, DE;
Schwenger, Andreas, Dr.-Ing., 38446, Wolfsburg,
DE; Vogt, Henning, 38444, Wolfsburg, DE**

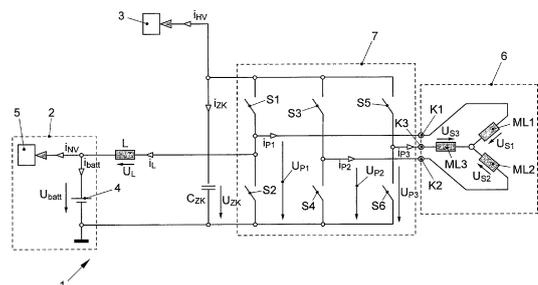
US 2007/02 00 521 A1
WO 2007/1 23 884 A2

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Energieübertragung in einem Kraftfahrzeug**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Energieübertragung in einem Kraftfahrzeug, wobei das Kraftfahrzeug ein Bordnetz aufweist, wobei das Bordnetz mindestens einen Niederspannungsbereich (2) mit einem ersten Spannungsniveau aufweist, wobei die Vorrichtung (1) mindestens eine Elektromaschine (6), einen der Elektromaschine (6) zugeordneten Umrichter (7), mindestens einen Zwischenkreis-Kondensator (C_{ZK}), mindestens einen dem Niederspannungsbereich zugeordneten Energiespeicher, mindestens ein Element zur Spannungswandlung und mindestens eine Steuereinheit umfasst, wobei die Elektromaschine (6) in einem motorischen Betrieb oder generatorischen Betrieb betreibbar ist, wobei der Umrichter (7) mindestens eine Halbbrücke mit zwei Leistungsschaltern (S1, S2, S3, S4, S5, S6) aufweist, wobei ein Abschnitt zwischen den Leistungsschaltern (S1, S2, S3, S4, S5, S6) über einen ersten Versorgungspfad mit einer Klemme (K1, K2, K3) der Elektromaschine (6) elektrisch verbunden ist, wobei das Element zur Spannungswandlung mindestens zwei Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8) und mindestens eine Induktivität (L) umfasst, wobei die Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung die Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) der mindestens einen Halbbrücke des Umrichters (7) sind, wobei die mindestens eine Induktivität (L) des Elements zur Spannungswandlung in einem zweiten Versorgungspfad, der den Niederspannungsbereich (2) und den zwischen den Leistungsschaltern (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8) der Halbbrücke liegenden Abschnitt der Halbbrücke elektrisch verbindet, angeordnet ist, wobei der zweite Versorgungspfad von dem ersten Versorgungspfad verschieden ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Energieübertragung in einem Kraftfahrzeug.

[0002] In modernen Kraftfahrzeugen besteht oftmals die Notwendigkeit, elektrische Verbraucher mit einer Versorgungsspannung zu versorgen, die für unterschiedliche Verbraucher unterschiedliche Spannungshöhen haben kann. In der Regel werden Versorgungsspannungen unterschiedlicher Spannungshöhe von verschiedenen Energiespeichern, beispielsweise Batterien, zur Verfügung gestellt. So ist bekannt, für einherkömmliches Niederspannungssystem Niederspannungsbatterien mit einer Ausgangsspannung von 12 V (herkömmliche Bordnetz-batterien) vorzusehen. Diese dienen einer Energieversorgung von beispielsweise Steuergeräten im Fahrzeug, die auf ein Spannungsniveau von 12 V ausgelegt sind. Mit der Zunahme von Steuergeräten und elektrischen Verbrauchern, insbesondere von elektrischen Verbrauchern mit einem hohen Leistungsbedarf, im Fahrzeug wurde die Idee entwickelt, eine so genannte Hochspannungsbatterie, die eine höhere Ausgangsspannung, beispielsweise 42 V, als die Niederspannungsbatterie aufweist, im Fahrzeug zu integrieren. Hierdurch wird z. B. bei gleichem Leistungsbedarf eine geringere Stromstärke benötigt, wodurch geringere Leitungsquerschnitte benutzt können. Hierbei sind die Niederspannungsbatterie und die Hochspannungsbatterie generell separat ausgebildet.

[0003] In klassischen, verbrennungsmotorisch angetriebenen Kraftfahrzeugen besteht zudem die Problematik, dass für eine Umwandlung von elektrischer Energie aus der Bordnetz-batterie in mechanische Energie (motorischer Betrieb) und für die Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie der Bordnetz-batterie (generatorischer Betrieb) in der Regel zwei unterschiedlich ausgebildete Elektromotoren (z. B. ein Anlasser und eine Lichtmaschine) benötigt werden.

[0004] Die DE 102 44 229 A1 offenbart ein gattungsgemäßes Stromversorgungssystem, welches mit einem Hochspannungssystem und einem Niederspannungssystem ausgestattet ist. Das Stromversorgungssystem umfasst einen Wechselstrommotor, der als eine Last an dem Hochspannungssystem hängt und durch die Hochspannungsstromversorgungsquelle angetrieben wird. Weiter umfasst das Stromversorgungssystem einen Inverter zur Steuerung der Zufuhr der Energie zu dem Wechselstrommotor. Weiter umfasst das Stromversorgungssystem einen Versorgungspfad des Niederspannungssystems zum Anlegen einer Neutralpunktspannung des Wechselstrommotors an eine Last des Niederspannungssystems und eine Last des Niederspannungs-

systems zum Anschließen an den Versorgungspfad des Niederspannungssystems, wobei ein Spannungsverhältnis des Niederspannungssystems zu dem Hochspannungssystem auf 1:2 bis 1:4 eingestellt ist.

[0005] Die DE 198 57 645 A1 offenbart ein elektrisches System für ein Elektrofahrzeug, umfassend: eine Gleichstromeingangsschaltung, einen Spannungs-Wechselrichter, der mit der Gleichstromeingangsschaltung verbunden ist, an den von der Gleichstromeingangsschaltung eine Eingangsspannung angelegt wird und der eine variable Wechselspannung variabler Frequenz erzeugt, einen Wechselstrommotor mit mehreren Wicklungen, deren jeweiliges Ende mit einem Wechselstromausgangsanschluss des Wechselrichters verbunden ist, während die anderen Enden der Wicklungen zu einem Nullpunkt der Motorwicklungen zusammengeschlossen sind, ein Energiespeicherelement variabler Spannung, das zwischen den Nullpunkt und einen Anschlusspunkt in der Gleichstromeingangsschaltung geschaltet ist, und eine Gleichstromversorgung, die mit den entgegengesetzten Enden des Energiespeicherelements verbunden ist.

[0006] Es stellt sich das technische Problem, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Energieübertragung in einem Kraftfahrzeug zu schaffen, welche einerseits eine wirkungsgradgünstige Energieübertragung ermöglichen und kostengünstig ausgeführt sind, wobei eine Energieübertragung aus einem Niederspannungsbereich des Bordnetzes an die Elektromaschine und/oder weitere Spannungsbereiche des Bordnetzes mit unterschiedlichen Spannungsniveaus sowie eine Energieübertragung von der Elektromaschine in den Niederspannungsbereich, insbesondere an die Bordnetz-batterie, und/oder die weiteren Spannungsbereiche ermöglicht wird.

[0007] Die Lösung des technischen Problems ergibt sich aus den Gegenständen mit den Merkmalen der Ansprüche 1 und 6. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0008] Vorgeschlagen wird eine Vorrichtung zur Energieübertragung in einem Kraftfahrzeug, wobei das Kraftfahrzeug ein Bordnetz aufweist, wobei das Bordnetz mindestens einen Niederspannungsbereich mit einem ersten Spannungsniveau aufweist. An das Bordnetz sind hierbei elektrische Verbraucher des Kraftfahrzeuges, insbesondere Steuergeräte des Kraftfahrzeuges, angeschlossen. Das erste Spannungsniveau kann beispielsweise 12 V betragen. Weiter umfasst die Vorrichtung mindestens eine Elektromaschine und einender Elektromaschine zugeordneten Umrichter. Die Elektromaschine ist in einem motorischen Betrieb oder generatorischen Be-

trieb betreibbar. In einem motorischen Betrieb kann die Elektromaschine beispielsweise als Anlasser einer Verbrennungskraftmaschine des Kraftfahrzeugs dienen. In einem generatorischen Betrieb kann die Elektromaschine beispielsweise als Lichtmaschine eines Verbrennungskraftfahrzeuges dienen. Eine Betriebsspannung der Elektromaschine kann hierbei variabel, insbesondere höher als 12 V, sein. Vorzugsweise ist die Elektromaschine als dreiphasige Elektromaschine und der Umrichter als dreiphasiger Umrichter ausgebildet. Der Umrichter dient hierbei im motorischen Betrieb der Elektromaschine der Erzeugung einer Wechselspannung mit einer gewünschten Frequenz und einer gewünschten Amplitude aus einer Gleichspannung. Weiter dient der Umrichter im generatorischen Betrieb einer Erzeugung einer Gleichspannung mit einer gewünschten Amplitude aus einer von der Elektromaschine erzeugten Wechselspannung.

[0009] Selbstverständlich ist aber auch eine einphasige Ausbildung der Elektromaschine, beispielsweise als Gleichstrommaschine, denkbar.

[0010] Weiter umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung mindestens einen Zwischenkreiskondensator. Hierbei ist der Zwischenkreiskondensator vorzugsweise dem Umrichter vorgeschaltet, so dass eine Betriebs- oder Eingangsspannung des Umrichters gleich der über dem Zwischenkreiskondensator abfallenden Zwischenkreisspannung ist. Auch die Zwischenkreisspannung kann variabel sein, insbesondere kann die Zwischenkreisspannung höher als 12 V sein.

[0011] Weiter umfasst die Vorrichtung mindestens einen dem Niederspannungsbereich zugeordneten Energiespeicher. Dieser Energiespeicher kann insbesondere eine Batterie oder so genannte Bordnetz-batterie sein. Ohne Einschränkung wird der Energiespeicher im Folgenden als Bordnetz-batterie bezeichnet. Die Bordnetz-batterie dient hierbei einer Energieversorgung von an das Bordnetz angeschlossenen elektrischen Verbrauchern, insbesondere auch einer Energieversorgung der Elektromaschine im motorischen Betrieb. Weiter dient die Bordnetz-batterie einer Energiespeicherung, insbesondere einer Speicherung der von der Elektromaschine im generatorischen Betrieb erzeugten elektrischen Leistung.

[0012] Weiter umfasst die Vorrichtung mindestens ein Element zur Spannungswandlung. Über das Element zur Spannungswandlung ist der Umrichter mit dem Niederspannungsbereich, insbesondere mit der Bordnetz-batterie, elektrisch gekoppelt. Das Element zur Spannungswandlung kann hierbei als so genannter Abwärts-Wandler oder als sogenannter Aufwärts-Wandler betrieben werden. Vorzugsweise ist das Element zur Spannungswandlung ein Gleichstromwandler (DC/DC-Wandler).

[0013] Der Umrichter umfasst mindestens eine Halbbrücke mit zwei Leistungsschaltern, wobei ein Abschnitt der Halbbrücke zwischen den Leistungsschaltern über einen ersten elektrischen Versorgungspfad mit einer Klemme der Elektromaschine elektrisch verbunden ist. Die Leistungsschalter sind hierbei beispielsweise als MOSFET oder IGBT ausgebildet.

[0014] Erfindungsgemäß umfasst auch das Element zur Spannungswandlung mindestens zwei Leistungsschalter. Weiter umfasst das Element zur Spannungswandlung mindestens eine Induktivität. Hierbei wird unter einer Induktivität ein zumindest teilweise induktives Bauteil, beispielsweise eine Spule, verstanden. Erfindungsgemäß sind die Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung die Leistungsschalter der mindestens einen Halbbrücke des Umrichters. Hierdurch ist das Element zur Spannungswandlung zumindest teilweise in den Umrichter integriert.

[0015] Die mindestens eine Induktivität des Elements zur Spannungswandlung ist in einem zweiten Versorgungspfad, der den Niederspannungsbereich und den zwischen den Leistungsschaltern der Halbbrücke liegenden Abschnitt der Halbbrücke elektrisch verbindet, angeordnet.

[0016] Erfindungsgemäß ist der zweite Versorgungspfad von dem ersten Versorgungspfad verschieden. Hierdurch ist also die mindestens eine Induktivität als individuelles Bauteil, insbesondere als von einer Induktivität der Elektromaschine separat ausgebildetes Bauteil, ausgebildet. Im Gegensatz zur DE 102 44 229 A1 und zur DE 198 57 645 A1 ist eine Induktivität des Elements zur Spannungswandlung erfindungsgemäß nicht durch eine Induktivität der Elektromaschine ausgebildet.

[0017] Hierdurch ergibt sich in vorteilhafter Weise, dass im generatorischen Betrieb der Elektromaschine mittels einer Steuereinheit Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung derart steuerbar sind, dass von der Elektromaschine erzeugte elektrische Energie zumindest teilweise in den Niederspannungsbereich, also an die Bordnetz-batterie und/oder an den Niederspannungsbereich angeschlossene elektrische Verbraucher, übertragbar ist. Weiter sind im motorischen Betrieb mittels der Steuereinheit die Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung derart steuerbar, dass eine Energie des Niederspannungsbereichs, insbesondere eine in der Bordnetz-batterie gespeicherte elektrische Energie, zumindest teilweise an die Elektromaschine übertragbar ist.

[0018] Die Energieübertragung ist hierbei unabhängig von Spannungsunterschieden im Bordnetz, also auch unabhängig von Spannungsunterschieden zwi-

schen dem Niederspannungsbereich und einer Zwischenkreisspannung.

[0019] Im motorischen Betrieb ist also in vorteilhafter Weise eine Energieversorgung der Elektromaschine aus der Bordnetzatterie möglich. Wird die Elektromaschine als Anlasser, z. B. für eine Verbrennungskraftmaschine, verwendet, so muss in vorteilhafter Weise kein weiterer Energiespeicher neben der Bordnetzatterie im Fahrzeug vorgesehen sein. Zusätzlich kann die Elektromaschine in ebenso vorteilhafter Weise die Funktionalität einer Lichtmaschine, also eines Generators, übernehmen, wobei elektrische Energie in der Bordnetzatterie gespeichert werden kann. Die geschilderten Betriebsarten (motorischer oder generatorischer Betrieb) werden hierbei mittels des Elements zur Spannungswandlung ermöglicht. So können beispielsweise hohe, von der Elektromaschine im generatorischen Betrieb erzeugte Spannungen mittels des Elements zur Spannungswandlung in eine dem ersten Spannungsniveau gleiche Ausgangsspannung des Umrichters gewandelt werden. Ebenso können für einen Start oder einen motorischen Betrieb der Elektromaschine benötigte Spannungen mittels des Elements zur Spannungswandlung vom ersten Spannungsniveau auf ein gewünschtes, insbesondere höheres, Spannungsniveau gewandelt werden. Hierdurch ergibt sich insbesondere eine wirkungsgradgünstige Betriebsweise der Elektromaschine. Da die Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung ebenfalls Leistungsschalter mindestens einer Halbbrücke des Umrichters sind, ergibt sich eine teiltintegrierte Ausbildung des Elements zur Spannungswandlung. Hierdurch können in vorteilhafter Weise Herstellungskosten und Bauraumanforderungen minimiert werden.

[0020] Insbesondere im Vergleich mit der Lehre der DE 102 44 229 A1 und der DE 198 57 645 A1 ist keine Sternpunkt-Anzapfung der Elektromaschine notwendig. Hierdurch ergibt sich in vorteilhafter Weise, dass mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung Elektromaschinen mit verschiedenen Motorschaltungen, z. B. Dreieckschaltungen, in einem motorischen und generatorischen Betrieb betrieben werden können. In weiter vorteilhafter Weise ergibt sich im Vergleich ein verbesserter Wirkungsgrad im Gleichspannungswandlerbetrieb, im Folgenden auch nur als Wandlerbetrieb bezeichnet, des Umrichters, da die mindestens eine Induktivität des Elements zur Spannungswandlung auf den Wandlerbetrieb optimiert werden kann.

[0021] Eine mögliche Optimierung ist z. B. die Verwendung von Ferrit als Magnetmaterial. Motorinduktivitäten, also Induktivitäten der Elektromaschine, haben Anforderungen nach hohen Kräften bzw. Drehmomenten in ihrer Auslegung zu berücksichtigen. Insbesondere muss ein Material der Motorinduktivi-

täten an hohe magnetische Feldstärken angepasst ausgelegt werden, was z. B. zur Verwendung von verlustreicherem Eisen als Magnetmaterial führt. Solche Anforderungen bestehen in vorteilhafter Weise nicht bei der Auslegung bzw. Dimensionierung der mindestens einen Induktivität des Elements zur Spannungswandlung.

[0022] In weiter vorteilhafter Weise wird durch die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht, dass ein Lade- oder Entladestrom der Bordnetzatterie nicht zusätzlich über die Induktivitäten, beispielsweise Wicklungen der Elektromaschine, fließen muss, was z. B. zu einem niedrigeren Maximalmoment oder zu Momentenschwankungen führen kann.

[0023] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist in dem motorischen Betrieb der Elektromaschine eine Energieversorgung der Elektromaschine ausschließlich aus der Bordnetzatterie gewährleistet. Hierdurch ergibt sich in vorteilhafter Weise, dass eine Energieversorgung der Elektromaschine allein aus der Bordnetzatterie heraus erfolgen kann. Hierdurch sind keine weiteren Energiespeicher zur Energieversorgung der Elektromaschine im Kraftfahrzeug anzuordnen.

[0024] In einer weiteren Ausführungsform ist der Umrichter als dreiphasiger Umrichter ausgebildet, wobei jeder Phase des Umrichters eine Halbbrücke mit jeweils zwei Leistungsschaltern zugeordnet ist. Analog der vorhergehenden Ausführungen ist ein Abschnitt zwischen den Leistungsschaltern jeder Halbbrücke über erste Versorgungspfade mit Klemmen einer dreiphasigen Elektromaschine elektrisch verbunden. Das Element zur Spannungswandlung umfasst sechs Leistungsschalter und drei Induktivitäten, wobei die sechs Leistungsschalter die jeweils zwei Leistungsschalter der Halbbrücken des Umrichters sind. Die Induktivitäten des Elements zur Spannungswandlung sind in jeweils zweiten Versorgungspfaden angeordnet, wobei die zweiten Versorgungspfade den Niederspannungsbereich und den zwischen den Leistungsschaltern der jeweiligen Halbbrücke liegenden Abschnitt der jeweiligen Halbbrücke elektrisch verbinden und von den ersten Versorgungspfaden verschieden sind. Durch die Ausbildung des Elements zur Spannungswandlung mit sechs Leistungsschaltern und drei Induktivitäten werden in vorteilhafter Weise die Freiheitsgrade der Steuerung im Wandlerbetrieb des Elements zur Spannungswandlung erhöht. Eine Wandlerfunktion des Elements zur Spannungswandlung wird hierbei mittels der Leistungsschalter aller Halbbrücken durchgeführt, wodurch in vorteilhafter Weise auch während einer ausgeübten Wandlungsfunktion des Elements zur Spannungswandlung eine symmetrische Ansteuerung der Elektromaschine ermöglicht wird. Vorzugsweise sind die drei Induktivitäten des Elements zur Spannungswandlung gleich ausgelegt. Im Vergleich zur Ausfüh-

rungsform mit nur einer Induktivität können die jeweiligen Induktivitäten des Elements zur Spannungswandlung jedoch für kleinere Ströme ausgelegt werden.

[0025] In einer weiteren Ausführungsform ist mittels der Steuereinheit ein Schalten der Leistungsschalter des Umrichters und somit auch des Elements zur Spannungswandlung in Abhängigkeit von mindestens einer gewünschten mechanischen Leistung der Elektromaschine und einer gewünschten Energieübertragung in den Niederspannungsbereich hinein oder aus dem Niederspannungssystem heraus steuerbar. Hierbei umfasst eine gewünschte mechanische Leistung der Elektromaschine eine mechanische Leistung im motorischen Betrieb, z. B. abhängig von einer gewünschten Drehzahl und einem gewünschten Drehmoment, und eine gewünschte mechanische Leistung im Generatorbetrieb, z. B. in Abhängigkeit eines gewünschten Bremsmoments der Elektromaschine. Hierbei hat die Steuereinheit im Wesentlichen zwei Aufgaben zu erfüllen. Einerseits müssen mindestens zwei Leistungsschalter des Umrichters, die gleichzeitig Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung sind, derart gesteuert werden, dass eine gewünschte Energieübertragung aus dem Niederspannungsbereich zur Elektromaschine oder von der Elektromaschine in den Niederspannungsbereich hinein ermöglicht wird. Weiter muss die Steuereinheit alle Leistungsschalter des Umrichters, also auch die Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung, derart steuern, dass eine gewünschte mechanische Leistung der Elektromaschine eingestellt wird. Verschiedene Verfahren zur Steuerung werden nachfolgend näher erläutert. Durch die erfindungsgemäße Vorrichtung ergibt sich in vorteilhafter Weise, dass eine gewünschte Energieübertragung mit gewünschter Übertragungsrichtung und gewünschter Energiemenge gleichzeitig zu einer gewünschten Betriebsweise der Elektromaschine mittels der Steuereinheit eingestellt werden kann.

[0026] In einer weiteren Ausführungsform weist das Bordnetz mindestens einen Hochspannungsbereich mit einem zweiten Spannungsniveau auf, wobei das zweite Spannungsniveau höher als das erste Spannungsniveau ist. Vorzugsweise ist der Hochspannungsbereich über einen Versorgungspfad mit dem Zwischenkreiskondensator verbunden. Mittels des Elements zur Spannungswandlung kann hierbei eine (Ausgangs-)Spannung der Bordnetzatterie, also eine Gleichspannung mit dem ersten Spannungsniveau, auf eine Spannung mit dem zweiten Spannungsniveau gewandelt werden. Hierdurch ist in vorteilhafter Weise möglich, auch elektrische Verbraucher an das Bordnetz anzuschließen, die auf eine höhere Betriebsspannung als eine Ausgangsspannung der Bordnetzatterie ausgelegt sind. Mittels des Elements zur Spannungswandlung wird hierbei in vorteilhafter Weise ermöglicht, dass elektrische Energie

aus dem Niederspannungsbereich in den Hochspannungsbereich und/oder an die Elektromaschine übertragen wird. Gleichzeitig kann im generatorischen Betrieb der Elektromaschine elektrische Energie von der Elektromaschine in den Hochspannungsbereich und/oder in den Niederspannungsbereich hinein übertragen werden.

[0027] Weiter vorgeschlagen wird ein Verfahren zur Energieübertragung in einem Kraftfahrzeug, wobei das Kraftfahrzeug eine Vorrichtung zur Energieübertragung gemäß den vorhergehenden Erläuterungen aufweist. In einem generatorischen Betrieb der Elektromaschine steuert eine Steuereinheit Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung, die gleichzeitig Leistungsschalter eines Umrichters sind, derart, dass von der Elektromaschine erzeugte elektrische Energie zumindest teilweise in den Niederspannungsbereich hinein, insbesondere an die Bordnetzatterie, übertragen wird. Hierbei ermittelt eine Steuereinheit Schaltzeitpunkte der Leistungsschalter und steuert ein Schalten dieser Leistungsschalter entsprechend den berechneten Schaltzeitpunkten. Weiter steuert die Steuereinheit in einem motorischen Betrieb die Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung derart, dass eine Energie des Niederspannungsbereich, insbesondere eine in der Bordnetzatterie gespeicherte elektrische Energie, zumindest teilweise an die Elektromaschine übertragen wird. Hierbei kann im motorischen Betrieb der Elektromaschine eine Energieversorgung der Elektromaschine teilweise oder ausschließlich aus der Bordnetzatterie erfolgen. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht in vorteilhafter Weise, eine Elektromaschine gleichzeitig als Motor, z. B. als Anlasser, oder als Generator, z. B. als Lichtmaschine, zu benutzen, wobei eine Energieversorgung der Elektromaschine z. B. aus einer einem Niederspannungsbereich des Bordnetzes zugeordneten Bordnetzatterie teilweise oder ausschließlich erfolgen kann. Weiter kann auch die im generatorischen Betrieb erzeugte elektrische Energie in der Bordnetzatterie gespeichert werden und/oder für eine Energieversorgung von dem Niederspannungsbereich zugeordnete elektrische Verbrauchern genutzt werden. Das mittels der Steuereinheit ausgeführte Verfahren zur Steuerung der Leistungsschalter ermöglicht hierbei, dass zwei verschiedene Funktionen des Umrichters gleichzeitig ausgeführt werden können. Eine erste Funktion ist hierbei eine Wandlerfunktion, wobei Schaltzeitpunkte von Leistungsschaltern des Elements zur Spannungswandlung in Abhängigkeit einer gewünschten Energieübertragung in den Niederspannungsbereich hinein oder aus dem Niederspannungsbereich heraus gesteuert werden. In einer zweiten Funktion ermöglicht das Verfahren zur Steuerung der Leistungsschalter einen Betrieb der Elektromaschine mit gewünschten Betriebsparametern wie z. B. einem gewünschten Drehmoment und/oder einer gewünschten Drehzahl.

[0028] Eine Steuerung oder Regelung der Leistungsschalter kann hierbei auch über eine so genannte Steuer- oder Regelhierarchie mit mehreren Ebenen erfolgen. Hierbei kann z. B. eine gewünschte Stromstärke und/oder Stromrichtung durch die mindestens eine Induktivität des Elements zur Spannungswandlung vorgegeben werden. Die Steuereinheit oder Untereinheiten der Steuereinheit bestimmen aus der gewünschten Stromstärke und/oder Stromrichtung eine mittels des Elements zur Spannungswandlung einzustellende Zwischenkreisspannung. Hieraus können wiederum Schaltzeitpunkte der Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung berechnet werden. Ebenso kann die Steuereinheit oder eine Untereinheit der Steuereinheit aus gewünschten Betriebsparametern der Elektromaschine (Drehmoment, Drehzahl, Drehrichtung) eine gewünschte Klemmen-Differenz-Spannung und/oder einen gewünschten Motorstrom bestimmen. Weiter können z. B. aus den gewünschten Klemmen-Differenz-Spannungen Schaltzeitpunkte der Leistungsschalter des Umrichters berechnet werden.

[0029] In einer weiteren Ausführungsform bestimmt eine Einheit zur Bestimmung mindestens einer mittleren Phasenspannung mindestens eine mittlere Phasenspannung des Umrichters mindestens in Abhängigkeit einer gewünschten Energieübertragung in den Niederspannungsbereich hinein oder aus dem Niederspannungsbereich heraus. Hierbei ist die mittlere Phasenspannung eine vom Element zur Spannungswandlung einzustellende Spannung. Die mittlere Phasenspannung ist also die Phasenspannung der Halbbrücke oder der Halbbrücken, die gleichzeitig die Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung umfassen.

[0030] Die Halbbrücke ist zwischen einem Versorgungspfad mit hoher Spannung und einem Versorgungspfad mit einer niedrigen Spannung, z. B. Masse, angeordnet. Die Phasenspannung einer Halbbrücke bezeichnet hierbei die über dem Leistungsschalter der Halbbrücke, der zwischen einem Abschnitt zwischen den Leistungsschaltern der Halbbrücke und dem Versorgungspfad mit der niedrigen Spannung angeordnet ist, abfällt.

[0031] Weiter bestimmt mindestens eine Einheit zur Bestimmung von mindestens einer Motorspannung der Elektromaschine eine Motorspannung der Elektromaschine mindestens in Abhängigkeit einer gewünschten mechanischen Leistung der Elektromaschine. Als Motorspannung wird hierbei eine Spannung verstanden, deren Eigenschaften (z. B. Amplitude, Frequenz, Phase) eine Drehzahl und/oder ein Drehmoment und/oder eine Drehrichtung der Elektromaschine bestimmen. Ist die Elektromaschine z. B. in einer Sternschaltung verschaltet, so bezeichnen die Motorspannungen die Strangspannungen der Elektromaschine. Ist die Elektromaschine nicht

in einer Sternschaltung verschaltet, so lassen sich die Motorspannungen mittels später erläuterter Verfahren berechnen. Aus den Motorspannungen lassen sich auch die Klemmen-Differenz-Spannungen der Elektromaschine herleiten, die ebenfalls eine Betriebsweise (Drehmoment, Drehzahl, Drehrichtung) der Elektromaschine bestimmen können. Mindestens eine Einheit zur Bestimmung mindestens einer Soll-Phasenspannung bestimmt eine Soll-Phasenspannung mindestens einer Halbbrücke des Umrichters mindestens in Abhängigkeit der mittleren Phasenspannung und der Motorspannung. Insbesondere kann mittels der mindestens einen Motorspannung bzw. deren Eigenschaften eine gewünschte Betriebsweise (motorischer oder generatorischer Betrieb mit einer gewünschten Drehzahl und einem gewünschten Drehmoment) eingestellt werden. Die mittlere Phasenspannung bestimmt hierbei u. a.; ob Energie von der Elektromaschine an den Niederspannungsbereich oder von dem Niederspannungsbereich an die Elektromaschine übertragen wird. Da die Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung gleichzeitig Leistungsschalter des Umrichters sind, kann es hierbei zu Problemen kommen, wenn eine mittlere Phasenspannung von einer aus einer gewünschten Motorspannung bestimmten Phasenspannung abweicht.

[0032] Um diese Probleme zu vermeiden, bestimmt die Einheit zur Bestimmung mindestens einer Soll-Phasenspannung die endgültig einzustellende Soll-Phasenspannung des Umrichters, insbesondere auch der Phasenspannung der mindestens einen Halbbrücke, die gleichzeitig Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung und des Umrichters umfasst, in Abhängigkeit der ermittelten mittleren Phasenspannung und der mindestens einen Motorspannung. Hierbei ergeben sich unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung der mindestens einen Soll-Phasenspannung.

[0033] Ist beispielsweise die Elektromaschine eine dreiphasige Elektromaschine, der Umrichter ein dreiphasiger Umrichter und umfasst nur eine erste Halbbrücke, die einer ersten Phase der Elektromaschine zugeordnet ist, Leistungsschalter, die gleichzeitig Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung sind, so kann die Einheit zur Bestimmung mindestens einer Soll-Phasenspannung in einem ersten Betriebsmodus die Soll-Phasenspannung der ersten Halbbrücke gleich der von der mindestens einen Einheit zur Bestimmung einer mittleren Phasenspannung bestimmten mittleren Phasenspannung setzen. Gleichzeitig kann die Einheit zur Bestimmung mindestens einer Soll-Phasenspannung die Soll-Phasenspannung der zweiten Halbbrücke als eine Summe aus der mittleren Phasenspannung der ersten Halbbrücke (Soll-Phasenspannung der ersten Halbbrücke) und einer gewünschten Klemmen-Differenz-Spannung zwischen der an die

erste Halbbrücke des Umrichters angeschlossenen Klemme der Elektromaschine und der an die zweite Halbbrücke angeschlossenen Klemme der Elektromaschine bestimmen. Analog kann die dritte Phasenspannung als eine Summe von der Soll-Phasenspannung der ersten Halbbrücke und einer gewünschten Klemmen-Differenz-Spannung zwischen der ersten Klemme der Elektromaschine und der dritten Klemme der Elektromaschine bestimmt werden.

[0034] In einem zweiten Betriebsmodus wird die erste Soll-Phasenspannung als eine Summe aus der mittleren Phasenspannung und einer gewünschten ersten Motorspannung berechnet. Analog wird eine zweite Soll-Phasenspannung als Summe aus der mittleren Phasenspannung und einer gewünschten zweiten Motorspannung berechnet. Analog wird eine dritte Soll-Phasenspannung als eine Summe aus der mittleren Phasenspannung und einer gewünschten dritten Motorspannung berechnet.

[0035] Die Einheit zur Bestimmung mindestens einer mittleren Phasenspannung, die Einheit zur Bestimmung mindestens einer Motorspannung und die Einheit zur Bestimmung mindestens einer Soll-Phasenspannung können hierbei in die Steuereinheit integriert oder als separate Steuereinheiten ausgebildet sein. Weiter steuert die Steuereinheit oder eine Untereinheit der Steuereinheit ein Schalten der Leistungsschalter des Umrichters in Abhängigkeit der ermittelten Soll-Phasenspannung. Hierdurch ergibt sich in vorteilhafter Weise, dass ein Wandlerbetrieb mit gewünschten Eigenschaften (Richtung der Energieübertragung, Menge an übertragener Energie) und ein gewünschter Betrieb der Elektromaschine (motorischer oder generatorischer Betrieb) mit gewünschten Eigenschaften (z. B. Drehmoment, Drehzahl, Drehrichtung) mittels des Umrichters ermöglicht wird.

[0036] In einer weiteren Ausführungsform wird eine gewünschte Energieübertragung in den Niederspannungsbereich hinein oder aus dem Niederspannungsbereich heraus und eine gewünschte mechanische Leistung der Elektromaschine von einer Strategieeinheit mindestens in Abhängigkeit einer Zwischenkreisspannung und/oder mindestens eines fahrdynamischen Sensorsignals und/oder mindestens eines fahrbetriebsspezifischen Sensorsignals bestimmt.

[0037] Hierdurch ergibt sich in vorteilhafter Weise, dass eine zulässige obere Grenze einer Zwischenkreisspannung, die z. B. durch Betriebsparameter des Zwischenkreiskondensators vorgegeben sind, nicht überschritten wird. Hierdurch wird insbesondere eine Zerstörung des Zwischenkreiskondensators vermieden. Die Strategieeinheit bildet hierbei eine oberste Steuer- oder Regelungsebene einer Steuer- oder Regelungshierarchie. Hierbei wer-

den insbesondere die nun als Stellgrößen aufzufassende gewünschte Energieübertragung in den Niederspannungsbereich hinein oder aus dem Niederspannungsbereich heraus und die gewünschte Betriebsweise der Elektromaschine an eine Zwischenkreisspannung angepasst. Zusätzlich oder alternativ können auch fahrdynamische Größen, beispielsweise eine Geschwindigkeit oder eine Beschleunigung des Fahrzeugs, berücksichtigt werden. Weiter können zusätzlich oder alternativ Eingangsgrößen wie z. B. Fahrpedal-, Bremspedal- und/oder Wählhebel-Stellung bei der Bestimmung der beiden Stellgrößen berücksichtigt werden. Hierbei bezeichnen fahrbetriebsspezifische Sensorsignale Ausgangssignale z. B. eines Fahrpedalsensors, eines Bremspedalsensors und/oder eines Wählhebel-Stellung-Sensors.

[0038] In einer weiteren Ausführungsform bestimmt die Einheit zur Bestimmung mindestens einer Soll-Phasenspannung die mindestens eine Soll-Phasenspannung in Abhängigkeit einer Drehzahl der Elektromaschine. Insbesondere kann eine Steuerung des Schaltens der Leistungsschalter des Umrichters gemäß des vorhergehend erläuterten ersten Betriebsmodus und des vorhergehend erläuterten zweiten Betriebsmodus in Abhängigkeit einer Drehzahl erfolgen. Idealerweise bestimmt die Einheit zur Bestimmung mindestens einer Soll-Phasenspannung die mindestens eine Soll-Phasenspannung derart, dass insbesondere im ersten Betriebsmodus eine Differenz-Klemmen-Spannung, die von der Einheit zur Bestimmung einer mittleren Phasenspannung bestimmte mittlere Phasenspannung nicht überschreitet. Weiter idealerweise bestimmt die Einheit zur Bestimmung mindestens einer Soll-Phasenspannung die mindestens eine Soll-Phasenspannung im zweiten Betriebsmodus derart, dass ein Wechselstromanteil des Stromes durch die mindestens eine Induktivität des Elements zur Spannungswandlung ausreichend klein bleibt, beispielsweise kleiner ist als ein vorbestimmter Schwellwert.

[0039] Aus Gründen einer einfacheren Realisierbarkeit können jedoch statt dieser Kriterien auch ein drehzahlabhängiges Kriterium zur Bestimmung der mindestens einen Soll-Phasenspannung verwendet werden. Hierzu kann die erfindungsgemäße Vorrichtung in vorteilhafter Weise einen Sensor zur Erfassung der Drehzahl der Elektromaschine umfassen. Im ersten Betriebsmodus ist der Strom durch die mindestens eine Induktivität des Elements zur Spannungswandlung ein Gleichstrom. Jedoch ist im ersten Betriebsmodus die Höhe einer Differenz-Klemmen-Spannung im günstigsten Fall auf eine Hälfte der Zwischenkreisspannung begrenzt, wodurch ein Betrieb der Elektromaschine mit einer Differenz-Klemmen-Spannung oberhalb der Begrenzung nicht möglich ist. Im zweiten Betriebsmodus kann eine Differenz-Klemmen-Spannung eine Höhe der Zwischenkreisspannung annehmen. Jedoch wird hierbei einem

durch die mindestens eine Induktivität des mindestens einen Elements zur Spannungswandlung fließenden Gleichstrom ein Wechselstromanteil überlagert. Durch das drehzahlabhängige Umschalten zwischen den beiden Betriebsmodi lassen sich in vorteilhafter Weise die Vorteile eines jeden Betriebsmodus ausnutzen.

[0040] In einer weiteren Ausführungsform bestimmt die Einheit zur Bestimmung mindestens einer Soll-Phasenspannung die mindestens eine Soll-Phasenspannung gemäß eines ersten und eines zweiten Betriebsmodus, wobei in Abhängigkeit einer Drehzahl der Elektromaschine zwischen dem ersten und dem zweiten Betriebsmodus umgeschaltet wird, wobei ein Umschalten ein hartes Umschalten oder ein hysteresebasiertes Umschalten oder ein überblendbasiertes Umschalten ist. Im einfachsten Fall (hartes Umschalten) wird an einer vorbestimmten Drehzahlgrenze "hart" zwischen dem ersten Betriebsmodus und dem zweiten Betriebsmodus umgeschaltet. Dieses Umschalten ist in vorteilhafter Weise einfach zu realisieren. Allerdings könnte, wenn die Elektromaschine längere Zeit in einem kleinen Drehzahlintervall um die vorbestimmte Drehzahlgrenze schwankt, der Fall auftreten, dass bei ungünstig gewählten Umschaltzeitpunkten eine Soll-Phasenspannung beispielsweise der ersten Phase von einer für die erste Phase bestimmten mittleren Phasenspannung abweicht. Dies lässt sich in vorteilhafter Weise mittels eines hysteresebasierten Umschaltens vermeiden. Hierzu werden zwei vorbestimmte Drehzahlgrenzen festgelegt, eine obere Drehzahlgrenze und eine untere Drehzahlgrenze. Überschreitet die Drehzahl der Elektromaschine die obere Grenze, werden die Soll-Phasenspannungen gemäß dem zweiten Betriebsmodus bestimmt. Unterschreitet die Drehzahl der Elektromaschine nun die untere Grenze, so wird eine Bestimmung der Soll-Phasenspannungen gemäß dem ersten Betriebsmodus durchgeführt. Zwischen der unteren und der oberen Grenze bzw. zwischen der oberen und der unteren Grenze (Hysteresebereich) wird der Betriebsmodus beibehalten, in welchen zuletzt gewechselt wurde. Ein "hartes" Umschalten kann in ungünstigen Fällen unangenehme akustische Geräusche erzeugen. Dies kann in vorteilhafter Weise durch ein überblendbasiertes Umschalten vermieden werden. Hierbei werden wieder oberhalb einer oberen Grenze Soll-Phasenspannungen gemäß dem zweiten Betriebsmodus bestimmt. Unterhalb einer unteren Drehzahlgrenze werden Soll-Phasenspannungen gemäß dem ersten Betriebsmodus bestimmt. In dem Bereich zwischen der unteren und der oberen Drehzahlgrenze werden die Soll-Phasenspannungen beispielsweise linear zwischen den gemäß dem ersten und dem zweiten Betriebsmodus bestimmten Soll-Phasenspannungen interpoliert. Hierzu kann beispielsweise ein Überblendfaktor verwendet werden.

[0041] Weiter kann die erfindungsgemäße Vorrichtung mindestens einen Sensor zur Sensierung einer Rotorlage der Elektromaschine und/oder einen Sensor zur Sensierung eines Phasenstroms der Elektromaschine und/oder einen Sensor zur Sensierung des ersten Spannungsniveaus und/oder einen Sensor zur Sensierung des zweiten Spannungsniveaus und/oder einen Sensor zur Sensierung eines Lade- oder Entladestroms der Bordnetzatterie und/oder einen Sensor zur Sensierung eines durch die mindestens eine Induktivität des Elements zur Spannungswandlung fließenden Stromes umfassen, wobei die Steuereinheit ein Schalten der Leistungsschalter des Umrichters in Abhängigkeit von mindestens der Rotorlage und/oder des Phasenstroms und/oder des ersten Spannungsniveaus und/oder des zweiten Spannungsniveaus und/oder des Lade- und/oder Entladestroms und/oder des durch die mindestens eine Induktivität fließenden Stromes steuert. Die verschiedenen Sensorsignale können hierbei auf unterschiedlichen Ebenen der Regelhierarchie ausgewertet werden.

[0042] Weiter kann dem Zwischenkreiskondensator ein Dünnschicht-Kondensator (Supercap, Boostcap) parallel geschaltet werden. Dieser kann in vorteilhafter Weise im Sekundenbereich ähnliche oder sogar größere Leistungen aufnehmen oder abgeben als die Bordnetzatterie. Eine Leistungsaufnahme oder -abgabe kann hierbei ebenfalls in vorteilhafter Weise gleichzeitig mit einer Leistungsaufnahme oder -abgabe der Bordnetzatterie erfolgen. Hierdurch kann die Elektromaschine auch zumindest kurzzeitig bei höheren Leistungen betrieben werden als im Betrieb ausschließlich über die Bordnetzatterie.

[0043] Weiter kann die Steuereinheit ein Schalten der Leistungsschalter in Abhängigkeit einer Energieübertragung in einen Hochspannungsbereich des Bordnetzes hinein oder aus dem Hochspannungsbereich des Bordnetzes heraus und/oder in Abhängigkeit von Verlusten, z. B. von ohmschen Verlusten und/oder Ummagnetisierungs-Verlusten in der Elektromaschine und/oder Schaltverlusten in den Leistungsschaltern, steuern. Die in den Hochspannungsbereich hinein zu übertragende Energie und/oder die Verluste können hierbei aus regelungstechnischer Sicht als Störgrößen betrachtet werden. Ihre jeweilige Größe ist außerhalb der Steuerung bzw. Regelung bestimmt und kann durch die Steuereinheit nicht unabhängig von der in den Niederspannungsbereich zu übertragenden Energie und der von der Elektromaschine erzeugten Energie bestimmt werden. Zur Verbesserung der Regelgüte kann es, wie in der Regelungstechnik bekannt, sinnvoll sein, diese Störgrößen vorzusteuern. Hierzu können z. B. die wesentlichen Energieverbraucher, die für die in den Hochspannungsbereich zu übertragende Energie verantwortlich sind, einen gemessenen oder geschätzten Wert ihrer zur Zeit aufgenommenen Leistung an die

Steuereinheit melden. Dies kann z. B. über einen Datenbus, beispielsweise einen CAN-Bus, erfolgen. Die Verluste können z. B. durch Berechnung oder Schätzung eines einfachen Verlustmodells durch die Steuereinheit geschätzt werden. Wird mittels der Steuereinheit eine Vorsteuerung durchgeführt, so braucht die Steuereinheit im Betrieb dann idealerweise nur eine Abweichung zwischen geschätzten und realen Störgrößen auszugleichen. Hierdurch ergibt sich in vorteilhafter Weise, dass nicht Gesamtbeträge der Störgrößen auszugleichen sind.

[0044] Die Erfindung wird anhand zweier Ausführungsbeispiele näher erläutert. Die Figuren zeigen:

[0045] [Fig. 1](#) ein schematischer Schaltplan einer Vorrichtung zur Energieübertragung (Stand der Technik),

[0046] [Fig. 2](#) ein schematischer Schaltplan einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Energieübertragung,

[0047] [Fig. 3](#) ein schematischer Schaltplan einer weiteren erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Energieübertragung und

[0048] [Fig. 4](#) ein schematisches Blockschaltbild eines Verfahrens zur Energieübertragung.

[0049] Nachfolgend bezeichnen gleiche Bezugszeichenelemente mit gleichen oder ähnlichen technischen Eigenschaften.

[0050] [Fig. 1](#) zeigt einen schematischen Schaltplan einer Vorrichtung **1** zur Energieübertragung in einem Kraftfahrzeug gemäß dem Stand der Technik. Die Vorrichtung **1** umfasst hierbei ein nicht vollständig dargestelltes Bordnetz mit einem Niederspannungsbereich **2** und einem Hochspannungsbereich **3**. Hierbei weist der Niederspannungsbereich **2** ein erstes Spannungsniveau von 12 V auf, welches einer Batteriespannung $U_{\text{batt}} = 12 \text{ V}$ entspricht. Der schematisch dargestellte Hochspannungsbereich **3** weist ein zweites Spannungsniveau von 42 V auf. Der Niederspannungsbereich **2** umfasst hierbei eine Bordnetzbatte-rie **4**, welche eine Ausgangsspannung U_{batt} von 12 V aufweist. Weiter sind an den Niederspannungsbereich **2** weitere, schematisch dargestellte elektrische Verbraucher **5** angeschlossen. Weiter umfasst die Vorrichtung **1** eine Elektromaschine **6**. Die Elektromaschine **6** ist als dreiphasige Elektromaschine **6** dargestellt. Hierbei weist die Elektromaschine **6** drei Klemmen K1, K2, K3 der Elektromaschine **6** auf. Weiter ist dargestellt, dass die durch Motorinduktivitäten ML1, ML2, ML3 dargestellte Stränge der Elektromaschine **6** in einer Sternschaltung mit Sternpunkt S verschaltet sind. Über den Motorinduktivitäten ML1, ML2, ML3 fallen jeweils die Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} ab. In dem in [Fig. 1](#) dargestellten

Ausführungsbeispiel sind die Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} gleich den Strangspannungen der Elektromaschine **6**. Weiter umfasst die Vorrichtung **1** einen dreiphasigen Umrichter **7**. Der dreiphasige Umrichter **7** umfasst drei Halbbrücken. Eine erste Halbbrücke umfasst einen ersten Schalter S1 und einen zweiten Schalter S2 der ersten Halbbrücke, wobei antiparallel zu den Schaltern Dioden D1, D2 geschaltet sind. Eine zweite Halbbrücke des Umrichters **7** umfasst einen ersten Schalter S3 und einen zweiten Schalter S4 der zweiten Halbbrücke. Analog sind Dioden D3, D4 antiparallel zum ersten Schalter S3 und zweiten Schalter S4 der zweiten Halbbrücke geschaltet. Eine dritte Halbbrücke umfasst einen ersten Schalter S5 und einen zweiten Schalter S6 der dritten Halbbrücke, wobei wiederum Dioden D5, D6 antiparallel zum ersten und zum zweiten Schalter S5, S6 der dritten Halbbrücke geschaltet sind. Mittels der Leistungsschalter S1, S2, S3, S4, S5, S6 werden Phasenspannungen U_{P1} , U_{P2} , U_{P3} eingestellt. Hierbei bildet die Differenz einer ersten Phasenspannung U_{m1} und einer zweiten Phasenspannung U_{P2} eine Differenz-Klemmen-Spannung U_{K1-K2} zwischen der ersten Klemme K1 und der zweiten Klemme K2 der Elektromaschine **6**. Analog werden eine zweite Differenz-Klemmen-Spannung U_{K1-K3} und eine dritte Differenz-Klemmen-Spannung U_{K2-K3} bestimmt. Durch Schalten der Leistungsschalter S1, S2, S3, S4, S5, S6 lassen sich hierbei vorbestimmte Phasenspannungen und somit vorbestimmte Differenz-Klemmen-Spannungen U_{K1-K2} , U_{K1-K3} , U_{K2-K3} einstellen. Den Halbbrücken parallel geschaltet ist ein Zwischenkreiskondensator C_{ZK} . Über dem Zwischenkreiskondensator C_{ZK} fällt eine Zwischenkreisspannung U_{ZK} ab. Zwischen den Niederspannungsbereich **2** und den Zwischenkreiskondensator C_{ZK} ist ein Element **8** zur Spannungswandlung geschaltet. Das Element **8** zur Spannungswandlung umfasst eine Induktivität L und zwei Leistungsschalter S7, S8, wobei zu den Leistungsschaltern wiederum Dioden D7, D8 antiparallel geschaltet sind. Das Element **8** zur Spannungswandlung ist hierbei ein so genannter DC/DC-Wandler.

[0051] Nachfolgend sei überblicksmäßig ein Betrieb der Vorrichtung **1** zur Energieübertragung geschrieben. Anfangs seien alle Leistungsschalter S1, ..., S8 offen. Der Zwischenkreiskondensator C_{ZK} ist dann über die Induktivität L und die Diode D7 antiparallel zum Leistungsschalter S7 des Elements **8** zur Spannungswandlung auf etwa die Batteriespannung U_{batt} geladen. Wird z. B. zum Starten eines Verbrennungsmotors, für welchen die Elektromaschine **6** als Anlasser fungiert, eine höhere Zwischenkreisspannung U_{ZK} gewünscht, kann der Leistungsschalter S8 geschlossen werden. Es baut sich dann ein Strom i_L durch die Induktivität L entgegen der in [Fig. 1](#) dargestellten Stromrichtung von i_L auf. Wird der Leistungsschalter S8 wieder geöffnet, treibt die Induktivität L den Strom i_L weiter, der durch die antiparallel zum Leistungsschalter S7 geschaltete Diode D7 in

den Zwischenkreiskondensator C_{ZK} fließt und somit die Zwischenkreisspannung U_{ZK} erhöht. Zur Senkung von Verlusten kann in dieser Phase der Leistungsschalter S7 zusätzlich geschlossen werden. Der Betrag von dem Strom i_L durch die Induktivität L sinkt. Hierbei wird das Element 8 zur Spannungswandlung als Aufwärtswandler von der Batteriespannung U_{batt} zur Zwischenkreisspannung U_{ZK} verwendet.

[0052] Bei z. B. laufendem Verbrennungsmotor kann die Elektromaschine 6 auch als Generator, z. B. als Lichtmaschine, arbeiten. Hierbei wird der dreiphasige Umrichter 7 derart gesteuert, dass die Zwischenkreisspannung U_{ZK} größer als die Batteriespannung U_{batt} ist. Das Element 8 zur Spannungswandlung wird jetzt als Abwärtswandler von der Zwischenkreisspannung U_{ZK} zur Batteriespannung U_{batt} verwendet, um elektrische Verbraucher 5 zu versorgen und/oder die Bordnetzbatteie 4 zu laden. Hierbei wird der Leistungsschalter S7 geschlossen. Es baut sich dann ein Strom i_L in der in Fig. 1 dargestellten Stromrichtung von i_L auf. Wird der Leistungsschalter S7 wieder geöffnet, treibt die Induktivität L den Strom i_L weiter durch die Diode D8, ohne dass dem Zwischenkreis Energie entzogen wird. Zur Senkung von Verlusten kann in dieser Phase der Leistungsschalter S8 zusätzlich geschlossen werden. Der Betrag von dem Strom i_L durch die Induktivität L sinkt.

[0053] Fig. 2 zeigt einen schematischen Schaltplan einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 zur Energieübertragung. Analog zu der in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung 1 umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung 1 einen Niederspannungsbereich 2 mit einer Bordnetzbatteie 4 und elektrischen Verbrauchern 5. Weiter umfasst die Vorrichtung 1 eine dreiphasige Elektromaschine 6 und einen dreiphasigen Umrichter 7. In Fig. 2 sind hierbei keine antiparallelen Dioden D1, ..., D8 dargestellt, was ausschließlich einer Vereinfachung der Darstellung dient. In Fig. 2 ist dargestellt, dass ein Abschnitt zwischen den Leistungsschaltern S1, S2 der ersten Halbbrücke über einen ersten Versorgungspfad mit einer ersten Klemme K1 der Elektromaschine 6 verbunden ist. In dem ersten Versorgungspfad fließt ein erster Phasenstrom i_{P1} . Analog sind Abschnitte zwischen den Leistungsschaltern S3, S4 und S5, S6 der zweiten und dritten Halbbrücke mit der zweiten und der dritten Klemme K2, K3 der Elektromaschine 6 über erste Versorgungspfade, in denen Phasenströme i_{P2} , i_{P3} fließen, verbunden. In Fig. 2 ist dargestellt, dass der Abschnitt zwischen den Leistungsschaltern S1, S2 zusätzlich über einen zweiten Versorgungspfad mit dem Niederspannungsbereich 2, insbesondere mit der Bordnetzbatteie 4, verbunden ist. Im zweiten Versorgungspfad ist die Induktivität L des Elements zur Spannungswandlung angeordnet. Hierbei ist das Element zur Spannungswandlung teilweise in den Umrichter 7 integriert. Es ist dargestellt, dass die Leistungsschalter S1, S2 der ersten Halbbrücke ei-

nerseits als Leistungsschalter S1, S2 des Umrichters 7 und andererseits als Leistungsschalter S1, S2 des Elements zur Spannungswandlung, die in Fig. 1 als Leistungsschalter S7, S8 dargestellt sind, fungieren.

[0054] Dabei sei angemerkt, dass die Leistungsschalter S1–S6 vorzugsweise als MOSFETs ausgebildet sind, die technologisch bedingt die antiparallelen Dioden D1–D6 als parasitäre Bauelemente automatisch miterzeugen.

[0055] In Fig. 3 ist ein Schaltplan einer weiteren erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 zur Energieübertragung dargestellt. Hierbei ist jeder Abschnitt zwischen den Leistungsschaltern S1, S2 und S3, S4 und S5, S6 der Halbbrücken des Umrichters 7 über zweite Versorgungspfade mit dem Niederspannungsbereich 2, insbesondere der Bordnetzbatteie 4, verbunden. In den zweiten Versorgungspfaden sind jeweils Induktivitäten L1, L2, L3 angeordnet. Hierbei fungieren alle Leistungsschalter S1, ..., S6 des Umrichters 7 als Leistungsschalter des Umrichters und des Elements zur Spannungswandlung.

[0056] Fig. 4 zeigt ein schematisches Blockschaltbild eines Verfahrens zur Energieübertragung. Nachfolgend werden wesentliche Aspekte des Verfahrens zur Energieübertragung, insbesondere einer Steuerung bzw. Regelung eines Schaltens der z. B. in Fig. 2 dargestellten Leistungsschalter S1, ..., S6 erläutert. Hierbei sei von einer Leistungsbilanz

$$0 = P_{EM} + P_{NV} + P_{HV} + P_{ZK} + P_{Verl} \quad \text{Formel 1}$$

ausgegangen. Hierbei bezeichnet P_{EM} z. B. eine von der in Fig. 2 dargestellten Elektromaschine 6 im motorischen Betrieb umgesetzte Leistung. Im motorischen Betrieb gibt die Elektromaschine 6 die mechanische Leistung $P_{Mech} = M \times \Omega$ ab, wobei M ein Wieldrehmoment und Ω eine Winkelgeschwindigkeit eines Rotors der Elektromaschine 6 bezeichnet. Wird vereinfacht angenommen, dass die Elektromaschine 6 verlustlos ist, so ist die dem Bordnetz entnommene elektrische Leistung $P_{EM} = P_{Mech}$. Weiter bezeichnet die Leistung P_{NV} eine aus dem Niederspannungsbereich 2 heraus übertragene elektrische Leistung oder eine in den Niederspannungsbereich 2, d. h. zur Bordnetzbatteie 4 und zu den elektrischen Verbrauchern 5, übertragene Leistung. Die Leistung P_{NV} kann gemäß

$$P_{NV} = U_{batt} \times i_L \quad \text{Formel 2}$$

berechnet werden. Die Leistung P_{HV} bezeichnet die von einem Hochspannungsbereich 3 aufgenommene oder abgegebene Leistung und berechnet sich gemäß

$$P_{HV} = U_{ZK} \times i_{HV} \quad \text{Formel 3.}$$

[0057] Der Zwischenkreiskondensator C_{ZK} nimmt im motorischen Betrieb die Leistung

$$P_{ZK} = U_{ZK} \times i_{ZK} \quad \text{Formel 4}$$

auf.

[0058] P_{Verl} bezeichnet hierbei pauschal alle Verluste, z. B. ohmsche Verluste und Ummagnetisierungsverluste in der Elektromaschine **6** sowie Schaltverluste in den Leistungsschaltern S1, ..., S6.

[0059] In dem erfindungsgemäßen Verfahren können die Leistungen P_{NV} und die Leistung P_{EM} mittels eines Schaltens der Leistungsschalter S1, ..., S6 eingestellt werden.

[0060] Folgend sei ein motorischer Betrieb der Elektromaschine **6** angenommen. In einer obersten Ebene der Regelhierarchie wird hierbei eine von dem Niederspannungsbereich, insbesondere der Bordnetz-batterie **4**, zu entnehmende Leistung P_{NV} sowie eine elektrische Leistung P_{EM} der Elektromaschine **6** vorgegeben.

[0061] Hierbei kann die aus dem Niederspannungsbereich **2** heraus übertragene Leistung P_{NV} mittels einer Veränderung einer Stromstärke des durch die Induktivität L des Elements zur Spannungswandlung fließenden Stromes i_L gesteuert werden. Unter Annahme einer Verlustfreiheit gilt

$$U_L = L \times di_L/dt \quad \text{Formel 5.}$$

[0062] Hierbei bezeichnet U_L eine über der Induktivität L abfallende Spannung. Ist also eine erste Phasenspannung U_{P1} einer ersten Halbbrücke des in [Fig. 2](#) dargestellten Umrichters **7** größer als die Batteriespannung U_{batt} , so steigt die Stromstärke von i_L . Die Stromstärke von i_L sinkt, wenn die erste Phasenspannung U_{P1} kleiner als die Batteriespannung U_{batt} ist. Hierbei wird angenommen, dass die Batteriespannung U_{batt} konstant ist und 12 V beträgt. Die Stromstärke und eine Stromrichtung des Stroms i_L kann daher durch eine Einstellung der ersten Phasenspannung U_{P1} verändert werden. Hierbei kann die Stromstärke und die Stromrichtung des Stromes i_L vorzugsweise mittels eines Sensors erfasst werden, wobei die erste Phasenspannung U_{P1} anhand einer Differenz zwischen einem Sollstromes und einem aktuell erfassten Ist-Strom $i_{L,soll} - i_L$ geregelt wird.

[0063] In [Fig. 4](#) ist dargestellt, dass eine Einheit **10** zur Bestimmung einer mittleren ersten Phasenspannung U_{P1M} eine mittlere erste Phasenspannung U_{P1M} in Abhängigkeit eines Sollstromes $i_{L,soll}$ und eines erfassten Stromes i_L durch die Induktivität L berechnet. Hierbei ist dargestellt, dass der Sollstrom $i_{L,soll}$ von einer Strategieeinheit **11** bestimmt wird. Die Funktion der Strategieeinheit **11** wird später näher erläutert.

[0064] Eine wesentliche Einschränkung der in [Fig. 2](#) dargestellten Vorrichtung **1** zur Energieübertragung ist, dass ein zeitlicher Mittelwert der ersten Phasenspannung U_{P1} gleich einem Mittelwert der Batteriespannung U_{batt} sein muss, da sonst die Bordnetz-batterie dauerhaft geladen oder entladen würde. Zusätzlich ergibt sich aus Betriebsbedingungen von üblichen rotierenden Elektromaschinen **6**, dass Mittelwerte der Phasenspannungen U_{P1} , U_{P2} , U_{P3} gleich sein müssen. Unter diesen Annahmen gilt also, dass die Einheit **10** zur Bestimmung der ersten mittleren Phasenspannung U_{P1M} die erste Phasenspannung U_{P1} und auch die weiteren Phasenspannungen U_{P2} , U_{P3} zumindest im zeitlichen Mittel gleich der Batteriespannung U_{batt} bestimmen muss, unabhängig von der Zwischenkreisspannung U_{ZK} . Vorzugsweise wird die Zwischenkreisspannung U_{ZK} auf das Zweifache der Batteriespannung U_{batt} geregelt. In diesem Ausführungsbeispiel entspricht also U_{ZK} vorzugsweise 24 V. Dann kann ein Mittelwert der Phasenspannung U_{P1} , U_{P2} , U_{P3} auf die Hälfte der Zwischenkreisspannung U_{ZK} eingestellt werden.

[0065] Die Einstellung einer Phasenspannung U_{P1} , U_{P2} , U_{P3} kann – wie bekannt – durch eine Pulsweitenmodulation erfolgen. Z. B. kann die erste Phasenspannung U_{P1} eingestellt werden, indem die Leistungsschalter S1, S2 der ersten Halbbrücke abwechselnd geschlossen oder geöffnet werden. Ein Öffnen oder Schließen kann mit konstanter Frequenz erfolgen. Ist z. B. innerhalb einer Periode eine Einschaltzeit T_{S1} des ersten Leistungsschalters S1 der ersten Halbbrücke gleich der Einschaltzeit T_{S2} des zweiten Leistungsschalters S2 der ersten Halbbrücke, so ist die erste Phasenspannung U_{P1} im Mittel die halbe Zwischenkreisspannung $U_{ZK/2}$. Ist der erste Leistungsschalter S1 permanent geschlossen, so ist die erste Phasenspannung U_{P1} gleich der Zwischenkreisspannung U_{ZK} . Ist der zweite Leistungsschalter S2 permanent geschlossen, so ist die erste Phasenspannung U_{P1} gleich Null. Durch ein Verhältnis der Einschaltzeiten T_{S1} , T_{S2} zur Periodendauer (Summe der Einschaltzeiten $T_{S1} + T_{S2}$), kann der Mittelwert der ersten Phasenspannung U_{P1} also beliebig zwischen Null und der Zwischenkreisspannung U_{ZK} eingestellt werden:

$$U_{P1}/U_{ZK} = T_{S1}/(T_{S1} + T_{S2}) \quad \text{Formel 6.}$$

[0066] Weiter kann, wie vorhergehend erwähnt, auch die von der Elektromaschine **6** zu erzeugende elektrische Leistung P_{EM} eingestellt werden. Hierbei können bekannte Verfahren zur Regelung von elektrischen Maschinen im Wesentlichen auch für die in [Fig. 2](#) dargestellte Vorrichtung angewandt werden. Hierbei kann in der Regel davon ausgegangen werden, dass ein Sollmoment M_{soll} von einer obersten Ebene einer Reglerhierarchie vorgegeben ist, wobei aus dem Sollmoment M_{soll} mit Hilfe bekannter Verfahren und unter Verwendung weiterer Eingangsgrö-

ßen von einer Einheit **12** zur Bestimmung von Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} bestimmt werden. In **Fig. 2** ist eine Elektromaschine **6** dargestellt, die gemäß einer so genannten Sternschaltung verschaltet ist. Hierbei entspricht eine erste Motorspannung U_{S1} einer zwischen einer ersten Klemme K1 und einem Sternpunkt S der Elektromaschine **6** anliegende Strangspannung. Analog bezeichnet eine zweite Motorspannung U_{S2} eine zwischen einer zweiten Klemme K2 der Elektromaschine **6** und dem Sternpunkt S abfallende Strangspannung. Analog bezeichnet eine dritte Motorspannung U_{S3} eine zwischen einer dritten Klemme K3 und einem Sternpunkt S der Elektromaschine **6** abfallende Strangspannung. Hierbei ist zu beachten, dass die in **Fig. 2** dargestellten Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} nicht für jede Verschaltung einer Elektromaschine **6** direkt dargestellt werden können. Ist die Elektromaschine **6** beispielsweise in einer Dreieckschaltung verschaltet, so sind die hier erwähnten Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} nicht direkt messbar, sondern nur indirekt berechenbar. Verfahren zur Berechnung der Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} für beliebige Verschaltungen von Elektromaschinen werden später näher erläutert. Mittels der Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} lassen sich Differenz-Klemmen-Spannungen U_{K1-K2} , U_{K1-K3} , U_{K2-K3} bestimmen. Eine erste Differenz-Klemmen-Spannung U_{K1-K2} beschreibt hierbei eine Spannungsdifferenz zwischen einer an der ersten Klemme K1 anliegenden Spannung und einer an der zweiten Klemme K2 anliegenden Spannung. Analog sind eine zweite Differenz-Klemmen-Spannung U_{K1-K3} und eine dritte Differenz-Klemmen-Spannung U_{K2-K3} definiert. Die Differenz-Klemmen-Spannungen U_{K1-K2} , U_{K1-K3} , U_{K2-K3} entsprechen einer Differenz der Phasenspannungen $U_{P1} - U_{P2}$, $U_{P1} - U_{P3}$, $U_{P2} - U_{P3}$. Hierdurch wird ersichtlich, dass gewünschte Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} mittels einer Einstellung der Phasenspannungen U_{P1} , U_{P2} , U_{P3} eingestellt werden können.

[0067] In der Regel werden zur Bestimmung der Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} aus dem Sollmoment M_{soll} unter Verwendung einer mittels eines Motorlagensensors erfassten Rotorlage der Elektromaschine **6** Soll-Phasenströme $i_{P1,\text{soll}}$, $i_{P2,\text{soll}}$, $i_{P3,\text{soll}}$ berechnet. Hieraus werden, gegebenenfalls unter Verwendung von mittels Sensoren erfassten Phasenströmen i_{P1} , i_{P2} , i_{P3} die Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} berechnet.

[0068] Oftmals, jedoch nicht zwingend, sind die Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} kosinusförmig, z. B.

$$U_{S1} = U_A \times \cos(\alpha); U_{S2} = U_A \times \cos(\alpha + 120^\circ); U_{S3} = U_A \times \cos(\alpha + 240^\circ) \quad \text{Formel 7.}$$

[0069] Hierbei bezeichnet U_A eine maximale Spannungsamplitude der Motorspannung U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} und α eine Rotorlage des nicht dargestellten Rotors der Elektromaschine **6**. Im Allgemeinen steigt eine

Frequenz dieser kosinusförmigen Spannungen und eine Amplitude dieser kosinusförmigen Spannungen mit einer steigenden Drehzahl Ω der Elektromaschine **6**. Wichtig für das erfindungsgemäße Verfahren ist, dass ein zeitlicher Mittelwert der Motorspannung U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} bei einer drehenden Elektromaschine **6** ungefähr Null ist.

[0070] Eine Einheit **13** zur Bestimmung von Soll-Phasenspannungen $U_{P1,\text{soll}}$, $U_{P2,\text{soll}}$, $U_{P3,\text{soll}}$ bestimmt in Abhängigkeit der ersten mittleren Phasenspannung U_{P1M} und der drei Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} Sollwerte der Phasenspannungen $U_{P1,\text{soll}}$, $U_{P2,\text{soll}}$, $U_{P3,\text{soll}}$. Die Bestimmung der Soll-Phasenspannungen $U_{P1,\text{soll}}$, $U_{P2,\text{soll}}$, $U_{P3,\text{soll}}$ erfolgt in zwei verschiedenen Betriebsmodi.

[0071] Ein erster Betriebsmodus wird für einen Stillstand (Drehzahl der Elektromaschine **6** gleich Null) und niedrige Drehzahlen der Elektromaschine **6** verwendet. Hierbei wird die erste Soll-Phasenspannung $U_{P1,\text{soll}}$ gleich der von der Einheit **10** zur Bestimmung der ersten mittleren Phasenspannung U_{P1M} bestimmten ersten mittleren Phasenspannung U_{P1M} gesetzt. Die verbleibenden Soll-Phasenspannungen werden derart bestimmt, dass an den Klemmen K1, K2, K3 der Elektromaschine **6** Differenz-Klemmen-Spannungen U_{K1-K2} , U_{K1-K3} , U_{K2-K3} anliegen, die durch die Motorspannung U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} vorgegeben sind. Die Soll-Phasenspannungen $U_{P1,\text{soll}}$, $U_{P2,\text{soll}}$, $U_{P3,\text{soll}}$ bestimmen sich hierbei gemäß

$$U_{P1,\text{soll}} = U_{P1M}; U_{P2,\text{soll}} = U_{P1M} + (U_{S2} - U_{S1}); U_{P3,\text{soll}} = U_{P1M} + (U_{S3} - U_{S1}) \quad \text{Formel 8.}$$

[0072] Der erste Betriebsmodus ist dadurch ausgezeichnet, dass auch bei stehender und ein hohes Drehmoment abgebender Elektromaschine **6** die erste Phasenspannung U_{P1} und die Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} unabhängig voneinander eingestellt werden können. Somit ist es möglich, eine gewünschte Leistung P_{NV} aus dem Niederspannungsbereich **2** heraus zu übertragen. Gleichzeitig ist es möglich, die Elektromaschine **6** in einer gewünschten Betriebsweise, d. h. mit einem gewünschten Drehmoment und einer gewünschten Drehzahl, zu betreiben.

[0073] Nachteilig ist hierbei, dass eine Klemmen-Differenz-Spannung U_{K1-K2} , U_{K1-K3} , U_{K2-K3} an den Klemmen K1, K2, K3 der Elektromaschine **6** maximal den Betrag der mittleren Phasenspannung U_{P1M} betragen darf. Dies kann wie nachfolgend gezeigt hergeleitet werden. Gemäß einer Maschengleichung gilt:

$$U_{P2} = U_{P1} + U_{S2} - U_{S1} \quad \text{Formel 9.}$$

[0074] Die Phasenspannungen U_{P1} , U_{P2} , U_{P3} , insbesondere auch die zweite Phasenspannung U_{P2} , sind, wie vorhergehend erläutert, mittels der Leistungsschalter S3, S4 beliebig zwischen 0 und 24 V einstell-

bar. Im ersten Betriebsmodus ist die erste Phasenspannung U_{P1} konstant und, wie vorhergehend erläutert, im Mittel gleich der Batteriespannung $U_{\text{batt}} = 12 \text{ V}$. Somit kann eine Differenz zwischen der zweiten und der ersten Motorspannung $U_{S2} - U_{S1}$ (Differenz-Klemmen Spannung U_{K1-K2}) nur zwischen -12 V bis 12 V liegen. Hierdurch ergibt sich also nachteilig, dass im ersten Betriebsmodus die Elektromaschine **6** ausschließlich mit Differenz-Klemmen-Spannungen $U_{P1,\text{soll}}$, $U_{P2,\text{soll}}$, $U_{P3,\text{soll}}$ mit einer maximalen Amplitude von -12 V bzw. 12 V betrieben werden kann, auch wenn die Elektromaschine **6** für höhere Amplituden der Differenz-Klemmen-Spannungen U_{K1-K2} , U_{K1-K3} , U_{K2-K3} ausgelegt ist.

[0075] Der zweite Betriebsmodus ist für höhere Drehzahlen vorgesehen. Hierbei bestimmen sich die Soll-Phasenspannungen $U_{P1,\text{soll}}$, $U_{P2,\text{soll}}$, $U_{P3,\text{soll}}$ gemäß

$$U_{P1,\text{soll}} = U_{P1M} + U_{S1}; U_{P2,\text{soll}} = U_{P1M} + U_{S2}; U_{P3,\text{soll}} = U_{P1M} + U_{S3} \quad \text{Formel 10.}$$

[0076] Hierbei werden also die Motorspannungen U_{S1} bis U_{S3} auf die von der Einheit **10** bestimmte mittlere Phasenspannung U_{P1M} addiert, um die Soll-Phasenspannungen $U_{P1,\text{soll}}$, $U_{P2,\text{soll}}$, $U_{P3,\text{soll}}$ zu erhalten. Hierbei ist zu beachten, dass im zweiten Betriebsmodus die Forderung, die erste Phasenspannung U_{P1} auf eine konstante mittlere Phasenspannung U_{P1M} zu regeln, nicht exakt umgesetzt wird. Der ersten mittleren Phasenspannung U_{P1M} wird hierbei die von der Einheit **12** bestimmte erste Motorspannung U_{S1} überlagert. Vorzugsweise ist die erste Motorspannung U_{S1} (und auch die weiteren Motorspannungen U_{S2} , U_{S3}) eine Wechselspannung mit dem Mittelwert Null oder nahe Null. Abhängig von einer Größe der Induktivität L des Elements zur Spannungswandlung wird damit dem Strom i_L ein Wechselstrom mit der drehzahlabhängigen Frequenz der ersten Motorspannung U_{S1} überlagert werden. Hierbei kann jedoch angenommen werden, dass ein Mittelwert des Stromes i_L sich im Wesentlichen durch die Überlagerung eines Wechselstromes nicht ändert. Eine Differenz-Klemmen-Spannung U_{K1-K2} , U_{K1-K3} , U_{K2-K3} an den Klemmen K1, K2, K3 der Elektromaschine **6** kann im zweiten Betriebsmodus eine Amplitude aufweisen, die theoretisch dem Doppelten der von der Einheit **10** bestimmten mittleren ersten Phasenspannung U_{P1M} entspricht. Beträgt z. B. die Batteriespannung $U_{\text{batt}} = 12 \text{ V}$ und die Zwischenkreisspannung $U_{ZK} = 24 \text{ V}$, so kann die Elektromaschine auch mit Differenz-Klemmen-Spannungen U_{K1-K2} , U_{K1-K3} , U_{K2-K3} mit Amplituden von -24 V bis 24 V betrieben werden. Dies sei nachfolgend näher erläutert. Ausgehend von der in der Maschengleichung aus Formel 9 ist die erste und die zweite Phasenspannung U_{P1} , U_{P2} im Bereich zwischen 0 V bis 24 V einstellbar, da die erste Phasenspannung U_{P1} keine konstante Phasenspannung mehr ist. Hieraus folgt, dass die ersten Dif-

ferenz-Klemmen-Spannung U_{K1-K2} , die der Differenz zwischen der zweiten und der ersten Motorspannung $U_{S2} - U_{S1}$ entspricht, theoretisch Spannungsamplituden zwischen -24 V und 24 V annehmen kann.

[0077] Eine Umschaltung zwischen dem ersten und dem zweiten Betriebsmodus sollte im Idealfall folgende Anforderungen erfüllen:

1. Im ersten Betriebsmodus sollten die Differenz-Klemmen-Spannungen U_{K1-K2} , U_{K1-K3} , U_{K2-K3} an den Klemmen K1, K2, K3 die erste mittlere Phasenspannung U_{P1M} nicht überschreiten.
2. Im zweiten Betriebsmodus sollte ein Wechselstromanteil des Stromes i_L durch die Induktivität L des Elements zur Spannungswandlung ausreichend klein bleiben.

[0078] Aus Gründen der einfacheren Realisierbarkeit werden diese Kriterien nicht direkt, sondern ein von der Drehzahl Ω der Elektromaschine **6** abhängiges Kriterium zum Umschalten zwischen dem ersten und dem zweiten Betriebsmodus verwendet. Hierbei kann ein Umschalten in Abhängigkeit der Drehzahl Ω ein hartes Umschalten, ein hysteresebasiertes oder ein überblendbasiertes Umschalten sein. Nachfolgend sei nun ein überblendbasiertes Umschalten erläutert. Für ein überblendbasiertes Umschalten sei eine obere Drehzahlgrenze und eine untere Drehzahlgrenze vorbestimmt. Oberhalb der oberen Drehzahlgrenze werden die Soll-Phasenspannungen $U_{P1,\text{soll}}$, $U_{P2,\text{soll}}$, $U_{P3,\text{soll}}$ gemäß dem zweiten Betriebsmodus und unterhalb der unteren Drehzahlgrenze gemäß dem ersten Betriebsmodus bestimmt. Zwischen der unteren und der oberen Drehzahlgrenze wird zwischen den gemäß beiden Betriebsmodi bestimmten Soll-Phasenspannungen $U_{P1,\text{soll}}$, $U_{P2,\text{soll}}$, $U_{P3,\text{soll}}$ linear interpoliert. Hierzu wird ein Überblendfaktor u_{fak} verwendet. Ist die Drehzahl Ω kleiner als die untere Drehzahlgrenze, so ist der Überblendfaktor $u_{\text{fak}} = 0$. Ist die Drehzahl Ω größer als die obere Drehzahlgrenze, so ist der Überblendfaktor $u_{\text{fak}} = 1$. Liegt die Drehzahl Ω zwischen der unteren und der oberen Drehzahlgrenze, so bestimmt sich der Überblendfaktor u_{fak} gemäß

$$u_{\text{fak}} = \frac{(\Omega - \text{untere Drehzahlgrenze})}{(\text{obere Drehzahlgrenze} - \text{untere Drehzahlgrenze})} \quad \text{Formel 12.}$$

[0079] Die Soll-Phasenspannungen $U_{P1,\text{soll}}$, $U_{P2,\text{soll}}$, $U_{P3,\text{soll}}$ bestimmen sich dann gemäß

$$\begin{aligned} U_{P1,\text{soll}} &= U_{P1M} + u_{\text{fak}} \times U_{S1}, \\ U_{P2,\text{soll}} &= U_{P1M} + U_{S2} - (1 - u_{\text{fak}}) \times U_{S1}, \\ U_{P3,\text{soll}} &= U_{P1M} + U_{S3} - (1 - u_{\text{fak}}) \times U_{S1} \end{aligned} \quad \text{Formel 13.}$$

[0080] In Einheiten **14** zur Bestimmung von Schaltzeitpunkten werden die Schaltzeitpunkte der Leistungsschalter S1, ..., S6 in Abhängigkeit der von der Einheit **13** bestimmten Soll-Phasenspannung $U_{P1,\text{soll}}$,

$U_{P2,soll}$, $U_{P3,soll}$ und in Abhängigkeit einer aktuellen Zwischenkreisspannung U_{ZK} bestimmt und die Leistungsschalter S1, ..., S6 entsprechend gesteuert.

[0081] Die in den Hochspannungsbereich **3** übertragene Leistung P_{HV} und die Verlustleistung P_{Verl} können hierbei aus regelungstechnischer Sicht als Störgrößen betrachtet werden. Diese können z. B. mittels einer Vorsteuerung zumindest teilweise kompensiert werden, wodurch eine Regelgüte der Regelung der aus dem Niederspannungsbereich **2** hinaus zu übertragene Leistung P_{NV} und der elektrischen Leistung P_{EM} der Elektromaschine **6** verbessert wird.

[0082] Auch die in den Zwischenkreiskondensator C_{ZK} übertragene Leistung P_{ZK} kann, analog zu den Störgrößen, nicht unabhängig von den weiteren in Formel 1 genannten Leistungen eingestellt werden. Allerdings hängt die Zwischenkreisspannung U_{ZK} über

$$i_{ZK} = P_{ZK}/U_{ZK} \quad \text{Formel 14}$$

und

$$dU_{ZK}/dt = 1/C_{ZK} \times i_{ZK} \quad \text{Formel 15}$$

von der Leistung P_{ZK} ab. Überschreitet z. B. die Zwischenkreisspannung U_{ZK} eine zulässige obere Grenze der Zwischenkreisspannung U_{ZK} , so können der Zwischenkreiskondensator C_{ZK} und/oder Leistungsschalter S1, ..., S6 zerstört werden. Unterschreitet die Zwischenkreisspannung U_{ZK} z. B. einen Wert von $2 \times U_{batt}$, so kann die Elektromaschine nur mit eingeschränkter Leistung betrieben werden und/oder es können Drehmomentschwankungen auftreten. Hieraus folgt, dass auch die Zwischenkreisspannung U_{ZK} vorzugsweise gesteuert oder geregelt werden sollte. Die Steuerung oder Regelung der Zwischenkreisspannung U_{ZK} kann hierbei indirekt durch eine geeignete Wahl der elektrischen Leistung P_{EM} und der Leistung P_{NV} eingestellt werden. Hierbei besteht allerdings das Problem, dass nur drei zu regelnde Größen (P_{EM} , P_{NV} , U_{ZK}) mit einer Steuereinheit, die letztendlich nur die Leistung P_{NV} und die Leistung P_{EM} einstellen kann, zu regeln sind. Dieses Problem ist durch die Strategieeinheit **11** gelöst. Diese kann, abhängig von einer jeweiligen Betriebssituation, einer Priorisierung der Regelgrößen vornehmen. Dies kann auch als Optimierungsproblem aufgefasst werden, bei dem sich eine Gütefunktion betriebssituationsabhängig ändert. Hierbei bestimmt die Strategieeinheit **11** einen gewünschten Sollstrom $i_{L,soll}$ durch die Induktivität L und ein Sollmoment M_{soll} abhängig von einer aktuellen Zwischenkreisspannung U_{ZK} , einer aktuellen Batteriespannung U_{batt} und weiteren Eingangsgrößen, von denen exemplarisch eine Fahrpedal-Stellung FP und eine Bremspedalstellung BP dargestellt sind.

[0083] Es ergibt sich also eine Regelungshierarchie mit insgesamt vier Ebenen. In einer obersten Ebene der Regelhierarchie bestimmt die Strategieeinheit **11** einen gewünschten Sollstrom $i_{L,soll}$ und ein gewünschtes Sollmoment M_{soll} der Elektromaschine **6**. In einer zweiten Ebene bestimmt die Einheit **10** eine erste mittlere Phasenspannung U_{P1M} und die Einheit **12** Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} . In einer dritten Ebene der Regelungshierarchie bestimmt die Einheit **13** Soll-Phasenspannungen $U_{P1,soll}$, $U_{P2,soll}$, $U_{P3,soll}$. In einer vierten und letzten Ebene der Regelungshierarchie bestimmen Einheiten **14** Schaltzeitpunkte der Leistungsschalter S1, ..., S6 der Halbbrücken des Umrichters **7**.

[0084] Im Folgenden werden beispielhaft einige Betriebssituationen betrachtet.

Aufbau einer Zwischenkreisspannung U_{ZK} bei einer stehenden, momentenfreien Elektromaschine **6**:

[0085] Hierbei dient das Element zur Spannungswandlung, insbesondere die Induktivität L und die Leistungsschalter S1, S2, als Aufwärtswandler, dessen Funktion vorhergehend in den Erläuterungen zu [Fig. 2](#) dargestellt wurde. Die Leistungsschalter S3, ..., S6 können hierbei geöffnet bleiben. Alternativ können die ersten Leistungsschalter S3, S5 der zweiten und dritten Halbbrücke synchron zu dem ersten Leistungsschalter S1 der ersten Halbbrücke und die zweiten Leistungsschalter S4, S6 der zweiten und dritten Halbbrücke synchron zu dem zweiten Leistungsschalter S2 der ersten Halbbrücke angesteuert werden. Hierdurch ändert sich ein Zustand der stehenden und unbestromten Elektromaschine **6** nicht, da die Differenz-Klemmen-Spannungen U_{K1-K2} , U_{K1-K3} , U_{K2-K3} Null sind. Die Strategieeinheit **10** bestimmt ein Sollmoment $M_{soll} = 0$ und eine Soll-Zwischenkreisspannung $U_{ZK,soll}$ von z. B. $2 \times U_{batt}$. Ein Sollstrom $i_{L,soll}$, insbesondere eine Stromstärke des Sollstroms $i_{L,soll}$, kann dann z. B. auf einfache Weise mittels eines P-Reglers vorgegeben werden. Beispielsweise kann $i_{L,soll}$ gemäß

$$i_{L,soll} = P_{const} \times (U_{ZK,soll} - U_{ZK}) \quad \text{Formel 16}$$

mit einem Verstärkungsfakt P_{const} kleiner Null bei der in [Fig. 2](#) dargestellten Richtung des Stromes i_L in [Fig. 2](#) sein.

Anlassen:

[0086] Hierbei ergeben sich zwei Steuerungsszenarien. Ist ein maximal einstellbares Drehmoment durch die Eigenschaften der Elektromaschine **6** begrenzt, so wird das Sollmoment M_{soll} auf dieses maximal mögliche Moment eingestellt. Die Strategieeinheit **10** bestimmt dann einen Sollstrom $i_{L,soll}$, mit dem auch die Zwischenkreisspannung U_{ZK} auf eine vorgegebene Soll-Zwischenkreisspannung $U_{ZK,soll}$ geregelt wird

(siehe Formel 16). Ist ein maximal einstellbares Drehmoment nicht durch die Eigenschaften der Elektromaschine **6**, sondern durch eine maximale, der Bordnetz-batterie **4** entnehmbare Leistung begrenzt, so bestimmt die Strategieeinheit **10** den Sollstrom $i_{L,soll}$ als den betragsmäßig maximal zulässigen, in Bezug auf die in [Fig. 2](#) dargestellte Stromrichtung negativen, Wert $i_{L,soll,max}$. Hierdurch wird der Elektromaschine **6** soviel Energie wie möglich zugeführt. Das Sollmoment M_{soll} kann dann so vorgegeben werden, dass die Zwischenkreisspannung U_{ZK} auf eine vorbestimmte Soll-Zwischenkreisspannung $U_{ZK,soll}$ geregelt wird, im einfachsten Fall mittels eines P-Reglers gemäß Formel 16. Erreicht das Sollmoment M_{soll} hierbei einen maximal zulässigen Wert oder nähert sich die Zwischenkreisspannung U_{ZK} ihrem maximal zulässigen Wert, so kann die Strategieeinheit den Betrag des Sollstromes $i_{L,soll}$ betragsmäßig reduzieren. In beiden Szenarien kann zusätzlich die Batteriespannung U_{batt} erfasst werden, wobei bei einem Unterschreiten einer unteren Grenze der Batteriespannung U_{batt} der Strom $i_{L,soll}$ betragsmäßig reduziert werden sollte. Hierdurch lässt sich in vorteilhafter Weise ein optimaler Leistungspunkt der Bordnetz-batterie **4** einstellen.

Rekuperieren:

[0087] Analog zum Anlassen können auch im Rekuperationsmodus unterschiedliche Steuerungsszenarien verwendet werden. Ist das maximal mögliche negative Moment nicht durch Eigenschaften der Elektromaschine **6** beschränkt, so kann die Strategieeinheit **10** einen maximal zulässigen, in Bezug auf die in [Fig. 2](#) dargestellte Stromrichtung des Stromes i_L positiven, Sollstrom $i_{L,soll}$ ausgeben. Hierbei entzieht die Bordnetz-batterie **4** der als Generator betriebenen Elektromaschine **6** soviel elektrische Energie wie möglich. Das Sollmoment M_{soll} kann in diesem Fall derart vorgegeben werden, dass die Zwischenkreisspannung U_{ZK} auf eine vorgegebene Soll-Zwischenkreisspannung $U_{ZK,soll}$ geregelt wird, was wiederum mittels eines einfachen P-Regel gemäß Formel 16 erfolgen kann. Erreicht das Sollmoment M_{soll} hierbei einen minimal zulässigen Wert oder nähert sich die Zwischenkreisspannung U_{ZK} einem minimal zulässigen Wert, so kann der Sollstrom $i_{L,soll}$ durch die Strategieeinheit betragsmäßig reduziert werden. Auch hierbei kann zusätzlich die Batteriespannung U_{batt} erfasst werden und bei Überschreiten einer oberen Grenze der Batteriespannung U_{batt} der Sollstrom $i_{L,soll}$ betragsmäßig reduziert werden. Ist das maximal einstellbare Drehmoment durch Eigenschaften der Elektromaschine bestimmt, so ist das Sollmoment M_{soll} auf dieses maximale Drehmoment einzustellen.

[0088] Selbstverständlich können auch weitere Betriebs-situationen, z. B. eine Anfahrhilfe, ein Abwürgeschutz, eine so genannte Motor-Boost-Funktion, ein

Entladen des Zwischenkreiskondensators C_{ZK} in die Bordnetz-batterie **4** am Fahrtende und eine normale Generatorfunktion ohne Begrenzung mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des erfindungsgemäßen Verfahrens realisiert werden.

[0089] In den vorhergehenden Ausführungen wurde die Bordnetz-batterie **4** als einzige Energiequelle betrachtet, mittels derer die Elektromaschine **6** im motorischen Betrieb mit elektrischer Energie versorgt werden kann. Der Zwischenkreiskondensator C_{ZK} kann hierbei als Glättungskondensator aufgefasst werden, der Maximal-Leistungen bestenfalls im Millisekundenbereich aufnehmen oder abgeben kann. Hierbei ist es nicht sinnvoll, die Elektromaschine auf wesentlich größere Leistungen auszulegen als die Bordnetz-batterie **4** kurzzeitig aufnehmen oder abgeben kann. Optional kann dem Zwischenkreiskondensator C_{ZK} auch ein so genannter Dünnschicht-Kondensator parallel geschaltet werden. Dieser kann dann im Sekundenbereich ähnliche oder sogar größere Leistungen als die Bordnetz-batterie **4** aufnehmen oder abgeben. Somit kann die Elektromaschine **6** auf höhere Leistungen als die kurzfristig von der Bordnetz-batterie **4** abgebbaren oder aufnehmbaren Leistungen ausgelegt werden. Hierbei kann es erforderlich sein, die Leistungsschalter S1, ..., S6 auf größere Ströme auszulegen.

[0090] Ein Energieinhalt eines Kondensators hängt quadratisch von einer über dem Kondensator abfallenden Spannung ab.

$$E = 0,5 \times C \times U \times U$$

Formel 17.

[0091] Entsprechend der vorhergehend erläuterten Betriebs-situation eines Aufbaus einer Zwischenkreisspannung U_{ZK} bei stehender, momentenfreier Elektromaschine kann in einer solchen Anordnung der Dünnschicht-Kondensator auf einen möglichst hohen Energieinhalt aufgeladen werden. Hierdurch kann für mindestens einen motorischen Hochlastfall, wie z. B. ein Kaltstart eines Dieselmotors, kurzzeitig eine elektrische Leistung zur Verfügung gestellt werden, die die maximal von der Bordnetz-batterie **4** zur Verfügung stehende Leistung überschreitet. In einem solchen Fall würde die Strategieeinheit **10** eine Soll-Zwischenkreisspannung $U_{ZK,soll}$ nahe eines maximal zulässigen Wertes vorgeben (z. B. $4 \times U_{batt}$, in diesem Fall ca. 48 V). Zusätzlich könnte die Strategieeinheit **10** den Sollstrom $i_{L,soll}$ auf einen minimal zulässigen (negativen) Wert begrenzen.

[0092] Während eines vorhergehend erläuterten Anlassvorgangs kann eine Vorrichtung, die zusätzlich einen Dünnschicht-Kondensator umfasst, derart gesteuert werden, dass die Strategieeinheit **10** ein maximal zulässiges Sollmoment M_{soll} und einen minimal zulässigen Sollstrom $i_{L,soll}$ anfordert. Die elektrische Leistung, die über die von der Bordnetzbat-

terie **4** abgegebene Leistung hinaus benötigt wird, kann der Dünnschicht-Kondensator abgeben, wobei die Zwischenkreisspannung U_{ZK} sinkt. In einem Rekuperationsfall, analog zu dem vorhergehend erläuterten Rekuperationsbetrieb, kann die Strategieeinheit am Beginn des Rekuperationsbetriebs eine relativ niedrige Soll-Zwischenkreisspannung $U_{ZK,soll}$ anfordern (z. B. $2 \times U_{batt}$). Bei einer ausreichend starken Bremsung würde die Strategieeinheit dann einen maximalen Sollstrom $i_{L,soll}$ und ein minimales, d. h. betragsmäßig maximales generatorisches, Sollmoment M_{soll} anfordern. Die elektrische Leistung, die die Bordnetz-batterie **4** nicht aufnehmen kann, wird im Dünnschicht-Kondensator gespeichert. Um bei Erreichen des Maximalwertes der Zwischenkreisspannung U_{ZK} das Bremsmoment nicht schlagartig reduzieren zu müssen, kann es sinnvoll sein, dass die Strategieeinheit ab einer vorbestimmten Schwelle der Zwischenkreisspannung U_{ZK} , z. B. bei 90% einer maximalen Zwischenkreisspannung U_{ZK} , beginnt, das Sollmoment M_{soll} betragsmäßig zu reduzieren. Nach Ende der Bremsung kann die Strategieeinheit **11** den Sollstrom $i_{L,soll}$ weiterhin auf einen hohen Sollwert belassen, um die Zwischenkreisspannung u_{ZK} für eine gegebenenfalls weitere Rekuperation vorzubereiten.

[0093] Es sind elektrische Verschaltungen von Elektromaschinen denkbar, bei denen die vorhergehend erläuterten Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} nicht explizit wie in der in [Fig. 2](#) dargestellten Vorrichtung **1** zur Verfügung stehen. Bei derartig verschalteten Elektromaschinen wird eine gewünschte Betriebsweise (Drehzahl, Drehmoment) der Elektromaschine und hierfür einzustellende Phasenspannungen U_{P1} , U_{P2} , U_{P3} oder Schaltzeitpunkte der Leistungsschalter $S1$, ..., $S6$ direkt ermittelt. Auch kann neben dem Sollmoment M_{soll} und gegebenenfalls weiteren gemessenen Größen üblicherweise auch die Zwischenkreisspannung U_{ZK} vorgegeben sein. Stehen nicht die Phasenspannungen U_{P1} , U_{P2} , U_{P3} , sondern ausschließlich Tastverhältnisse zur Verfügung, können diese gemäß Formel 6 in Phasenspannungen U_{P1} , U_{P2} , U_{P3} umgerechnet werden. Im Folgenden werden Berechnungsverfahren angegeben, mit denen berechnete Phasenspannungen U_{P1} , U_{P2} , U_{P3} einer beliebigen Elektromaschine in die erfindungsgemäßen Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} umgerechnet werden können.

[0094] In einem ersten Fall subtrahiert man von den vorgegebenen Phasenspannungen U_{P1} , U_{P2} , U_{P3} jeweils die Hälfte der Zwischenkreisspannung U_{ZK} , um die Motorspannungen U_{S1} bis U_{S3} zu erhalten. Wenn die zeitlichen Mittelwerte von den so berechneten Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} bei einem in einem konstanten Betriebspunkt betriebener Elektromaschine **6** gleich oder nahe Null sind, ist ein korrekter Betrieb der Elektromaschine mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens möglich.

[0095] In einer zweiten Alternative kann ein Mittelwert aus den Phasenspannungen U_{P1} bis U_{P3} bestimmt und von den jeweiligen Phasenspannungen U_{P1} , U_{P2} , U_{P3} subtrahiert werden, um die Motorspannungen U_{S1} , U_{S2} , U_{S3} zu erhalten.

Bezugszeichenliste

1	Vorrichtung zur Energieübertragung
2	Niedrigspannungsbereich
3	Hochspannungsbereich
4	Bordnetzbatterie
5	elektrische Verbraucher
6	Elektromaschine
7	Umrichter
8	Element zur Spannungswandlung
10	Einheit zur Bestimmung einer mittleren Phasenspannung
11	Strategieeinheit
12	Einheit zur Bestimmung mindestens einer Motorspannung
13	Einheit zur Bestimmung einer Soll-Phasenspannung
14	Einheit zur Bestimmung von Schaltzeitpunkten
U_{batt}	Batteriespannung
U_{ZK}	Zwischenkreisspannung
U_{P1}	erste Phasenspannung
U_{P2}	zweite Phasenspannung
U_{P3}	dritte Phasenspannung
U_{S1}	erste Motorspannung
U_{S2}	zweite Motorspannung
U_{S3}	dritte Motorspannung
L	Induktivität
U_L	Spannung über der Induktivität
U_{P1M}	erste mittlere Phasenspannung
$U_{P1,soll}$	erste Soll-Phasenspannung
$U_{P2,soll}$	zweite Soll-Phasenspannung
$U_{P3,soll}$	dritte Soll-Phasenspannung
i_{NV}	Niedrigspannungsbereich-Strom
i_{batt}	Batteriestrom
i_L	Strom durch die Induktivität
i_{HV}	Hochspannungsbereich-Strom
i_{ZK}	Zwischenkreisstrom
i_{P1}	erster Phasenstrom
i_{P2}	zweiter Phasenstrom
i_{P3}	dritter Phasenstrom
$i_{L,soll}$	Sollstrom durch die Induktivität
S1	erster Leistungsschalter der ersten Halbbrücke
S2	zweiter Leistungsschalter der ersten Halbbrücke
S3	erster Leistungsschalter der zweiten Halbbrücke
S4	zweiter Leistungsschalter der zweiten Halbbrücke
S5	erster Leistungsschalter der dritten Halbbrücke
S6	zweiter Leistungsschalter der dritten Halbbrücke

D1	Diode
D2	Diode
D3	Diode
D4	Diode
D5	Diode
D6	Diode
S7	erster Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung
S8	zweiter Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung
D7	Diode
D8	Diode
K1	erste Klemme der Elektromaschine
K2	zweite Klemme der Elektromaschine
K3	dritte Klemme der Elektromaschine
S	Sternpunkt
ML1	erste Motorinduktivität der Elektromaschine
ML2	zweite Motorinduktivität der Elektromaschine
ML3	dritte Motorinduktivität der Elektromaschine
FP	Fahrpedalsensor-Signal
BP	Bremspedalsensor-Signal
M_{soll}	Sollmoment
α	Rotorlage
Ω	Drehzahl
T_{S1}	Schaltzeit des ersten Leistungsschalters der ersten Halbbrücke
T_{S2}	Schaltzeit des zweiten Leistungsschalters der ersten Halbbrücke

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 10244229 A1 [[0004](#), [0016](#), [0020](#)]
- DE 19857645 A1 [[0005](#), [0016](#), [0020](#)]

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Energieübertragung in einem Kraftfahrzeug, wobei das Kraftfahrzeug ein Bordnetz aufweist, wobei das Bordnetz mindestens einen Niederspannungsbereich (2) mit einem ersten Spannungsniveau aufweist, wobei die Vorrichtung (1) mindestens eine Elektromaschine (6), einen der Elektromaschine (6) zugeordneten Umrichter (7), mindestens einen Zwischenkreis-Kondensator (C_{ZK}), mindestens einen dem Niederspannungsbereich zugeordneten Energiespeicher, mindestens ein Element zur Spannungswandlung und mindestens eine Steuereinheit umfasst, wobei die Elektromaschine (6) in einem motorischen Betrieb oder generatorischen Betrieb betreibbar ist, wobei der Umrichter (7) mindestens eine Halbbrücke mit zwei Leistungsschaltern (S1, S2, S3, S4, S5, S6) aufweist, wobei ein Abschnitt zwischen den Leistungsschaltern (S1, S2, S3, S4, S5, S6) über einen ersten Versorgungspfad mit einer Klemme (K1, K2, K3) der Elektromaschine (6) elektrisch verbunden ist, wobei das Element zur Spannungswandlung mindestens zwei Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8) und mindestens eine Induktivität (L) umfasst, wobei die Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung die Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) der mindestens einen Halbbrücke des Umrichters (7) sind, wobei die mindestens eine Induktivität (L) des Elements zur Spannungswandlung in einem zweiten Versorgungspfad, der den Niederspannungsbereich (2) und den zwischen den Leistungsschaltern (S1, S2, S3, S4, S5, S6) der Halbbrücke liegenden Abschnitt der Halbbrücke elektrisch verbindet, angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Versorgungspfad von dem ersten Versorgungspfad verschieden ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in dem motorischen Betrieb der Elektromaschine (6) eine Energieversorgung der Elektromaschine (6) ausschließlich aus dem Energiespeicher gewährleistet ist.

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Umrichter (7) als dreiphasiger Umrichter (7) ausgebildet ist, wobei jeder Phase des Umrichters (7) eine Halbbrücke mit jeweils zwei Leistungsschaltern (S1, S2, S3, S4, S5, S6) zugeordnet ist, wobei ein Abschnitt zwischen den Leistungsschaltern (S1, S2, S3, S4, S5, S6) jeder Halbbrücke über erste Versorgungspfade mit jeweils einer Klemme (K1, K2, K3) einer dreiphasigen Elektromaschine (6) elektrisch verbunden ist, wobei das Element zur Spannungswandlung 6 Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) und 3 Induktivitäten (L1, L2, L3) umfasst, wobei die 6 Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) die jeweils 2 Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) der Halbbrücken des Umrichters (7) sind, wobei jeweils eine Induktivitäten (L1, L2, L3) des Elements zur Spannungswand-

lung in jeweils zweiten Versorgungspfad angeordnet sind, wobei die zweiten Versorgungspfade den Niederspannungsbereich (2) und den zwischen den Leistungsschaltern (S1, S2, S3, S4, S5, S6) der jeweiligen Halbbrücke liegenden Abschnitt der jeweiligen Halbbrücke elektrisch verbinden und von den ersten Versorgungspfaden verschieden sind.

4. Vorrichtung nach einer der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Steuereinheit ein Schalten der Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) des Umrichters (7) in Abhängigkeit mindestens einer gewünschten elektrischen Leistung (P_{EM}) der Elektromaschine und einer gewünschten, in den Niederspannungsbereich (2) hinein oder aus dem Niederspannungsbereich (2) heraus zu übertragenden, Leistung (P_{NV}) steuerbar ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bordnetz zusätzlich mindestens einen Hochspannungsbereich (3) aufweist.

6. Verfahren zur Energieübertragung in einem Kraftfahrzeug, wobei das Kraftfahrzeug ein Bordnetz aufweist, wobei das Bordnetz mindestens einen Niederspannungsbereich (2) mit einem ersten Spannungsniveau aufweist, wobei das Kraftfahrzeug mindestens eine Elektromaschine (6), einen der Elektromaschine (6) zugeordneten Umrichter (7), mindestens einen Zwischenkreis-Kondensator (C_{ZK}), mindestens einen dem Niederspannungsbereich zugeordneten Energiespeicher, mindestens ein Element zur Spannungswandlung und mindestens eine Steuereinheit umfasst, wobei die Elektromaschine (6) in einem motorischen Betrieb oder generatorischen Betrieb betrieben wird, wobei der Umrichter (7) mindestens eine Halbbrücke mit zwei Leistungsschaltern (S1, S2, S3, S4, S5, S6) aufweist, wobei ein Abschnitt zwischen den Leistungsschaltern (S1, S2, S3, S4, S5, S6) über einen ersten Versorgungspfad mit einer Klemme (K1, K2, K3) der Elektromaschine (6) elektrisch verbunden ist, wobei das Element zur Spannungswandlung mindestens zwei Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8) und mindestens eine Induktivität (L) umfasst, wobei die Leistungsschalter des Elements zur Spannungswandlung die Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) der mindestens einen Halbbrücke des Umrichters (7) sind, wobei die mindestens eine Induktivität (L) des Elements zur Spannungswandlung in einem zweiten Versorgungspfad, der den Niederspannungsbereich (2) und den zwischen den Leistungsschaltern der Halbbrücke liegenden Abschnitt der Halbbrücke elektrisch verbindet, angeordnet ist, wobei der zweite Versorgungspfad von dem ersten Versorgungspfad verschieden ist, wobei im generatorischen Betrieb die Steuereinheit die Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) des Elements zur Spannungswandlung derart steuert, dass von der Elektromaschine (6) erzeugte

elektrische Energie zumindest teilweise in den Niederspannungsbereich hinein übertragen wird, wobei im motorischen Betrieb die Steuereinheit Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) des Elements zur Spannungswandlung derart steuert, dass eine in dem Energiespeicher gespeicherte elektrische Energie zumindest teilweise an die Elektromaschine übertragen wird.

und dem zweiten Betriebsmodus umgeschaltet wird, wobei ein Umschalten ein hartes Umschalten oder ein hysteresebasiertes Umschalten oder ein überblendbasiertes Umschalten ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einheit (10) zur Bestimmung mindestens einer mittleren Phasenspannung (U_{P1M}) eine mittlere Phasenspannung (U_{P1M}) des Umrichters (7) mindestens in Abhängigkeit einer gewünschten, in den Niederspannungsbereich (2) hinein oder aus dem Niederspannungsbereich (2) heraus zu übertragenden, Leistung (P_{NV}) bestimmt, wobei mindestens eine Einheit (12) zur Bestimmung von mindestens einer Motorspannung (U_{S1} , U_{S2} , U_{S3}) der Elektromaschine (6) eine Motorspannung (U_{S1} , U_{S2} , U_{S3}) der Elektromaschine (6) mindestens in Abhängigkeit einer gewünschten elektrischen Leistung (P_{EM}) der Elektromaschine (6) bestimmt, wobei mindestens eine Einheit (13) zur Bestimmung mindestens einer Soll-Phasenspannung ($U_{P1,soll}$, $U_{P2,soll}$, $U_{P3,soll}$) eine Soll-Phasenspannung ($U_{P1,soll}$, $U_{P2,soll}$, $U_{P3,soll}$) des Umrichters (7) mindestens in Abhängigkeit der mittleren Phasenspannung (U_{P1M}) und der Motorspannung (U_{S1} , U_{S2} , U_{S3}) bestimmt, wobei die Steuereinheit ein Schalten der Leistungsschalter (S1, S2, S3, S4, S5, S6) des Umrichters (7) in Abhängigkeit der Soll-Phasenspannung ($U_{P1,soll}$, $U_{P2,soll}$, $U_{P3,soll}$) steuert.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine gewünschte, in den Niederspannungsbereich (2) hinein oder aus dem Niederspannungsbereich (2) heraus zu übertragende, Leistung (P_{NV}) und eine gewünschte elektrische Leistung (P_{EM}) der Elektromaschine von einer Strategieeinheit (10) mindestens in Abhängigkeit einer Zwischenkreisspannung (U_{ZK}) und/oder mindestens eines fahrdynamischen Sensorsignals und/oder mindestens eines fahrbetriebsspezifischen Sensorsignals (FP, BP) bestimmt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Einheit (13) zur Bestimmung mindestens einer Soll-Phasenspannung ($U_{P1,soll}$, $U_{P2,soll}$, $U_{P3,soll}$) die mindestens eine Soll-Phasenspannung ($U_{P1,soll}$, $U_{P2,soll}$, $U_{P3,soll}$) in Abhängigkeit einer Drehzahl (Ω) der Elektromaschine (6) bestimmt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Einheit (13) zur Bestimmung mindestens einer Soll-Phasenspannung ($U_{P1,soll}$, $U_{P2,soll}$, $U_{P3,soll}$) die mindestens eine Soll-Phasenspannung ($U_{P1,soll}$, $U_{P2,soll}$, $U_{P3,soll}$) gemäß eines ersten und eines zweiten Betriebsmodus bestimmt, wobei in Abhängigkeit der Drehzahl (Ω) zwischen dem ersten

Anhängende Zeichnungen

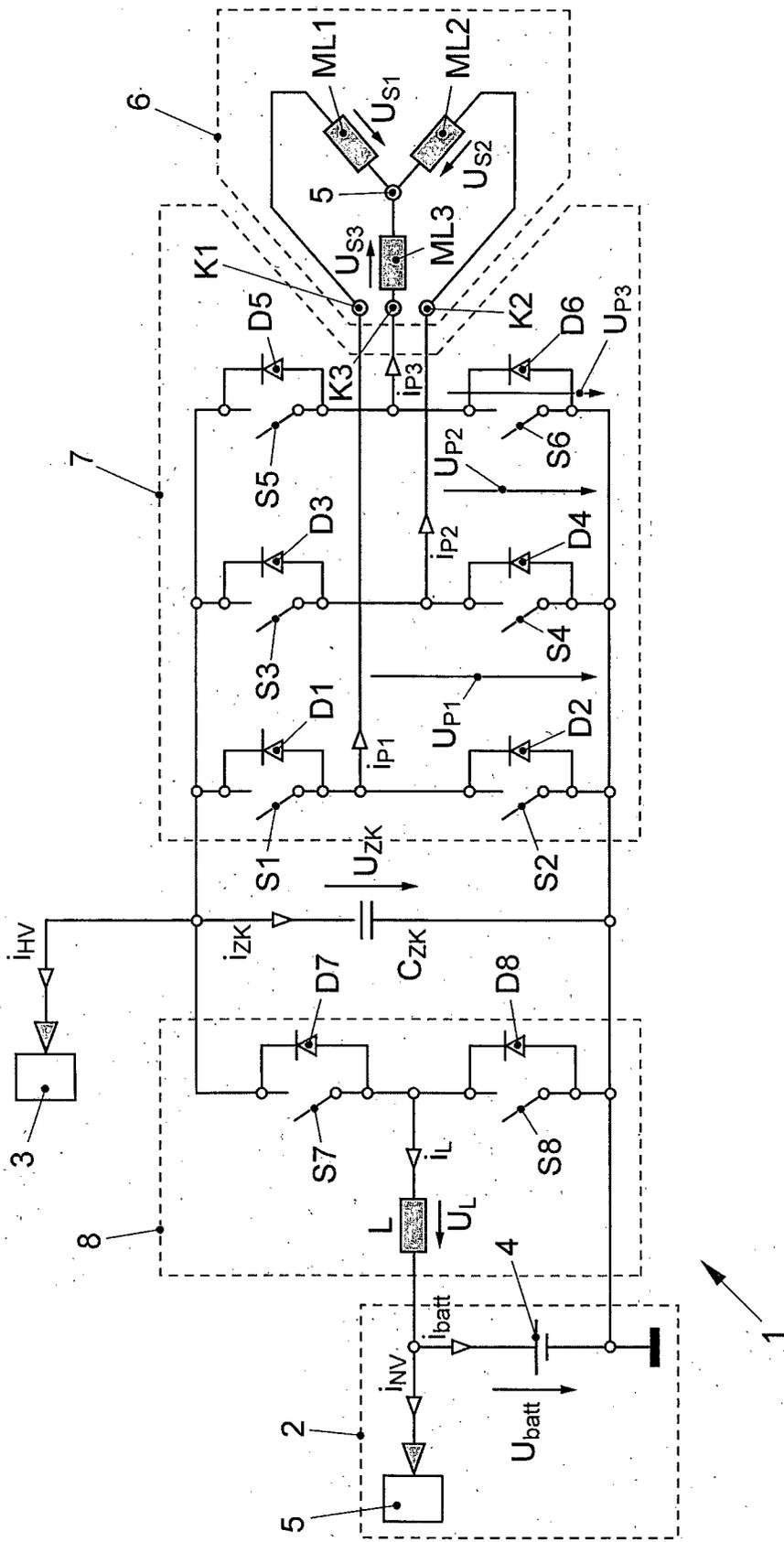


FIG. 1
Stand der Technik

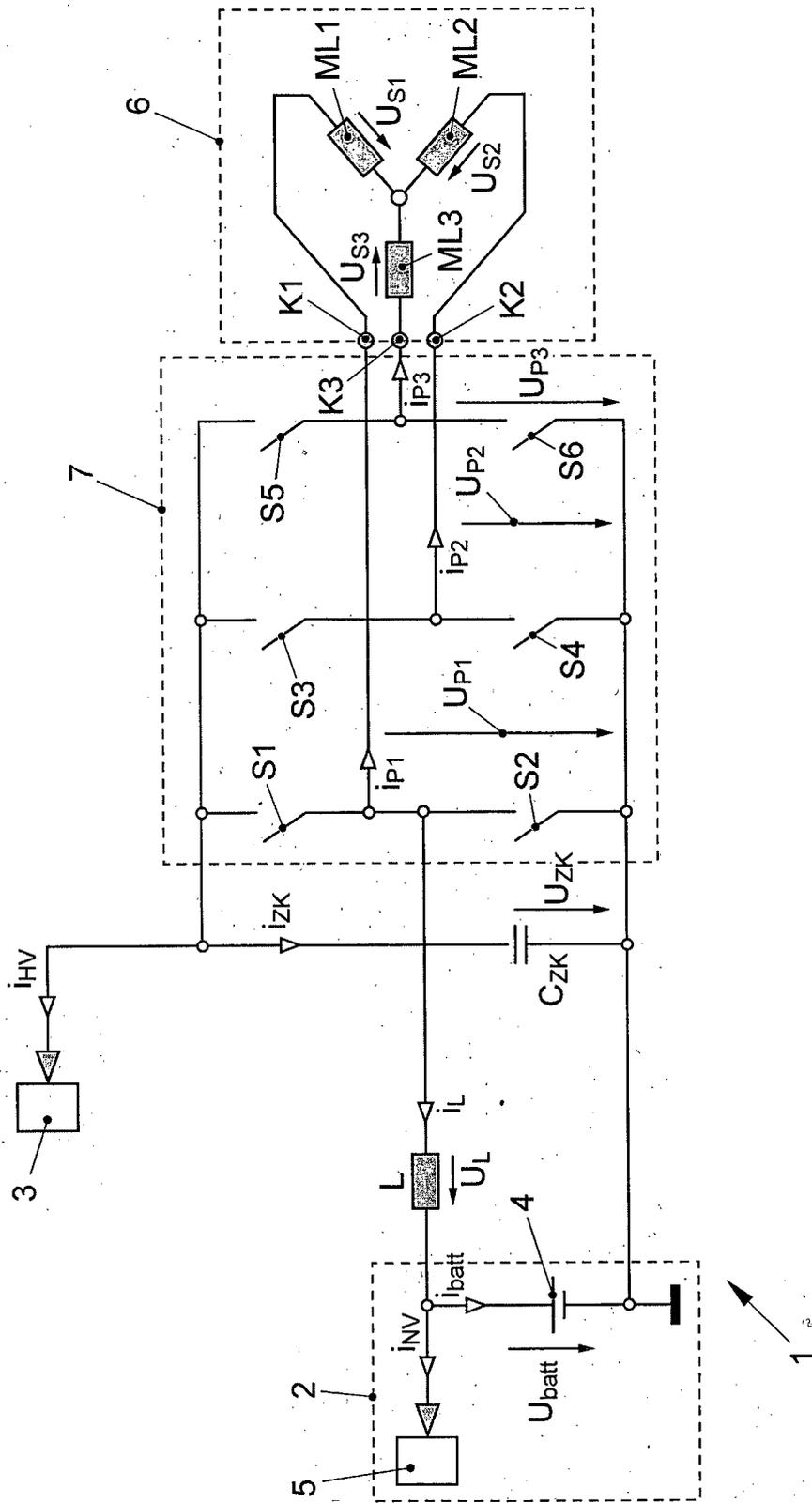


FIG. 2

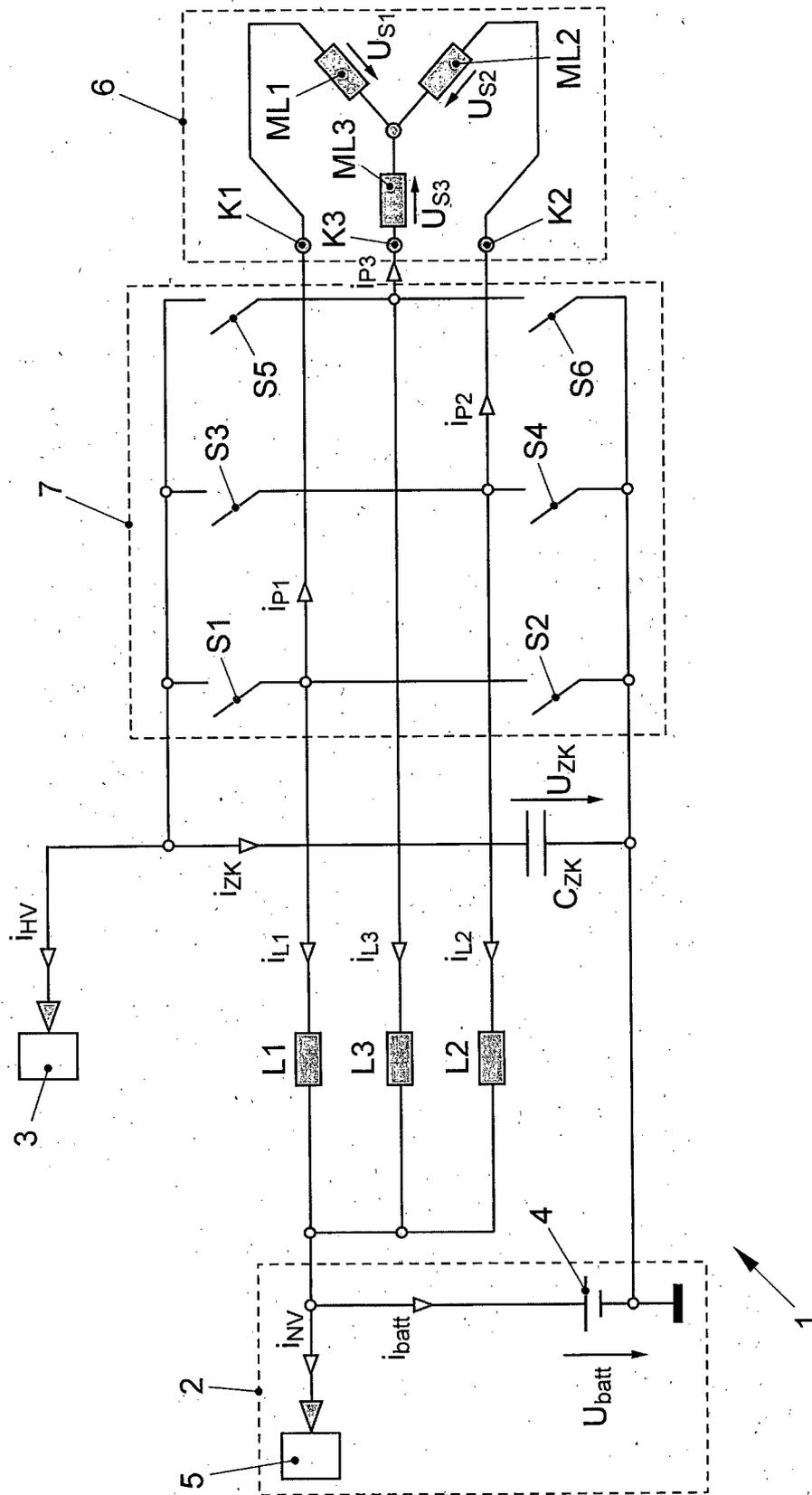


FIG. 3

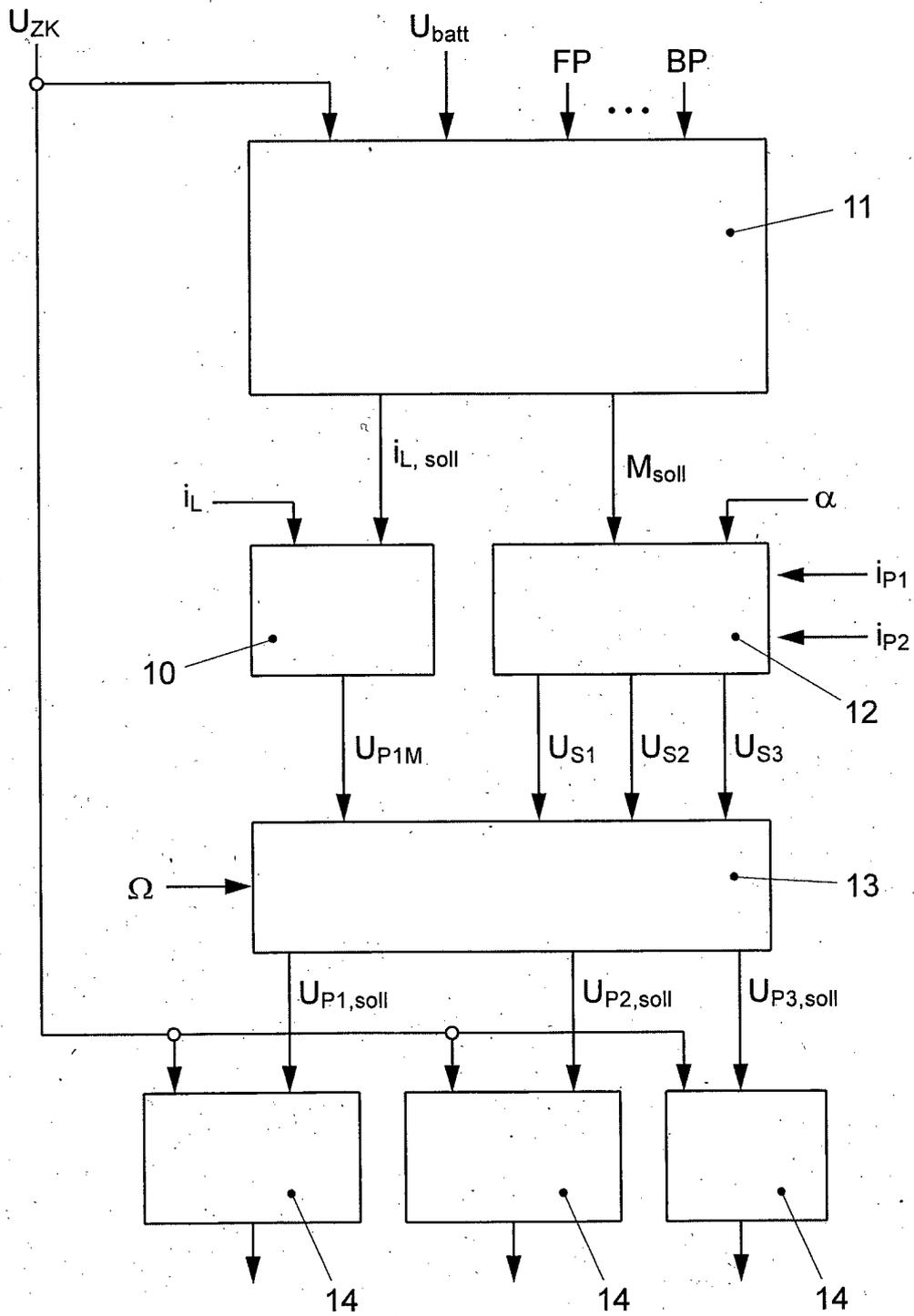


FIG. 4