



(10) **DE 10 2019 131 085 A1** 2021.05.20

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 131 085.7**

(22) Anmeldetag: **18.11.2019**

(43) Offenlegungstag: **20.05.2021**

(51) Int Cl.: **H02M 7/48** (2007.01)

H02M 3/00 (2006.01)

H02M 1/44 (2007.01)

B60L 50/50 (2019.01)

(71) Anmelder:
AUDI AG, 85057 Ingolstadt, DE

(72) Erfinder:
Apelsmeier, Andreas, 85131 Pollenfeld, DE;
Schiedermeier, Maximilian, 85049 Ingolstadt, DE;
Rettner, Cornelius, 91052 Erlangen, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

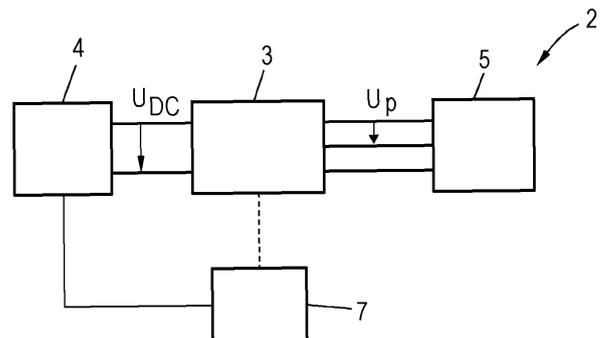
DE	10 2008 034 357	A1
DE	10 2018 000 871	A1
US	2018 / 0 251 036	A1
US	2019 / 0 267 888	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betrieb einer elektrischen Schaltung, elektrische Schaltung und Kraftfahrzeug**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Betrieb einer elektrischen Schaltung (2), wobei die elektrische Schaltung (2) einen Inverter (3), einen Gleichspannungswandler (4) und eine Last (5) umfasst, wobei der Inverter (3) auf der Gleichstromseite mit dem Ausgang des Gleichspannungswandlers (4) und auf der Wechselstromseite mit der Last (5) verbunden ist, wobei der Inverter (3) zum Betreiben der Last (5) in verschiedenen Arbeitspunkten ansteuerbar ist, wobei die Höhe der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers (4) in Abhängigkeit des momentanen Arbeitspunkts eingestellt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer elektrischen Schaltung, wobei die elektrische Schaltung einen Inverter, einen Gleichspannungswandler und eine Last umfasst, wobei der Inverter auf der Gleichstromseite mit dem Ausgang des Gleichspannungswandlers und auf der Wechselstromseite mit der Last verbunden ist, wobei der Inverter zum Betreiben der Last in verschiedenen Arbeitspunkten ansteuerbar ist. Weiterhin betrifft die Erfindung eine elektrische Schaltung sowie ein Kraftfahrzeug.

[0002] Es ist bekannt einen Gleichspannungswandler, welcher mit der Gleichstromseite eines Inverters verbunden ist, zum Erzeugen einer konstanten Gleichspannung zu verwenden. Beispielsweise durch eine Regelung oder eine Steuerung des Gleichspannungswandlers kann an der Gleichstromseite des Inverters ein konstantes Spannungsniveau mit einer Gleichspannung in definierter Höhe eingestellt werden.

[0003] Bei Betrieb eines beispielsweise als Pulswechselrichter ausgebildeten Inverters kann es zu Störungen in Form von Spannungsrippeln kommen, welche auf das auf der Wechselstromseite angeschlossene Wechselstromnetz und/oder auf das an der Gleichstromseite angeschlossene Gleichstromnetzwerk rückwirken und dort unerwünschte Auswirkungen haben können. Ferner kann durch das Auftreten derartiger Spannungsrippel die elektromagnetische Verträglichkeit der elektrischen Schaltung reduziert werden, da auch eine Rückwirkung dieser Art von Störung auf in der Nähe angeordnete, weitere Schaltungen auftreten kann.

[0004] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren bekannt, um bei elektrischen Schaltungen das Auftreten von Spannungsrippeln zu verhindern.

[0005] In DE 11 2016 000 750 T5 wird ein Wandler beschrieben, der zum Reduzieren von Rippelstrom durch eine Umschaltsteuerung in der Lage ist. Der Wandler umfasst dabei einen Verwandter mit einer ersten Umschalterschaltung, welche intermittierend einen Strom ausgibt, der über einen Kondensator geglättet wird. Weiterhin umfasst der Wandler einen Nachwandler mit einer zweiten Umschalterschaltung, an welcher der durch den Kondensator geglättete Strom intermittierend eingespeist wird. Durch eine Steuerschaltung wird das Umschalten der ersten und der zweiten Umschalterschaltungen derart gesteuert, dass ein Endzeitpunkt einer Ausgangsperiode, während der Strom aus der ersten Umschaltung ausgegeben wird, eine Zeitdifferenz zu einem Startzeitpunkt einer Eingangsperiode aufweist, während der

Strom an der zweiten Umschalterschaltung eingespeist wird.

[0006] In DE 10 2009 038 805 A1 wird ein Verfahren zum Steuern eines DC/DC-Wandlers beschrieben, bei dem der DC/DC-Wandler eine Versorgungsspannung für eine elektrische Last aus einer Bordnetzspannung zur Durchführung von Funktionen mit unterschiedlichen Leistungsbedarfen erzeugt, wobei die Versorgungsspannung auf einen vorgegebenen Sollwert gesteuert wird.

[0007] DE 10 2018 004 623 A1 offenbart ein Verfahren zur Energieversorgung eines elektrisch betriebenen Fahrzeugs, wobei das Laden eines elektrischen Batteriestrangs des elektrisch betriebenen Fahrzeugs über einen ersten Ladestrom mittels Wechselstrom erfolgt und das gleichzeitige Entladen eines zweiten Batteriestrangs über einen zweiten Ladestrom sowie das Nutzen eines Entladestroms von dem Entladen des zweiten Batteriestrangs zumindest teilweise für das Laden des ersten Batteriestrangs über den ersten Ladestrom ermöglicht wird. Bei einem als Teil des ersten Ladestroms vorgesehenen DC/DC-Wandler wird über einen Pufferkondensator ein Wechselstromrippel klein gehalten, um Schäden an der Batterie des Kraftfahrzeuges zu verhindern.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zum Betrieb einer elektrischen Schaltung anzugeben, bei dem von einem Inverter erzeugte Störungen reduziert werden können.

[0009] Zur Lösung dieser Aufgabe ist bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Höhe der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers in Abhängigkeit des momentanen Arbeitspunkts eingestellt wird.

[0010] Durch das Ändern der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers kann der Betrieb des Inverters derart angepasst werden, dass ein Spannungsrippel, welcher vom Inverter in seinem Betrieb erzeugt wird, nicht mehr oder zumindest weniger häufig auftritt und/oder insbesondere eine geringere Amplitude aufweist, wodurch sein störender Einfluss vorteilhaft reduziert werden kann. Abhängig von dem momentanen Arbeitspunkt, mit dem die Last über den Inverter betrieben wird, kann durch die Wahl einer geeigneten Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers, welche an der Gleichstromseite des Inverters anliegt, der Betriebspunkt des Inverters derart gewählt werden, dass ein von dem Inverter erzeugter Spannungsrippel insbesondere eine geringere Amplitude aufweist als es ohne Änderung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers der Fall wäre.

[0011] Dies hat den Vorteil, dass eine als Bestandteil des Inverters zur Filterung auf der Gleichspannungs-

seite vorgesehene Zwischenkreiskapazität reduziert werden kann, da insgesamt bei Betrieb der elektrischen Schaltung geringere Spannungsrippel auftreten und die Größe der Kapazität in der Regel an die maximal im Betrieb zu erwartenden Spannungsrippel angepasst ist. Eine geringere Zwischenkreiskapazität kann durch einen Zwischenkreiskondensator mit geringerer Kapazität und somit auch mit geringerer Baugröße und geringeren Stückkosten gestellt werden, was sich vorteilhaft auf den Bauraumbedarf und die Kosten des Inverters und somit auch der elektrischen Schaltung auswirkt. Weiterhin kann durch das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhaft das Auftreten von elektromagnetischen Emissionen beim Betrieb der elektrischen Schaltung aufgrund der verringerten Spannungsrippel reduziert werden.

[0012] Zur Steuerung des Gleichspannungswandlers, welcher auch als DC/DC-Wandler bezeichnet werden kann, kann eine Steuerungseinrichtung vorgesehen sein, welche den Gleichspannungswandler in Abhängigkeit des momentanen Arbeitspunkts der Last ansteuert. Die Steuerungseinrichtung kann den momentanen Arbeitspunkt der Last beispielsweise selbst ermitteln oder von einer weiteren Steuerungseinrichtung übermittelt bekommen. Es ist möglich, dass die zum Steuern oder Regeln des Gleichspannungswandlers eingesetzte Steuerungseinrichtung auch zum Steuern oder Regeln des Inverters ausgebildet ist. Unter dem momentanen Arbeitspunkt ist der Arbeitspunkt der Last zu verstehen, welcher aktuell an der Last eingestellt ist oder aktuell eingestellt wird oder eingestellt werden soll. Die Anpassung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers kann insbesondere gleichzeitig mit der Einstellung eines Betriebspunkts des Inverters und somit auch gleichzeitig mit der Einstellung des Arbeitspunkts der Last erfolgen. Es ist möglich, dass in der Steuerungseinrichtung eine Zuordnung von einer jeweils hinsichtlich des Auftretens und/oder der Amplitude von Spannungsrippeln optimalen Ausgangsspannung des Inverters zu jedem der möglichen Arbeitspunkte der Last hinterlegt ist. Diese Zuordnung kann beispielsweise experimentell oder durch Simulation oder Berechnung erstellt werden.

[0013] Durch die Anpassung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers in Abhängigkeit des momentanen Arbeitspunkts kann der Gleichspannungswandler als eine dynamische Filtereinheit aufgefasst werden. Die in Abhängigkeit des jeweils eingestellten momentanen Arbeitspunkts erfolgende dynamische Anpassung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers reduziert die Amplitude eines Spannungsrippels in der elektrischen Schaltung und erzeugt so den gleichen Effekt wie eine Filterung, ohne dass dafür eine entsprechende Kapazität eines Zwischenkreiskondensators und/oder ein weiterer, zur Filterung eingesetzter Kondensator, vorhanden sein muss.

[0014] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist unter dem Betrieb der Last in einem Arbeitspunkt durch den Inverter auch der Fall zu verstehen, dass über die Last eine als Wechselstrom vorliegende Leistung erzeugt wird, welche über den Inverter in eine als Gleichstrom vorliegende Leistung gewandelt wird. Bei einer als Elektromaschine ausgebildeten Last ist somit sowohl der Fall eines motorischen Betriebs der Elektromaschine als auch der Fall eines generatorischen Betriebs der Elektromaschine umfasst. Im generatorischen Betrieb kann die im Folgenden der Einfachheit halber immer als Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers bezeichnete Gleichspannung an der Gleichspannungsseite des Inverters auch als die oder eine Eingangsspannung des Gleichspannungswandlers aufgefasst werden. Sowohl im motorischen Betrieb als auch im generatorischen Betrieb kann abhängig von dem momentanen Arbeitspunkt der Last durch die Wahl der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers und somit durch die Anpassung des Betriebs des Inverters das Auftreten und/oder die Amplitude von Spannungsrippeln in der elektrischen Schaltung reduziert werden.

[0015] Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass durch die eingestellte Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers ein Modulationsgrad des insbesondere als Pulswechselrichter ausgebildeten Inverters verändert wird. Unter dem Begriff „Modulationsgrad“ kann in diesem Zusammenhang bei einem eine einphasige Wechselspannung erzeugenden Inverter der Quotient aus dem Spitzenwert oder dem Effektivwert der erzeugten Phasenspannung und der Eingangsgleichspannung des Inverters, welche der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers entspricht, verstanden werden. Bei einem mehrphasigen Wechselstrom kann der Modulationsgrad als Quotient aus dem Spitzenwert oder dem Effektivwert der Zwischenphasenspannung und der Eingangsgleichspannung des Inverters bzw. der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers aufgefasst werden.

[0016] Durch den über die Änderung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers eingestellten Modulationsgrad des Inverters ändert sich der von dem Inverter erzeugte Spannungsrippel. Bei einem beispielsweise als Pulswechselrichter ausgebildeten Inverter bestimmt der Modulationsgrad insbesondere auch ein Tastverhältnis einer zum Betrieb des Pulswechselrichters eingesetzten Pulsweitenmodulation und folglich auch das Auftreten und/oder die Amplitude von aufgrund der Pulsweitenmodulation als unerwünschte Spannungsrippel erzeugten Oberschwingungen. Die Amplitude des durch den Inverter erzeugten Spannungsrippels ist neben einem Impedanzverlauf des Inverters und einem Modulationsverfahren des Inverters in erster Linie von dem Modulationsgrad des Pulsweitenmodulationssignals, von einer Phasenverschiebung zwischen einer ers-

ten Harmonischen der Wechselspannung und dem Phasenstrom sowie einem Effektivwert des Phasenstroms abhängig.

[0017] Durch die erfindungsgemäß vorgesehene Änderung der Ausgangsspannung und eine damit erreichte Änderung des Modulationsgrads des Inverters kann der gewünschte Arbeitspunkt der Last somit mit einem definierten Modulationsgrad, welcher außerhalb eines kritischen Spannungsrippel-Niveaus des Inverters liegt, eingestellt werden. Dabei kann insbesondere der Arbeitspunkt der Last, das heißt der vom Inverter erzeugte Wechselstrom, beibehalten werden. In Bezug auf den Spannungsrippel kritische Betriebspunkte des Inverters können somit durch eine Änderung des Modulationsgrades vorteilhaft vermieden werden. Würde der Gleichspannungswandler nur auf eine konstante Ausgangsspannung geregelt werden, so wäre der Modulationsgrad und somit auch der Betriebspunkt des Inverters nur durch den momentanen Arbeitspunkt bestimmt und könnte innerhalb seines zulässigen Spektrums auch für den Spannungsrippel kritische Werte annehmen.

[0018] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass eine Phasenverschiebung zwischen der ersten Harmonischen einer Phasenspannung und einem Phasenstrom wenigstens einer Phase eines von dem Inverter erzeugten Wechselstroms und/oder ein Effektivwert des Phasenstroms und/oder ein Effektivwert der Phasenspannung und/oder eine Leiter-Leiter-Spannung bei Änderung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers beibehalten wird. Dies ermöglicht es, dass trotz der Änderung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers ein Betrieb der Last in dem momentan eingestellten oder einzustellenden Arbeitspunkt möglich ist. Das Auftreten des Spannungsrippels kann mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens somit vorteilhaft ohne Auswirkungen auf einen Betrieb der Last erfolgen.

[0019] Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass die Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers in Abhängigkeit eines Modulationsverfahrens, mit dem der Inverter betrieben wird, eingestellt wird. Der wenigstens eine für einen definierten Arbeitspunkt jeweils günstigste Modulationsgrad, das heißt der Modulationsgrad, in dem ein Spannungsrippel nur mit möglichst geringer Häufigkeit und/oder Amplitude auftritt, kann für verschiedene Modulationsverfahren jeweils unterschiedlich sein. Für einen beispielsweise in dem Arbeitspunkt vorliegenden und beizubehaltenden Phasenversatz zwischen der ersten Harmonischen der Motorspannung und einem Phasenstrom kann sich für verschiedene Modulationsverfahren jeweils ein anderer Modulationsgrad mit einer niedrigen Amplitude der Spannungsrippel ergeben.

[0020] Zur Anpassung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers in Abhängigkeit eines Modulationsverfahrens, mit dem der Inverter betrieben wird, kann z. B. in einer oder der Steuerungseinrichtung, welche den Gleichspannungswandler in Abhängigkeit des momentanen Arbeitspunkts ansteuert, eine Abhängigkeit zwischen den über den Arbeitspunkt einzustellenden Größen, dem Modulationsgrad und einem jeweils für verschiedene Kombinationen von Modulationsgrad und Arbeitspunkt auftretenden Spannungsrippel hinterlegt sein. Diese Abhängigkeit kann beispielsweise durch Experimente oder durch Simulation oder Berechnung bestimmt werden und als eine Tabelle oder ein Kennfeld in einem Speicher der Steuerungseinrichtung hinterlegt sein. Auf diese Weise kann jeweils für den momentanen Arbeitspunkt und das eingesetzte Modulationsverfahren eine geeignete Ausgangsspannung bzw. ein geeigneter Modulationsgrad bestimmt und eingestellt werden. Dies ermöglicht auch eine Reduktion des Spannungsrippels bei einem Pulswechselrichter, welcher in seinem Betrieb, beispielsweise arbeitspunktabhängig, mit wechselnden Modulationsverfahren betrieben wird. Als Modulationsverfahren zum Betreiben des Inverters können beispielsweise eine Raumzeigermodulation und/oder eine diskontinuierliche Raumzeigermodulation eingesetzt werden. Auch die Verwendung von weiteren Modulationsverfahren zum Betrieb des Inverters ist möglich.

[0021] Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass ein Gleichspannungswandler verwendet wird, dessen Ausgangsspannung größer und/oder kleiner als eine Eingangsspannung des Gleichspannungswandlers einstellbar ist. Dies ermöglicht bei Kopplung des Gleichspannungswandlers mit einer beispielsweise als Batterie ausgebildeten Gleichspannungsquelle, dass eine Ausgleichsspannung des Gleichspannungswandlers eingestellt wird, welche betragsmäßig über der Batteriespannung liegt oder welche betragsmäßig unter der Batteriespannung liegt. Auf diese Weise wird ein möglichst großer Bereich zum Einstellen der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers zur Verfügung gestellt, durch den vorteilhaft jeweils ein günstiger Betriebspunkt des Inverters einstellbar ist.

[0022] Für den Gleichspannungswandler kann dabei erfindungsgemäß vorgesehen sein, dass er als ein 4-Quadranten-Steller ausgebildet ist und/oder dass der Gleichspannungswandler einen Hochsetzsteller und einen Tiefsetzsteller umfasst. Auch weitere Ausgestaltungen, in denen der Gleichspannungswandler dazu geeignet ist, eine Ausgangsspannung zu erzeugen, welche größer und/oder kleiner als seine Eingangsspannung ist, sind möglich.

[0023] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der Gleichspannungswandler mit einer Taktfrequenz betrieben

wird, welche größer als eine Taktfrequenz des Inverters ist. Die Taktfrequenz des Inverters kann dabei beispielsweise die Taktfrequenz einer zum Betreiben des Inverters verwendeten Pulsweitenmodulation sein. Entsprechend kann auch die Taktfrequenz des Gleichspannungswandlers die Taktfrequenz einer Pulsweitenmodulation sein, mit der der Gleichspannungswandler, bzw. ein Schaltelement des Gleichspannungswandlers, betrieben wird. Dadurch, dass die Taktfrequenz des Gleichspannungswandlers höher ist als die Taktfrequenz des Inverters, kann ein schnelles Anpassen der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers an den momentanen Arbeitspunkt der Last erfolgen und somit möglichst schnell eine Anpassung des Betriebs des Inverters vorgenommen werden. Es ist insbesondere bevorzugt, wenn die Taktfrequenz des Gleichspannungswandlers wenigstens doppelt so groß wie die Taktfrequenz des Inverters ist. In einer weniger bevorzugten Ausgestaltung kann die Taktfrequenz des Gleichspannungswandlers auch gleich oder kleiner als die Taktfrequenz des Inverters sein.

[0024] Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass als Inverter ein Pulswechselrichter verwendet wird und/oder dass als Last eine elektrische Maschine verwendet wird. Bei der elektrischen Maschine kann es sich um eine Wechselstrommaschine, welche beispielsweise als permanenterregte Synchronmaschine, als fremderregte Synchronmaschine oder als fremderregte Asynchronmaschine ausgeführt sein kann, handeln.

[0025] Erfindungsgemäß kann vorgesehen sein, dass ein Gleichspannungswandler verwendet wird, welcher an seinem Eingang mit einem Gleichstromenergiespeicher, insbesondere einer Hochvoltbatterie, und/oder einer Brennstoffzelle verbunden ist.

[0026] Für eine erfindungsgemäße elektrische Schaltung ist vorgesehen, dass sie eine Steuerungseinrichtung, einen Inverter, einen Gleichspannungswandler und eine Last umfasst, wobei der Inverter auf der Gleichstromseite mit dem Ausgang des Gleichspannungswandlers und auf der Wechselstromseite mit der Last verbunden ist, wobei der Inverter zum Betreiben der Last in verschiedenen Arbeitspunkten ansteuerbar ist und wobei die Steuerungseinrichtung mit dem Gleichspannungswandler verbunden und zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet ist.

[0027] Die Steuerungseinrichtung der elektrischen Schaltung kann insbesondere auch zur Ansteuerung des Inverters zum Einstellen des Betriebspunkts des Inverters und somit auch des momentanen Arbeitspunkts ausgebildet sein.

[0028] Für die erfindungsgemäße elektrische Schaltung gelten die vorangehend in Bezug zum erfindungsgemäßen Verfahren beschriebenen Vorteile und Ausgestaltungen entsprechend.

und Ausgestaltungen entsprechend.

[0029] Für ein erfindungsgemäßes Kraftfahrzeug ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass es eine erfindungsgemäße elektrische Schaltung umfasst.

[0030] In einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Kraftfahrzeugs kann vorgesehen sein, dass die Last ein Traktionselektromotor des Kraftfahrzeuges ist und/oder dass der Gleichspannungswandler an seinem Eingang mit einem, insbesondere als Hochvoltbatterie ausgeführten, Traktionsenergiespeicher und/oder einer Brennstoffzelle des Kraftfahrzeuges verbunden ist. Das Kraftfahrzeug kann insbesondere ein batterieelektrisches Kraftfahrzeug, ein Hybridfahrzeug und/oder ein über eine Brennstoffzelle betreibbares Kraftfahrzeug sein.

[0031] Für das erfindungsgemäße Kraftfahrzeug gelten die in Bezug zur elektrischen Schaltung und in Bezug zum erfindungsgemäßen Verfahren dargelegten Vorteile und Ausgestaltungen entsprechend.

[0032] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen. Diese sind schematische Darstellungen und zeigen:

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Kraftfahrzeuges, und

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen elektrischen Schaltung.

[0033] In **Fig. 1** ist ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Kraftfahrzeuges **1** dargestellt. Das Kraftfahrzeug **1** umfasst eine erfindungsgemäße elektrische Schaltung **2**, welche einen Inverter **3**, einen Gleichspannungswandler **4** sowie eine Last **5** umfasst. Die Last **5** ist dabei als ein Traktionselektromotor des Kraftfahrzeuges **1** ausgebildet. Der Gleichspannungswandler **4** ist weiterhin auf seiner Gleichstromseite mit einem als Hochvoltbatterie ausgeführten Traktionsenergiespeicher **6** des Kraftfahrzeuges **1** verbunden. Der Traktionsenergiespeicher **6** kann mit weiteren Komponenten des Kraftfahrzeugs **1**, beispielsweise einer Brennstoffzelle des Kraftfahrzeugs **1**, verbunden sein.

[0034] Eine von dem Traktionsenergiespeicher **6** bereitgestellte Speicherspannung wird durch den Gleichspannungswandler **4** in eine Gleichspannung gewandelt, welche an der Gleichstromseite des Inverters **3** anliegt. Durch den Inverter **3** wird diese Gleichspannung, welche in einem Motorbetrieb der Last der Eingangsspannung des Inverters **3** entspricht, in eine Wechselspannung zum Betrieb der Last **5** gewandelt. Zur Steuerung des Fahrbetriebes des Kraftfahrzeuges **1** wird die als Traktionselektro-

motor des Kraftfahrzeugs **1** ausgebildete Last **5** fortlaufend in verschiedenen Arbeitspunkten angesteuert. Der Arbeitspunkt der Last **5** wird dabei über den Betrieb des Inverters **3** eingestellt.

[0035] In Fig. 2 ist ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen elektrischen Schaltung **2** dargestellt. Diese kann beispielsweise auch in dem vorangehend beschriebenen Kraftfahrzeug **1** eingesetzt werden. Neben den bereits vorgenannten Komponenten umfasst die elektrische Schaltung **2** weiterhin eine Steuerungseinrichtung **7**, welche zum Ansteuern des Gleichspannungswandlers **4** ausgebildet ist. Der Inverter **3** der elektrischen Schaltung **2** ist als Pulswechselrichter ausgebildet. Ferner ist der Gleichspannungswandler als ein 4-Quadranten-Steller ausgebildet oder er umfasst einen Hochsetzsteller und einen Tiefsetzsteller, so dass die Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers betragsmäßig höher oder betragsmäßig niedriger als eine Speicherspannung eines mit dem Gleichspannungswandler verbundenen Gleichstromenergiespeichers (nicht dargestellt) bzw. die Zellspannung einer mit dem Gleichspannungswandler verbundenen Brennstoffzelle (nicht dargestellt) eingestellt werden kann.

[0036] Durch die Steuerungseinrichtung **7** wird die Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers **4** in Abhängigkeit eines momentanen Arbeitspunktes der Last **5** eingestellt. Dabei wird durch die an den momentanen Arbeitspunkt angepasste Ausgangsspannung ein Modulationsgrad des als Pulswechselrichter ausgeführten Inverters **3** verändert. Der Inverter **3** ist vorliegend dazu ausgebildet, eine Gleichspannung in einen dreiphasigen Wechselstrom zum Betrieb der Last **5** zu wandeln. Der Modulationsgrad ist dabei der Quotient aus dem Spitzenwert oder dem Effektivwert der erzeugten Phasenspannung \hat{U}_p und der Eingangsgleichspannung des Inverters U_{DC} , welcher der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers **4** entspricht. Der Modulationsgrad, mit dem der Inverter **3** betrieben wird, bestimmt bei dem als Pulswechselrichter ausgebildeten Inverter **3** das Tastverhältnis einer Pulsweitenmodulation, mit der der Inverter **3** betrieben wird.

[0037] Durch die Wahl des Modulationsgrades durch die Einstellung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers **4** kann der Betriebspunkt des Inverters **3** in Abhängigkeit des Arbeitspunktes der Last **5** so gewählt werden, dass die Amplitude eines von dem Inverter **3** erzeugten Spannungsrippels reduziert wird. Dadurch kann beispielsweise eine Zwischenkreiskapazität des Inverters **3** kleiner ausgeführt werden. Weiterhin reduzieren sich beispielsweise die durch den Spannungsrippl erzeugten Belastungen weiterer Komponenten auf der Wechselstromseite und der Gleichstromseite des Inverters **3**, insbesondere beispielsweise die Belastung eines mit

dem Gleichspannungswandler **4** verbundenen Traktionsenergiespeichers **6**.

[0038] Eine Änderung der Ausgangsspannung U_{DC} des Gleichspannungswandlers **4** erfolgt derart, dass der Arbeitspunkt der Last **5** beibehalten wird. Dies kann beispielsweise dadurch erfolgen, dass eine Phasenverschiebung zwischen einer ersten Harmonischen einer Phasenspannung und einem Phasenstrom wenigstens einer der Phasen des dreiphasigen Wechselstroms und/oder ein Effektivwert des Phasenstroms und/oder ein Effektivwert der Phasenspannung bei Änderung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers **4** beibehalten wird.

[0039] Weiterhin erfolgt die Anpassung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers **4** in Abhängigkeit eines Modulationsverfahrens, mit dem der Inverter **3** betrieben wird. Der Inverter **3** kann, wie durch die gestrichelte Linie angedeutet ist, durch die Steuerungseinrichtung **7** betrieben werden. Es ist auch möglich, dass der Inverter **3** über eine weitere, hier nicht dargestellte Steuerungseinrichtung betrieben wird, wobei in diesem Fall die weitere Steuerungseinrichtung der Steuerungseinrichtung **7** das aktuell in dem Inverter **3** verwendete Modulationsverfahren mitteilt. Auf diese Weise wird erreicht, dass auch eine Reduktion der Amplitude von Spannungsrippeln vorgenommen werden kann, wenn der Inverter **3** zum Betreiben der Last **5** in verschiedenen Modulationsverfahren betreibbar ist.

[0040] In der Steuerungseinrichtung **7** ist dazu eine Tabelle oder ein Kennfeld hinterlegt, in welcher in Abhängigkeit der möglichen Arbeitspunkte bzw. in Abhängigkeit der über den Arbeitspunkt einzustellenden Größen und dem Modulationsgrad ein jeweils auftretender Spannungsrippl angegeben ist. Auf diese Weise kann durch die Steuerungseinrichtung **7** für einen gegebenen Arbeitspunkt ein Modulationsgrad mit einer möglichst geringen Amplitude der auftretenden Spannungsrippl bestimmt werden und eine Ansteuerung des Gleichspannungswandlers **4** zum Erzeugen einer den ermittelten Modulationsgrad erzeugenden Ausgangsspannung vorgenommen werden. Die Tabelle oder das Kennfeld können beispielsweise experimentell oder anhand von Berechnungen und/oder Simulationen ermittelt werden.

[0041] Es ist möglich, dass die Steuerungseinrichtung **7** den Arbeitspunkt der Last **5** selber ermittelt oder dass ein, beispielsweise aufgrund des aktuellen Fahrbetriebs einzustellender, momentaner Arbeitspunkt der Steuerungseinrichtung **7** von einem weiteren Steuergerät des Kraftfahrzeugs, beispielsweise einem Motorsteuergerät, an die Steuerungseinrichtung **7** übermittelt wird.

[0042] Um die beispielsweise bei Betrieb eines Kraftfahrzeuges erforderliche, fortlaufende dynamische

Anpassung des Betriebes des Gleichspannungswandlers **4** an die aufgrund des Fahrbetriebes fortlaufend wechselnden Arbeitspunkte der Last anzupassen, ist vorgesehen, dass der Gleichspannungswandler **4** mit einer Taktfrequenz getaktet wird, welche größer ist als die Taktfrequenz, mit der der als Pulswechselrichter ausgeführte Inverter **3** getaktet wird. Insbesondere ist vorgesehen, dass die Taktfrequenz des Gleichspannungswandlers **4** wenigstens doppelt so groß wie die des Inverters **3** ist. In einer weniger bevorzugten Ausgestaltung kann die Taktfrequenz des Gleichspannungswandlers **4** auch gleich oder kleiner als die Taktfrequenz des Inverters **3** sein.

[0043] Neben einem motorischen Betrieb einer als Traktionselektromotor ausgebildeten Last **5** zum Antrieb eines die elektrische Schaltung **2** umfassenden Kraftfahrzeugs **1** kann auch eine Anpassung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers **4** vorgenommen werden, wenn durch die Last **5**, beispielsweise in einem Rekuperationsbetrieb, Energie bereitgestellt wird, um sie beispielsweise in einen Traktionsenergiespeicher **6** des Kraftfahrzeugs **1** einzuspeisen. Auch in diesem Fall liegt ein Arbeitspunkt der Last **5** vor, in dessen Abhängigkeit eine Anpassung der nunmehr eine Eingangsspannung des Gleichspannungswandlers **4** darstellenden Spannung U_{DC} derart erfolgt, dass durch den Inverter **3** ein möglichst geringer Spannungsrippel bei seinem Betrieb erzeugt wird.

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 112016000750 T5 [0005]
- DE 102009038805 A1 [0006]
- DE 102018004623 A1 [0007]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer elektrischen Schaltung (2), wobei die elektrische Schaltung (2) einen Inverter (3), einen Gleichspannungswandler (4) und eine Last (5) umfasst, wobei der Inverter (3) auf der Gleichstromseite mit dem Ausgang des Gleichspannungswandlers (4) und auf der Wechselstromseite mit der Last (5) verbunden ist, wobei der Inverter (3) zum Betreiben der Last (5) in verschiedenen Arbeitspunkten ansteuerbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Höhe der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers (4) in Abhängigkeit des momentanen Arbeitspunkts eingestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass durch die eingestellte Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers (4) ein Modulationsgrad des insbesondere als Pulswechselrichter ausgebildeten Inverters (3) verändert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Phasenverschiebung zwischen einer ersten Harmonischen einer Phasenspannung und einem Phasenstrom wenigstens einer Phase eines von dem Inverter (3) erzeugten Wechselstroms und/oder ein Effektivwert des Phasenstroms und/oder ein Effektivwert der Phasenspannung und/oder eine Leiter-Leiter-Spannung bei Änderung der Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers (4) beibehalten wird.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgangsspannung des Gleichspannungswandlers (4) in Abhängigkeit eines Modulationsverfahrens, mit dem der Inverter (3) betrieben wird, eingestellt wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Gleichspannungswandler (4) verwendet wird, dessen Ausgangsspannung größer und/oder kleiner als eine Eingangsspannung des Gleichspannungswandlers (4) einstellbar ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gleichspannungswandler (4) als ein Vier-Quadranten-Steller ausgebildet ist und/oder dass der Gleichspannungswandler (4) einen Hochsetzsteller und einen Tiefsetzsteller umfasst.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gleichspannungswandler (4) mit einer Taktfrequenz betrieben wird, welche größer als eine Taktfrequenz des Inverters (3) ist.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Inverter (3) ein Pulswechselrichter verwendet wird und/

oder dass als Last (5) eine elektrische Maschine verwendet wird.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Gleichspannungswandler (4) verwendet wird, welcher an seinem Eingang mit einem Gleichstromenergiespeicher, insbesondere einer Hochvoltbatterie, und/oder einer Brennstoffzelle verbunden ist.

10. Elektrische Schaltung, umfassend eine Steuerungseinrichtung (7), einen Inverter (3), einen Gleichspannungswandler (4) und eine Last (5), wobei der Inverter (3) auf der Gleichstromseite mit dem Ausgang des Gleichspannungswandlers (4) und auf der Wechselstromseite mit der Last (5) verbunden ist, wobei der Inverter (3) zum Betreiben der Last (5) in verschiedenen Arbeitspunkten ansteuerbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuerungseinrichtung (7) mit dem Gleichspannungswandler (4) verbunden und zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche ausgebildet ist.

11. Kraftfahrzeug, umfassend eine elektrische Schaltung (2) nach Anspruch 10.

12. Kraftfahrzeug nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Last (5) ein Traktionselektromotor des Kraftfahrzeuges ist und/oder dass der Gleichspannungswandler (4) an seinem Eingang mit einem, insbesondere als Hochvoltbatterie ausgeführten, Traktionsenergiespeicher (6) und/oder einer Brennstoffzelle des Kraftfahrzeuges (1) verbunden ist.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

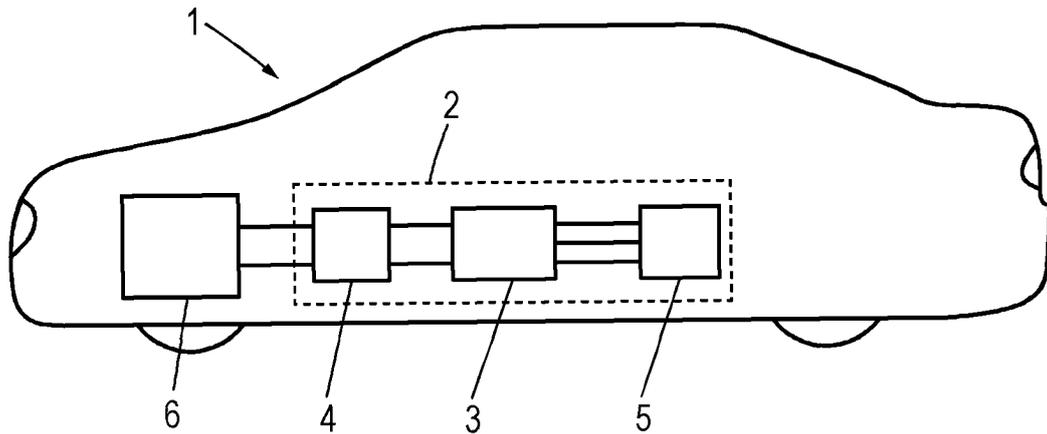


FIG. 2

