

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
12. Juli 2018 (12.07.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2018/127367 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
*H02P 9/12* (2006.01) *H02M 7/5388* (2007.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/082495

(22) Internationales Anmeldedatum:  
13. Dezember 2017 (13.12.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2017 200 220.4  
09. Januar 2017 (09.01.2017) DE

(71) Anmelder: BAYERISCHE MOTOREN WERKE AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Petuelring 130, 80809 München (DE).

(72) Erfinder: SUDAN, Christoph; Am Schloßberg 22a, 82547 Eurasburg (DE). HERRMANN, Hubert; Eggentaler Str. 26, 85778 Haimhausen (DE). REITER, Michael; Schaezlerstraße 38, 86152 Augsburg (DE).

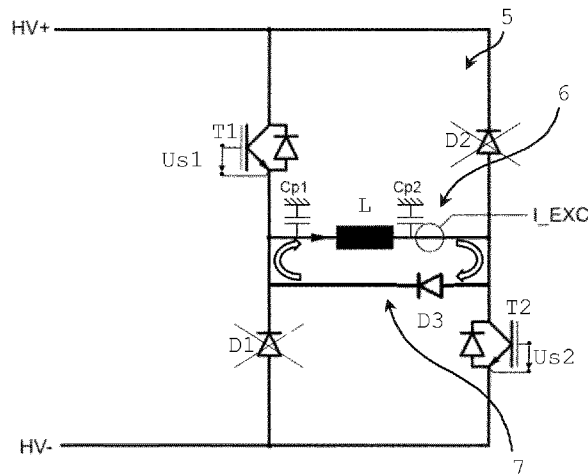
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

(54) Title: CONTROL METHOD AND SWITCHING DEVICE

(54) Bezeichnung: ANSTEUERVERFAHREN UND SCHALTVORRICHTUNG

Fig. 2b



(57) Abstract: The present invention relates to a control method and a switching device for a separately excited synchronous machine as drive in a hybrid or electric vehicle. In order to provide a control method and a corresponding switching device which significantly reduce the EMC problem described above, a device is proposed which is provided as a switching device in a vehicle (1) having a high-voltage electrical system (3) comprising high-voltage components for converting and/or distributing electrical energy within the vehicle (1), in particular a hybrid or electric vehicle (1), wherein an asymmetrical full bridge (5) is provided, in the bridge branch (6) of which a rotor of an SSM (4) is arranged, and switches (T1, T2) are provided in the asymmetrical full bridge (5) in order to provide a pulse width modulation corresponding to a desired motor rotational speed and power of the SSM, and the device is characterized in that it comprises a short-circuit branch (7) extending in parallel with the bridge branch (6) of the asymmetrical full bridge (5), by means of which short-circuit branch the rotor of the SSM (4) is able to be short-circuited.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Ansteuerungsverfahren und eine Schaltungsvorrichtung für eine fremderregte Synchronmaschine als Antrieb in einem Hybrid- oder Elektrofahrzeug. Um ein Ansteuerungsverfahren und eine entsprechende Schaltungsvorrichtung zu beschreiben, die das oben beschriebene EMC-Problem signifikant reduzieren, wird ein Vorrichtung vorgeschlagen, die als Schaltungsvorrichtung in einem Fahrzeug (1) mit einem Hochspannungselektrischen System (3) zur Umwandlung und/oder Verteilung elektrischer Energie innerhalb des Fahrzeuges (1), insbesondere eines Hybrid- oder Elektrofahrzeuges (1), vorgesehen ist, in dem eine asymmetrische Vollbrücke (5) vorgesehen ist, in der Brückenast (6) eine Rotorwicklung einer SSM (4) angeordnet ist, und Schalter (T1, T2) in der asymmetrischen Vollbrücke (5) vorgesehen sind, um eine Pulsweitenmodulation zu erzeugen, die einem gewünschten Drehmoment und einer Leistung der SSM entspricht, und die Vorrichtung dadurch gekennzeichnet ist, dass sie eine Kurzschlussast (7) umfasst, die parallel zum Brückenast (6) der asymmetrischen Vollbrücke (5) verläuft, durch den Kurzschlussast (7) die Rotorwicklung der SSM (4) kurzgeschlossen werden kann.

WO 2018/127367 A1

GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

vorrichtung zu schaffen, durch die die vorstehend beschriebene EMV-Problematik wesentlich gemindert wird, wird eine Vorrichtung vorgeschlagen, die als Schaltvorrichtung in einem Fahrzeug (1) mit einem Hochvoltkomponenten umfassenden Hochvoltnetz (3) zum Wandeln und/oder Verteilen elektrischer Energie innerhalb des Fahrzeugs (1), insbesondere einem Hybrid-, oder Elektro-Fahrzeug (1), vorgesehen ist, wobei eine asymmetrische Vollbrücke (5) vorgesehen ist, in deren Brückenweig (6) ein Läufer einer SSM (4) angeordnet ist und Schalter (T1, T2) in der asymmetrischen Vollbrücke (5) vorgesehen sind zur Bereitstellung einer Pulsweiten-Modulation, die einer gewünschten Motordrehzahl und Leistung der SSM entspricht, und die Vorrichtung dadurch gekennzeichnet ist, dass sie einen parallel zu dem Brückenweig (6) der asymmetrischen Vollbrücke (5) verlaufenden Kurzschluss-Zweig (7) umfasst, durch den der Läufer der SSM (4) kurzschließbar ist.

## Ansteuerverfahren und Schaltvorrichtung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Ansteuerverfahren und eine Schaltvorrichtung für eine fremderregte Synchronmaschine als Antrieb in einem Hybrid- oder Elektrofahrzeug.

In bekannten Antrieben der vorstehend genannten Art ist für eine fremderregte Synchronmaschine, kurz SSM, deren SSM-Läufer zur Stromversorgung Schleifringe aufweist und über Kohlebürsten kontaktiert und mit elektrischer Energie versorgt wird, eine Ansteuerung über eine asymmetrische Vollbrücke bzw. H-Schaltung üblich, siehe Figur 3a. Eine einer gewünschten SSM-Motordrehzahl oder Leistung entsprechende Pulsweiten-modulierte Ansteuerung des im Brückenweig angeordneten SSM-Läufers erfolgt üblicherweise auf einem der beiden beispielsweise als IGBT ausgebildeten Schalter T1 und T2, während der andere Schalter dauerhaft ein- bzw. angeschaltet bleibt. Der jeweils zweite Schalter wird nur für eine schnelle Entregung des SSM-Läufers verwendet.

In einem normalen Stromregelbetrieb wird in einer Pulsweiten-Modulation bzw. PWM mit einer Frequenz von beispielsweise 10 kHz zwischen den Zuständen Erregung (EX) und Kurzschluss (SC) hin- und hergeschaltet, wie nachfolgend noch zu der Abbildung von Figur 3b beschrieben. Dabei wird je nach erforderlicher Stromstärke ein Zeitanteil des Schaltzustandes Erregung (EX) je Periode erhöht oder entsprechend gesenkt. Da sich in einem Kurzschluss (SC) der Strom durch den Läufer der SSM nur sehr langsam ändert, ist insgesamt eine sehr gute Regelung möglich, die abhängig von der Versorgungsspannung und dem gewünschten Strom einen weiten Bereich von möglichen Tastgraden dieser Regelung ausnutzt.

Nachteilig an dieser Art einer asymmetrischen Ansteuerung ist jedoch das Umladen prinzipiell in jeder SSM vorhandener parasitärer Kapazitäten. Diese Umladevorgänge führen zu hochfrequenten Störströmen, die sich von dem Läufer der SSM über die Motorwelle und über die Gleichstrom- bzw. DC-Anschlüsse über die

Leistungselektronik ins Fahrzeugbordnetz und über das Getriebe ausbreiten können. Dieses Phänomen kann zu hohen Lagerströmen führen, die durch Elektro-Korrosion Lagerschäden hervorrufen können. Weiter führen hochfrequente Störströme zu Problemen in der elektromagnetischen Verträglichkeit, kurz EMV, bzw. zu EMV-Störungen. In letzter Konsequenz können die vorstehend beschriebenen Effekte zu einer Nichterfüllung von EMV-Grenzwerten führen. Ein Einsatz bekannter EMV-Filter kann diesen Effekt nur abschwächen.

Alternativ kann die asymmetrische Vollbrücke auch symmetrisch betrieben werden, wenn beide Schalter T1, T2 immer gleichzeitig ein- und ausgeschaltet werden, was gleichbedeutet mit einem Wechsel zwischen den SSM-Betriebszuständen der Erregung (EX) sowie des Freilaufes (FW) der SSM ist, siehe dazu auch die Abbildung von Fig. 4a. Dabei werden die parasitären Kapazitäten im Bereich des Läufers der SSM gegenläufig umgepolt. Damit hebt sich der Störstrom gegen ein Massepotential im Wesentlichen auf. Diese positive Wirkung wird jedoch damit erkauft, dass sich eine viel stärkere Welligkeit des Rotorstroms einstellt, da im Zustand des Freilaufs (FW) der Strom nun vergleichsweise stark abnimmt, um im darauffolgenden Zyklus wieder durch einen längeren Erregungs- bzw. EX-Puls kompensiert werden zu müssen. In der Folge nehmen die Tastverhältnisse insgesamt zu, um in Summe denselben mittleren Rotorstrom aufbringen zu können. Durch diese elektrischen Effekte nimmt eine akustische Abstrahlung bzw. ein elektrisch erzeugtes Betriebsgeräusch der fremderregten Synchronmaschine deutlich zu und die Regelgüte des Antriebsmomentes nimmt aufgrund der Welligkeit im magnetischen Fluss deutlich ab.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Ansteuerungsverfahren und eine entsprechende Schaltvorrichtung zu schaffen, durch die die vorstehend beschriebene EMV-Problematik wesentlich gemindert wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren und eine Schaltvorrichtung mit den Merkmalen der jeweiligen unabhängigen Ansprüche gelöst.

Demnach ist erfindungsgemäß die Verwendung eines neuen Kurzschluss-Zweiges vorgesehen, der parallel zu dem Brückenweig geschaltet wird, wie nachfolgend auch anhand von Figur 2a beschrieben. Eine erfindungsgemäße Vorrichtung ist also als asymmetrische Vollbrücke ausgebildet, bei der der SSM-Läufer im Brückenweig

angeordnet ist, wobei parallel zu dem Brückenweig ein Kurzschluss-Zweig angeordnet ist.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der jeweiligen Unteransprüche. Demnach werden die Schalter T1 und T2 synchronen geschaltet. Damit wird erreicht, dass sich die Wirkung parasitärer Kapazität zwischen Läufer-Wicklung und Läufer-Welle der SSM elektrisch im Wesentlichen kompensiert.

In einer Weiterbildung der Erfindung wird in dem Kurzschluss-Zweig eine Diode verwendet, damit der Kurzschluss-Zweig nur in einer Richtung durchlässig wirkt und in der Gegenrichtung gesperrt ist, siehe nachfolgend auch Figur 2b. Damit wird sichergestellt, dass ein stetiger Stromflusses durch den Läufer der SSM aufrechterhalten wird, auch wenn T1 und T2 ausgeschaltet sind. Weiterhin wird besonders bevorzugt, dass in dem Kurzschluss-Zweig statt nur mit einer Diode alleine auch ein Schalter verwendet wird, durch den der Kurzschluss-Zweig selber ein- und abgeschaltet wird. Dabei wird in dem Kurzschluss-Zweig ein Transistor oder ein Thyristor als schaltbares Halbleiterelement verwendet. In einer weiteren Ausführungsform wird der Schalter in Form der vorstehend genannten Halbleiterbauelemente in dem Kurzschluss-Zweig auch alleine verwendet. Auf die jeweiligen Eigenschaften der vorstehend genannten Ausführungsformen wird nachfolgend anhand der Beschreibung von Ausführungsbeispielen noch im Detail eingegangen werden.

Nachfolgend werden weitere Merkmale und Vorteile erfindungsgemäßer Ausführungsformen unter Bezugnahme auf Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung näher erläutert. Darin zeigen in schematischer Darstellung:

Figur 1: ein Blockschaltbild einer elektrischen Energieversorgung in einem Hybrid- oder Elektro-Fahrzeug über ein Hochvoltnetzwerk mit Ansteuerung eines Fahrmotors;

Figuren 2a - 2c:  
Ersatzschaltungen einer asymmetrischen Vollbrücke zur Ansteuerung des Fahrmotors gemäß dreier Ausführungsbeispiele;

Figuren 3a und 3b:

Ersatzschaltungen einer asymmetrischen Vollbrücke zur Ansteuerung des Fahrmotors in den Betriebsmodi Erregung und Kurzschluss

Figur 3c: Kurven der Strom- und Spannungsverläufe entsprechend der Modi der Figuren 3a und 3b mit anschließender langsamen Entregung jeweils im Betriebsmodus Kurzschluss;

Figur 4a:

eine Ersatzschaltungen einer asymmetrischen Vollbrücke zur Ansteuerung des Fahrmotors in den Betriebsmodus Schnelle Entregung (FW),

Figur 4b: Kurven der Strom- und Spannungsverläufe entsprechend der Modi der Figuren 3a und 3b für die Betriebsmodi Kurzschluss und Freilauf sowie den Übergang dazwischen und anschließender schneller Entregung ;

Figuren 5a und 5b:

zwei um parasitäre Effekte erweiterte Ersatzschaltungen der Betriebsmodi gemäß Figuren 3a und 3b und

Figuren 6a – 6c:

zeitliche Verläufe von Spannungen und Strömen in Schaltungsvarianten einer asymmetrischen Vollbrücke zur Ansteuerung des Fahrmotors gemäß Figuren 3a ff..

Über die verschiedenen Abbildungen hinweg werden für gleiche Elemente stets die gleichen Bezugszeichen verwendet. Dabei wird ohne Beschränkung nachfolgend nur ein Einsatz in einem Fahrzeug mit elektrischer Energieversorgung aus einem Akkumulator bzw. Hochvoltspeicher betrachtet.

Figur 1 zeigt ein Blockschaltbild eines grundsätzlichen Aufbaus einer elektrischen Energieversorgung in einem aus dem Stand der Technik bekannten Hybrid- oder Elektro-Fahrzeug 1. Hierin ist in grob vereinfachter Darstellung eine Batterie bzw. ein

Akkumulator 2 über Hochvolt-Potentiale  $V_+$ ,  $V_-$  bzw. entsprechende Anschlüsse an einen Hochvolt-Wechselrichter 3 und über diesen mit einem elektrischen Antriebsmotor 4 bzw. Generator verbunden. Während die Rolle des Akkumulators 2 als genereller Energielieferant sowie Speicher von z.B. durch Rekuperation gewonnener Bremsenergie schnell dargestellt ist, ist die Rolle des Hochvolt-Wechselrichters 3 wesentlich komplexer. Der Hochvolt-Wechselrichter 3 stellt mehr als nur ein Verbindungsglied zwischen dem Akkumulator 2 und der Motor-/ Generatoreinheit 4. Die Aufgaben des Hochvolt-Wechselrichters 3 sind vielfältig, zumal er die Motor-/Generatoreinheit 4 je Betriebsart korrekt ansteuern muss und elektrische Energie im gesamten Fahrzeug den unterschiedlichen Anforderungen von Aggregaten entsprechend verteilen und überwachen muss. Zudem muss in dem Fall des Einsatzes einer stromerregten Synchronmaschine SSM durch den Hochvolt-Wechselrichter 3 auch ein Erregerstrom  $I_{EXC}$  bei Spannungen  $U_H$  für einen Läufer der Synchronmaschine SSM bereitgestellt werden, die über eine Brückenschaltung 5 im Bereich des Hochvolt-Wechselrichters 3 bereitgestellt wird. Davon getrennt wird auch ein Stator der Motor-/Generatoreinheit 4 durch den Hochvolt-Wechselrichter 3 über Versorgungsleitungen  $W$  mit entsprechend aufbereiteter elektrischer Energie versorgt.

Der Läufer der Motor-/Generatoreinheit 4 bzw. der Synchronmaschine SSM stellt nachfolgend eine Induktivität  $L$  dar. Die Induktivität  $L$  ist in einem Brückenarm 6 der als asymmetrische Vollbrücke bzw. H-Schaltung ausgeführten Brückenschaltung 5 angeordnet, siehe u.a. Figur 3a. Zu der Induktivität  $L$  in dem Brückenarm 6 punktsymmetrisch sind in jeweils zwei Ästen der asymmetrischen Vollbrücke 5 je ein Schalter  $T_1$  bzw.  $T_2$  sowie eine Diode  $D_1$  bzw.  $D_2$  vorgesehen.

Bei der Erregung des Läufers zum Antreiben der an einem nicht weiter dargestellten Ständer ein Drehfeld aufweisenden Synchronmaschine SSM wird über hier als Transistoren ausgeführte Halbleiter-Schalter  $T_1$  und  $T_2$  eine Erregerwicklung des Läufers mit der Induktivität  $L$  unter Spannung gesetzt. Steuerspannung  $U_{s1}$ ,  $U_{s2}$  liegen dazu auf einem hohen Spannungspegel  $H_i$ . Damit wird der Erreger-Strom  $I_{EXC}$  erhöht. In einem normalen Stromregelbetrieb wird mit einer PWM Frequenz von z.B. 10kHz zwischen den Betriebsmodi EX und SC hin und her geschaltet. Je nach erforderlicher Stromstärke wird der Zeitanteil EX je Periode erhöht oder gesenkt.

Eine Regelung des Erreger-Stroms  $I_{\text{EXC}}$  erfolgt in Form einer Puls-Weiten-Modulation PWM der anliegenden Spannung  $U_{\text{H}}$ . In den zur Stellung eines bestimmten Erreger-Stroms  $I_{\text{EXC}}$  erforderlichen PWM-Pausen des Schalters T1 bleibt Schalter T2 eingeschaltet. Dazu verbleibt die Steuerspannung  $U_{\text{s2}}$  auf einem hohen Spannungspegel  $H_{\text{i}}$ , während die Steuerspannung  $U_{\text{s1}}$  auf einem niedrigen Spannungspegel  $L_{\text{o}}$  gesetzt wird. Die Erregerwicklung ist in diesem Fall kurzgeschlossen, siehe Figur 3b. Der Erregerstrom  $I_{\text{EXC}}$  kann über D1 weiter fließen, wobei der Erregerstrom durch den Innenwiderstand der Erregerwicklung bzw. des Rotors „leicht“ abgebaut wird. Es ergeben sich damit bei kurzzeitigen PWM-Pausen zeitliche Verläufe für eine anliegende Spannung  $U$  sowie den Erreger-Strom  $I_{\text{EXC}}$ , wie in der linken Hälfte von Figur 3c für eine Entregung für einen Puls-Weiten-Modulationsgrad von 50% dargestellt. Bei länger anhaltendem Kurzschluss bzw. SC gemäß Figur 3b stellt sich ein Verlauf der Kurve des Erreger-Stroms  $I_{\text{EXC}}$  gemäß der rechten Hälfte der Figur 3c mit einem sehr langsamen Abklingen des Erreger-Stroms  $I_{\text{EXC}}$  ein.

Je nach erforderlicher Stromstärke  $I_{\text{EXC}}$  wird also ein Zeitanteil des Betriebszustands der Erregung EX je Periode erhöht oder gesenkt. Da sich im Kurzschluss SC der Erreger-Strom  $I_{\text{EXC}}$  nur sehr langsam ändert, ist insgesamt eine sehr gute Regelung möglich, die abhängig von der Versorgungsspannung und dem gewünschten Strom einen weiten Bereich von Tastgraden der Puls-Weiten-Modulation PWM der anliegenden Spannung  $U$  ausnutzt.

Nachteilig an dieser „asymmetrischen Ansteuerung“ ist das Umladen parasitärer Kapazitäten, hier in einer Ersatzschaltung als  $C_{\text{p1}}$  und  $C_{\text{p2}}$  gegen ein Rotorjoch der Synchronmaschine SSM dargestellt. Die Abbildungen der Figuren 5a und 5b zeigen entsprechende Erweiterungen der Abbildungen der Figuren 3a und 3b für die Betriebsmodi Erregung EX und Kurzschluss SC. Ein sich über diese parasitären Kapazitäten  $C_{\text{p1}}$  und  $C_{\text{p2}}$  einstellender Verschiebestrom führt sowohl zu einem hochfrequenten EMV-Störstrom, der sich über Rotorwelle und Getriebe, als auch über eine Ausbreitung über die DC-Anschlüsse der Leistungselektronik ausbreiten kann. Beide Effekte können zudem zu einem Nicht-Erfüllen von EMV-Grenzwerten und/oder dem Auftreten von Elektrokorrosion z.B. in den Lagern des Läufers führen. Bekannte EMV-Schutzschaltungen und HF-Filter können diese Effekte nur mindern, aber nicht prinzipiell beseitigen.

Werden hingegen aus einer Erregung EX gemäß Figur 3a heraus beide Schalter T1, T2 geöffnet, dementsprechend die Transistoren T1 und T2 ausgeschaltet, wird ein sog. Freilauf FW geschaltet, siehe Figur 4a. Hier wird die Erregerwicklung des SSM-Läufers über die Dioden D1 und D2 deutlich schneller als im Kurzschlussfall entladen, siehe in Vergleich dazu das Ersatzschaltbild der Figur 3b mit der rechten Hälfte der Figur 3c. In diesem Fall wird Energie des SSM-Läufers bzw. L in den Hochvolt-Wechselrichter entladen bzw. entregt, siehe Figur 4b. Bei dem Umschalten vollzieht sich allerdings im Unterschied zu der Situation gemäß Figur 3b eine Umpolung der Erregerspannung bei konstantem Stromfluss auf eine betragsgleiche Versorgungsspannung umgekehrter Polarität, siehe gestrichelt umkreisen Bereich in Figur 4b. Dadurch nimmt anschließend der Strom unter Rückspeisung in das Hochvolt-Board-Netz in deutlich kürzerer Zeit bis zur Stromlosigkeit des Läufers hin ab.

Figur 6a zeigt eine zeitlich gedehnte Darstellung von EX-Schaltvorgängen gemäß der linken Hälfte von Figuren 3c bzw. 4b. Die Figuren 6b stellen weiter die Verläufe der Verschiebestrome  $I_{cp1}$  und  $I_{cp2}$  an den jeweiligen parasitären Kapazitäten Cp1 und Cp2 dar. Bei einer der Figur 6a unterstellten asymmetrischen Ansteuerung der Brücke 5 bzw. asymmetrischen Betätigung der Schalter T1, T2 ist ein Umladen insbesondere der parasitären Kapazität Cp1 nachteilig. Eine Zusammenschau der Kurvenverläufe der Figuren 6b mit beiden Verschiebestromen  $I_{cp1}$  und  $I_{cp2}$  zeigt, dass sich diese parasitären Effekte der Umladeströme sogar noch konstruktiv überlagern und damit den Störeffekt verstärken.

Alternativ kann die asymmetrische Vollbrücke 5 symmetrisch angesteuert und betrieben werden. Hierzu werden beide Schalter T1, T2 stets gleichzeitig ein- und ausgeschaltet. Es erfolgt also ein Wechsel zwischen den Betriebsmodi Erregung EX und Freilauf FW. Dabei werden die parasitären Kapazitäten Cp1 und Cp2 nun gegenpolig geladen bzw. gegenläufig gepolt. Eine sich so ergebende Überlagerung ist entgegen der Darstellung von Figur 6b nicht mehr konstruktiv bzw. verstärkend, sondern destruktiv. Eine Summe aus beiden Verschiebestromen  $I_{cp1}$  und  $I_{cp2}$  an den jeweiligen parasitären Kapazitäten Cp1 und Cp2 schwächt sich also sehr stark. Wenn Cp1 und Cp2 denselben Wert haben, heben sich beide Verschiebestrome  $I_{cp1}$  und  $I_{cp2}$  gegen Masse im Wesentlichen auf. Bei einer Lösung gemäß Figur 6c ergibt sich jedoch eine viel stärkere Welligkeit des Rotorstroms, da im Freilauf-Zustand der Strom

durch den Läufer deutlich stärker abnimmt, um im darauf folgenden Zyklus wieder durch einen längeren Erregungsstrom EX kompensiert zu werden. Die Tastverhältnisse nehmen damit insgesamt deutlich zu, um in Summe denselben Rotorstrom einprägen zu können, wie zuvor. Damit nimmt durch zwischen Wicklung und Zwischenkreis hin- und herpendelnde Blindleistung auch eine akustische Abstrahlung der elektrischen Schaltung und des Rotors als Geräuschbelastung der Umwelt deutlich zu.

Eine erfindungsgemäße Lösung wird nachfolgend anhand der in den Abbildungen der Figuren 2a und 2b dargestellten Ausführungsbeispiele verdeutlicht. Beide Figuren zeigen Ersatzschaltungen einer asymmetrischen Vollbrücke 5 zur Ansteuerung des nur durch die Induktivität L des Läufers repräsentierten Fahrmotors 4. Hier wird durch Hinzufügen eines potentialfreien Kurzschluss-Pfades bzw. eines Zweiges 7 parallel zu dem Brückenweig 6 eine neue Möglichkeit geschaffen, um zwischen dem Betriebsmodus der Erregung EX und einem modifizierten Kurzschluss SC2 hin- und her zu schalten bzw. zu wechseln. Bei dem in Figur 2a dargestellten Zustand sollte T3 dauerhaft eingeschaltet sein, es sei denn, der Rotor soll schnell entregt werden.

Während der Erregungsphase EX sind die Schalter T1 und T2 leitend eingeschaltet, und durch die sperrende Diode D3 ist der Kurzschluss-Zweig 7 ausgeschaltet. Während des neu geschaffenen Kurzschluss-Betriebszustandes SC2 sind die Schalter T1 und T2 beide ausgeschaltet. Dabei übernehmen die Diode D3 und der Schalter T3 den stetig durch die Induktivität L der Läuferwicklung weiterfließenden Strom  $I_{EXC}$ .

Figur 2b stellte eine Alternative zu der Ausführungsform von Figur 2a dar. Hier wird ein erfindungsgemäßer Schaltkreis ohne den Transistor T3 betrieben. Zudem wird auf die Freilaufdioden D1 und D2 in den Brückenweigen verzichtet. In diesem Ausführungsbeispiel werden also gleich an mehreren Stellen hochstromfähige Halbleiterbauteile eingespart. Nachteilig ist hier aber, dass keine schnelle Entregung (FW) möglich ist, siehe Fig. 4b.

Alternativ kann ohne weiter zeichnerische Darstellung ein Thyristor (SCR) diese Funktion übernehmen. Damit spart man sich gegenüber der erstgenannten Lösung durch Auslassen der Diode D3 ein für Hochstrom- und Hochspannung taugliches Bauteil. Eingeschaltet wird der Thyristor mittels eines Zünd-Trafos. Während des Ausschalt-Kommutierungsvorgangs schwingt der Rotorstrom von Freilauf FW auf die

Transistoren T1 und T2, und damit unterschreitet der Thyristor seinen Haltestrom und sperrt automatisch. Zwingend erforderlich für diese Schaltung ist ein Snubber- bzw. Dämpfungsnetzwerk.

Anstelle eines Thyristors kann auch ein IGBT eingesetzt werden. Dieser muss dann aktiv ein und ausgeschaltet werden. Vorteilhaft ist dies, da gegenüber dem Thyristor dieselbe Gate-Ansteuerung und derselbe Bauteiltyp wie für T1 und T2 verwendet werden kann. Nachteil ist allerdings eine nun erforderliche Totzeitüberwachung, wobei T1 und T2 ausgeschaltet sein müssen, bevor T3 einschaltet, und umgekehrt.

Dazu wird der Schalter T3 als IGBT bzw. MOS-FET in der Schaltung durch einen Thyristor ersetzt. Ein großer Nachteil eines Thyristors gegenüber einem Transistor besteht darin, dass er jedes Mal neu gezündet werden muss, weil der Thyristor bei der Kommutierung von Freilauf FW auf Erregung EX mit dann anliegender hoher Versorgungs-Gleichspannung HVDC bzw.  $HV_{\pm}$  unter den Haltestrom fällt und somit sperrt. Dahingegen wird die IGBT- oder MOS-FET-Lösung nach Figur 2a nur einmal je Zyklus eingeschaltet und bleibt solange eingeschaltet, bis entweder eine Schnellentladung gefordert oder die Felderregung ausgeschaltet wird.

**Bezugszeichenliste**

1	Elektro-Fahrzeug
2	Akkumulator / HV-Speicher
3	Hochvolt-Wechselrichter
4	elektr. Antriebsmotor / fremderregte Synchronmaschine SSM
5	asymmetrische Vollbrücke
6	Brückenzweig
7	Kurzschluss-Zweig
a	asynchrones Schalten der Schalter T1, T2
$D_i$	Diode, $i = 1, 2, 3$
EX	Erregung
FW	Freilauf
$H_i$	hoher Signalpegel
$U_H$	Hochvoltpotentiale am Läufer der fremderregten Synchronmaschine SSM
$HV_{\pm}$	Hochvoltspannung
$I_{\_EXC}$	Erregerstrom für Läufer der SSM als Regelgröße für die fremderregte Synchronmaschine SSM
$C_{p1}$	parasitäre Kapazität des Läufers gegen ein Rotorjoch der SSM
$C_{p2}$	parasitäre Kapazität des Läufers gegen ein Rotorjoch der SSM
$I_{cp1}, I_{cp2}$	Verschiebestromen an den jeweiligen parasitären Kapazitäten $C_{p1}, C_{p2}$
L	Induktivität des Läufers der Synchronmaschine SSM
$L_o$	niedriger Signalpegel
s	synchrones Schalten der Schalter T1, T2
SC	Kurzschluss
SSM	Stromerregte Synchronmaschine
$T_i$	Schalter / Transistor, $i = 1, 2, 3$
$U_{si}$	Steuerspannung an den Schaltern $T_i$ , $i = 1, 2, 3$
V	Potentiale des Akkumulators / HV-Speichers 2 zum HV-Wechselrichter 3
W	Versorgungsleitungen vom HV-Wechselrichter 3 zur Motor-/ /Generatoreinheit 4

## Ansprüche

1. Ansteuerverfahren für eine fremderregte Synchronmaschine (SSM) als Antrieb in einem Hybrid- oder Elektrofahrzeug, wobei eine asymmetrische Vollbrücke (5) verwendet wird, um eine einer gewünschten Motordrehzahl und Leistung der SSM entsprechende Ansteuerung eines in dem Brückenweig (6) angeordneten Läufers der SSM (4) durch eine Pulsweiten-Modulation zu erzeugen, die durch ein entsprechend gesteuertes Schalten zwei Schalter (T1, T2) bewirkt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein parallel zu dem Brückenweig (6) verlaufender Kurzschluss-Zweig (7) zur Erzeugung eines Kurzschluss-Betriebszustandes (SC2) des Läufers der SSM (4) genutzt wird.
2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Schalter (T1, T2) synchronen geschaltet werden.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Kurzschluss-Zweig (7) eine Diode (D3) verwendet wird, damit der Kurzschluss-Zweig (7) nur in einer Richtung zur Aufrechterhaltung eines Stromflusses durch den Läufer der SSM (4) durchlässig wirkt.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kurzschluss-Zweig (7) durch einen Schalter (T3) ein- und abgeschaltet wird, insbesondere ein Schalter in Form eines Transistors.
5. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Kurzschluss-Zweig (7) ein Thyristor als Schalter verwendet wird.
6. Vorrichtung zur Umsetzung eines Ansteuerverfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die als Schaltvorrichtung in einem Fahrzeug (1) mit einem Hochvoltkomponenten umfassenden Hochvolt-Zwischenkreis (3) zum Wandeln und/oder Verteilen elektrischer Energie innerhalb des Fahrzeugs (1),

insbesondere einem Hybrid-, oder Elektro-Fahrzeug (1), vorgesehen ist, wobei eine asymmetrische Vollbrücke (5) vorgesehen ist, in deren Brückenweig (6) ein Läufer einer SSM (4) angeordnet ist und Schalter (T1, T2) in der asymmetrischen Vollbrücke (5) vorgesehen sind zur Bereitstellung einer Pulsweiten-Modulation, die einer gewünschten Motordrehzahl und Leistung der SSM (4) entspricht,

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Vorrichtung einen parallel zu dem Brückenweig (6) der asymmetrischen Vollbrücke (5) verlaufenden Kurzschluss-Zweig (7) umfasst, durch den der Läufer der SSM (4) kurzschließbar ist.

7. Vorrichtung nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Kurzschluss-Zweig (7) eine Diode (D3) vorgesehen ist.
8. Vorrichtung nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Kurzschluss-Zweig (7) ein Schalter (T3) in Form eines Transistors (T3) vorgesehen ist.
9. Vorrichtung nach einem der beiden Ansprüche 6 und 7, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Kurzschluss-Zweig (7) ein Schalter (T3) in Form eines Thyristors vorgesehen ist.
10. Vorrichtung nach einem der vier vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in den Zweigen der H-Schaltung, die den mit Schaltern (T1, T2) bestückten Zweigen entsprechen, Dioden (D1, D2) zur Aufrechterhaltung des Stromflusses durch die Induktivität (L) des SSM-Läufers im Zustand des geöffneten Kurzschlusszweiges (7) vorgesehen sind.

Fig. 1

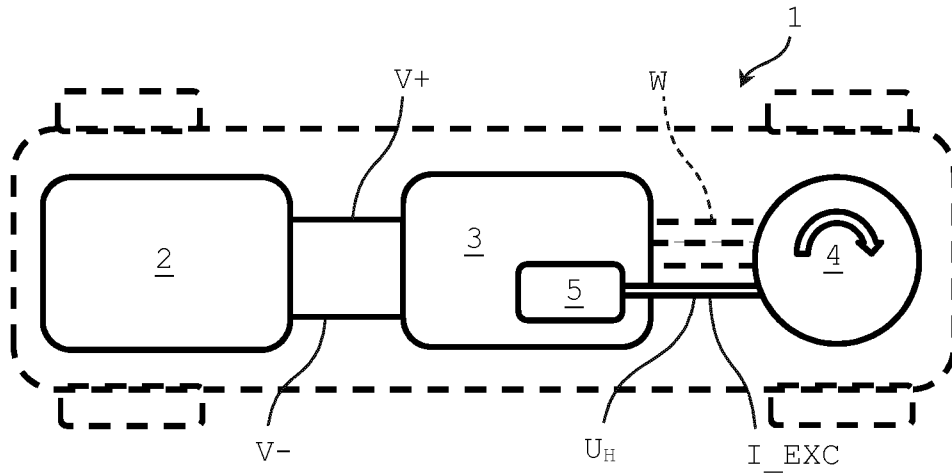


Fig. 2a

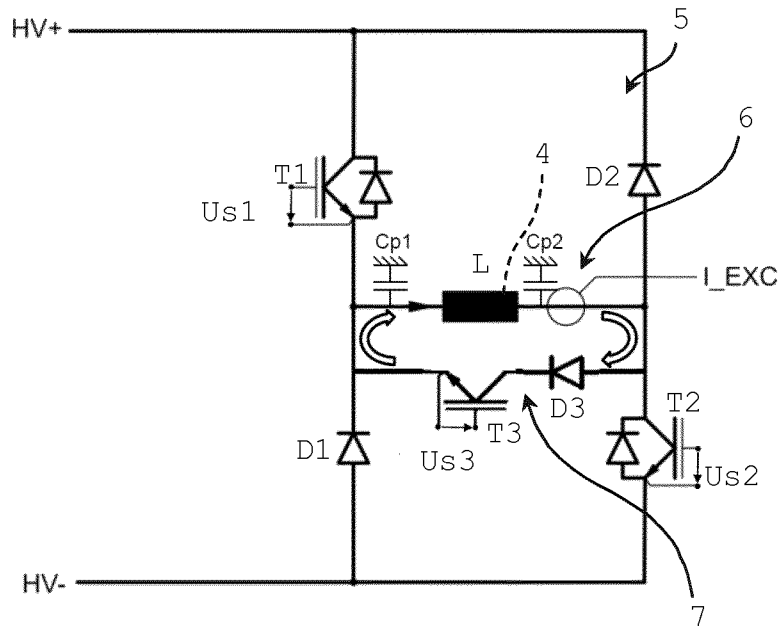


Fig. 2b

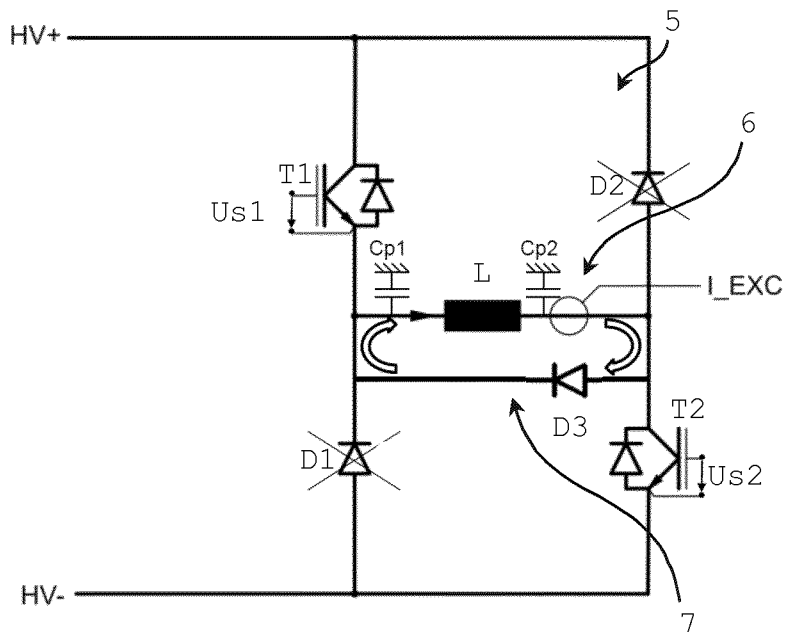


Fig. 2c

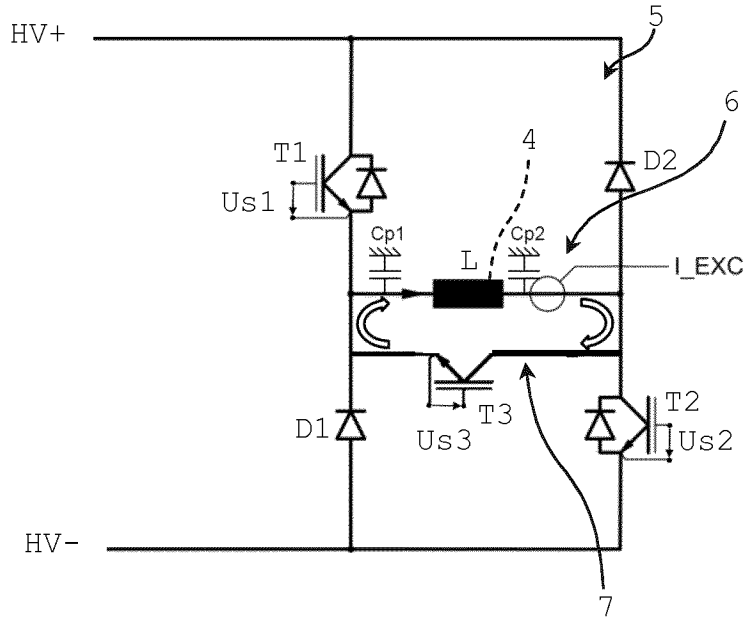


Fig. 3a

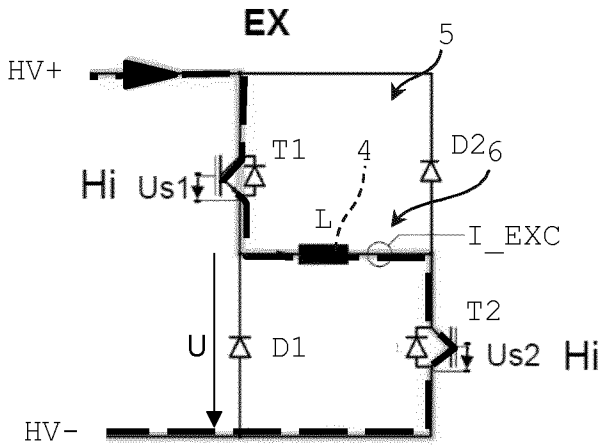


Fig. 3b

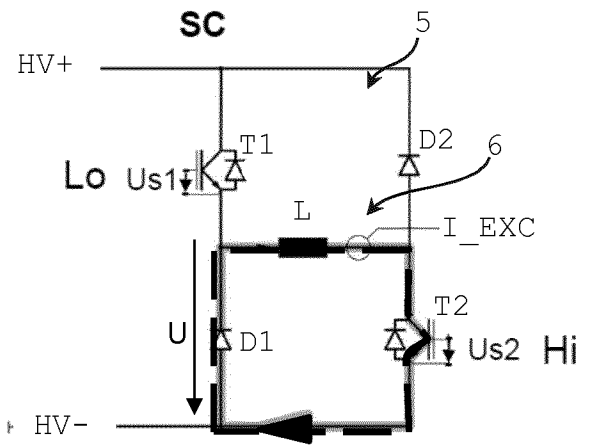


Fig. 3c

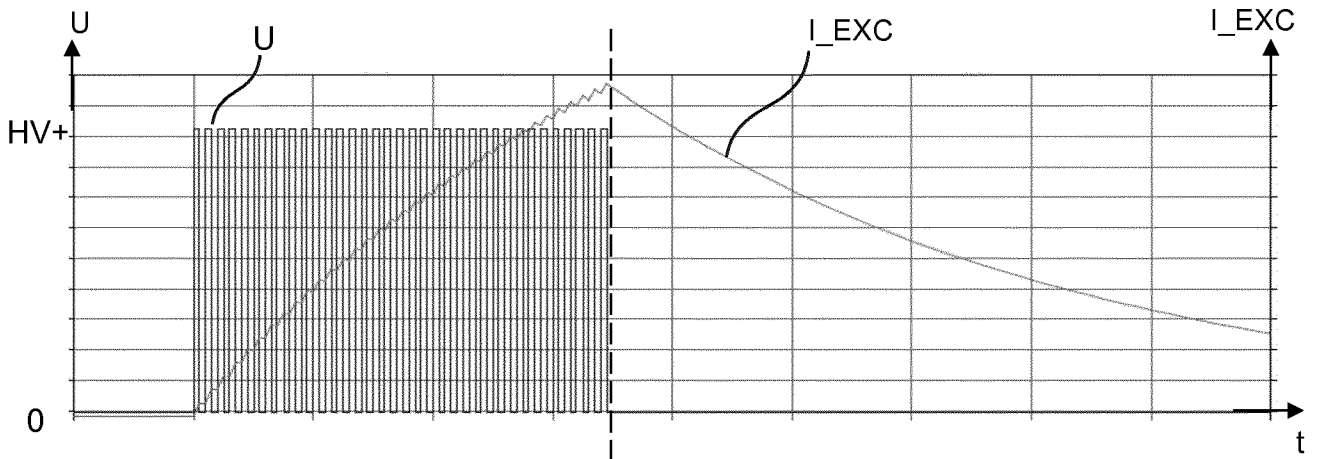


Fig. 4a

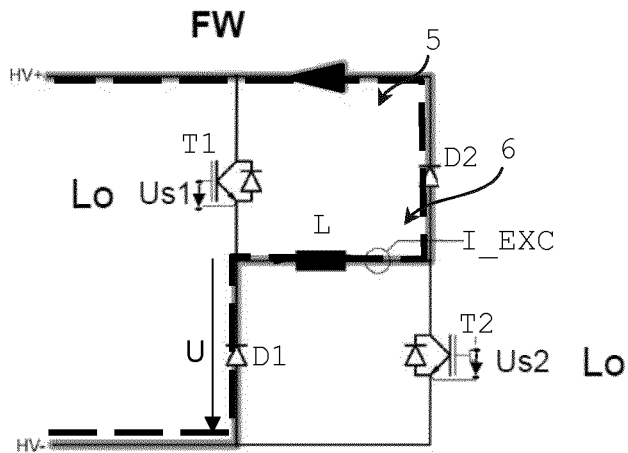


Fig. 4b

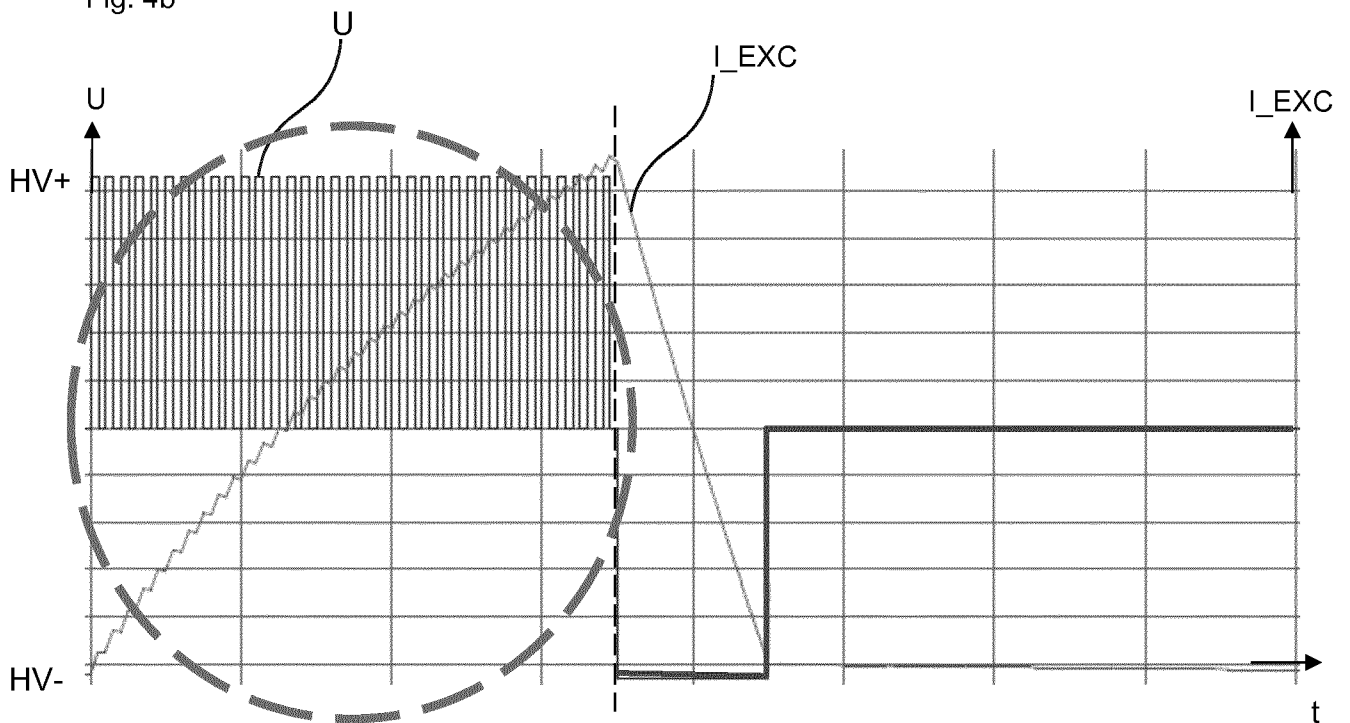


Fig. 5a

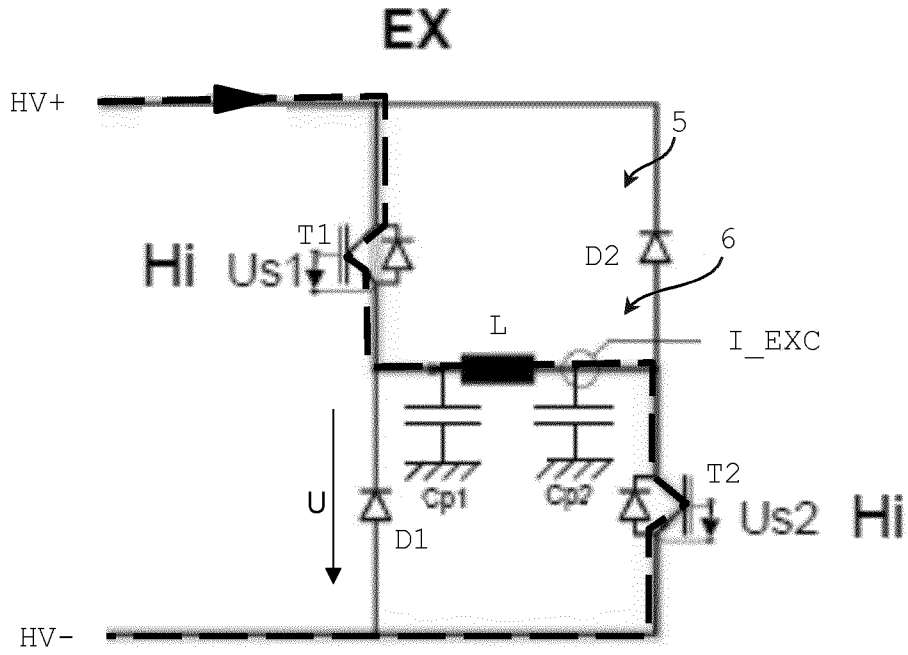


Fig. 5b

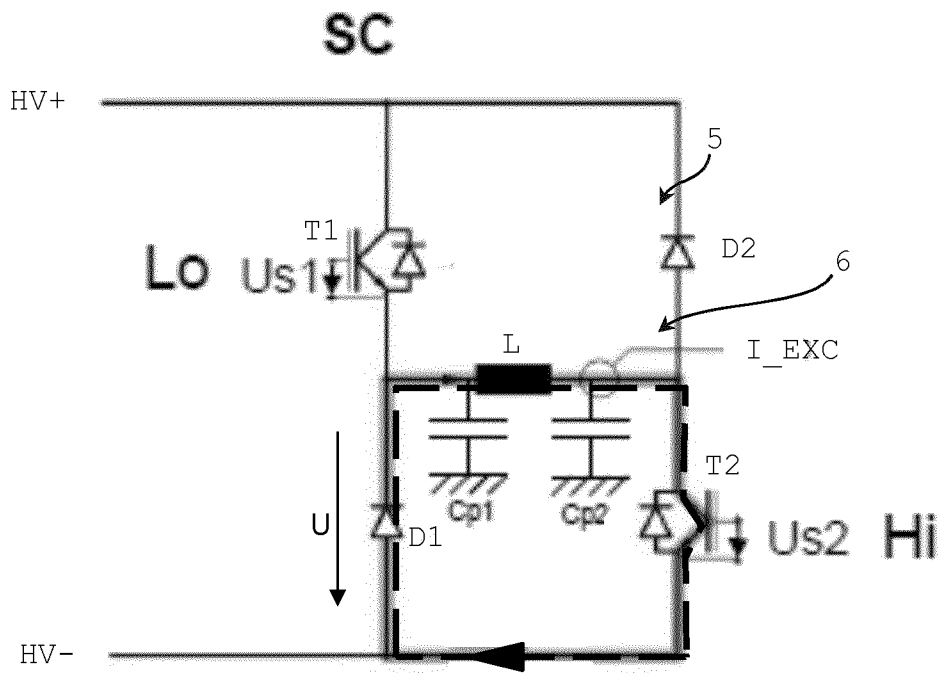


Fig. 6a

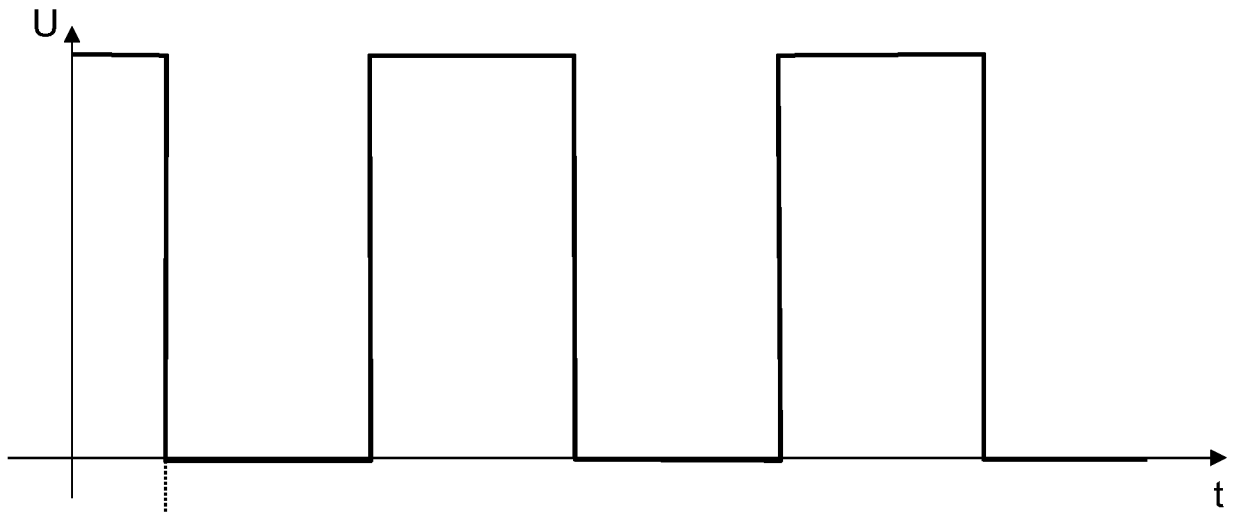


Fig. 6b

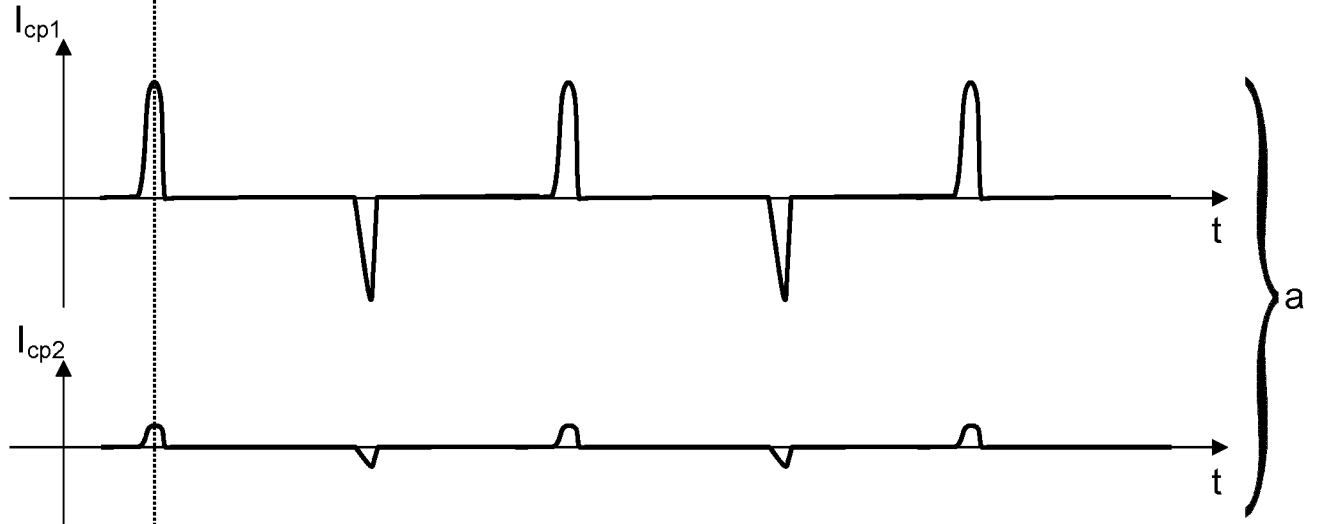
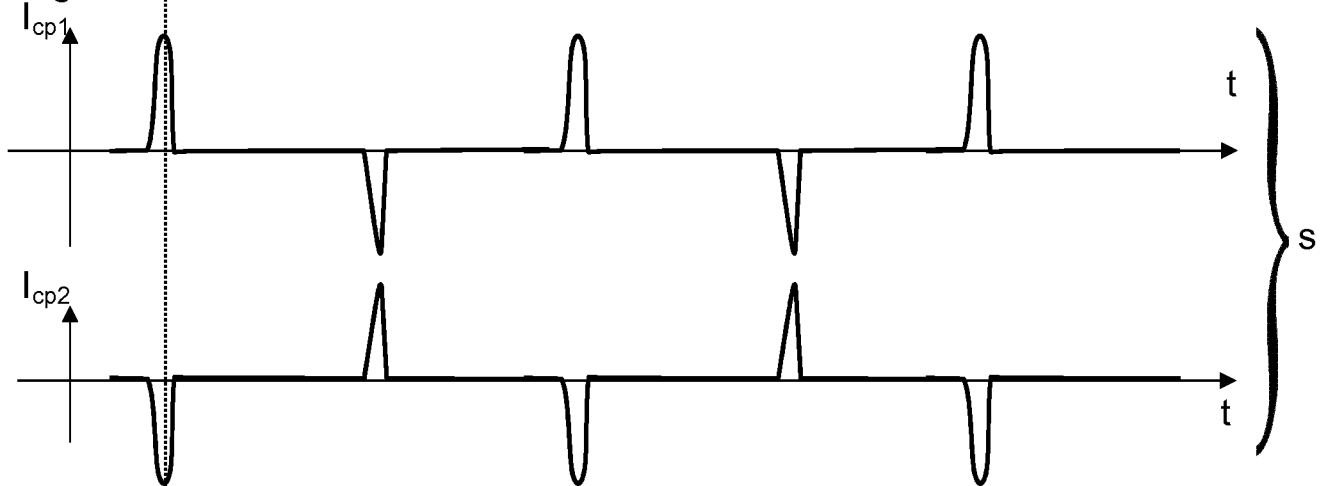


Fig. 6c



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/EP2017/082495
---

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. H02P9/12 H02M7/5388 ADD.				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>				
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H02P H02M				
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched				
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  EPO-Internal				
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>				
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
X	US 2014/375238 A1 (KURFISS JOCHEN [DE] ET AL) 25 December 2014 (2014-12-25) paragraph [0018]; figure 1 -----	1-10		
A	EP 2 638 621 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]) 18 September 2013 (2013-09-18) paragraphs [0027], [0037], [0041], [0042], [0056]; figures 3-5 -----	1-10		
A	DE 15 38 357 A1 (BOSCH GMBH ROBERT) 14 August 1969 (1969-08-14) figure 1 -----	1-10		
A	CN 106 160 608 A (ANHUI LUXUN ELECTRONIC SCIENCE & TECH CO LTD) 23 November 2016 (2016-11-23) abstract; figure 1 -----	1-10		
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.				
* Special categories of cited documents : <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;">                     "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance                      "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date                      "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)                      "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means                      "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed                 </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;">                     "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention                      "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone                      "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art                      "&amp;" document member of the same patent family                 </td> </tr> </table>			"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family			
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report			
12 April 2018	19/04/2018			
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Kanelis, Konstantin			

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2017/082495
---

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2014375238	A1	25-12-2014	CN 104093589 A 08-10-2014
			DE 102012201097 A1 01-08-2013
			EP 2807049 A2 03-12-2014
			US 2014375238 A1 25-12-2014
			WO 2013110482 A2 01-08-2013
-----			
EP 2638621	A1	18-09-2013	EP 2638621 A1 18-09-2013
			US 2013241368 A1 19-09-2013
			WO 2012062376 A1 18-05-2012
-----			
DE 1538357	A1	14-08-1969	DE 1538357 A1 14-08-1969
			FR 1184079 A 16-07-1959
			FR 1535310 A 02-08-1968
			GB 1184079 A 11-03-1970
-----			
CN 106160608	A	23-11-2016	NONE
-----			

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/082495

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 INV. H02P9/12 H02M7/5388  
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
 H02P H02M

Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2014/375238 A1 (KURFISS JOCHEN [DE] ET AL) 25. Dezember 2014 (2014-12-25) Absatz [0018]; Abbildung 1 -----	1-10
A	EP 2 638 621 A1 (ABB RESEARCH LTD [CH]) 18. September 2013 (2013-09-18) Absätze [0027], [0037], [0041], [0042], [0056]; Abbildungen 3-5 -----	1-10
A	DE 15 38 357 A1 (BOSCH GMBH ROBERT) 14. August 1969 (1969-08-14) Abbildung 1 -----	1-10
A	CN 106 160 608 A (ANHUI LUXUN ELECTRONIC SCIENCE & TECH CO LTD) 23. November 2016 (2016-11-23) Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1-10

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. April 2018

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

19/04/2018

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kanelis, Konstantin

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/082495

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2014375238 A1	25-12-2014	CN 104093589 A	08-10-2014
		DE 102012201097 A1	01-08-2013
		EP 2807049 A2	03-12-2014
		US 2014375238 A1	25-12-2014
		WO 2013110482 A2	01-08-2013
-----			
EP 2638621 A1	18-09-2013	EP 2638621 A1	18-09-2013
		US 2013241368 A1	19-09-2013
		WO 2012062376 A1	18-05-2012
-----			
DE 1538357 A1	14-08-1969	DE 1538357 A1	14-08-1969
		FR 1184079 A	16-07-1959
		FR 1535310 A	02-08-1968
		GB 1184079 A	11-03-1970
-----			
CN 106160608 A	23-11-2016	KEINE	
-----			