

(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
06. September 2019 (06.09.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/166642 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H02M 1/42 (2007.01) *H02M 7/219* (2006.01)
H02M 7/217 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2019/055185
- (22) Internationales Anmeldedatum:
01. März 2019 (01.03.2019)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
00262/18 02. März 2018 (02.03.2018) CH
- (71) Anmelder: **ETH ZÜRICH** [CH/CH]; ETH Transfer, HG
E 47-49, Rämistrasse 101, 8092 Zürich (CH).
- (72) Erfinder: **KOLAR, Johann Walter**; Forsterstrasse 75,
8044 Zürich (CH), **BORTIS, Dominik**; Katzenbachstrasse
91, 8052 Zürich (CH).
- (74) Anwalt: **FREI PATENT ATTORNEYS**; c/o Frei Patent-
anwaltsbüro AG, Postfach, 8032 Zürich (CH).
- (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.

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING A THREE-PHASE PULSE RECTIFIER SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM REGELN EINES DREIPHASEN-PULSGLEICHRICHTERSYSTEMS

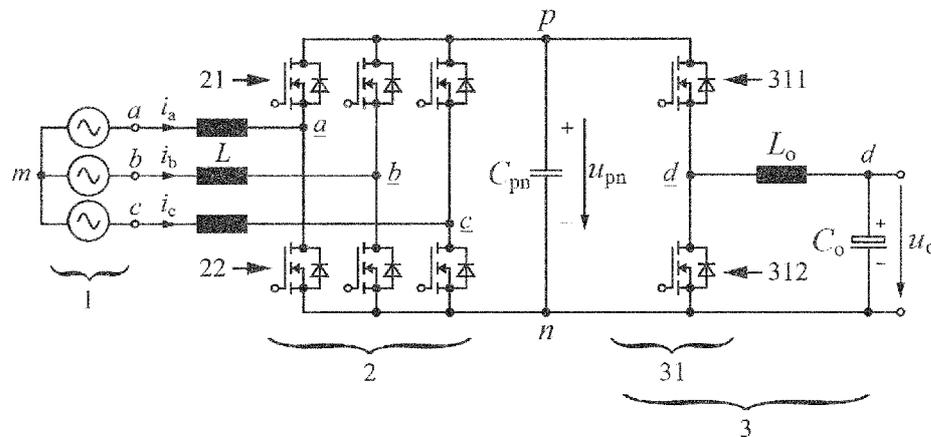


Fig. 1

(57) Abstract: In a method for controlling a three-phase pulse rectifier system (1, 2, 3) having a three-phase bridge circuit (2) for exchanging power between a three-phase network (1) with an intermediate circuit capacitance (C_{pn}) and a load converter (3) for exchanging power between the intermediate circuit capacitance (C_{pn}) and a load, the following steps are each carried out at successive intervals of time - a first network phase currently having a highest voltage value with respect to the other network phases is connected to a positive connection point of the intermediate circuit capacitance (C_{pn}), - a second network phase currently having a lowest voltage value with respect to the other network phases is connected to a negative connection point of the intermediate circuit capacitance (C_{pn}), - a sinusoidal current is generated in a third network phase by clocking the bridge arm connected to this network phase, and - a sinusoidal current is generated in the first and second network phases by varying the voltage of the intermediate circuit capacitance (C_{pn}).

(57) Zusammenfassung: In einem Verfahren zum Regeln eines Dreiphasen-Pulsgleichrichtersystems (1, 2, 3), welches eine Dreiphasen-Brückenschaltung (2), zum Leistungsaustausch zwischen einem Dreiphasennetz (1) mit einer Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) und einem Lastkonverter (3) zum Leistungsaustausch zwischen der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) und einer



WO 2019/166642 A1

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

Last aufweist, wird in zeitlich aufeinanderfolgenden Abschnitten jeweils - eine erste Netzphase, welche momentan einen höchsten Spannungswert bezüglich der anderen Netzphasen aufweist, an einen positiven Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) geschaltet, - eine zweite Netzphase, welche momentan einen niedrigsten Spannungswert bezüglich der anderen Netzphasen aufweist, an einen negativen Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) geschaltet, - in einer dritten Netzphase durch Takten des an diese Netzphase angeschlossenen Brückenzweiges ein sinusförmiger Strom erzeugt, und - durch Variation der Spannung der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) in der ersten und der zweiten Netzphase ein sinusförmiger Strom erzeugt.

VERFAHREN ZUM REGELN EINES DREIPHASEN- PULSGLEICHRICHTERSYSTEMS

Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Dreiphasenpulsleichrichtersysteme, insbesondere auf ein Verfahren zur Regelung der Eingangsphasenströme auf
5 Sinusform und der Ausgangsgleichspannung.

Zur Umformung der Spannung des Dreiphasennetzes in eine Gleichspannung werden gemäss dem Stand der Technik im Allgemeinen aktive Dreiphasenbrückenschaltungen eingesetzt, deren Eingangsklemmen über Vorschaltinduktivitäten mit den Netzklemmen verbunden sind und an deren DC-
10 Ausgang eine Kapazität zu Stützung der gebildeten Gleichspannung angeordnet ist. Durch entsprechende Taktung der Brückenweige, welche die Funktion von Umschaltern zwischen der positiven und der negativen DC-Ausgangsspannungsschiene aufweisen, wird dann im Sinne geringer Netzurückwirkungen vorteilhaft ein netzspannungsproportionaler
15 Eingangstromverlauf eingestellt und die DC-Ausgangsspannung auf einen konstanten Wert geregelt. Alternativ ist auch ein Eingangstromverlauf mit definierter Phasenverschiebung gegenüber der Netzspannung einstellbar. Allerdings weist dieses Konzept aufgrund der eingangsseitig angeordneten Induktivitäten eine Hochsetzstellercharakteristik auf und ist daher nur für die Erzeugung von über dem
20 Spitzenwert der Netzaussenleiterspannung liegenden DC-Ausgangsspannung geeignet. Soll, wie z.B. bei der Batterieladung von Elektrofahrzeugen erforderlich,

eine tiefere Ausgangsspannung gebildet werden, ist dem System eine DC/DC-Tiefsetzstellerstufe nachzuordnen, womit ein zweistufiges Dreiphasen-Tiefsetzsteller-Pulsleichrichtersystem mit vorteilhaft kontinuierlichen, direkt geregelten Eingangsphasenströmen und kontinuierlichem Ausgangsstrom resultiert
5 (vgl. **Figur 1**).

Wird die Tiefsetzstellerstufe bidirektional ausgeführt, kann dann auch eine seitens einer aktiven Last gelieferte Leistung in den DC-Zwischenkreis zwischen beiden Konverterstufen gespeist, bzw. die Lastspannung auf das Niveau der Zwischenkreisspannung angehoben und von dort Leistung in das Netz zurückgeführt
10 werden. Dieser Betrieb liegt z.B. bei der Einspeisung photovoltaisch erzeugter Leistung in das Dreiphasennetz oder bei der Speisung einer dreiphasigen Maschine aus einer Gleichspannung vor.

Für eine kompakte Realisierung ist in beiden Fällen vorteilhaft eine hohe Taktfrequenz der Konverterstufen vorzusehen, womit allerdings relativ hohe Schaltverluste resultieren, welche die Effizienz der Energieumformung reduzieren.
15 Weiters ist für die hochfrequente Taktung der elektronischen Schalter insgesamt eine relativ hohe Ansteuerleistung erforderlich, welche ebenfalls die Effizienz beeinträchtigt.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren für die Regelung und Modulation eines zweistufigen Dreiphasen-Tiefsetzsteller-Pulsleichrichtersystems zu schaffen,
20 welches reduzierte Schaltverluste aufweist, wobei nach wie vor ein sinusförmiger, vorteilhaft in Phase oder in Gegenphase mit der Netzspannung liegender Netzstromverlauf und eine konstante Ausgangsspannung sichergestellt sein soll.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Regelverfahren gemäss den Patentansprüchen.

Das Verfahren dient zum Regeln eines Dreiphasen-Pulsgleichrichtersystems, welches eine Dreiphasen-Brückenschaltung, zum Leistungsaustausch zwischen einem Dreiphasennetz und einer Zwischenkreiskapazität, und einen Lastkonverter, zum Leistungsaustausch zwischen der Zwischenkreiskapazität und einer Last aufweist, wobei Brückenarme der Dreiphasen-Brückenschaltung jeweils eine Netzphase wahlweise mit einem positiven oder einem negativen Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität verbinden.

Dabei ist in zeitlich aufeinanderfolgenden Abschnitten jeweils in einem Abschnitt

- eine erste Netzphase, welche momentan einen höchsten Spannungswert bezüglich der anderen Netzphasen aufweist, an einen positiven Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität geschaltet,
- eine zweite Netzphase, welche momentan einen niedrigsten Spannungswert bezüglich der anderen Netzphasen aufweist, an einen negativen Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität geschaltet,
- und wird in einer dritten Netzphase durch Takten des an diese Netzphase angeschlossenen Brückenarmes ein sinusförmiger Strom erzeugt,
- und wird durch Variation der Spannung der Zwischenkreiskapazität in der ersten und der zweiten Netzphase ein sinusförmiger Strom erzeugt.

In Ausführungsformen wird bei der Variation der Zwischenkreisspannung (u_{pn}) der Zwischenkreiskapazität für die Regelung des Eingangsstromes in der ersten und der zweiten Netzphase ein entsprechender Verlauf der DC-Zwischenkreisspannung (u_{pn}) herangezogen, indem

- ein Zwischenkreisspannungswert durch Subtraktion der Brückenarmeingangsspannungswerte der ersten (u_1) und der zweiten Phase (u_2) gebildet wird,

- von diesem Zwischenkreisspannungssollwert der Zwischenkreisspannungswert subtrahiert und eine damit vorliegende Zwischenkreisspannungsregelabweichung einem Zwischenkreisspannungsregler zugeführt wird, an dessen Ausgang ein Sollwert des Nachladestromes des Zwischenkreiskondensators auftritt, und dieser
- nach Subtraktion von einem Zwischenkreisstromsollwert, der für jeden Sektor aus Eingangsphasensollstromwerten berechnet wird, und nach Multiplikation mit dem Zwischenkreisspannungssollwert auf eine Differenzleistung führt, welche aus dem Zwischenkreis abzuführen ist, und
- durch Division der Zwischenkreissollleistung durch den Ausgangsspannungssollwert ein Sollwert eines Stromes in einer Tiefsetzstellerinduktivität (Tiefsetzstellerinduktivitätssollwert) des Lastkonverters ermittelt wird, und dieser durch den Lastkonverter eingestellt wird.

In Ausführungsformen wird bei der Variation der Spannung der Zwischenkreiskapazität eine Ausgangsspannung (u_o) an der Last und/oder eine Ausgangsleistung des Lastkonverters an die Last durch Modulation des Lastkonverters geregelt.

In Ausführungsformen wird ein Sollwert eines Eingangersatzleitwertes (Eingangssollleitwert) in Abhängigkeit einer Lastspannungsregelabweichung, gebildet, indem

die Lastspannungsregelabweichung an den Eingang eines Ausgangsspannungsreglers geführt wird, welche am Ausgang den erforderlichen Sollwert des Nachladestromes (des Ausgangskondensators bildet, womit nach Addition des gemessenen Laststromes (Laststromvorsteuerung) und Multiplikation dieser Stromsumme mit der Ausgangsreferenzspannung ein Sollwert der an den Ausgang zu liefernden Leistung (Ausgangsleistungssollwert) resultiert, und

der Eingangssollwertwert derart bestimmt wird, dass eine Leistungsaufnahme aus dem Netz in Höhe des Ausgangsleistungssollwertes resultiert, indem durch Multiplikation des Eingangssollwertwertes mit den gemessenen Phasenspannungen Sollwerte der in den Vorschaltinduktivitäten einzustellenden Ströme (Eingangsphasenstromsollwerte) bestimmt werden und für jede Phase durch Subtraktion eines gemessenen Eingangsstromwertes eine Regelabweichung ermittelt und einem Eingangstromregler zugeführt wird, welcher an seinem Ausgang einen Sollwert der über der zugehörigen Vorschaltinduktivität zu bildenden Spannung bildet,

wobei nach Subtraktion dieses Sollwertes vom Messwert der zugehörigen Netzphasenspannung ein Sollwert der Eingangsspannung des zugehörigen Brückenweiges (Brückenweigeingangsspannungssollwert) der Dreiphasen-Brückenschaltung resultiert und durch diese eingestellt wird.

In Ausführungsformen wird kurz vor- und kurz nach einer Sektorgrenze zwischen zwei Abschnitten mindestens eine weitere Phase aktiv geschaltet, und die Auswahl dieser Phase erfolgt so, dass reduzierte zusätzliche Schaltverluste auftreten, also jene Phase als geschaltete Phase gewählt wird, deren Betrag des Phasenstromwertes näher am Phasenstromwert der dritten Phase liegt.

In Ausführungsformen beträgt die Länge eines Zeitabschnitts vor und eines Zeitabschnitts nach einer Sektorgrenze, in welchen die weitere Phase aktiv geschaltet wird, jeweils weniger als 10%, insbesondere weniger als 5%, insbesondere weniger als 3% der zeitlichen Dauer eines Sektors. Absolut betrachtet können diese Längen weniger als 300 Mikrosekunden, insbesondere weniger als 200 Mikrosekunden, insbesondere weniger als 100 Mikrosekunden betragen.

In Ausführungsformen wird kurz nach einer Sektorgrenze zwischen zwei Abschnitten die dritte Phase für einen kurzen Zeitabschnitt gesperrt und erst anschliessend für die Taktung freigegeben.

In Ausführungsformen beträgt die Länge dieses Zeitabschnitts weniger als 10%, insbesondere weniger als 5%, insbesondere weniger als 3% der zeitlichen Dauer eines Sektors. Absolut betrachtet kann diese Länge weniger als 300 Mikrosekunden, insbesondere weniger als 200 Mikrosekunden, insbesondere weniger als 100
5 Mikrosekunden betragen.

In Ausführungsformen ist der Lastkonverter ein Hochsetzsteller.

In Ausführungsformen ist der Lastkonverter ein Pulswechselrichter.

In Ausführungsformen ist der Lastkonverter eine stromeinprägende, in der Verbindungsleitung von positiver respektive negativer Zwischenkreisspannungs- und positiver respektive negativer Ausgangsspannungsklemme angeordnete Vollbrückenschaltzelle mit innerer DC-Spannung, wobei negative respektive positive Klemmen von Zwischenkreis- und Ausgangsspannung direkt miteinander verbunden sind.
10

In Ausführungsformen werden zum Erreichen einer Phasenverschiebung von Netzspannung und Netzstrom zu den Phasenstromsollwerten entsprechende
15 Blindkomponenten addiert.

In Ausführungsformen verbinden Brückenzweige der Dreiphasen-Brückenschaltung jeweils eine Netzphase wahlweise auch mit mindestens einem Zwischen-Anschlusspunkt einer Serienschaltung von mindestens zwei Teil-Zwischenkreiskapazitäten, welche die Zwischenkreiskapazität bilden.

20 In Ausführungsformen erfolgt eine Regelung zur Balancierung von Teil-Zwischenkreisspannungen der Teil-Zwischenkreiskapazitäten.

In Ausführungsformen erfolgt die Regelung zur Balancierung der Teil-Zwischenkreisspannungen durch Regelung einer Leistungsaufnahme von zwei oder mehr Teil-Lastkonvertern, insbesondere wobei jeder Teil-Zwischenkreiskapazität ein Teil-

Lastkonverter zum Leistungsaustausch zwischen dieser Teil-Zwischenkreiskapazität und der Last zugeordnet ist.

In Ausführungsformen wird bei der Regelung der Leistungsaufnahme bei einer Teil-Zwischenkreiskapazität mit einer bezüglich eines entsprechenden Zwischenkreiskapazitäts-Spannungs-Sollwertes zu hohen Zwischenkreiskapazitäts-Spannung mehr Leistung als durch einen entsprechenden vorgegebenen Leistungs-Sollwert gefordert entnommen, und wird einer Teil-Zwischenkreiskapazität mit einer bezüglich eines entsprechenden Zwischenkreiskapazitäts-Spannungs-Sollwertes zu niedrigen Zwischenkreiskapazitäts-Spannung weniger Leistung als durch einen entsprechenden vorgegebenen Leistungs-Sollwert gefordert entnommen.

Im Folgenden wird der Erfindungsgegenstand anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen, welche in den beiliegenden Zeichnungen dargestellt sind, näher erläutert. Es zeigen jeweils schematisch:

15 **Figur 1:** Leistungsteil des Systems, wobei der Eingangsteil als Zweipunkt-Brückenschaltung und der Lastkonverter als DC/DC-Tiefsetzsteller ausgeführt ist.

Figur 2: Spannungsverläufe der Netzeingangsspannungen u_a , u_b und u_c sowie der Zwischenkreisspannung u_{pn} . Die Unterteilung in die sechs Spannungssektoren sowie die Zuteilung der Netzspannungen auf die drei Phasen u_1 , u_2 und u_3 erfolgt in Abhängigkeit der Spannungsverhältnisse der Netzeingangsspannungen.

Figur 3: Schaltungstechnische Realisierung des Verfahrens zur Regelung und Modulation des Systems nach Figur 1. Die Figur ist, über drei Seiten verteilt, aus Teilfiguren 3a, 3b, 3c gebildet.

Figur 4: Alternative Ausführung des Lastkonverters als DC/DC-Hochsetzsteller.

Figur 5: Alternative Ausführung des Lastkonverters als aktives stromeinprägendes Serienelement in Form einer Schaltzelle, d.h. der Lastkonverter ist eine in der Verbindungsleitung von positiver Zwischenkreisspannungs- und positiver Ausgangsspannungsklemme angeordnete Vollbrückenschaltzelle, welche die Funktion einer aktiven Glättungs- bzw. Ausgangsinduktivität aufweist.

Figur 6: Alternative Ausführung des Lastkonverters als Pulsconverter, insbesondere als Pulswechselrichter, zur direkten Speisung einer Maschine M. Ohne zwischengeschalteten Tief- oder Hochsetzsteller sind beim Wechselrichter für die Regelung der Maschinenströme mindestens zwei Phasen zu takten; mit zwischengeschaltetem Converter kann jedoch auch hier die Regelung mit Klemmung von zwei Phasen angewendet werden.

Es wird also (unter Annahme ohmschen Netzverhaltens), anstelle aller drei Brückenweige in jedem Eingangsspannungssektor jeweils nur der Brückenweig der aktiven Dreiphasenbrückenschaltung getaktet, welcher den betragsmässig kleinsten Strom führt und in dieser Phase, im Weiteren als dritte Phase u_3 bezeichnet, durch Taktung des Brückenweiges ein sinusförmiger Stromverlauf eingepägt. Gleichzeitig werden die anderen beiden Brückenweige je nach anliegenden Eingangsspannungsverhältnissen bzw. dem vorliegenden (durch die Grössenverhältnisse der Eingangsphasenspannungen bestimmten) Eingangsspannungssektor durchgeschaltet, d.h. die Phase mit dem positivsten (respektive höchsten) Netzphasenspannungsmomentanwert, im Weiteren als erste Phase u_1 bezeichnet, an die positive DC-Ausgangsspannungsschiene p und die Phase mit dem negativsten (respektive niedrigsten) Netzphasenspannungsmomentanwert, im Weiteren als zweite Phase u_2 bezeichnet, an die negative DC-Ausgangsspannungsschiene n geklemmt (vgl. **Figur 2**).

Da Pulsgleichrichtersysteme typischerweise keine Verbindung mit dem Netzsternpunkt m aufweisen, bzw. die Summe der Phasenströme zu Null gezwungen wird, kann dann durch gleichzeitige Regelung eines weiteren Stromes insgesamt ein definierter Verlauf aller drei Phasenströme erreicht werden. Als Spannung für die
5 Einprägung des weiteren Stromes wird ein definierter Verlauf der Zwischenkreisspannung u_{pn} herangezogen. Da die erste Phase u_1 an die positive DC-Ausgangsspannungsschiene p und die zweite Phase u_2 an die negative DC-Ausgangsspannungsschiene n geklemmt wird, tritt die Zwischenkreisspannung u_{pn} in Form einer verketteten Spannung zwischen den Eingängen der Brückenweige der
10 ersten und zweiten Phase auf und bildet in Verbindung mit der zugeordneten verketteten Spannung auf der Netzseite eine entsprechende, über der jeweiligen Vorschaltinduktivität L der ersten und der zweiten Phase auftretende und damit stromeinprägende Spannung (vgl. **Figur 1** und **Figur 2**).

Abweichend zu einer konventionellen Realisierung mit zeitlich konstanter
15 Zwischenkreisspannung u_{pn} wird so der Freiheitsgrad bezüglich der Wahl eines Zwischenkreisspannungsverlaufes ausgenutzt, wobei dieser derart geregelt wird, dass sich in der ersten und zweiten Phase ebenfalls ein sinusförmiger Stromverlauf ausbildet. Dabei ist anzumerken, dass zeitliche Schwankungen der Zwischenkreisspannung u_{pn} durch entsprechende Pulsbreitenmodulation der
20 nachgeschalteten Tiefsetzstellerstufe ausgeglichen werden können, d.h. nach wie vor eine konstante Ausgangsspannung u_o gebildet werden kann. Da das erfindungsgemäss Verfahren eine Taktung der, verglichen mit der dritten Phase höhere Ströme führenden ersten und zweiten Phase vermeidet, werden so vorteilhaft geringe Schaltverluste und ein geringer Ansteuerleistungsbedarf
25 sichergestellt.

Anzumerken ist, dass das zweistufige Dreiphasen-Tiefsetzsteller-Pulsleichrichtersystem nicht auf eine reine Tiefsetzstellerfunktion beschränkt ist,

- sondern auch als Hochsetzsteller betrieben werden kann. In diesem Fall ist der obere Schalter des ausgangsseitigen Tiefsetzstellers durchzuschalten, sodass die Ausgangsspannung u_o der Zwischenkreisspannung u_{pn} entspricht; die aktive Dreiphasenbrücke wird dann als konventioneller Hochsetzsteller betrieben, wobei
- 5 zur Regelung einer konstanten Zwischenkreis- bzw. Ausgangsspannung mehr als ein Brückenweig zu takten ist. Für die Regelung wird dann ein Verfahren nach dem Stand der Technik verwendet. In Abhängigkeit des Betriebes (Tief- oder Hochsetzstellerbetrieb) wird also zwischen der erfindungsgemässen Regelung und einer Regelung nach Stand der Technik umgeschaltet.
- 10 Das durch das erfindungsgemässe Verfahren zu steuernde und zu regelnde Dreiphasen-Hoch-Tiefsetzsteller-Pulsgleichrichtersystem wird mit bekannter Struktur eingangsseitig durch eine Dreiphasen-Zweipunktbrückenschaltung (2) oder Dreiphasen-Mehrpunktbrückenschaltung (Brückenschaltung) mit drei AC-Phaseneingängen (\underline{a} , \underline{b} und \underline{c}) und einer positiven (p) und einer negativen DC-
- 15 Ausgangsspannungsschiene (n), zwischen welchen ein Pufferkondensator (Zwischenkreiskondensator respektive Zwischenkreiskapazität) (C_{pn}) angeordnet ist, gebildet, wobei beide DC-Spannungsschienen an den Eingang einer ausgangsseitigen Konverterstufe (Lastkonverter) (3) geführt werden, welche einen Verbraucher speist, bzw. über dem Verbraucher eine Spannung (Lastspannung) (u_o) erzeugt (vgl. **Figur 1**).
- 20 Weiters ist jeder Phaseneingang der Brückenschaltung über jeweils eine Vorschaltinduktivität (L) mit der zugehörigen Phasenklemme (a , b und c) des speisenden Dreiphasen-AC-Netzes (Netz) (1) verbunden. Um betriebsmässig auftretende schaltfrequente Komponenten der Ströme in den Vorschaltinduktivitäten vom Netz fernzuhalten bzw. die Versorgungsspannung
- 25 unabhängig von der inneren Impedanz des Netzes zu definieren, können an den Netzklemmen drei Filterkondensatoren (Netzfilterkondensatoren) in Stern- oder Dreieckschaltung vorgesehen sein. Die Brückenschaltung (2) weist dabei allgemein drei Brückenweige auf, wobei für Zweipunktcharakteristik jeder Brückenweig einen

oberen mit der positiven DC-Zwischenkreisschiene (p) und einen unteren mit der negativen DC-Zwischenkreisspannungsschiene (n) verbundenen elektronischen Schalter aufweist und der Phasenausgang des Brückenweiges (a, b und c) durch die Verbindungsstelle der freien Enden des oberen und unteren Schalters gebildet wird und antiparallel zu den Schaltern Freilaufdioden geschaltet sein können. Der folgenden Beschreibung wird im Sinne der Übersichtlichkeit eine Zweipunktausführung der Brückenschaltung zugrunde gelegt, weiters wird der Lastkonverter (3) wie einleitend angemerkt als einfacher bidirektionaler Tiefsetzsteller gebildet gedacht, welcher eingangsseitig einen zwischen positiver (p) und negativer DC-Spannungsschiene (n) geschalteten Zweipunkt-Brückenweig (Tiefsetzstellerbrückenweig) (31) aufweist, von dessen Ausgangsklemme (d) eine Tiefsetzstellerinduktivität (L_o) gegen die positive Ausgangsspannungsklemme (d) des Systems geschaltet ist, wobei die negative Ausgangsspannungsklemme direkt mit der negativen DC-Spannungsschiene (n) verbunden und zwischen der positiven und der negativen Ausgangsklemme ein Stützkondensator (Ausgangskondensator) (C_o) angeordnet und die Last zwischen die positive (d) und negative Ausgangsklemme (n) gelegt ist.

Die Modulation des Systems erfolgt in Abhängigkeit der Grössenverhältnisse der Netzphasenspannungen (mit anderen Worten: in Abhängigkeit der Relationen der Höhen der Netzphasenspannungen), wobei abschnittsweise eine erste (oder momentan obere) Netzphase (u_1) einen positiven, eine zweite (oder momentan untere) Netzphase (u_2) einen negativen und die dritte (oder momentan mittlere) Netzphase (u_3) einen mittleren Spannungswert aufweist, welcher maximal den Spannungswert der ersten Netzphase (u_1) erreicht und jedenfalls oberhalb des Spannungswertes der zweiten Netzphase (u_2) liegt oder diesen im Grenzfall erreicht. Für ein symmetrisches Dreiphasennetz bleiben diese Grössenverhältnisse mit einer Breite von $1/6$ der Netzperiode, d.h. innerhalb eines 60° -breiten Sektors oder Abschnitts (SR) unverändert, wobei ein Winkel von 360° einer kompletten

Schwingungsperiode der Netzspannungen entspricht (vgl. **Figur 2**). Wechseln beim Übertritt in den nächstfolgenden Sektor oder Abschnitt die Grössenverhältnisse, wird auch die Modulation entsprechend angepasst. Das heisst, die jeweils erste, zweite, dritte (oder obere, untere, mittlere) Phase, wie sie bei der Modulation betrachtet und geschaltet wird, ist in jedem Sektor einer anderen physischen Phase zugeordnet. Innerhalb eines Sektors wird jeweils die erste Phase (u_1) mittels des oberen Schalters (21) des zugehörigen Brückenweiges bleibend mit der positiven DC-Spannungsschiene (p) und jeweils die zweite Phase (u_2) mittels des unteren Schalters (22) des zugehörigen Brückenweiges bleibend mit der negativen DC-Spannungsschiene (n) verbunden und nur die dritte Phase (u_3) schaltfrequent taktend belassen. Vorteilhaft treten damit nur für eine Phase, d.h. die dritte Phase (u_3) Schaltverluste auf, welche aufgrund des relativ geringen Wertes des zugehörigen Phasenstromes einen relativ geringen Wert aufweisen.

Ziel der Regelung des Systems ist es, in den Vorschaltinduktivitäten (L) bzw. in den Netzphasen sinusförmige, in Phase (für Leistungsbezug aus dem Netz, bzw. in Gegenphase für Leistungsrückspeisung) mit der zugehörigen Netzphasenspannung (u_a , u_b und u_c) liegende Ströme (i_a , i_b und i_c) einzuprägen, wobei für ein symmetrisches Netz sämtliche Ströme dieselbe Amplitude aufweisen und optional am Ausgang des Lastkonverters (3) eine definierte Lastspannung (u_o) entsprechend einem vorgegebenen Sollwert (Lastspannungssollwert) (u_o^*) zu erzeugen, bzw. allgemein eine definierte Leistung an den Verbraucher zu liefern (vgl. **Figur 3**). Alternativ können die Netzphasenströme auch eine Phasenverschiebung gegenüber den zugehörigen Netzphasenspannungen aufweisen. Für die weitere Beschreibung wird allerdings im Sinne der Übersichtlichkeit ohmsches Netzverhalten angenommen. Entsprechend ist das System vom Netz aus betrachtet ersatzweise als Sternschaltung gleicher ohmsche Widerstände (Eingangsersatzwiderstände) bzw. Leitwerte (Eingangsersatzleitwerte) zu sehen, deren Leistung unter idealisierender Annahme von Verlustfreiheit direkt an den Ausgang, d.h. an den Verbraucher weitergegeben

wird. Diesem Gedanken folgend wird der Sollwert des Eingangersatzleitwertes (Eingangssollleitwert) (G^*) in Abhängigkeit der Lastspannungsregelabweichung, d.h. der Differenz eines vorgegebenen Lastspannungssollwertes (u_o^*) und des gemessenen Lastspannungswertes (u_o) gebildet, indem die

5 Lastspannungsregelabweichung an den Eingang eines Ausgangsspannungsreglers geführt wird, welche am Ausgang den erforderlichen Sollwert des Nachladestromes (i_{Co}^*) des Ausgangskondensators (C_o) bildet, womit nach Addition des gemessenen Laststromes (Laststromvorsteuerung) (i_{Load}) und Multiplikation dieser Stromsumme mit der Ausgangsreferenzspannung (u_o^*) der Sollwert der an den Ausgang zu liefernden

10 Leistung (Ausgangsleistungssollwert) (P_o^*) resultiert, welcher letztlich aus dem Netz zu beziehen ist, also bei Vernachlässigung der Verluste des Systems direkt den Eingangsleistungssollwert definiert. Entsprechend wird im nächsten Schritt mit dem Eingangsphasenspitzenwert \hat{u}_i der Eingangssollleitwert (G^*) derart bestimmt, dass eine Leistungsaufnahme aus dem Netz in Höhe des Ausgangsleistungssollwertes (P_o^*)

15 resultiert. Durch Multiplikation des Eingangssollleitwertes (G^*) mit den gemessenen Phasenspannungen (u_a , u_b und u_c) resultieren dann Sollwerte der in den Vorschaltinduktivitäten einzustellenden Ströme (Eingangsphasenstromsollwerte) (i_a^* , i_b^* und i_c^*). Für jede Phase wird nun durch Subtraktion des gemessenen Eingangsstromwertes (i_a , i_b und i_c) die Regelabweichung ermittelt und einem

20 Eingangsstromregler zugeführt, welcher an seinem Ausgang den Sollwert der über der zugehörigen Vorschaltinduktivität zu bildenden Spannung (u_{La}^* , u_{Lb}^* und u_{Lc}^*) bildet. Nach Subtraktion dieses Sollwertes vom Messwert der zugehörigen Netzphasenspannung (u_a , u_b und u_c) resultiert damit der Sollwert der Eingangsspannung des zugehörigen Brückenweiges (Brückenweigeingangsspannungssollwert) (\underline{u}_a , \underline{u}_b und \underline{u}_c) der aktiven Brückenschaltung. Für die dritte Phase

25 (u_3) wird der Brückenweigeingangsspannungssollwert durch den halben Messwert der Zwischenkreisspannung (Zwischenkreisspannungswert) (u_{pn}) dividiert und damit im Sinne einer Pulsweitenmodulation die relative Einschaltdauer (d_3) des

oberen Schalters des zugehörigen Brückenweiges berechnet, wobei während der Ausschaltdauer des oberen Schalters (21) der untere Schalter (22) des Brückenweiges eingeschaltet wird, d.h. beide Schalter des Brückenweiges im Gegentakt arbeiten und die Taktperiode bevorzugt eine konstante Länge bzw. die Taktfrequenz bevorzugt einen konstanten Wert aufweist. Insgesamt wird so der Phasenstromwert der dritten Phase entsprechend dem zugehörigen Eingangphasenstromsollwertverlauf geführt.

Eine Sektorbestimmungseinheit bestimmt anhand der Netzphasenspannungen (u_a , u_b und u_c), in welchem Sektor oder Abschnitt (SR) sich die Netzphasenspannungen gemäss ihren Grössenverhältnissen befinden. Eine Modulationseinheit erzeugt anhand dieser Sektorinformation und der Einschaltdauer (d_3) Schaltsignale S_a , S_b , S_c für die drei Brückenweige.

Da die erste Phase (u_1) wie vorgehend beschrieben innerhalb des gesamten betrachteten Sektors an die positive DC-Zwischenkreisspannungsschiene (p) und die zweite Phase (u_2) an die negative DC-Zwischenkreisspannungsschiene (n) geklemmt wird, kann für die Regelung des Eingangsstromes in diesen Phasen direkt ein entsprechender Verlauf der DC-Zwischenkreisspannung (u_{pn}) herangezogen werden. Der Sollverlauf ($u_{12}^* = u_{pn}^*$) wird dabei durch Subtraktion der Brückenweigeingangsspannungssollwerte der ersten (u_1) und der zweiten Phase (u_2) gebildet und von diesem Zwischenkreisspannungssollwert der Zwischenkreisspannungswert (u_{pn}) subtrahiert und die damit vorliegende Zwischenkreisspannungsregelabweichung einem Zwischenkreisspannungsregler zugeführt, an dessen Ausgang der Sollwert des Nachladestromes des Zwischenkreiskondensators (i_{Cpn}^*) auftritt, welcher nach Subtraktion vom Zwischenkreisstromsollwert (i_{pn}^*) (der sich für jeden Sektor aus den Eingangphasensollstromwerten (i_a^* , i_b^* und i_c^*) berechnet) und nach Multiplikation

mit dem Zwischenkreisspannungssollwert (u_{pn}^*) auf die Differenzleistung (P_{pn}^*) führt, welche aus dem Zwischenkreis abzuführen ist.

Alternativ kann der Sollwert der seitens des Lastkonverters dem Zwischenkreis zu entnehmende Leistung (P_{pn}^*) auch aus der Subtraktion der
5 (Zwischenkreiskondensatorssolleistung, zu erhalten durch Multiplikation des Sollwertes des Nachladestromes des Zwischenkreiskondensators (i_c^*) mit dem Zwischenkreisspannungssollwert (u_{pn}^*)) vom Eingangsleistungssollwert berechnet werden.

Die anschliessende Division der Zwischenkreissolleistung (P_{pn}^*) durch den
10 Ausgangsspannungssollwert (u_o^*) führt auf den Sollwert des Stromes in der Tiefsetzstellerinduktivität (Tiefsetzstellerinduktivitätssollwert) ($i_{L_o}^*$) von welchem zur Bildung der Tiefsetzstellerinduktivitätsstromregelabweichung der gemessene Tiefsetzstellerinduktivitätsstromwert (i_{L_o}) subtrahiert wird.

Wird alternativ für die Berechnung des Stromsollwertes der
15 Tiefsetzstellerinduktivität ($i_{L_o}^*$) nur die Zwischenkreiskondensatorssolleistung ohne Solleingangsleistung verwendet, kann der Sollstromwert ($i_{L_o,DC}^*$), welcher vom Ausgangsspannungsregler berechnet wird und aufgrund der begrenzten Bandbreite des Ausgangsspannungsreglers nur eine geringe Dynamik aufweist, vorgesteuert werden.

20 Die Tiefsetzstellerinduktivitätsstromregelabweichung wird dann an den Eingang eines Tiefsetzstellerstromreglers gelegt, der an seinem Ausgang die über der Tiefsetzstellerinduktivität im Mittel über eine Taktperiode zu bildende Spannung (Tiefsetzstellerinduktivitätssollspannung) ($u_{L_o}^*$) erzeugt, welche nach Addition des Ausgangsspannungssollwertes (u_o^*) auf die zur Einprägung des
25 Tiefsetzstellerinduktivitätssollwertes erforderliche Ausgangsspannung (u_d^*) des Tiefsetzstellerbrückenweiges führt. Durch Division dieses Wertes durch den

Zwischenkreisspannungssollwert (u_o^*) wird dann schliesslich die relative Einschaltdauer des oberen Schalters (d_d) des Tiefsetzstellerbrückenweiges ermittelt, wobei innerhalb der relativen Ausschaltdauer des oberen Schalters (311) der untere Schalter (312) durchgeschaltet wird, also beide Schalter des Brückenweiges im Gegentakt arbeiten. Um eine minimale schaltfrequente Schwankung der Zwischenkreisspannung (u_{pn}) zu erreichen ist dabei vorteilhaft die Taktung des dritten Brückenweiges der aktiven Brückenschaltung und des Tiefsetzstellerbrückenweiges mit gleicher Taktfrequenz vorzunehmen und zeitlich so zu legen, dass sich bei gesperrtem oberem Schalter (21) des dritten Brückenweiges der obere Schalter des Tiefsetzstellerbrückenweiges (311) im durchgeschalteten Zustand befindet. Es kann dann der Zwischenkreiskondensator (C_{pn}) mit relativ kleiner Kapazität ausgeführt und damit der Zwischenkreisspannungswert (u_{pn}) mit einem, verglichen mit dem Ausgangsstrom relativ kleinen Umladestrom (i_{Cpn}) entsprechend dem, weitgehend der positiven Einhüllenden der Netzaussenleiterspannungen entsprechenden sechspulsigen Verlauf geführt werden.

Bei Steuerung entsprechend der vorgehenden Beschreibung, wird innerhalb eines Sektors jeweils nur die dritte Phase (u_3) für die Einprägung des zugehörigen Phasenstromes getaktet, die erste (u_1) und die zweite Phase (u_2) verbleiben geklemmt. Der abrupte Wechsel an den Sektorgrenzen kann zu Verzerrungen der Phasenströme (i_a , i_b und i_c) führen, weshalb kurz vor- und kurz nach der Sektorgrenze mindestens eine weitere Phase aktiv geschaltet werden kann und die Auswahl dieser Phase so erfolgt, dass minimale zusätzliche Schaltverluste auftreten, also jene Phase gewählt wird, deren Betrag des Phasenstromwerts näher am Phasenstromwert der dritten Phase liegt.

Eine weitere Möglichkeit Verzerrungen zu vermeiden besteht darin, kurz nach einer Sektorgrenze die dritte Phase für einen kurzen Zeitabschnitt zu sperren (d.h. in

diesem Zeitabschnitt alle Schalter der aktiven Brückenschaltung gesperrt zu halten) und erst anschliessend für die Taktung freizugeben.

Anzumerken ist, dass neben der Ausführung des Lastkonverters als DC/DC-Tiefsetzsteller mehrere weitere Realisierungsformen bestehen:

- 5 • ein DC/DC-Hochsetzsteller (vgl. **Figur 4**),
- eine Vollbrückenschaltzelle mit innerer DC-Spannung und Serieninduktivität, zur Implementierung einer aktiven Glättungs- bzw. Ausgangsinduktivität (vgl. **Figur 5**). Der dem DC-Zwischenkreis entnommene Strom ist hier direkt gleich dem Ausgangsstrom, welcher über entsprechende Taktung der
10 Vollbrückenschaltzelle eingepreßt wird. Da die Zelle nur Leistungspulsationen mit sechsfacher Netzfrequenz ausgleicht, ist keine DC-seitige Speisung erforderlich.
- Ein Dreiphasen-Pulsconverter, insbesondere Pulswechselrichter (vgl. **Figur 6**),
- oder eine andere spannungsstabilisierende Konverterstufe.

15 Anzumerken ist, dass für die Zeichnungen ohmsches Netzverhalten vorausgesetzt wird, das erfindungsgemässe Steuerverfahren jedoch auch für eine Phasenverschiebung der Netzphasenströme gegenüber den zugeordneten Netzphasenspannungen Anwendung finden kann, wobei dann die Sektorauswahl nach wie vor gleich erfolgt und nur zu den Phasenstromsollwerten (welche gemäss
20 den obigen Ausführungen für ohmsches Netzverhalten gebildet werden) entsprechende Blindkomponenten addiert werden.

Die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele zeigen eine Dreiphasen-Brückenschaltung 2 mit zwei Spannungsniveaus, also eine Zwei-Level-Brückenschaltung. Das beschriebene Verfahren kann auch mit Multi-level-, insbesondere Drei-Level-
25 Brückenschaltungen eingesetzt werden. Solche können beispielsweise als Neutral-

Point Clamped (NPC) Konverter realisiert werden, wie z.B. Vienna-Konverter, T-Type-Konverter, etc.

Dabei ist die Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) durch eine Serieschaltung von mindestens zwei (für den Drei-Level Fall) oder mehr Teil-Zwischenkreiskapazitäten realisiert.

5 Über jeden dieser Teil-Zwischenkreiskapazitäten liegt eine Teil-Zwischenkreisspannung. Daraus ergeben sich Spannungen an Zwischen-Anschlusspunkten zwischen den Teil-Zwischenkreiskapazitäten.

Brückenzweige der Dreiphasen-Brückenschaltung 2 verbinden jeweils eine Netzphase wahlweise mit einem positiven oder einem negativen Anschlusspunkt der
10 Zwischenkreiskapazität C_{pn} , oder mit einem der Zwischen-Anschlusspunkte.

Bei Verwendung eines Multilevel-Dreiphasengleichrichters, insbesondere bei Neutral-Point Clamped (NPC) Konvertern (wie z.B. Vienna-Konverter, T-Type-Konverter), kann zusätzlich zur oben beschriebenen Regelung der gesamten Zwischenkreisspannung auch eine Regelung zur Balancierung der Teil-Zwischenkreisspannungen durch den oder die Lastkonverter 3 erfolgen. Diese kann durch eine
15 zusätzliche überlagerte Regelschleife oder Regelung für den oder die Lastkonverter 3 realisiert werden, welche die anderen Bereiche der Regelung nicht tangiert. Der Lastkonverter 3 wird dabei durch mehrere Teil-Lastkonverter realisiert. Diese sind typischerweise zum Leistungsaustausch zwischen jeweils einer Teil-Zwischenkreiskapazität und der Last angeordnet.
20

In Ausführungsformen regelt die zusätzliche Regelung eine Leistungsaufnahme aus den in Serie geschalteten Teil-Zwischenkreiskapazitäten durch die Teil-Lastkonverter, um Abweichungen von einer gewünschten Spannungsaufteilung zwischen den Teil-Zwischenkreiskapazitäten zu korrigieren. Diese Leistungsaufnahme wird dabei so
25 geregelt, dass beim Auftreten von solchen Abweichungen einer Teil-Zwischenkreiskapazität mit zu hoher Spannung mehr Energie als durch einen entsprechenden

vorgegebenen Sollwert gefordert entnommen wird, und einer Teil-Zwischenkreis-kapazität mit zu niedriger Spannung weniger Energie als durch einen entsprechenden Sollwert gefordert entnommen wird, bis die gewünschte Spannungsaufteilung erreicht ist.

- 5 In Ausführungsformen regelt die zusätzliche Regelung einen zusätzlichen Balancierkonverter, welcher Abweichungen von einer gewünschten Spannungsaufteilung zwischen den Teil-Zwischenkreiskapazitäten korrigiert.

Somit wird beim Dreiphasengleichrichter 2 unabhängig von der Levelzahl jeweils eine Phase an den positiven respektive an den negativen Anschlusspunkt der
10 Zwischenkreiskapazität geklemmt. Jedoch kann der Mittelpunkt des geschalteten Brückenweiges nun mehr als zwei Level einnehmen, entsprechend den mehreren Teil-Zwischenkreisspannungen. Es kann also eine Phase mit einem beliebigen Potential der in Serie geschalteten Kondensatoren verbunden werden. Beispielsweise kann so ein Stromrippel in den Phaseninduktivitäten minimiert werden.

- 15 Die Balancierung der Teil-Zwischenkreisspannungen kann dadurch erfolgen, dass Teil-Lastkonverter durch unterschiedliche Leistungsaufnahme aus den in Serie geschalteten Teil-Zwischenkreiskapazitäten, im Folgenden auch Kondensatoren genannt, dafür sorgen, dass die Teil-Zwischenkreisspannungen balanciert bleiben. Eine Balancierung der Teil-Zwischenkreisspannungen ist theoretisch auch durch
20 Dazuschalten eines Balancierkonverters (z.B. Rainstick-Konverter) möglich. D.h. der Lastkonverter 3 hängt nur an der positiven und negativen Spannungsschiene und regelt die gesamte Zwischenkreisspannung, währenddem der Balancierkonverter Zugriff auf alle Teil-Zwischenkreisspannungen hat und eine Ladungsumverteilung derart durchführt kann, so dass die Teil-Zwischenkreisspannungen balanciert
25 bleiben. Vorteilhaft hinsichtlich Effizienz und Komplexität wird die Balancierung aber auch durch den Lastkonverter 3 mit seinen Teil-Lastconvertern übernommen.

Bei 3-Level-NPC-Konvertern, wie z.B. dem Vienna-Konverter, kann der Mittelpunkt der zwei in Serie geschalteten Kondensatoren balanciert werden. Dies kann durch zwei übereinanderliegende Tiefsetzsteller, welche zum Mittelpunkt der zwei in Serie geschalteten Kondensatoren referenziert sind, realisiert werden. Damit kann der
5 Lastkonverter 3 ohne galvanische Trennung der Teil-Lastkonverter ausgeführt werden.

Bei NPC-Konvertern mit einer Levelzahl grösser als drei müssen die Teil Lastkonverter, welche entweder über einen oder mehrere Teil-Zwischenkreis-
kapazitäten geschaltet sind, entweder alle oder zum Teil galvanisch getrennt werden. Werden alle Teil-Lastkonverter galvanisch getrennt, kann das hier beschriebene
10 Verfahren zum Regeln auch für Multilevel-Dreiphasengleichrichter mit galvanisch getrennten Teil-Lastkonvertern angewendet werden.

Wird der Multilevel-Dreiphasengleichrichter als Flying Capacitor (FC) Konverter ausgeführt, können die Teil-Zwischenkreisspannungen unabhängig von der Levelzahl durch geeignete Taktung des noch schaltenden Brückenweiges symmetriert
15 werden, d.h. die Symmetrierung der Spannungen erfolgt über den FC-Brückenweig selbst, und der Lastkonverter 3 (z.B. einfacher Tiefsetzsteller) regelt weiterhin nur die gesamte Zwischenkreisspannung.

Zusammenfassend kann also bezüglich Multilevel-Dreiphasengleichrichter gelten: Bei Verwendung eines Multilevel-Dreiphasengleichrichters, insbesondere bei Neutral-
20 Point Clamped (NPC) Konvertern (wie z.B. Vienna-Konverter, T-Type-Konverter), kann zusätzlich zur Regelung der gesamten Zwischenkreisspannung auch die Balancierung der Teil-Zwischenkreisspannungen durch den Lastkonverter 3 respektive dessen Teil-
Lastkonverter erfolgen, z.B. durch unterschiedliche Leistungsaufnahme aus den in Serie geschalteten Teil-Zwischenkreiskapazitäten, oder durch einen zusätzlichen
25 Balancierkonverter.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Regeln eines Dreiphasen-Pulsgleichrichtersystems (1, 2, 3),
welches eine Dreiphasen-Brückenschaltung (2), zum Leistungsaustausch zwischen
5 einem Dreiphasennetz (1) und einer Zwischenkreiskapazität (C_{pn}), und einen
Lastkonverter (3), zum Leistungsaustausch zwischen der Zwischenkreiskapazität (C_{pn})
und einer Last aufweist, wobei Brückenzeige der Dreiphasen-Brückenschaltung (2)
jeweils eine Netzphase wahlweise mit einem positiven oder einem negativen
Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) verbinden,
- 10 wobei in zeitlich aufeinanderfolgenden Abschnitten jeweils in einem Abschnitt
- eine erste Netzphase, welche momentan einen höchsten Spannungswert
bezüglich der anderen Netzphasen aufweist, an einen positiven
Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) geschaltet ist,
 - eine zweite Netzphase, welche momentan einen niedrigsten Spannungswert
15 bezüglich der anderen Netzphasen aufweist, an einen negativen
Anschlusspunkt der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) geschaltet ist,
 - in einer dritten Netzphase durch Takten des an diese Netzphase
angeschlossenen Brückenzeiges ein sinusförmiger Strom erzeugt wird,
 - durch Variation der Spannung der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) in der ersten
20 und der zweiten Netzphase ein sinusförmiger Strom erzeugt wird.
2. Verfahren gemäss Anspruch 1, wobei bei der Variation der
Zwischenkreisspannung (u_{pn}) der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) für die Regelung des
Eingangstromes in der ersten und der zweiten Netzphase ein entsprechender
Verlauf der DC--Zwischenkreisspannung (u_{pn}) herangezogen wird, indem

- ein Zwischenkreisspannungssollwert ($u_{12}^* = u_{pn}^*$) durch Subtraktion der Brückenweingegangsspannungssollwerte der ersten (u_1) und der zweiten Phase (u_2) gebildet wird,
 - von diesem Zwischenkreisspannungssollwert (u_{pn}^*) der Zwischenkreisspannungswert (u_{pn}) subtrahiert und eine damit vorliegende Zwischenkreisspannungsregelabweichung einem Zwischenkreisspannungsregler zugeführt wird, an dessen Ausgang ein Sollwert des Nachladestromes des Zwischenkreiskondensators (i_{Cpn}^*) auftritt, und dieser
 - nach Subtraktion von einem Zwischenkreisstromsollwert (i_{pn}^*), der für jeden Sektor aus Eingangsphasensollstromwerten (i_a^* , i_b^* und i_c^*) berechnet wird, und nach Multiplikation mit dem Zwischenkreisspannungssollwert (u_{pn}^*) auf eine Differenzleistung (P_{pn}^*) führt, welche aus dem Zwischenkreis abzuführen ist, und
 - durch Division der Zwischenkreissollleistung (P_{pn}^*) durch den Ausgangsspannungssollwert (u_o^*) ein Sollwert eines Stromes in einer Tiefsetzstellerinduktivität (Tiefsetzstellerinduktivitätssollwert) (i_{Lo}^*) des Lastkonverters (3) ermittelt wird, und dieser durch den Lastkonverter (3) eingestellt wird.
3. Verfahren gemäss Anspruch 1 oder 2, wobei bei der Variation der Spannung der Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) eine Ausgangsspannung (u_o) an der Last und/oder eine Ausgangsleistung (P_o) des Lastkonverters (3) an die Last durch Modulation des Lastkonverters (3) geregelt werden.
4. Verfahren gemäss Anspruch 1 oder 2 oder 3, wobei ein Sollwert eines Eingangersatzleitwertes (Eingangssollleitwert) (G^*) in Abhängigkeit einer Lastspannungsregelabweichung, gebildet wird, indem
- die Lastspannungsregelabweichung an den Eingang eines Ausgangsspannungsreglers geführt wird, welche am Ausgang den erforderlichen Sollwert des Nachladestromes

($i_{C_0}^*$) des Ausgangskondensators (C_0) bildet, womit nach Addition des gemessenen Laststromes (Laststromvorsteuerung) (i_{load}) und Multiplikation dieser Stromsumme mit der Ausgangsreferenzspannung (u_o^*) ein Sollwert der an den Ausgang zu liefernden Leistung (Ausgangsleistungssollwert) (P_o^*) resultiert, und

- 5 der Eingangssollleitwert (G^*) derart bestimmt wird, dass eine Leistungsaufnahme aus dem Netz in Höhe des Ausgangsleistungssollwertes (P_o^*) resultiert, indem durch Multiplikation des Eingangssollleitwertes (G^*) mit den gemessenen Phasenspannungen (u_a , u_b und u_c) Sollwerte der in den Vorschaltinduktivitäten einzustellenden Ströme (Eingangsphasenstromsollwerte) (i_a^* , i_b^* und i_c^*) bestimmt werden und für jede Phase durch Subtraktion eines gemessenen
- 10 Eingangsstromwertes (i_a , i_b und i_c) eine Regelabweichung ermittelt und einem Eingangsstromregler zugeführt wird, welcher an seinem Ausgang einen Sollwert der über der zugehörigen Vorschaltinduktivität zu bildenden Spannung (u_{La}^* , u_{Lb}^* und u_{Lc}^*) bildet,
- 15 wobei nach Subtraktion dieses Sollwertes vom Messwert der zugehörigen Netzphasenspannung (u_a , u_b und u_c) ein Sollwert der Eingangsspannung des zugehörigen Brückenweiges (Brückenweigeingangsspannungssollwert) (\underline{u}_a , \underline{u}_b und \underline{u}_c) der Dreiphasen-Brückenschaltung (2) resultiert und durch diese eingestellt wird.

5. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei kurz vor- und
- 20 kurz nach einer Sektorgrenze zwischen zwei Abschnitten mindestens eine weitere Phase aktiv geschaltet wird, und die Auswahl dieser Phase so erfolgt, dass reduzierte zusätzliche Schaltverluste auftreten, also jene Phase als geschaltete Phase gewählt wird, deren Betrag des Phasenstromwerts näher am Phasenstromwert der dritten Phase liegt.

6. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei kurz nach einer Sektorgrenze zwischen zwei Abschnitten die dritte Phase für einen kurzen Zeitabschnitt gesperrt und erst anschliessend für die Taktung freigegeben wird.
7. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, in welchem der Lastkonverter (3) ein Hochsetzsteller ist.
8. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 6, in welchem der Lastkonverter (3) ein Pulswechselrichter ist.
9. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 6, in welchem der Lastkonverter eine stromeinprägende, in der Verbindungsleitung von positiver respektive negativer Zwischenkreisspannungs- und positiver respektive negativer Ausgangsspannungsklemme angeordnete Vollbrückenschaltzelle mit innerer DC-Spannung ist, wobei negative respektive positive Klemmen von Zwischenkreis- und Ausgangsspannung direkt miteinander verbunden sind.
10. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, in welchem zum Erreichen einer Phasenverschiebung von Netzspannung und Netzstrom zu den Phasenstromsollwerten entsprechende Blindkomponenten addiert werden.
11. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, in welchem Brückenzeige der Dreiphasen-Brückenschaltung (2) jeweils eine Netzphase wahlweise auch mit mindestens einem Zwischen-Anschlusspunkt einer Serienschaltung von mindestens zwei Teil-Zwischenkreiskapazitäten, welche die Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) bilden, verbinden.
12. Verfahren gemäss Anspruch 11, in welchem eine Regelung zur Balancierung von Teil-Zwischenkreisspannungen der Teil-Zwischenkreiskapazitäten erfolgt.
13. Verfahren gemäss Anspruch 11 oder 12, in welchem die Regelung zur Balancierung der Teil-Zwischenkreisspannungen durch Regelung einer

Leistungsaufnahme von zwei oder mehr Teil-Lastkonvertern erfolgt, insbesondere wobei jeder Teil-Zwischenkreiskapazität ein Teil-Lastkonverter zum Leistungsaustausch zwischen dieser Teil-Zwischenkreiskapazität (C_{pn}) und der Last zugeordnet ist.

14. Verfahren gemäss Anspruch 13, in welchem bei der Regelung der Leistungsaufnahme bei einer Teil-Zwischenkreiskapazität mit einer bezüglich eines entsprechenden Zwischenkreiskapazitäts-Spannungs-Sollwertes zu hohen Zwischenkreiskapazitäts-Spannung mehr Leistung als durch einen entsprechenden vorgegebenen Leistungs-Sollwert gefordert entnommen wird, einer Teil-Zwischenkreiskapazität mit einer bezüglich eines entsprechenden Zwischenkreiskapazitäts-Spannungs-Sollwertes zu niedrigen Zwischenkreiskapazitäts-Spannung weniger Leistung als durch einen entsprechenden vorgegebenen Leistungs-Sollwert gefordert entnommen wird.

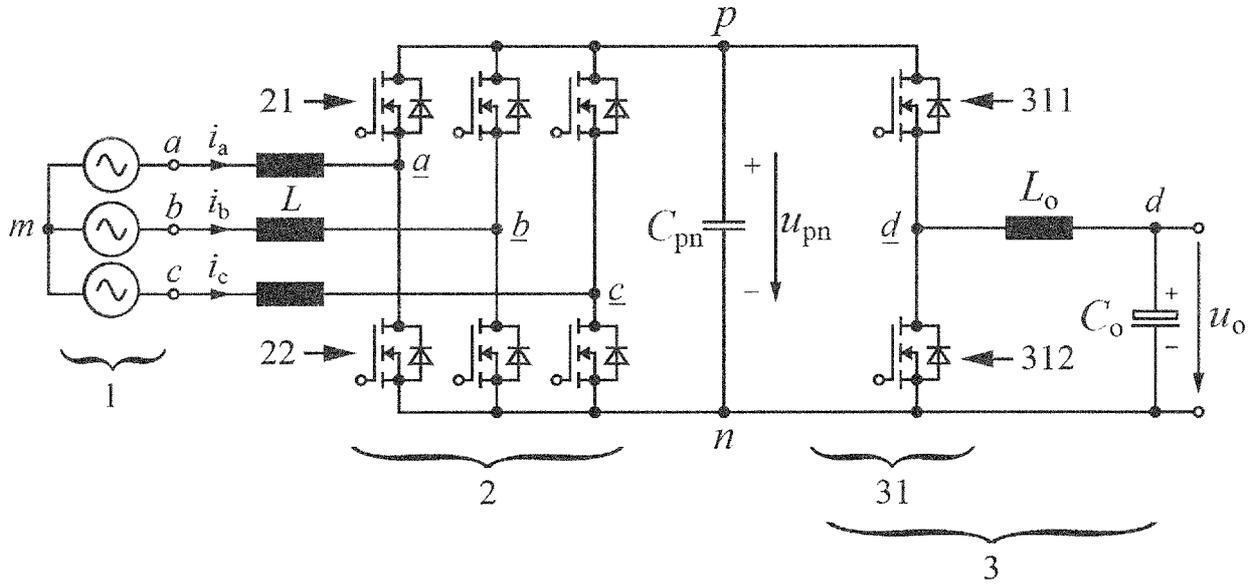


Fig. 1

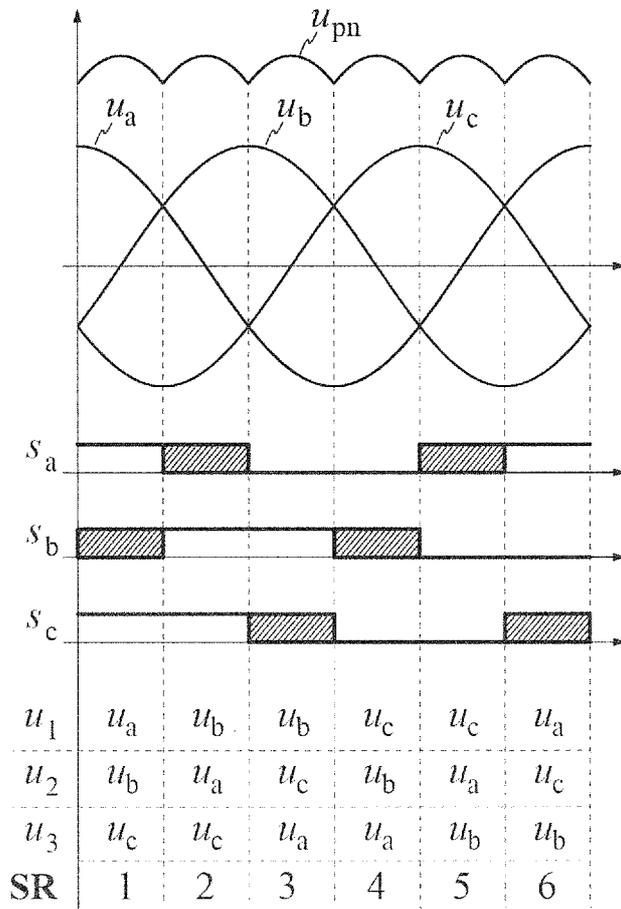


Fig. 2

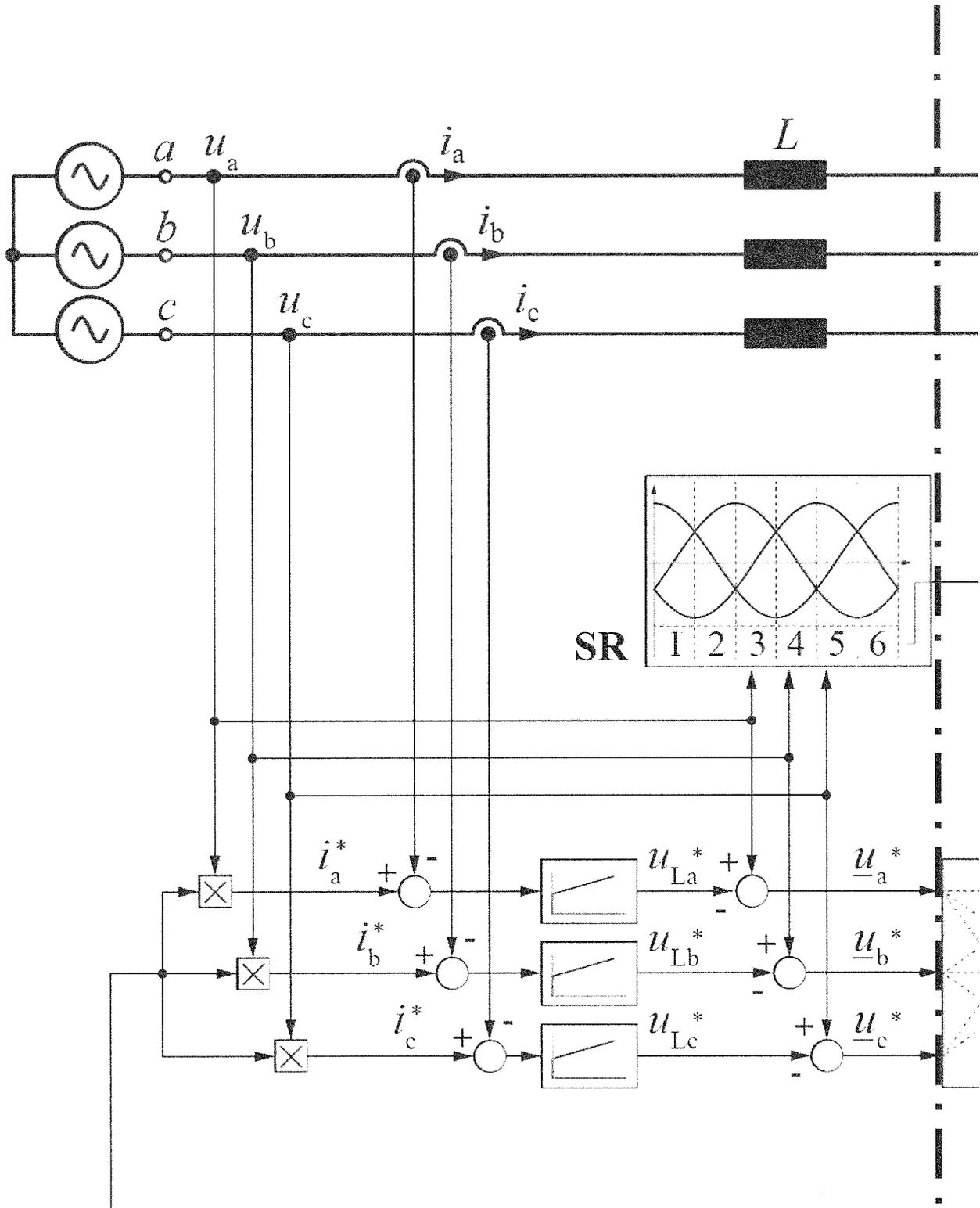
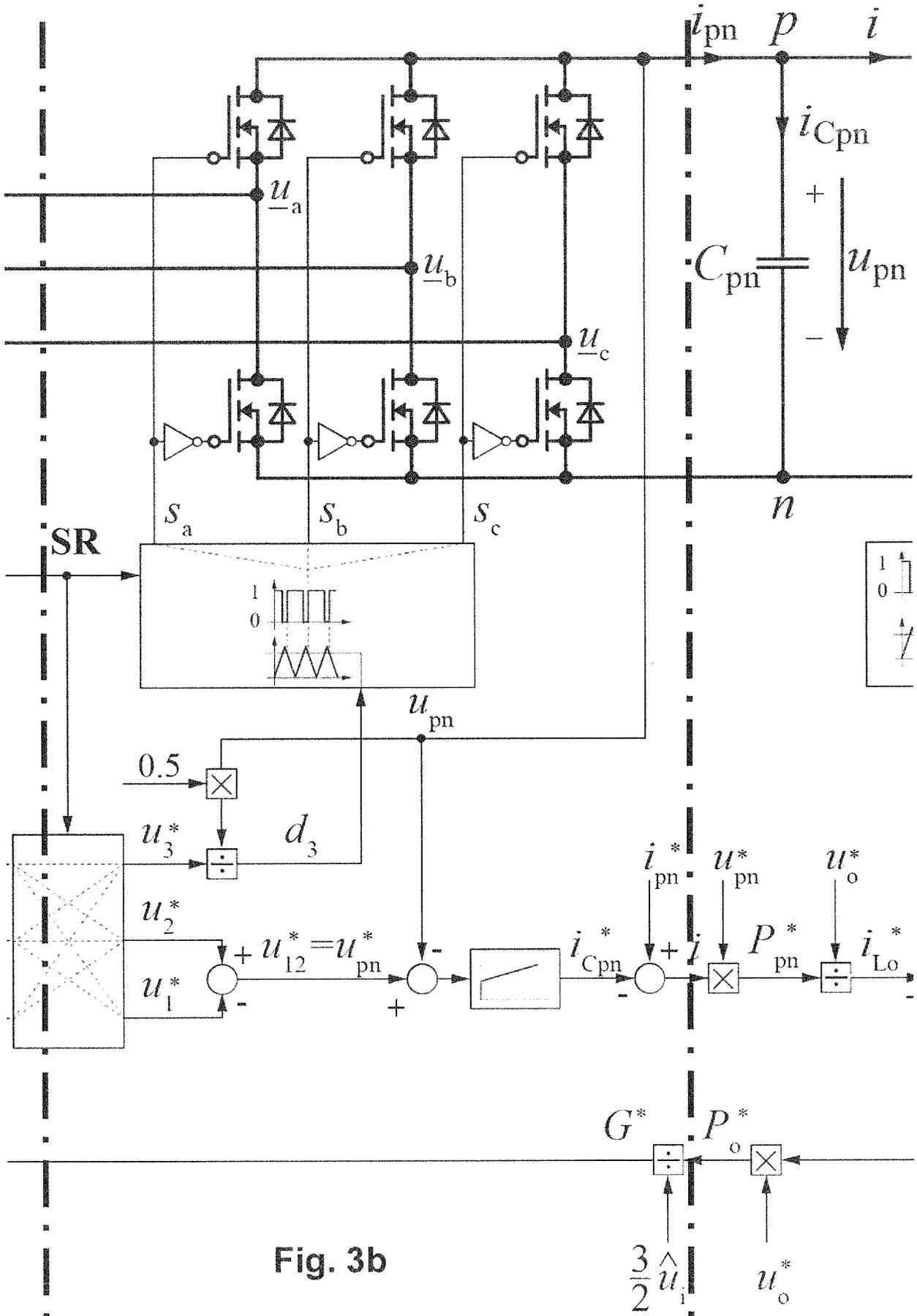


Fig. 3a



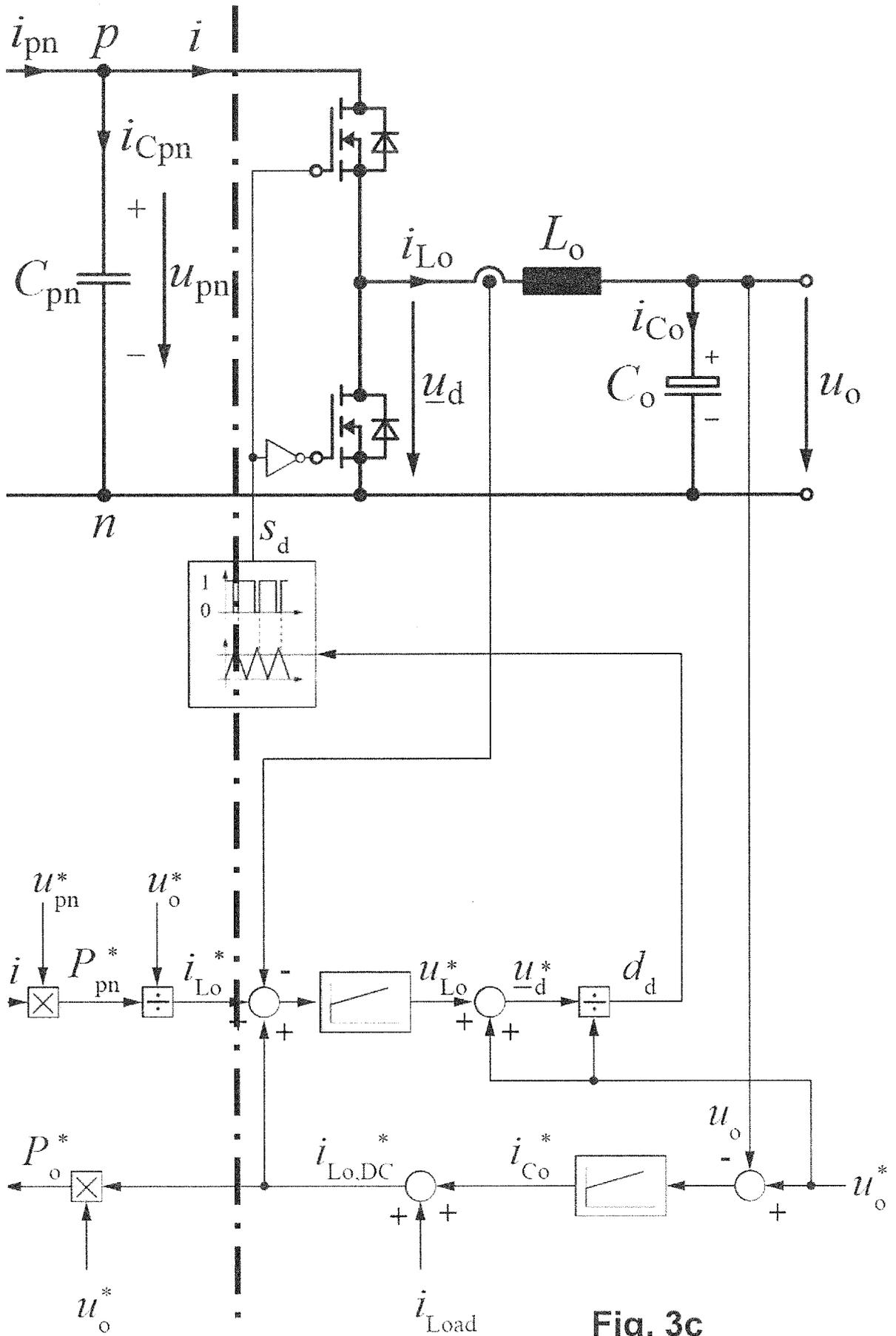


Fig. 3c

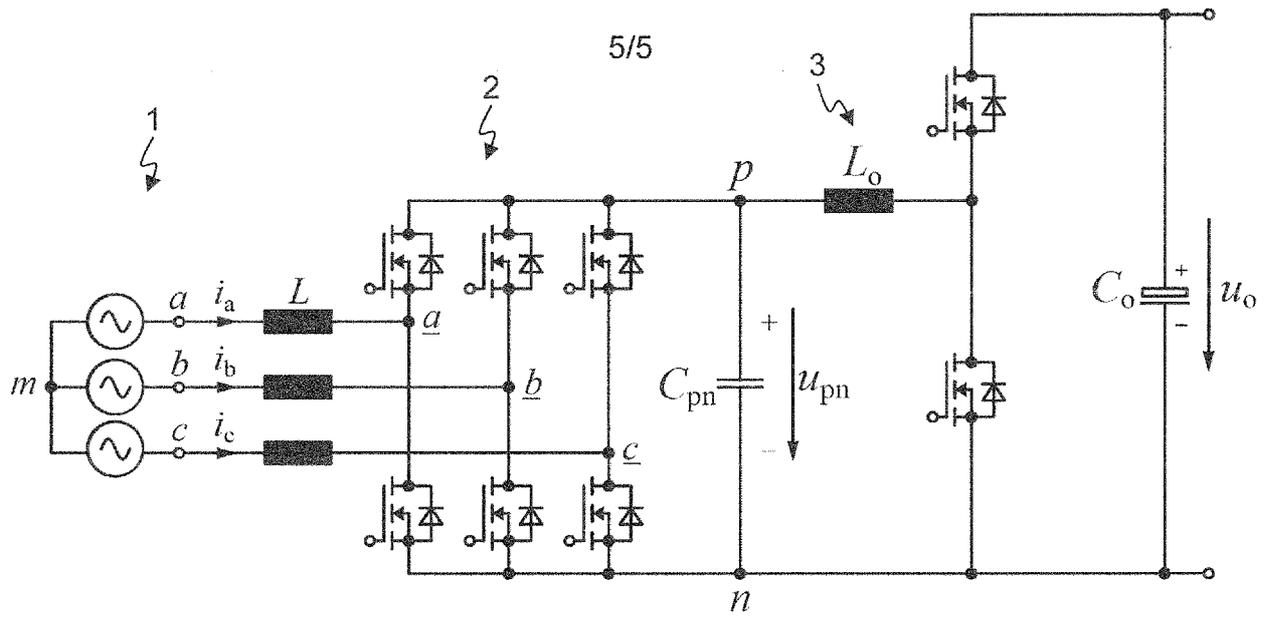


Fig. 4

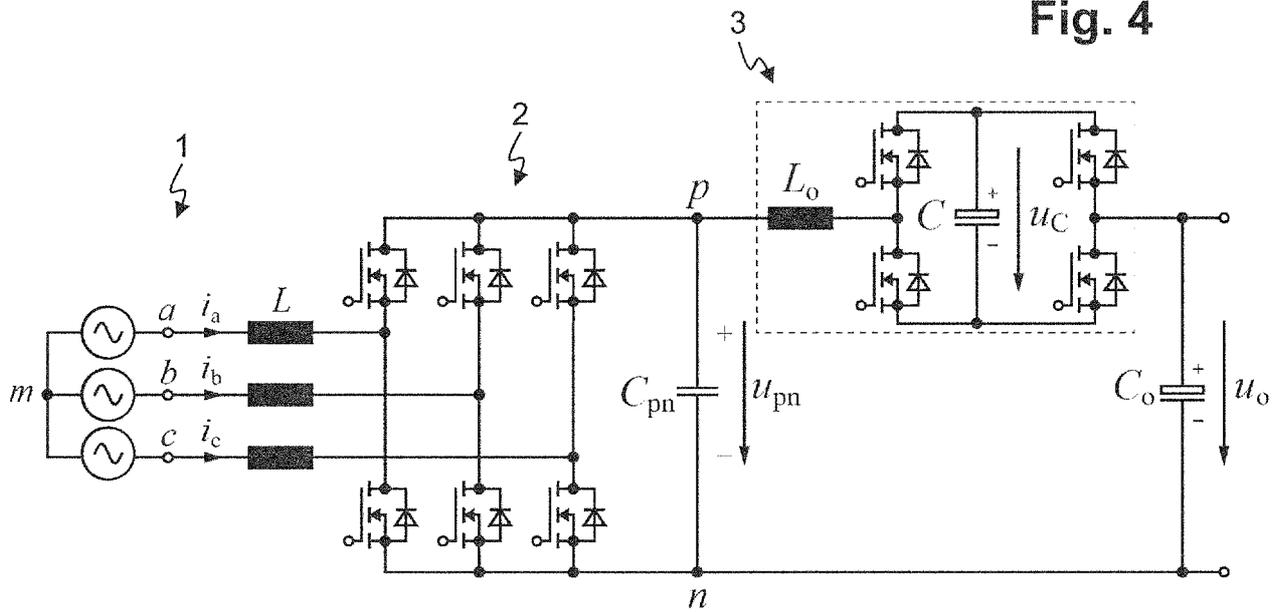


Fig. 5

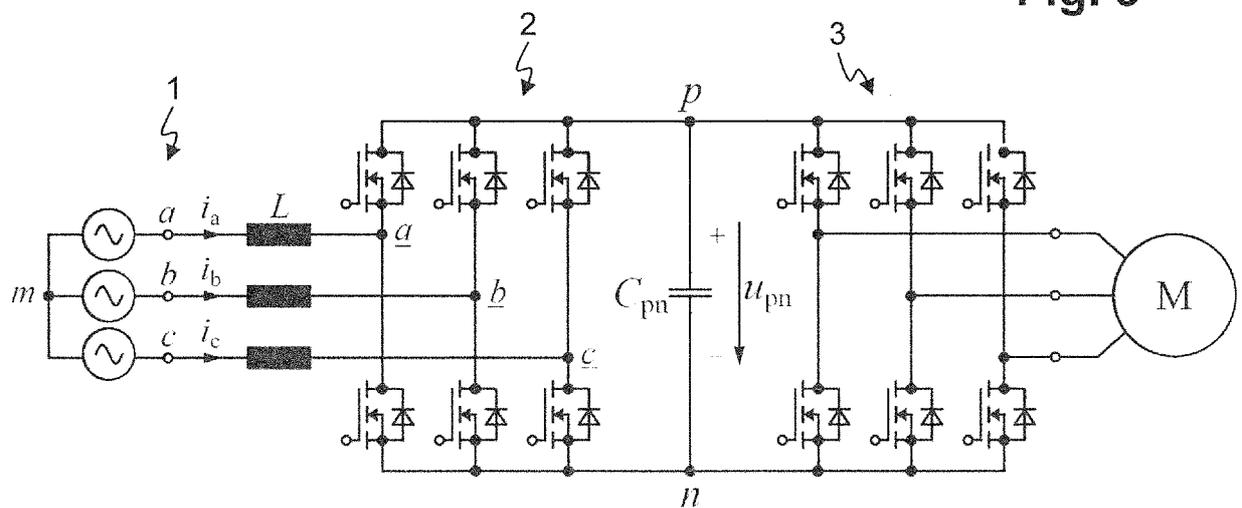


Fig. 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2019/055185

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
H02M 1/42 (2007.01)i; H02M 7/217 (2006.01)i; H02M 7/219 (2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) 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, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	THIAGO B. SOEIRO ET AL. "Hybrid Active Third-Harmonic Current Injection Mains Interface Concept for DC Distribution Systems" <i>IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS</i> , Vol. 28, No. 1, 01 January 2013 (2013-01-01), pages 7-13 DOI: 10.1109/TPEL.2012.2209897 ISSN: 0885-8993, XP055149330	1,3,5,7-10
A	figures 2b, 4,5 section III	2,4,6,11-14
X	JOHANN W KOLAR ET AL. "The essence of three-phase PFC rectifier systems" <i>TELECOMMUNICATIONS ENERGY CONFERENCE (INTELEC), 2011 IEEE 33RD INTERNATIONAL, IEEE</i> , 09 October 2011 (2011-10-09), pages 1-27 DOI: 10.1109/INTLEC.2011.6099838 ISBN: 978-1-4577-1249-4. XP032071349	1,3,5,7-14
A	figures 1, 14, 17, 20b, 30f	2,4,6
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "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 10 May 2019		Date of mailing of the international search report 17 May 2019
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Simon, Volker Telephone No.

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. H02M1/42 H02M7/217 H02M7/219
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTER GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 H02M

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

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

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	THIAGO B. SOEIRO ET AL: "Hybrid Active Third-Harmonic Current Injection Mains Interface Concept for DC Distribution Systems", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, Bd. 28, Nr. 1, 1. Januar 2013 (2013-01-01) , Seiten 7-13, XP055149330, ISSN: 0885-8993, DOI: 10.1109/TPEL.2012.2209897	1,3,5, 7-10
A	Abbildungen 2b, 4,5 section III ----- -/--	2,4,6, 11-14



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

10. Mai 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

17/05/2019

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

Simon, Volker

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	JOHANN W KOLAR ET AL: "The essence of three-phase PFC rectifier systems", TELECOMMUNICATIONS ENERGY CONFERENCE (INTELEC), 2011 IEEE 33RD INTERNATIONAL, IEEE, 9. Oktober 2011 (2011-10-09), Seiten 1-27, XP032071349, DOI: 10.1109/INTLEC.2011.6099838 ISBN: 978-1-4577-1249-4	1,3,5,7-14
A	Abbildungen 1, 14, 17, 20b, 30f -----	2,4,6