

(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  
27. September 2018 (27.09.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2018/172329 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
*H02M 3/158* (2006.01) *H02M 1/15* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/056970
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
20. März 2018 (20.03.2018)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
A 50231/2017 22. März 2017 (22.03.2017) AT
- (71) Anmelder: EGSTON POWER ELECTRONICS GMBH [AT/AT]; Grafenbergerstraße 37, 3730 Eggenburg (AT).
- (72) Erfinder: KOLAR, Johann Walter; Forsterstraße 75, 8044 Zürich (CH). HUBER, Jonas Emanuel; Breitfeld-

straße 15, 5600 Lenzburg (CH). KRISMER, Florian; Bergstraße 20, 8954 Geroldswil (CH). NEUMAY, Dominik; Steinstraße 75, 8003 Zürich (CH). PAPAMANOLIS, Panteleimon; Ueberlandstraße 281, CH-8051 Zürich (CH).

(74) Anwalt: GIBLER & POTH PATENTANWÄLTE KG; Dorotheergasse 7/14, 1010 Wien (AT).

(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,

(54) Title: INVERTER

(54) Bezeichnung: WECHSELRICHTER

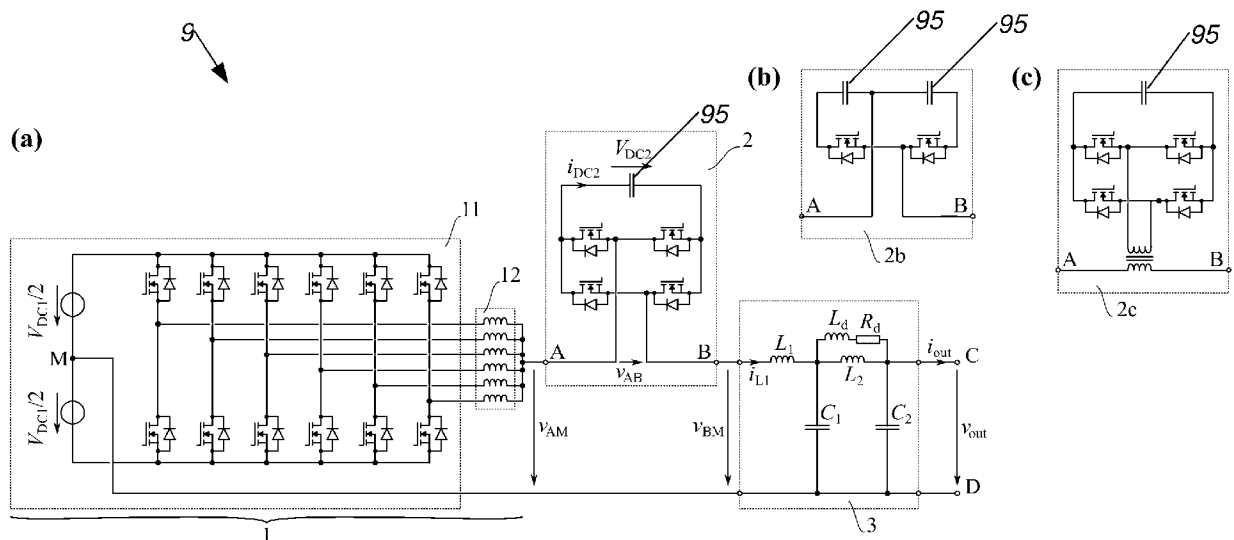


Fig. 1

(57) Abstract: In the case of an inverter (9) comprising a first inverter stage (1, 8) having a first switching frequency, it is proposed that the inverter (9) comprises a second inverter stage (2), which is downstream of the first inverter stage (1, 8) and has a second switching frequency, the first inverter stage (1, 8) having a first intermediate voltage and being designed to generate a first pulse width-modulated alternating voltage having at least three different voltage levels, the different voltage levels each differing by at least a first differential voltage, wherein the second inverter stage (2) has a second intermediate voltage, which second intermediate voltage is smaller than the first intermediate voltage and is greater than the first differential voltage, and wherein the second switching frequency is greater than the first switching frequency. The first inverter stage (1, 8) comprises a group of at least two bridge branches, which are controlled by pulse width modulation in a phase-shifted manner in relation to the first switching frequency, the middle connections of these bridge



WO 2018/172329 A1

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, 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)

---

branches being connected via a coupled coil assembly (12, 82, 83) to an output terminal, at which the first pulse width-modulated alternating voltage is formed.

**(57) Zusammenfassung:** Bei einem Wechselrichter (9) mit einer ersten Wechselrichterstufe (1, 8) mit einer ersten Schaltfrequenz, wird vorgeschlagen, dass der Wechselrichter (9) eine der ersten Wechselrichterstufe (1, 8) nachgeschaltete zweite Wechselrichterstufe (2) mit einer zweiten Schaltfrequenz aufweist, wobei die erste Wechselrichterstufe (1, 8) eine erste Zwischenspannung aufweist und zum Erzeugen einer ersten pulsweitenmodulierten Wechselspannung mit wenigstens drei unterschiedlichen Spannungspegeln ausgebildet ist, wobei sich die unterschiedlichen Spannungspegel jeweils durch wenigstens eine erste Differenzspannung unterscheiden, wobei die zweite Wechselrichterstufe (2) eine zweite Zwischenspannung aufweist, welche zweite Zwischenspannung kleiner der ersten Zwischenspannung und größer der ersten Differenzspannung ist, und wobei die zweite Schaltfrequenz größer der ersten Schaltfrequenz ist. Die erste Wechselrichterstufe (1, 8) weist eine Gruppe von mindestens zwei phasenversetzt mit der ersten Schaltfrequenz pulsweitenmoduliert angesteuerten Brückenzeigen auf, wobei Mittenanschlüsse dieser Brückenzeige über eine gekoppelte Spulenanordnung (12, 82, 83) an eine Ausgangsklemme angeschlossen sind, an welcher die erste pulsweitenmodulierte Wechselspannung gebildet wird.

## Wechselrichter

Die Erfindung betrifft einen Wechselrichter gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Schaltverstärker für Anwendungen wie beispielsweise Power-Hardware-in-the-Loop-Testanlagen (P-HIL), Netzsimulatoren, etc. sollen eine geregelte Ausgangsspannung oder einen geregelten Ausgangsstrom mit möglichst hoher Bandbreite erzeugen, d.h., die Frequenz der geregelten Ausgangsgrößen soll sich bei voller Amplitude in einem Bereich von 0Hz (DC) bis zu einer möglichst hohen Frequenz bewegen können (Großsignalbandbreite), und mit einer kleineren Amplitude bis zu einer über der Großsignalbandbreite liegenden Frequenz (Kleinsignalbandbreite).

Ein Schaltverstärker besteht im Allgemeinen aus einer ersten Wechselrichterstufe, z.B. einer Vollbrückenschaltung, welche aus einer ersten Zwischenkreisspannung eine erste pulsbreitenmodulierte Rechteckwechselfspannung erzeugt, wobei der auf eine Taktperiode bezogene lokale Mittelwert dieser ersten pulsbreitenmodulierten Rechteckwechselfspannung ideal einem von einem Regler vorgegebenen Wert folgt. Die schaltfrequenten Anteile dieser ersten pulsbreitenmodulierten Rechteckwechselfspannung müssen mittels eines Ausgangsfilters hinreichend stark unterdrückt werden, so dass die gewünschte harmonische Qualität der Ausgangsspannung bzw. des Ausgangsstromes erreicht wird.

Das Ausgangsfilter wird typischerweise als ein ein- oder mehrstufiges LC-Filter ausgelegt, wobei bei hoher Großsignalbandbreite insbesondere die maximalen Kapazitätswerte aufgrund der auftretenden Blindströme limitiert sind. Deshalb ist es von großer Relevanz, die Knickfrequenz bzw. obere Grenzfrequenz des Ausgangsfilters so hoch wie möglich wählen zu können. Gleichzeitig wird durch eine Erhöhung der Knickfrequenz des Ausgangsfilters auch der Frequenzbereich erweitert, in dem der Einfluss des Ausgangsfilters nur sehr klein ist, was prinzipiell für die Realisierung von hohen Bandbreiten interessant ist. Andererseits muss das Ausgangsfilter jedoch bei der Schaltfrequenz der ersten Konverterstufe und deren Harmonischen eine hinreichend hohe Filterdämpfung bereitstellen, um wie oben erwähnt die entsprechenden Spektralanteile der ersten pulsbreitenmodulierten Rechteckwechselfspannung zu unterdrücken, d.h. die maximal zulässige

Knickfrequenz des Ausgangsfilters muss hinreichend tiefer gewählt werden als die erste Schaltfrequenz der ersten Wechselrichterstufe. Umgekehrt bedingt daher eine hohe Knickfrequenz des Ausgangsfilters auch eine hohe Schaltfrequenz für die Ansteuerung der Leistungshalbleiter der ersten Wechselrichterstufe.

Die erste Zwischenkreisspannung der ersten Wechselrichterstufe muss hinreichend größer gewählt werden als die maximal zu erzeugende Ausgangsspannung. Die Leistungshalbleiter der ersten Wechselrichterstufe schalten diese erste Zwischenkreisspannung, wodurch aufgrund des mit zunehmender Sperrspannung schlechter werdenden Schaltverhaltens von Leistungshalbleitern und den damit auftretenden Schaltverlusten der maximal möglichen Schaltfrequenz der ersten Wechselrichterstufe Grenzen gesetzt sind. Dies wiederum limitiert wie oben beschrieben die maximal wählbare Knickfrequenz des Ausgangsfilters mit den erwähnten Nachteilen.

Es sind Konzepte von Wechselrichtern bekannt, bei welchen diese Wechselrichterstufe mehrere unterschiedliche Spannungspegel erzeugt. Nachteilig an diesen bekannten Konzepten ist jedoch, dass die betreffenden Schaltungen äußerst aufwendig bzw. komplex sind. Zudem führen auch diese aufwendigen Schaltungskonzepte lediglich zu Ausgangssignalen, welche für viele Anwendungen zu hohe THD aufweisen.

Aufgabe der Erfindung ist es daher einen Wechselrichter der eingangs genannten Art anzugeben, mit welcher die genannten Nachteile vermieden werden können, und welcher eine hohe Bandbreite und einen einfachen Aufbau aufweist.

Erfindungsgemäß wird dies durch die Merkmale des Patentanspruches 1 erreicht.

Dadurch kann einfach ein Wechselrichter gebildet werden, welcher eine hohe Bandbreite aufweist. Der Wechselrichter weist eine effektiv sehr hohe Schaltfrequenz auf, weshalb ein Ausgangsfilter mit hoher Grenzfrequenz gewählt werden kann, wobei jedoch die tatsächlichen Schaltfrequenzen der einzelnen Halbleiterschalter deutlich unter dieser effektiven Schaltfrequenz liegen, was sich günstig auf die Halbleiterschalter auswirkt. Insbesondere wirkt sich dies vorteilhaft auf die erste Wechselrichterstufe aus, welche die hohe Gleichspannung nun nicht

mehr mit hoher Frequenz schalten muss. Weiters besteht dabei keine Notwendigkeit zur Balancierung verschiedener Teilzwischenkreisspannungen.

Die Unteransprüche betreffen weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung.

Ausdrücklich wird hiermit auf den Wortlaut der Patentansprüche Bezug genommen, wodurch die Ansprüche an dieser Stelle durch Bezugnahme in die Beschreibung eingefügt sind und als wörtlich wiedergegeben gelten.

Die Erfindung wird unter Bezugnahme auf die beigeschlossenen Zeichnungen, in welchen lediglich bevorzugte Ausführungsformen beispielhaft dargestellt sind, näher beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine erste Ausführungsform eines gegenständlichen Wechselrichters mit zwei weiteren, alternativen Ausführungsformen der zweiten Wechselrichterstufe;

Fig. 2 ein funktionales Blockschaltbild einer Ausführungsform einer Steuer- und/oder Regeleinheit eines gegenständlichen Wechselrichters;

Fig. 3 einige Spannungsverläufe eines gegenständlichen Wechselrichters;

Fig. 4 eine zweite Ausführungsform eines gegenständlichen Wechselrichters; und

Fig. 5 Spektren eines herkömmlichen Wechselrichters sowie zweier unterschiedlicher Betriebsweisen eines gegenständlichen Wechselrichters.

Die Fig. 1 und 4 zeigen bevorzugte Ausführungsformen eines Wechselrichters 9 mit einer ersten Wechselrichterstufe 1, 8 mit einer ersten Schaltfrequenz und einer der ersten Wechselrichterstufe 1, 8 nachgeschalteten zweiten Wechselrichterstufe 2 mit einer zweiten Schaltfrequenz, wobei die erste Wechselrichterstufe 1, 8 eine erste Zwischenspannung aufweist und zum Erzeugen einer ersten pulsweitenmodulierten Wechselspannung mit wenigstens drei unterschiedlichen Spannungspegeln ausgebildet ist, wobei sich die unterschiedlichen Spannungspegel jeweils durch wenigstens eine erste Differenzspannung unterscheiden, wobei die zweite Wechselrichterstufe 2 eine zweite Zwischenspannung aufweist, welche zweite Zwischenspannung kleiner der ersten Zwischenspannung und größer der ersten Differenzspannung ist, und wobei die zweite Schaltfrequenz größer der

ersten Schaltfrequenz ist.

Dadurch kann einfach ein Wechselrichter 9 gebildet werden, welcher eine hohe Bandbreite aufweist. Der Wechselrichter 9 weist eine effektiv sehr hohe Schaltfrequenz auf, weshalb ein Ausgangsfilter 3 mit hoher Grenzfrequenz gewählt werden kann, wobei jedoch die tatsächlichen Schaltfrequenzen der einzelnen Halbleiterschalter deutlich unter dieser effektiven Schaltfrequenz liegen, was sich günstig auf die Halbleiterschalter auswirkt. Insbesondere wirkt sich dies vorteilhaft auf die erste Wechselrichterstufe 1, 8 aus, welche die hohe Gleichspannung nun nicht mehr mit hoher Frequenz schalten muss. Weiters besteht dabei keine Notwendigkeit zur Balancierung verschiedener Teilzwischenkreisspannungen.

Fig. 1 zeigt einen Wechselrichter 9, welcher auch als sog. hybride Wechselrichterschaltung bezeichnet werden kann, zur Übertragung elektrischer Energie zwischen einem Gleichspannungssystem und einem Gleich- oder Wechselspannungssystem, aufweisend eine erste Wechselrichterstufe 1, welche einen ersten Zwischenkreis mit einer der Eingangsgleichspannung entsprechenden ersten Zwischenkreisspannung, mehrere, gegenständiglich sechs, parallel geschaltete und phasenversetzt mit einer ersten Schaltfrequenz pulsbreitenmoduliert angesteuerte Brückenarme bzw. Brücken-Halbleiterschaltungen 11 sowie eine gekoppelte Spulenanordnung 12 aufweist.

Die erste Wechselrichterstufe 1, 8 weist mindestens eine Anschlussschaltung auf, wobei eine Anschlussschaltung jeweils eine Ausgangsklemme, eine gekoppelte Spulenanordnung 12, 82, 83 und eine Gruppe von mindestens zwei phasenversetzt mit der ersten Schaltfrequenz pulsbreitenmoduliert angesteuerten Brückenarmen aufweist, wobei jeder der Brückenarme einen Mittenanschluss aufweist und die Mittenanschlüsse dieser Brückenarme über die gekoppelte Spulenanordnung 12, 82, 83 an die Ausgangsklemme angeschlossen sind, und diese Ausgangsklemme eine Ausgangsklemme der ersten Wechselrichterstufe 1, 8 zum Erzeugen der ersten pulsbreitenmodulierten Wechselspannung bildet.

Eine solche Ausgangsklemme ist also eine Klemme, bezüglich welcher die erste pulsbreitenmodulierte Wechselspannung definiert ist. Die erste Wechselrichterstufe 1,8 kann als "parallel interleaved multilevel inverter" bezeichnet werden.

Die erste Wechselrichterstufe 1 kann einphasig ausgebildet sein, wie in der Figur 1. Es sind aber auch mehrphasige Anordnungen möglich, in denen der in Figur 1 gezeigte Wechselrichter 9 jeweils für jede Phase einmal wiederholt vorliegt. Diese mehreren Wechselrichter können in Stern- oder Dreieckanordnung miteinander verbunden sein.

Die Spulenanordnung kann dazu eingerichtet sein, Gleichtaktströme, die von den Mittenanschlüssen einer Gruppe von Brückenzeigen zur entsprechenden Ausgangsklemme fließen, zu glätten. Damit kann die Spulenanordnung mindestens einen Teil einer Serieninduktivität  $L_1$  des Ausgangsfilters realisieren.

Die Spulenanordnung kann auch dazu eingerichtet sein, Gegentaktströme, die von den Mittenanschlüssen einer Gruppe von Brückenzeigen zum entsprechenden Ausgangsklemme fließen, zu unterdrücken.

Die erste Wechselrichterstufe 1, 8 kann umfassend Neutral-Point-Clamped-Brückenzeigen ausgebildet sein. Sie kann umfassend Flying-Capacitor-Brückenzeigen ausgebildet sein.

Weiters weist der Wechselrichter 9 mindestens eine zweite Wechselrichterstufe 2 auf, welche einen zweiten Zwischenkreis mit einer, gegenüber der ersten Zwischenkreisspannung, tieferen zweiten Zwischenkreisspannung aufweist. Die zweite Wechselrichterstufe 2 weist bevorzugt keine externe Speisung auf. Deren mit einer zweiten Schaltfrequenz pulsbreitenmodulierte Ausgangswechselspannung ist in Serie zur ersten pulsbreitenmodulierten Ausgangswechselspannung der ersten Wechselrichterstufe geschaltet.

Fig. 1 zeigt dabei neben der Darstellung eines vollständigen Wechselrichters 9, unter der Bezeichnung (a) weiters zwei alternative Ausgestaltungen einer zweiten Wechselrichterstufe unter den Bezeichnungen (b) und (c).

Zur Vermeidung zusätzlicher Schalthandlungen und einer damit verbundenen ungünstigen Erzeugung niederfrequenter Harmonischer in der pulsbreitenmodulierten Ausgangswechselspannung der zweiten Wechselrichterstufe

2, welche sich auch in der Ausgangsspannung  $v_{OUT}$  wiederfinden würden, ist es insbesondere vorteilhaft, der Pulsbreitenmodulation der zweiten Wechselrichterstufe 2 Trägersignale in Sägezahnform zugrunde zu legen. Alternativ, wenngleich weniger vorteilhaft können auch Trägersignale in Dreieckform verwendet werden.

Der gegenständliche Wechselrichter weist weiters ein Ausgangsfilter 3 auf, welches bevorzugt bzw. wie in den Fig. 1 und 4 dargestellt, als zweistufiges, passives LC-Filter ausgebildet ist. Das Ausgangsfilter 3 ist schaltungstechnisch nachfolgend der zweiten Wechselrichterstufe angeordnet. Das Ausgangsfilter 3 weist u.a. eine Serieninduktivität  $L_1$  auf, welche bevorzugt zumindest teilweise durch die Streuinduktivität der gekoppelten Spulenanordnung 12 gebildet sein kann. Die in Fig. 1 gezeigte Implementierung des Ausgangsfilters 3 zeigt nur eine mögliche Ausführung eines geeigneten Ausgangsfilters 3, wobei selbstverständlich auch andere Ausführungen eines Filters, sowohl aktiv als auch passiv, vorgesehen sein können.

Bevorzugt ist es nicht zwingend notwendig, die Ausgangswchelspannung  $v_{OUT}$  auf den Mittelpunkt des ersten Zwischenkreises zu beziehen und dementsprechend auch die Filterkondensatoren an diesen Punkt anzuschließen. Es kann etwa auch die negative Versorgungsspannung des Zwischenkreises der ersten Wechselrichterstufe 1 verwendet werden, oder im Falle einer mehrphasigen Ausführung des Gesamtsystems auch ein Sternpunkt, wodurch vorteilhaft eine Symmetrierung von zwei Teilspannungen im Zwischenkreis der ersten Wechselrichterstufe vermieden werden kann.

Soll ein mehrphasiges Spannungssystem am Ausgang erzeugt werden, können eine entsprechende Anzahl der gegenständlichen Wechselrichter 9 eingesetzt werden, wobei insbesondere im Fall eines dreiphasigen Ausgangs auch ein vierter gegenständlicher Wechselrichter 9 zur aktiven Erzeugung eines Sternpunktpotentials eingesetzt werden kann.

Alternativ zur Ausführung der zweiten Wechselrichterstufe 2 gemäß Fig. 1a, kann diese entsprechend Fig. 1b auch mit einer Halbbrückenkonfiguration realisiert werden, entsprechend Schaltung 2b. Weiters kann die von der zweiten



Wechselrichterstufe 2 erzeugte pulsbreitenmodulierte Wechselspannung gemäß Fig. 1c über einen Transformator eingekoppelt werden, entsprechend Schaltung 2c.

Die erste Wechselrichterstufe 1 kann weiters mit Brückenzeigen 11, die mehrere Spannungsniveaus bzw. Spannungspegel erzeugen können (z.B. NPC-Struktur), realisiert werden.

Auch derart ausgebildete Brückenzeige werden phasenversetzt und in Verbindung mit der Spulenordnung 12, 82, 83 betrieben.

Außerdem können auch die Brückenzeige der zweiten Wechselrichterstufe 2a, 2b, 2c jeweils durch mehrere phasenversetzt getaktete Brückenzeige und einer zweiten gekoppelten Spule zur Superposition der Ausgangsspannungen der einzelnen Brückenzeige realisiert werden, was jedoch in den Figuren nicht dargestellt ist.

Anhand der ersten bevorzugten Ausführungsform gemäß Fig. 1 und der dazugehörigen Spannungsverläufe gemäß Fig. 3 wird im Folgenden der gegenständliche Wechselrichter 9 im Detail beschrieben.

Die erste Wechselrichterstufe 1 verwendet mehrere parallel geschaltete Brückenzeige 11, welche auch als Brücken-Halbleiterschaltungen 11 bezeichnet werden, und welche mit der ersten Zwischenkreisspannung arbeiten. Die verwendeten Halbleiterschalter bzw. Leistungshalbleiter müssen eine entsprechend hohe Sperrspannung aufweisen. Die Brückenzeige werden phasenversetzt mit einer ersten Schaltfrequenz getaktet angesteuert und die Ausgangsspannungen der einzelnen Brückenzeige werden mittels einer gekoppelten Spulenordnung 12 superponiert, wodurch eine erste mehrstufige pulsbreitenmodulierte Wechselspannung  $v_{AM}$  mit einer ersten effektiven Schaltfrequenz, die ein Vielfaches der ersten Schaltfrequenz ist, erzeugt wird.

Die einzelnen Brücken-Halbleiterschaltungen 11 der ersten Wechselrichterstufen 1 werden dabei derart überlagert geschaltet, dass zu wenigstens einem vorgebbaren Zeitpunkt wenigstens zwei der Brücken-Halbleiterschaltungen 11 gleichzeitig eingeschaltet sind, zur Erzeugung der unterschiedlichen Spannungspegel.

Wie in Fig. 3 dargestellt, approximiert diese erste mehrstufige Wechselspannung die ideal zu erzeugende Wechselspannung  $v_{ref}$ . Diese wird beispielsweise von einem übergeordneten Regelsystem derart vorgegeben, dass nach der Serieninduktivität  $L_1$  und dem Ausgangsfilter 3 eine gewünschte Ausgangsspannung auftritt. Die momentane Differenz  $\Delta v_{AM}$  zwischen  $v_{AM}$  und  $v_{ref}$  enthält spektrale Komponenten bei der ersten effektiven Schaltfrequenz und darüber, was wiederum eine Obergrenze für die Knickfrequenz bzw. obere Grenzfrequenz des Ausgangsfilters 3 bestimmt. Die erste effektive Schaltfrequenz ist als Vielfaches der ersten Schaltfrequenz wie eingangs beschrieben durch die Schaltverluste der Halbleiterschalter der ersten Wechselrichterstufe 1 limitiert.

Bevorzugt wird die zweite Zwischenkreisspannung der zweiten Wechselrichterstufe 2 derart gewählt, dass sie mindestens der Spannungsdifferenz zwischen zwei Stufen der ersten mehrstufigen pulsbreitenmodulierten Wechselspannung  $v_{AM}$  der ersten Wechselrichterstufe entspricht, d.h. nur einem Bruchteil der ersten Zwischenkreisspannung. Dadurch können in den Brückenzeigen der zweiten Wechselrichterstufe 2 Halbleiterschalter mit einer tieferen bzw. geringeren Sperrspannung als die Halbleiterschalt Elemente der ersten Wechselrichterstufe 1 eingesetzt werden. Die geringere Sperrspannung führt dabei zu geringeren Schaltverlustenergien, wodurch diese Halbleiterschalt Elemente der zweiten Wechselrichterstufe 2 mit einer höheren zweiten Schaltfrequenz angesteuert werden können.

Zur weiteren Verbesserung der Approximation, mit welcher die erste und die zweite Wechselrichterstufe 1, 2 zusammen die ideal einzustellende bzw. vorgegebene bzw. vorgebbare Wechselspannung  $v_{ref}$  nachbilden, wird vorteilhaft die momentane bzw. jeweilige Differenz  $\Delta v_{AM}$  zwischen  $v_{AM}$  und  $v_{ref}$  für die Bildung der Referenz der auf sägezahnförmigen Trägersignalen basierenden Pulsbreitenmodulation der zweiten Wechselrichterstufe 2 verwendet, wie dies in Fig. 2 gezeigt ist. Die konkrete regelungstechnische Implementierung wird zu Fig. 2 erläutert.

Die zweite Wechselrichterstufe 2 erzeugt also eine mit der, gegenüber der ersten Schaltfrequenz, hohen zweiten Schaltfrequenz pulsbreitenmodulierte zweite Ausgangswechselspannung  $v_{AB}$  die im lokalen Mittel der Differenzspannung  $\Delta v_{AM}$

zwischen  $v_{AM}$  und  $v_{ref}$  entspricht. Durch die Serienschaltung der Ausgangsspannungen der ersten Wechselrichterstufe 1 und der zweiten Wechselrichterstufe 2 entsteht so eine dritte mehrstufige pulsbreitenmodulierte Wechselspannung  $v_{BM} = v_{AM} + v_{AB}$ , welche nun eine dritte, höhere effektive Schaltfrequenz aufweist, die der effektiven Schaltfrequenz der zweiten Wechselrichterstufe 2 entspricht.

Dies erlaubt die Wahl einer entsprechend hohen Knickfrequenz des Ausgangsfilters 3, was die oben erwähnten Vorteile mit sich bringt. Neben der Ermöglichung einer großen Bandbreite der Ausgangsgrößen ist die damit verbundene, durch die aktive Filterung erreichbare Reduktion der Baugröße der Komponenten (Kondensatoren und Spulen) des Ausgangsfilters 3 als weiterer Vorteil zu sehen. Dadurch ist ein gegenständlicher Wechselrichter 1 auch für Anwendungen, die keine große Bandbreite der Ausgangsgrößen erfordern (z.B. Stromversorgungsgeräte), vorteilhaft, weil dadurch der Aufwand an passiven Komponenten reduziert wird und eine Erhöhung der Leistungsdichte erzielt werden kann.

Der gegenständliche Wechselrichter 1 weist eine - nicht dargestellte - Steuer- und/oder Regeleinheit auf. Fig. 2 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform der Regelstruktur für die hybride Wechselrichterschaltung, welche bevorzugt in der Steuer- und/oder Regeleinheit implementiert ist. Die Steuer- und/oder Regeleinheit kann auch durch mehrere separate Komponenten gebildet sein, und muss folglich nicht nur eine einzige abgeschlossene Baueinheit sein.

Die Regelstruktur besteht bevorzugt aus einer kaskadierten Regelung der Ausgangsspannung  $v_{Out}$  zwischen den Klemmen C und D, basierend auf einer unterlagerten Regelung des Stromes  $i_{L1}$  in der ersten Filterinduktivität  $L_1$ , mit Vorsteuerung des Ausgangsspannungswertes  $v_{Out}^*$  sowie Störgrößenaufschaltung des Ausgangsstromes  $i_{Out}$ .

Die von den beiden Regelschleifen 4 ausgeführte Funktion kann unterschiedlich ausgeführt werden, wobei Fig. 2 eine bevorzugte Ausbildung zeigt. Diese Regelung der Ausgangsspannung erzeugt ein Ausgangssignal, welches einer durch den Leistungsteil des Wechselrichters 9 ideal einzustellenden und an die Eingangsklemmen des Ausgangsfilters 3 anzulegenden Referenzspannung  $v_{ref}$

entspricht. Aus dieser Spannung werden dann mittels Pulsbreitenmodulation, Block 6, die Ansteuersignale für die Brückenzeige der ersten Wechselrichterstufe 1 erzeugt.

In Block 5 werden die Ansteuersignale für die Brückenzeige der zweiten Wechselrichterstufe gebildet bzw. erzeugt. Dabei muss erstens, wie vorstehend beschrieben, die Ausgangsspannung  $v_{AB}$  der zweiten Wechselrichterstufe 2 derart sein, dass sie im lokalen zeitlichen Mittel der Abweichung zwischen der von der Ausgangsspannungsregelung, Block 4, vorgegebenen, und an das Ausgangsfilter anzulegenden Spannung  $v_{ref}$  und der von der ersten Wechselrichterstufe 1 tatsächlich erzeugten Spannung  $v_{AM}$  entspricht. Zudem soll zweitens sichergestellt werden, dass der Zwischenkreiskondensator 95 der zweiten Wechselrichterstufe 2 beim Start des Wechselrichters 1 auf eine definierte Spannung geladen wird und dass diese Spannung während des Betriebes des Wechselrichters 1 im zeitlichen Mittel konstant gehalten werden kann, da beispielsweise die in den Leistungshalbleitern bzw. Halbleiterschaltern der zweiten Wechselrichterstufe 2 auftretenden Verluste aus dem Zwischenkreis der zweiten Wechselrichterstufe 2 gedeckt werden und damit den Zwischenkreiskondensator 95 entladen würden, sollten keine entsprechenden Vorkehrungen getroffen werden.

Die erste Zielsetzung kann durch eine Signalverarbeitung, wie sie in Fig. 2 im Block 51 gezeigt ist, realisiert werden. Dabei wird die Differenz  $\Delta v_{AM}$  zwischen der ideal an das Ausgangsfilter 3 anzulegenden Spannung und der von der ersten Wechselrichterstufe 1 tatsächlich erzeugten Spannung berechnet. Dies kann zum einen mittels der Steuersignale der ersten Pulsbreitenmodulation, Block 6, und der ersten Zwischenkreisspannung  $V_{DC1}$  erfolgen, wie in Fig. 2 gezeigt. Die erste Zwischenkreisspannung  $V_{DC1}$  wird dabei bevorzugt durch Messen ermittelt.

Alternativ hiezu kann die tatsächlich von der ersten Wechselrichterstufe 1 erzeugte Spannung  $v_{AM}$  auch gemessen und dieser Messwert für die Berechnung der Differenzspannung  $\Delta v_{AM}$  herangezogen werden. Dies erfordert eine Spannungsmessung mit ausreichend hoher Dynamik

Durch Normierung bzw. Normalisieren der Differenzspannung  $\Delta v_{AM}$  mit dem Sollwert der zweiten Zwischenkreisspannung  $V_{DC2^*}$  der zweiten Wechselrichterstufe 2 kann

ein erstes Referenzsignal  $ref_v$  für die Pulsbreitenmodulation, Block 7, der zweiten Wechselrichterstufe 2 erzeugt werden.

Die weitere bzw. zweite Zielsetzung, die Stabilisierung der zweiten Zwischenkreisspannung  $V_{DC2}$  der zweiten Wechselrichterstufe 2, kann durch die in Fig. 2 im Block 52 gezeigte bevorzugte Regelstruktur erreicht werden. Ein PI-Regler erzeugt aus der Abweichung der gemessenen Zwischenkreisspannung  $V_{DC2}$  der zweiten Wechselrichterstufe 2 von ihrem Sollwert  $V_{DC2}^*$  eine Größe, die einer in den Zwischenkreiskondensator 95 einzuspeisenden oder daraus abzuführenden Leistung entspricht. Um einen solchen Leistungsfluss einzustellen, muss die Ausgangsspannung  $v_{AB}$  der zweiten Wechselrichterstufe 2 einen Anteil enthalten derart, dass zusammen mit dem Laststrom  $i_{L1}$  ein einem positiven oder negativen ohmschen Widerstand entsprechendes Verhalten auftritt. Gemäß einer besonders einfachen Variante wird zur Erzeugung eines zweiten Referenzsignals  $ref_{dc}$  für die Pulsbreitenmodulation, Block 7, der zweiten Wechselrichterstufe 2 die Ausgangsgröße des Zwischenkreisspannungsreglers mit dem Sollwert des Ausgangsstromes  $i_{L1}^*$  multipliziert.

Alternativ dazu kann auch der gemessene Strom  $i_{L1}$  verwendet werden. Des Weiteren können aufwendigere Techniken wie beispielsweise eine Normalisierung von  $i_{L1}^*$  bzw.  $i_{L1}$  auf dessen Spitzenwert (im Falle eines periodischen Signals) oder auch eine PLL eingesetzt werden, um das oben beschriebene leistungsbildende Verhalten, d.h. eine Ausgangsspannungskomponente der zweiten Wechselrichterstufe proportional zum Laststrom  $i_{L1}$  zu erreichen.

Die beiden Referenzsignale  $ref_v$  und  $ref_{dc}$  werden anschließend addiert um das Referenzsignal für die Pulsbreitenmodulation, Block 7, der zweiten Wechselrichterstufe zu berechnen. Diese Pulsbreitenmodulation, Block 7, der zweiten Wechselrichterstufe kann, wie in Fig. 2 gezeigt, zusätzlich die gemessene zweite Zwischenkreisspannung  $V_{DC2}$  der zweiten Wechselrichterstufe 2 verwenden, um allfällige Schwankungen derselben ausgleichen zu können, was vorteilhaft die Realisierung des Zwischenkreises der zweiten Wechselrichterschaltung 2 mittels eines vergleichsweise kleinen Kondensators begünstigt.

Insbesondere hat es sich als vorteilhaft erwiesen, dass bei der

Pulsbreitenmodulation, Block 7, der zweiten Wechselrichterstufe 2 Trägersignale in Sägezahnform (asymmetrisches Dreieck bei dem eine der beiden Flanken ideal senkrecht verläuft) verwendet werden, und nicht solche in, insbesondere symmetrischer, Dreiecksform. Da sägezahnförmige Trägersignale immer die gleiche Steigung aufweisen, können sprunghafte Änderungen des Referenzsignals nicht zu mehrfachen, teils unerwünschten Schalthandlungen innerhalb einer effektiven Taktperiode führen. Solche mehrfachen Schalthandlungen können niederfrequente Harmonische in der Ausgangsspannung erzeugen, wodurch die Möglichkeit zur Erhöhung der Knickfrequenz des Ausgangsfilters 3 beeinträchtigt würde. Fig. 5 zeigt mehrere Spektren, wobei in Fig. 5a das Spektrum eines einstufigen Wechselrichters zeigt. Fig. 5c zeigt das Spektrum eines gegenständlichen Wechselrichters, jedoch im Betrieb mit einem dreiecksförmigen Trägersignal der zweiten Wechselrichterstufe. Fig. 5b zeigt das Spektrum des gegenständlichen Wechselrichters mit dem bevorzugten sägezahnförmigen Trägersignal der zweiten Wechselrichterstufe. Deutlich zuerkennen sind die gegenüber Fig. 5a deutlich höherfrequenten Klirrateile, sowie die deutliche Erhöhung des niederfrequenten Klirrs (THD) bei Fig. 5c.

Durch die gegenständliche, bevorzugte Regelung wird eine weitgehende Unabhängigkeit zwischen den Steuerungen der beiden Wechselrichterstufen 1, 2 erreicht. Die Steuersignale für die beiden Wechselrichterstufen 1,2 müssen nicht durch eine gemeinsame, verkoppelte Logik erzeugt werden. Die Wahl der zweiten Schaltfrequenz der zweiten Wechselrichterstufe 2 unterliegt zudem keinerlei Beschränkungen, und muss insbesondere nicht zwingend ein ganzzahliges Vielfaches der ersten Schaltfrequenz der ersten Wechselrichterstufe 1 sein. Der Informationsaustausch zwischen den Steuereinrichtungen der beiden Wechselrichterstufen 1,2 ist wie in Fig. 2 zu sehen auf die Übermittlung des aktuellen Schaltzustandes der ersten Wechselrichterstufe 1 an die Steuerung der zweiten Wechselrichterstufe 2 beschränkt. Alternativ dazu kann, wie bereits dargelegt, auch eine hochdynamische Messung der Ausgangsspannung der ersten Wechselrichterstufe 1 erfolgen, wodurch eine vollständige Trennung der Steuerungen der beiden Wechselrichterstufen 1, 2 erreicht werden kann. Eine solche weitgehende oder vollständige Trennung der Steuerung der beiden Wechselrichterstufen 1, 2 erlaubt vorteilhaft eine vergleichsweise einfache

Erweiterung einer bereits bestehenden ersten Wechselrichterstufe 1 um eine zweite, schneller getaktete zweite Wechselrichterstufe 2. Dadurch können die gegenständlichen Vorteile auch bei bereits bestehenden Wechselrichterschaltung, durch entsprechende Erweiterung derselben, erzielt werden. Dies ist auch als Retrofitting bekannt.

Müssen aus implementierungstechnischen Gründen trotzdem dreieckförmige Trägersignale verwendet werden, kann die Erzeugung von niederfrequenten Harmonischen, Fig. 5c, bei der Pulsbreitenmodulation, Block 7, der zweiten Konverterstufe bzw. Wechselrichterstufe 2 durch eine Quantisierung der PWM-Referenz für die Pulsbreitenmodulation, Block 6, der ersten Konverterstufe 1 zumindest reduziert werden, wobei mögliche Schalthandlungen der ersten Wechselrichterstufe 1 immer mit dem Anfang einer, insbesondere effektiven, Schaltperiode der zweiten Wechselrichterstufe 2 zusammenfallen. Eine weitere Reduktion kann erreicht werden, indem die derart quantisierte Referenz für die Pulsbreitenmodulation, Block 6, der ersten Wechselrichterstufe 1 zusätzlich noch mit der effektiven zweiten Schaltfrequenz der zweiten Konverterstufe 2 abgetastet wird.

Es ist zu beachten, dass die oben beschriebenen vorteilhaften Eigenschaften, die bei Verwendung sägezahnförmiger Trägersignale für die Pulsbreitenmodulation der zweiten Wechselrichterstufe 2 auftreten, auch in Kombination mit einer anderen als der beschriebenen Realisierung der ersten Wechselrichterstufe 1 erzielt werden können. Diese Umsetzung ist also unabhängig von der konkreten Realisierung der ersten Wechselrichterstufe als vorteilhaft zu betrachten.

Die vorstehend beschriebene Regelung der zweiten Zwischenkreisspannung ist an sich auch dazu in der Lage, diese zweite Zwischenkreisspannung während der Startphase des Wechselrichters 1 ausgehend von 0V auf den Sollwert  $V_{DC2*}$  zu erhöhen. Ist am Ausgang keine Last angeschlossen, kann dies jedoch lange dauern, da der Strom  $i_{L1}$  in diesem Fall sehr klein werden kann. Um dies zu vermeiden ist bevorzugt eine Serieschaltung eines Widerstandes und eines Schalters vorgesehen, welche parallel zum Ausgangskondensator  $C_2$  zwischen den Klemmen C und D angeschlossen werden, oder alternativ parallel zum ersten Filterkondensator  $C_1$ . Beim Start des Wechselrichters 1 ohne oder mit nur kleiner Last am Ausgang kann

durch zeitweiliges Schließen dieses Schalters ein zusätzlicher Laststrom im Widerstand aufgebaut werden, der dann als Anteil des Stromes  $i_{L1}$  eine schnelle Aufladung des Zwischenkreiskondensators 95 der zweiten Wechselrichterschaltung 2 auf dessen Sollwert gemäß obiger Beschreibung ermöglicht.

Alternativ kann auch eine dedizierte galvanisch getrennte Ladeschaltung, beispielsweise in Form eines isolierten DC-DC-Konverters zur Aufladung des Zwischenkreiskondensators 95 der zweiten Wechselrichterstufe 2 vorgesehen sein, wobei dieser isolierte DC-DC-Konverter vorteilhaft nur eine gegenüber der Leistung des Wechselrichters 1 und auch gegenüber der Nominalleistung der zweiten Wechselrichterstufe 2 sehr kleine Nennleistung aufweisen muss. Es ist dann bei entsprechender Dimensionierung dieser Auflade- bzw. Nachladeschaltung auch möglich, die in der zweiten Wechselrichterstufe 2 auftretenden Verluste im laufenden Betrieb zu decken und damit die Zwischenkreisspannung der zweiten Wechselrichterschaltung 2 auf einen bestimmten Sollwert zu regeln, wodurch durch Elimination des Blocks 52 in Fig. 2 die Ansteuersignale für die Halbleiterschalter der zweiten Wechselrichterstufe 2 vorteilhaft einfacher erzeugt und gesteuert werden können.

Bei einer weiteren Ausführungsform eines gegenständlichen Wechselrichters 1 wird die Ausgangsspannung der zweiten Wechselrichterstufe 2 nicht direkt elektrisch in Serie zur Ausgangsspannung der ersten Wechselrichterstufe 1 geschaltet, sondern über einen Transformator eingekoppelt, wie in Fig. 1c gezeigt. Dabei ist eine erste Transformatorwicklung, die magnetisch mit einer zweiten Transformatorwicklung gekoppelt ist, zwischen den Ausgangsklemmen der zweiten Wechselrichterstufe 2 angeschlossen, während die zweite Transformatorwicklung zwischen den Klemmen A und B gemäß Fig. 1c angeschlossen wird. Durch die galvanische Trennung wird vorteilhaft die Realisierung der Ansteuerung der Halbleiterschalter der zweiten Brückenschaltung der zweiten Wechselrichterstufe 2 vereinfacht, da mindestens zwei dieser Halbleiterschalter potentialfrei angesteuert werden können. Aufgrund des frei wählbaren Übersetzungsverhältnisses des Transformators ist die Wahl der Zwischenkreisspannung der zweiten Wechselrichterstufe 2 weniger Einschränkungen unterworfen, insbesondere kann sie kleiner gewählt werden als die Differenz zwischen den Spannungslevels der pulsbreitenmodulierten



Ausgangsspannung der ersten Wechselrichterstufe 1  $v_{AM}$  sofern das Transformatorübersetzungsverhältnis geeignet gewählt wird. Außerdem wird so eine potentialfreie aktive Versorgung des Zwischenkreises der zweiten Wechselrichterstufe 2 möglich, wodurch die zweite Wechselrichterstufe 2 auch zur Einspeisung von Wirkleistung, d.h. zur Übernahme eines Teils des Gesamtenergieflusses zwischen dem Gleichspannungs- und dem Wechselspannungssystem, verwendet werden kann. Dies ist an sich auch ohne besagte galvanische Trennung möglich, würde dann aber eine entsprechend dimensionierte potentialgetrennte Versorgung des Zwischenkreises der zweiten Wechselrichterstufe 2 erfordern. Insbesondere müsste eine solche potentialgetrennte Versorgungsschaltung eine deutlich höhere Nennleistung aufweisen, als zum Laden des Zwischenkreiskondensators 95 der zweiten Wechselrichterstufe 2 oder auch zur Deckung der im Betrieb auftretenden Verluste der zweiten Wechselrichterstufe 2 notwendig wären.

Bei weiteren Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung kann die zweite Wechselrichterstufe 2 als Serie- und/oder Parallelschaltung von mehreren Wechselrichterstufen realisiert sein, wobei die jeweiligen Zwischenkreisspannungen geeignet zu wählen sind. Dadurch kann durch phasenversetzte Taktung der Brückenarme der einzelnen Wechselrichterstufen die zweite effektive Schaltfrequenz einer derartigen zweiten mehrstufigen Wechselspannung  $v_{BM}$  weiter erhöht werden.

Es sei ferner darauf hingewiesen, dass der Fall der Erzeugung einer Wechselspannung am Ausgang auch den Fall einer Ausgangsfrequenz von 0Hz, also der Erzeugung einer Ausgangsgleichspannung, umfasst. Der gegenständliche Wechselrichter 1 und die zugehörige Betriebsweise sowie deren Variationen sind auch zur Erzeugung einer Gleichspannung am Ausgang geeignet. Insbesondere kann beim Betrieb als Gleichspannungsquelle die zweite Wechselrichterstufe 2 durch geeignete Ansteuerung zur Emulation einer gewünschten Ausgangsimpedanz herangezogen werden, während die erste Wechselrichterstufe 1 eine konstante Gleichspannung erzeugt.

Zum Schutz der zweiten Wechselrichterstufe 2 im Falle eines unzulässigen Anstiegs oder Absinkens der Zwischenkreisspannung der zweiten

Wechselrichterstufe 2 können bei Realisierungen der zweiten Wechselrichterstufe 2, die auf einer Vollbrückenschaltung basieren, entweder die beiden oberen oder die beiden unteren Halbleiterschalter eingeschaltet werden, um einen Freilaufpfad für den Laststrom zu schaffen. Alternativ dazu kann zwischen den Ausgangsklemmen A und B der zweiten Wechselrichterstufe 2 ein bidirektional leitfähiger Überbrückungsschalter vorgesehen werden, beispielsweise eine Anordnung von zwei anti-parallel verschalteter Thyristoren. Ein solcher Überbrückungsschalter kann vorteilhaft insbesondere auch zum Schutz einer auf einer Halbbrückenschaltung basierenden Realisierung der zweiten Wechselrichterstufe 2 eingesetzt werden, bei welcher es nicht möglich ist, mit den Leistungshalbleitern der zweiten Wechselrichterstufe 2 einen Freilaufpfad zu schaffen.

Um ferner im Falle hochdynamischer Änderungen des Laststromes das Auftreten von unzulässig hohen Spannungen an der Klemme B in Fig. 1 zu verhindern, können vorteilhaft zwei Klemmdioden eingesetzt werden, um einen niederinduktiven Pfad für solche Überstrompulse zu schaffen, wobei die erste Klemmdiode mit ihrer Anode am Punkt B und mit ihrer Kathode an der positiven Zwischenkreisschiene der ersten Wechselrichterstufe 1 angeschlossen ist, und die zweite Klemmdiode mit ihrer Anode an der negativen Zwischenkreisschiene der ersten Wechselrichterstufe 1 und mit ihrer Kathode am Punkt B.

Fig. 4 zeigt eine weitere, leicht unterschiedliche Ausführungsform des gegenständlichen Wechselrichters 1. Dabei werden die Brückenzweige der ersten Wechselrichterstufe 81 in zwei Gruppen zusammengefasst, wobei die von den Brückenzweigen einer Gruppe erzeugten Ausgangsspannungen jeweils mittels einer gekoppelten Spulenanordnung 82 und 83 zu einer mehrstufigen pulsbreitenmodulierten Wechselspannung superponiert werden. Diese von den beiden Gruppen von Brückenzweigen mit jeweils zugehöriger gekoppelter Spule erzeugten Wechselspannungen werden an den Punkten Q und R an den Gleichspannungszwischenkreis der zweiten Wechselrichterstufe 2d, umfassend einen Zwischenkreiskondensator und eine Halbbrücke, angeschlossen. Die Punkte Q und R können als erste und zweite Eingangsklemme der zweiten Wechselrichterstufe 2 betrachtet werden, wobei diese dazu eingerichtet ist, eine Spannung an

einer Ausgangsklemme S auf einen Wert zwischen den Spannungen an ihren Eingangsklemmen Q, R einzustellen. Analog zur oben ausführlich beschriebenen Funktion der bevorzugten Ausführungsform des Wechselrichters 1 gemäß Fig. 1 kann auch hier durch eine entsprechende Ansteuerung der Halbleiterschalter der zweiten Wechselrichterstufe 2d sowohl die zweite effektive Schaltfrequenz der an das Ausgangsfilter 3 angelegten zweiten mehrstufigen pulsbreitenmodulierten Wechselspannung erhöht werden und gleichzeitig die mittlere Spannung des Zwischenkreises der zweiten Wechselrichterstufe 2d auf einem konstanten Wert gehalten werden.

## P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Wechselrichter (9) mit einer ersten Wechselrichterstufe (1, 8) mit einer ersten Schaltfrequenz und einer der ersten Wechselrichterstufe (1, 8) nachgeschalteten zweiten Wechselrichterstufe (2) mit einer zweiten Schaltfrequenz, wobei die erste Wechselrichterstufe (1, 8) eine erste Zwischenspannung aufweist und zum Erzeugen einer ersten pulsweitenmodulierten Wechselspannung mit wenigstens drei unterschiedlichen Spannungspegeln ausgebildet ist, wobei sich die unterschiedlichen Spannungspegel jeweils durch wenigstens eine erste Differenzspannung unterscheiden, wobei die zweite Wechselrichterstufe (2) eine zweite Zwischenspannung aufweist, welche zweite Zwischenspannung kleiner der ersten Zwischenspannung und größer der ersten Differenzspannung ist, und wobei die zweite Schaltfrequenz größer der ersten Schaltfrequenz ist, wobei die erste Wechselrichterstufe (1, 8) mindestens eine Anschlussschaltung aufweist, wobei die Anschlussschaltung jeweils eine Ausgangsklemme, eine gekoppelte Spulenanordnung (12, 82, 83) und eine Gruppe von mindestens zwei phasenversetzt mit der ersten Schaltfrequenz pulsbreitenmoduliert angesteuerten Brückenzeigen aufweist, wobei jeder der Brückenzeige einen Mittenanschluss aufweist und die Mittenanschlüsse dieser Brückenzeige über die gekoppelte Spulenanordnung (12, 82, 83) an die Ausgangsklemme angeschlossen sind, und diese Ausgangsklemme eine Ausgangsklemme der ersten Wechselrichterstufe (1, 8) zum Erzeugen der ersten pulsbreitenmodulierten Wechselspannung bildet.

2. Wechselrichter (9) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spulenanordnung dazu eingerichtet ist, Gleichtaktströme, die von den Mittenanschlüssen einer Gruppe von Brückenzeigen zum entsprechenden Ausgangsklemme fließen, zu glätten.

3. Wechselrichter (9) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Spulenanordnung dazu eingerichtet ist, Gegentaktströme, die von den

Mittenanschlüssen einer Gruppe von Brücken Zweigen zum entsprechenden Ausgangsklemme fließen, zu unterdrücken.

4. Wechselrichter (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Wechselrichterstufe (2) in Serie zu einer Ausgangsklemme der ersten Wechselrichterstufe (1, 8) angeschlossen ist, und eine Ausgangsspannung der zweiten Wechselrichterstufe (2) zur ersten pulsbreitenmodulierten Wechselspannung ( $v_{AM}$ ) addiert wird.

5. Wechselrichter (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Wechselrichterstufe (1, 8) mindestens eine erste und eine zweite Anschlussschaltung mit einer ersten respektive zweiten Ausgangsklemme der ersten Wechselrichterstufe (1, 8) aufweist, und die zweite Wechselrichterstufe (2) eine erste Eingangsklemme (Q) und eine zweite Eingangsklemme (R) und eine Ausgangsklemme (S) aufweist, mit ihren Eingangsklemmen (Q, R) zwischen die erste und die zweite Ausgangsklemme der ersten Wechselrichterstufe (1, 8) geschaltet ist, und dazu eingerichtet ist, eine Spannung an ihrer Ausgangsklemme (S) auf einen Wert zwischen den Spannungen an ihren Eingangsklemmen (Q, R) einzustellen.

6. Wechselrichter (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die einzelnen Brücken-Halbleiterschaltungen (11, 81) der ersten Wechselrichterstufen (1, 8) derart überlagert geschaltet werden, dass zu wenigstens einem vorgebbaren Zeitpunkt wenigstens zwei der Brücken-Halbleiterschaltungen (11, 81) gleichzeitig eingeschaltet sind, zur Erzeugung der wenigstens drei unterschiedlichen Spannungspegel.

7. Wechselrichter (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Pulsweitenmodulation der zweiten Wechselrichterstufe (2) mittels eines sägezahnförmigen Trägersignals gesteuert wird.

8. Wechselrichter (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wechselrichter (9) ein Ausgangsfilter (3) aufweist, welches nachfolgend der zweiten Wechselrichterstufe (2) angeordnet ist.

9. Wechselrichter (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch**

**gekennzeichnet**, dass die Halbleiterschalter der ersten Wechselrichterstufe (1, 8) eine höhere Sperrspannung aufweisen, als Halbleiterschalter der zweiten Wechselrichterstufe (2).

10. Wechselrichter (9) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wechselrichter (9) eine Steuer- und/oder Regeleinheit aufweist, welche derart ausgebildet ist, dass die zweite Wechselrichterstufe (2) eine pulsweitenmodulierte zweite Ausgangsspannung produziert, welche in einem lokalen Mittel einer Differenz einer ersten Ausgangsspannung der ersten Wechselrichterstufe (1, 8) und einer vorgebbaren Referenzspannung entspricht.

11. Wechselrichter (9) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuer- und/oder Regeleinheit dazu ausgebildet ist, einen Zwischenkreiskondensator (95) der zweiten Wechselrichterstufe (2) bei einem Start des Wechselrichters (9) auf eine vorgegebene Spannung zu laden, und diese Spannung während des Betriebes des Wechselrichters (9) im zeitlichen Mittel konstant zu halten.

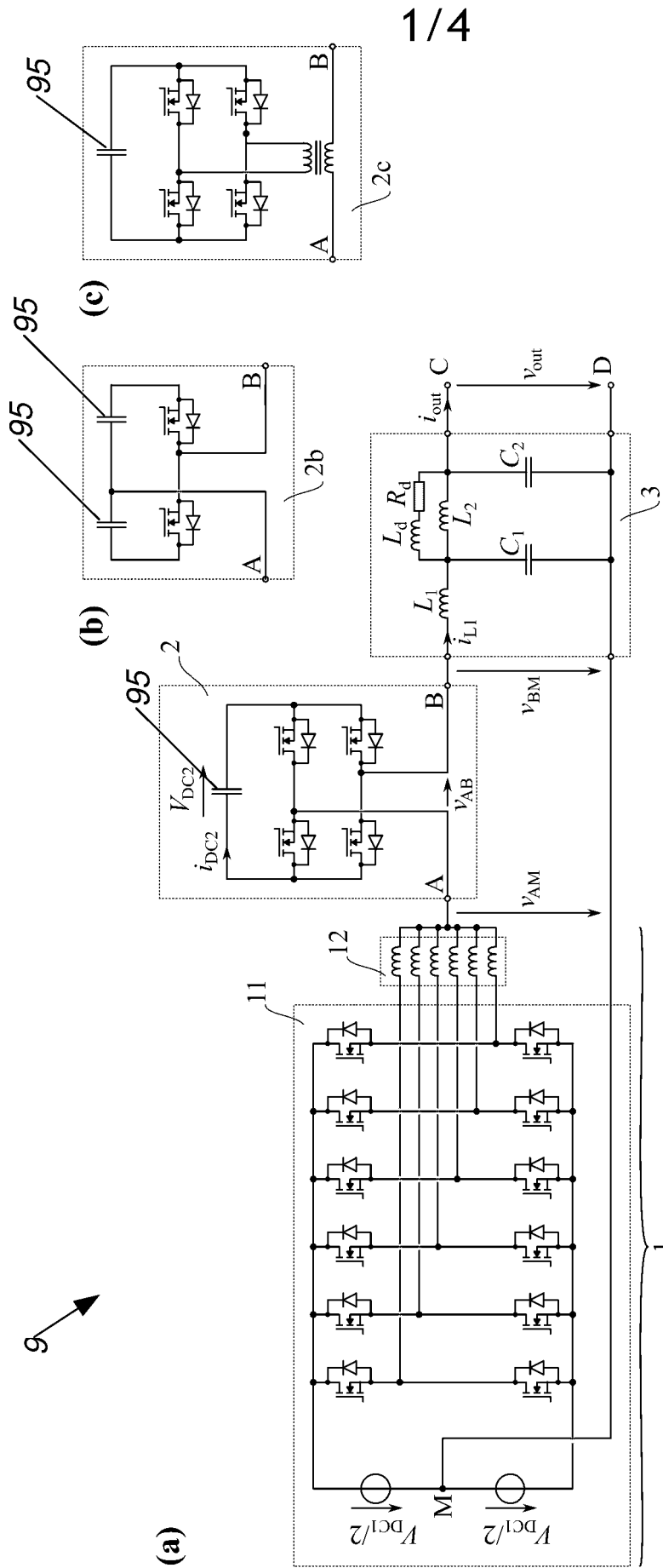


Fig. 1





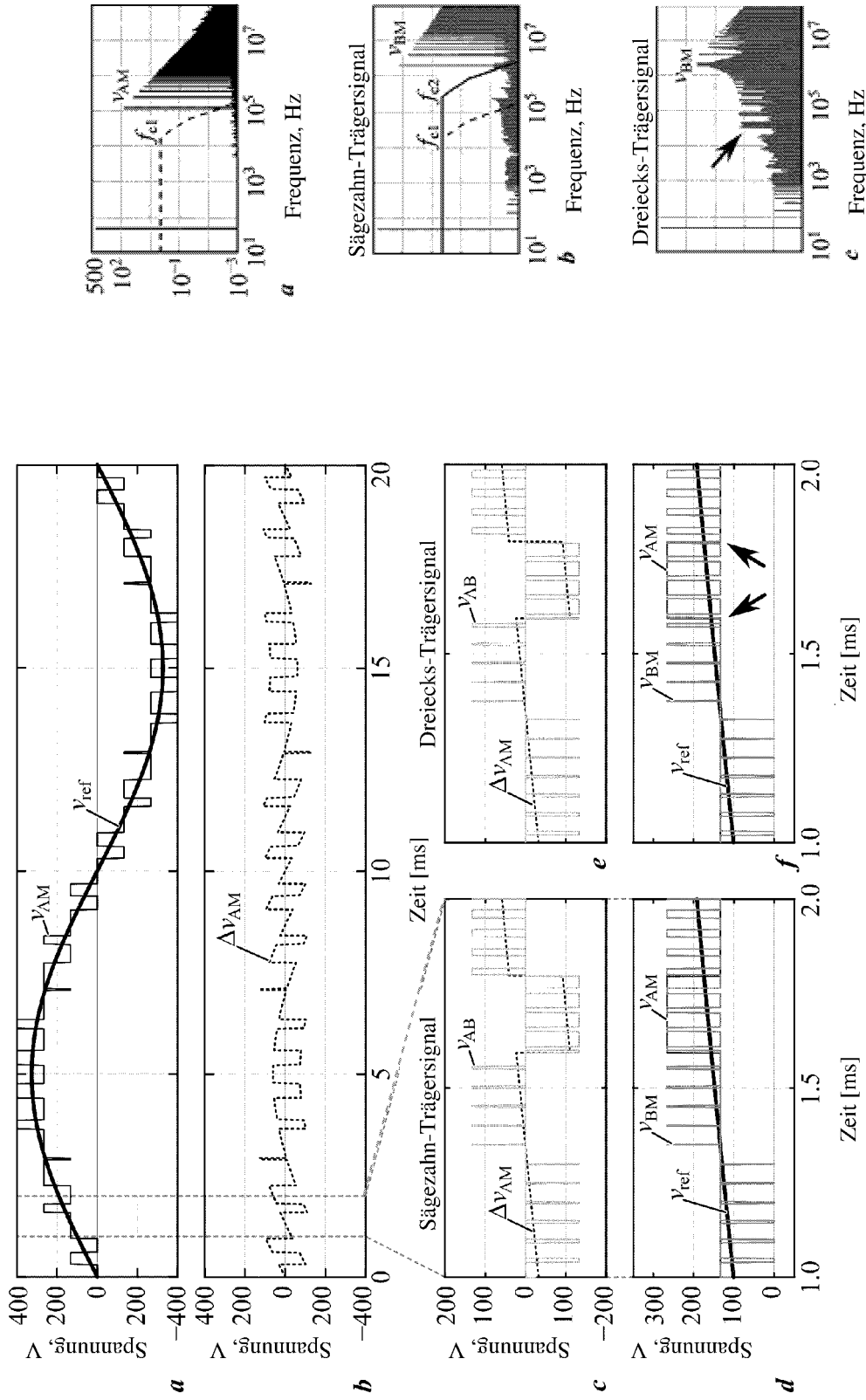


Fig. 3

Fig. 5

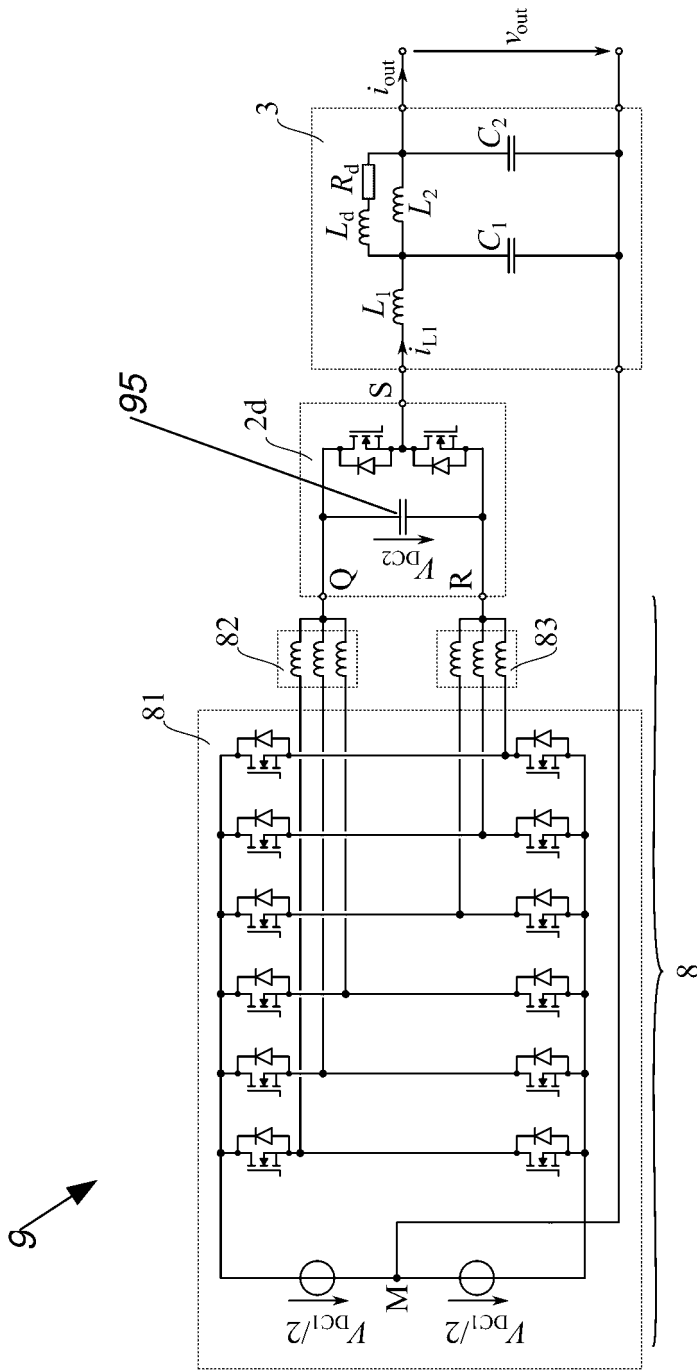


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2018/056970

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. H02M3/158 H02M1/15  
ADD.  
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	US 2003/026111 A1 (STEIMER PETER [CH] ET AL) 6 February 2003 (2003-02-06) abstract paragraphs [0005], [0009], [0027] - [0030], [0060], [0061], [0065] paragraphs [0009], [0036] - [0038] figures 1,2,7,8	1-11
A	US 2015/062984 A1 (HU YANSHEN [CN] ET AL) 5 March 2015 (2015-03-05) paragraph [0045]; figures 1,2	1-11
A	US 2015/270789 A1 (SHI LEI [CN] ET AL) 24 September 2015 (2015-09-24) figures 1B, 2	1-11
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search  2 July 2018	Date of mailing of the international search report  09/07/2018
--	--

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  Zeljko, Sandra
--	--

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2018/056970

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>GE BAOMING ET AL: "Multiphase-Leg Coupling Current Balancer for Parallel Operation of Multiple MW Power Modules", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, USA, vol. 61, no. 3, 1 March 2014 (2014-03-01), pages 1147-1157, XP011524895, ISSN: 0278-0046, DOI: 10.1109/TIE.2013.2258307 [retrieved on 2013-08-23] abstract; figures 1-3 -----</p>	1-11

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2018/056970

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003026111	A1	06-02-2003	CA 2381841 A1 25-10-2002
			CN 1396700 A 12-02-2003
			EP 1253706 A1 30-10-2002
			US 2003026111 A1 06-02-2003
-----			
US 2015062984	A1	05-03-2015	NONE
-----			
US 2015270789	A1	24-09-2015	CN 104935197 A 23-09-2015
			US 2015270789 A1 24-09-2015
-----			

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
 INV. H02M3/158 H02M1/15  
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE 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	US 2003/026111 A1 (STEIMER PETER [CH] ET AL) 6. Februar 2003 (2003-02-06) Zusammenfassung Absätze [0005], [0009], [0027] - [0030], [0060], [0061], [0065] Absätze [0009], [0036] - [0038] Abbildungen 1,2,7,8 -----	1-11
A	US 2015/062984 A1 (HU YANSHEN [CN] ET AL) 5. März 2015 (2015-03-05) Absatz [0045]; Abbildungen 1,2 -----	1-11
A	US 2015/270789 A1 (SHI LEI [CN] ET AL) 24. September 2015 (2015-09-24) Abbildungen 1B, 2 -----	1-11
	-/--	

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

2. Juli 2018

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

09/07/2018

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

Zeljko, Sandra

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>GE BAOMING ET AL: "Multiphase-Leg Coupling Current Balancer for Parallel Operation of Multiple MW Power Modules", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, USA, Bd. 61, Nr. 3, 1. März 2014 (2014-03-01), Seiten 1147-1157, XP011524895, ISSN: 0278-0046, DOI: 10.1109/TIE.2013.2258307 [gefunden am 2013-08-23] Zusammenfassung; Abbildungen 1-3 -----</p>	1-11

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/056970

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2003026111 A1	06-02-2003	CA 2381841 A1 CN 1396700 A EP 1253706 A1 US 2003026111 A1	25-10-2002 12-02-2003 30-10-2002 06-02-2003
-----			
US 2015062984 A1	05-03-2015	KEINE	
-----			
US 2015270789 A1	24-09-2015	CN 104935197 A US 2015270789 A1	23-09-2015 24-09-2015
-----			