

(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

16. Juni 2016 (16.06.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer

WO 2016/092091 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
H02M 7/483 (2007.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/079476

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. Dezember 2015 (11.12.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2014 225 725.5
12. Dezember 2014 (12.12.2014) DE

(71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V. [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).
SIEMENS AG [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333
München (DE).

(72) Erfinder: MALIPAARD, Dirk; Andreasstraße 15, 90461
Nürnberg (DE). RUCCIUS, Benjamin; Bielefelder Straße
40 a, 90425 Nürnberg (DE). BURANI, Nicola;
Solgerstraße 11, 90429 Nürnberg (DE).

(74) Anwälte: BURGER, Markus et al.; Schoppe,
Zimmermann, Stöckeler, Zinkler, Schenk & Partner mbB,
Radlkofersstraße 2, 81373 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

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

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

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

(54) Title: MULTICELL FOR CELL-BASED CONVERTERS

(54) Bezeichnung : MEHRFACHZELLE FÜR ZELLBASIERTE UMRICHTER

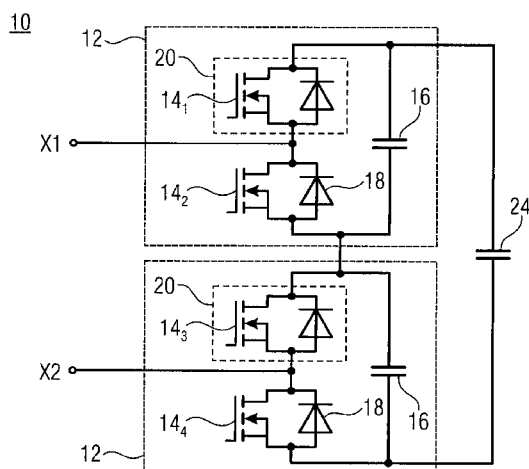


FIG 2

(57) Abstract: Embodiments of the present invention relate to a multicell for a cell-based multilevel converter. Said multicell comprises a plurality of partial cells, each partial cell comprising at least two controlled electrical switches and at least one voltage-dividing capacitor. The multicell further comprises at least one common energy storage capacitor, which is associated with at least two partial cells, and at least two connection points, which are designed to supply the multicell with electrical energy and to remove electrical energy from the multicell. The partial cells and the common energy storage capacitor are wired such that, in a first switching state, the energy storage capacitor can be connected to the connection points, and, in a further switching state, the energy storage capacitor can be connected to the connection points via at least one of the voltage-dividing capacitors.

(57) Zusammenfassung: Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung schaffen eine Mehrfachzelle für einen zellbasierten Multilevel-Umrichter. Die Mehrfachzelle umfasst eine Mehrzahl von Teilzellen, wobei jede der Teilzellen zumindest zwei steuerbare elektrische Schalter und zumindest einen Spannungsteilerkondensator umfasst. Ferner mindestens ein gemeinsamer Energiespeicherkondensator, der mindestens zwei Teilzellen zugeordnet ist und mindestens zwei Anschlussstellen,

welche ausgebildet sind, elektrische Energie der Mehrfachzelle zuzuführen und elektrische Energie aus der Mehrfachzelle abzuführen. Die Teilzellen und der gemeinsame Energiespeicherkondensator sind derart verschaltet, dass in einem ersten Schaltzustand der Energiespeicherkondensator mit den Anschlussstellen verbindbar ist, und in einem weiteren Schaltzustand der Energiespeicherkondensator über zumindest einen der Spannungsteilerkondensatoren mit den Anschlussstellen verbindbar ist.

WO 2016/092091 A1

Mehrfachzelle für zellbasierte Umrichter

Beschreibung

5

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beziehen sich auf eine Mehrfachzelle für einen zellbasierten Multilevel-Umrichter. Weitere Ausführungsbeispiele beziehen sich auf einen zellbasierten Multilevel-Umrichter und ein Verfahren zur Stromrichtung mit einer Mehrfachzelle für einen zellbasierten modularen Multilevel-Umrichter.

10

Für die Umwandlung von elektrischer Energie stehen in der Leistungselektronik eine Vielzahl unterschiedlicher Schaltungstopologien zur Verfügung. Dabei kann z.B. mit einem Spannungswischenkreisumrichter aus einer Wechselspannung eine in der Frequenz und Amplitude unterschiedliche Wechselspannung generiert werden. Ferner kann aus einer Gleichspannung eine Wechselspannung oder aus einer Wechselspannung eine Gleichspannung generiert werden.

15

Bei den Spannungswischenkreisumrichtern bieten insbesondere Multilevel-Umrichter eine hohe Spannungsqualität bei geringem Filteraufwand. Beispiele für solche Multilevel-Umrichter sind der 3-Level Neutral-Point-Clamped-Umrichter (3LNPC) oder der 4-Level Flying-Capacitor (4L-FC).

20

Eine Ausführungsform innerhalb der Multilevel-Umrichter-Topologien bilden schaltzellenbasierte Umrichter. Dabei sind zwei Hauptvarianten zu unterscheiden. Eine erste Variante bildet die Series-Connected-Halfbridge-Topologie (Reihengeschaltete-Halbbrücken-Topologie). Diese besteht aus in Reihe geschalteten Schaltzellen in Form von H-Brücken, deren jeweiliger Zwischenkreis aus einer galvanisch getrennten DC-Quelle gespeist wird. Diese Ketten aus reihengeschalteten Schaltzellen bilden in Ihrer Summe in Stufen steuerbare Spannungsquellen, wobei die Stufenhöhe den Zellspannungen entspricht. Nachteilig ist hierbei die Notwendigkeit vieler galvanisch trennender DC-Spannungsquellen.

25

30

Eine zweite Variante bilden modulare Multilevel-Umrichter. Diese bestehen ebenfalls aus in Reihe geschalteten Schaltzellen, die jedoch nur einen Zwischenkreiskondensator ohne zusätzliche Energieeinspeisung besitzen.

35

Diese reihengeschalteten Schaltzellen bilden in Summe ebenfalls eine gesteuerte Spannungsquelle. Durch eine geeignete Ansteuerungsmethodik der Schaltzellen wird der Zwischenkreiskondensator über eine AC-Periode gleichmäßig ge- und entladen, so dass im Mittel über eine Periode die Spannung im Zwischenkreiskondensator konstant bleibt.

5

Das Zelldesign basiert auf dem allgemeinen Funktionsprinzip des modularen Multilevel-Umrichters (siehe z.B. DE 10103031 B4). In Ihrer Grundform bestehen die Schaltzellen aus einem Kondensator (Zwischenkreiskondensator) in Verbindung mit einer Halbbrücke mit zwei Leistungstransistoren mit antiparalleler Diode. Diese Topologie wird insbesondere im Mittel- bis Höchstspannungsbereich eingesetzt (z.B. Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung HGÜ / Siemens HVDC PLUS). Alternativ bestehen Anwendungen, in denen die Zellen aus einem Kondensator mit vorgeschalteter H-Brücke bestehen (siehe z.B. Static Var Compensation, Statischer Blindleistungskompensator SVC / Siemens SVC PLUS) [M. Pereira, M. Pieschel, R. Stoeber: "Prospects of the New SVC with Modular Multilevel Voltage Source Converter" CIGRE Colloquium, October 2011, Brisbane].

15

Bekannt ist, insbesondere in Nieder- und Mittelspannungssystemen, die Verwendung von Doppelzellen (in Halbbrückenkonfiguration), bei denen zwei in Serie geschaltete Schaltzellen zu einer zusammengefasst werden (siehe Figur 1).

20

In vielen Anwendungen, insbesondere im Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsbereich, werden modulare Multilevel-Umrichter eingesetzt. Zentrales Element dieser Topologie ist der große kapazitive Speicher in jeder Schaltzelle, der jeweils innerhalb einer halben Grundperiode mit hohen Effektivströmen anteilig ent- und wieder geladen wird. Beim Einsatz der modularen Multilevel-Umrichter im Niederspannungsbereich stellt der hohe Nennstrom eine spezielle Anforderung an den kapazitiven Speicher dar. Folienkondensatoren, die für die Strombelastung gut geeignet wären, weisen aufgrund der verfügbaren und fertigungstechnisch noch verarbeitbaren Mindestfoliendicken, bei niedrigen Spannungen eine sehr schlechte Kapazitäts- und Energiedichte auf. Ein wirtschaftlicher Einsatz von Folienkondensatoren ist mit derzeit verfügbaren Bauelementen daher nicht möglich. Elektrolytkondensatoren haben in diesem Spannungsbereich eine hinreichende Kapazitäts- und Energiedichte, aufgrund der begrenzten Strombelastbarkeit und der geringeren Lebensdauer stellen diese allerdings keine sinnvolle Alternative dar.

25

30

35

In Bezug auf das insbesondere für geringe Spannungen genannte Problem des benötigten, kapazitiven Speichers mit hoher Kapazitätsdichte und hoher Strombelastbarkeit ist

derzeit keine Lösung bekannt. Entweder wird auf einen Einsatz der modularen Multilevel-Topologie in Anwendungen mit geringer Spannung verzichtet oder es müssen Einschränkungen bezüglich Systemkosten, -volumen und -lebensdauer akzeptiert werden.

- 5 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein verbessertes Konzept für Mehrfachzellen für zellbasierte Umrichter bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung nach Anspruch 1, ein Verfahren nach Anspruch 19, und ein Computerprogramm gemäß Anspruch 20 gelöst.

10

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung schaffen eine Mehrfachzelle für einen zellbasierten Multilevel-Umrichter. Die Mehrfachzelle umfasst eine Mehrzahl von Teilzellen, wobei jede der Teilzellen zumindest zwei steuerbare elektrische Schalter und zumindest einen Spannungsteilerkondensator umfasst. Ferner mindestens ein gemeinsamer
15 Energiespeicherkondensator, der mindestens zwei Teilzellen zugeordnet ist und mindestens zwei Anschlussstellen, welche ausgebildet sind, um elektrische Energie der Mehrfachzelle zuzuführen und elektrische Energie aus der Mehrfachzelle abzuführen. Die Teilzellen und der gemeinsame Energiespeicherkondensator sind derart verschaltet, dass in einem ersten Schaltzustand der Energiespeicherkondensator (bspw. direkt über einige
20 Schalteinheiten, z.B. Schalteinheiten 20) mit den Anschlussstellen verbindbar ist, und in einem weiteren Schaltzustand der Energiespeicherkondensator über zumindest einen der Spannungsteilerkondensatoren (und bspw. einige Schalteinheiten, z.B. Schalteinheiten 20) mit den Anschlussstellen verbindbar ist.

- 25 Ausführungsformen stellen Konzepte bereit, um die kosten- und verlustoptimierte Umformung von elektrischer Energie bei hohen Anforderungen an die eingangs- und ausgangseitige Spannungsqualität und an die Systemlebensdauer zu ermöglichen. Konzepte gemäß Ausführungsformen beseitigen weitere bekannte Nachteile der Schaltzellenanordnung gemäß dem Stand der Technik.

30

Ein zentrales Element der Erfindung ist die Konzentration der erforderlichen kapazitiven Speicher der Teilzellen in einem gemeinsamen Energiespeicherkondensator pro Mehrfachzelle (Doppelzelle). Im Vergleich zu den Kondensatoren, die für die klassische Doppelzelle (Figur 1) benötigt werden, hat dieser gemeinsame Speicherkondensator die doppelte
35 Maximalspannung, allerdings nur die halbe Kapazität der einzelnen Kondensatoren.

Die gespeicherte Energie der Doppelzelle entspricht somit der gespeicherten Energie in zwei Einzelzellen mit jeweils doppelter Kapazität.

Über den kapazitiven Spannungsteiler wird die Spannungsbelastung der Halbleiterbauelemente halbiert, so dass die Spannungsklassen der schaltenden Bauelemente (Leistungstransistor, Diode), im Vergleich zur klassischen Topologie der Doppelzelle (siehe Figur 1), identisch sind. An den Anschlussstellen sind wie bei der klassischen Doppelzelle drei verschiedene Spannungsstufen einstellbar.

10 Ausgehend von dieser Grundidee sind verschiedene Betriebsweisen und weitere Zellkonfigurationen ableitbar. Der Schritt der Konzentration der kapazitiven Speicher in einem gemeinsamen Energiespeicherkondensator ist auf alle bestehenden Doppel- oder Mehrfachzellen anwendbar.

15 Durch die Grundidee dieser Erfindung ergeben sich weitere Freiheitsgrade in der Ansteuerung.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung weisen die Spannungsteilerkondensatoren jeweils eine geringere bzw. kleinere Kapazität auf als der Energiespeicherkondensator. Die benötigte Mindestkapazität der Spannungsteilerkondensatoren kann durch Erhöhen der Schaltfrequenz reduziert werden. Die Kosten für einen Kondensator sind unter anderem abhängig von dessen Kapazität. Dabei steigen die Kosten mit zunehmender Kapazität. Zur Schaffung eines kapazitiven Spannungsteilers werden kleinere Kapazitäten benötigt als zur Energiespeicherung. Somit können zur Kostenoptimierung Spannungsteilerkondensatoren mit kleinerer Kapazität und ein Energiespeicherkondensatoren mit größerer Kapazität verwendet werden.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist in dem ersten Schaltzustand der Energiespeicherkondensator unter Umgehung der Spannungsteilerkondensatoren mit den Anschlussstellen verbindbar. Die Verbindung kann direkt über mindestens eine Schalteinheit erfolgen. Durch die Umgehung der Spannungsteilerkondensatoren wird in dem ersten Schaltzustand der Energiespeicherkondensator mit einer an den Anschlussstellen anliegenden Spannung geladen bzw. wird die Spannung des Energiespeicherkondensators an den Anschlussstellen der Mehrfachzelle ausgegeben. Somit kann der Energiespeicherkondensator mit einer maximalen Ladungsmenge geladen werden bzw. steht die maximale

le Ladungsmenge des Energiespeicherkondensators an den Anschlussstellen zur Verfügung.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist in dem weiteren Schaltzustand zumindest einer der Spannungsteilerkondensatoren unter Umgehung des Energiespeicherkondensators mit den Anschlussstellen verbindbar. Die Verbindung kann über mindestens eine der Schalteinheit direkt erfolgen. Durch Umgehung des Energiespeicherkondensators wird in dem weiteren Schaltzustand mindestens einer der Spannungsteilerkondensatoren mit der Anschlussstelle verbunden, wodurch die Spannung mindestens eines der Spannungsteilerkondensatoren an den Anschlussstellen der Mehrfachzelle anliegt. Der Strom durch die Anschlussstelle teilt sich auf zwei Strompfade auf. Ein Teilstrom fließt über einen Spannungsteilerkondensator, ein zweiter Pfad verläuft über den zweiten Spannungsteilerkondensator und den Speicherkondensator. Je nach Vorzeichen des Stroms in der Anschlussstelle wird einer der Spannungsteilerkondensatoren geladen und der zweite entladen, oder umgekehrt. Durch den Teilstrom wird auch der Speicherkondensator ge- oder entladen. Somit kann durch Zuschalten oder Bypassen der Spannungsteilerkondensatoren die Spannung einzelner Spannungsteilerkondensatoren, die Summe der einzelnen Spannungsteilerkondensatorspannungen oder eine Spannung nahe Null an den Anschlussstellen ausgegeben werden. Sind die einzelnen Spannungen der Spannungsteilerkondensatoren einer Doppelzelle nahezu identisch, so kann vereinfachend davon ausgegangen werden, dass drei verschiedenen Spannungslevel an den Anschlüssen vorliegen können sein.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung sind zwei Teilzellen zu einer Doppelzelle oder vier Teilzellen zu einer Vierfachzelle ausgebildet. Durch das Verwenden von zwei Teilzellen zu einer Doppelzelle können drei Spannungslevel an der Mehrfachzelle ausgegeben bzw. in den Energiespeicherkondensator geladen werden. Durch das Verwenden von vier Teilzellen zu einer Vierfachzelle können fünf Spannungslevel an der Mehrfachzelle ausgegeben werden.

30

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung ist der Energiespeicherkondensator als unipolarer Energiespeicherkondensator ausgebildet. Unipolare Kondensatoren können mit einem positiven oder einer negativen Strom geladen, bzw. entladen werden. Im zellbasierten modularen Multilevel-Umrichter kann so in einer Halbwelle Energie entnommen und in der zweiten Halbwelle wieder gespeichert werden.

35

Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist der Energiespeicherkondensator als Folienkondensator ausgebildet. Folienkondensatoren sind geeignet für hohe Strombelastungen, die beim Laden und Entladen des Energiespeicherkondensators auftreten können. Ferner können Folienkondensatoren eine hohe Spannungsfestigkeit aufweisen.

5 Dadurch sind sie als Energiespeicherkondensatoren für Mehrfachzellen, die im Nieder- und Mittelspannungsbereich eingesetzt werden, geeignet.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist das Dielektrikum der Energiespeicherkondensatoren als Glasfolie ausgebildet. Durch die Verwendung von Glasfolien als Dielektrikum können Kondensatoren mit einer Nennspannung von mehr als 10kV hergestellt werden. Derartige Energiespeicherkondensatoren sind für Mehrfachzellen, die im Mittel- und Hochspannungsbereich eingesetzt werden, geeignet.

10

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung ist elektrisch parallel zu dem Energiespeicherkondensator ein Zusatzkondensator niederinduktiv an die Mehrzahl von Teilzellen bzw. an die Spannungsteilerkondensatoren angeschlossen. Durch einen niederinduktiv an die Mehrzahl von Teilzellen angeschlossenen Zusatzkondensatoren kann die dynamische Performance verbessert werden. Dabei werden durch die geringe Induktivität der Anschlüsse hohe Anschaltströme, die beispielsweise beim Schalten der steuerbaren elektrischen

15

20 Schalter auftreten können, unter Vermeidung von Blindleistung in den Energiespeicherkondensator übertragen.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung sind jeweils mindestens zwei Spannungsteilerkondensatoren elektrisch parallel zueinander geschaltet, wobei einer der parallelgeschalteten Spannungsteilerkondensatoren niederinduktiv an die steuerbaren elektrischen

25

30 Schalter (Halbleitermodul) angeschlossen ist und ein weiterer der parallelgeschalteten Spannungsteilerkondensatoren niederinduktiv an den Energiespeicherkondensator angeschlossen ist. Durch das Aufteilen der Spannungsteilerkondensatoren kann die dynamische Performance verbessert werden. Durch Spannungsteilerkondensatoren, die niederinduktiv an die steuerbaren elektrischen Schalter angeschlossen sind, können Abschaltüberspannungen, die durch die steuerbaren elektrischen Schalter erzeugt werden, reduziert werden. Um Kosten zu sparen, können diese Spannungsteilerkondensatoren eine kleine bzw. sehr kleine elektrische Kapazität aufweisen. Durch das niederinduktive Anschließen des Spannungsteilerkondensators mit einer größeren Kapazität an den Energiespeicherkondensator kann eine gute Performance beim Energieaustausch mit dem

35

 Energiespeicherkondensator erreicht werden.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist elektrisch parallel zu den Spannungsteilerkondensatoren jeweils mindestens ein Varistor oder mindestens ein ohmscher Widerstand angeschlossen. Durch die elektrischen Parallelschaltungen eines Varistors oder eines ohmschen Widerstands zu den Spannungsteilerkondensatoren kann die inhärente Symmetrierung der Mehrfachzelle unterstützt werden. Dies kann ausgenutzt werden, um auf eine aktive Symmetrierung durch das Ansteuerverfahren zu verzichten. Beide Teilzellen könnten dann mit geringerem Ansteueraufwand synchron geschaltet werden. An den Anschlusspunkten wäre dann eine Spannungsstufe weniger verfügbar.

10

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung umfasst ein zellbasierter, modularer Multilevel-Umrichter mindestens ein Phasenmodul, welches ein oberes und ein unteres Stromrichterventil aufweist, wobei jedes Stromrichterventil mindestens eine Mehrfachzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist. Ferner weist der modulare Multilevel-Umrichter eine Steuerung auf, welche ausgebildet ist, die steuerbaren elektrischen Schalter der Mehrfachzelle zu schalten. Mit einem modularen Multilevel-Umrichter können ein- oder mehrphasige elektrische Stromnetze gleichgerichtet oder gleichgerichtete Stromnetze in ein- oder mehrphasige elektrische Stromnetze wechselgerichtet werden. Auch eine direkte Umwandlung von dreiphasigen Wechselstromnetzen in einphasige Wechselstromnetze oder umgekehrt ist möglich. Durch die Mehrfachzellen können unterschiedliche Spannungslevel an dem Multilevel-Umrichter ausgegeben werden. Ferner können durch die Mehrfachzellen des modularen Multilevel-Umrichters Wechselspannungen mit einer guten Performance in Gleichspannungen bzw. Gleichspannungen in Wechselspannungen überführt werden. Die Steuerung kann dabei ausgebildet sein, dass sie die Energieverluste, die durch die Umrichtung entstehen, möglichst minimiert werden.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Steuerung ausgebildet, eine erste Gruppe von steuerbaren elektrischen Schaltern und eine zweite Gruppe von steuerbaren elektrischen Schaltern synchron zu schalten. Hierdurch wird der kapazitive Spannungsteiler nur sehr gering belastet. Somit können die Spannungsteilerkondensatoren (Kapazitäten) kleiner ausgelegt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass eine inhärente Symmetrierung erfolgt und somit eine Spannungsmessung weniger, im Vergleich zur klassischen Doppelzelle, benötigt wird. Bei synchroner Ansteuerung kann die Anzahl der Spannungsmessungen halbiert werden. Diese Ansteuerung kann mit den zuvor beschriebenen Maßnahmen zur passiven Symmetrierung kombiniert werden. Die Ansteuerungsmethode mit dem gerings-

35

ten Ansteuerungsaufwand ist bei der Doppelzelle mit gemeinsamem Energiespeicherkondensator die synchrone Ansteuerung der steuerbaren elektrischen Schalter.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist die Steuerung ausgebildet, einen Spannungswert an den Spannungsteilerkondensatoren zu erfassen und abhängig vom erfassten Spannungswert die Schaltzustände der Halbleiterschalter zu beeinflussen. Durch Messen der Spannungswerte an den Spannungsteilerkondensatoren ist eine aktive Symmetrierung des kapazitiven Spannungsteilers implementierbar. Abhängig vom Messwert werden die steuerbaren elektrischen Schalter geschaltet. Die Implementierung kann über die Ansteuerung der Schaltzelle erfolgen, ohne dass zusätzliche Komponenten erforderlich sind. Durch die aktive Symmetrierung kann die maximale Anzahl der Spannungsstufen der Mehrfachzelle erhalten bleiben.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Steuerung als zentrale Umrichtersteuerung ausgebildet. Diese Steuerung kann die aktive Symmetrierung der Kondensatorspannungen beinhalten. Durch eine zentrale Umrichtersteuerung können Kosten durch die Nutzung von Synergien in der Beschaltung gespart werden.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung ist eine Steuerung autark für jeweils mindestens eine der Mehrfachzellen ausgebildet. Durch eine lokale, autarke Steuerung der Mehrfachzellen kann ein schnelles und zeitlich präzises Schalten der steuerbaren elektrischen Schalter erreicht werden.

Bei einer bevorzugten Ausgestaltung ist die Steuerung teilweise als zentrale Umrichtersteuerung und teilweise autark für jeweils mindestens eine der Mehrfachzellen ausgebildet.

Des Weiteren wird ein Verfahren zur Stromrichtung mit einer Mehrfachzelle für einen zellbasierten Multilevel-Umrichter bereitgestellt, welches folgende Schritte umfasst:

30 Steuern von zumindest zwei steuerbaren elektrischen Schaltern einer Teilzelle, wobei eine Mehrfachzelle eine Mehrzahl von Teilzellen und zumindest einen Spannungsteilerkondensator umfasst sowie mindestens ein gemeinsamer Energiespeicherkondensator, der mindestens zwei Teilzellen zugeordnet ist;

Zuführen von elektrischer Energie zu der Mehrfachzelle und Abführen von elektrischer Energie von der Mehrfachzelle über mindestens zwei Anschlussstellen; durch

- 5 Verbinden des Energiespeicherkondensators mit den Anschlussstellen in einem ersten Schaltzustand; und

Verbinden des Energiespeicherkondensators mit den Anschlussstellen über zumindest einen der Spannungsteilerkondensatoren in einem weiteren Schaltzustand.

10

Ferner wird eine digitale oder analoge Schaltung oder ein Computerprogramm mit einem Programmcode zur Durchführung des oben beschriebenen Verfahrens bereitgestellt, wenn das Computerprogramm auf einem Computer oder Prozessor abläuft.

- 15 Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden Bezug nehmend auf die beiliegenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Doppelzelle wie sie aus dem Stand der Technik bekannt ist;

20

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Mehrfachzelle als Doppelzelle;

25

Fig. 3 einen exemplarischen Spannungsverlauf bei positivem Zellstrom einer erfindungsgemäßen Doppelzelle mit verschiedenen Schaltzuständen der steuerbaren elektrischen Schalter;

Fig. 4a-f den Stromverlauf bei verschiedenen Schaltzuständen bei positivem Zellstrom an einem Ausführungsbeispiel;

30

Fig. 5 einen exemplarischen Spannungsverlauf bei negativem Zellstrom einer erfindungsgemäßen Doppelzelle mit verschiedenen Schaltzuständen der steuerbaren elektrischen Schalter;

- 35 Fig. 6a-f den Stromverlauf bei verschiedenen Schaltzuständen bei negativem Zellstrom an einem Ausführungsbeispiel;

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Mehrfachzelle;

5 Fig. 8 ein Ausführungsbeispiel einer Doppelzelle mit niederinduktiv angeschlossenen Zusatzkondensator;

Fig. 9 ein Ausführungsbeispiel einer Doppelzelle mit parallel zu den Spannungsteilerkondensatoren angeschlossenen Zusatzkondensator;

10

Fig. 10 eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines zellbasierten modularen Multilevel-Umrichters.

15 In der nachfolgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele der Erfindung werden in den Figuren gleiche oder gleichwertige Elemente mit den gleichen Bezugszeichen versehen, so dass deren Beschreibung in den unterschiedlichen Ausführungsbeispielen austauschbar ist.

20 Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Doppelzelle, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt ist. Dabei sind vier selbstsperrende n-Kanal Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (engl. metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, MOSFET) in Reihe zueinander angeordnet. Zu jeweils zwei MOSFETs ist parallel eine Kapazität angeschlossen. Zwischen diesen jeweils zwei MOSFETs befindet sich je ein elektrischer Anschluss der Doppelzelle.

25

Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Mehrfachzelle 10 für einen zellbasierten Multilevel-Umrichter. Die Mehrfachzelle umfasst eine Mehrzahl von Teilzellen 12, wobei jede der Teilzellen 12 zumindest zwei steuerbare elektrische Schalter $14_1 - 14_4$ und zumindest einen Spannungsteilerkondensator 16 umfasst. Die Teilzellen 12 sind in Reihe geschaltet. Das Ausführungsbeispiel zeigt 30 zwei Teilzellen 12. Die Teilzellen 12 umfassen je zwei steuerbare elektrische Schalter $14_1, 14_2; 14_3, 14_4$. In der schematische Darstellung sind selbstsperrende n-Kanal MOSFETs gezeigt. In Ausführungsbeispielen können auch andere steuerbare elektrische Schalter $14_1 - 14_4$, wie beispielsweise Bipolartransistoren, IGBTs, Thyristoren, IGCTs, GTOs oder Halbleiterrelais verwendet werden. Ferner können in Ausführungsbeispielen auch Feldefekttransistoren mit anderen Bezeichnungen beispielsweise IGFET, MISFET verwendet 35

werden. Dabei können bei den verwendeten Halbleitern jeweils verschiedene Polarisationsrichtungen (beispielsweise n-Kanal oder p-Kanal) verwendet werden. Das Schalt-schema bzw. das Layout der Schaltung ist dabei abhängig von der Polarisationsrichtung der steuerbaren elektrischen Schalter bzw. der Halbleiter entsprechend anzupassen.

5

Zu jedem elektrischen Schalter kann ein weiterer Halbleiter antiparallel geschaltet sein. Der steuerbare elektrische Schalter $14_1 - 14_4$ und der weitere Halbleiter bilden dann eine Schalteinheit 20. In Ausführungsbeispielen ist der antiparallel geschaltete Halbleiter eine Diode 18. Die Diode 18 kann als Freilaufdiode bezeichnet werden. Die Diode 18 kann entgegen einer Durchlassrichtung des elektrischen Schalters (antiparallel) geschaltet sein. Dadurch kann ein an der Schalteinheit 20 anliegender Strom in einer ersten Betriebsrichtung bzw. der Durchlassrichtung des steuerbaren elektrischen Schalters $14_1 - 14_4$ gesteuert werden. Durch Sperren des elektrischen Schalters $14_1 - 14_4$ wird ein Stromfluss in der ersten Richtung verhindert, während das leitend schalten des elektrischen Schalters $14_1 - 14_4$ einen Stromfluss durch die Schalteinheit 20 in der ersten Richtung ermöglicht. Die Diode 18 ist in der ersten Betriebsrichtung immer in Sperrrichtung geschaltet. In einer zweiten Betriebsrichtung, die der Durchlassrichtung des elektrischen Schalters $14_1 - 14_4$ entgegengesetzt ist, wird der Strom durch die Diode 18 geführt. Da die Diode 18 in der zweiten Betriebsrichtung in der Dioden-Durchlassrichtung betrieben wird, ist ein Stromfluss durch die Diode 18 immer möglich.

10
15
20

In jeder der Teilzellen 12 kann elektrisch parallel zu den zwei in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20 ein Kondensator angeordnet sein. Der Kondensator wirkt bei mehreren in Reihe geschalteten Teilzellen als Spannungsteiler. Der Spannungsteilerkondensator 16 kann als unipolarer Kondensator ausgebildet sein. Die Kapazität des Spannungsteilerkondensators 16 hängt unter anderem von der Übertragungsleistung des zellbasierten Multilevel-Umrichters ab und kann beispielsweise zwischen $1\mu\text{F}$ und $100\mu\text{F}$ oder bei großen Systemleistungen bis 1mF oder mehr betragen. In Ausführungsbeispielen weisen die Spannungsteilerkondensatoren 16 eine möglichst identische Kapazität auf, dadurch fällt über jedem der Spannungsteilerkondensatoren je eine identische Spannung ab, wodurch ein symmetrischer Spannungslevel ermöglicht wird. Die Spannungsfestigkeit der Spannungsteilerkondensatoren 16 kann der Spannungsfestigkeit der steuerbaren elektrischen Schalter $14_1 - 14_4$ bzw. der Diode 18 entsprechen und kann die Hälfte einer Doppelzellspannung betragen.

30
35

Mehrere Teilzellen 12 können zu einer Mehrfachzelle 10 zusammengeschaltet werden. Dabei werden die Teilzellen 12 zueinander in Reihe geschaltet, wobei zwei Teilzellen 12 eine Doppelzelle ausbilden. Die Mehrfachzelle 10 umfasst ferner mindestens ein gemeinsamer Energiespeicherkondensator 24, der mindestens zwei Teilzellen 12 zugeordnet ist.

5 In Ausführungsbeispielen ist der Energiespeicherkondensator 24 sämtlichen Teilzellen 12 zugeordnet. Das heißt, der Energiespeicherkondensator 24 kann elektrisch parallel zu den in Reihe geschalteten Teilzellen 12 bzw. elektrisch parallel zu den in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20 sowie parallel zu den in Reihe geschalteten Spannungsteilerkondensatoren 16 angeordnet sein. Somit sind die Spannungsteilerkondensatoren 16

10 elektrisch parallel zu den zwei Teilzellen 12 geschaltet.

Der Energiespeicherkondensator 24 kann als unipolarer Kondensator ausgebildet sein. In Ausführungsbeispielen ist der Energiespeicherkondensator 24 als Folienkondensator ausgebildet. Ferner kann das Dielektrikum des Energiespeicherkondensators 24 als Glas-

15 folie ausgebildet sein. Ein Glasfoliendielektrikum ermöglicht eine hohe Spannungsfestigkeit bei hoher Strombelastbarkeit. Das heißt der Energiespeicherkondensator 24 kann mit hohen Strömen geladen bzw. entladen werden. Die Spannungsfestigkeit ist abhängig von der Dicke der Glasfolie. Die Spannungsfestigkeit kann grösser als 10kV sein.

20 Der Energiespeicherkondensator 24 kann eine größere Kapazität als die Spannungsteilerkondensatoren aufweisen, bzw. die Spannungsteilerkondensatoren 16 können einzeln betrachtet eine geringere Kapazität aufweisen als der Energiespeicherkondensator 24.

25 In Ausführungsbeispielen entspricht die Kapazität der Spannungsteilerkondensatoren 16 zusammen der Kapazität des Energiespeicherkondensators 24. Die Kapazität der Spannungsteilerkondensatoren 16 kann aber auch um den Faktor 1, 10, 100 oder 1000 kleiner sein als die Kapazität des Energiespeicherkondensators 24.

30 Die Mehrfachzelle 10 umfasst ferner mindestens zwei Anschlussstellen X1, X2, welche ausgebildet sind, elektrische Energie der Mehrfachzelle 10 zuzuführen und elektrische Energie aus der Mehrfachzelle 10 abzuführen. In Ausführungsbeispielen ist an jeder der Teilzellen 12 eine Anschlussstelle X1, X2 ausgebildet. Die Anschlussstelle X1, X2 kann zwischen den in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20 angeordnet sein. Die Anschluss-

35 stellen können je mittig an den in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20 einer Teilzelle 12 angeordnet sein. Im Ausführungsbeispiel ist eine erste Anschlussstelle X1 zwischen der

ersten Schalteinheit 20 und der zweiten Schalteinheit 20 angeordnet. Eine zweite Anschlusseinheit X2 ist zwischen der dritten Schalteinheit 20 und der vierten Schalteinheit 20 angeordnet.

- 5 Bei Ausführungsbeispielen der Mehrfachzelle 10 ist eine erste Anschlussstelle X1 zwischen einem ersten Viertel und einem zweiten Viertel der in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20 angeordnet bzw. angeschlossen und eine zweite Anschlussstelle X2 zwischen einem dritten Viertel und einem vierten Viertel der in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20 angeschlossen. Ferner umfassen Ausführungsbeispiele mindestens zwei Spannungsteilerkondensatoren 16, wobei mindestens ein erster Spannungsteilerkondensator 16 parallel zu den im ersten und zweiten Viertel in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20 angeordnet ist und mindestens ein weiterer Spannungsteilerkondensator 16 parallel zu den im dritten und vierten Viertel in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20 angeordnet ist. Zusätzlich ist ein Energiespeicherkondensator 24 parallel zu den in den vier Vierteln elektrisch in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20 angeordnet.

- Mit der in Figur 2 gezeigten Doppelzelle können drei Spannungsstufen erzeugt werden, wenn die Zelle symmetrisch aufgebaut ist, die Spannungsteilerkondensatoren eine vergleichbare Kapazität besitzen und die Symmetrierung der Kondensatorspannungen so gestaltet ist, dass die Spannungsteilerkondensatoren nahezu die gleiche Spannung aufweisen. So kann die Spannung zwischen den beiden Anschlussstellen X1, X2 die Spannung am Energiespeicherkondensator 24 oder die Spannung an einem der Spannungsteilerkondensatoren 16 oder annähernd 0V betragen. Weitere Ausführungsbeispiele besitzen einen unsymmetrischen Aufbau, mit unterschiedlichen Teilzellspannungen, wodurch auch mehr Spannungsstufen erzeugt werden können.

- Bei einer bevorzugten Ausgestaltung ist eine Steuerung ausgebildet. Die Steuerung kann ausgebildet sein die steuerbaren elektrischen Schaltern $14_1 - 14_4$ zu schalten. Die Steuerung kann bspw. eine erste Gruppe von steuerbaren elektrischen Schaltern $14_1 - 14_4$ und eine zweite Gruppe von steuerbaren elektrischen Schaltern $14_1 - 14_4$ synchron schalten. Hierdurch wird der kapazitive Spannungsteiler 16 nur sehr gering belastet. Somit können die Spannungsteilerkondensatoren 16 (Kapazitäten) kleiner ausgelegt werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass eine inhärente Symmetrierung erfolgt und somit eine Spannungsmessung weniger, im Vergleich zur klassischen Doppelzelle, benötigt wird. Bei synchroner Ansteuerung kann die Anzahl der Spannungsmessungen halbiert werden. Diese Ansteuerung kann mit den zuvor beschriebenen Maßnahmen zur passiven Symmetrierung kombi-

niert werden. Die Ansteuerungsmethode mit dem geringsten Ansteuerungsaufwand ist bei der Doppelzelle mit gemeinsamem Energiespeicherkondensator 24 die synchrone Ansteuerung der steuerbaren elektrischen Schalter $14_1 / 14_4$ und $14_2 / 14_3$.

- 5 Figur 3 zeigt einen exemplarischen Spannungsverlauf bei unterschiedlichen Schalterstellungen, bei welchem ein positiver Strom gemäß konventioneller elektrischer Stromrichtung bei der ersten Anschlussstelle X1 in die Mehrfachzelle hinein- und bei der zweiten Anschlussstelle X2 hinausfließt.
- 10 Die Spannungsverläufe in Figur 3 zeigen von oben nach unten der Reihe nach den Spannungsverlauf an einem oberen Spannungsteilerkondensator U_{CO} , wobei dem oberen Spannungsteilerkondensator in den Figuren 4a - f das Bezugszeichen 16_1 zugeordnet ist; den Spannungsverlauf an einem unteren Spannungsteilerkondensator U_{CU} , wobei dem unteren Spannungsteilerkondensator in den Figuren 4a - f das Bezugszeichen 16_2 zugeordnet ist; den Spannungsverlauf an dem Energiespeicherkondensator U_{CE} , wobei dem oberen Energiespeicherkondensator in den Figuren 4a - f das Bezugszeichen 24 zugeordnet ist sowie den Spannungsverlauf an der Mehrfachzelle U_{ZE} , wobei die Spannung U_{ZE} in den Figuren 4a - f der Spannung zwischen den Anschlussstellen X1 und X2 zugeordnet ist. Im unteren Teil der Figur 3 sind die Schalterstellungen von vier steuerbaren elektrischen Schaltern S1 bis S4 aufgezeigt, wobei dem Schalter S1 in den Figuren 4a - f das Bezugszeichen 14_1 , dem Schalter S2 das Bezugszeichen 14_2 , dem Schalter S3 das Bezugszeichen 14_3 und dem Schalter S4 das Bezugszeichen 14_4 zugeordnet ist. Auf der X-Achse sind fünf Schaltzustände (I - V) der steuerbaren elektrischen Schalter aufgetragen. Die fünf abgebildeten Schaltzustände stellen eine bevorzugte Auswahl der durch vier
- 25 Schalter möglichen $2^4 = 16$ Schaltzustände dar.

Die Figuren 4a - 4f zeigen Stromverläufe in der Mehrfachzelle 10 (Doppelzelle) bei einem positiven Strom zwischen der ersten Anschlussstelle X1 und der zweiten Anschlussstelle X2. Die Stromverläufe der Figuren 4c und 4d sowie der Figuren 4e und 4f erfolgen jeweils

30 zeitgleich.

Figur 4a zeigt einen ersten Schaltzustand I, in dem die Teilzellen und der gemeinsame Energiespeicherkondensator 24 derart verschaltet sein können, dass der Energiespeicherkondensator 24 mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar ist. Dabei kann in dem ersten Schaltzustand I der Energiespeicherkondensator 24 unter Umgehung der Spannungsteilerkondensatoren 16_1 , 16_2 direkt mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar

35

sein. Die Verbindung kann über mindestens eine der Schalteinheit 20₁ - 20₄ erfolgen. An dem oberen Spannungsteilerkondensator 16₁, liegt die Spannung U_{CO} an, während an dem unteren Spannungsteilerkondensator 16₂, die Spannung U_{CU} anliegt.

- 5 Der erste steuerbare elektrische Schalter 14₁ und der vierte steuerbare elektrische Schalter 14₄ sind im ersten Schaltzustand I leitend, wodurch ein an den Schalteinheiten 20₁, 20₄ anliegender Strom durch die elektrischen Schalter 14₁, 14₄ fließen kann. Ein Stromfluss ist ebenfalls durch die antiparallel geschaltete Diode 18₁, 18₄ in der ersten und vierten Schalteinheit 20₁, 20₄ möglich, welche in Durchlassrichtung geschaltet sind. Ein Strom-
- 10 fluss durch die Dioden 18₁, 18₄ liegt insbesondere im fünften in Figur 3 gezeigten Schaltzustand V vor, wenn die beiden steuerbaren elektrischen Schalter 14₁ und 14₄ sperrend sind und somit kein Stromfluss durch die elektrisch geschalteten Schalter 14₁ und 14₄ möglich ist.
- 15 Der Strom fließt durch die erste und vierte Schalteinheit 20₁, 20₄. Die Dioden 18₁, 18₄ sind sowohl in der ersten als auch in der vierten Schalteinheit 20₁, 20₄ in Durchlassrichtung geschaltet, so dass dem Energiespeicherkondensator 24 elektrische Energie zugeführt und der Energiespeicherkondensator 24 geladen werden kann. Der obere Spannungsteilerkondensator 16₁ (mit dem Formelzeichen C_O) ist mit dem unteren Spannungsteiler-
- 20 kondensator 16₂ (mit dem Formelzeichen C_U) in Reihe geschaltet. Die Spannungsteilerkapazität C_{SP} der beiden in Reihe geschalteten Spannungsteilerkondensatoren C_O und C_U beträgt somit:

$$C_{SP} = \frac{1}{\frac{1}{C_O} + \frac{1}{C_U}}$$

- 25 Die beiden Spannungsteilerkondensatoren 16₁, 16₂ sind parallel zu dem Energiespeicherkondensator 24 geschaltet und vergrößern somit die Kapazität des Energiespeicherkondensators 24 (mit dem Formelzeichen C_E) um C_{SP}.

$$C_{tot} = C_{SP} + C_E$$

- 30 Entsprechend teilt sich der Strom auf. Der Hauptstrom fließt durch den Energiespeicherkondensator, aber auch die parallelen Spannungsteilerkondensatoren werden anteilig geladen.

Figur 4b zeigt einen weiteren Schaltzustand. Der Schaltzustand entspricht dem zweiten in Figur 3 gezeigten Schaltzustand II. In diesem zweiten Schaltzustand II sind der zweite steuerbare elektrische Schalter 14_2 und der dritte steuerbare elektrische Schalter 14_3 leitend geschaltet. Der Strom fließt somit direkt von der Anschlussstelle X1 zu der Anschlussstelle X2, wobei die Spannung an der Mehrfachzelle U_{ZE} im Wesentlichen dem Spannungsabfall über den beiden steuerbaren elektrischen Schaltern 14_2 und 14_3 im leitenden Zustand entspricht und gegen 0V geht.

Die steuerbaren elektrischen Schalter 14_1 und 14_4 sind sperrend geschaltet und die Dioden 18_1 , 18_4 liegen bei positiver Spannung U_{CE} in Sperrrichtung, so dass der Energiespeicherkondensator 24 und die Spannungsteilerkondensatoren 16_1 , 16_2 nicht entladen werden.

Figur 4c und 4d zeigen einen weiteren Schaltzustand. Der Schaltzustand entspricht dem dritten in Figur 3 gezeigten Schaltzustand III. Im dritten Schaltzustand III sind der zweite steuerbare elektrische Schalter 14_2 und der vierte steuerbare elektrische Schalter 14_4 leitend geschaltet. Der Strom fließt wie in Figur 4c dargestellt von der ersten Anschlussstelle X1 über den zweiten steuerbaren elektrischen Schalter 14_2 zu dem unteren Spannungsteilerkondensator 16_2 und über den vierten steuerbaren elektrischen Schalter 14_4 bzw. die Diode 18_4 der vierten Schalteinheit 20_4 zu der zweiten Anschlussstelle X2. Wie in Figur 4d dargestellt, sind parallel zu dem unteren Spannungsteilerkondensator 16_2 , der obere Spannungsteilerkondensator 16_1 und der Energiespeicherkondensator 24 in Reihe geschaltet. Dadurch kann der Energiespeicherkondensator 24 über zumindest einen der Spannungsteilerkondensatoren 16_1 mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar sein. Die Verbindung kann über mindestens eine der Schalteinheiten 20 erfolgen. Ferner kann zumindest einer der Spannungsteilerkondensatoren 16_2 unter Umgehung des Energiespeicherkondensators 24 mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar sein. Die Verbindung kann ebenfalls über mindestens eine der Schalteinheiten 20 erfolgen. Die in Figur 4c und Figur 4d dargestellten Stromverläufe finden zeitgleich statt. Der Zellstrom durch X1 teilt sich auf beide Pfade auf.

Figur 4e und 4f zeigen einen weiteren Schaltzustand. Der Schaltzustand entspricht dem vierten in Figur 3 gezeigten Schaltzustand IV. Im vierten Schaltzustand IV sind der erste steuerbare elektrische Schalter 14_1 und der dritte steuerbare elektrische Schalter 14_3 leitend geschaltet. Der Strom fließt wie in Figur 4e gezeigt von der ersten Anschlussstelle X1 über den ersten steuerbaren elektrischen Schalter 14_1 bzw. dessen Diode 18_1 zu dem

oberen Spannungsteilerkondensator 16_1 und über den dritten steuerbaren elektrischen Schalter 14_3 zu der Anschlussstelle X2. Wie in Figur 4f dargestellt, können parallel zu dem oberen Spannungsteilerkondensator 16_1 der Energiespeicherkondensator 24 und der untere Spannungsteilerkondensator 16_2 in Reihe geschaltet sein. Dadurch kann der Energiespeicherkondensator 24 über zumindest einen der Spannungsteilerkondensatoren 16_2 mit den Anschlussstellen verbindbar sein. Die Verbindung kann über mindestens eine der Schalteinheiten erfolgen. Ferner kann zumindest einer der Spannungsteilerkondensatoren 16_1 unter Umgehung des Energiespeicherkondensators 24 mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar sein. Die Verbindung kann ebenfalls über mindestens eine der Schalteinheiten erfolgen. Die in Figur 4e und Figur 4f dargestellten Stromverläufe finden zeitgleich statt. Der Zellstrom durch X1 teilt sich auf beide Pfade auf.

Figur 5 zeigt einen exemplarischen Spannungsverlauf bei unterschiedlichen Schalterstellungen, bei dem ein Strom gemäß konventioneller elektrischer Stromrichtung bei der zweiten Anschlussstelle X2 in die Mehrfachzelle hinein- und bei der ersten Anschlussstelle X1 hinausfließt.

Die Spannungsverläufe in Figur 5 zeigen von oben nach unten der Reihe nach den Spannungsverlauf an einem oberen Spannungsteilerkondensator U_{CO} , wobei dem oberen Spannungsteilerkondensator in den Figuren 6a - f das Bezugszeichen 16_1 zugeordnet ist; den Spannungsverlauf an einem unteren Spannungsteilerkondensator U_{CU} , wobei dem unteren Spannungsteilerkondensator in den Figuren 6a - f das Bezugszeichen 16_2 zugeordnet ist; den Spannungsverlauf an dem Energiespeicherkondensator U_{CE} , wobei dem oberen Energiespeicherkondensator in den Figuren 6a - f das Bezugszeichen 24 zugeordnet ist sowie den Spannungsverlauf an der Mehrfachzelle U_{ZE} , wobei die Spannung U_{ZE} in den Figuren 6a - f der Spannung zwischen den Anschlussstellen X1 und X2 zugeordnet ist. Im unteren Teil der Figur 5 sind die Schalterstellungen von vier steuerbaren elektrischen Schaltern S1 bis S4 aufgezeigt, wobei dem Schalter S1 in den Figuren 6a - f das Bezugszeichen 14_1 , dem Schalter S2 das Bezugszeichen 14_2 , dem Schalter S3 das Bezugszeichen 14_3 und dem Schalter S4 das Bezugszeichen 14_4 zugeordnet ist. Auf der X-Achse sind fünf Schaltzustände (I - V) der steuerbaren elektrischen Schalter aufgetragen. Die fünf abgebildeten Schaltzustände stellen eine bevorzugte Auswahl der durch vier Schalter möglichen $2^4 = 16$ Schaltzustände dar.

Die Figuren 6a - 6f zeigen Stromverläufe in der Mehrfachzelle 10 (Doppelzelle) bei einem negativem Zellstrom an der ersten Anschlussstelle X1 und einem entsprechend positivem Strom an der zweiten Anschlussstelle X2.

- 5 Figur 6a zeigt einen ersten Schaltzustand I, in dem die Teilzellen und der gemeinsame Energiespeicherkondensator 24 derart verschaltet sein können, dass der Energiespeicherkondensator 24 mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar ist. Dabei kann in dem ersten Schaltzustand I der Energiespeicherkondensator 24 direkt über die Halbleiter mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar sein. Die Verbindung kann über mindestens eine
 10 der Schalteinheiten 20₁ - 20₄ erfolgen. An dem oberen Spannungsteilerkondensator 16₁, liegt die Spannung U_{CO} an, während an dem unteren Spannungsteilerkondensator 16₂, die Spannung U_{CU} anliegt.

- Der erste steuerbare elektrische Schalter 14₁ und der vierte steuerbare elektrische Schalter 14₄ sind im ersten Schaltzustand I leitend, wodurch ein an den Schalteinheiten 14₁, 14₄ anliegender Strom durch die elektrischen Schalter 14₁, 14₄ fließen kann.
 15

- Der Strom fließt durch die erste und die vierte Schalteinheit 20₁ und 20₄, so dass dem Energiespeicherkondensator 24 elektrische Energie abgeführt und der Energiespeicherkondensator 24 entladen werden kann. Der obere Spannungsteilerkondensator 16₁ (mit dem Formelzeichen C_O) ist mit dem unteren Spannungsteilerkondensator 16₂ (mit dem Formelzeichen C_U) in Reihe geschaltet. Die Spannungsteilerkapazität C_{SP} der beiden in Reihe geschalteten Spannungsteilerkondensatoren C_O und C_U beträgt somit:
 20

$$C_{SP} = \frac{1}{\frac{1}{C_O} + \frac{1}{C_U}}$$

25

Die beiden Spannungsteilerkondensatoren 16₁, 16₂ sind parallel zu dem Energiespeicherkondensator 24 geschaltet und vergrößern somit die Kapazität des Energiespeicherkondensators 24 (mit dem Formelzeichen C_E) um C_{SP}.

$$C_{tot} = C_{SP} + C_E$$

30

Entsprechend teilt sich der Strom auf. Der Hauptstrom fließt durch den Energiespeicherkondensator, aber auch die parallelen Spannungsteilerkondensatoren werden anteilig entladen.

Figur 6b zeigt einen weiteren Schaltzustand. Der Schaltzustand entspricht dem zweiten in Figur 5 gezeigten Schaltzustand II. Im zweiten Schaltzustand II sind der zweite steuerbare elektrische Schalter 14_2 und der dritte steuerbare elektrische Schalter 14_3 leitend geschaltet. Der Strom fließt somit direkt von der zweiten Anschlussstelle X2 zu der ersten Anschlussstelle X1, wobei die Spannung an der Mehrfachzelle U_{ZE} im Wesentlichen dem Spannungsabfall über den beiden steuerbaren elektrischen Schalter 14_2 und 14_3 im leitenden Zustand entspricht bzw. dem Spannungsabfall über den beiden antiparallel geschalteten Dioden 18_2 , 18_3 in der zweiten und dritten Schalteinheit 20_2 , 20_3 , welche in Durchlassrichtung geschaltet sind. Der Spannungsabfall geht entsprechend gegen 0V. Ein Stromfluss durch die Dioden liegt insbesondere im fünften der in Figur 5 gezeigten Schaltzustände V vor, wenn die beiden steuerbaren elektrischen Schalter 14_2 und 14_3 sperrend sind und somit kein Stromfluss durch die steuerbaren elektrischen Schalter 14_2 und 14_3 möglich ist.

15

Die steuerbaren elektrischen Schalter 14_1 und 14_4 sind sperrend geschaltet und die Dioden 18_1 und 18_4 liegen bei positiver Spannung U_{CE} in Sperrrichtung, so dass der Energiespeicherkondensator 24 und die Spannungsteilerkondensatoren 16_1 , 16_2 nicht ge- oder entladen werden.

20

Figur 6c und 6d zeigen einen weiteren Schaltzustand. Der Schaltzustand entspricht dem dritten in Figur 5 gezeigten Schaltzustand III. Im dritten Schaltzustand III sind der zweite steuerbare elektrische Schalter 14_2 und der vierte steuerbare elektrische Schalter 14_4 leitend geschaltet. Der Strom fließt wie in Figur 6c dargestellt von der zweiten Anschlussstelle X2 über den vierten steuerbaren elektrischen Schalter 14_4 zu dem unteren Spannungsteilerkondensator 16_2 und über den zweiten steuerbaren elektrischen Schalter 14_2 bzw. die Diode 18_2 der zweiten Schalteinheit 20_2 zu der ersten Anschlussstelle X1. Wie in Figur 6d dargestellt, sind parallel zu dem unteren Spannungsteilerkondensator 16_2 , der obere Spannungsteilerkondensator 16_1 und der Energiespeicherkondensator 24 in Reihe geschaltet. Dadurch kann der Energiespeicherkondensator 24 über zumindest einen der Spannungsteilerkondensatoren 16_1 mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar sein. Die Verbindung kann über mindestens eine der Schalteinheiten 20 erfolgen. Ferner kann zumindest einer der Spannungsteilerkondensatoren 16_2 unter Umgehung des Energiespeicherkondensators 24 mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar sein. Die Verbindung kann ebenfalls über mindestens eine der Schalteinheiten 20 erfolgen. Die in Figur 6c und

35

Figur 6d dargestellten Stromverläufe finden zeitgleich statt. Der Zellstrom durch X1 teilt sich auf beide Pfade auf.

Figuren 6e und 6f zeigen einen weiteren Schaltzustand. Der Schaltzustand entspricht dem vierten in Figur 5 gezeigten Schaltzustand IV. Im vierten Schaltzustand IV sind der erste steuerbare elektrische Schalter 14_1 und der dritte steuerbare elektrische Schalter 14_3 leitend geschaltet. Der Strom fließt wie in der Figur 6e gezeigt von der zweiten Anschlussstelle X2 über den dritten steuerbaren elektrischen Schalter 14_3 bzw. dessen Diode 18_3 zu dem oberen Spannungsteilerkondensator 16_1 und über den ersten steuerbaren elektrischen Schalter 14_1 zu der ersten Anschlussstelle X1. Wie in der Figur 6f dargestellt, können parallel zu dem oberen Spannungsteilerkondensator 16_1 der Energiespeicherkondensator 24 und der untere Spannungsteilerkondensator 16_2 in Reihe geschaltet sein. Dadurch kann der Energiespeicherkondensator 24 über zumindest einen der Spannungsteilerkondensatoren 16_2 mit den Anschlussstellen verbindbar sein. Die Verbindung kann über mindestens eine der Schalteinheiten 20 erfolgen. Ferner kann zumindest einer der Spannungsteilerkondensatoren 16_1 unter Umgehung des Energiespeicherkondensators 24 mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar sein. Die Verbindung kann ebenfalls über mindestens eine der Schalteinheiten 20 erfolgen. Die in Figur 6e und Figur 6f dargestellten Stromverläufe finden zeitgleich statt. Der Zellstrom durch X1 teilt sich auf beide Pfade auf.

Figur 7 zeigt eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Mehrfachzelle 40 für einen zellbasierten Multilevel-Umrichter. Das Ausführungsbeispiel kann als 3-Level NPC Doppelzelle, (3-Level Neutral Point Clamped, 3 Stufen mit festem neutral Punkt) bezeichnet werden. Die Mehrfachzelle 40 kann zwei Teilzellen 42 umfassen, wobei jede der Teilzellen 42 vier steuerbare elektrische Schalter $14_1 - 14_8$ und zwei Spannungsteilerkondensatoren $16_1 - 16_4$ umfassen kann. Der gemeinsame Energiespeicherkondensator 24 ist den zwei Teilzellen 42 zugeordnet. Ferner sind mindestens zwei Anschlussstellen X1, X2 ausgebildet, um elektrische Energie der Mehrfachzelle 40 zuzuführen und elektrische Energie aus der Mehrfachzelle 40 abzuführen. Die Teilzellen 42 und der gemeinsame Energiespeicherkondensator 24 können derart verschaltet sein, dass in einem ersten Schaltzustand der Energiespeicherkondensator 24 mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar ist. In dem ersten Schaltzustand kann der Energiespeicherkondensator 24 unter Umgehung der Spannungsteilerkondensatoren $16_1 - 16_4$ mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar sein. In einem weiteren Schaltzustand kann der Energiespeicherkondensator 24 über zumindest einen der Spannungsteilerkondensatoren

16₁ - 16₄ mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar sein. Ferner kann in einem weiteren Schaltzustand zumindest einer der Spannungsteilerkondensatoren 16₁ - 16₄ unter Umgehung des Energiespeicherkondensator 24 mit den Anschlussstellen X1, X2 verbindbar sein.

5

Das in Figur 7 gezeigte Ausführungsbeispiel kann auch als Vierfachzelle bezeichnet werden. Dabei kann eine Teilzelle vier steuerbare elektrische Schalter 14₁ - 14₈ umfassen. Die zwei in Reihe geschalteten Teilzellen sind somit als Vierfachzelle ausgebildet.

- 10 Die Mehrzahl von Schalteinheiten 20₁ - 20₈, welche die Mehrfachzelle 40 für einen zellbasierten modularen Multilevel-Umrichter umfasst, können elektrisch in Reihe geschaltet sein, wobei die Schalteinheiten 20₁ - 20₈ einen steuerbaren elektrischen Schalter 14 und eine antiparallel zu dem steuerbaren elektrischen Schalter 14 geschaltete Diode 18 bzw. ein Halbleiterelement umfassen. Die erste Anschlussstelle X1 kann zwischen einem ersten Viertel und einem zweiten Viertel der in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20₁ - 20₈ angeschlossen werden und die zweite Anschlussstelle X2 kann zwischen einem dritten Viertel und einem vierten Viertel der in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20₁ - 20₈ angeschlossen werden.
- 20 Ferner sind vier Spannungsteilerkondensatoren 16₁ - 16₄ vorhanden, wobei zwei Spannungsteilerkondensatoren 16₁, 16₂ parallel zu den im ersten und zweiten Viertel in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20₁ - 20₄ angeordnet sind und zwei Spannungsteilerkondensatoren 16₃, 16₄ parallel zu den im dritten und vierten Viertel in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20₅ - 20₈ angeordnet sind. Der mindestens eine gemeinsame Energiespeicherkondensator 24 ist parallel zu den in den vier Vierteln elektrisch in Reihe geschalteten Schalteinheiten 20₁ - 20₈ angeordnet.

- 30 Eine erste Klemmdiode 44₁ und eine zweite Klemmdiode 44₂ sind in Reihe zueinander und parallel zu der zweiten Schalteinheit 20₂ in dem ersten Viertel und der ersten Schalteinheit 20₃ in dem zweiten Viertel geschaltet. Ferner sind eine dritte Klemmdiode 44₃ und eine vierte Klemmdiode 44₄ in Reihe zueinander und parallel zu der zweiten Schalteinheit 20₆ in dem dritten Viertel und der ersten Schalteinheit 20₇ in dem vierten Viertel geschaltet. Die Klemmdioden 44₁ - 44₄ können auch als NPC-Dioden bezeichnet werden.

- 35 Ein erster Spannungsteilerkondensator 16₁ ist parallel zu der ersten Schalteinheit 20₁ in dem ersten Viertel und der ersten Klemmdiode 44₁ angeordnet. Ein zweiter Spannungs-

teilerkondensatoren 16_2 ist parallel zu der zweiten Klemmdiode 44_2 und der zweiten Schalteinheit 20_4 in dem zweiten Viertel angeordnet.

Ein dritter Spannungsteilerkondensator 16_3 ist parallel zu der ersten Schalteinheit 20_5 in dem dritten Viertel und der dritten Klemmdiode 44_3 und ein vierter Spannungsteilerkondensator 16_4 ist parallel zu der vierten Klemmdiode 44_4 und der zweiten Schalteinheit 20_8 in dem vierten Viertel angeordnet.

Figur 8 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Mehrfachzelle 10 (Doppelzelle) mit niederinduktiv angeschlossenem Zusatzkondensator 46. Dabei ist elektrisch parallel zu dem Energiespeicherkondensator 24 der Zusatzkondensator 46 niederinduktiv an die Mehrzahl von Teilzellen 12 angeschlossen. Der Zusatzkondensator 46 kann beispielsweise durch kurze Anschlussverbindungen zu der Mehrzahl von Teilzellen 12 niederinduktiv an diese angeschlossen werden. Ferner kann durch Parallelschaltung mehrerer Verbindungen auf der Leiterplatte die Induktivität reduziert werden. Zusätzlich kann durch wechselnde Polarität der Anschlüsse die Induktivität weiter reduziert werden. Durch den niederinduktiv angeschlossenen Zusatzkondensator 46 können Stromspitzen insbesondere beim Ein- und Ausschalten der steuerbaren elektrischen Schalter 14 in den Zusatzkondensator 46 abgeleitet und gespeichert werden, wodurch die Performance der Mehrfachzelle 10 erhöht werden kann. Zudem können mögliche Oszillationen zwischen den einzelnen Kondensatoren und den parasitären Induktivitäten reduziert werden.

Figur 9 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Mehrfachzelle 10 (Doppelzelle) mit gesplitteten Spannungsteilerkondensatoren 16_A , 16_B , 16_C , 16_D . Dabei sind jeweils mindestens zwei Spannungsteilerkondensatoren 16_A , 16_C ; 16_B , 16_D elektrisch parallel zueinander geschaltet. Der eine der beiden parallel geschalteten Spannungsteilerkondensatoren 16_A , 16_B kann eine kleinere Kapazität aufweisen und ist niederinduktiv an die steuerbaren elektrischen Schalter 14 angeschlossen. Der andere der beiden parallel geschalteten Spannungsteilerkondensatoren 16_C , 16_D kann eine größere Kapazität aufweisen und ist niederinduktiv an den Energiespeicherkondensatoren 24 angeschlossen. Das niederinduktive Anschließen der Spannungsteilerkondensatoren 16_A , 16_B , 16_C , 16_D kann mit vorhergehend erwähnten Mitteln erfolgen. Durch die niederinduktiv an die steuerbaren elektrischen Schalter 14 angeschlossen Spannungsteilerkondensatoren 16_A , 16_B können wiederum Abschaltüberspannungen, die beim Schalten der Halbleiter $14_1 - 14_4$ entstehen können, reduziert werden. Zudem können die Schaltverluste reduziert werden. Die Spannungsteilerkondensatoren 16_A , 16_B können, um Kosten zu optimieren, beispielsweise eine

kleine Kapazität zwischen 100nF und 1µF aufweisen. Die Spannungsteilerkondensatoren 16_C, 16_D können eine größere Kapazität beispielsweise zwischen 10µF und 100µF aufweisen. Durch niederinduktives Anschließen der Spannungsteilerkondensatoren 16_C, 16_D an den Energiespeicherkondensator 24 können mögliche Oszillationen zwischen den einzelnen Kapazitäten und den parasitären Induktivitäten minimiert werden. Dadurch lässt sich die Performance der Mehrfachzelle 10 erhöhen.

In weiteren Ausführungsbeispielen können parallel zu den Spannungsteilerkondensatoren 16 Varistoren oder ohmsche Widerstände oder andere Komponenten zur passiven Spannungssymmetrierung angeschlossen werden.

In Ausführungsbeispielen können anstelle eines einzelnen Spannungsteilerkondensators eine Kondensatorbatterie aus mehreren Spannungsteilerkondensatoren mit der resultierenden Kapazität des Spannungsteilerkondensators elektrisch zusammen geschaltet sein. Dadurch kann beispielsweise durch unterschiedliche Anschlussleitungen der Spannungsteilerkondensatoren die Performance der Mehrfachzelle erhöht bzw. die Gesamtkapazität der Spannungsteilerkondensatoren vergrößert werden. Auch kann in Ausführungsbeispielen anstelle eines einzelnen Energiespeicherkondensators eine Kondensatorbatterie aus mehreren Energiespeicherkondensatoren mit der resultierenden Kapazität des Energiespeicherkondensators elektrisch zusammen geschaltet sein. Dadurch kann beispielsweise durch unterschiedliche Anschlussleitungen der Energiespeicherkondensatoren die Performance der Mehrfachzelle erhöht bzw. die Gesamtkapazität des Energiespeicherkondensators vergrößert werden.

Figur 10 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines zellbasierten Multilevel-Umrichters 50. Der Multilevel-Umrichter 50 umfasst drei Phasenmodule 52 für ein dreiphasiges System. Die Phasen sind mit L1, L2 und L3 beschriftet. Jedes der Phasenmodule 52 weist zwei Stromrichterventile 54 auf. Jedes der Stromrichterventile 54 weist drei Mehrfachzellen 56 auf. Die Mehrfachzellen 56 sind an ihren Anschlussstellen X1, X2 in Reihe geschaltet. In Ausführungsbeispielen können n Mehrfachzellen 56, wobei n eine natürliche Zahl größer gleich eins ist, $n \geq 1$, in Reihe geschaltet sein. Je mehr Mehrfachzellen 56 in Reihe geschaltet sind, desto feiner kann eine Abstufung bzw. Auflösung der Wechselspannung erfolgen. Zusätzlich kann durch die Anzahl der Spannungsstufen, die jede der Mehrfachzellen 56 ausgeben kann, die Auflösung der Wechselspannung beeinflusst werden.

Eine Steuerung kann ausgebildet sein, steuerbare elektrische Schalter der Mehrfachzellen 56 zu schalten. Die steuerbaren elektrischen Schalter können logisch in Gruppen von steuerbaren elektrischen Schaltern zusammengefasst sein, wobei die steuerbaren Schalter einer Gruppe jeweils gemeinsam geschaltet werden. Die Steuerung kann ausgebildet
5 sein, um eine erste Gruppe von steuerbaren elektrischen Schaltern und eine zweite Gruppe von steuerbaren elektrischen Schaltern synchron zu schalten.

Die Steuerung kann ferner ausgebildet sein, einen Spannungswert an den Spannungsteilerkondensatoren zu erfassen und abhängig vom erfassten Spannungswert die steuerbaren elektrischen Schalter zu schalten. Die Steuerung kann in Ausführungsbeispielen
10 ausgebildet sein, eine aktive Symmetrierung der Kondensatorspannungen durch Beeinflussung der Stellung der steuerbaren elektrischen Schalter zu erzielen. Dabei können zwei Spannungen pro Doppelzelle gemessen werden. Die Steuerung der aktiven Symmetrierung kann über die zentrale Umrichtersteuerung oder eine lokale und autarke Funktionalität der Mehrfachzelle sowie auch über eine Mischung aus beiden Funktionalitäten
15 geschehen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung finden in allen Spannungsbereichen (Nieder- bis Höchstspannung) Anwendung. Dabei können Ausführungsbeispiele in Wechselrichter,
20 Gleichrichter oder Direktumrichter bzw. in allen Bereichen, in denen Wechselrichter-Topologien eingesetzt werden, betrieben werden.

In Ausführungsbeispielen wird pro Mehrfachzelle (Doppelzelle) nur ein Energiespeicherkondensator verwendet. Dadurch kann die Kondensatorspannung verdoppelt und die Kapazität auf die Hälfte der ursprünglichen Kapazität gesenkt werden. Die Erhöhung der
25 Maximalspannung des Energiespeicherkondensators lässt bei Niederspannungsanwendungen den wirtschaftlichen Einsatz besser geeigneter Kondensatortechnologien zu. Eine Paarung von guten Niederspannungshalbleitern mit hochbelastbaren Folienkondensatoren wird effizient möglich.

30

In Ausführungsbeispielen kann durch gezieltes Platzieren der Spannungsteilerkondensatoren in der Nähe der steuerbaren elektrischen Schalter (Halbleiterschalter) die Abschaltüberspannung reduziert werden. Ferner kann die Größe dieser (Spannungsteiler-) Kondensatoren durch Steigerung der Schaltfrequenz weiter reduziert werden.

35

Durch Ausführungsbeispiele bietet sich die Möglichkeit, die modulare Multilevel-Topologie in Niederspannungsanwendungen kosten- und volumeneffizient einzusetzen. Für Anwendungen mit höheren Spannungen bietet sich die Möglichkeit spezielle Hochspannungskondensatoren (z.B. mit Glasfolie als Dielektrikum, >10kV Nennspannung) mit den bestehenden Halbleiterspannungsklassen zu kombinieren.

Obwohl manche Aspekte im Zusammenhang mit einer Vorrichtung beschrieben wurden, versteht es sich, dass diese Aspekte auch eine Beschreibung des entsprechenden Verfahrens darstellen, so dass ein Block oder ein Bauelement einer Vorrichtung auch als ein entsprechender Verfahrensschritt oder als ein Merkmal eines Verfahrensschrittes zu verstehen ist. Analog dazu stellen Aspekte, die im Zusammenhang mit einem oder als ein Verfahrensschritt beschrieben wurden, auch eine Beschreibung eines entsprechenden Blocks oder Details oder Merkmals einer entsprechenden Vorrichtung dar. Einige oder alle der Verfahrensschritte können durch einen Hardware-Apparat (oder unter Verwendung eines Hardware-Apparats), wie zum Beispiel einem Mikroprozessor, einem programmierbaren Computer oder einer elektronischen Schaltung durchgeführt werden. Bei einigen Ausführungsbeispielen können einige oder mehrere der wichtigsten Verfahrensschritte durch einen solchen Apparat ausgeführt werden.

Je nach bestimmten Implementierungsanforderungen können Ausführungsbeispiele der Erfindung in Hardware oder in Software implementiert sein. Die Implementierung kann unter Verwendung eines digitalen Speichermediums, beispielsweise einer Floppy-Disk, einer DVD, einer Blu-Ray Disc, einer CD, eines ROM, eines PROM, eines EPROM, eines EEPROM oder eines FLASH-Speichers, einer Festplatte oder eines anderen magnetischen oder optischen Speichers durchgeführt werden, auf dem elektronisch lesbare Steuersignale gespeichert sind, die mit einem programmierbaren Computersystem derart zusammenwirken können oder zusammenwirken, dass das jeweilige Verfahren durchgeführt wird. Deshalb kann das digitale Speichermedium computerlesbar sein.

Manche Ausführungsbeispiele gemäß der Erfindung umfassen also einen Datenträger, der elektronisch lesbare Steuersignale aufweist, die in der Lage sind, mit einem programmierbaren Computersystem derart zusammenzuwirken, dass eines der hierin beschriebenen Verfahren durchgeführt wird.

Allgemein können Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung als Computerprogrammprodukt mit einem Programmcode implementiert sein, wobei der Programmcode

dahin gehend wirksam ist, eines der Verfahren durchzuführen, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Computer abläuft.

5 Der Programmcode kann beispielsweise auch auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert sein.

Andere Ausführungsbeispiele umfassen das Computerprogramm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren, wobei das Computerprogramm auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert ist. Mit anderen Worten ist ein Ausführungsbeispiel des
10 erfindungsgemäßen Verfahrens somit ein Computerprogramm, das einen Programmcode zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren aufweist, wenn das Computerprogramm auf einem Computer abläuft.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens ist somit ein Datenträger (oder ein digitales Speichermedium oder ein computerlesbares Medium), auf dem
15 das Computerprogramm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren aufgezeichnet ist.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Verfahren ist somit ein Datenstrom oder eine Sequenz von Signalen, der bzw. die das Computerprogramm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren darstellt bzw. darstellen. Der Datenstrom oder die Sequenz von Signalen kann bzw. können beispielsweise dahin gehend konfiguriert sein, über eine Datenkommunikationsverbindung, beispielsweise über das Internet, transferiert zu werden.

25 Ein weiteres Ausführungsbeispiel umfasst eine Verarbeitungseinrichtung, beispielsweise einen Computer oder ein programmierbares Logikbauelement, der/das dahin gehend konfiguriert oder angepasst ist, eines der hierin beschriebenen Verfahren durchzuführen.

30 Ein weiteres Ausführungsbeispiel umfasst einen Computer, auf dem das Computerprogramm zum Durchführen eines der hierin beschriebenen Verfahren installiert ist.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung umfasst eine Vorrichtung oder ein System, die bzw. das ausgelegt ist, um ein Computerprogramm zur Durchführung zumindest eines der hierin beschriebenen Verfahren zu einem Empfänger zu übertragen. Die
35 Übertragung kann beispielsweise elektronisch oder optisch erfolgen. Der Empfänger kann

beispielsweise ein Computer, ein Mobilgerät, ein Speichergerät oder eine ähnliche Vorrichtung sein. Die Vorrichtung oder das System kann beispielsweise einen Datei-Server zur Übertragung des Computerprogramms zu dem Empfänger umfassen.

- 5 Bei manchen Ausführungsbeispielen kann ein programmierbares Logikbauelement (beispielsweise ein feldprogrammierbares Gatterarray, ein FPGA) dazu verwendet werden, manche oder alle Funktionalitäten der hierin beschriebenen Verfahren durchzuführen. Bei manchen Ausführungsbeispielen kann ein feldprogrammierbares Gatterarray mit einem Mikroprozessor zusammenwirken, um eines der hierin beschriebenen Verfahren durchzu-
- 10 führen. Allgemein werden die Verfahren bei einigen Ausführungsbeispielen seitens einer beliebigen Hardwarevorrichtung durchgeführt. Diese kann eine universell einsetzbare Hardware wie ein Computerprozessor (CPU) sein oder eine für das Verfahren spezifische Hardware, wie beispielsweise ein ASIC.
- 15 Die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele stellen lediglich eine Veranschaulichung der Prinzipien der vorliegenden Erfindung dar. Es versteht sich, dass Modifikationen und Variationen der hierin beschriebenen Anordnungen und Einzelheiten anderen Fachleuten einleuchten werden. Deshalb ist beabsichtigt, dass die Erfindung lediglich durch den Schutzzumfang der nachstehenden Patentansprüche und nicht durch die spezifischen Ein-
- 20 zelheiten, die anhand der Beschreibung und der Erläuterung der Ausführungsbeispiele herein präsentiert wurden, beschränkt sei.

Bezugszeichenliste

	10; 40; 56	Mehrfachzelle
	12; 42	Teilzellen
5	14; 14 ₁ - 14 ₄	steuerbare elektrische Schalter
	16; 16 ₁ - 16 ₄ ; 16 _A - 16 _D	Spannungsteilerkondensator
	18; 18 ₁ - 18 ₄	Diode
	20; 20 ₁ - 20 ₈	Schalteinheit
	24	Energiespeicherkondensator
10	44 ₁ - 44 ₄	Klemmdiode
	46	Zusatzkondensator
	50	modularer Multilevel-Umrichter
	52	Phasenmodul
	54	Stromrichterventil
15	56	Mehrfachzellen
	X1, X2	Anschlussstelle
	U _{CO}	Spannung am oberen Spannungsteilerkondensator
20	U _{CU}	Spannung am unteren Spannungsteilerkondensator
	U _{CE}	Spannung am Energiespeicherkondensator
	U _{ZE}	Spannung an der Mehrfachzelle

Patentansprüche

1. Mehrfachzelle (10; 40; 56) für einen zellbasierten Multilevel-Umrichter (50) umfassend:
- 5 eine Mehrzahl von Teilzellen (12; 42), wobei jede der Teilzellen (12; 42) zumindest zwei steuerbare elektrische Schalter (14; 14₁ - 14₄) und zumindest einen Spannungsteilerkondensator (16; 16₁ - 16₄; 16_A - 16_D) umfasst,
- 10 mindestens ein gemeinsamer Energiespeicherkondensator (24) der mindestens zwei Teilzellen (12; 42) zugeordnet ist,
- mindestens zwei Anschlussstellen (X1, X2) welche ausgebildet sind, elektrische Energie der Mehrfachzelle (10; 40; 56) zuzuführen und elektrische Energie aus der
- 15 Mehrfachzelle (10; 40; 56) abzuführen, wobei
- die Teilzellen (12; 42) und der gemeinsame Energiespeicherkondensator (24) derart verschaltet sind, dass
- 20 in einem ersten Schaltzustand der Energiespeicherkondensator (24) mit den Anschlussstellen (X1, X2) verbindbar ist, und
- in einem weiteren Schaltzustand der Energiespeicherkondensator (24) über zumindest einen der Spannungsteilerkondensatoren (16; 16₁ - 16₄; 16_A - 16_D) mit den
- 25 Anschlussstellen (X1, X2) verbindbar ist.
2. Mehrfachzelle (10; 40; 56) nach Anspruch 1, wobei die Spannungsteilerkondensatoren (16; 16₁ - 16₄; 16_A - 16_D) jeweils eine geringere Kapazität aufweisen als der Energiespeicherkondensator (24).
- 30 3. Mehrfachzelle (10; 40; 56) nach Anspruch 1 oder 2, wobei in dem ersten Schaltzustand der Energiespeicherkondensator (24) unter Umgehung der Spannungsteilerkondensatoren (16; 16₁ - 16₄; 16_A - 16_D) direkt über mindestens eine Schalteinheit (20; 20₁ - 20₈) mit den Anschlussstellen (X1, X2) verbindbar ist.

4. Mehrfachzelle (10; 40; 56) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei in dem weiteren Schaltzustand zumindest einer der Spannungsteilerkondensatoren (16; 16₁ - 16₄; 16_A - 16_D) unter Umgehung des Energiespeicher-kondensator (24) über mindestens eine Schalteinheit (20; 20₁ - 20₈) direkt mit den Anschlussstellen (X1, X2) verbindbar ist.
5. Mehrfachzelle (10; 40; 56) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei zwei Teilzellen (12) zu einer Doppelzelle oder vier Teilzellen (42) zu einer Vierfachzelle ausgebildet sind.
6. Mehrfachzelle (10; 40; 56) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Energiespeicher-kondensator (24) als unipolarer Energiespeicher-kondensator (24) ausgebildet ist.
7. Mehrfachzelle (10; 40; 56) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Energiespeicher-kondensator (24) als Folienkondensator ausgebildet ist.
8. Mehrfachzelle (10; 40; 56) nach Anspruch 7, wobei das Dielektrikum der Energiespeicher-kondensatoren (24) als Glasfolie ausgebildet ist.
9. Mehrfachzelle (10; 40; 56) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei elektrisch parallel zu dem Energiespeicher-kondensator (24) ein Zusatzkondensator (46) niederinduktiv an die Mehrzahl von Teilzellen (12; 42) angeschlossen ist.
10. Mehrfachzelle (10; 40; 56) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei jeweils mindestens zwei Spannungsteilerkondensatoren (16_A - 16_D) elektrisch parallel zueinander geschaltet sind, wobei einer der parallelgeschalteten Spannungsteiler-kondensatoren (16_A - 16_B) niederinduktiv an die steuerbaren elektrischen Schalter (14; 14₁ - 14₄) angeschlossen ist und ein weiterer der parallelgeschalteten Spannungsteiler-kondensatoren (16_C - 16_D) niederinduktiv an den Energiespeicher-kondensatoren (24) angeschlossen ist.
11. Mehrfachzelle (10; 40; 56) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei elektrisch parallel zu den Spannungsteilerkondensatoren (16; 16₁ - 16₄; 16_A - 16_D) jeweils mindestens ein Varistor angeschlossen ist.

12. Mehrfachzelle (10; 40; 56) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei elektrisch parallel zu den Spannungsteilerkondensatoren (16; 16₁ - 16₄; 16_A - 16_D) jeweils mindestens ein ohmscher Widerstand angeschlossen ist.
- 5 13. Zellbasierter Multilevel-Umrichter (50) umfassend:
- 10 mindestens ein Phasenmodul (52), welches ein oberes und ein unteres Stromrichterventil (54) aufweist, wobei jedes Stromrichterventil (54) mindestens eine Mehrfachzelle (10; 40; 56) nach einem der vorhergehenden Ansprüche aufweist und
- eine Steuerung, welche ausgebildet ist, die steuerbaren elektrischen Schalter (14; 14₁ - 14₄) der Mehrfachzelle (10; 40; 56) zu schalten.
- 15 14. Zellbasierter Multilevel-Umrichter (50) nach Anspruch 13, wobei die Steuerung ausgebildet ist, eine erste Gruppe von steuerbaren elektrischen Schalter (14; 14₁ - 14₄) und eine zweite Gruppe von steuerbaren elektrischen Schalter (14; 14₁ - 14₄) synchron zu schalten.
- 20 15. Zellbasierter Multilevel-Umrichter (50) nach Anspruch 13 oder 14, wobei die Steuerung ausgebildet ist, einen Spannungswert an den Spannungsteilerkondensatoren (16; 16₁ - 16₄; 16_A - 16_D) zu erfassen und abhängig vom erfassten Spannungswert die steuerbaren elektrischen Schalter (14; 14₁ - 14₄) zu schalten.
- 25 16. Zellbasierter Multilevel-Umrichter (50) nach Anspruch 15, wobei die Steuerung ausgebildet ist, die steuerbaren elektrischen Schalter (14; 14₁ - 14₄) durch eine aktive Symmetrierung zu beschalten.
17. Zellbasierter Multilevel-Umrichter (50) nach Anspruch 16, wobei die Steuerung als
- 30 zentrale Umrichtersteuerung ausgebildet ist.
18. Zellbasierter Multilevel-Umrichter (50) nach Anspruch 16, wobei die Steuerung autark für jeweils mindestens eine der Mehrfachzellen (10; 40; 56) ausgebildet ist.

19. Zellbasierter Multilevel-Umrichter (50) nach Anspruch 16, wobei die Steuerung teilweise als zentrale Umrichtersteuerung und teilweise autark für jeweils mindestens eine der Mehrfachzellen (10; 40; 56) ausgebildet ist.

5 20. Verfahren zur Stromrichtung mit einer Mehrfachzelle (10; 40; 56) für einen zellbasierten Multilevel-Umrichter (50), wobei das Verfahren umfasst:

10 Steuern von zumindest zwei steuerbaren elektrischen Schaltern (14; 14₁ - 14₄) einer Teilzelle (12; 42), wobei eine Mehrfachzelle (10; 40; 56) eine Mehrzahl von Teilzellen (12; 42) und zumindest einen Spannungsteilerkondensator (16; 16₁ - 16₄; 16_A - 16_D) umfasst, und wobei mindestens ein gemeinsamer Energiespeicherkondensator (24) mindestens zwei Teilzellen (12; 42) zugeordnet ist,

15 Zuführen von elektrischer Energie an die Mehrfachzelle (10; 40; 56) und Abführen von elektrischer Energie von der Mehrfachzelle (10; 40; 56) über mindestens zwei Anschlussstellen (X1, X2), durch

20 Verbinden des Energiespeicherkondensator (24) mit den Anschlussstellen (X1, X2) in einem ersten Schaltzustand, und

Verbinden des Energiespeicherkondensator (24) mit den Anschlussstellen (X1, X2) über zumindest einen der Spannungsteilerkondensatoren (16; 16₁ - 16₄; 16_A - 16_D) in einem weiteren Schaltzustand.

25 21. Computerprogramm mit einem Programmcode zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 19, wenn das Computerprogramm auf einem Computer oder Prozessor abläuft.

2/12

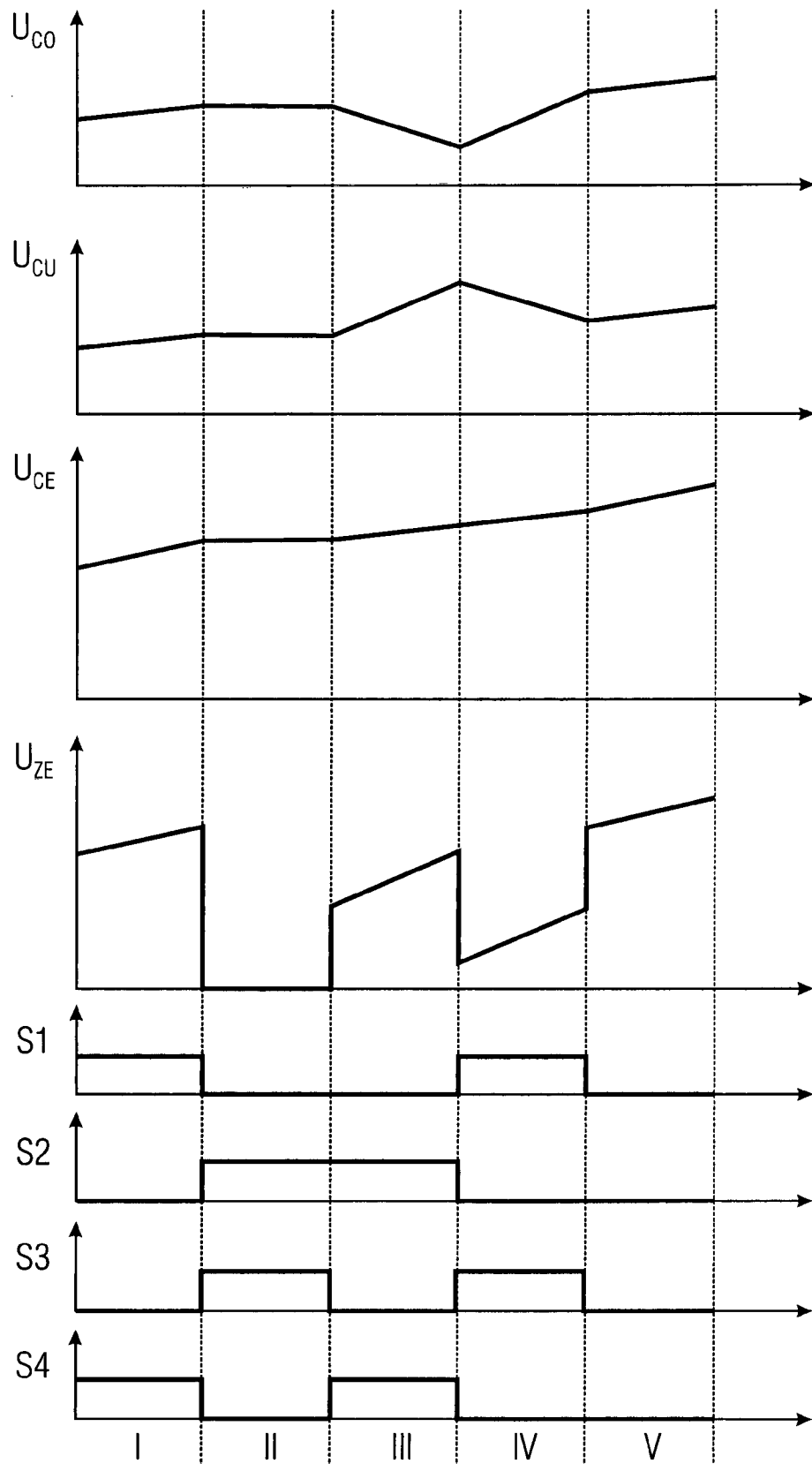


FIG 3

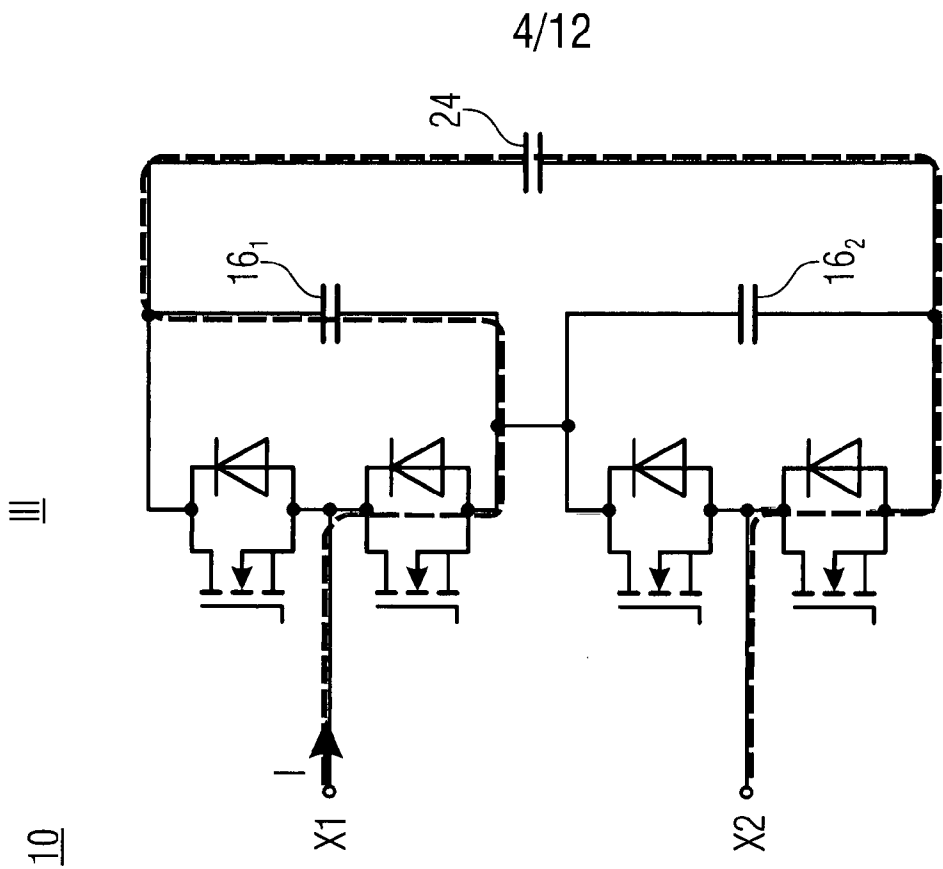


FIG 4D

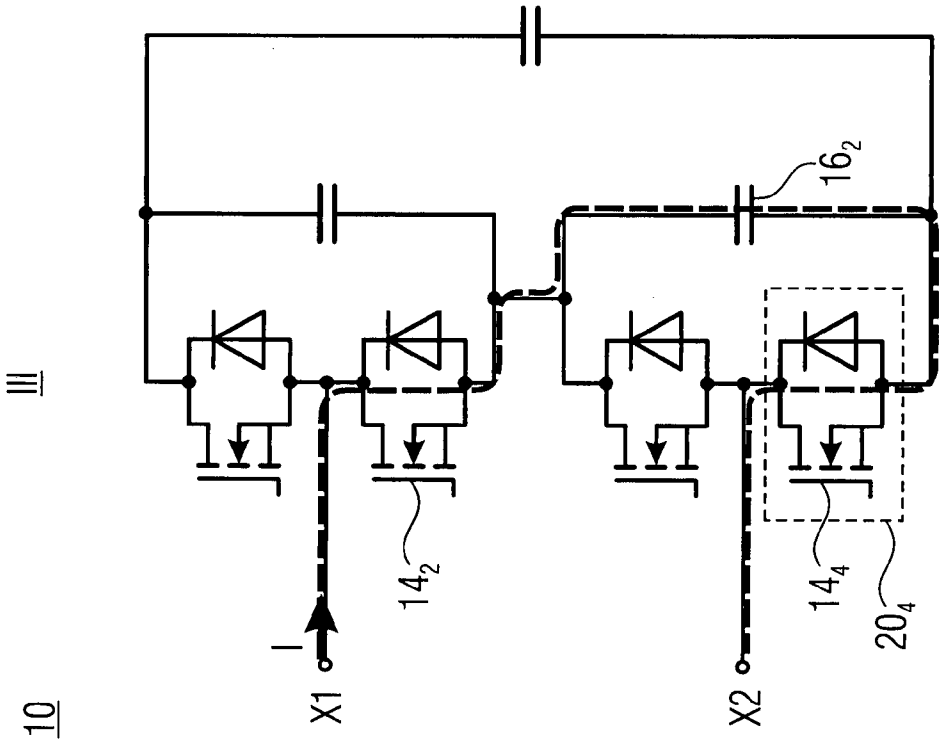


FIG 4C

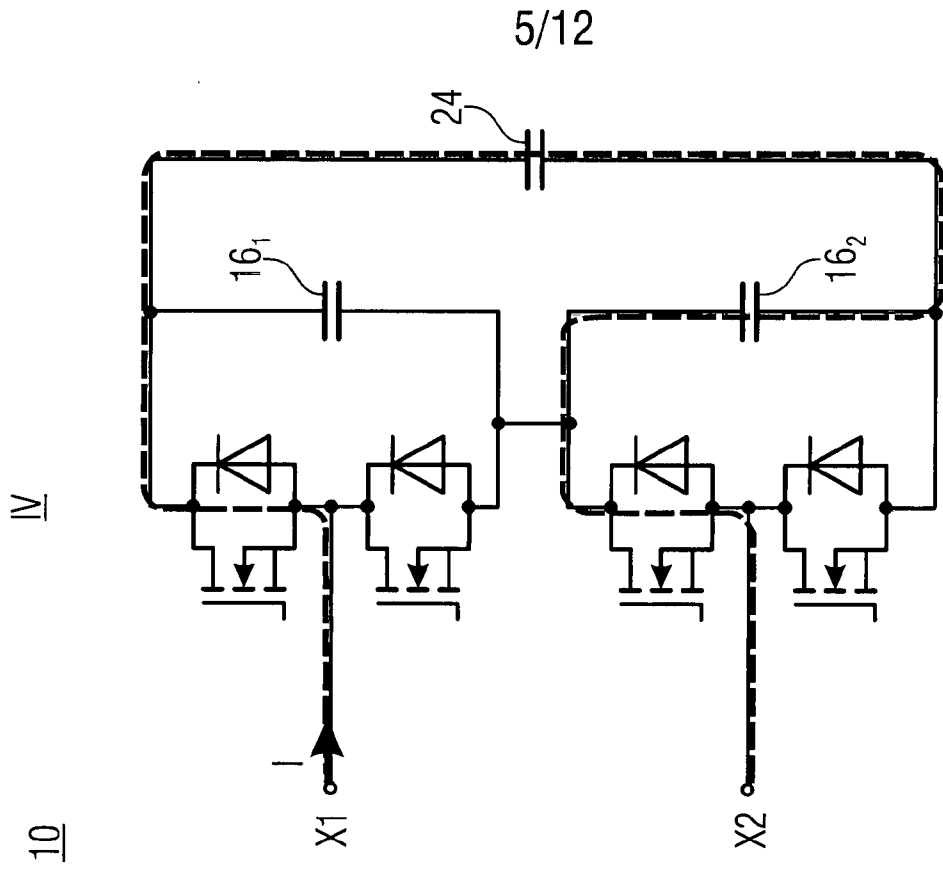


FIG 4F

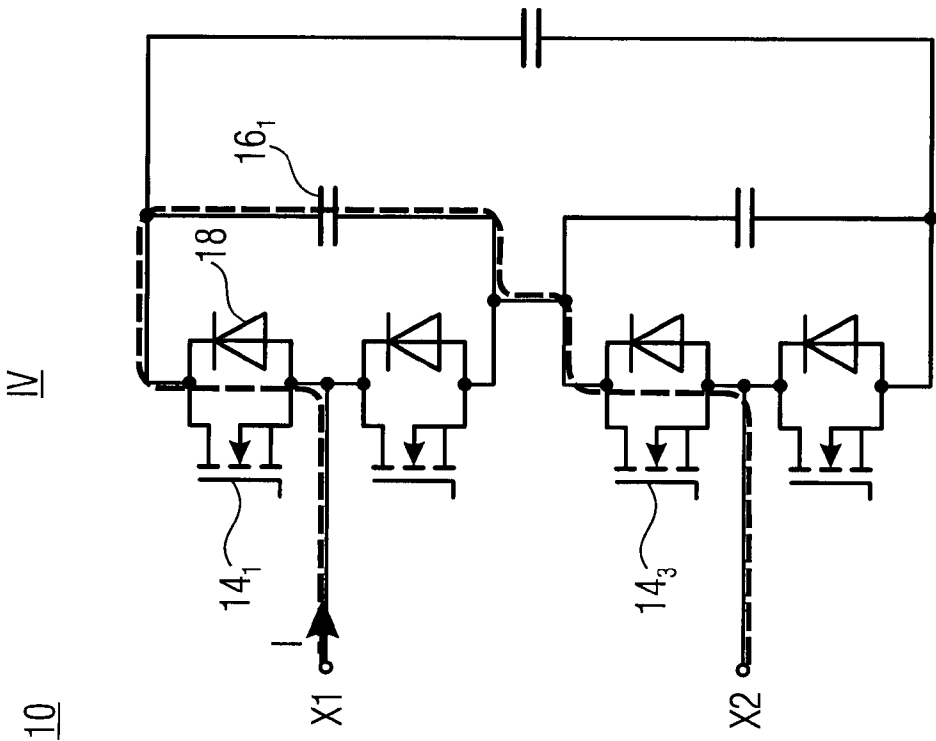


FIG 4E

6/12

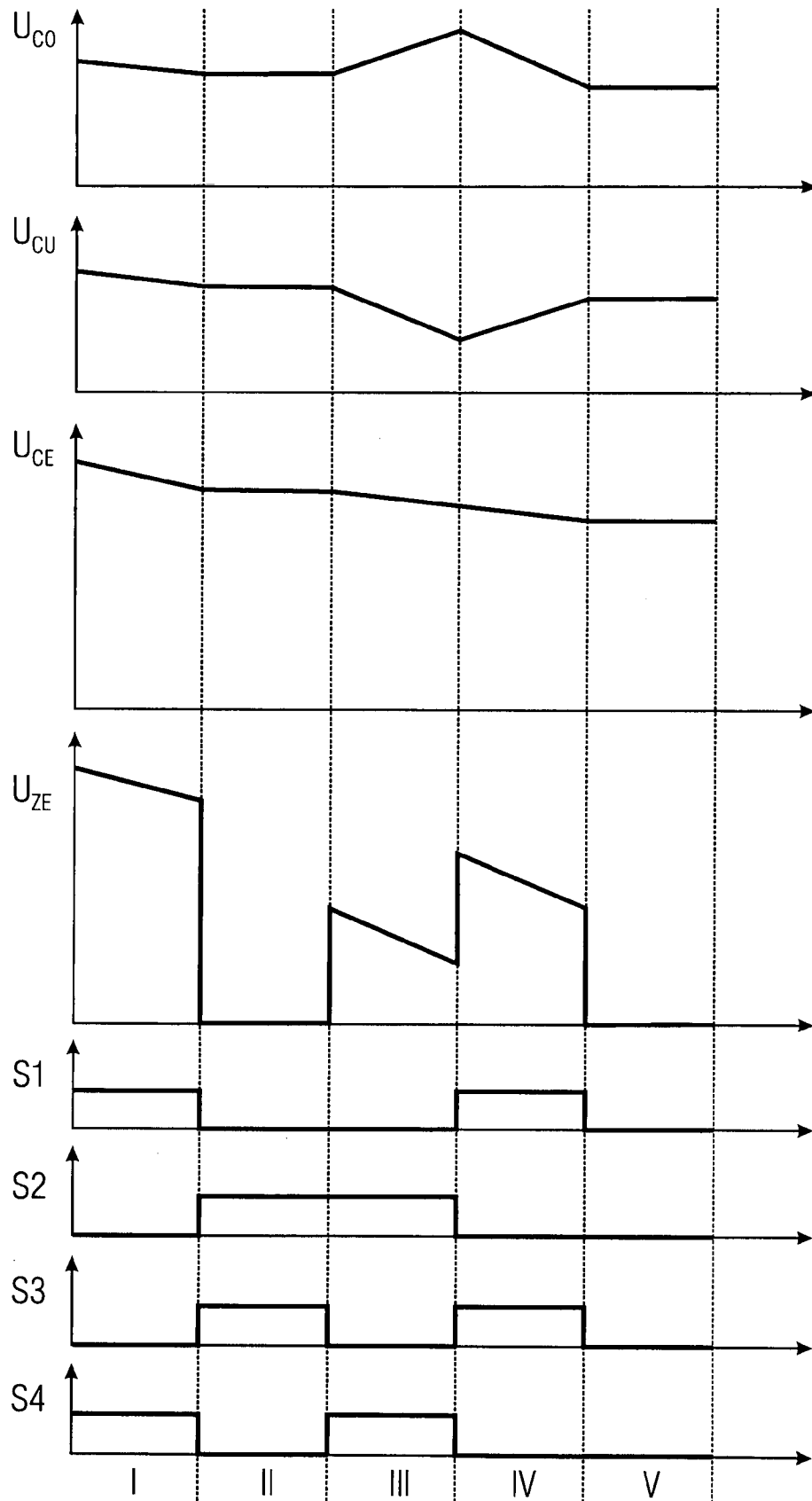


FIG 5

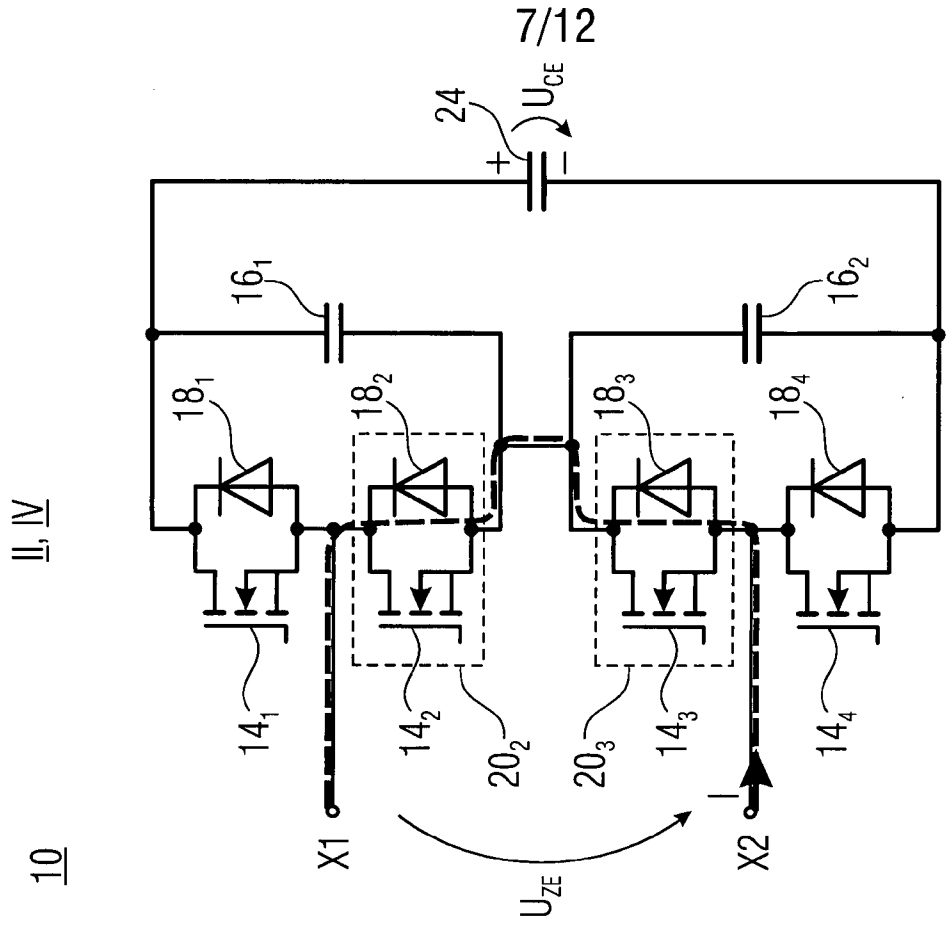


FIG 6B

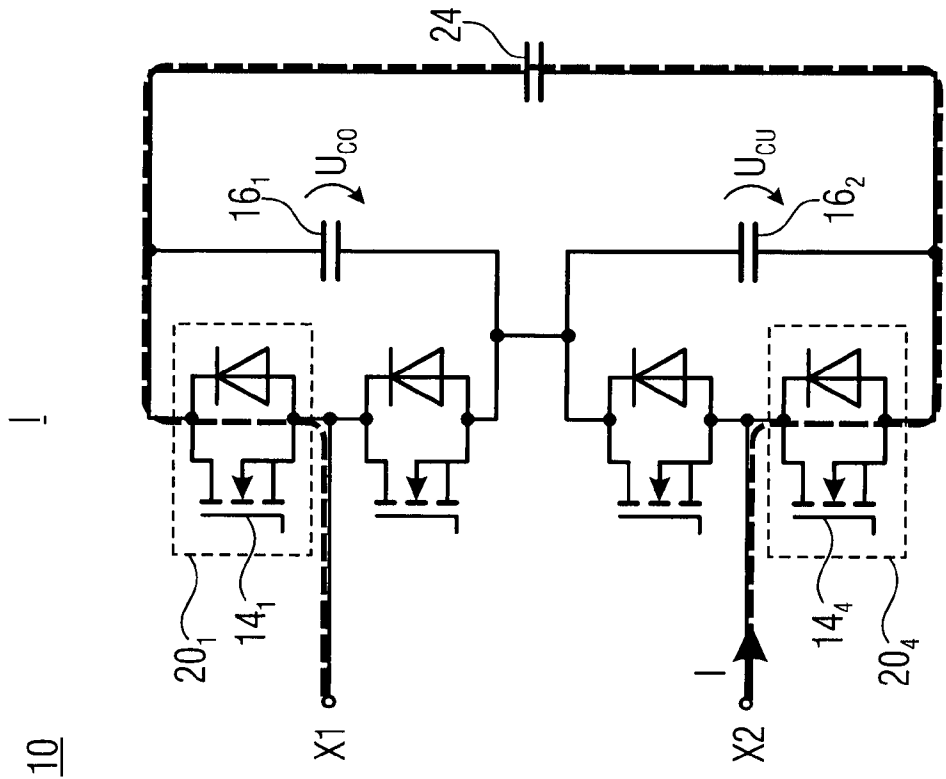


FIG 6A

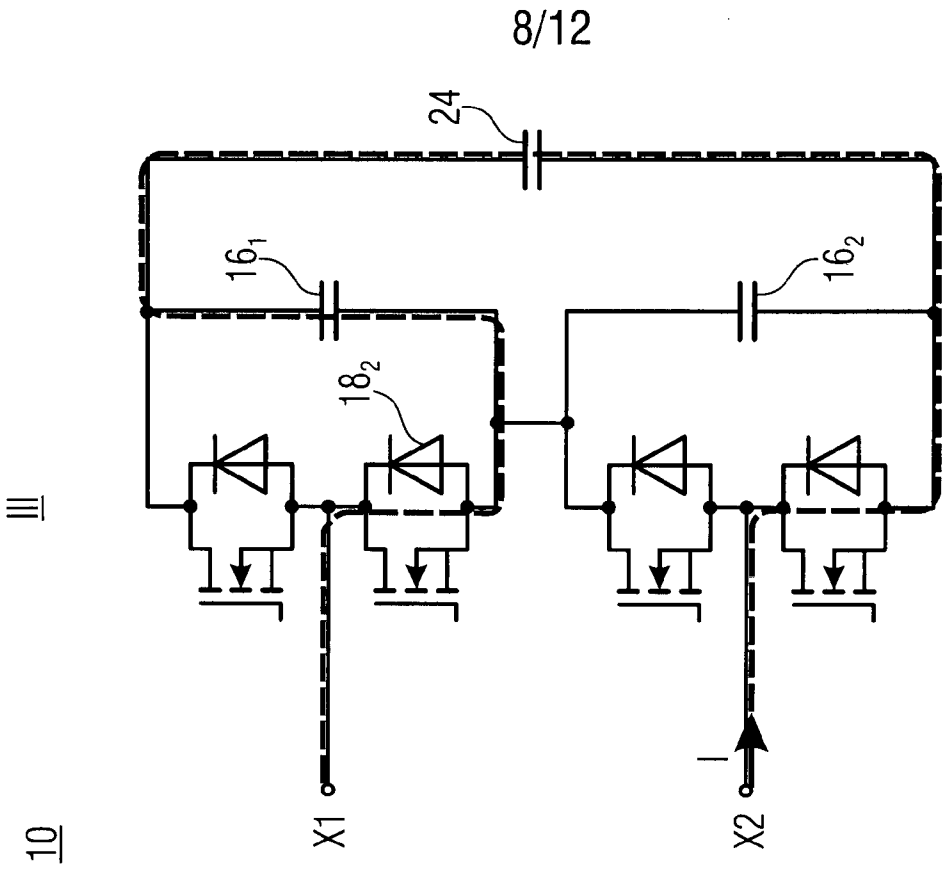


FIG 6D

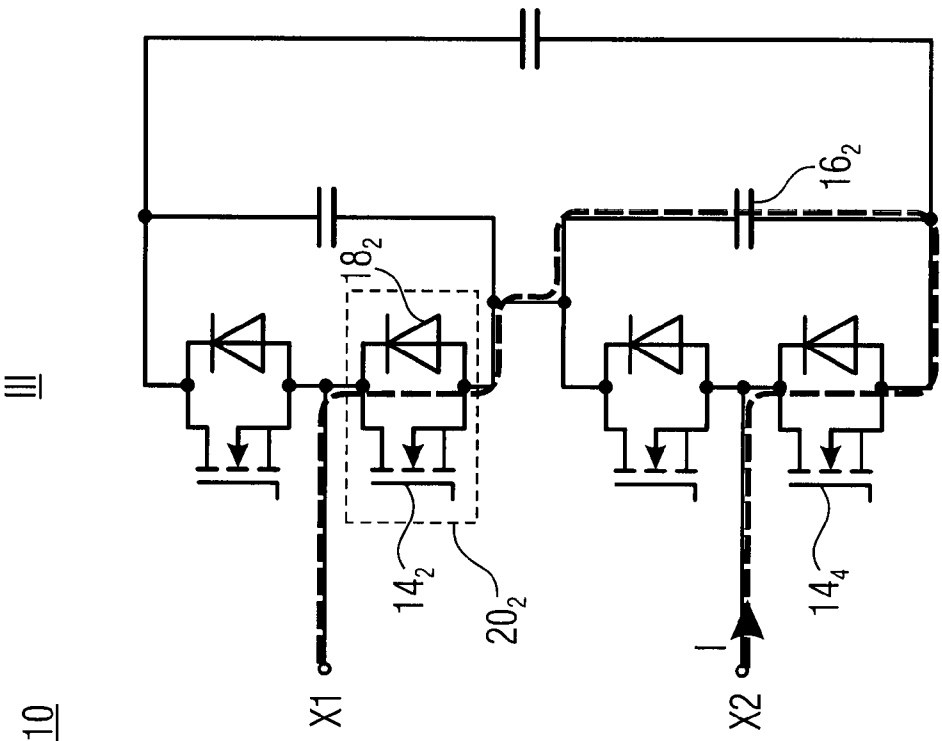


FIG 6C

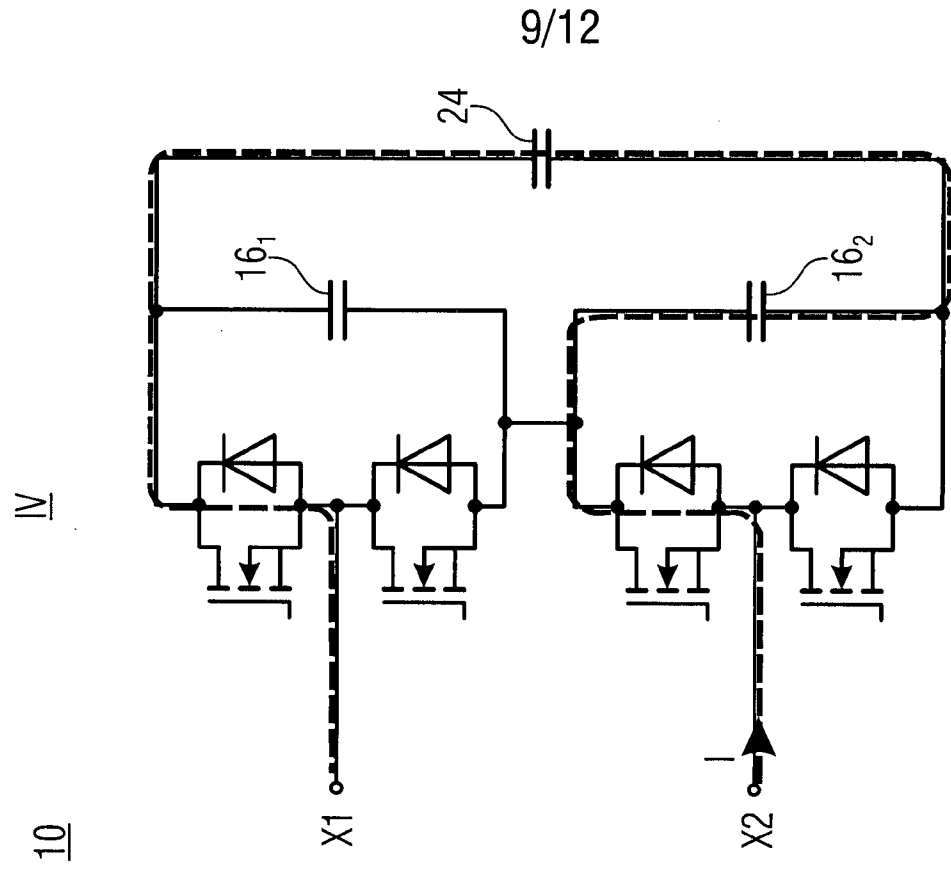


FIG 6F

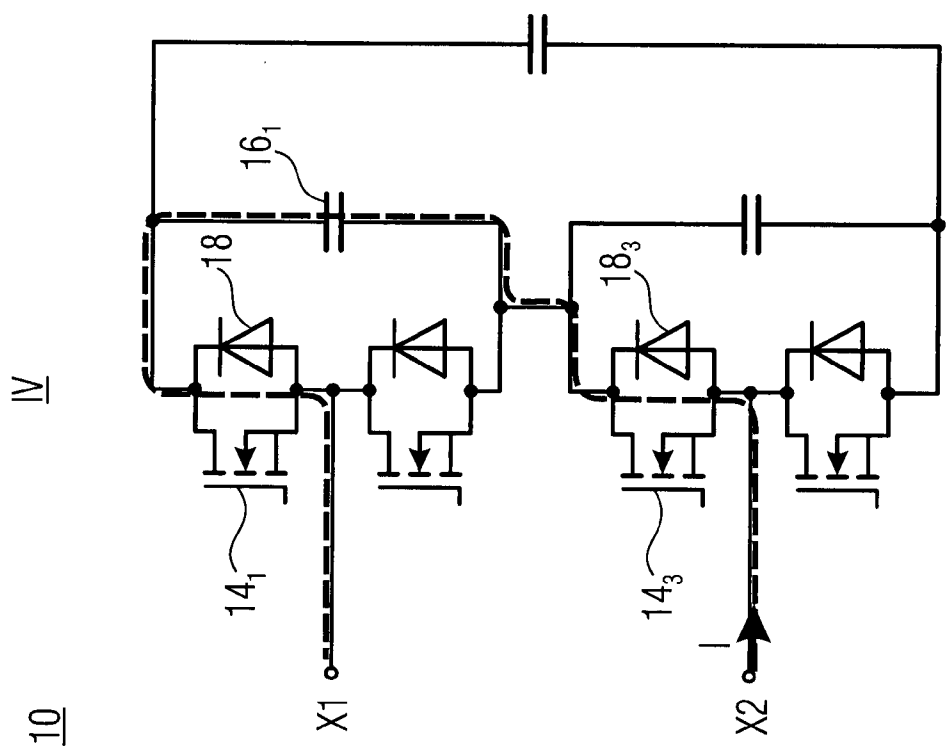


FIG 6E

10/12

40

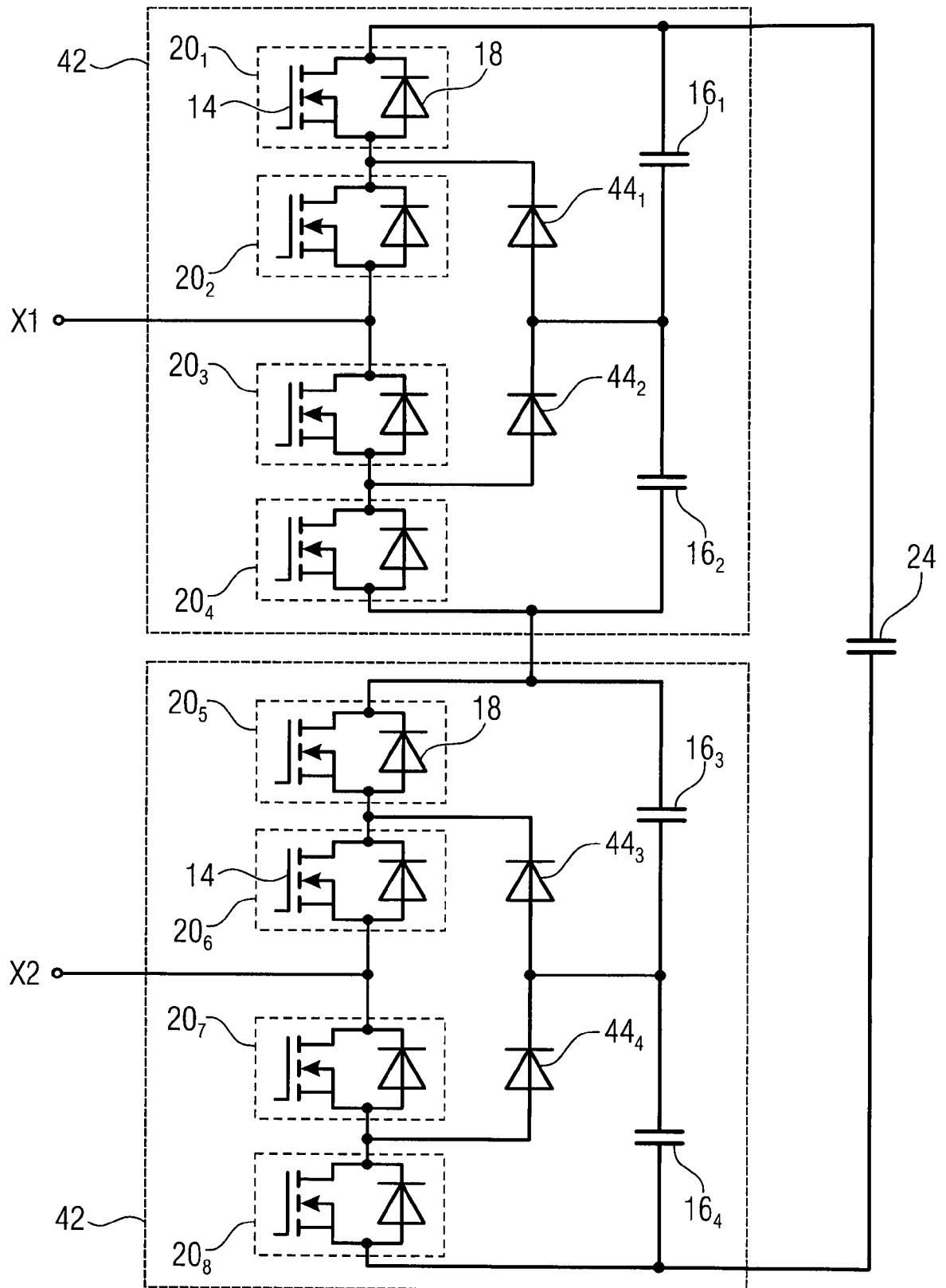


FIG 7

10

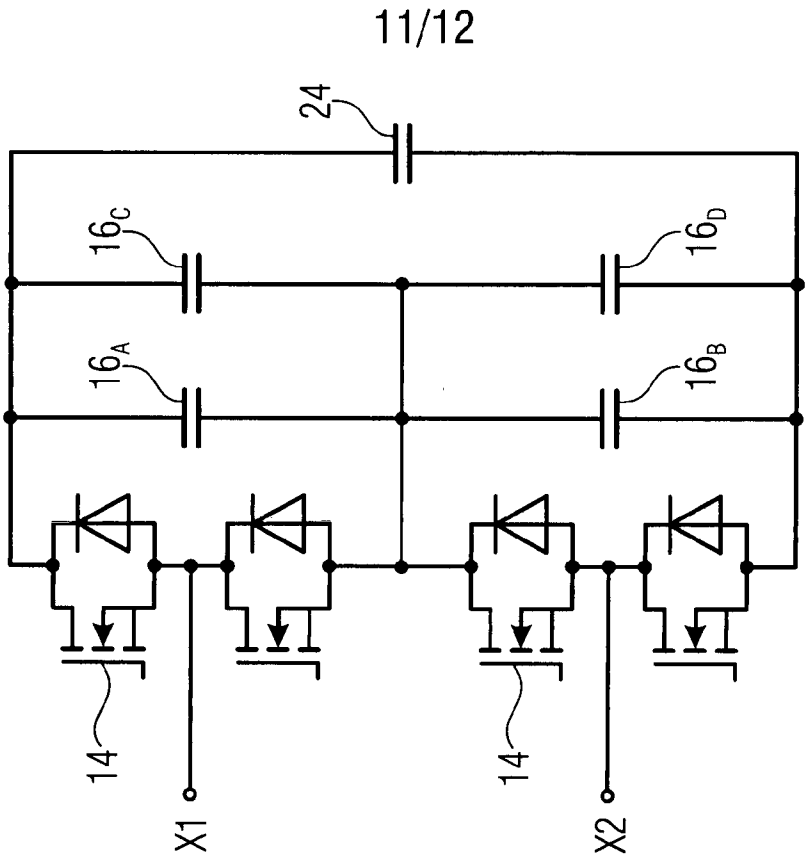


FIG 9

10

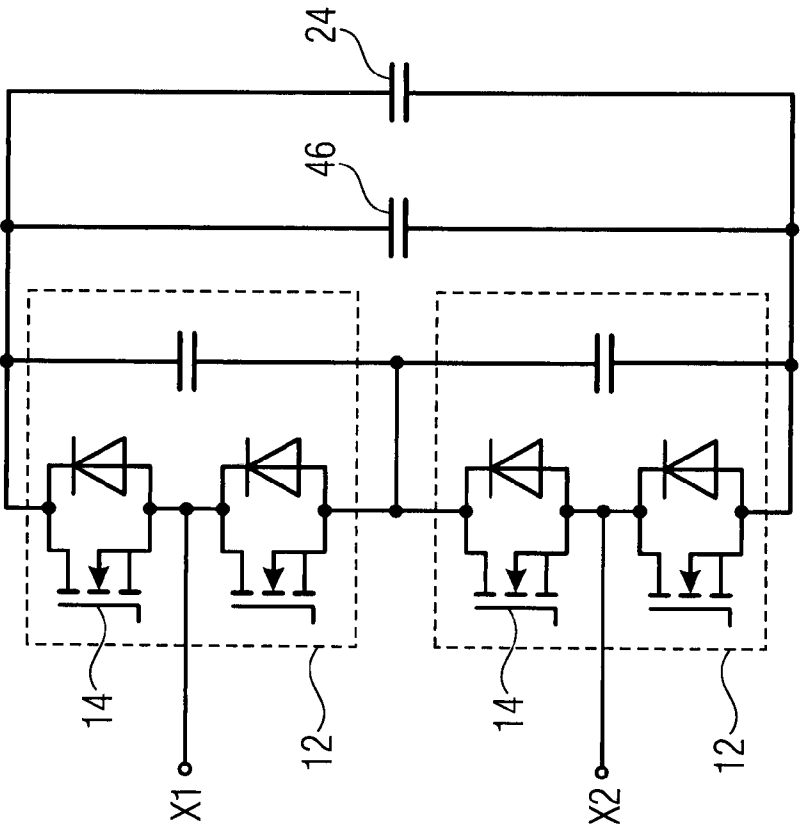


FIG 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2015/079476

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H02M7/483
 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	CN 101 258 670 A (SIEMENS AG [DE]) 3 September 2008 (2008-09-03)	1-8,20
Y	abstract; figures 2,3,4 -----	9-19,21
X	CN 102 158 064 A (INST PLASMA PHYSICS CAS) 17 August 2011 (2011-08-17)	1
Y	abstract figures 3-5 -----	9-19,21
X	WO 2009/149742 A1 (ABB TECHNOLOGY AG [CH]; ASPLUND GUNNAR [SE]; JACOBSON BJOERN [SE]) 17 December 2009 (2009-12-17) abstract figures 2-4 page 8, line 11 - page 10, line 30 -----	1



Further documents are listed in the continuation of Box C.



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

19 April 2016

Date of mailing of the international search report

02/05/2016

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

Lorenzo Barreiro, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/079476

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
CN 101258670	A	03-09-2008	NONE
CN 102158064	A	17-08-2011	NONE
WO 2009149742	A1	17-12-2009	AR 072081 A1 04-08-2010
		CA 2727192 A1 17-12-2009	
		CN 102057563 A 11-05-2011	
		DK 2294684 T3 02-12-2013	
		EP 2294684 A1 16-03-2011	
		ES 2436423 T3 02-01-2014	
		US 2011096575 A1 28-04-2011	
		WO 2009149742 A1 17-12-2009	

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. H02M7/483
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	CN 101 258 670 A (SIEMENS AG [DE]) 3. September 2008 (2008-09-03)	1-8,20
Y	Zusammenfassung; Abbildungen 2,3,4 -----	9-19,21
X	CN 102 158 064 A (INST PLASMA PHYSICS CAS) 17. August 2011 (2011-08-17)	1
Y	Zusammenfassung Abbildungen 3-5 -----	9-19,21
X	WO 2009/149742 A1 (ABB TECHNOLOGY AG [CH]; ASPLUND GUNNAR [SE]; JACOBSON BJOERN [SE]) 17. Dezember 2009 (2009-12-17) Zusammenfassung Abbildungen 2-4 Seite 8, Zeile 11 - Seite 10, Zeile 30 -----	1



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

19. April 2016

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

02/05/2016

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

Lorenzo Barreiro, M

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/079476

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 101258670	A	03-09-2008	KEINE
CN 102158064	A	17-08-2011	KEINE
WO 2009149742	A1	17-12-2009	AR 072081 A1 04-08-2010
			CA 2727192 A1 17-12-2009
			CN 102057563 A 11-05-2011
			DK 2294684 T3 02-12-2013
			EP 2294684 A1 16-03-2011
			ES 2436423 T3 02-01-2014
			US 2011096575 A1 28-04-2011
			WO 2009149742 A1 17-12-2009