



(10) **DE 10 2015 109 466 A1** 2016.12.15

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 109 466.5**

(22) Anmeldetag: **15.06.2015**

(43) Offenlegungstag: **15.12.2016**

(51) Int Cl.: **H02M 7/483 (2007.01)**
H02M 1/32 (2007.01)

(71) Anmelder:

**GE Energy Power Conversion Technology
Limited, Rugby, Warwickshire, GB**

(74) Vertreter:

Rüger, Barthelt & Abel, 73728 Esslingen, DE

(72) Erfinder:

**Janning, Jörg, Dr., 12559 Berlin, DE; Geske,
Martin, 14473 Potsdam, DE; Jakob, Roland, Dr.-
Ing., 12524 Berlin, DE; Brückner, Thomas, Dr.,
12277 Berlin, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	103 23 220	A1
US	2008 / 0 232 145	A1
US	2012 / 0 063 185	A1
US	2013 / 0 063 995	A1

**G.POSTIGLIONE, G. BORGHETTI, G. TORRE,
and P. BORDIGNON, "TransformerlessSTATCOM
based on multilevel converter for grid voltage
restoring,"in Proc. PCIM, Nuremberg, Germany,
2011, pp. 397–403.**

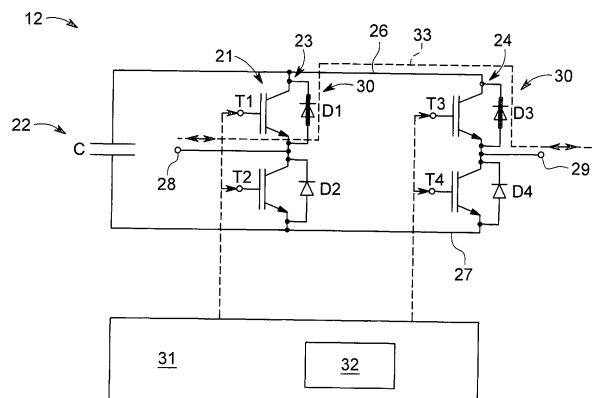
**LADOUX,P;SERBIA, N.;CARROLL, E.I.; On
the Potential of IGBTs in HVDC Emerging and
Selected Topics in Power Electronics, IEEE
Journal ofYear: 2015, Volume: 3, Issue: 3Pages:
780 - 793, DOI: 10.1109/JESTPE.2015.2429116
Erstveröffentlichung im Internet: 14.Mai 2015**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Stromrichter-Submodul mit Kurzschlusseinrichtung und Stromrichter mit diesem**

(57) Zusammenfassung: Es sind eine Kurzschlusseinrichtung und ein Schutzverfahren für ein Submodul (12) für einen Stromrichter (8, 9) geschaffen, das eine Brückenschaltung (21) mit wenigstens einem Leistungshalbleiterzweig (23, 24), der zwischen einem ersten und einem zweiten Gleichspannungsknoten (26, 27) verläuft und in dem wenigstens ein ansteuerbarer Leistungshalbleiterschalter (T1–T4) angeordnet ist, zu dem eine Freilaufdiode (D1–D4) antiparallel geschaltet ist, und einen Kondensator (C, 22) aufweist, der parallel zu der Brückenschaltung (21) angeschlossen ist. Die Kurzschlusseinrichtung (30) weist wenigstens eine ausgewählte der zu den Leistungshalbleiterschaltern (T1–T4) der Brückenschaltung (21) antiparallelen Freilaufdioden (D1–D4) auf, wobei die wenigstens eine ausgewählte Freilaufdiode (D1–D4) in Press-Pack-Bauweise gefertigt und derart ausgelegt ist, dass sie in einem Fehlerfall in dem Submodul (12) infolge von Fehlerbedingungen durchlegiert und einen dauerhaften, stabilen niederohmigen Kurzschlusspfad (33) zwischen einem ersten und einem zweiten Wechselspannungsanschluss (28, 29) des Submoduls (12) schafft.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Submodul für einen Stromrichter, das eine Kurzschlussrichtung aufweist, und einen Stromrichter mit einer Anzahl derartiger in Reihe geschalteter Submodule.

[0002] Stromrichter zur Umwandlung von Gleichstrom in Wechselstrom und umgekehrt sowie für viele andere Anwendungen werden häufig aus Submodulen aufgebaut, die eine Brückenschaltung mit ansteuerbaren Leistungshalbleiterschaltern und einen internen Kondensator zur Zwischenspeicherung elektrischer Energie aufweisen, der einen Gleichspannungszwischenkreis bildet. Die Brückenschaltung ist parallel zu dem Zwischenkreis geschaltet und kann bspw. durch eine Halbbrücke mit zwei in Reihe verbundenen, ansteuerbaren Leistungshalbleiterschaltern gebildet sein. Die Brückenschaltung kann auch eine sog. H- bzw. Vollbrücke sein, die zwei parallele, an den Zwischenkreis angeschlossene Leistungshalbleiterzweige aufweist, in denen jeweils zwei Leistungshalbleiterschalter in Reihe zueinander angeordnet sind. Jedem ansteuerbaren Schalter ist eine antiparallele Freilaufdiode zugeordnet. Die Leistungshalbleiterschalter werden geeignet angesteuert, um bspw. an den Verbindungspunkten der Schalter eine Wechselspannung zu erzeugen. Umgekehrt kann eine Wechselspannung an den Verbindungspunkten der Schalter in Gleichspannung zum Speisen des Zwischenkreises verwendet werden.

[0003] Für Hochleistungsstromrichter werden meist mehrere derartige Submodule in Reihe zueinander geschaltet, um hohe Systemnennleistungen im MW-Bereich und Hochspannungsanwendungen, wie Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungs-(HGÜ)-Systeme, zu ermöglichen und weitgehend sinusförmige Spannungen mit feiner Stufigkeit zu erzeugen. Auch Redundanzanforderungen, nach denen die Funktion eines Gerätes auch im Falle eines Ausfalls eines oder mehrerer Submodule sichergestellt werden muss, können die Verwendung von mehreren in Reihe geschalteten Stromrichter-Submodulen erfordern.

[0004] Es ist wichtig, dass ein ausgefallenes Submodul die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems möglichst nicht beeinträchtigt. Dabei kann ein Fehler durch einen beschädigten oder zerstörten Leistungshalbleiterschalter oder eine beschädigte oder zerstörte Freilaufdiode der Brückenschaltung oder auch durch einen Fehler in der Ansteuerung der Leistungshalbleiterschalter verursacht sein. Als zu verwendende Halbleiterschalter stehen verschiedene Bauformen zur Verfügung. Bspw. können die Submodule unter Verwendung von IGBTs in sog. Flat-Pack- oder Modulbauweise aufgebaut sein, die mehrere IGBT- und antiparallele Dioden-Chips auf einem Substrat aufweisen. Jeder Chip ist über Bonddrähte elek-

trisch mit der modulinternen Verschaltung verbunden. Im Fehlerfall kann ein Kurzschlussstrom dazu führen, dass ein IGBT-Chip durchlegiert und einen Kurzschluss zwischen seinem Kollektor- und seinem Emitter-Anschluss bildet. Der defekte Chip führt dann meist den vollständigen Fehlerstrom, dessen Stärke und die damit verbundenen Überhitzungen innerhalb von Mikrosekunden zum Schmelzen oder Abreißen der Bonddrähte führen können. Davon ausgehend können Störlichtbögen entstehen, die zu einer Explosion des betroffenen und weiterer IGBT-Module und schließlich zu einem geöffneten Stromkreis des gesamten Submoduls führen können. Damit würde der Strom in der Reihenschaltung der Submodule unterbrochen, was eine Abschaltung des gesamten Stromrichters zur Folge hätte. Dies sollte verhindert werden. Es ist erwünscht, im Fehlerfall einen langfristigen, niederohmigen Strompfad zwischen den Wechselspannungsanschlüssen des fehlerhaften Submoduls zu errichten, um eine Redundanz zwischen den Submodulen zu ermöglichen und die weitere Funktionsfähigkeit eines Stromrichters bzw. des Gesamtsystems sicherzustellen.

[0005] DE 103 33 798 A1 beschreibt ein Verfahren zum Kurzschließen eines fehlerhaften Submoduls eines Stromrichters, das mit einer Vollbrückenschaltung und mit mindestens einem internen Zwischenkreiskondensator als Energiespeicher geschaltet ist, in einer Reihenschaltung von Submodulen, wobei im Fehlerfall sämtliche Leistungshalbleiterschalter so angesteuert werden, dass sie dauerhaft durchlegieren, um die Gleichspannungsseite des Submoduls dauerhaft kurzzuschließen. Im Fehlerfall werden die Leistungshalbleiterschalter zerstört, was kostspielig sein kann. Eine Implementierung des Verfahrens, um einerseits eine schnelle Durchlegierung der Leistungshalbleiterschalter zu erzielen und gleichzeitig eine Störlichtbogenbildung und Explosion der in Modulbauweise gefertigten Komponenten des Submoduls zu vermeiden, kann sehr kompliziert und in vielen Fällen auch kaum zu erreichen sein.

[0006] Aus der DE 103 23 220 A1 ist eine Kurzschluss-Schaltung für ein fehlerhaftes Stromrichter-Submodul mit einem internen Zwischenkreiskondensator und einer Vollbrückenschaltung bekannt, wobei zu jedem Zwischenkreiskondensator ein elektronisches Halbleiterbauelement parallel geschaltet ist, das im Fehlerfall des Submoduls einen Kurzschlussstrom des Zwischenkreiskondensators entweder übernimmt oder in Abhängigkeit von einem solchen Kurzschlussstrom angesteuert wird und anschließend dauerhaft durchlegiert oder in Folge einer übermäßigen Kondensatorspannung durchlegiert. Das zu dem Zwischenkreiskondensator parallel geschaltete Halbleiterbauelement kann eine Diode, ein Kurzschluss-Thyristor oder ein Leistungshalbleiterschalter, insbesondere ein IGBT, sein. Im Fehlerfall wird bspw. der Kurzschluss-Thyristor ge-

zündet, und die Leistungshalbleiterschalter der Brückenschaltung werden derart angesteuert, dass sie entsättigen und der Kurzschlussstrom schnell auf den gezündeten Kurzschluss-Thyristor kommutiert, der dann durchlegiert und einen dauerhaften, kurzgeschlossenen Bypasspfad bildet. Ein derartiger Bypasszweig mit dem zugehörigen Halbleiterbauelement erfordert zusätzliche Bauelemente und erhöht die Komplexität der Schaltung.

[0007] Es ist in der Praxis heute auch üblich, sogenannte AC-Kurzschließer vorzusehen, die beispielsweise durch schnell schaltende mechanische Schalter gebildet sind, die in einem Bypasszweig zwischen den Wechselspannungsanschlüssen des Submoduls angeordnet sind und in einem Fehlerfall geschlossen werden, um einen Kurzschluss-Bypasspfad zwischen den Wechselspannungsanschlüssen zu schaffen. Auch hier sind für den Bypasspfad zusätzliche Komponenten erforderlich.

[0008] Ausgehend hiervon ist es Aufgabe der Erfindung, Maßnahmen vorzuschlagen, mit denen ein Submodul für einen Stromrichter mit wenigstens einem ansteuerbaren Leistungshalbleiterschalter im Fehlerfalle relativ aufwandsarm kurzgeschlossen werden kann. Insbesondere ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Stromrichter-Submodul mit Kurzschlussmitteln geringer Komplexität zu schaffen, die im Falle eines Fehlers in dem Submodul die Schaffung eines dauerhaften, stabilen niederohmigen Kurzschlusspfades zwischen den Wechselspannungsanschlüssen des Submoduls ermöglichen, so dass der Betrieb des Stromrichters und eines gesamten Systems langfristig fortgeführt werden kann.

[0009] Eine weitere Aufgabe der Erfindung ist es, einen Stromrichter mit mehreren derartigen Submodulen zu schaffen.

[0010] Diese Aufgaben werden durch ein Submodul für einen Stromrichter mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 und durch einen Stromrichter mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 17 gelöst. Besonders vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0011] Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist ein Submodul für einen Stromrichter geschaffen, das eine Brückenschaltung, einen Kondensator und eine Kurzschlusseinrichtung aufweist. Die Brückenschaltung weist wenigstens einen Leistungshalbleiterzweig auf, der zwischen einem ersten und einem zweiten Gleichspannungsknoten verläuft und in dem wenigstens ein ansteuerbarer Leistungshalbleiterschalter angeordnet ist, zu dem eine Freilaufdiode antiparallel geschaltet ist. Der Kondensator dient als Gleichspannungszwischenkreiskondensator und ist parallel zu der Brückenschaltung zwischen dem

ersten und dem zweiten Gleichspannungsknoten angeschlossen. Die Kurzschlusseinrichtung weist wenigstens eine ausgewählte der zu den Leistungshalbleiterschaltern antiparallelen Freilaufdioden auf, wobei die wenigstens eine ausgewählte Freilaufdiode in Press-Pack-Bauweise (Druckkontaktgehäusebauweise) gefertigt und derart ausgelegt ist, dass sie in einem Fehlerfall in dem Submodul infolge von Fehlerbedingungen durchlegiert und einen dauerhaften, stabilen, niederohmigen Kurzschlusspfad zwischen einem ersten und einem zweiten Wechselspannungsanschluss des Submoduls schafft, über den der Laststrom langfristig an den aktiven Leistungshalbleiterschaltern vorbei fließen kann, um einen fortgesetzten Betrieb des Stromrichters und eines gesamten Systems zu ermöglichen.

[0012] Bei der Press-Pack-Bauweise werden die Leistungshalbleiter zwischen Druckkontaktplatten dichtend verpresst. In einem Fehlerfall mit darauf folgendem Anoden-Kathoden-Kurzschluss der Diode wird durch die Druckkontaktierung sichergestellt, dass die Diode einen stabilen und sehr niederohmigen Kurzschluss ausbildet. Obwohl die Press-Pack-Bauweise relativ aufwendig und teuer ist, ist sie hier für die zusätzliche Schutzfunktion der Freilaufdiode für den Bypasspfad äußerst nützlich, weil sie eine langfristige Kurzschlussstabilität und eine hohe Gehäusebruchfestigkeit realisiert. Die hohe Bruchfestigkeit verhindert wirksam ein Heraustreten von Teilen oder Bruchstücken aus dem Druckkontaktgehäuse im Fehlerfalle, wodurch auch eine Beschädigung an umliegenden Systemkomponenten vermieden werden kann. Der Stromrichter bzw. das System kann über Monate oder sogar Jahre hinweg bis zum nächsten planmäßigen Wartungsstopp weiterbetrieben werden, bei dem das fehlerhafte Submodul dann ersetzt werden kann.

[0013] Erreicht wird der Kurzschlussmodus im Fehlerfall erfindungsgemäß allein mit wenigstens einer der ohnehin vorhandenen antiparallelen Freilaufdioden, die ansonsten im normalen Betrieb dazu dienen, den Betriebsstrom zu führen und/oder den zugehörigen Leistungshalbleiterschalter gegen unzulässige Über- bzw. Sperrspannungen zu schützen. Für die primären Ausführungsformen der Schutzfunktion sind keine zusätzlichen Bypasszweige und keine zusätzlichen elektronischen Bauelemente außer den bereits vorhandenen erforderlich, was die Schaltungskomplexität und den Aufwand bei der Auslegung und Ansteuerung der Komponenten des Submoduls verringert.

[0014] Prinzipiell kann die Brückenschaltung des Submoduls eine Halbbrückenschaltung sein, die einen einzigen Brückenweig mit wenigstens zwei in Reihe geschalteten Leistungsschaltern aufweist. Vorzugsweise weist das erfindungsgemäße Submodul jedoch eine Brückenschaltung auf, die als sog. H-Brü-

cke oder Vollbrückenschaltung mit zwei parallelen Leistungshalbleiterzweigen ausgebildet ist, die zwischen dem ersten und zweiten Gleichspannungsknoten angeschlossen sind und jeweils wenigstens einen Leistungshalbleiterschalter mit jeweils einer antiparallelen Freilaufdiode aufweisen. Derartige H-Brückenschaltungen sind aus der Technik bekannt und bei Submodulen für Stromrichter weit verbreitet.

[0015] In einer Ausführungsform kann das Submodul als ein bidirektionales Submodul mit symmetrischer H- oder Vollbrücke zur Verwendung sowohl für Wechsel- als auch für Gleichrichter geschaffen sein. Insbesondere können die Leistungshalbleiterzweige jeweils zwei in Reihe verbundene Leistungshalbleiterschalter aufweisen, denen jeweils eine antiparallele Freilaufdiode zugeordnet ist und deren Verbindungspunkte einen ersten bzw. zweiten Anschluss des Submoduls bilden.

[0016] In einer anderen Ausführungsform kann das Submodul mit einer asymmetrischen oder reduzierten H- oder Vollbrücke zur Verwendung entweder für Wechsel- oder für Gleichrichter geschaffen sein. Insbesondere kann die Brückenschaltung einen ersten Leistungshalbleiterzweig mit einer Reihenschaltung aus einem ersten Leistungshalbleiterschalter und einer ersten Diode sowie einen zweiten Leistungshalbleiterzweig mit einer Reihenschaltung aus einem zweiten Leistungshalbleiterschalter und einer zweiten Diode aufweisen, wobei die erste und die zweite Diode in einer Brückendiagonale der Brückenschaltung angeordnet sind und jedem Leistungshalbleiterschalter eine antiparallele Freilaufdiode zugeordnet. Ein Verbindungspunkt zwischen dem ersten Leistungshalbleiterschalter und der ersten Diode bildet den ersten Anschluss des Submoduls, und ein Verbindungspunkt zwischen dem zweiten Leistungshalbleiterschalter und der zweiten Diode bildet den zweiten Anschluss des Submoduls.

[0017] In allen Ausführungsformen kann eine vorteilhafte Mischung von Fertigungstechnologien genutzt werden. Z.B. können vorzugsweise alle Leistungshalbleiterschalter, z.B. IGBTs, sowie auch diejenigen Dioden, welche nicht Teil der Kurzschlusseinrichtung sind, in Flat-Pack- oder Modulbauweise gefertigt sein, während nur die eine oder mehreren ausgewählten Freilaufdioden der Kurzschlusseinrichtung in Press-Pack-Bauweise gefertigt sind. Dadurch können die Kosten des Submoduls reduziert werden, während die Press-Pack-Freilaufdioden für eine hohe Funktionssicherheit sorgen. Grundsätzlich ist auch in allen beschriebenen Ausführungsformen die Nutzung von Leistungshalbleiterschaltern, z.B. IGBTs, in Press-Pack-Bauweise möglich; dies ist aber für die Erfindung nicht erforderlich und im Allgemeinen wegen der erhöhten Kosten nicht erwünscht.

[0018] In all den vorstehend erwähnten Ausführungsformen weist der Bypasspfad bevorzugterweise außer der oder den durchlegierten Freilaufdioden und, sofern vorhanden, der ersten und/oder zweiten Diode keine anderen elektronische Bauelemente auf. Die Kurzschlussfunktion kann aufwandsarm, nur mit bereits vorhandenen Bauelementen der Brückenschaltung realisiert werden.

[0019] In einer weiteren Ausführungsform kann das Submodul alternativ oder zusätzlich eine Temperaturbeeinflussungseinrichtung aufweisen, die eingerichtet ist, um in einem Fehlerfall in dem Submodul eine Temperaturerhöhung an oder in der Nähe der wenigstens einen Freilaufdiode zu bewirken. Hierzu kann bspw. im Fehlerfall eine Beheizung der Freilaufdiode oder eine verminderte Kühlung derselben vorgesehen sein, um eine Durchlegierung der Freilaufdiode zu bewirken.

[0020] In einer noch weiteren Ausführungsform kann das Submodul alternativ oder zusätzlich eine triggerbare Funkenstrecke aufweisen, die in einem Zweig parallel zu der Brückenschaltung zwischen dem ersten und dem zweiten Gleichspannungsknoten angeschlossen ist, wobei die Funkenstrecke im getriggerten Zustand einen Fehlerstrom durch das Submodul mit einem Umschwingstrom bewirkt, der das Durchlegieren der wenigstens einen Freilaufdiode bewirkt. Der Kurzschlussfehlermodus kann in gesteuerter Weise und äußerst reaktionsschnell herbeigeführt werden. Anstelle der Funkenstrecke könnte bspw. auch ein Bypasszweig parallel zu dem Kondensator mit einem ansteuerbaren Halbleiterschalter, wie z.B. einem IGBT oder einem Thyristor, vorgesehen sein.

[0021] In den vorstehend erwähnten Ausführungsformen können zu den Fehlerbedingungen, die eine Durchlegierung der wenigstens einen Freilaufdiode zur Folge haben, wenigstens entweder eine Überspannung an der wenigstens einen ausgewählten Freilaufdiode und/oder eine Übertemperatur an der Freilaufdiode oder ein übermäßiger Fehlerstrom (Stoßstrom) durch die Freilaufdiode gehören.

[0022] Das Submodul weist vorzugsweise eine ihm zugeordnete Ansteuereinheit auf, die eingerichtet ist, um nach Erkennung eines Fehlerfalls alle Leistungshalbleiterschalter des Submoduls auszuschalten bzw. ausgeschaltet zu lassen. Dieses Verfahren, welches auch als Auslösen einer Pulssperre bezeichnet wird, gehört zum Stand der Technik in IGBT-basierten Stromrichtern und ist z.B. in „Rahul Chokhwal: A discussion on IGBT short circuit behaviour and fault protection schemes“, IEEE 1993, beschrieben. Die Erfindung macht sich dieses Vorgehen zu Nutze, indem dadurch bei weiterem Stromfluss durch das Submodul ein weiteres Aufladen des Kondensators über die Freilaufdioden und/oder die erste und

zweite Diode der Brückenschaltung bewirkt wird. Der Kondensator kann im Fehlerfalle auf eine Spannung aufgeladen werden, die eine Spannung an der wenigstens einen ausgewählten Freilaufdiode ergibt, die deren maximale Sperrspannung übersteigt und so deren Durchlegierung herbeiführt.

[0023] Die Ansteuereinheit des Submoduls ist ebenfalls eingerichtet, um, sofern vorhanden, die Temperaturbeeinflussungseinrichtung anzusteuern und/oder die Funkenstrecke zu triggern.

[0024] In einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein Stromrichter zur Umwandlung einer Wechselspannung in eine Gleichspannung oder umgekehrt geschaffen. Der Stromrichter weist wenigstens einen Phasenzweig mit zwei oder mehreren in Reihe geschalteten Submodulen, wie vorstehend beschrieben, auf. Die Reihenschaltung ist so beschaffen, dass wenigstens ein erster Wechselspannungsanschluss wenigstens eines Submoduls mit dem zweiten Wechselspannungsanschluss eines benachbarten Submoduls elektrisch verbunden ist. In jedem Zweig ist ferner in etwa in der Mitte ein Stromrichter-Wechselspannungsanschluss zur Verbindung mit einem elektrischen Netz, einer elektrischen Wechselstrom(AC)-Maschine, einem AC-Generator, einer Windkraftanlage, einem Inselnetz oder dgl. abgegriffen. Der Stromrichter kann beliebige der vorstehend erwähnten Ausführungsformen des Submoduls mit deren vorteilhaften Eigenschaften umfassen. Der Stromrichter ist insbesondere zur Anwendung in einem HGÜ-Übertragungssystem oder einem Hochleistungswandler sowie auch dann, wenn Redundanzanforderungen erfüllt werden müssen, geeignet.

[0025] Jedenfalls ist der Stromrichter dazu eingerichtet, ein defektes Submodul langfristig stabil kurzzuschließen, um einen Weiterbetrieb des Stromrichters zu ermöglichen. Hierzu weist der Stromrichter vorzugsweise ferner eine passive oder aktive Erkennungsschaltung, die eingerichtet ist, um einen gleichspannungsseitigen Kurzschlussfehlerfall in einem beliebigen der Submodule des Stromrichters zu erkennen, und eine Steuereinrichtung auf, die mit der Ansteuereinheit in Verbindung steht oder die Ansteuereinheit umfasst, die eingerichtet ist, um nach Erkennung eines derartigen Kurzschlussfehlerfalls alle Leistungshalbleiterschalter des Submoduls auszuschalten bzw. ausgeschaltet zu lassen und gegebenenfalls weitere Maßnahmen zu ergreifen, um den Kurzschlussfehlermodus einzuleiten oder zu bewirken. Dies kann eine thermische Beeinflussung der wenigstens einen Freilaufdiode für den Bypasspfad oder ein Zünden einer Funkenstrecke beinhalten, um durch einen Umschwingstrom ein Durchlegieren der wenigstens einen ausgewählten Freilaufdiode zu bewirken. Dabei ist es für die Funktionsweise unerheblich, ob die Ansteuereinheit(en) für die Leistungshalbleiterschalter sowie ggf. weitere Schutzfunktio-

nen den Submodulen oder dem Stromrichter zugeordnet sind.

[0026] Weitere vorteilhafte Einzelheiten von Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus Unteransprüchen, der Zeichnung sowie der zugehörigen Beschreibung. Die Erfindung ist nachstehend anhand einer Zeichnung näher beschrieben, die beispielhafte, keinesfalls beschränkende Ausführungsformen der Erfindung zeigt, wobei gleiche Bezugszeichen in allen Figuren verwendet werden, um gleiche Elemente zu bezeichnen. Es zeigen:

[0027] Fig. 1 ein beispielhaftes System mit einem aus mehreren Submodulen aufgebauten elektrischen Umrichter zur Kopplung eines elektrischen Energieversorgungsnetzes oder einer anderen Wechselspannungsquelle mit einem anderen Netz oder einer Last zur Verdeutlichung einer beispielhaften Anwendung der Erfindung, in Form eines Blockdiagramms;

[0028] Fig. 2a–c vereinfachte Schaltpläne von Stromrichter-Submodulen mit unterschiedlichen Vollbrücken-Topologien, die in dem elektrischen Umrichter nach Fig. 1 gemäß der Erfindung verwendet werden können;

[0029] Fig. 3a–Fig. 3c vereinfachte Schaltpläne unterschiedlicher Ausführungsformen eines Stromrichter-Submoduls mit einer symmetrischen Vollbrücken-Topologie nach Fig. 2a unter Veranschaulichung verschiedener resultierender Bypasspfade;

[0030] Fig. 4a–Fig. 4b vereinfachte Schaltpläne unterschiedlicher Ausführungsformen eines Stromrichter-Submoduls mit einer asymmetrischen Vollbrücken-Topologie nach Fig. 2b unter Veranschaulichung verschiedener resultierender Bypasspfade;

[0031] Fig. 5 einen Schaltplan einer modifizierten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Stromrichter-Submoduls, das eine Temperaturbeeinflussungseinrichtung verwendet, in vereinfachter Darstellung; und

[0032] Fig. 6 einen Schaltplan einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Stromrichter-Submoduls, das eine Funkenstrecke verwendet, in vereinfachter Darstellung.

[0033] In Fig. 1 ist in einer stark vereinfachten Darstellung ein System 1 veranschaulicht, das für ein Hochspannungsgleichstrom-Verteilungssystem zur elektrischen Energieübertragung bei hoher Gleichspannung oder für viele andere Anwendungen verwendet werden kann. Das System 1 umfasst eine hier bspw. dreiphasige Wechselspannungsquelle 2, die z.B. ein elektrisches Energieversorgungsnetz, eine elektrische Wechselstrom(AC)-Maschine, ein AC-Generator, eine Windkraftanlage oder dgl. sein kann.

An die Wechselspannungsquelle **2** ist mit seinem Eingang **3** ein elektrischer Umrichter **4** angeschlossen, dessen Ausgang **6** über eine hier nicht näher dargestellte Gleichstromübertragungseinrichtung mit einem anderen elektrischen Energieversorgungsnetz verbunden sein kann. Der Anschluss des Umrichters **4** an die Wechselspannungsquelle **2** kann optional über einen Transformator **7** erfolgen.

[0034] Der Umrichter **4** weist wenigstens einen ersten Stromrichter **8** auf, der hier ein Gleichrichter sein kann, um eine Wechselspannung U_{ac} der Wechselspannungsquelle **2** in eine ausgangsseitige Gleichspannung U_{dc} zu wandeln. Optional könnte der Umrichter **4** einen hier nicht dargestellten weiteren Stromrichter aufweisen, der die Spannung U_{dc} in eine passende Wechselspannung wandelt. Es versteht sich, dass sich die Funktionen der Stromrichter vertauschen, wenn der Energiefluss umgekehrt zu dem Energieversorgungsnetz oder der Spannungsquelle **2** hin erfolgt.

[0035] Wie aus **Fig. 1** ersichtlich, weist der Stromrichter **8** hier beispielhaft drei Phasenzweige **11a**, **11b** und **11c** auf, die jeweils durch eine Reihenschaltung aus mehreren in Reihe geschalteten Stromrichter-Submodulen oder modularen Schaltern **12** gebildet sind. Die steuerbare Gleichspannung am Ausgang **6** des Stromrichters **8** kann über die Schaltzustände der einzelnen Stromrichter-Submodule dynamisch verändert werden. Die Anzahl der Stromrichter-Submodule **12** bestimmt dabei die verfügbare Anzahl von Stromrichter-Schaltzuständen, die eine feine Spannungsstufung und eine Spannungsform hoher Güte ermöglichen. Bei dem Stromrichter **8** handelt es sich somit um sog. Multi-Level- oder Mehrpunkt-Umrichter. Die Submodule **12** sind nachstehend im Zusammenhang mit den **Fig. 2–Fig. 8** näher erläutert.

[0036] In den Phasenzweigen **11a–11c** können an den Stromrichter-Wechselspannungsanschlüssen **13a**, **13b**, **13c** kreisstrombegrenzende Induktivitäten **14** vorgesehen sein. Die gleichspannungsausgangsseitigen Anschlüsse der ersten, obersten Submodule **12** des Gleichrichters **8** sind miteinander und über eine Gleichspannungszwischenkreisinduktivität **16** mit einem ersten Stromrichter-Gleichspannungsanschluss („+“) **18** verbunden. Ähnlich sind die Ausgangsanschlüsse der letzten, untersten Submodule **12** des Stromrichters **8** über eine weitere Gleichspannungszwischenkreisinduktivität **17** mit einem zweiten Stromrichter-Gleichspannungsanschluss („–“) **19** verbunden. Zwischen den Ausgangsanschlüssen **18**, **19** liegt die Gleichspannung U_{dc} an, die eine Hochspannung von bspw. über 100 kV sein kann.

[0037] **Fig. 2a–c** zeigen in Form vereinfachter Schaltpläne unterschiedliche, an sich bekannte Topologien eines Submoduls oder modularen Schalters **12**, wie sie in dem Mehrpunkt-Stromrichter **8** der in

Fig. 1 gezeigten Art verwendet und weitergebildet werden können, um die Erfindung zu implementieren.

[0038] Das bidirektionale Submodul **12** gemäß **Fig. 2a** weist eine Brückenschaltung **21** und einen zu der Brückenschaltung **21** parallel geschalteten Kondensator **C**, **22** auf. Die Brückenschaltung **21** ist hier als sog. symmetrische H- oder Vollbrücke mit zwei parallelen Leistungshalbleiterzweigen **23**, **24** ausgebildet, die zwischen einem ersten und einem zweiten Gleichspannungsknoten **26**, **27** parallel zueinander angeschlossen sind. Der erste Leistungshalbleiterzweig **23** weist eine Reihenschaltung aus einem ersten Leistungshalbleiterschalter **T1** und einem zweiten Leistungshalbleiterschalter **T2** auf, wobei dem ersten und dem zweiten Leistungshalbleiterschalter **T1**, **T2** jeweils eine antiparallele bzw. gegensinnig parallel geschaltete Freilaufdiode **D1** bzw. **D2** zugeordnet ist. Die Freilaufdioden **D1**, **D2** dienen dazu, bei geöffnetem Leistungshalbleiterschalter **T1** bzw. **T2** Betriebsstrom zu führen und den zugehörigen Leistungsschalter gegen unzulässige Über- bzw. Sperrspannungen zu schützen. Die Freilaufdioden **D1**, **D2** können ferner eine Schutzfunktion für das Submodul **12** im Falle eines Defektes des Submoduls **12**, wie nachstehend im Einzelnen erläutert, erfüllen.

[0039] In ähnlicher Art weist der zweite Leistungshalbleiterzweig **24** eine Reihenschaltung aus einem dritten und einem vierten Leistungshalbleiterschalter **T3**, **T4** auf, denen jeweils eine Freilaufdiode **D3** bzw. **D4** antiparallel geschaltet ist. Die Freilaufdioden **D3**, **D4** erfüllen die gleiche Funktion wie die Freilaufdioden **D1**, **D2**.

[0040] Die Leistungshalbleiterschalter **T1–T4** sind steuerbare Schalter, die hier vorteilhafterweise durch IGBTs (Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode) gebildet sind. Prinzipiell könnten aber auch andere Transistoren, wie bspw. Feldeffekttransistoren, Gate-Turn-Off Thyristoren oder andere vergleichbare elektronische Bauelemente, eingesetzt werden. Die hier verwendeten Bezeichnungen Kollektor, Emitter und Gate-Elektrode beziehen sich auf die bevorzugte Verwendung von IGBTs als die Leistungshalbleiterschalter **T1–T4** der Brückenschaltung **21**, wobei für den Fachmann die entsprechenden Bezeichnungen für Anschlüsse oder Elektroden anderer vergleichbarer Halbleiterbauelemente ohne weiteres geläufig sind.

[0041] Wie aus **Fig. 2a** ersichtlich, ist der Emitter des ersten Leistungshalbleiterschalters **T1** mit dem Kollektor des zweiten Leistungshalbleiterschalters **T2** verbunden, wobei der Verbindungspunkt einen ersten Wechselspannungsanschluss **28** des Submoduls **12** bildet, der wahlweise ein Eingangs- oder Ausgangsanschluss sein kann. Ebenso ist der Emitter des dritten Leistungshalbleiterschalters **T3** mit dem Kollektor des vierten Leistungshalbleiterschalters **T4**

verbunden, wobei der Verbindungspunkt einen zweiten Wechsellspannungsanschluss **29** des Submoduls **12** bildet, der wahlweise ein Eingangs- oder Ausgangsanschluss sein kann.

[0042] Zu den beiden parallel geschalteten Reihenschaltungen bzw. Leistungshalbleiterzweigen **23** ist der als Energiespeicher **22** dienende Kondensator C parallel geschaltet, der auch als Gleichspannungswischenkreiskondensator des Submoduls **12** bezeichnet werden kann. Die Gleichspannung u_{dc} an dem Kondensator C ist aufgrund der Schaltung der Freilaufdioden D1–D4 stets positiv und kann je nach Bemessung und Anwendung bspw. zwischen einigen hundert Volt und einigen kV betragen. Die Anschlussspannung zwischen den AC-Anschlüssen **28**, **29** des Submoduls **12** kann im Wesentlichen die Werte $-u_{dc}$, $+u_{dc}$ oder 0 annehmen. Die Gleichspannung u_{dc} an dem Kondensator C kann größer oder kleiner werden. Ein Strom kann durch das Submodul **12** in beide Richtungen, also von dem Anschluss **28** zu dem Anschluss **29** oder umgekehrt von dem Anschluss **29** zu dem Anschluss **28**, fließen.

[0043] Fig. 2b und Fig. 2c zeigen Submodule **12'**, **12''**, die gegenüber dem Submodul **12** nach Fig. 2a modifiziert sind. Die Submodule **12'**, **12''** sind hier durch unidirektionale Schaltermodule gebildet, bei denen der Strom im regulären Betrieb jeweils nur in eine Richtung zwischen den Anschlüssen **28**, **29** fließt.

[0044] Bezug nehmend auf Fig. 2b sind im Unterschied zu dem Submodul **12** nach Fig. 2a die Leistungshalbleiterschalter T1 und T4 auf einer Brückendiagonale der Brückenschaltung **21** hier weggelassen, so dass jeder Leistungshalbleiterzweig **23**, **24** eine Reihenschaltung aus einer Stromrichterdiode D1' bzw. D4' und einem Leistungshalbleiterschalter T2 bzw. T3 mit der hierzu antiparallelen Freilaufdiode D2 bzw. D3 aufweist. In anderen Worten sind die Kombinationen aus einem Leistungshalbleiterschalter T1 bzw. T4 mit zugehöriger antiparalleler Freilaufdiode D1 bzw. D4 auf einer Brückendiagonale durch Dioden D1' bzw. D4' ersetzt. Den vorhandenen Leistungshalbleiterschalter T2, T3 sind die antiparallelen Freilaufdioden D2 bzw. D3 zugeordnet.

[0045] Die Wechsellspannungsanschlüsse **28**, **29** des Submoduls **12'** sind an den Verbindungspunkten zwischen der ersten Diode D1' und dem zweiten Leistungshalbleiterschalter T2 in dem ersten Leistungshalbleiterzweig **23** sowie an dem Verbindungspunkt des dritten Leistungshalbleiterschalter T3 mit der vierten Diode D4' in dem zweiten Leistungshalbleiterzweig **24** definiert. Der Strom durch das Submodul **12'** fließt im regulären Betrieb immer in dieselbe, durch die Dioden D1' und D4' vorgegebene Richtung, nämlich von dem ersten Anschluss **28** zu dem zweiten Anschluss **29** gerichtet. Bei der Reihenschal-

tung der Submodule **12'** im Stromrichter **8** ist daher auf eine gleiche Stromflussrichtung in allen Submodulen zu achten. Die Anschlussspannung zwischen den Anschlüssen **28**, **29** des Submoduls **12'** kann im Wesentlichen die drei Werte $+u_{dc}$, $-u_{dc}$ und 0 annehmen, wobei u_{dc} die über dem Kondensator C, **22** anfallende Spannung ist.

[0046] Das in Fig. 2c dargestellte Submodul **12''** unterscheidet sich von dem in Fig. 2b dargestellten nur dadurch, dass hier die Brückendiagonalen vertauscht sind. Somit sind der zweite und der dritte Leistungshalbleiterschalter T2, T3 (mit zugehörigen Freilaufdioden D2, D3) durch Stromrichterioden D2', D3' ersetzt. Das Submodul **12''** ist ebenfalls ein unidirektionales Schaltermodul, bei dem der Stromfluss im regulären Betrieb nun durch die Dioden D2' und D3' festgelegt ist und von dem zweiten Submodul-Anschluss **29** zu dem ersten Submodul-Anschluss **28** verläuft. Im Übrigen gelten hier die Ausführungen zu dem Submodul **12'** entsprechend.

[0047] Wie bereits erwähnt, sind die Submodule **12**, **12'** und **12''** bevorzugterweise aus IGBTs aufgebaut, die in Modulbauweise oder sog. Flat-Pack-Bauweise gefertigt sind. Bei dieser Bauweise sind die mehreren IGBT- und antiparallelen Dioden-Chips auf einem Substrat ausgebildet und jeweils über Bonddrähte elektrisch mit einer modulinternen Verschienenung verbunden. Im Fehlerfall, bspw. einem Emitter-Kollektor-Kurzschluss eines IGBT-Chips, wird der Fehlerstrom dann evtl. nur über einen defekten Chip geführt, wodurch eine dauerhafte sichere Stromführung nicht mehr gewährleistet werden kann. Ggf. kann dies zur Ausbildung von Kurzschlussströmen sehr hoher Amplitude, die sogar über 100 kA betragen kann (im Vergleich zu einem normalen Betriebsstrom von bspw. 1–2 kA), und extrem hohen Stromdichten in den Bonddrähten des fehlerhaften Chips zur Folge haben. Die Bonddrähte können innerhalb von wenigen Mikrosekunden schmelzen oder abreißen und eine Lichtbogenbildung hervorrufen, die zu einer Explosion von Komponenten oder des gesamten Moduls führen kann. Die Explosion der IGBT- oder Dioden-Chips kann wiederum zur Folge haben, dass die Submodule **12**, **12'**, **12''** wechsel- oder gleichspannungsseitig in Leerlauf gelangen, wodurch der gesamte Stromrichter **8**, **9** funktionsunfähig wird. Die Explosion kann auch eine Kettenreaktion hervorrufen und viele Komponenten eines Systems beschädigen.

[0048] Um dies zu vermeiden, stellt die Erfindung eine Kurzschlusseinrichtung **30** bereit, die eingerichtet ist, um in einem Fehlerfall in dem Submodul **12**, **12'** bzw. **12''** einen dauerhaften, stabilen niederohmigen Kurzschlussfehlermodus des Submoduls **12**, **12'**, **12''** einzurichten, in dem ein Kurzschlussstrom durch das Submodul durch einen Bypasspfad unter Umgehung eines jeweiligen Leistungshalbleiterschalters T1–T4 fließen kann. Die Kurzschlusseinrichtung **30** ist nach-

folgend anhand der **Fig. 3** bis **Fig. 7** näher beschreiben.

[0049] Die Kurzschlusseinrichtung **30** gemäß der Erfindung umfasst ausgewählte der zu den Leistungshalbleiterschaltern antiparallelen Freilaufdioden des Umrichter-Submoduls, insbesondere wenigstens zwei ausgewählte der Freilaufdioden D1–D4 des Submoduls **12** (**Fig. 2a**) bzw. wenigstens eine ausgewählte der Freilaufdioden D2, D3 des Submoduls **12'** (**Fig. 2b**) bzw. D1, D4 des Submoduls **12''** (**Fig. 2c**). Hierzu sind die ausgewählten Freilaufdioden in Press-Pack-Bauweise gefertigt und derart ausgelegt, dass sie in einem Fehlerfall in dem jeweiligen Submodul **12**, **12'** bzw. **12''** infolge von Fehlerbedingungen durchlegieren und in der Lage sind, einen eventuellen Kurzschlussstrom zu übernehmen, und einen Teilpfad des Bypasspfades zwischen den AC-Anschlüssen des Submoduls bilden.

[0050] Zur Veranschaulichung der Funktionsweise der Kurzschlusseinrichtung **30** wird auf die **Fig. 3a–Fig. 3c** Bezug genommen, die vereinfachte Schaltpläne unterschiedlicher Ausführungsformen des Stromrichter-Submoduls **12** nach **Fig. 2a** unter Veranschaulichung verschiedener resultierender Bypasspfade zeigen. Wie bereits erwähnt, ist es erforderlich, dass wenigstens zwei ausgewählte der Freilaufdioden D1–D4 des Submoduls **12** nach **Fig. 2a** in Press-Pack-Bauweise gefertigt und hinsichtlich ihrer Sperrfähigkeit für eine Durchlegierung unter jeweiligen Fehlerbedingungen passend ausgelegt sind. Zu diesem Zweck können beliebige zwei der Freilaufdioden D1–D4 der Vollbrücke **21** ausgewählt werden, die nicht auf einer Brückendiagonale liegen, bspw. die Dioden D1 und D2, oder D3 und D4, oder D1 und D3, oder aber D2 und D4. Falls erwünscht oder erforderlich, können aber auch alle Freilaufdioden in Press-Pack-Bauweise gefertigt sein.

[0051] In **Fig. 3a** sind z.B. die beiden oberen Freilaufdioden D1, D3, die mit dem ersten Gleichspannungsknoten **26** verbunden sind, in Press-Pack-Bauweise eingerichtet und für eine geringere Sperrfähigkeit als die Freilaufdioden D2, D4 und die Halbleiterschalter (IGBTs) T1–T4 ausgelegt. Die Freilaufdioden D2, D4 und die Leistungshalbleiterschalter T1–T4 können kostengünstig in Modulbauweise ausgebildet sein, obwohl die Press-Pack-Bauweise für sie generell auch möglich ist.

[0052] **Fig. 3a** veranschaulicht auch die Ansteuerereinheit **31**, die zur Ansteuerung der IGBT-Schalter T1–T4 der Brückenschaltung **21** vorgesehen ist. Die Ansteuerereinheit **31** kann aber auch einen Teil einer übergeordneten Steuerung des Stromrichters **4** bilden. Die Ansteuerereinheit **31** kann ferner eine hier nur schematisch dargestellte Erkennungseinrichtung bzw. -schaltung **32** aufweisen, die eingerichtet ist, um einen Defekt eines der Leistungshalbleiterschalter

ter T1–T4 in der Brückenschaltung **21** oder seiner Ansteuerung zu erkennen, der die Einleitung des Kurzschlussfehlermodus erfordert. Hierzu kann die Erkennungsschaltung **32** bspw. die Ströme oder Spannungen der einzelnen Leistungshalbleiter T1–T4 des Submoduls **12** überwachen.

[0053] Beispielhaft wird nachfolgend ein typischer Fehlerfall für ein Submodul **12** entsprechend **Fig. 3a** erläutert. Die Schalter **21** (T1 bis T4) und die Freilaufdioden D2 und D4 sind in Modulbauweise und die Freilaufdioden D1 und D3 in Presspackbauweise implementiert, wobei die Dioden D1 und D3 mit einer verringerten Sperrfähigkeit ausgelegt sind, zum Zweck der erfindungsgemäßen Erzeugung eines Bypasspfades im entsprechenden Fehlerfall. Das Submodul befindet sich innerhalb eines regulären Betriebsmodus innerhalb eines Stromrichters gemäß **Fig. 1**, woraufhin beim Abschalten des Schalters T2 ein Abschaltfehler auftritt, der einen internen Kurzschluss im Schalter T2 zur Folge hat. Mit dem nachfolgenden Einschalten von T1 bildet sich ein Kurzschlussstrom aus, der durch die Erkennungsschaltung **32** erkannt wird, welche daraufhin T1 wieder abschaltet. Die Schalter T3 bzw. T4 werden ebenfalls ausgeschaltet.

[0054] Das Submodul befindet sich daraufhin in einer Pulssperre, d.h. alle Zündbefehle der aktiven Schalter sind gesperrt. Der Stromrichter nach **Fig. 1** wird daraufhin weiter betrieben, wobei die Leistungshalbleiterschalter der beschriebenen fehlerbehafteten H-Brückenschaltung ausgeschaltet bleiben. Im weiteren Betrieb wird dem Submodul **12** von der Wechselspannungsseite aus über die Anschlüsse **28**, **29** weiterhin ein Strom eingeprägt. Der durchlegierte Schalter T2 erzeugt einen Bypasspfad über D4 für die positive Stromrichtung des Stromrichters durch diese Brücke. Bei Stromumkehr im entsprechenden Arm **11a–11c** des Stromrichters **4** wird ein Strompfad über D3 durch den Kondensator C und den durchlegierten Schalter T2 geführt, der den Zwischenkreiskondensator C **22** des Submoduls kontinuierlich auflädt. Dadurch steigt die Spannung u_{dc} des Kondensators C **22** weiter an, bis sie die maximale Nennbetriebsspannung überschreitet. Die Freilaufdioden D1 und D3 sind nun derart ausgelegt, dass sie bei einer bestimmten Überspannung oberhalb der maximalen Nennbetriebsspannung durchlegieren.

[0055] Übersteigt die Zwischenkreisspannung die Grenze der Sperrfähigkeit einer der Dioden D1, D3 führt das zum Durchlegieren der jeweiligen Presspackdiode. Im Fall, dass D1 durchlegiert, wird ein Zwischenkreiskurzschluss über D1 und T2 erzeugt, der das gezielte Durchlegieren von Diode D3 vorerst verhindert. Der Bypasspfad ist für die positive Stromrichtung solange über den defekten aktiven Schalter T2 gegeben, bis dessen Bonddrahtverbindungen endgültig aufschmelzen bzw. öffnen. Darauf-

hin entsteht für die positive Stromrichtung über D1 und D4 wieder ein Pfad, der den Kondensator solange lädt, bis die Zwischenkreisspannung die Sperrfähigkeit von D3 überschreitet und diese ebenfalls zerstört und den stabilen Bypasspfad des Submoduls **12** über die durchlegierten Presspackdioden D1 und D3 herstellt. Für den Fall, dass D3 initial vor D1 zerstört wurde, lädt der negative Strom über die durchlegierten Bauelemente D3 und T2 den Kondensator solange auf, bis D1 durch Überschreiten der Sperrfähigkeit zerstört wird und in der Folge den endgültigen Bypasspfad des Moduls über D1 und D3 erzeugt.

[0056] Für Ereignisse, wie den direkten Zwischenkreiskurzschluss innerhalb **23** oder **24**, die einen Fehlerzustand von aktiven Schaltern ohne niederohmigen Kurzschluss zur Folge haben, bedeutet das einen Strompfad über die entsprechende Freilaufdiode. Dieser Strompfad ermöglicht für mindestens eine Stromrichtung die Aufladung des Kondensators C **22** zur gezielten Zerstörung der Dioden zur Bildung des Bypasses.

[0057] Die Durchlegierung hat zur Folge, dass sich ein letztlich stabiler niederohmiger Kurzschluss durch die Freilaufdioden D1 und D3 ausbildet. Wie in **Fig. 3a** veranschaulicht, entsteht ein langfristiger, stabiler niederohmiger Kurzschlusspfad **33**, der zwischen dem ersten und dem zweiten AC-Anschluss **28**, **29** über die beiden durchlegierten Freilaufdioden D1, D3 verläuft und in dem ein Kurzschlussstrom in Höhe des Betriebsstroms dauerhaft fließen kann. Der Kurzschlussstrom kann durch den Kurzschlusspfad **33**, von dem die durchlegierten Freilaufdioden D1, D3 einen Teilpfad bilden, in beide Richtungen fließen, wie in **Fig. 3a** anhand des gestrichelten Doppelpfeils angezeigt.

[0058] Analog zu oben beschriebenem Beispiel gewährleistet die erfindungsgemäße Ausführung der Kurzschlusseinrichtung, dass in den verschiedenen Fehlerfällen letztlich ein Bypasspfad ausgebildet wird und die Brückenschaltung nicht in Leerlauf, d.h. geöffnetem Strompfad des Stromrichterarms übergehen kann. Selbst wenn ein dauerhafter Fehlerstrom durch einen defekten Leistungshalbleiterschalter T1–T4 oder ein Nichtbeherrschen eines initialen Brückenkurzschlusses oder eine Zerstörung der Leistungshalbleiterschalter T1–T4 nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann, kann dies in Kauf genommen werden, wenn alle vier Freilaufdioden D1–D4 als Press-Packs ausgeführt sind. Dann kann immer ein stabiler niederohmiger Kurzschlusspfad zwischen den AC-Anschlüssen **28**, **29** garantiert werden. Das Submodul **12** kann in dem Kurzschlussfehlermodus bis zur nächsten planmäßigen Wartungsmaßnahme weiterbetrieben werden, was auch einen Weiterbetrieb des gesamten Stromrichters **4**, **8** (**Fig. 1**) ermöglicht.

[0059] Anstelle der in **Fig. 3a** oberen Freilaufdioden D1, D3 könnten auch die unteren Freilaufdioden D2, D4, die mit dem zweiten Gleichspannungsknoten **27** verbunden sind, in Press-Pack-Bauweise ausgebildet und für eine geringere Sperrfähigkeit als die übrigen Komponenten des Submoduls **12** ausgelegt sein, um ab einer gewissen Überspannung durchzulegieren. Die Freilaufdioden D2, D4 bilden dann im Fehlerfall einen Teil des Bypasspfads **33**.

[0060] In den **Fig. 3b** und **Fig. 3c** sind entsprechende Schaltpläne ähnlich **Fig. 3a** dargestellt, die Ausführungsformen des Stromrichter-Submoduls **12** nach **Fig. 2a** unter Veranschaulichung der resultierenden Bypasspfade **33** zeigen, die sich ergeben, wenn wahlweise entweder die Freilaufdioden D1, D2 in dem ersten Leistungshalbleiterzweig **23** oder die Freilaufdioden D3, D4 in dem zweiten Leistungshalbleiterzweig **24** erfindungsgemäß in Press-Pack-Bauweise ausgebildet und zum Durchlegieren im Fehlerfall ausgelegt werden. Wie ersichtlich, ergeben sich jeweils zwei verschiedene Kurzschlusspfade **33** für den Kurzschlussstrom für unterschiedliche Stromrichtungen.

[0061] In **Fig. 3b** fließt der Kurzschlussstrom durch einen Kurzschlusspfad **33a**, wie mit einem gestrichelten Pfeil angezeigt, von dem ersten AC-Anschluss **28** über die durchlegierte Freilaufdiode D2, weiter über die Freilaufdiode D4 zu dem zweiten AC-Anschluss **29** des Submoduls **12**. Ferner fließt in **Fig. 3b** ein Kurzschlussstrom in umgekehrter Richtung durch einen Kurzschlusspfad **33b**, der, wie mit einem gepunkteten Pfeil angezeigt, von dem zweiten AC-Anschluss **29** über die Freilaufdiode D3, weiter über die durchlegierte Freilaufdiode D1 zu dem ersten AC-Anschluss **28** des Submoduls **12** führt. Die Freilaufdioden D3 und D4 sollten für einen eventuell kurzzeitig überhöhten Kurzschlussstrom und für höhere Sperrfähigkeit als die Freilaufdioden D1, D2 ausgelegt sein. Die Durchbruchspannung der Freilaufdioden D1, D2 sollte niedriger als die der IGBT-Schalter T1–T4 und der anderen Freilaufdioden D3, D4 gewählt werden.

[0062] In **Fig. 3c** fließt der Kurzschlussstrom durch einen Kurzschlusspfad **33a**, wie mit einem gestrichelten Pfeil angezeigt, von dem ersten AC-Anschluss **28** über die Freilaufdiode D1, weiter über die durchlegierte Freilaufdiode D3 zu dem zweiten AC-Anschluss **29** des Submoduls **12**. Ferner fließt in **Fig. 3c** ein Kurzschlussstrom in umgekehrter Richtung durch einen Kurzschlusspfad **33b**, der, wie mit einem gepunkteten Pfeil angezeigt, von dem zweiten AC-Anschluss **29** über die durchlegierte Freilaufdiode D4, weiter über die Freilaufdiode D2 zu dem ersten AC-Anschluss **28** des Submoduls **12** führt. Die Freilaufdioden D1 und D2 sollten für einen eventuell kurzzeitig überhöhten Kurzschlussstrom und für höhere Sperrfähigkeit als die Freilaufdioden D3, D4 ausgelegt sein. Die Durchbruchspannung der Freilaufdioden D3, D4

sollte niedriger als die der IGBT-Schalter T1–T4 und der anderen Freilaufdioden D1, D2 gewählt werden.

[0063] Fig. 4a und Fig. 4b zeigen Schaltpläne unterschiedlicher Ausführungsformen des unidirektionalen Stromrichter-Submoduls 12' nach Fig. 2b unter Veranschaulichung verschiedener resultierender Bypasspfade 33. Da die asymmetrische Vollbrücke 21 des Submoduls 12' nur einen Stromfluss in einer einzigen Richtung benötigt bzw. unterstützt, muss hier nur eine der Freilaufdioden D2 bzw. D3, die zu den Leistungshalbleiterschaltern T2, T3 antiparallel geschaltet sind, erfindungsgemäß in Press-Pack-Bauweise ausgebildet und zum Durchlegieren im Fehlerfall ausgelegt werden. Wie aus Fig. 4a ersichtlich, ergibt sich, wenn die Freilaufdiode D2 durchlegiert, ein Kurzschlusspfad 33, wie mit einem gestrichelten Pfeil angezeigt, von dem ersten AC-Anschluss 28 über die durchlegierte Freilaufdiode D2, weiter über die Diode D4' zu dem zweiten AC-Anschluss 29 des Submoduls 12. Die Durchbruchspannung der Freilaufdiode D2 sollte niedriger als die der IGBT-Schalter T1–T4 und der anderen Dioden D1', D3 und D4' gewählt werden.

[0064] In Fig. 4b fließt ein Kurzschlussstrom in gleicher Richtung durch einen Kurzschlusspfad 33, der, wie mit einem gestrichelten Pfeil angezeigt, von dem ersten AC-Anschluss 28 über die Diode D1', weiter über die durchlegierte Freilaufdiode D3 zu dem zweiten AC-Anschluss 29 des Submoduls 12 führt. Die Diode D1' sollte hier entsprechend kurzschlussfest und für höhere Sperrfähigkeit als die Freilaufdiode D3 ausgelegt sein. Die Durchbruchspannung der Freilaufdiode D3 sollte niedriger als die der IGBT-Schalter T1–T4 und der anderen Dioden D1', D2 und D4' gewählt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Freilaufdiode D2 auch derart bemessen, dass sie durch einen Strom, dessen Stärke kleiner oder gleich dem normalen Betriebsstrom ist, zum Durchlegieren gebracht wird.

[0065] Es versteht sich, dass in dem Submodul 12' nach Fig. 2c entsprechend eine der Freilaufdioden D1 bzw. D4 zum Durchlegieren gebracht wird, wobei sich die gleichen Kurzschlusspfade 33 wie in den Fig. 4a und Fig. 4b jedoch mit umgekehrter Fließrichtung des Kurzschlussstromes ergeben.

[0066] In den zuvor erwähnten Ausführungsformen nach Fig. 4a und Fig. 4b bzw. analog zu Fig. 2c sind vorzugsweise alle Leistungshalbleiterschalter, die erste und die zweite Diode in Modulbauweise gefertigt, während lediglich eine einzige der Freilaufdioden in Press-Pack-Bauweise gefertigt ist. Dadurch können die Kosten minimiert werden. Alternativ können alle beiden Freilaufdioden in Press-Pack-Bauweise gefertigt sein.

[0067] In den Fig. 5 und Fig. 6 sind modifizierte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Submoduls

12' und der Kurzschlusseinrichtung 31 für diese in einer stark vereinfachten Schaltplandarstellung ähnlich der Fig. 2b bzw. Fig. 4a veranschaulicht. Sobald Übereinstimmung in Form und/oder Funktion besteht, wird unter Zugrundelegung gleicher Bezugszeichen auf die vorstehende Beschreibung verwiesen. Es sollte beachtet werden, dass die Weiterbildungen gleichermaßen auch auf das Submodul 12 oder 12'' nach Fig. 2a bzw. Fig. 2c angewandt werden können.

[0068] Die in Fig. 5 gezeigte Ausführungsform unterscheidet sich von der in den Fig. 2b und Fig. 4a gezeigten lediglich darin, dass hier die Durchlegierung der wenigstens einen zu einem Leistungshalbleiterschalter T1–T4 antiparallelen, ausgewählten Freilaufdiode D1–D4 nicht oder nicht primär durch eine Überspannung über dem Kondensator C 22 bewirkt wird. Vielmehr ist hier für die Kurzschlusseinrichtung 31 zusätzlich eine Temperaturbeeinflussungseinrichtung 34 vorgesehen, die eingerichtet ist, um eine Temperaturerhöhung an oder in der Nähe der wenigstens einen ausgewählten Freilaufdiode D1–D4 zu bewirken, um durch eine Übertemperatur eine Durchschmelzung oder Durchlegierung der Freilaufdiode herbeizuführen. In Fig. 5 ist die Temperaturbeeinflussungseinrichtung 34 lediglich anhand eines entsprechenden Funktionsblocks 34 veranschaulicht, der wahlweise eine Heizeinrichtung, z.B. eine Elektro- bzw. Widerstandsheizung, eine fluidische Heizung oder dgl., die zur direkten Beheizung der jeweiligen Freilaufdioden D1–D4 verwendet werden kann, oder eine Kühleinrichtung repräsentieren kann, die bspw. fluidbetätigt ist und deren Kühlleistung im Fehlerfall verringert, z.B. heruntergeregelt werden kann.

[0069] Die Steuerung oder Regelung der Temperaturbeeinflussungseinrichtung 34 kann unter der Kontrolle durch die Ansteuereinheit 31 als Reaktion auf die Erkennung eines Fehlers in dem Submodul 12' (bzw. 12 oder 12'') erfolgen. Diese Ausführungsform eignet sich insbesondere für weniger zeitkritische Anwendungen, bei denen die Zeit bis zur Durchlegierung der wenigstens einen Freilaufdiode mehrere Sekunden oder Minuten betragen kann. Gegebenenfalls kann hier das Submodul 12, 12' bzw. 12'' vorübergehend so betrieben werden, dass durch das Submodul vorübergehend kein Strom fließt, oder aber der Stromrichter 4, 8 wird vorübergehend abgeschaltet, bis die Durchlegierung eintritt.

[0070] Fig. 6 zeigt einen schematischen Schaltplan einer weiteren Ausführungsform des Stromrichter-Submoduls 12', das eine getriggerte Funkstrecke 36 für die Kurzschlusseinrichtung 31 verwendet. Es ist ein zusätzlicher Zweig 37 parallel zu dem Kondensator C 22 und der Brückenschaltung 21 geschaltet, in dem die getriggerte Funkenstrecke 36 mit zwei voneinander räumlich entfernten Elektroden 38, 39 angeordnet ist. In einem Entladungsraum 41 zwischen den

beiden Elektroden **38, 39** befindet sich ein Gas, z.B. Luft. Wird die Funkenstrecke **36** durch einen Triggerimpuls, z.B. einen Hochspannungsimpuls, gezündet, so führt das entstehende elektrische Feld zu einer Ionisation des in dem Entladungsraum **41** befindlichen Gases, so dass dieses leitfähig wird. Die Funkenstrecke **36** wird aufgrund der Stoßionisation innerhalb von Bruchteilen einer Mikrosekunde durch einen Funken kurzgeschlossen.

Kurzschlusspfad **33** zwischen einem ersten und einem zweiten Wechsellspannungsanschluss **28, 29** des Submoduls **12** schafft.

[0071] Die Funkenstrecke **36** wird im Falle eines Fehlers in dem Submodul **12'** durch die Ansteuer-einheit **31** oder eine gesonderte Triggereinrichtung **42** gezündet. Der Kondensator C **22** kann sich dadurch schnell über den Zweig **37** entladen. Sobald die Spannung des Kondensator C **22** daraufhin umschwingt, die an dem Kondensator anliegende Spannung also leicht negativ wird, werden die Freilaufdioden D2, D3 leitend. Dann fließt durch die Freilaufdioden D2, D3 ein entsprechender Strom, der so hoch ist, dass er wenigstens eine ausgewählte von diesen, die für eine geringere Stoßstromfestigkeit ausgelegt ist, durchlegieren lässt, so dass der Kurzschlusspfad **33** geschaffen wird. Selbstverständlich kann die Funkenstrecke **36** auch bei den anderen hier veranschaulichten Submodulen **12** und **12''** und sonstigen vergleichbaren Stromrichter-Submodulen verwendet werden.

[0072] In einer weiteren, hier nicht näher dargestellten Ausführungsform können alle Elemente, die zur Bildung des stabilen Kurzschlusspfades **33, 33a, 33b** beitragen, in Form von Press-Pack-Halbleiterbauelementen gebildet und zum Durchlegieren ausgelegt sein. Dies gilt insbesondere für die Dioden D1', D4' in **Fig. 2b** oder D2' und D3' in **Fig. 2c**, und insbesondere ebenso für die Ausführungsform mit Funkenstrecke in **Fig. 6**. Die hohe Gehäusebruchfestigkeit und Kurzschlussstabilität von Press-Pack-Dioden kommt diesen Elementen zugute.

[0073] Es ist eine Kurzschlusseinrichtung für ein Submodul **12** für einen Stromrichter **8, 9** geschaffen, das eine Brückenschaltung **21** mit wenigstens einem Leistungshalbleiterzweig **23, 24**, der zwischen einem ersten und einem zweiten Gleichspannungsknoten **26, 27** verläuft und in dem wenigstens ein ansteuerbarer Leistungshalbleiterschalter T1–T4 angeordnet ist, zu dem eine Freilaufdiode D1–D4 antiparallel geschaltet ist, und einen Kondensator C **22** aufweist, der parallel zu der Brückenschaltung **21** angeschlossen ist. Die Kurzschlusseinrichtung **30** weist wenigstens eine ausgewählte der zu den Leistungshalbleiterschaltern T1–T4 der Brückenschaltung **21** antiparallelen Freilaufdioden D1–D4 auf, wobei die wenigstens eine ausgewählte Freilaufdiode D1–D4 in Press-Pack-Bauweise gefertigt und derart ausgelegt ist, dass sie in einem Fehlerfall in dem Submodul **12** infolge von Fehlerbedingungen durchlegiert und einen dauerhaften, stabilen niederohmigen

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 10333798 A1 [0005]
- DE 10323220 A1 [0006]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- IEEE 1993 [0022]

Patentansprüche

1. Submodul für einen Stromrichter (8), mit einer Brückenschaltung (21), die wenigstens einen Leistungshalbleiterzweig (23, 24) aufweist, der zwischen einem ersten und einem zweiten Gleichspannungsknoten (26, 27) verläuft und in dem wenigstens ein ansteuerbarer Leistungshalbleiterschalter (T1–T4) angeordnet ist, zu dem eine Freilaufdiode (D1–D4) antiparallel geschaltet ist; mit einem Kondensator (C 22), der parallel zu der Brückenschaltung (21) zwischen dem ersten und dem zweiten Gleichspannungsknoten (26, 27) angeschlossen ist; und mit einer Kurzschlusseinrichtung (30), die wenigstens eine ausgewählte der zu den Leistungshalbleiterschaltern (T1–T4) der Brückenschaltung (21) antiparallelen Freilaufdioden (D1–D4) enthält, wobei die wenigstens eine ausgewählte Freilaufdiode (D1–D4) in Press-Pack-Bauweise gefertigt und derart ausgelegt ist, dass sie in einem Fehlerfall in dem Submodul (12, 12', 12'') infolge von Fehlerbedingungen durchlegiert und einen dauerhaften, stabilen niederohmigen Kurzschlusspfad (33) zwischen einem ersten und einem zweiten Wechselspannungsanschluss (28, 29) des Submoduls (12, 12', 12'') schafft.

2. Submodul nach Anspruch 1, wobei die Brückenschaltung (21) eine Vollbrückenschaltung mit zwei parallelen Leistungshalbleiterzweigen (23, 24) ist, die zwischen dem ersten und dem zweiten Gleichspannungsknoten (26, 27) angeschlossen sind und jeweils wenigstens einen Leistungshalbleiterschalter (T1–T4) mit jeweils einer antiparallelen Freilaufdiode (D1–D4) aufweisen.

3. Submodul nach Anspruch 2, wobei die Leistungshalbleiterzweige (23, 24) jeweils zwei in Reihe verbundene Leistungshalbleiterschalter (T1, T2; T3, T4) aufweisen, denen jeweils eine antiparallele Freilaufdiode (D1, D2; D3, D4) zugeordnet ist und deren Verbindungspunkte den ersten bzw. zweiten Wechselspannungsanschluss (28, 29) des Submoduls (12, 12', 12'') bilden.

4. Submodul nach Anspruch 3, wobei alle Leistungshalbleiterschalter (T1–T4) in Modulbauweise gefertigt sind, während ausgewählte Freilaufdioden (D1–D4) in Press-Pack-Bauweise gefertigt sind.

5. Submodul nach Anspruch 4, wobei die ausgewählten Freilaufdioden (D1–D4) genau zwei Freilaufdioden sind, die entweder in einem einzigen der Leistungshalbleiterzweige (23, 24) angeordnet sind oder die mit einem einzigen von dem ersten und dem zweiten Gleichspannungsknoten (26, 27) verbunden sind.

6. Submodul nach Anspruch 4, wobei alle Freilaufdioden (D1–D4) in Press-Pack-Bauweise gefertigt sind.

7. Submodul nach Anspruch 2, wobei die Brückenschaltung (21) einen ersten Leistungshalbleiterzweig (23) mit einer Reihenschaltung aus einem ersten Leistungshalbleiterschalter (T1; T2) und einer ersten Diode (D2'; D1') sowie einen zweiten Leistungshalbleiterzweig (24) mit einer Reihenschaltung aus einem zweiten Leistungshalbleiterschalter (T4; T3) und einer zweiten Diode (D3'; D4') aufweist, wobei die erste und die zweite Diode (D1'–D4') in einer Brückendiagonale der Brückenschaltung (21) angeordnet sind und jedem Leistungshalbleiterschalter (T1–T4) eine antiparallele Freilaufdiode (D1–D4) zugeordnet ist, wobei ein Verbindungspunkt zwischen dem ersten Leistungshalbleiterschalter (T1; T2) und der ersten Diode (D2'; D1') den ersten Wechselspannungsanschluss (28) des Submoduls (12', 12'') bildet und ein Verbindungspunkt zwischen dem zweiten Leistungshalbleiterschalter (T4; T3) und der zweiten Diode (D3'; D4') den zweiten Wechselspannungsanschluss (29) des Submoduls bildet.

8. Submodul nach Anspruch 7, wobei alle Leistungshalbleiterschalter (T1–T4), die erste und die zweite Diode (D1'–D4') in Modulbauweise gefertigt sind, während eine einzige der Freilaufdioden (D1–D4) in Press-Pack-Bauweise gefertigt ist.

9. Submodul nach Anspruch 7, wobei alle Leistungshalbleiterschalter (T1–T4), die erste und die zweite Diode (D1'–D4') in Modulbauweise gefertigt sind, während alle Freilaufdioden (D1–D4) in Press-Pack-Bauweise gefertigt sind.

10. Submodul nach Anspruch 7, wobei alle Leistungshalbleiterschalter (T1–T4) in Modulbauweise gefertigt sind, während die erste und die zweite Diode (D1'–D4') und alle Freilaufdioden (D1–D4) in Press-Pack-Bauweise gefertigt sind.

11. Submodul nach einem der Ansprüche 4–9, wobei der Kurzschlusspfad (33) außer der oder den durchlegierten Freilaufdioden (D1–D4) und, sofern vorhanden, der ersten und/oder zweiten Diode (D1'–D4') keine weiteren elektronischen Bauelemente aufweist.

12. Submodul nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zu den Betriebsbedingungen, die eine Durchlegierung der wenigstens einen Freilaufdiode (D1–D4) zur Folge haben, wenigstens entweder eine Überspannung an der wenigstens einen ausgewählten Freilaufdiode (D1–D4) und/oder eine Über-temperatur an der Freilaufdiode (D1–D4) und/oder ein Fehlerstrom durch die Freilaufdiode (D1–D4) gehören.

13. Submodul nach Anspruch 12, das ferner eine Ansteuereinheit (31) aufweist, die eingerichtet ist, um nach Erkennung eines Fehlerfalls alle Leistungshalbleiterschalter (T1–T4) des Submoduls auszuschalten

bzw. ausgeschaltet zu lassen, um ein weiteres Aufladen des Kondensators (C 22) bis auf eine Spannung zu bewirken, die die Überspannung an der wenigstens einen ausgewählten Freilaufdiode (D1–D4) ergibt.

den Kurzschlusspfad (33) in dem Submodul zu bewirken.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

14. Submodul nach Anspruch 12, das eine Temperaturbeeinflussungseinrichtung (34) aufweist, die eingerichtet ist, um in einem Fehlerfall in dem Submodul (12, 12', 12'') eine Temperaturerhöhung an oder in der Nähe der wenigstens einen Freilaufdiode (D1–D4) zu bewirken.

15. Submodul nach Anspruch 12, das eine triggerbare Funkenstrecke (36) aufweist, die in einem Zweig (37) parallel zu der Brückenschaltung (21) zwischen dem ersten und dem zweiten Gleichspannungsknoten (26, 27) angeschlossen ist, wobei die Funkenstrecke (36) im getriggerten Zustand einen Fehlerstrom durch das Submodul (12, 12', 12'') mit einem Umschwingstrom bewirkt, der das Durchlegieren der wenigstens einen Freilaufdiode (D1–D4) bewirkt.

16. Submodul nach Anspruch 14 oder 15, das ferner eine Ansteuereinheit (31) aufweist, die eingerichtet ist, um nach Erkennung eines Fehlerfalls alle Leistungshalbleiterschalter (T1–T4) des Submoduls auszuschalten bzw. ausgeschaltet zu lassen und die Temperaturbeeinflussungseinrichtung (34) anzusteuern und/oder die Funkenstrecke (36) zu triggern.

17. Stromrichter zur Umwandlung einer Wechselspannung in eine Gleichspannung oder umgekehrt mit wenigstens einem Phasenzweig (11a–11c), der zwei oder mehrere in Reihe geschaltete Submodule (12, 12', 12'') nach einem beliebigen der vorhergehenden Ansprüche aufweist, wobei ein erster Wechselspannungsanschluss (28) wenigstens eines Submoduls mit einem zweiten Wechselspannungsanschluss (29) eines benachbarten Submoduls elektrisch verbunden ist und wobei in jedem Phasenzweig (11a–11c) ein Stromrichter-Wechselspannungsanschluss (13a–13c) abgegriffen ist.

18. Stromrichter nach Anspruch 17, der ferner eine Erkennungsschaltung (32), die eingerichtet ist, um einen Defekt wenigstens eines Leistungshalbleiterschalters (T1–T4) oder seiner Ansteuerung in einem beliebigen der Submodule (12, 12', 12'') des Stromrichters (8, 9) zu erkennen, und eine Steuereinrichtung mit der Ansteuereinheit (31) aufweist, die eingerichtet ist, um nach Erkennung eines derartigen Defektes alle Leistungshalbleiterschalter (T1–T4) des Submoduls auszuschalten bzw. ausgeschaltet zu lassen und gegebenenfalls weitere Maßnahmen zu ergreifen, die zu einem Durchlegieren der erfindungsgemäß eingebauten Press-Pack-Dioden führen, um

Anhängende Zeichnungen

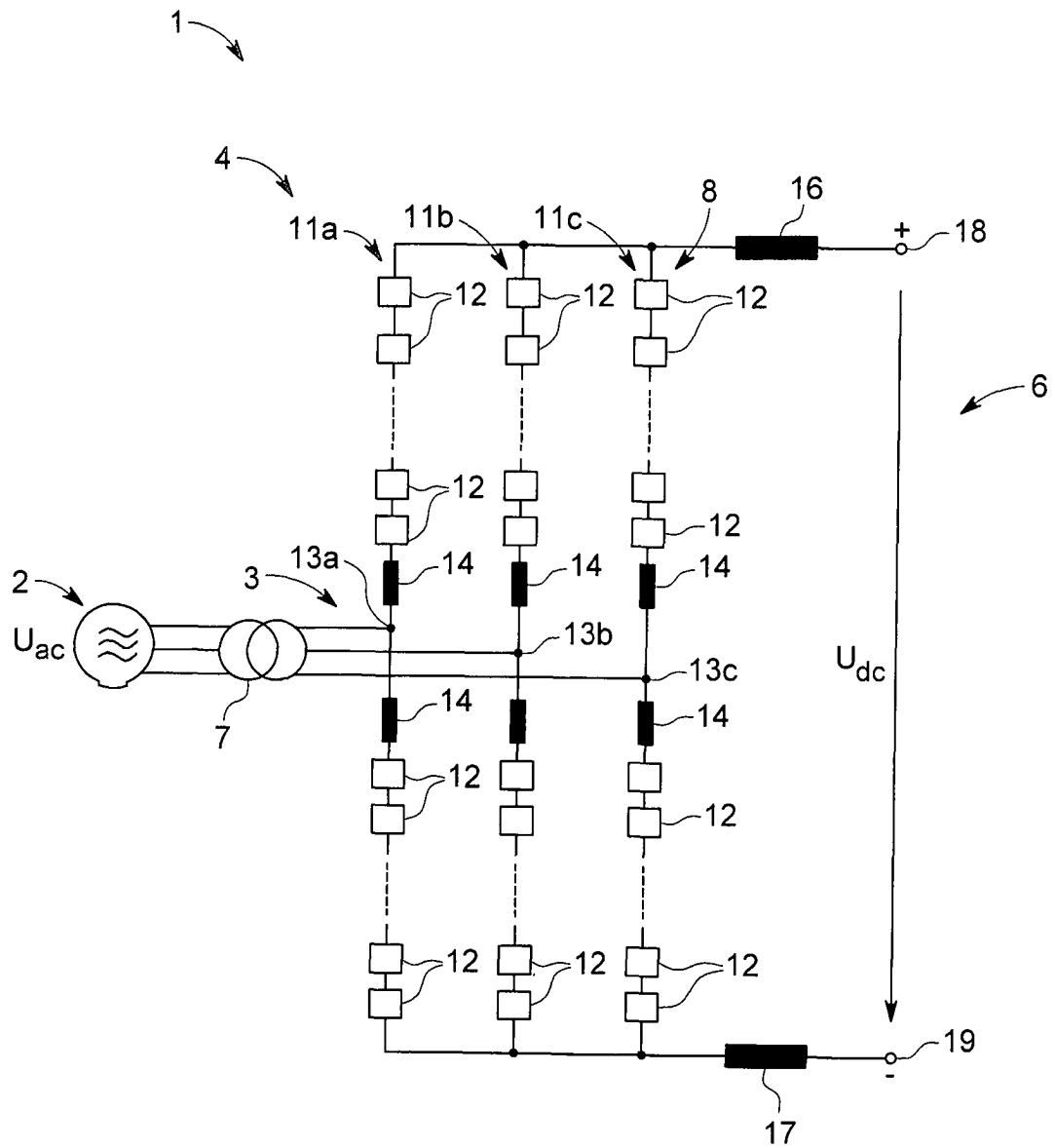


FIG. 1

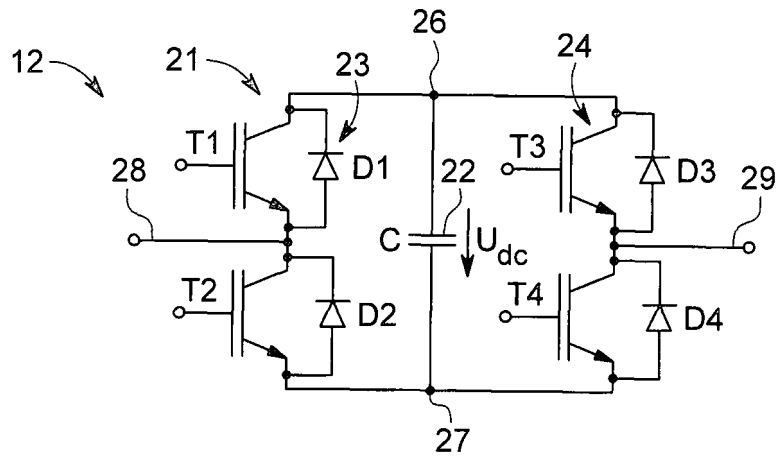


FIG. 2A

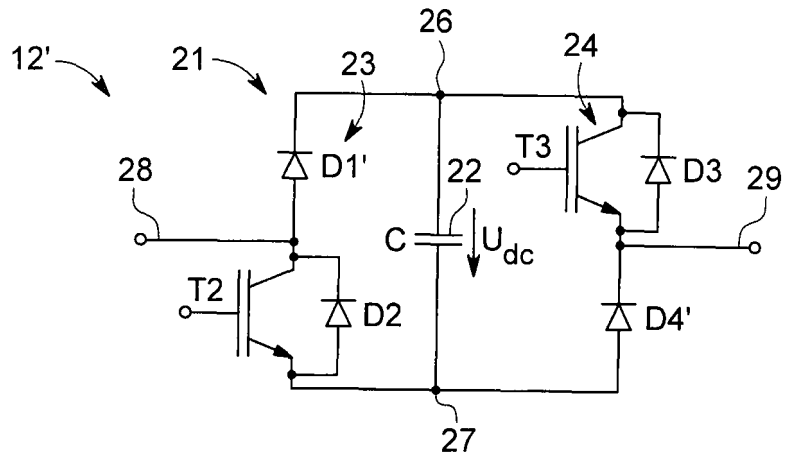


FIG. 2B

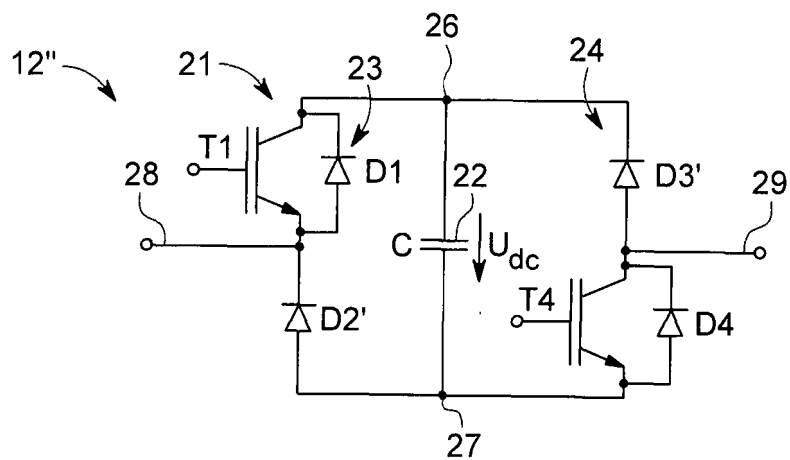


FIG. 2C

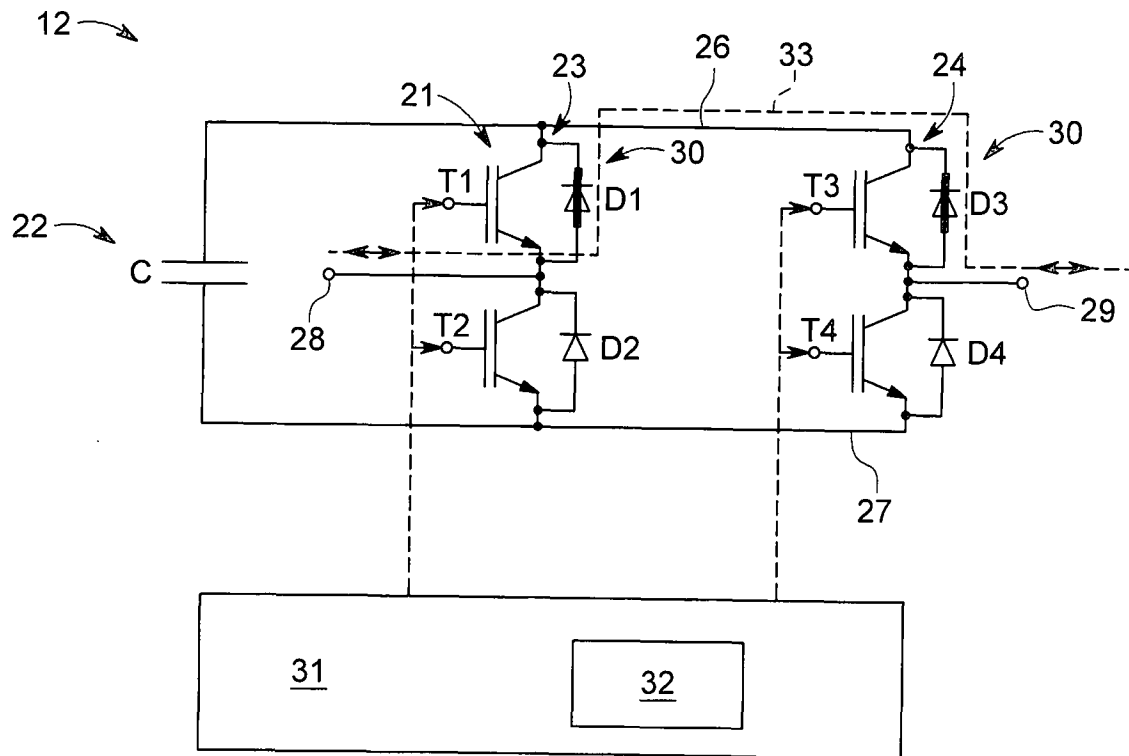


FIG. 3A

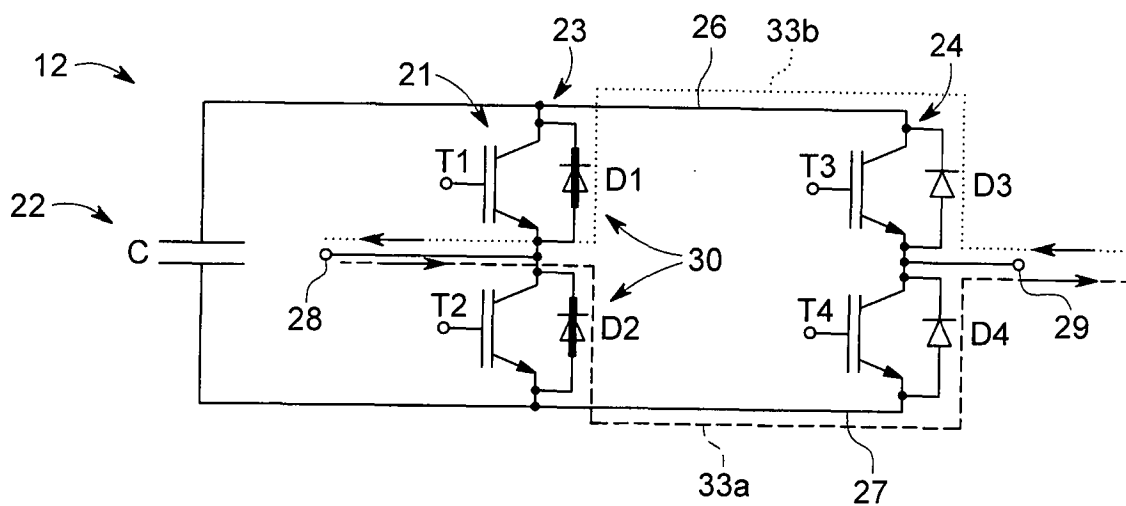


FIG. 3B

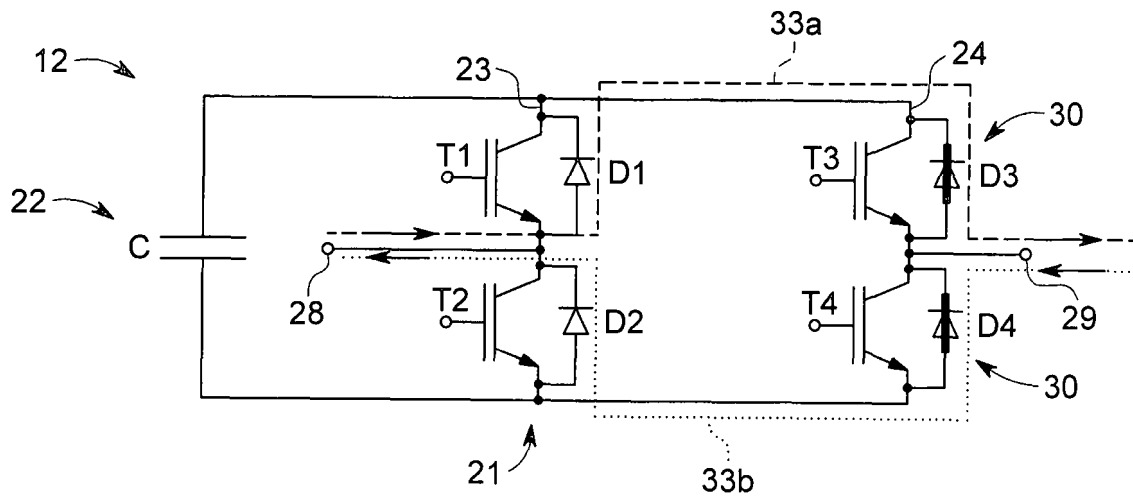


FIG. 3C

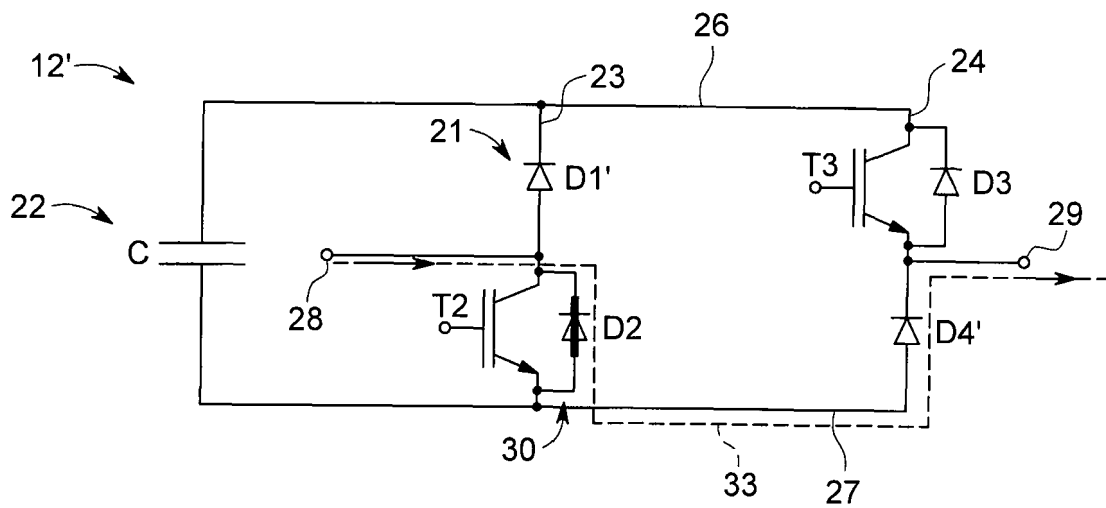


FIG. 4A

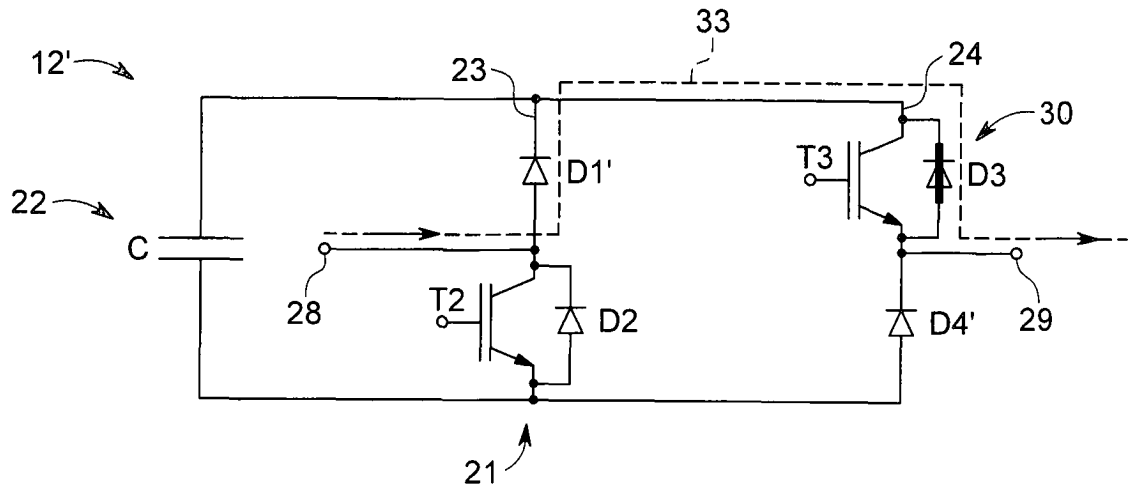


FIG. 4B

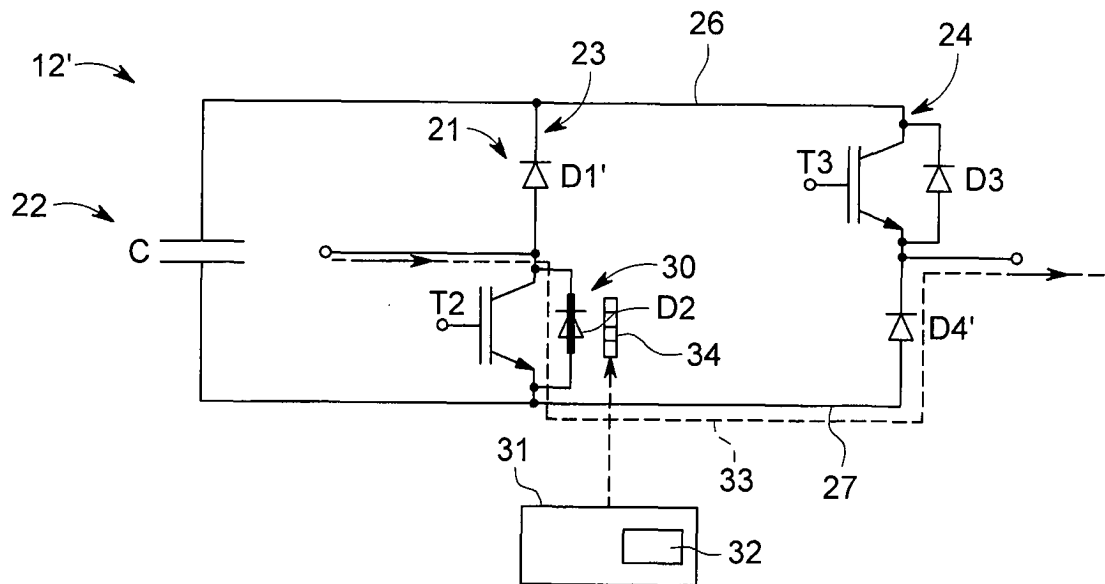


FIG. 5

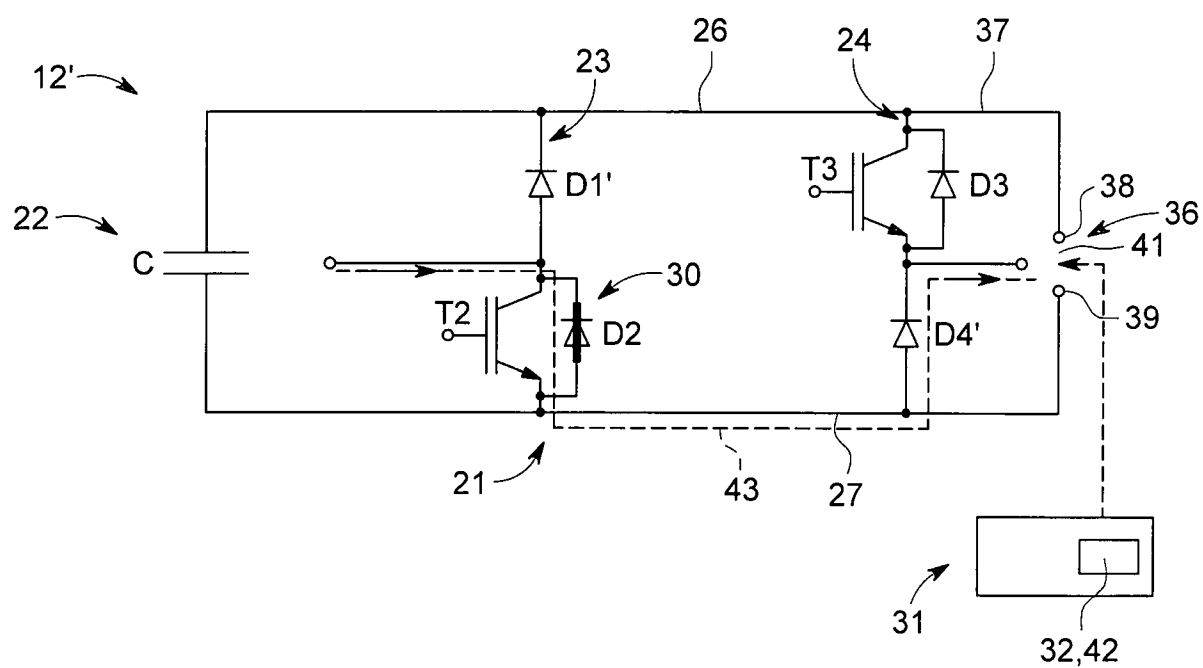


FIG. 6