

(19)



(11)

EP 2 885 801 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
07.09.2016 Patentblatt 2016/36

(51) Int Cl.:
H01H 9/54 (2006.01) H01H 33/59 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **13763021.6**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2013/068663

(22) Anmeldetag: **10.09.2013**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2014/048716 (03.04.2014 Gazette 2014/14)

(54) **TRENNANORDNUNG FÜR EIN HOCHSPANNUNGSGLEICHSTROMNETZ**

DISCONNECTING ASSEMBLY FOR A HIGH-VOLTAGE DIRECT-CURRENT NETWORK

ENSEMBLE DE SÉPARATION POUR RÉSEAU DE COURANT CONTINU À HAUTE TENSION

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **25.09.2012 DE 102012217280**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
24.06.2015 Patentblatt 2015/26

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft 80333 München (DE)**

(72) Erfinder:
• **ERGIN, Dominik 91083 Baiersdorf (DE)**
• **GRIEPENTROG, Gerd 91468 Gutenstetten (DE)**
• **HARTMANN, Werner 91085 Weisendorf (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 2 048 679 WO-A1-2011/057675
DE-T2- 69 408 811

EP 2 885 801 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Trennanordnung für ein Hochspannungsgleichstromnetz. Überdies betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Betreiben einer Trennanordnung für ein Hochspannungsgleichstromnetz.

[0002] In Hochspannungsnetzen werden üblicherweise Trennanordnungen verwendet, mit denen der Strom im Fehlerfall (sowie auch Betriebsströme) abgeschaltet werden können. Insbesondere zum Abschalten von Gleichströmen in Hochspannungsnetzen können mechanische Schalter den Schaltvorgang nicht alleine übernehmen. Der Grund hierfür ist, dass die, an den Kontakten des mechanischen Schalters, üblicherweise entstehende Lichtbogenspannung zu gering gegenüber der treibenden Netzspannung ist. Daher werden für die Unterbrechung von Gleichströmen meist sogenannte Hybridschalter bzw. hybride DC Leistungsschalter vorgeschlagen, die aus einer Kombination aus leistungselektronischem und mechanischem Schalter bestehen. Dabei wird der elektrische Strom im Normalzustand vom mechanischen Schalter geführt. Bei einem Abschaltvorgang wird der Strom zunächst vom mechanischen Schalter auf den Halbleiterzweig kommutiert. Damit der Lichtbogen im mechanischen Schalter verlöscht, muss der Halbleiterschalter zunächst in den leitenden Zustand geschaltet werden. Nach dem Verlöschen des Lichtbogens und einer Zeit zur Wiederverfestigung der Isolationsstrecke werden die Halbleiterschalter entsprechend angesteuert, so dass sich eine Spannung aufbaut, mit der der Strom im DC-Netz abgeschaltet wird. Allerdings ist es für diesen Ablauf erforderlich, dass die im mechanischen Schalter erzeugte Lichtbogenspannung ausreichend groß ist, damit der Kommutierungsvorgang auch stattfinden kann. Insbesondere muss die Schwellspannung von heute eingesetzten und massiv in Reihe geschalteten Halbleiterschaltern statisch überwunden werden. Zusätzlich müssen für den dynamischen Vorgang auch die über die Streuinduktivitäten im Kommutierungskreis auftretenden Spannungsabfälle berücksichtigt werden.

[0003] Bei heute verwendeten Trennanordnungen werden zum Abschalten von Gleichströmen in einem Hochspannungsnetz mit einer elektrischen Spannung von 300 kV beispielsweise 10 mechanische Schalter in Reihe geschaltet. Diese mechanischen Schalter sind üblicherweise als Vakuum-Schaltröhren ausgebildet. Jede der Vakuum-Schaltröhren erzeugt nach dem Öffnen der Kontakte eine Lichtbogenspannung von ca. 30 Volt, was einer Gesamt-Kommutierungsspannung von 300 Volt entspricht. Bei einer Netzspannung von 300 kV sind beispielsweise 140 Halbleiterschalter in Form von IGBTs mit einer jeweiligen Sperrspannung von 3,3 kV in Reihe zu schalten, um eine adäquate Sperrspannung aufbauen zu können. Jeder der Halbleiterschalter weist eine Flussspannung von etwa 3 Volt auf, was einer Mindest-Kommutierungsspannung von 420 Volt entspricht. In dieser beispielhaften Anordnung würde daher der Strom nicht

vom mechanischen Schalter auf den Halbleiterzweig kommutieren und eine Abschaltung des Stroms wäre daher nicht möglich.

[0004] In diesem Zusammenhang offenbart die WO 2011 057 675 A1 eine Vorrichtung zum Abschalten eines Gleichstroms in einem Hochspannungsnetz mit einer ersten Trenneinrichtung, die eine Mehrzahl von in Reihe geschalteten Halbleiterschaltern umfasst. Parallel zu der ersten Trenneinrichtung ist eine zweite Trenneinrichtung geschaltet, die eine Reihenschaltung eines mechanischen Schalters und eines Halbleiterschalters umfasst. Des Weiteren ist in der Veröffentlichung von J. Häfner und B. Jacobson "Proactive Hybrid HVDC Breakers - A key innovation for reliable HVDC grids" vorgestellt auf "The electric power system of the future - Integration supergrids and microgrids", International Symposium in Bologna, Italien, 2011 eine Trennanordnung beschrieben, bei der eine erste Trenneinrichtung eine Mehrzahl von in Reihe geschalteten Halbleiterschaltern umfasst. Die zu der ersten Trenneinrichtung parallel geschaltete zweite Trenneinrichtung umfasst als mechanischen Schalter einen sogenannten schnellen Trenner, der in Reihe zu einer Hilfsschalteneinrichtung geschaltet ist, die einen Halbleiterschalter umfasst. Durch entsprechende Ansteuerung des Halbleiterschalters in der Hilfsschalteneinrichtung kann eine elektrische Spannung aufgebaut werden, welche den Spannungsabfall in der ersten Trenneinrichtung erheblich übersteigt und somit den Kommutierungsvorgang auf die erste Trenneinrichtung erlaubt. Nachteilig an einer derartigen Anordnung ist, dass der Strom im Normalbetrieb immer durch den Halbleiterschalter in der Hilfsschalteneinrichtung fließt und damit permanent Verluste erzeugt werden, die entsprechenden permanenten Kühlaufwand erfordern. Des Weiteren kann im Falle des Versagens der gesamten Trennanordnung und einem damit einhergehenden unbeeinflussten Kurzschlussstrom eine Zerstörung der Hilfsschalteneinrichtung stattfinden, weil der dann fließende Kurzschlussstrom den Sättigungsstrom des Halbleiterschalters in der Hilfsschalteneinrichtung übersteigt.

[0005] Eine weitere Möglichkeit besteht darin, in dem Halbleiterzweig der ersten Trenneinrichtung zum Zweck der Kommutierung eine negative Spannung aufzubauen. Dies ist beispielsweise dann möglich, wenn im Halbleiterzweig sogenannte Vollbrückenschaltungen mit Energiespeichern, beispielsweise Kondensatoren, eingesetzt werden. Dies erfordert allerdings den Einsatz von Vollbrücken-Modulen, die beispielsweise jeweils vier IGBT-Zweige aufweisen.

[0006] Schließlich beschreibt die DE 694 08 811 T2 einen Gleichstrom-Leistungsschalter für hohe Leistungen zur Verwendung in einer Gleichstrom-Hochspannungsleitung. Hierbei ist ein Halbleiterelement parallel zu einem mechanischen Schalter geschaltet. Wenn der mechanische Schalter geöffnet wird, liegt an den Kontakten des mechanischen Schalters eine Lichtbogenspannung an. Überschreitet diese Lichtbogenspannung

einen vorgegebenen Grenzwert, wird mittels eines Steuerimpulsgenerators ein Zündsignal für das Halbleiterelement bereitgestellt. Dadurch wird das Halbleiterelement geschlossen und somit der Strom durch das Halbleiterelement geführt.

[0007] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Trennanordnung der eingangs genannten Art bereit zu stellen, die effizienter und zuverlässiger betrieben werden kann.

[0008] Diese Aufgabe wird durch eine Trennanordnung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0009] Die erfindungsgemäße Trennanordnung für ein Hochspannungsgleichstromnetz umfasst eine erste Trenneinrichtung, die eine erste Halbleiterschaltseinheit umfasst und eine zu der ersten Trenneinrichtung parallel geschaltete, zweite Trenneinrichtung, die eine erste mechanische Schalteinheit und eine in Reihe zu der mechanischen Schalteinheit geschaltete Hilfsschalteinrichtung umfasst, wobei die Hilfsschalteinrichtung eine zweite Halbleiterschaltseinheit umfasst und wobei die Hilfsschalteinrichtung eine zweite mechanische Schalteinheit umfasst, die parallel zu der zweiten Halbleiterschaltseinheit geschaltet ist.

[0010] Die Trennanordnung kann insbesondere zum Abschalten von Gleichströmen in Hochspannungsnetzen verwendet werden. Mit der Trennanordnung können der Strom im Fehlerfall sowie auch Betriebsströme abgeschaltet werden. Im Folgenden werden alle Abschaltungen vereinfachend als "Fehlerfall" bezeichnet, womit jedoch auch normale Abschaltungen von Betriebsströmen gemeint sind. Die erste Halbleiterschaltseinheit der ersten Trenneinrichtung kann mehrere Halbleiterschalter umfassen, die elektrisch in Reihe geschaltet sind. Die jeweiligen Halbleiterschalter können beispielsweise als IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor) ausgebildet sein. Die Verwendung von Halbbrücken-Modulen ist hier ebenfalls möglich. Die erste mechanische Schalteinheit in der zweiten Trenneinrichtung kann durch mehrere mechanische Schalter gebildet sein, die in Reihe geschaltet sind. Für die mechanischen Schalter können bevorzugt Vakuum-Schaltröhren verwendet werden. So können beispielsweise zehn Vakuum-Schaltröhren in Reihe geschaltet sein, wobei jede der Vakuum-Schaltröhren eine elektrische Spannung von 30 kV isolieren kann. Dadurch kann mit der ersten mechanischen Schalteinheit beispielsweise eine Gesamtperrspannung von 300 kV bereitgestellt werden. Die in Reihe zu der ersten mechanischen Schalteinheit geschaltete Hilfsschalteinrichtung umfasst eine Parallelschaltung aus einer zweiten Halbleiterschaltseinheit und einer zweiten mechanischen Schalteinheit. Die zweite mechanische Schalteinheit kann auch mehrere mechanische Schalter umfassen, die in Reihe geschaltet sind. Für die Realisierung der zweiten Halbleiterschaltseinheit kann beispielsweise ein Halblei-

terschalter, der beispielsweise als IGBT ausgebildet ist, verwendet werden. In der Praxis ist aus Gründen der Redundanz aber die Reihenschaltung weniger Halbleiterschalter sinnvoll. Auch die Verwendung von zwei antiseriell geschalteten IGBTs ist bei einer bipolar aktiven Schaltung denkbar. Zudem kann eine Halbbrücke oder eine Vollbrücke mit angeschlossenen Kondensatoren verwendet werden.

[0011] Mit der Hilfsschalteinrichtung kann beim Abschalten des Gleichstromes die notwendige elektrische Spannung erzeugt werden, um den elektrischen Strom von der zweiten Trenneinrichtung in die erste Trenneinrichtung zu kommutieren. Im Normalbetrieb kann der elektrische Strom durch die erste und die zweite mechanische Schalteinheit fließen. Dadurch können die Verluste deutlich reduziert werden und auf eine permanente Kühlung der Halbleiterschalter komplett verzichtet werden. Des Weiteren können im Falle eines Versagens der gesamten Trennanordnung die erste und zweite mechanische Schalteinheit geschlossen werden. Somit wird im Falle eines Fehlers innerhalb der Trennanordnung eine Zerstörung der Halbleiterschalt Elemente ausgeschlossen.

[0012] Bevorzugt umfasst die Trenneinrichtung eine Steuereinrichtung zum Ansteuern der ersten mechanischen Schalteinheit, der zweiten mechanischen Schalteinheit, der ersten Halbleiterschaltseinheit und der zweiten Halbleiterschaltseinheit. Die Steuereinrichtung kann eine Erfassungseinrichtung umfassen bzw. mit dieser verbunden sein, mit der ein Fehlerstrom in dem Hochspannungsgleichstromnetz erfasst werden kann. Im Fehlerfall können die erste und die zweite mechanische Schalteinheit sowie die erste und die zweite Halbleiterschaltseinheit unabhängig voneinander angesteuert werden. Im ersten Halbleiterschalter der ersten Trenneinrichtung können die IGBTs gegebenenfalls einzeln angesteuert werden. Durch entsprechende Ableiter die parallel zu diesen IGBTs installiert sind, kann so eine Abschaltgegenspannung variabel eingestellt werden. Der Pfad kann des Weiteren auch zur Strombegrenzung verwendet werden. Somit kann ein zuverlässiger Betrieb der Trennanordnung gewährleistet werden.

[0013] In einer Ausführungsform ist eine Durchlassspannung der zweiten Halbleiterschaltseinheit geringer als eine elektrische Spannung, die beim Öffnen der zweiten mechanischen Schalteinheit an Kontakten der zweiten mechanischen Schalteinheit anliegt. Beim Öffnen der zweiten mechanischen Schalteinheit in der Hilfsschalteinrichtung kann sich eine Lichtbogenspannung bilden. Wenn die zweite mechanische Schalteinheit als Vakuum-Schaltröhre ausgebildet ist, kann diese Lichtbogenspannung beispielsweise 30 Volt betragen. Diese Spannung reicht aus, um die Durchlassspannung bzw. Schwellspannung der zweiten Halbleiterschaltseinheit, die in Durchlassrichtung geschaltet ist, zu überwinden. Dabei kann die zweite Halbleiterschaltseinheit nur einen oder wenige IGBTs umfassen, die elektrisch in Reihe geschaltet sind. So entsteht im Idealfall an der zweiten

mechanischen Schalteinheit kein Lichtbogen, da die zweite Halbleiterschalteinheit schneller in Durchlassrichtung geschaltet wird, als der mechanische Schalter geöffnet wird. Aufgrund der niedrigen Durchlassspannung der zweiten Halbleiterschalteinheit, die beispielsweise nur einige Volt betragen kann, kann die Mindestbrennspannung für den Lichtbogen nicht erreicht werden. Des Weiteren bedarf es keiner zusätzlichen Stalleinrichtung, mit der die elektrische Spannung an der zweiten mechanischen Schalteinheit überwacht wird und mit der die zweite Halbleiterschalteinheit durch ein entsprechendes Steuersignal geöffnet wird. Damit kann die Trennanordnung besonders effizient betrieben werden.

[0014] In einer weiteren Ausgestaltung ist die Steuereinrichtung dazu ausgebildet, die erste und die zweite mechanische Schalteinheit zum Normalbetrieb des Hochspannungsgleichstromnetzes zu schließen. Damit fließt der elektrische Strom im Normalbetrieb über die erste und die zweite mechanische Schalteinheit. Dadurch entstehen nur geringe elektrische Verluste und der Kühlaufwand kann reduziert werden. Somit kann die Trennanordnung besonders energieeffizient betrieben werden.

[0015] In einer weiteren Ausgestaltung ist die Steuereinrichtung dazu ausgebildet, die zweite mechanische Schalteinheit bei einem Vorliegen eines Fehlerfalls in dem Hochspannungsgleichstromnetz zu öffnen. Wenn der Gleichstrom in dem Hochspannungsnetz in Folge eines Fehlerfalls bzw. Fehlerstroms geöffnet werden soll, kann die zweite mechanische Schalteinheit möglichst schnell geöffnet werden. Somit kann das Abschalten des elektrischen Stromes zuverlässig gestartet werden.

[0016] Bevorzugt ist die Steuereinrichtung dazu ausgebildet, die zweite Halbleiterschalteinheit beim Vorliegen des Fehlerfalls in Durchlassrichtung zu schalten. Dabei kann es auch vorgesehen sein, dass die zweite Halbleiterschalteinheit der Hilfsschaltvorrichtung im Normalbetrieb auf Durchgang geschaltet ist. Spätestens wenn der Strom in dem Hochspannungsnetz abgeschaltet werden soll, wird die zweite Halbleiterschalteinheit in Durchlassrichtung geschaltet. Wenn die zweite mechanische Schalteinheit geöffnet wird, liegt zwischen ihren Kontakten eine elektrische Spannung an. Dabei kann es auch der Fall sein, dass sich ein Lichtbogen zwischen den Kontakten der zweiten mechanischen Schalteinheit ausbildet. Die elektrische Spannung zwischen den Kontakten reicht aus, um die Schwellenspannung der zweiten Halbleiterschalteinheit zu überwinden. Sobald der elektrische Strom durch die zweite Halbleiterschalteinheit fließt, erlischt ein möglicher Lichtbogen an den Kontakten der zweiten mechanischen Schalteinheit. Nun kann die mechanische Schalteinheit unverzüglich elektrische Spannung aufnehmen.

[0017] In einer weiteren Ausgestaltung ist die Steuereinrichtung dazu ausgebildet, die erste mechanische Schalteinheit des der Trennanordnung zeitgleich mit der zweiten mechanischen Schalteinheit oder eine vorbestimmte Zeitdauer nach der zweiten mechanischen

Schalteinheit zu öffnen. Die erste mechanische Schalteinheit kann zeitgleich mit der zweiten mechanischen Schalteinheit geöffnet werden. Dabei ist es auch denkbar, dass die zweite mechanische Schalteinheit eine vorbestimmte Zeitdauer, beispielsweise 0,1 bis einige 10 Millisekunden, nach der zweiten mechanischen Schalteinheit geöffnet wird. Dies ermöglicht es, die erste mechanische Schalteinheit individuell und unabhängig von der zweiten mechanischen Schalteinheit anzusteuern.

[0018] Bevorzugt ist die Steuereinrichtung dazu ausgebildet, die zweite Halbleiterschalteinheit nach dem Öffnen der ersten mechanischen Schalteinheit in einen Sperrbetrieb zu schalten. So kann beispielsweise mit der zweiten Halbleiterschalteinheit, die durch einen oder mehrere IGBTs gebildet ist, eine Sperrspannung, beispielsweise von 2 kV bereitgestellt werden. Wenn die erste mechanische Schalteinheit geöffnet wird, kann sich zwischen den Kontakten der ersten mechanischen Schalteinheit ein Lichtbogen ausbilden und somit eine Lichtbogenspannung zwischen den Kontakten anliegen. Die von der zweiten Halbleiterschalteinheit bereitgestellte Sperrspannung liegt in Reihe zu der Lichtbogenspannung an der ersten mechanischen Schalteinheit. Die Sperrspannung, die an der zweiten Halbleiterschalteinheit erzeugt wird, ist ausreichend, um den elektrischen Strom von der zweiten Trenneinrichtung in die erste Trenneinrichtung zu kommutieren. Sobald der elektrische Strom durch die erste Trenneinrichtung fließt, kann auch der Lichtbogen an der ersten mechanischen Schalteinheit verlöschen und die eigentliche Abschaltung des elektrischen Stroms kann beginnen.

[0019] Alternativ dazu kann die Steuereinrichtung dazu ausgebildet sein, die erste mechanische Schalteinheit erst zu öffnen, nachdem ein elektrischer Strom von der zweiten Trenneinrichtung in die erste Trenneinrichtung kommutiert ist. Wenn die erste mechanische Schalteinheit erst geöffnet wird, wenn der elektrische Strom vollständig in die erste Trenneinrichtung bzw. die erste Halbleiterschalteinheit kommutiert ist, kann die erste mechanische Schalteinheit idealerweise stromlos geöffnet werden und es entsteht kein Lichtbogen an den Kontakten der ersten mechanischen Schalteinheit. Dadurch kann ein Verschleiß der Kontakte der ersten mechanischen Schalteinheit effektiv verhindert werden.

[0020] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben einer Trennanordnung für ein Hochspannungsgleichstromnetz umfasst das Bereitstellen einer ersten Trenneinrichtung, die eine erste Halbleiterschalteinheit umfasst und das Bereitstellen einer zur ersten Trenneinrichtung parallel geschalteten, zweiten Trenneinrichtung, die eine erste mechanische Schalteinheit und eine in Reihe zu der ersten mechanischen Schalteinheit geschaltete Hilfsschalteinrichtung umfasst, wobei die Hilfsschalteinrichtung zumindest eine zweite Halbleiterschalteinheit umfasst und das Bereitstellen einer zweiten mechanischen Schalteinheit in der Hilfsschalteinrichtung, die parallel zu der zweiten Halbleiterschalteinheit geschaltet ist.

[0021] Die vorliegend im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Trennanordnung beschriebenen Vorteile und Weiterbildungen können in gleicher Weise auf das erfindungsgemäße Verfahren übertragen werden.

[0022] Die vorliegende Erfindung wird nun anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt die einzige Figur eine schematische Darstellung einer Trennanordnung für ein Hochspannungsgleichstromnetz.

[0023] Das nachfolgend näher geschilderte Ausführungsbeispiel stellt eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dar.

[0024] Die Figur zeigt eine im Ganzen mit 10 bezeichnete Trennanordnung. Die Trennanordnung 10 kann für ein Hochspannungsnetz verwendet werden. Das Hochspannungsnetz kann beispielsweise eine Nennspannung von 300 kV aufweisen. Die Trenneinrichtung 10 ist mit einer Leitung 26 des Hochspannungsgleichstromnetzes verbunden. Die Trennanordnung 10 weist eine erste Trenneinrichtung 12 und eine zweite Trenneinrichtung 14 auf, die elektrisch parallel verschaltet sind. Die erste Trenneinrichtung 12 umfasst eine erste Halbleiterschalt-einheit 16. Die erste Halbleiterschalt-einheit 16 umfasst eine Mehrzahl von in Reihe geschalteten Halbleiterschaltern bzw. Halbleiterbauteilen. Die Halbleiterschalter können jeweils als IGBT ausgebildet sein. Die zweite Trenneinrichtung 14 umfasst eine erste mechanische Schalteinheit 18, die vorliegend durch die Reihenschaltung von zwei Einzelschaltern dargestellt ist. Üblicherweise umfasst die erste mechanische Schalteinheit eine Mehrzahl von Vakuum-Schaltröhren, die in Reihe geschaltet sind. Des Weiteren umfasst die zweite Trenneinrichtung 14 eine Hilfsschalteinrichtung 20, die elektrisch in Reihe zu der ersten mechanischen Schalteinheit 18 geschaltet ist.

[0025] Die Hilfsschalteinrichtung 20 umfasst eine Parallelschaltung aus einer zweiten mechanischen Schalteinheit 24 und einer zweiten Halbleiterschalt-einheit 22. Die zweite mechanische Schalteinheit 24 kann durch eine oder mehrere Vakuum-Schaltröhren gebildet sein. Die zweite Halbleiterschalt-einheit 22 kann durch einen oder mehrere IGBTs gebildet sein. Die zweite Halbleiterschalt-einheit 22 kann auch durch zwei antiseriell geschaltete IGBTs, durch eine Halbbrücke oder eine Vollbrücke mit angeschlossenen Energiespeichern in Form von Kondensatoren gebildet sein.

[0026] Im Normalbetrieb des Hochspannungsgleichstromnetzes sind die erste mechanische Schalteinheit 18 und die zweite mechanische Schalteinheit 24 geschlossen. Auch die zweite Halbleiterschalt-einheit 22 kann generell im Normalbetrieb des Hochspannungsnetzes auf Durchgang geschaltet sein. Spätestens beim Beginn einer notwendigen Abschaltung wird die zweite Halbleiterschalt-einheit 22 unverzüglich in Durchlassrichtung geschaltet. Tritt nun ein Fehlerfall in dem Hochspannungsgleichstromnetz auf, soll der Stromfluss in der elektrischen Leitung 26 abgeschaltet bzw. unterbrochen werden. Dazu wird zunächst die zweite mechanische Schalteinheit 24 geöffnet. Wenn die Kontakte der zweiten me-

chanischen Schalteinheit 24 geöffnet werden, kann sich an den Kontakten ein Lichtbogen ausbilden. Infolge des Lichtbogens liegt eine Lichtbogenspannung von beispielsweise 30 Volt zwischen den Kontakten der zweiten mechanischen Schalteinheit 24 an. Diese elektrische Spannung reicht aus, um die Schwellspannung der zweiten Halbleiterschalt-einheit 22 zu überwinden. Im Idealfall bildet sich an den Kontakten der zweiten mechanischen Schalteinheit 24 kein Lichtbogen aus, da die zweite Halbleiterschalt-einheit 22 schneller in Durchgangsrichtung geschaltet wird, als die zweite mechanische Schalteinheit 24 geöffnet wird. Des Weiteren kann wegen der geringen Durchlassspannung der zweiten Halbleiterschalt-einheit 22, die beispielsweise nur einige Volt betragen kann, an der zweiten mechanischen Schalteinheit 24 die notwendige Mindestbrennspannung für einen Lichtbogen nicht erreicht werden.

[0027] Zum gleichen Zeitpunkt oder eine vorbestimmte Zeitdauer von beispielsweise 0,1 bis maximal einige 10 Millisekunden nach dem Öffnen der zweiten mechanischen Schalteinheit 24 wird auch die erste mechanische Schalteinheit 18 geöffnet. Sobald der elektrische Strom durch die zweite Halbleiterschalt-einheit 22 fließt, verlischt der Lichtbogen an den Kontakten der zweiten mechanischen Schalteinheit 24. Die zweite mechanische Schalteinheit 24 kann nun unverzüglich elektrische Spannung aufnehmen.

[0028] Anschließend daran wird die zweite Halbleiterschalt-einheit 22 derart angesteuert, dass an ihr eine hohe Sperrspannung erzeugt wird. So kann beispielsweise mit einem IGBT eine Sperrspannung von 2 kV bereitgestellt werden. Nach dem Öffnen der ersten mechanischen Schalteinheit 18 bildet sich üblicherweise an den Kontakten der ersten mechanischen Schalteinheit 18 ein Lichtbogen aus und zwischen den Kontakten liegt eine Lichtbogenspannung an. Die von der zweiten Halbleiterschalt-einheit 22 erzeugte Sperrspannung liegt in Reihe zu dieser Lichtbogenspannung. Sie ist ausreichend, um den elektrischen Strom von der zweiten Trenneinrichtung 14 in die erste Trenneinrichtung 12 zu kommutieren. Sobald der elektrische Strom in die erste Trenneinrichtung 12 bzw. die erste Halbleiterschalt-einheit 16 kommutiert ist, verlöscht der Lichtbogen an den Kontakten der ersten mechanischen Schalteinheit 18 und die eigentliche Abschaltung des elektrischen Stromes kann beginnen.

[0029] In einer alternativen Ausführungsform wird die erste mechanische Schalteinheit 18 erst dann geöffnet, wenn der elektrische Strom vollständig von der zweiten Trenneinrichtung 14 in die erste Trenneinrichtung 12 kommutiert ist. So wird die erste mechanische Schalteinheit 18 idealerweise stromlos geöffnet und es bildet sich kein Lichtbogen an den Kontakten der ersten mechanischen Schalteinheit 18 aus. Damit kann eine Abnutzung der Kontakte der ersten mechanischen Schalteinheit 18 in Folge eines Lichtbogens verhindert werden.

[0030] Um die zweite Halbleiterschalt-einheit 22 vor Überspannungen und Überströmen zu schützen, wird

die zweite mechanische Schalteinheit 24 der Hilfsschalteinrichtung 20 nach Abschluss des Abschaltvorgangs wieder geschlossen. Dadurch wird auch bei einem Versagen des Abschaltens des elektrischen Stroms in der ersten Halbleiterschalteinheit 16 und/oder der ersten mechanischen Schalteinheit 18 die zweite Halbleiterschalteinheit 22 vor Überspannungen und Überströmen geschützt. Zum Schutz vor Überspannungen bzw. zum Schutz der Halbleiter sind parallel zu jedem IGBT Ableiter vorzusehen. D. h. die Halbleiterschalteinheit 16 und 22 können einen IGBT und einen zu dem IGBT parallel geschalteten Ableiter umfassen. Auch in der Elektrotechnik übliche Methoden zur Spannungsbegrenzung, wie z.B. die Parallelschaltung spannungsbegrenzender Bauteile zur Halbleiterschalteinheit 22, sind geeignet, um die Halbleiterschalteinheit 22 gegen Überspannungen zu schützen. Geeignete spannungsbegrenzende Bauteile sind beispielsweise Avalanchioden, Zenerdioden, oder Metall-Oxid-Varistoren sowie sogenannte Snubberkreise aus Kondensatoren, Widerständen und gegebenenfalls Dioden.

[0031] Die Trennanordnung 10 weist den Vorteil auf, dass der elektrische Strom im Normalzustand ausschließlich über die erste mechanische Schalteinheit 18 und die zweite mechanische Schalteinheit 24 fließt. Damit treten geringe Verluste auf und der Kühlaufwand kann gering gehalten werden. Des Weiteren kann im Fall eines Versagens der Trennanordnung 10 die erste mechanische Schalteinheit 18 und die zweite mechanische Schalteinheit 24 wieder geschlossen werden, wodurch im Fall eines hohen Kurzschlussstromes eine Zerstörung der zweiten Halbleiterschalteinheit 22 ausgeschlossen wird. Die Fehlerklärung übernimmt dann im Rahmen eines sogenannten Backup-Schutzes ein zusätzlicher Schalter.

Patentansprüche

1. Trennanordnung (10) für ein Hochspannungsgleichstromnetz mit

- einer ersten Trenneinrichtung (12), die eine erste Halbleiterschalteinheit (16) umfasst und
- einer zur ersten Trenneinrichtung (12) parallel geschalteten, zweiten Trenneinrichtung (14), die eine erste mechanische Schalteinheit (18) und eine in Reihe zu der ersten mechanischen Schalteinheit (18) geschaltete Hilfsschalteinrichtung (20) umfasst, wobei
- die Hilfsschalteinrichtung (20) eine zweite Halbleiterschalteinheit (22) umfasst,

dadurch gekennzeichnet, dass

- die Hilfsschalteinrichtung (20) eine zweite mechanische Schalteinheit (24) umfasst, die parallel zu der zweiten Halbleiterschalteinheit (22)

geschaltet ist.

2. Trennanordnung (10) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Trennanordnung (10) eine Steuereinrichtung zum Ansteuern der ersten mechanischen Schalteinheit (18), der zweiten mechanischen Schalteinheit (24), der ersten Halbleiterschalteinheit (16) und der zweiten Halbleiterschalteinheit (22) umfasst.
3. Trennanordnung (10) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Durchlassspannung der zweiten Halbleiterschalteinheit (22) geringer ist als eine elektrische Spannung, die beim Öffnen der zweiten mechanischen Schalteinheit (24) an Kontakten der zweiten mechanischen Schalteinheit (24) anliegt.
4. Trennanordnung (10) nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, die erste und die zweite mechanische Schalteinheit (18, 24) zum Normalbetrieb des Hochspannungsgleichstromnetzes zu schließen.
5. Trennanordnung (10) nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, die zweite mechanische Schalteinheit (24) bei einem Vorliegen eines Fehlerfalls in dem Hochspannungsgleichstromnetz zu öffnen.
6. Trennanordnung (10) nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, die zweite Halbleiterschalteinheit (22) beim Vorliegen des Fehlerfalls in Durchlassrichtung zu schalten.
7. Trennanordnung (10) nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, die erste mechanische Schalteinheit (18) beim Vorliegen des Fehlerfalls zeitgleich mit der zweiten mechanischen Schalteinheit (24) oder eine vorbestimmte Zeitdauer nach der zweiten mechanischen Schalteinheit (24) zu öffnen.
8. Trennanordnung (10) nach einem der Ansprüche 2 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, die zweite Halbleiterschalteinheit (22) nach dem Öffnen der ersten mechanischen Schalteinheit (18) in einen Sperrbetrieb zu schalten.
9. Trennanordnung (10) nach einem der Ansprüche 2 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuereinrichtung dazu ausgebildet ist, die erste mechanische Schalteinheit (18) erst zu öffnen, nachdem ein

elektrischer Strom von der zweiten Trenneinrichtung (14) in die erste Trenneinrichtung (12) kommutiert ist.

10. Verfahren zum Betreiben einer Trennanordnung (10) für ein Hochspannungsgleichstromnetz durch

- Bereitstellen einer ersten Trenneinrichtung (12), die eine erste Halbleiterschalteneinheit (16) umfasst und
- Bereitstellen einer zur ersten Trenneinrichtung (12) parallel geschalteten, zweiten Trenneinrichtung (14), die eine erste mechanische Schalteinheit (18) und eine in Reihe zu der ersten mechanischen Schalteinheit (18) geschaltete Hilfsschalteinrichtung (20) umfasst, wobei die Hilfsschalteinrichtung (20) zumindest eine zweite Halbleiterschalteneinheit (22) umfasst,

gekennzeichnet durch

- Bereitstellen einer zweiten mechanischen Schalteinheit (24) in der Hilfsschalteinrichtung (20), die parallel zu der zweiten Halbleiterschalteneinheit (22) geschaltet ist.

Claims

1. Disconnecting assembly (10) for a high-voltage direct-current network comprising

- a first disconnecting device (12), which comprises a first semiconductor switching unit (16), and
- a second disconnecting device (14), which is connected in parallel with the first disconnecting device (12) and which comprises a first mechanical switching unit (18) and an auxiliary switching device (20) connected in series with the first mechanical switching unit (18), wherein
- the auxiliary switching device (20) comprises a second semiconductor switching unit (22),

characterized in that

- the auxiliary switching device (20) comprises a second mechanical switching unit (24), which is connected in parallel with the second semiconductor switching unit (22).

2. Disconnecting assembly (10) according to Claim 1, **characterized in that** the disconnecting assembly (10) comprises a control device for driving the first mechanical switching unit (18), the second mechanical switching unit (24), the first semiconductor switching unit (16) and the second semiconductor switching unit (22).

3. Disconnecting assembly (10) according to Claim 1 or 2, **characterized in that** a forward voltage of the second semiconductor switching unit (22) is lower than an electrical voltage present at contacts of the second mechanical switching unit (24) upon the opening of the second mechanical switching unit (24).

4. Disconnecting assembly (10) according to Claim 2 or 3, **characterized in that** the control device is designed to close the first and second mechanical switching units (18, 24) for normal operation of the high-voltage direct-current network.

5. Disconnecting assembly (10) according to any of Claims 2 to 4, **characterized in that** the control device is designed to open the second mechanical switching unit (24) upon the presence of a fault situation in the high-voltage direct-current network.

6. Disconnecting assembly (10) according to any of Claims 2 to 5, **characterized in that** the control device is designed to switch the second semiconductor switching unit (22) in the forward direction upon the presence of the fault situation.

7. Disconnecting assembly (10) according to any of Claims 2 to 6, **characterized in that** the control device is designed to open the first mechanical switching unit (18) upon the presence of the fault situation simultaneously with the second mechanical switching unit (24) or a predetermined time duration after the second mechanical switching unit (24).

8. Disconnecting assembly (10) according to any of Claims 2 to 7, **characterized in that** the control device is designed to switch the second semiconductor switching unit (22) to semiconductor switching unit-state operation after the opening of the first mechanical switching unit (18).

9. Disconnecting assembly (10) according to any of Claims 2 to 8, **characterized in that** the control device is designed to open the first mechanical switching unit (18) only after an electric current has commutated from the second disconnecting device (14) to the first disconnecting device (12).

10. Method for operating a disconnecting assembly (10) for a high-voltage direct-current network by

- providing a first disconnecting device (12), which comprises a first semiconductor switching unit (16), and
- providing a second disconnecting device (14), which is connected in parallel with the first disconnecting device (12) and which comprises a first mechanical switching unit (18) and an aux-

iliary switching device (20) connected in series with the first mechanical switching unit (18), wherein the auxiliary switching device (20) comprises at least one second semiconductor switching unit (22),

characterized by

- providing a second mechanical switching unit (24) in the auxiliary switching device (20), which is connected in parallel with the second semiconductor switching unit (22).

Revendications

1. Agencement (10) de sectionnement pour un réseau de courant continu de haute tension, comprenant

- un premier dispositif (12) de sectionnement, qui comprend une première unité (16) de commutation à semi-conducteur et
- un deuxième dispositif (14) de sectionnement, qui est monté en parallèle au premier dispositif (12) de sectionnement et qui comprend une première unité (18) mécanique de commutation et un dispositif (20) auxiliaire de commutation monté en série avec la première unité (18) mécanique de commutation, dans lequel
- le dispositif (20) auxiliaire de commutation comprend une deuxième unité (22) de commutation à semi-conducteur,

caractérisé en ce que

- le dispositif (20) auxiliaire de commutation comprend une deuxième unité (24) mécanique de commutation, qui est montée en parallèle à la deuxième unité (22) de commutation à semi-conducteur.

2. Agencement (10) de sectionnement suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'agencement (10) de sectionnement comprend un dispositif de commande de la première unité (18) de commutation, de la deuxième unité (24) mécanique de commutation, de la première unité (16) de commutation à semi-conducteur et de la deuxième unité (22) de commutation à semi-conducteur.
3. Agencement (10) de sectionnement suivant la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'**une tension directe de la deuxième unité (22) de commutation à semi-conducteur est plus basse qu'une tension électrique qui, à l'ouverture de la deuxième unité (24) mécanique de commutation, s'applique à des contacts de la deuxième unité (24) mécanique de commutation.

4. Agencement (10) de sectionnement suivant la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande est constitué pour fermer la première et la deuxième unités (18, 24) mécaniques de commutation pour le fonctionnement normal du réseau de courant continu de haute tension.

5. Agencement (10) de sectionnement suivant l'une des revendications 2 à 4, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande est constitué pour ouvrir la deuxième unité (24) mécanique de commutation en présence d'un défaut dans le réseau de courant continu de haute tension.

6. Agencement (10) de sectionnement suivant l'une des revendications 2 à 5, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande est constitué pour mettre la deuxième unité (22) de commutation à semi-conducteur dans le sens passant en présence du défaut.

7. Agencement (10) de sectionnement suivant l'une des revendications 2 à 6, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande est constitué pour ouvrir la première unité (18) mécanique de commutation en présence du défaut, en même temps que la deuxième unité (24) mécanique de commutation ou après une durée définie à l'avance, après la deuxième unité (24) mécanique de commutation.

8. Agencement (10) de sectionnement suivant l'une des revendications 2 à 7, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande est constitué pour mettre la deuxième unité (22) de commutation à semi-conducteur à l'état bloqué après l'ouverture de la première unité (18) mécanique de commutation.

9. Agencement (10) de sectionnement suivant l'une des revendications 2 à 8, **caractérisé en ce que** le dispositif de commande est constitué pour ouvrir d'abord la première unité (18) mécanique de commutation après qu'un courant électrique ait commuté du premier dispositif (14) de sectionnement au premier dispositif (12) de sectionnement.

10. Procédé pour faire fonctionner un agencement (10) de sectionnement pour un réseau de courant continu de haute tension, dans lequel

- on se procure un premier dispositif (12) de sectionnement qui comprend une première unité (16) de commutation à semi-conducteur et
- on se procure un deuxième dispositif (14) de sectionnement, qui est monté en parallèle au premier dispositif (12) de sectionnement et qui comprend une première unité (18) mécanique de commutation et un dispositif (20) auxiliaire de commutation monté en série avec la première unité (18) mécanique de commutation, le dis-

positif (20) auxiliaire de commutation comprenant au moins une deuxième unité (22) de commutation à semi-conducteur,

caractérisé en ce que

5

- on se procure une deuxième unité (24) mécanique de commutation dans le dispositif (20) auxiliaire de commutation, qui est montée en parallèle à la deuxième unité (22) de commutation à semi-conducteur.

10

15

20

25

30

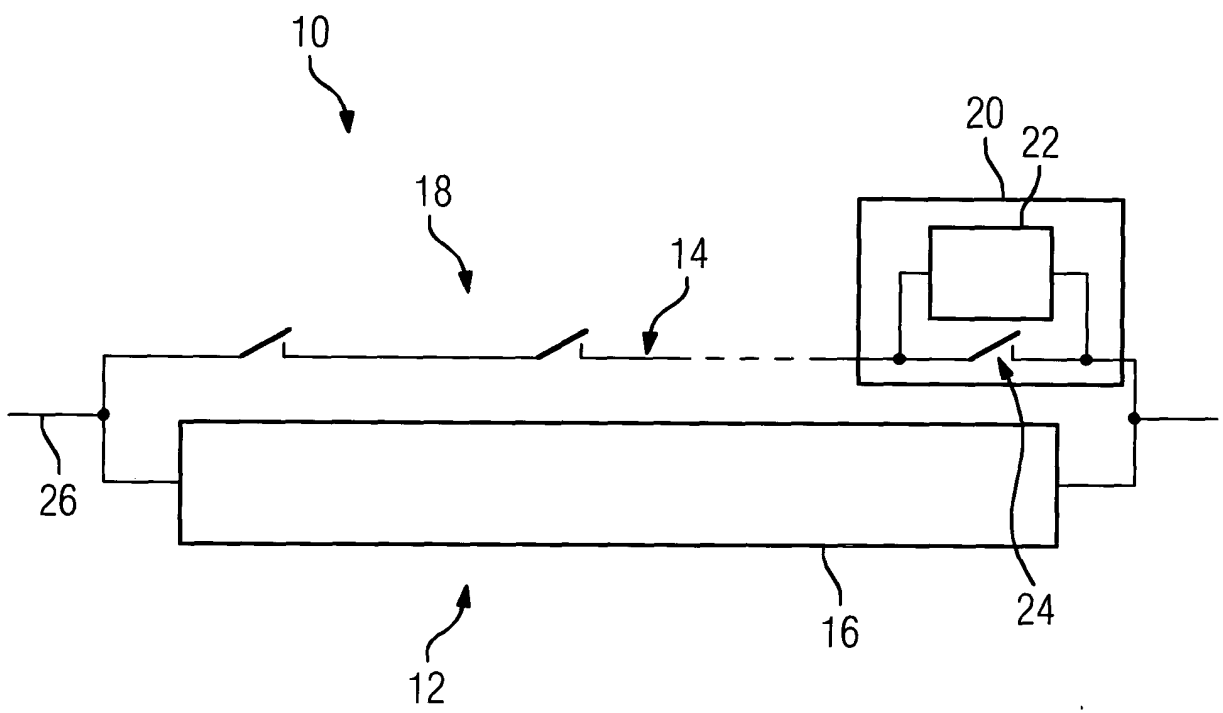
35

40

45

50

55



IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2011057675 A1 [0004]
- DE 69408811 T2 [0006]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **J. HÄFNER ; B. JACOBSON.** Proactive Hybrid HVDC Breakers - A key innovation for reliable HVDC grids" vorgestellt auf "The electric power system of the future - Integration supergrids and microgrids. *International Symposium*, 2011 [0004]