(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 3 270 397 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
17.01.2018 Patentblatt 2018/03

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

(21) Anmeldenummer: **17176306.3**

(22) Anmeldetag: **16.06.2017**

(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
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

(30) Priorität: **14.07.2016 DE 102016212915**

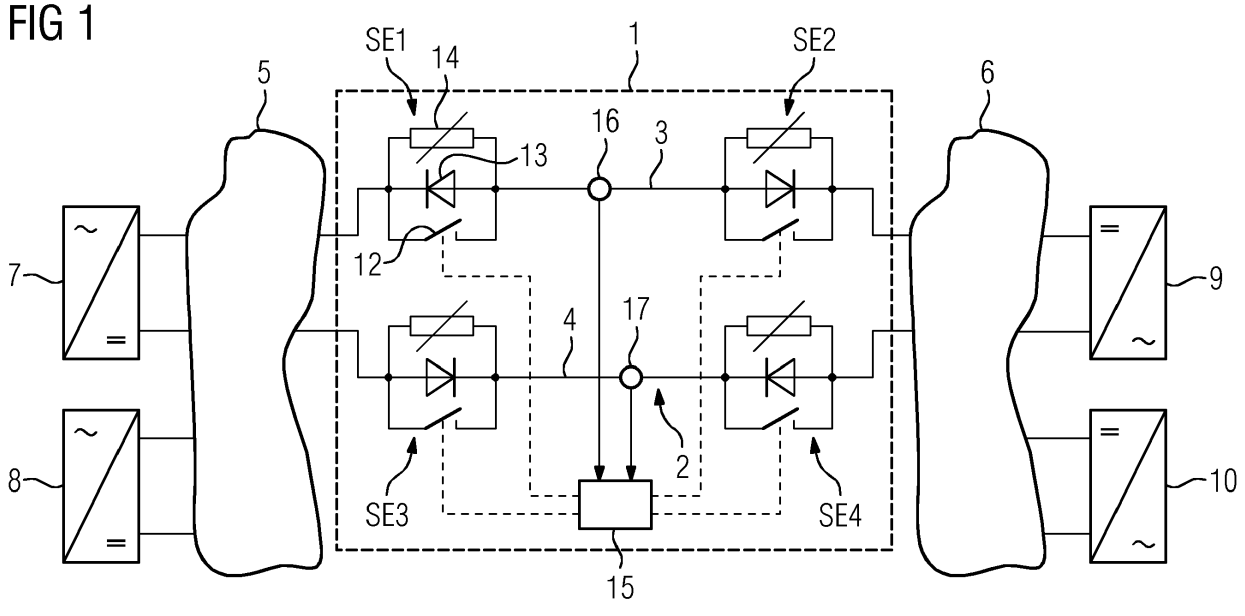
(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
- **DÖRING, David**
  91058 Erlangen (DE)
- **WÜRFLINGER, Klaus**
  90419 Nürnberg (DE)

(54) **SCHALTANORDNUNG SOWIE VERFAHREN ZUR FEHLERKLÄRUNG**

(57) Die Erfindung betrifft eine Schaltanordnung (1) zum Verbinden zweier Gleichspannungsnetze (5,6). Die erfindungsgemäße Schaltanordnung umfasst eine Gleichspannungsleitung (2), die ein erstes Gleichspannungsnetz mit einem zweiten Gleichspannungsnetz verbindet, ein erstes unidirektionales Schaltelement (SE1) in einem ersten Pol der Gleichspannungsleitung, ein zweites unidirektionales Schaltelement (SE2) im ersten Pol der Gleichspannungsleitung, das vom ersten Schaltelement beabstandet angeordnet ist und dessen Schaltrichtung einer Schaltrichtung des ersten Schaltelements entgegen gerichtet ist, ein drittes unidirektionales Schaltelement (SE3) in einem zweiten Pol der Gleichspannungsleitung, ein viertes unidirektionales Schaltelement (SE4) im zweiten Pol der Gleichspannungsleitung, das vom dritten Schaltelement beabstandet angeordnet ist und dessen Schaltrichtung einer Schaltrichtung des dritten Schaltelements entgegen gerichtet ist, wobei die Schaltelemente jeweils eine Spannungsfestigkeit aufweisen, die unterhalb einer Nennspannung der Gleichspannungsleitung liegt. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Entkoppeln zweier Gleichspannungsnetze mittels der Schaltanordnung, bei dem bei einem Kurzschluss in der Gleichspannungsleitung oder in einem der Gleichspannungsnetze zwei der Schaltelemente geöffnet werden.

FIG 1



EP 3 270 397 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Schaltanordnung zum Verbinden zweier Gleichspannungsnetze.

[0002] Mit der Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ) ist eine bekannte Technologie bereitgestellt, die dazu geeignet ist, elektrische Energie über lange Distanzen zu übertragen. Der Stromfluss erfolgt dabei über Gleichspannungsleitungen, die als Kabelleitungen oder Freileitungen vorliegen können. Mehrere Gleichspannungsleitungen beispielsweise in Form von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen können dabei zu einem Gleichspannungsnetz zusammengefügt werden. Solche Gleichspannungsnetze können als sogenannte Multiterminal-, radiale oder vermaschte Gleichspannungsnetze vorliegen. Die Gleichspannungsnetze sind im Wesentlichen aus Gleichspannungsleitungen gebildet, die sich zwischen Umrichterstationen, Knotenpunten oder einem Knotenpunkt und einer Umrichterstation erstrecken.

[0003] Die Gleichspannungsleitungen können als dem Fachmann bekannte Bipol- oder Monopol-Verbindungen (symmetrische und asymmetrische) realisiert sein. Eine symmetrische Monopol-Verbindung zeichnet sich durch eine zweipolige Ausführung der Gleichspannungsleitung aus, beispielsweise mit einem positiven und einem negativen Pol, die über keine starre Anbindung zum Erdpotenzial verfügt.

[0004] Wenn zwei Gleichspannungsnetze miteinander verbunden werden sollen, ist es in der Regel notwendig, die Auswirkungen eines Erdfehlers oder eines Pol-zu-Pol-Fehlers in einem der beiden Gleichspannungsnetze auf das andere Gleichspannungsnetz zu minimieren. Zum Entkoppeln der beiden Gleichspannungsnetze werden üblicherweise Gleichspannungsschalter verwendet. Ein gleichartiges Problem kann auch bei einer gleichspannungsseitigen Verbindung zweier Stromrichter auftreten.

[0005] Ein solcher Gleichspannungsschalter ist beispielsweise aus der WO 2015/078525 A1. Der bekannte Gleichspannungsschalter ist bidirektional, das heißt, dass er unabhängig von der Stromrichtung in der Gleichspannungsleitung den Strom schalten kann. Der Gleichspannungsschalter ist ferner in einem der beiden Pole der Gleichspannungsleitung angeordnet, was für eine Trennung einer geerdeten Gleichspannungsleitung ausreichend ist.

[0006] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Schaltanordnung der obigen Art anzugeben, die einfach und zuverlässig ist.

[0007] Die Aufgabe wird durch eine Schaltanordnung zum Verbinden zweier Gleichspannungsnetze gelöst, umfassend eine Gleichspannungsleitung, die ein erstes Gleichspannungsnetz mit einem zweiten Gleichspannungsnetz verbindet, ein erstes unidirektionales Schaltelement in einem ersten Pol der Gleichspannungsleitung, ein zweites unidirektionales Schaltelement im ersten Pol der Gleichspannungsleitung, das vom ersten Schaltelement beabstandet angeordnet ist und dessen Schaltrichtung einer Schaltrichtung des ersten Schaltelements entgegen gerichtet ist, ein drittes unidirektionales Schaltelement in einem zweiten Pol der Gleichspannungsleitung, sowie ein viertes unidirektionales Schaltelement im zweiten Pol der Gleichspannungsleitung, das vom dritten Schaltelement beabstandet angeordnet ist und dessen Schaltrichtung einer Schaltrichtung des dritten Schaltelements entgegen gerichtet ist, wobei die Schaltelemente jeweils eine Spannungsfestigkeit aufweisen, die unterhalb einer Nennspannung (Nennübertragungsspannung) der Gleichspannungsleitung liegt (sie liegt jedoch meinst oberhalb der Polspannung). Die erfindungsgemäße Schaltanordnung eignet sich zum Verbinden zweier Gleichspannungsnetze, wobei die Gleichspannungsleitung der Schaltanordnung sich zwischen Netzknoten, Stromrichtern und/oder dergleichen Elementen der zu verbindenden Gleichspannungsnetze erstreckt. Sie eignet sich jedenfalls insbesondere auch dazu, einen Umrichter an ein Gleichspannungsnetz beziehungsweise dessen Knotenpunkt oder zwei Umrichter gleichspannungsseitig miteinander zu verbinden.

[0008] Ein Vorteil der erfindungsgemäßen Schaltanordnung ist die Möglichkeit der Klärung von unsymmetrischen Erdschlüssen an nur einem Pol in Gleichspannungsleitungen ohne starre Erdanbindung durch die Verwendung unindirektionaler Schaltelemente.

[0009] Zudem können die Spannungsfestigkeiten der Schaltelemente niedriger gewählt werden als bei einem Gleichspannungsschalter, der nur in einem Pol der Gleichspannungsleitung angeordnet ist, und daher auf die volle Nennspannung ausgelegt werden muss. Dies kann die Schaltvorrichtung einfacher und unter Umständen auch günstiger machen. Die Nennspannung in der Gleichspannungsleitung kann mehr als 100 kV, in vielen Fällen mehr als 600 kV betragen.

[0010] Die Gleichspannungsleitung kann beispielsweise an wenigstens einem Ende mit einem Gleichspannungsknoten verbunden sein. In einem Gleichspannungsknoten laufen mehrere Gleichspannungsleitungen des entsprechenden Gleichspannungsnetzes zusammen. Ferner kann die Gleichspannungsleitung auch an wenigstens einem Ende mit einem Umrichter des entsprechenden Gleichspannungsnetzes verbunden sein.

[0011] Die Pole der Gleichspannungsleitung liegen beispielsweise als Kabel- oder Freileitungen vor.

[0012] Die Schaltrichtung des Schaltelements ist diejenige Stromrichtung, in der das Schaltelement den Strom sperren kann. Sie kann in diesem Zusammenhang auch als Auslösestromrichtung bezeichnet werden. Die Schaltelemente der erfindungsgemäßen Schaltanordnung sind unidirektional. Das bedeutet, dass die Schaltelemente im Allgemeinen eine ausgezeichnete Schaltrichtung haben. Fließt der Strom entgegen der Schaltrichtung eines Schaltelementes, so kann dieses Schaltelement den Strom nicht sperren.

[0013] Als besonders vorteilhaft wird angesehen, wenn die Gleichspannungsleitung als eine Monopol-Verbindung, zweckmäßigerweise eine symmetrische Monopol-Verbindung, ausgebildet ist. Ein erster, positiver Pol der Gleichspan-

nungsleitung liegt hierbei auf einem positiven elektrischen Potenzial. Entsprechend liegt ein zweiter, negativer Pol auf einem negativen elektrischen Potenzial. Aufgrund der fehlenden festen Anbindung an das Erdpotenzial führt ein Erdschluss in einem der beiden Pole unter Umständen zu einer Potenzialverschiebung in der Gleichspannungsleitung. Beispielsweise kann der Erdschluss zu einem Umladen des positiven Pols führen, so dass der positive Pol auf das Potenzial null gebracht wird. Zugleich bleibt unter Umständen die Nennspannung, dass heißt die Pol-zu-Pol-Spannung, also die Potenzialdifferenz zwischen dem positiven und dem negativen Pol erhalten, so dass der negative Pol in diesem Fall auf das zweifache Potenzial abgesenkt wird. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn die Gleichspannungsleitung mit einem Umrichter verbunden ist, der eine konstante Spannung an einem Ende der Gleichspannungsleitung aufrechterhält. Mittels der erfindungsgemäßen Schaltanordnung kann verhindert werden, dass eine solche Potenzialverschiebung beide Gleichspannungsnetze betrifft.

[0014] Tritt der Erdschluss an einem Ort der Gleichspannungsleitung zwischen einem der Schaltelemente und dem nächstliegenden Gleichspannungsnetz ein, so können mittels der erfindungsgemäßen Schaltanordnung die beiden Gleichspannungsnetze voneinander entkoppelt werden. Auf diese Weise ist zumindest eines der Gleichspannungsnetze vom Fehler bzw. Erdschluss nicht betroffen. Liegt der Fehlerort zwischen den Schaltelementen, so können sogar beide Gleichspannungsnetze schadlos gehalten werden. Weiterhin kann bei einem schalterinternen Fehler eine Netzkopplung und Fehlereingrenzung realisiert werden.

[0015] Bevorzugt entspricht die Spannungsfestigkeit der Schaltelemente einem maximalen Spannungswert eines der Pole der Gleichspannungsleitung. Im Falle einer symmetrischen Monopol-Verbindung sind die Schaltelemente somit etwa auf die halbe Nennspannung ausgelegt. Die Auslegung kann dabei einen zusätzlichen Toleranzbereich der Spannungsfestigkeit von ca. 10% bis 70% umfassen. Vorteilhaft müssen die Schaltelemente damit nicht auf die volle Nennspannung ausgelegt werden.

[0016] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung sind das erste und das dritte Schaltelement ortsnah am ersten Gleichspannungsnetz und das zweite und das vierte Schaltelement ortsnah am zweiten Gleichspannungsnetz angeordnet. Die Schaltrichtung des dritten Schaltelements ist bevorzugt der Schaltrichtung des ersten Schaltelementes entgegen gerichtet. Der Begriff ortsnah bezeichnet dabei eine Entfernung von weniger als 10 km.

[0017] Bevorzugt weisen die Schaltrichtungen des ersten und dritten Schaltelementes zueinander. Vorteilhaft ist es ferner, wenn die Schaltrichtungen des zweiten und vierten Schaltelementes ebenfalls entgegen gerichtet sind.

[0018] Eine bevorzugte Konfiguration ist gegeben, wenn die Schaltrichtung des ersten Schaltelementes, das ortsnah am ersten Gleichspannungsnetz angeordnet ist, in Richtung des zweiten Schaltelementes weist, die Schaltrichtung des zweiten Schaltelementes, das ortsnah am zweiten Gleichspannungsnetz angeordnet ist, in Richtung des ersten Schaltelementes weist, die Schaltrichtung des dritten Schaltelementes, das ortsnah am ersten Gleichspannungsnetz angeordnet ist, in Richtung zum ersten Gleichspannungsnetz weist und die Schaltrichtung des vierten Schaltelementes, das ortsnah am zweiten Gleichspannungsnetz angeordnet ist, in Richtung zum zweiten Gleichspannungsnetz weist. Eine schematische Übersicht der möglichen Fehlerorte und der zugehörigen Fehlerklärung für diese Konfiguration ist in der folgenden Tabelle dargestellt. Dabei werden die folgenden Bezeichnungen verwendet: das erste Gleichspannungsnetz wird als Netz1, das zweiten Gleichspannungsnetz als Netz2, das i-te (erste bis vierte) Schaltelement entsprechend als SEi bezeichnet. Ferner werden der normale Betriebszustand als OK und der Fehlerzustand als Fail bezeichnet. Zudem wird mittels des Suffixes p bzw. n gekennzeichnet, ob der Fehler in dem positiven (p) oder negativen (n) Pol auftritt. Die Gleichspannungsleitung wird zwischen den Schaltelementen als GL gekennzeichnet.

Fehlerort	Öffnende Schaltelemente	Zustand Netz2	Zustand Netz1
Netz2p	SE2, SE3	Fail	OK
Netz2n	SE1, SE4	Fail	OK
Netz1p	SE1, SE4	OK	Fail
Netz1n	SE2, SE3	OK	Fail
GLp	SE1, SE2	OK	OK
GLn	SE3, SE4	OK	OK
SE1	SE2, SE3	Fail	OK
SE3	SE1, SE4	Fail	OK
SE2	SE1, SE4	OK	Fail
SE4	SE2, SE3	OK	Fail

[0019] Anhand der obigen Tabelle ist erkennbar, dass unabhängig vom Fehlerort zumindest eines der beiden Gleichspannungsnetze trotz Fehler weiter betrieben werden kann.

[0020] Eine vorteilhafte Anwendung der Schaltanordnung ist gegeben, wenn das erste und das zweite Schaltelement in mehr als 1 km Abstand voneinander angeordnet sind. In einem solchen Fall ist eine Möglichkeit der Fehlerklärung bei Erdschlüssen besonders wichtig, weil bei langen Übertragungsleitungen die Wahrscheinlichkeit eines Erdschlusses besonders hoch ist.

[0021] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung umfassen die Schaltelemente jeweils wenigstens eine steuerbare Schaltvorrichtung, wobei die steuerbaren Schaltvorrichtungen der Schaltelemente voneinander unabhängig ansteuerbar sind. Die Schaltvorrichtung kann beispielsweise einen steuerbaren Leistungshalbleiterschalter oder eine Reihenschaltung solcher umfassen. Die Ausgestaltung der Schaltvorrichtung ist grundsätzlich beliebig und kann durch eine der bekannten Konzepte der Gleichspannungsschalter realisiert sein. Geeigneterweise kann das Schaltelement eine Drossel zur Strombegrenzung umfassen. Die Drossel kann in einer Parallelschaltung oder Reihenschaltung zur Schaltvorrichtung angeordnet sein.

[0022] Bevorzugt ist parallel zu jeder Schaltvorrichtung ein Überspannungsableiter angeordnet. Mittels des Überspannungsableiters kann die Spannung über dem Schaltelement begrenzt werden.

[0023] Besonders bevorzugt ist parallel zu wenigstens einer der Schaltvorrichtungen eine Parallelschaltung aus mehreren parallel geschalteten Überspannungsableitern angeordnet. Durch die Parallelschaltung kann eine Ansprechspannung der Überspannungsableiter gesteuert bzw. auf einen für die jeweilige Anwendung geeigneten Wert eingestellt werden.

[0024] Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ist eine Messvorrichtung zur Erfassung einer Potenzialverschiebung in der Gleichspannungsleitung vorgesehen. Die Messvorrichtung erfasst demnach während des Betriebes der Schaltanordnung eine mögliche Verschiebung wenigstens eines der Potenziale im ersten bzw. zweiten Pol der Gleichspannungsleitung. Denkbar ist auch eine Erfassung einer Summe der beiden Potenziale beziehungsweise deren Verschiebung. Eine Potenzialverschiebung kann als ein Hinweis auf einen Erdschluss interpretiert werden. Wenn die Verschiebung beispielsweise einen vorbestimmten Wert überschreitet, dann generiert die Messvorrichtung bevorzugt ein entsprechendes Auslösesignal, das beispielsweise an eine Überwachungseinrichtung beziehungsweise an eine Steuereinheit gesendet wird. Die Steuereinheit kann die Schaltelemente entsprechend ansteuern, zu öffnen. Die Erfassung der Potenzialverschiebung erlaubt vorteilhaft auch dann eine Öffnung der Schaltelemente zur Fehlerklärung, wenn ein Fehlerstrom im Fehlerfall einen Nennstrom bei Normalbetrieb nicht wesentlich überschreitet. Es kann zudem von Vorteil sein, wenn die Schaltanordnung wenigstens eine Strommessvorrichtung zum Messen des Stromes in der Gleichspannungsleitung und wenigstens eine Spannungsmessvorrichtung zum Messen der Spannung in den Polen der Gleichspannungsleitung umfasst. Denkbar ist ebenfalls eine Erkennung eines Überstroms und/oder eines Stromanstiegs.

[0025] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Fehlerklärung mittels der Schaltanordnung.

[0026] Eine Fehlerklärung ist insbesondere bei Kurzschlüssen notwendig, die in einer Gleichspannungsleitung auftreten können. Eine Fehlerklärung hat dabei zum Ziel, die Auswirkungen eines Kurzschlusses lokal zu begrenzen. Ein Kurzschluss kann beispielsweise ein Erdschluss sein, also ein elektrischer Kontakt zwischen einem Pol der Gleichspannungsleitung und Erde.

[0027] Die Aufgabe der Erfindung ist besteht darin, ein solches Verfahren vorzuschlagen, dass möglichst einfach und zuverlässig ist.

[0028] Die Aufgabe wird durch ein artgemäßes Verfahren gelöst, bei dem bei einem Kurzschluss in einer Gleichspannungsleitung oder in einem mit der Gleichspannungsleitung verbundenen Gleichspannungsnetz zwei unidirektionale Schaltelemente geöffnet werden, wobei ein erstes unidirektionales Schaltelement in einem ersten Pol der Gleichspannungsleitung angeordnet ist, ein zweites unidirektionales Schaltelement im ersten Pol der Gleichspannungsleitung, vom ersten Schaltelement beabstandet angeordnet ist, wobei dessen Schaltrichtung einer Schaltrichtung des ersten Schaltelements entgegen gerichtet ist, ein drittes unidirektionales Schaltelement in einem zweiten Pol der Gleichspannungsleitung angeordnet ist, und ein viertes unidirektionales Schaltelement im zweiten Pol der Gleichspannungsleitung, vom dritten Schaltelement beabstandet angeordnet ist, wobei dessen Schaltrichtung einer Schaltrichtung des dritten Schaltelements entgegen gerichtet ist.

[0029] Die Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus den entsprechenden Vorteilen der erfindungsgemäßen Schaltanordnung.

[0030] Welche der Schaltelemente geöffnet werden, hängt insbesondere vom Ort des zu klärenden Fehlers als auch dessen Art ab. Ein Beispiel einer möglichen Vorgehensweise ist in der zuvor angeführten Tabelle dargestellt. Die Schaltelemente können dabei gleichzeitig oder mit einer geeigneten Zeitverzögerung geöffnet werden. Ein Schalter wird in diesem Zusammenhang als geöffnet bezeichnet, wenn er einen Stromfluss in der gegebenen Stromrichtung sperrt.

[0031] Im Übrigen können alle zuvor beschriebenen Varianten und Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Schaltanordnung ihre Entsprechung im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren finden.

[0032] Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren 1 bis 3 näher erläutert.

Figur 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Schaltanordnung in einer schematischen Darstellung;

Figur 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Schaltanordnung in einer schematischen Darstellung;

Figur 3 zeigt einen Potenzialverlauf über Distanz in der Schaltanordnung gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 2.

[0033] Im Einzelnen zeigt Figur 1 eine Schaltanordnung 1. Die Schaltanordnung 1 umfasst eine Gleichspannungsleitung 2 mit einem ersten Pol 3 und einem zweiten Pol 4. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Gleichspannungsleitung 2 eine symmetrische Monopol-Verbindung, bei der der erste Pol 3 ein positiver Pol und der zweite Pol 4 ein negativer Pol sind. Beide Pole 3 bzw. 4 sind als Kabelverbindungen realisiert.

[0034] Die Gleichspannungsleitung 2 erstreckt sich zwischen einem beliebig ausgestalteten ersten Gleichspannungsnetz 5 und einem ebenfalls beliebig ausgestalteten zweiten Gleichspannungsnetz 6. In Figur 1 ist angedeutet, dass das erste Gleichspannungsnetz mit zwei Umrichterstationen 7 bzw. 8 verbunden ist. Entsprechend ist das zweite Gleichspannungsnetz mit zwei weiteren Umrichterstationen 9 bzw. 10 verbunden. Die Umrichterstationen 7-10 können ihrerseits wechselspannungsseitig mit in Figur 1 nicht explizit gezeigten Wechselspannungsnetzen verbunden sein. Eine Nennspannung zwischen den beiden Polen 3, 4 beträgt im dargestellten Ausführungsbeispiel 2 * 320 kV.

[0035] Die Schaltanordnung 1 umfasst ferner ein erstes Schaltelement SE1, das ortsnah am ersten Gleichspannungsnetz 5 im ersten Pol 3 der Gleichspannungsleitung 2 angeordnet ist. Das erste Schaltelement SE1 weist eine Parallelschaltung aus einer steuerbarer Schaltvorrichtung 12, einer Diode 13 und einem Überspannungsableiter 14 auf. Die Schaltvorrichtung 12 ist im dargestellten Ausführungsbespiel ein abschaltbarer Leistungshalbleiterschalter. Anstelle der Diode 13 kann eine Reihenschaltung mehrerer Dioden vorgesehen sein. Auch kann anstelle der Schaltvorrichtung 12 eine Reihenschaltung mehrerer Schaltvorrichtungen bzw. mehrerer Leistungshalbleiterschalter vorgesehen sein. Denkbar ist zudem eine Reihenschaltung von Schalteinheiten, wobei jede Schalteinheit einen Leistungshalbleiterschalter (wie beispielsweise einen IGBT) und eine dazu antiparallele Freilaufdiode aufweist. Das erste Schaltelement SE1 hat eine Schaltrichtung, die zum zweiten Gleichspannungsnetz 6 weist.

[0036] Ein zweites Schaltelement SE2 ist ortsnah am zweiten Gleichspannungsnetz 6 im ersten Pol 3 angeordnet. Der Aufbau des zweiten Schaltelementes SE2 entspricht demjenigen des ersten Schaltelementes SE1 mit dem Unterschied, dass eine Schaltrichtung des zweiten Schaltelementes SE2 derjenigen des ersten Schaltelementes SE1 entgegengesetzt ist.

[0037] Ein drittes Schaltelement SE3 ist ortsnah am ersten Gleichspannungsnetz 5 im zweiten Pol 4 angeordnet. Der Aufbau des dritten Schaltelementes SE3 entspricht demjenigen des ersten Schaltelementes SE1. Eine Schaltrichtung des dritten Schaltelementes SE3 zeigt in Richtung des ersten Gleichspannungsnetzes 5.

[0038] Ein viertes Schaltelement SE4 ist ortsnah am zweiten Gleichspannungsnetz 6 im zweiten Pol 4 angeordnet. Der Aufbau des vierten Schaltelementes SE4 entspricht ebenfalls demjenigen des ersten Schaltelementes SE1. Eine Schaltrichtung des vierten Schaltelementes SE4 ist derjenigen des dritten Schaltelementes SE3 entgegengesetzt.

[0039] Darüber hinaus umfasst die Schaltanordnung 1 eine Steuereinheit 15, die dazu geeignet ist, die Leistungshalbleiter der Schaltelemente SE1-SE4 anzusteuern, so dass diese beispielsweise sperren. Eine erste Messvorrichtung 16 und eine zweite Messvorrichtung 17 erfassen Strom, Spannung und/oder Potenzialverschiebungen in den Polen 3, 4 der Gleichspannungsleitung 2. Die Messvorrichtungen 16, 17 sind ausgangsseitig mit der Steuereinheit 15 verbunden. Bei Erkennung eines Kurzschlusses in der Gleichspannungsleitung 2 wird ein entsprechendes Signal an die Steuereinheit 15 gegeben, so dass eine zur Fehlerklärung geeignete Ansteuerung der Schaltelemente vorgenommen werden kann. Beispielsweise werden bei einem Erdschluss im negativen Pol 4 an einem Ort zwischen den beiden Schaltelemente SE3 und SE4 das dritte und das vierte Schaltelement SE3 bzw. SE4 angesteuert, zu sperren. Auf diese Weise kann der Erdschluss lokal eingegrenzt werden, so dass er keine Auswirkungen auf die beiden Gleichspannungsnetze 5 bzw. 6 hat. Im Falle eines Kurzschlusses im positiven Pol 3 im ersten Gleichspannungsnetz 5 werden das zweite und das dritte Schaltelement SE2 und SE3 angesteuert, zu sperren. Auf diese Weise bleibt der Fehler ohne Wirkung auf das zweite Gleichspanungsnetz 6.

[0040] Figur 2 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der Schaltanordnung 1. Aus Übersichtlichkeitsgründen sind in den Figuren 1 und 2 gleiche und gleichartige Bauteile und Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen.

[0041] In Figur 2 ist die Gleichspannungsleitung 2 der Schaltanordnung 1 gezeigt, die sich zwischen einem Netzknoten 18, 19 des ersten Gleichspannungsnetzes 5 und einem Umrichter 20 erstreckt, die zum zweiten Gleichspannungsnetz 6 gehört. Ansonsten entspricht der Aufbau der Schaltanordnung 1 der Figur 2 demjenigen der Figur 1.

[0042] In Figur 2 ist ein Beispiel eines Erdschlusses im zweiten Gleichspannungsnetz 6 zwischen dem positiven Pol 3 und Erde 22 dargestellt. Der Erdschluss ist figürlich in Form eines Blitz-Zeichens 21 angedeutet. Der Erdschluss bewirkt einen Erdschlussstrom beziehungsweise eine Potenzialverschiebung mit Ausgleichsstrom, der als Pfeil 23 dar-

gestellt ist und zwischen dem positiven Pol 3 und Erde 22 fließt. In der Gleichspannungsleitung bewirkt der Erdschluss einen Stromfluss, der in den beiden Polen 3, 4 mit den Pfeilen 24 und 25 kenntlich gemacht ist. Das Potenzial im positiven Pol 3 sinkt aufgrund des Erdschlusses auf null. Da der Umrichter 20 seine gleichspannungsseitige Spannungsdifferenz aufrechterhält, verschiebt sich das Potenzial im zweiten Pol 4 um einen von der jeweiligen Konfiguration des Umrichters 20 abhängigen Betrag.

[0043] Sobald der Fehler erkannt worden ist, steuert die Steuereinheit 15 das erste Schaltelement SE1 und das vierte Schaltelement SE4, zu öffnen. Dies bewirkt eine Trennung des Stromkreises. Die Potenzialverschiebung wirkt sich damit nicht auf den Netzknoten 18, 19 aus.

[0044] Die Potenzialverteilung entlang der Gleichspannungsleitung 2 der Schaltanordnung 1 der Figur 2 ist in Figur 3 dargestellt. Dabei wird von dem in Figur 2 gezeigten Beispiel des Erdschlusses in dem zweiten Gleichspannungsnetz 6 ausgegangen.

[0045] In Figur 3 stellt die mit Z bezeichnete Diagrammachse den Ort entlang der Gleichspannungsleitung 2. Auf der mit U bezeichneten Diagrammachse sind die elektrischen Potenziale am gegebenen Ort dargestellt.

[0046] Der Ort der beiden Schaltelemente SE1 und SE3 ist mit dem Bezugszeichen 31 versehen. Entsprechend ist der Ort der Schaltelemente SE2 und SE4 mit dem Bezugszeichen 32 versehen.

[0047] Die in Figur 3 dargestellten Potenzialverläufe stellen die Situation nach dem Sperren des ersten und vierten Schaltelementes SE1 bzw. SE4, also nach der Fehlerklärung, dar. Der Potenzialverlauf im positiven Pol 3 ist mit dem Bezugszeichen 33 versehen. Der Potenzialverlauf im negativen Pol 4 ist mit dem Bezugszeichen 34 versehen. Der Ort des Erdschlusses ist mit dem Bezugszeichen 35 gekennzeichnet.

[0048] Es ist erkennbar, dass die Spannung zwischen dem positiven Pol und Erde am Ort 35 des Erdschlusses auf null gesunken ist. Das Potenzial dort liegt bei null. Zugleich hat eine Potenzialverschiebung des ersten und zweiten Pols 3 bzw. 4 stattgefunden, so dass zwischen den beiden Polen 3, 4 eine Spannungsdifferenz Uk vorliegt, die im Allgemeinen ungleich der Nennspannung Un ist. Durch die Sperrung der Schaltelemente SE1 und SE4 kann jedoch erreicht werden, dass am Ort 36 des ersten Gleichspannungsnetzes die Potenziale der beiden Pole 3, 4 symmetrisch um null liegen. Die Pol-zu-Pol-Spannung am Ort 36 ist gleich der Nennspannung Un in einem Normalbetrieb. Es ist demnach erkennbar, dass der Erdschluss am Ort 35 den Betrieb im ersten Gleichspannungsnetz 5 nicht negativ beeinflusst.

Patentansprüche

1. Schaltanordnung (1) zum Verbinden zweier Gleichspannungsnetze (5,6) umfassend

   - eine Gleichspannungsleitung (2), die ein erstes Gleichspannungsnetz (5) mit einem zweiten Gleichspannungsnetz (6) verbindet,
   - ein erstes unidirektionales Schaltelement (SE1) in einem ersten Pol (3) der Gleichspannungsleitung (2),
   - ein zweites unidirektionales Schaltelement (SE2) im ersten Pol (3) der Gleichspannungsleitung (2), das vom ersten Schaltelement (SE1) beabstandet angeordnet ist und dessen Schaltrichtung einer Schaltrichtung des ersten Schaltelements (SE1) entgegen gerichtet ist,
   - ein drittes unidirektionales Schaltelement (SE3) in einem zweiten Pol (4) der Gleichspannungsleitung (2),
   - ein viertes unidirektionales Schaltelement (SE4) im zweiten Pol (4) der Gleichspannungsleitung (2), das vom dritten Schaltelement (SE3) beabstandet angeordnet ist und dessen Schaltrichtung einer Schaltrichtung des dritten Schaltelements (SE3) entgegen gerichtet ist, wobei die Schaltelemente (SE1-4) jeweils eine Spannungsfestigkeit aufweisen, die unterhalb einer Nennspannung (Un) der Gleichspannungsleitung (2) liegt.

2. Schaltanordnung (1) nach Anspruch 1, wobei die Gleichspannungsleitung (2) als eine symmetrische Monopol-Verbindung ausgebildet ist.

3. Schaltanordnung (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die Spannungsfestigkeit der Schaltelemente (SE1-4) einem maximalen Spannungswert eines der Pole (3,4) der Gleichspannungsleitung (2) entspricht.

4. Schaltanordnung (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Schaltrichtung des dritten Schaltelements (SE3) der Schaltrichtung des ersten Schaltelementes (SE1) entgegen gerichtet ist.

5. Schaltanordnung (1) nach Anspruch 4, wobei die Schaltrichtungen der beiden Schaltelemente (SE1,2) in einem positiven Pol (3) der Gleichspannungsleitung (2) zueinander weisen.

6. Schaltanordnung (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das erste und das zweite Schaltelement (SE1,2) in mehr als 1 km Abstand voneinander angeordnet sind.

7. Schaltanordnung (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Schaltelemente (SE1-4) jeweils wenigstens eine steuerbare Schaltvorrichtung (12) umfassen, wobei die steuerbaren Schaltvorrichtungen (12) der Schaltelemente (SE1,4) voneinander unabhängig ansteuerbar sind.

8. Schaltanordnung (1) nach Anspruch 7, wobei parallel zu jeder Schaltvorrichtung (12) ein Überspannungsableiter (14) angeordnet ist.

9. Schaltanordnung (1) nach Anspruch 8, wobei parallel zu jeder der Schaltvorrichtungen (12) eine Parallelschaltung aus mehreren parallel geschalteten Überspannungsableitern (14) angeordnet ist.

10. Schaltanordnung (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei eine Messvorrichtung (16,17) zur Erfassung einer Potenzialverschiebung in der Gleichspannungsleitung (2) vorgesehen ist.

11. Verfahren zur Fehlerklärung mittels einer Schaltanordnung (1) , bei dem
bei einem Kurzschluss in einer Gleichspannungsleitung (2) oder in einem mit der Gleichspannungsleitung (2) verbundenen Gleichspannungsnetz (5,6) zwei unidirektionale Schaltelemente (SE1-4) geöffnet werden, wobei

- ein erstes unidirektionales Schaltelement (SE1) in einem ersten Pol (3) der Gleichspannungsleitung (2) angeordnet ist,
- ein zweites unidirektionales Schaltelement (SE2) im ersten Pol (3) der Gleichspannungsleitung (2), vom ersten Schaltelement (SE1) beabstandet angeordnet ist, wobei dessen Schaltrichtung einer Schaltrichtung des ersten Schaltelements (SE1) entgegen gerichtet ist,
- ein drittes unidirektionales Schaltelement (SE3) in einem zweiten Pol (4) der Gleichspannungsleitung (2) angeordnet ist, und
- ein viertes unidirektionales Schaltelement (SE4) im zweiten Pol (4) der Gleichspannungsleitung (2), vom dritten Schaltelement (SE3) beabstandet angeordnet ist, wobei dessen Schaltrichtung einer Schaltrichtung des dritten Schaltelements (SE3) entgegen gerichtet ist.

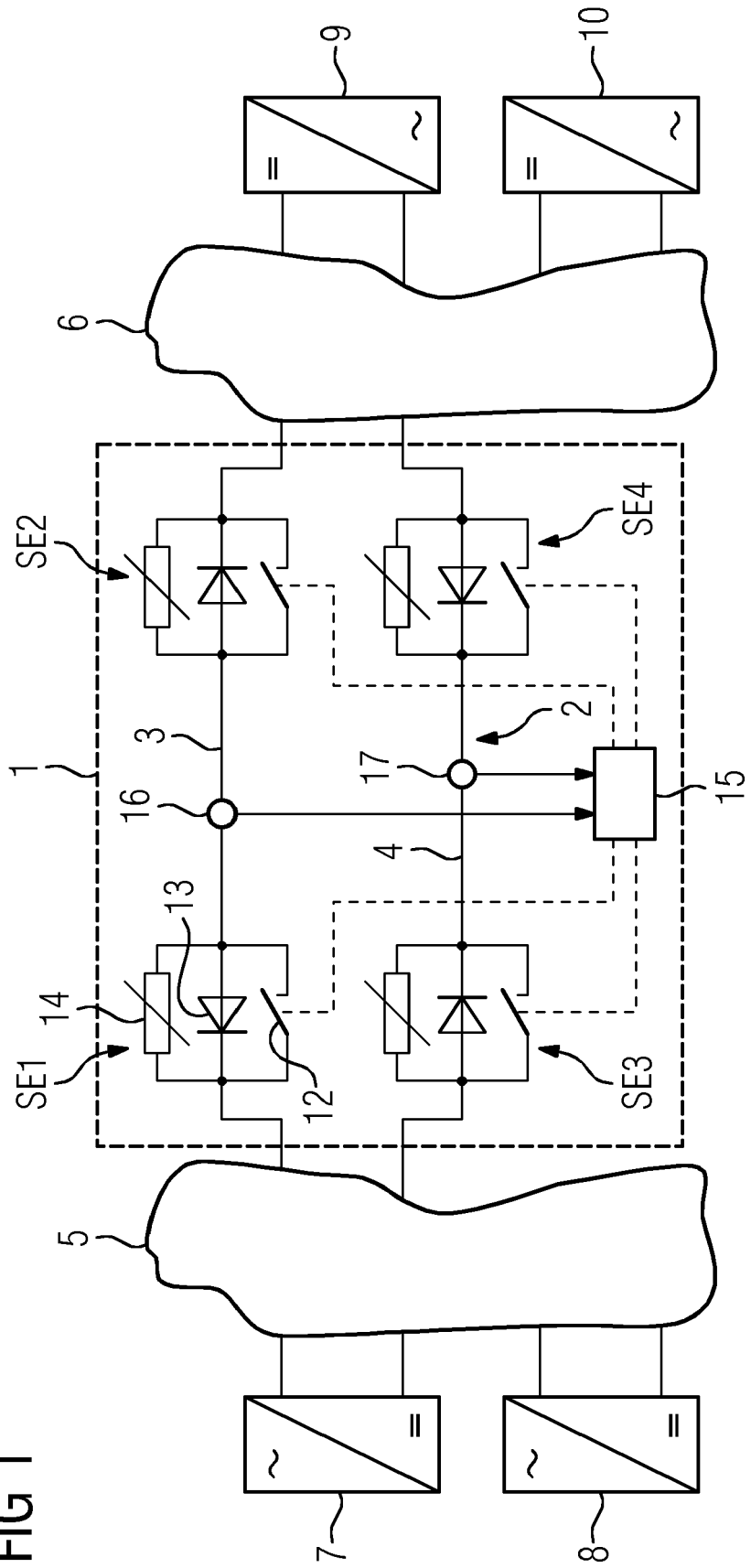


FIG 1

FIG 2

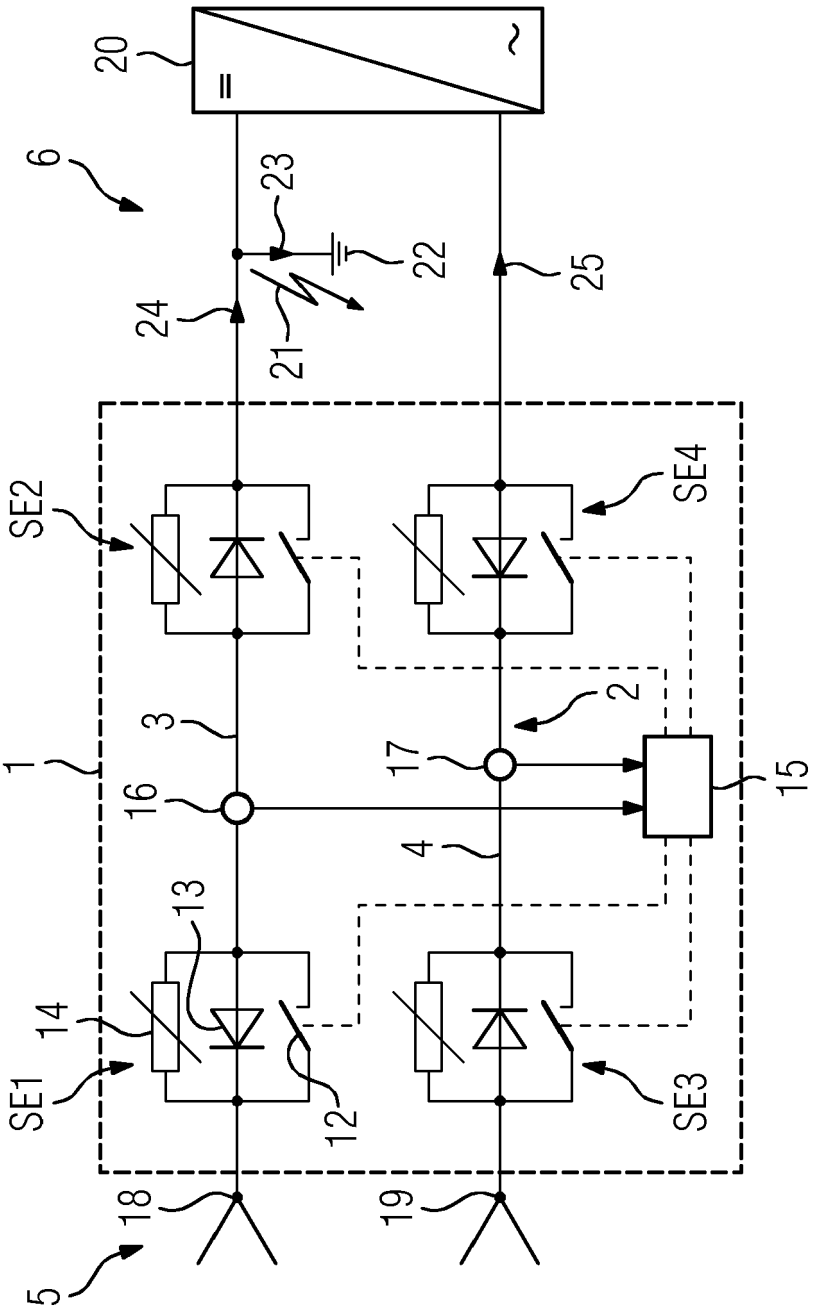
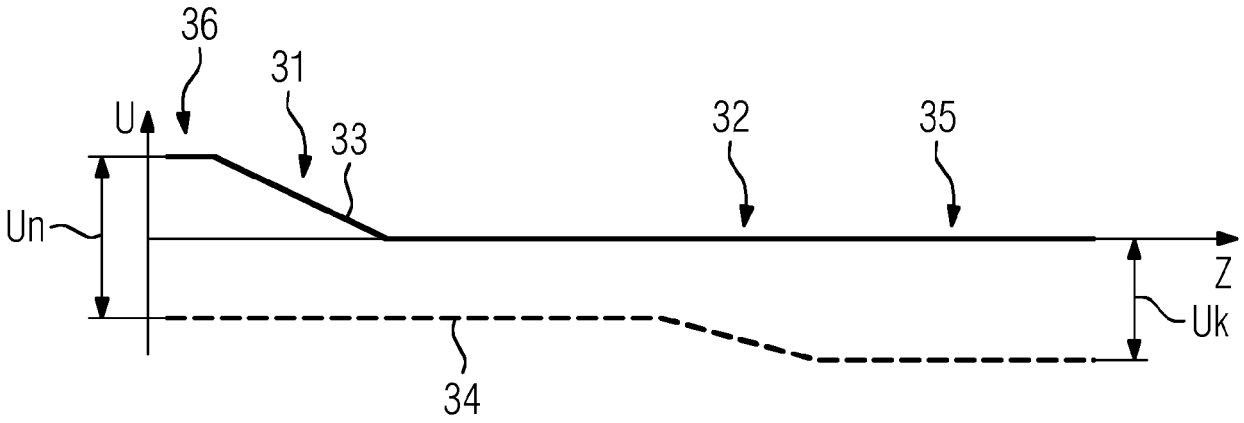


FIG 3



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 17 17 6306

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X Y	WO 2014/117807 A1 (SIEMENS AG [DE]) 7. August 2014 (2014-08-07) * Seite 1, Zeile 5 - Seite 2, Zeile 20; Abbildung 7 * * Seite 8, Zeile 15 - Seite 9, Zeile 5 * -----	1-7,10, 11 8,9	INV. H01H9/54 H01H33/59
Y A	WO 2014/053554 A1 (ABB TECHNOLOGY AG [CH]) 10. April 2014 (2014-04-10) * Seite 9, Zeilen 31-37; Abbildung 1 * -----	8,9 1,11	
A	DE 10 2013 114259 A1 (EATON ELECTRICAL IP GMBH & CO [DE]) 18. Juni 2015 (2015-06-18) * Zusammenfassung; Abbildung 1 * -----	1,11	

RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)

H01H

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
München	7. November 2017	Findeli, Luc

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 17 17 6306

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

07-11-2017

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2014117807 A1	07-08-2014	DK 2929627 T3	16-01-2017
		EP 2929627 A1	14-10-2015
		PL 2929627 T3	31-07-2017
		WO 2014117807 A1	07-08-2014
WO 2014053554 A1	10-04-2014	CN 104685597 A	03-06-2015
		EP 2904626 A1	12-08-2015
		JP 5847365 B2	20-01-2016
		JP 2015534235 A	26-11-2015
		US 2015214724 A1	30-07-2015
		WO 2014053554 A1	10-04-2014
DE 102013114259 A1	18-06-2015	CA 2934123 A1	25-06-2015
		CN 105830344 A	03-08-2016
		DE 102013114259 A1	18-06-2015
		EP 3084960 A1	26-10-2016
		US 2016322184 A1	03-11-2016
		WO 2015091105 A1	25-06-2015

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

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 2015078525 A1 **[0005]**