



(10) **DE 10 2021 114 207 A1** 2022.12.01

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 114 207.5**
(22) Anmeldetag: **01.06.2021**
(43) Offenlegungstag: **01.12.2022**

(51) Int Cl.: **H02H 9/04 (2006.01)**
H02M 7/10 (2006.01)
H02M 7/19 (2006.01)
C25B 15/02 (2021.01)

(71) Anmelder:
**ConverterTec Deutschland GmbH, 47906 Kempen,
DE**

(74) Vertreter:
**COHAUSZ & FLORACK Patent- und
Rechtsanwälte Partnerschaftsgesellschaft mbB,
40211 Düsseldorf, DE**

(72) Erfinder:
**Hartmann, Eric, Dipl.-Ing., 47906 Kempen, DE;
Wenzel, Karsten, 47803 Krefeld, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2005 007 377	A1
EP	3 556 905	A1
CN	2 01 323 531	Y

**GUIDA, Vittorio ; GUILBERT, Damien ;
DOUINE, Bruno: Candidate interleaved DC-DC
buck converters for electrolyzers: state-of-the-art
and perspectives. In: 2018 IEEE International
Conference on Environment and Electrical
Engineering and 2018 IEEE Industrial and
Commercial Power Systems Europe, 12-15 June
2018. 6 S. – ISBN 978-1-5386-5186-5. DOI: 10.1109/
EEEIC.2018.8494457**

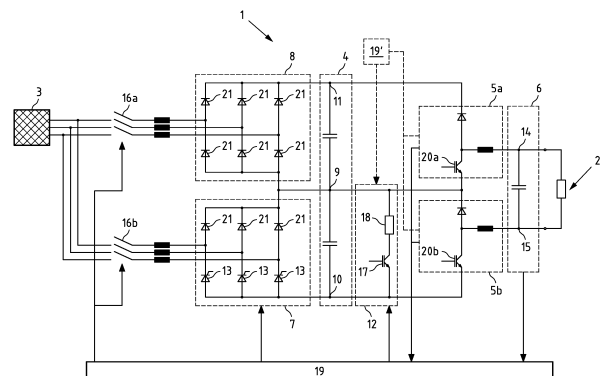
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Schaltungsanordnung zur Bereitstellung elektrischer Leistung für große DC-Lasten**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Bereitstellung elektrischer Leistung für mindestens eine DC-Last, insbesondere für mindestens eine Elektrolysezelle, von mindestens einer Wechselstromquelle aufweisend einen primären DC-Zwischenspannungskreis, welcher über DC/DC-Wandler mit einem sekundären DC-Zwischenspannungskreis verbunden ist, welcher die mindestens eine DC-Last mit elektrischer Leistung versorgt. Die Aufgabe, eine Schaltungsanordnung zur Bereitstellung elektrischer Leistung für mindestens eine DC-Last, insbesondere für mindestens eine Elektrolysezelle zur Verfügung zu stellen, mit welcher nicht nur eine ganze Bandbreite an Elektrolysezelle mit Gleichspannung versorgt werden können, sondern auch gleichzeitig ein effektives Schutzkonzept im Fall von Fehlerzuständen in der DC-Last, dem DC/DC-Wandler oder dem zugehörigen sekundären DC-Zwischenspannungskreis bereitgestellt werden kann, wird dadurch gelöst, dass der primäre DC-Zwischenspannungskreis (4) über zwei in Serie geschaltete Gleichrichter (7, 8) mit elektrischer Leistung der Wechselstromquelle (3) gespeist wird, so dass ein Mittelpunktabgriff (9) bereitgestellt wird, zwischen dem Mittelpunktabgriff (9) des primären DC-Zwischenspannungskreises (4) und mindestens eines DC-Potentials des primären DC-Zwischenspannungskreises (4) Mittel (12) zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung des zugehörigen Gleichrichters vorgesehen sind, welche im Falle eines Fehlerzustands in der DC-Last (2), in dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis (6) und/oder in mindestens einem DC/DC-Wandler (5a, 5b) die DC-Ausgangs-

spannung mindestens eines der in Serie geschalteten Gleichrichter (7, 8) begrenzen können.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Bereitstellung elektrischer Leistung für mindestens eine DC-Last, insbesondere für mindestens eine Elektrolysezelle, von mindestens einer Wechselstromquelle aufweisend einen primären DC-Zwischenspannungskreis, welcher über DC/DC-Wandler mit einem sekundären DC-Zwischenspannungskreis verbunden ist, welcher die mindestens eine DC-Last mit elektrischer Leistung versorgt. Daneben betrifft die Erfindung auch ein Verfahren zum Bereitstellen elektrischer Leistung mindestens einer Wechselstromquelle für mindestens eine DC-Last, insbesondere mindestens eine Elektrolysezelle mit einer erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung.

[0002] Eine Schlüsselrolle für die Realisierung von klimaneutralen Industrieprozessen kommt der Wasserstoffwirtschaft zu. Wasserstoff und andere synthetisch erzeugte Energieträger sollen dort eingesetzt werden, wo regenerativ erzeugter Strom als Energiequelle derzeit nicht einsetzbar ist. In Elektrolyseprozessen wird mithilfe elektrischen Stroms eine chemische Reaktion in Gang gesetzt, welche beispielsweise Wasser in seine Bestandteile Sauerstoff und Wasserstoff aufspaltet. Bei der Wasserelektrolyse werden sogenannte Elektrolysezellen eingesetzt. Alkalische Elektrolysezellen werden derzeit mit Spannungen bis zu 600 V sowie Strömen mit bis zu 40 kA oder mehr betrieben. Daraus ergeben sich Leistungen von bis 24 MW und mehr. Protonen-Austausch-Membran-Elektrolysezellen, sogenannte PEM-Elektrolysezellen benötigen eine elektrische Spannung von 700 bis ca. 1400 V und werden bei einer Leistung bis ca. 5 MW mit Strömen von 2-4 kA betrieben. Daneben werden auch Festoxidzellen (SOEC) bei etwa 700-1400 V mit Leistungen von 100-300 kW betrieben. Auch hier scheint eine Hochskalierung auf den Megawattbereich absehbar. Elektrolysezelle stellen deshalb DC-Lasten dar, welche besonders hohe Leistungen erfordern. Elektrische Energie wird in der Regel über Wechselstromnetze verteilt und an die Endverbraucher geführt. Elektrolysezellen werden jedoch mit Gleichspannung betrieben, sodass eine Gleichrichtung erforderlich ist. Bei diesen hohen Leistungen sind zudem Schutzkonzepte sowohl für die Gleichrichter als auch für die Elektrolysezellen sehr wichtig.

[0003] Aus der europäischen Patentanmeldung EP 3 556 905 A1 ist beispielsweise eine Schaltungsanordnung zum Betrieb einer Elektrolysezelle bekannt, bei welcher eine Wechselspannung zuerst in eine erste Gleichspannung gleichgerichtet und anschließend die erste Gleichspannung in eine zweite, niedrigere Gleichspannung gewandelt wird. Zum Schutz der Elektrolysezelle ist der Gleichrich-

ter der Wechselspannung und auch die Abwärts-wandler oder Tiefsetzstellern in ihrer Leistung einstellbar. Hierdurch kann zwar bei Änderungen der Widerstände der Elektrolysezelle aufgrund von Alterungserscheinungen der Stromfluss durch die Elektrolysezelle im gesicherten Bereich gehalten werden. Ein Schutzkonzept für Bauteilversagen beispielsweise der Tiefsetzsteller ist jedoch nicht offenbart.

[0004] Die vorliegende Erfindung hat sich daher die Aufgabe gestellt, eine Schaltungsanordnung zur Bereitstellung elektrischer Leistung für mindestens eine DC-Last, insbesondere für mindestens eine Elektrolysezelle zur Verfügung zu stellen, mit welcher nicht nur eine ganze Bandbreite an Elektrolysezelle mit Gleichspannung versorgt werden können, sondern auch gleichzeitig ein effektives Schutzkonzept im Fall von Fehlerzuständen in der DC-Last, dem DC/DC-Wandler oder dem zugehörigen sekundären DC-Zwischenspannungskreis bereitstellt gestellt werden kann.

[0005] Nach einer ersten Lehre der vorliegenden Erfindung wird die aufgezeigte Aufgabe dadurch gelöst, dass der primäre DC-Zwischenspannungskreis über zwei in Serie geschaltete Gleichrichter mit elektrischer Leistung der Wechselstromquelle gespeist wird, sodass ein Mittelpunktabgriff bereitgestellt wird, zwischen dem Mittelpunktabgriff des primären DC-Zwischenspannungskreises und mindestens eines DC-Potentials des primären DC-Zwischenspannungskreises Mittel zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung des zugehörigen Gleichrichters vorgesehen sind, welche im Falle eines Fehlerzustands in der DC-Last, dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis und/oder in mindestens einem DC/DC -Wandler die DC-Ausgangsspannung des mindestens einen in Serie geschalteten Gleichrichters verringern können.

[0006] Die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung kann aufgrund der in Serie geschalteten Gleichrichter ausgehend von der Spannung einer Wechselspannungsquelle bis maximal doppelt so hohe Gleichspannungen im primären DC-Zwischenspannungskreis zur Verfügung stellen, so dass eine große Bandbreite an Elektrolysezellen ausgehend von einer Wechselstromquelle mit Gleichspannung versorgt werden können. Die Topologie mit zwei in Serie geschalteten Gleichrichtern mit Mittelpunktabgriff führt darüber hinaus auch zu einem effektiven Schutzkonzept der Elektrolysezellen. Aufgrund des hohen Leistungsbedarfs der Elektrolysezellen müssen auch die bekannten DC/DC-Wandler hohe Leistungen schalten. Dabei kann es zu einem Durchlegieren in Folge eines Bauteilfehlers kommen, so dass im sekundären DC-Zwischenspannungskreis deutlich zu hohe Spannungen oder deutlich zu große Ströme gemessen werden können.

[0007] Durch die Mittel zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung mindestens eines der Gleichrichter des primären DC-Zwischenspannungskreises im Falle eines Fehlerzustands kann die Spannung des primären DC-Zwischenspannungskreises besonders effektiv und schnell verringert und überschüssige Energie aus dem kurzgeschlossenen Gleichrichter, beispielsweise über eine zuschaltbare Last, abgeleitet werden. Da die Spannungsbegrenzung bereits im primären DC-Zwischenspannungskreis erfolgt, können alle nachfolgenden Baugruppen in Bezug auf Beschädigungen effektiv geschützt werden.

[0008] Weist gemäß einer ersten Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung mindestens einer der mit dem primären DC-Zwischenspannungskreis verbundenen Gleichrichter abschaltbare Leistungsschalter, insbesondere Thyristoren auf und sind Mittel vorgesehen, welche zumindest einen Teil der abschaltbaren Leistungsschalter dieses Gleichrichters abschalten können, sobald ein Fehlerzustand in der DC-Last, dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis und/oder mindestens einem DC/DC-Wandler detektiert wird, kann die bei der Begrenzung der DC-Ausgangsspannung des Gleichrichters abzuleitende elektrische Energie deutlich begrenzt werden. Abschaltbare Leistungsschalter erlauben es, den Energiefluss von der Wechselstromquelle in den primären DC-Zwischenspannungskreis bereits zum Beispiel nach 10ms zu verhindern. Kostengünstige abschaltbare Leistungsschalter mit einem solchen Schaltverhalten sind beispielsweise Thyristoren. Als abschaltbare Leistungsschalter können diese in mindestens einem der Gleichrichter des primären DC-Zwischenspannungskreises zur Gleichrichtung hoher Wechselstrom-Leistungen verwendet werden. Thyristoren, welche erst beim nächsten Stromnulldurchgang der Wechselspannung, welcher bei 50Hz Netzfrequenz maximal nach 10 ms folgt, in den gesperrten Zustand übergehen, sperren dann den Energiefluss aus der Wechselstromquelle in den primären DC-Zwischenspannungskreis. In Kombination mit der Begrenzung der DC-Ausgangsspannung des zugehörigen Gleichrichters kann damit ein sehr effektiver Schutz vor Überspannungen oder Überströmen in dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis und der nachgelagerten DC-Last erreicht werden. Auch die Mittel zur Begrenzung der DC-Ausgangsspannung des mindestens einen Gleichrichters können an die Schaltgeschwindigkeit der verwendeten abschaltbaren Leistungsschalter angepasst werden und entsprechend kostengünstig ausfallen.

[0009] Die in Serie geschalteten Gleichrichter weisen bei einer dreiphasigen Wechselstromquelle in der Regel jeweils eine B6-Brückenschaltung auf. Eine besonders kosteneffektive Variante weist drei abschaltbare Leistungsschalter nur in der Top- oder in der Bottom-Anordnung eines Gleichrichters auf, so

dass der Leistungsfluss von der Wechselstromquelle unterbunden ist. Es reicht also aus, beispielsweise nur drei abschaltbare Leistungsschalter in einer Top-/Bottom-Anordnung vorzusehen und darüber hinaus Dioden in den in Serie geschalteten Gleichrichtern zu verwenden. Ferner sind vorzugsweise Mittel, beispielsweise entsprechende Ansteuereinheiten, der Leistungsschalter vorgesehen, welche die abschaltbaren Leistungsschalter der Gleichrichter bei einem Fehlerzustand abschalten können.

[0010] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Schaltungsanordnung kann dadurch bereitgestellt werden, dass zwei DC/DC-Wandler für den sekundären DC-Zwischenspannungskreis vorgesehen sind, wobei beide DC/DC Wandler mit jeweils einem unterschiedlichen DC-Potential des sekundären DC-Zwischenspannungskreises und mit dem Mittelpunktabgriff und jeweils einem zum Mittelpunktabgriff unterschiedlichen DC-Potential des primären DC-Zwischenspannungskreises elektrisch leitend verbunden sind. Die Verwendung von zwei DC/DC-Wandlern pro sekundärem DC-Zwischenspannungskreis erlaubt es zudem, für die DC/DC-Wandler ebenfalls kostengünstigere Bauelemente zu verwenden, da der Leistungsfluss auf zwei DC/DC-Wandler bei verringerter Spannung ausgehend vom Mittelpunktabgriff des primären DC-Zwischenspannungskreises verteilt wird.

[0011] Um den Leistungsbedarf insbesondere von einer oder mehrerer Elektrolysezelle zu gewährleisten ist die Schaltungsanordnung gemäß einer weiteren Ausgestaltung dazu ausgebildet, für die mindestens eine DC-Last eine Leistung von 2,5 kW bis 25 MW oder mehr, vorzugsweise 100 kW bis 10 MW bereitzustellen. Dies macht noch einmal deutlich, dass das erfindungsgemäße Schutzkonzept bei diesen Anforderungen an die Leistungsbereitstellung aus einem sekundären DC-Zwischenspannungskreis von hoher Bedeutung für einen sicheren Betrieb der Elektrolysezellen ist.

[0012] Ein besonders schnelles Begrenzen der Ausgangsspannung des mindestens einen Gleichrichters wird gemäß einer weiteren Ausgestaltung dadurch erreicht, dass als Mittel zum Begrenzen der Ausgangsspannung des mindestens einen Gleichrichters mindestens ein Spannungsbegrenzer mit Halbleiter-Leistungsschaltern, insbesondere mit mindestens einem IGBT-Modul und einem Begrenzungswiderstand vorgesehen ist. Spannungsbegrenzer, auch als Chopper bezeichnet, können die Energie in dem einen Teil des primären DC-Zwischenspannungskreises besonders effektiv und in extrem kurzer Zeit, beispielsweise über eine zuschaltbare Last ableiten. Die Spannung in diesem Teil des primären DC-Zwischenspannungskreises sinkt auf einen sehr kleinen Wert innerhalb von ca. 1-5 ms oder weniger ab. Damit wird die Spannung

in dem Gleichrichter noch vor dem Löschen eines Thyristoren aufweisenden Gleichrichters, welches bei einer Netzfrequenz von 50 Hz nach maximal 10 ms erfolgt, stark reduziert und Schäden an der DC-Last oder den Elektrolysezellen aufgrund der im Gleichrichter noch vorhandenen Energie vermieden. Neben IGBT-Modulen können auch andere Halbleiter-Leistungsschalter, beispielsweise IGCT-Leistungsschalter oder MOSFET-Transistoren zum Einsatz kommen.

[0013] Darüber hinaus können gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Schaltungsanordnung Trennschalter oder schaltbare Leistungsschalter zur galvanischen Trennung der Wechselstromquelle von den Gleichrichtern des primären DC-Zwischenspannungskreises vorgesehen sein. Die Trennschalter respektive die Leistungsschalter dienen zur galvanischen Trennung der Wechselstromquelle von der Schaltungsanordnung. Die galvanische Trennung von der Wechselstromquelle dauert in der Regel deutlich länger, so dass ein Begrenzen der DC-Ausgangsspannung mindestens eines Gleichrichters Auswirkungen des verzögerten galvanischen Trennens vermeidet.

[0014] Vorzugsweise werden die Mittel zum Abschalten der Leistungsschalter der Gleichrichter und/oder Mittel zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung des mindestens einen Gleichrichters und/oder zum galvanischen Trennen der Schaltungsanordnung von der Wechselstromquelle von mindestens einer oder mehrerer separater, dezentraler Steuereinheiten oder von einer zentralen Steuereinheit gesteuert. Hierzu werden Fehlerzustandssignale ausgewertet und anschließend die Steuerbefehle an die Mittel zum Abschalten der Leistungsschalter der Gleichrichter und zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung mindestens eines Gleichrichters oder zum galvanischen Trennen der Wechselstromquelle erzeugt und weitergeleitet. Dezentrale Steuereinheiten haben den Vorteil, dass aufgrund der kurzen Signalwege nach besonders kurzer Zeitdauer Steuerbefehle an die Mittel zur Begrenzung der DC-Ausgangsspannung übermittelt werden können.

[0015] Eine besonders gut einstellbare Leistungsabgabe vom primären DC-Zwischenspannungskreis an den sekundären DC-Zwischenspannungskreis wird dadurch erreicht, dass die DC/DC-Wandler in Form von Tiefsetzstellern mit Leistungsschaltern vorgesehen sind. Bevorzugt werden hier IGBT-Module als Leistungsschalter verwendet. Diese lassen sich zudem vollständig sperren, sodass keine Leistung mehr vom primären DC-Zwischenspannungskreis in den sekundären DC-Zwischenspannungskreis fließt. Auch hier sind IGCT-Module oder auch MOSFET-Transistoren einsetzbar.

[0016] Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Schaltungsanordnung wird dadurch bereitgestellt, dass Mittel zur Strommessung und/oder zur Spannungsmessung im sekundären DC-Zwischenspannungskreis und/oder in der DC-Last vorgesehen sind, um Fehlerzustände im sekundären DC-Zwischenspannungskreis oder der DC-Last zu detektieren und vorzugsweise an eine dezentrale oder zentrale Steuereinheit weiterzuleiten.

[0017] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Schaltungsanordnung wird dadurch bereitgestellt, dass Mittel zur Erfassung von Fehlerzuständen in mindestens einem DC/DC-Wandler vorgesehen sind, welche Fehlerzustände in mindestens einem der Leistungsschalter detektieren und vorzugsweise an eine dezentrale oder zentrale Steuereinheit weiterleiten können. Vorzugsweise sind Mittel zur Erfassung von Fehlerzuständen auch in den verwendeten Leistungsschaltern, beispielsweise IGBT-Modulen integriert. Als Leistungsschalter kommen hier vorzugsweise IGBTs zum Einsatz. Fehlerzustände können beispielsweise durch die Überwachung der Kollektor-Emitter Spannung detektiert werden, eine solche Überwachung wird standardmäßig in den zugehörigen IGBT-Treibern durchgeführt und bei Erkennen eines Fehlerzustandes das Durchschalten des IGBT durch den Treiber gesperrt.

[0018] Da die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung besonders breite DC-Spannungsintervalle bereitstellen kann, sind mindestens eine alkalische Elektrolysezelle, mindestens eine AEM (Anion Exchange Membrane)-Elektrolysezelle und/oder PEM (Proton Exchange Membrane oder auch Polymer Electrolyte Membrane)-Elektrolysezelle und/oder mindestens eine Festoxid-Elektrolysezelle (SOEC) als DC-Lasten vorgesehen. Alle Elektrolysezellen Typen benötigen spezifische Spannungsbereiche, welche die Schaltungsanordnung ohne Probleme im sekundären DC-Zwischenspannungskreis bereitstellen kann. Die genannten Elektrolysezellen können mit der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung noch am Niederspannungsbereich betrieben werden. Darüber hinaus werden die Bauelemente der Schaltungsanordnung sowie die Elektrolysezelle selbst vor Schäden aufgrund fehlerhafter Betriebszustände geschützt.

[0019] Gemäß einer zweiten Lehre der vorliegenden Erfindung wird die oben aufgezeigte Aufgabe für ein Verfahren zur Bereitstellung elektrischer Leistung mindestens einer Wechselstromquelle für mindestens eine DC-Last, insbesondere mindestens eine Elektrolysezelle mit einer erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung dadurch gelöst, dass im Falle eines Fehlerzustands in der mindestens einen DC-Last, in dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis und/oder in mindestens einem DC/DC-Wandler mindestens eine DC-Ausgangsspannung eines in

Serie geschalteten Gleichrichters über Mittel zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung verringert wird. Durch diese Maßnahme wird innerhalb weniger Millisekunden ein unzulässiger Spannungsanstieg im sekundären DC-Zwischenspannungskreis vermieden, und eine Beschädigung der DC-Last oder der Elektrolysezelle sicher verhindert. Dabei reicht das Begrenzen der DC-Ausgangsspannung eines der in Serie geschalteten Gleichrichter aus, so dass hier der Schaltungsaufwand gering ist. Grundsätzlich können auch beide in Serie geschaltete Gleichrichter in Falle eines Fehlerzustands in der DC-Ausgangsspannung begrenzt werden.

[0020] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens wird im Falle eines Fehlerzustands in der mindestens einen DC-Last, in dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis und/oder in mindestens einem DC/DC-Wandler, bevorzugt gleichzeitig mit dem Begrenzen der DC-Ausgangsspannung, mindestens ein Leistungsschalter mindestens eines der zwei in Serie geschalteten Gleichrichter abgeschaltet, dadurch kann die noch im Gleichrichter vorhandene elektrische Energie besonders schnell abgebaut werden, so dass der Gleichrichter spannungsfrei ist. Vorzugsweise sind die abschaltbaren Leistungsschalter als Thyristoren ausgebildet, um möglichst kostengünstige Leistungsschalter zu verwenden.

[0021] Werden die Steuerbefehle zum Abschalten der Leistungsschalter und das Begrenzen der DC-Ausgangsspannung des mindestens einen Gleichrichters gleichzeitig übermittelt, kann eine leistungsoptimierte Dimensionierung der Mittel zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung des Gleichrichters, beispielsweise des Spannungsbegrenzer mit Begrenzungswiderstand, erfolgen, um Kosten zu sparen.

[0022] Daneben können auch beide in Serie geschaltete Gleichrichter des primären DC-Zwischenspannungskreises, vorzugsweise gleichzeitig mit dem Begrenzen der DC-Ausgangsspannung des mindestens einen Gleichrichters, abgeschaltet werden, um den gesamten sekundären DC-Zwischenspannungskreis spannungsfrei zu schalten. Vorzugsweise werden die Top- und Bottom-Leistungsschalter der Gleichrichter, welche vorzugsweise als Thyristoren ausgebildet sind, abgeschaltet bzw. gelöscht.

[0023] Gemäß einer nächsten Ausgestaltung des Verfahrens kann im Falle eines Fehlerzustands in der mindestens einen DC-Last, in dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis und/oder in mindestens einem DC/DC-Wandler eine galvanische Trennung der Schaltungsanordnung von der Wechselstromquelle im Fehlerfall dadurch bereitgestellt werden, dass die Wechselstromquelle von den in

Serie geschalteten Gleichrichtern durch Trennschalter oder entsprechende Leistungsschalter getrennt werden. Damit steht ein weiterer Sicherheitsmechanismus zur Verfügung, welcher im Fehlerfall die Elektrolysezelle vor Schaden bewahren soll. Das galvanische Trennen benötigt aber in der Regel etwa 50 bis 100 ms. Aufgrund der zeitlich schnelleren, vorgelagerten Schutzmaßnahmen spielt die relativ große Zeitspanne bis zur galvanischen Trennung der Schaltungsanordnung nur eine untergeordnete Rolle.

[0024] Vorzugsweise wird auch die Ansteuerung der DC/DC-Wandler im Fehlerfall gestoppt, sodass nahezu instantan keine Energie vom primären DC-Zwischenspannungskreis in den sekundären DC-Zwischenspannungskreis mehr fließen kann.

[0025] Die Steuerbefehle zum Abschalten der Leistungsschalter der Gleichrichter des primären DC-Zwischenspannungskreises, zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung mindestens eines Gleichrichters und/oder zum galvanischen Trennen der Schaltungsanordnung können über eine oder mehrere dezentrale Steuereinheiten oder eine zentrale Steuereinheit an die Schaltungsanordnung erfolgen. Eine dezentrale Steuereinheit kann üblicherweise schnellere Schaltzeiten aufgrund kürzerer Signalwege bereitstellen. Wohingegen eine zentrale Steuereinheit Kosten der Schaltungsanordnung reduzieren kann, da nur die entsprechenden Schalteingänge zur Ansteuerung der Leistungsschalter, Trennschalter etc. bereitgestellt werden müssen.

[0026] Um die DC-Lasten respektive die Elektrolysezelle vor instabilen Betriebspunkten zu schützen, wird als Fehlerzustand eine zu hohe Spannung, ein zu hoher Strom im sekundären DC-Zwischenspannungskreis oder ein Fehlerzustand im DC/DC-Wandler, beispielsweise im Halbleiter-Leistungsschalter der DC/DC-Wandler detektiert.

[0027] Gleichzeitig können auch von den DC-Lasten selbst, also von der Elektrolysezelle selbst, Fehlerzustände an die erfindungsgemäße Schaltungsanordnung, die dezentrale Steuereinheit oder die zentralen Steuereinheit übermittelt werden, welche dann entsprechende Maßnahmen, wie das Begrenzen der DC-Ausgangsspannung eines Gleichrichters, Abschalten des Gleichrichters, galvanisches Trennen der Wechselstromquellen oder auch Stoppen der Ansteuerung der Leistungsschalter der DC/DC Wandler einleitet.

[0028] Im Weiteren soll die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung näher erläutert werden.

Figurenliste

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung zur Bereitstellung elektrischer Leistung für eine Last.

[0029] In **Fig. 1** ist eine Schaltungsanordnung 1 zur Bereitstellung elektrischer Leistung für mindestens eine DC-Last 2, welche im vorliegenden Fall als Elektrolysezelle, beispielsweise alkalische Elektrolysezelle, AEM- oder PEM-Elektrolysezelle oder Festoxid-Elektrolysezelle ausgebildet ist. Als Wechselstromquelle 3 ist hier ein elektrisches Netz 3 angedeutet. Die Schaltungsanordnung 1 weist erfindungsgemäß einen primären DC-Zwischenspannungskreis 4 auf, welcher über DC/DC-Wandler 5a, 5b mit einem sekundären DC-Zwischenspannungskreis 6 verbunden ist. Der sekundäre DC-Zwischenspannungskreis 6 versorgt die DC-Last 2 mit elektrischer Leistung. Jedem primären DC-Zwischenspannungskreis 4 kann eine Mehrzahl an sekundären DC-Zwischenspannungskreisen 6 mit zugehöriger DC-Last 2 zugeordnet sein. Exemplarisch ist in **Fig. 1** nur ein sekundärer DC-Zwischenspannungskreis 6 dargestellt. Der sekundäre DC-Zwischenspannungskreis kann spezifisch auf die angeschlossene DC-Last 2, also beispielsweise Elektrolysezelle angepasst werden.

[0030] Der primäre DC-Zwischenspannungskreis 4 wird über zwei in Serie geschaltete Gleichrichter 7, 8 mit elektrischer Leistung der Wechselstromquelle 3 gespeist. Damit stellt der primäre DC-Zwischenspannungskreis 4 einen Mittelabgriffpunkt 9 bereit.

[0031] Darüber hinaus sind Mittel 12 zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung mindestens eines der Gleichrichter 7, 8 vorgesehen. Hiermit kann im Falle eines Fehlerzustands in der DC-Last 2, in dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis 6 und/oder in einem DC/DC-Wandler 5a, 5b die DC-Ausgangsspannung mindestens eines Gleichrichters 7, 8 verringert werden.

[0032] Durch die Begrenzung der DC-Ausgangsspannung mindestens eines Gleichrichters 7, 8 wird in einem besonders kurzen Zeitraum die im entsprechenden Teil des primären DC-Zwischenspannungskreises 4 vorhandene Energie des Gleichrichters 7 über den Begrenzungswiderstand 18 in Wärme abgeleitet, sodass nach einer besonders kurzen Zeitdauer, ca. 1 bis 5 ms der Energiefluss vom spannungsbegrenzten Gleichrichter 7 in den sekundären DC-Zwischenspannungskreis 6 gestoppt werden kann. Grundsätzlich können auch Mittel zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung des Gleichrichters 8 vorgesehen sein, um auch die Energie aus dem Gleichrichter 8 möglichst schnell abzuleiten.

[0033] Die Gleichrichter 7, 8 in dem primären DC-Zwischenspannungskreis 4 weisen als abschaltbare Leistungsschalter vorzugsweise Thyristoren 13 auf. Aus Kostengründen müssen aber nicht alle Leistungsschalter abschaltbar sein, sodass als nichtabschaltbare Leistungsschalter Dioden 21, insbesondere Leistungsdioden, zum Einsatz kommen können. Im schon beschriebenen Fehlerfall soll der Stromfluss von der Wechselspannungsseite in den primären DC-Zwischenspannungskreis 4 unterbunden werden. Hierzu ist es ausreichend, bei beispielsweise dem Gleichrichter 7 die drei Leistungsschalter in der Bottom-Anordnung, welche mit dem negativen Potential 10 des primären DC-Zwischenspannungskreises verbunden sind, als Thyristoren auszuführen. Werden diese drei Thyristoren gesperrt, ist zwischen keiner der Wechselspannungsphasen über den DC-Zwischenspannungskreis eine geschlossene Strommasche vorhanden, sodass kein Energieeintrag von der Wechselspannungsseite mehr erfolgen kann. Die anderen drei Leistungsschalter, welche mit dem Mittelpunktabgriff 9 des primären DC-Zwischenspannungskreises 4 verbunden sind, können als (Leistungs-) Dioden 21 ausgeführt werden. Natürlich können auch alle sechs Leistungsschalter des Gleichrichters 7 als Thyristoren ausgeführt werden. Ebenso kann der Gleichrichter 8 mit drei oder sechs Thyristoren aufgebaut sein. Grundsätzlich sind auch andere Leistungsschalter wie IGBT-Module einsetzbar, die aber üblicherweise mit höheren Kosten verbunden sind. Sind für den Gleichrichter 8 keine Mittel zur Begrenzung der DC-Ausgangsspannung vorgesehen, ist es ausreichend, den Gleichrichter 8 mit sechs Dioden, insbesondere Leistungsdioden, auszuführen.

[0034] In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel sind zwei DC/DC-Wandler 5a, 5b vorgesehen und mit dem Mittelpunktabgriff 9 und jeweils einem Potential des primären DC-Zwischenspannungskreises 10, 11 sowie jeweils einem Potential 14, 15 des sekundären DC-Zwischenspannungskreises verbunden. Hierdurch wird erreicht, dass die DC/DC-Wandler nicht für den gesamten Spannungsbereich des primären DC-Zwischenspannungskreis 4 ausgelegt werden müssen, sondern lediglich für die halbe maximale Spannung des primären DC-Zwischenspannungskreises. Die DC/DC-Wandler 5a, 5b können damit kostengünstiger bereitgestellt werden. Sie müssen lediglich die DC-Spannung zwischen Mittelpunktabgriff 9 und positivem Potential 11 sowie Mittelpunktabgriff 9 und negativem Potential 10 des primären DC-Zwischenspannungskreises an die gewünschte Spannung des sekundären DC-Zwischenspannungskreises 6 anpassen.

[0035] Die DC/DC-Wandler 5a, 5b sind in diesem Ausführungsbeispiel als Tiefsetzsteller umfassend einen IGBT 20a, 20b und je eine nicht näher bezeichnete Diode sowie je eine Induktivität aufgebaut. Tief-

setzsteller sind aus dem Stand der Technik hinlänglich bekannt, auf ihre Funktionsweise wird hier nicht näher eingegangen.

[0036] Aufgrund der bereitgestellten Leistungen der Schaltungsanordnung von 2,5 kW bis etwa 25 MW oder mehr ist vorstellbar, dass das Aufteilen der Spannungswandlung in Bezug auf die Bauteilausführungen vorteilhaft ist, denn hier wird auch die Leistung auf zwei DC/DC-Wandler aufgeteilt.

[0037] Die Mittel 12 zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung des mindestens einen Gleichrichters weisen bevorzugt mindestens einen Spannungsbegrenzer mit Halbleiter-Leistungsschalter 17, insbesondere mit IGBT-Modulen und Begrenzungswiderstand 18 auf. IGBT-Module sind nicht nur robust, sondern auch besonders schnell in ihren Schaltzeiten, sodass besonders schnell auf einen Fehlerzustand im sekundären DC-Zwischenspannungskreis 6 oder in der DC-Last 2 oder einem DC/DC-Wandler 5a, 5b reagiert werden kann. Das Begrenzen der DC-Ausgangsspannung des mindestens einen Gleichrichters 7 erfolgt innerhalb 1 bis 5 ms. Denkbar ist selbstverständlich auch für den anderen Gleichrichter 8 Mittel zur Begrenzung der DC-Ausgangsspannung vorzusehen.

[0038] Wie dem Ausführungsbeispiel in **Fig. 1** weiter zu entnehmen ist, weisen die in Serie geschalteten Gleichrichter 7, 8 eine B6-Brückenschaltung mit Leistungsschaltern in Top/Bottom-Anordnung auf. Der Gleichrichter 8 weist nur Leistungsdioden 21 zur Gleichrichtung auf. In der Top-Anordnung sind im Gleichrichter 7 ebenfalls Leistungsdioden 21 vorgesehen und mit dem Mittelpunktabgriff 9 verbunden. Die Bottom-Leistungsschalter sind als Thyristoren 13 ausgeführt und mit dem negativen Potential 10 verbunden. Nicht dargestellt sind in **Fig. 1** die Mittel, welche die Thyristoren 13 beispielsweise des Gleichrichters 7 bei einem Fehlerzustand, abschalten. Bauarttechnisch erfolgt die Abschaltung bei Thyristoren durch Wegnahme des Ansteuersignals und das darauf folgende Verlöschen beim nächsten Stromnulldurchgang.

[0039] Eine zentrale Steuereinheit 19 kann einen Fehlerzustand durch Fehlersignale aus dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis 6 erzeugt mit beispielsweise Mitteln zur Strom- und/oder Spannungsmessung, aber auch vorzugsweise durch Fehlersignale der Leistungsschalter der DC/DC-Wandler 20a, 20b erkennen und entsprechende Befehle an die Mittel 12 zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung des Gleichrichters senden. Eine dezentrale Steuereinheit 19' ist alternativ dargestellt, die beispielsweise die Fehlersignale der Leistungsschalter 20a, 20b der DC/DC-Wandler direkt verarbeitet und den IGBT 17 unmittelbar ansteuert, um eine zeitoptimierte Ansteuerung zu erreichen. Bevorzugt werden

hier bereits vorgesehene Mittel, beispielsweise zur Kollektor-Emitter-Spannungs-Überwachung, der IGBT-Module verwendet.

[0040] Als Wechselstromquelle 3 ist in **Fig. 1** das elektrische Netz 3 dargestellt, welches als dreiphasiges Netz mit einer Frequenz von 50 Hz oder einer anderen Frequenz wie beispielsweise 60 Hz arbeitet. Eventuell muss der Fachmann die Netzspannung noch über geeignete Mittel wie beispielsweise Transformatoren an die Schaltung anpassen.

[0041] Im sekundären DC-Zwischenspannungskreis 6 sind vorzugsweise Mittel zur Strommessung und/oder zur Spannungsmessung vorgesehen, welche in **Fig. 1** nicht dargestellt sind. Über die Strom- oder Spannungsmessung können fehlerhafte Betriebszustände der mindestens einen DC-Last detektiert werden, beispielsweise, wenn aufgrund eines Fehlers in einem DC/DC-Wandler die volle Spannung des primären DC-Zwischenspannungskreises im sekundären DC-Zwischenspannungskreis anliegt.

[0042] Über die zentrale Steuereinheit 19 können im Falle eines Fehlers im sekundären DC-Zwischenspannungskreis 6, insbesondere bei zu großen Strömen und/oder zu großen Spannungen bei mindestens einem Gleichrichter des primären DC-Zwischenspannungskreises 4 zumindest ein Teil der Leistungsschalter 13, respektive Thyristoren abgeschaltet oder gelöscht werden und mindestens ein zugehöriger Begrenzungswiderstand 18 über den Halbleiter-Leistungsschalter 17 zwischen Mittelpunktabgriff 9 und negativem Potential 10 geschaltet werden, sodass nach besonders kurzer Zeit keine Energie mehr in den sekundären DC-Zwischenspannungskreis 6 fließen kann.

[0043] In **Fig. 1** dargestellt sind darüber hinaus Trennschalter oder Leistungsschalter 16a und 16b, welche die Schaltungsanordnung 1 im Fehlerfall auch vollständig von der Wechselstromquelle 3 galvanisch trennen können. Als Trennschalter sind hier vorzugsweise Leistungsschalter vorgesehen, da diese in der Lage sind, die erforderlichen Nennströme sicher abzuschalten. Aufgrund des mechanischen Aufbaus benötigen diese in der Regel etwa 50 bis 80 ms bis die Schaltanordnung vollständig galvanisch getrennt ist. Mit der erfindungsgemäßen Schaltanordnung 1 sowie dem erfindungsgemäßen Verfahren kann dagegen ein sicheres Abschalten des sekundären DC-Zwischenspannungskreises 6 im Fehlerfall in extrem kurzer Zeit erfolgen, so dass die DC-Lasten 2 respektive Elektrolysezellen besonders sicher vor Beschädigungen im Fehlerfall geschützt sind.

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

- EP 3556905 A1 [0003]

Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung (1) zur Bereitstellung elektrischer Leistung für mindestens eine DC-Last (2), insbesondere für mindestens eine Elektrolysezelle, von mindestens einer Wechselstromquelle (3) aufweisend einen primären DC-Zwischenspannungskreis (4), welcher über mindestens einen DC/DC-Wandler (5a, 5b) mit einem sekundären DC-Zwischenspannungskreis (6) verbunden ist, welcher die mindestens eine DC-Last (2) mit elektrischer Leistung versorgt, **dadurch gekennzeichnet**, dass der primäre DC-Zwischenspannungskreis (4) über zwei in Serie geschaltete Gleichrichter (7, 8) mit elektrischer Leistung der Wechselstromquelle (3) gespeist wird, so dass ein Mittelpunktabgriff (9) bereitgestellt wird, zwischen dem Mittelpunktabgriff (9) des primären DC-Zwischenspannungskreises (4) und mindestens eines DC-Potentials des primären DC-Zwischenspannungskreises (4) Mittel (12) zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung des zugehörigen Gleichrichters vorgesehen sind, welche im Falle eines Fehlerzustands in der DC-Last (2), in dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis (6) und/oder in mindestens einem DC/DC-Wandler (5a, 5b) die DC-Ausgangsspannung mindestens eines der in Serie geschalteten Gleichrichter (7, 8) begrenzen können.

2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens einer der mit dem primären DC-Zwischenspannungskreis (4) verbundenen Gleichrichter (7, 8) abschaltbare Leistungsschalter (13) aufweist und Mittel vorgesehen sind, welche zumindest einen Teil der abschaltbaren Leistungsschalter (13) dieses Gleichrichters (7) abschalten können, sobald ein Fehlerzustand in der DC-Last (2), in dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis (6) und/oder in mindestens einem DC/DC-Wandler (5a, 5b) detektiert wird.

3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei DC/DC-Wandler (5a, 5b) für den sekundären DC-Zwischenspannungskreis (6) vorgesehen sind, wobei beide DC/DC-Wandler (5a, 5b) mit jeweils einem unterschiedlichen DC-Potential (14, 15) des sekundären DC-Zwischenspannungskreis und mit dem Mittelpunktabgriff (9) und jeweils einem zum Mittelpunktabgriff (9) unterschiedlichen DC-Potential des primären DC-Zwischenspannungskreises (10, 11) elektrisch leitend verbunden sind.

4. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltungsanordnung (1) dazu ausgebildet ist, um für die mindestens eine DC-Last (2) eine Leistung von 2,5 kW bis 25 MW oder mehr, vorzugsweise 100 kW bis 10 MW bereitzustellen.

5. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Mittel (12) zum Begrenzen der DC-Spannung mindestens ein Spannungsbegrenzer mit mindestens einem Halbleiter-Leistungsschalter (17), insbesondere mindestens einem IGBT-Modul, und einem Begrenzungswiderstand (18) vorgesehen ist.

6. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass Trennschalter (16a, 16b) oder schaltbare Leistungsschalter zur galvanischen Trennung der Wechselstromquelle (3) von den Gleichrichtern (7, 8) des primären DC-Zwischenspannungskreises (4) vorgesehen sind.

7. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass Mittel (12) zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung des mindestens einen Gleichrichters (7, 8), die Mittel zum Abschalten von Leistungsschaltern (13) der Gleichrichter und/oder die Mittel zum galvanischen Trennen der Schaltungsanordnung (1) von der Wechselstromquelle (3) von mindestens einer oder mehrere separater, dezentraler Steuereinheiten (19') oder von einer zentralen Steuereinheit (19) gesteuert werden.

8. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass DC/DC-Wandler (5a, 5b) in Form von Tiefsetzstellern mit Leistungsschaltern (20a, 20b) vorgesehen sind, wobei vorzugsweise Ansteuermittel für die Leistungsschalter (20a, 20b) vorgesehen sind, welche bei Leistungsabgabe des primären DC-Zwischenspannungskreis (4) an den sekundären DC-Zwischenspannungskreis (6) zum selben Zeitpunkt nur einen der Leistungsschalter (20a, 20b) der beiden DC/DC-Wandler (5a, 5b) jeweils durchschalten.

9. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass Mittel zur Strommessung und/oder zur Spannungsmessung im sekundären DC-Zwischenspannungskreis (6) und/oder in der DC-Last (2) vorgesehen sind, welche Fehlerzustände im sekundären DC-Zwischenspannungskreis (6), der DC-Last und/oder DC/DC-Wandler (5a, 5b) detektieren und vorzugsweise an eine dezentrale oder zentrale Steuereinheit (19) weiterleiten können.

10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass Mittel (19') zur Erfassung von Fehlerzuständen in mindestens einem DC/DC-Wandler (5a, 5b) vorgesehen sind, welche Fehlerzustände in einem der Leistungsschalter (20a, 20b) des mindestens einen DC/DC-Wandler detektieren können und vorzugsweise an eine dezentrale oder zentrale Steuereinheit (19, 19') weiterleiten können.

11. Schaltungsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass als mindestens eine DC-Last (2) mindestens eine alkalische Elektrolysezelle, mindestens eine AEM (Anion Exchange Membrane)-Elektrolysezelle und/oder PEM (Proton Exchange Membrane oder auch Polymer Electrolyte Membrane)-Elektrolysezelle und/oder mindestens eine Festoxid-Elektrolysezelle (SOEC) vorgesehen sind.

Halbleiter-Leistungsschalters (20a, 20b) der DC/DC-Wandler (5a, 5b) detektiert wird.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

12. Verfahren zum Bereitstellung elektrischer Leistung mindestens einer Wechselstromquelle für mindestens eine DC-Last, insbesondere mindestens eine Elektrolysezelle mit einer Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle eines Fehlerzustands in der mindestens einen DC-Last (2), in dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis (6) und/oder mindestens einem DC/DC-Wandler (5a, 5b) mindestens eine DC-Ausgangsspannung eines Gleichrichters (7, 8) des primären DC-Zwischenspannungskreises über Mittel (12) zum Begrenzen der DC-Ausgangsspannung verringert wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle eines Fehlerzustands in der mindestens einen DC-Last (2), in dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis (6) und/oder mindestens einem DC/DC-Wandler (5a, 5b) mindestens ein Leistungsschalter (13) mindestens eines der zwei in Serie geschalteten Gleichrichter (7, 8) des primären DC-Zwischenspannungskreises (4) abgeschaltet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle eines Fehlerzustands in der mindestens einen DC-Last (2), in dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis (6) und/oder mindestens einem DC/DC-Wandler (5a, 5b) die Wechselstromquelle (3) von den in Serie geschalteten Gleichrichtern (7, 8) durch Trennschalter (16a, 16b) oder Leistungsschalter galvanisch getrennt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle eines Fehlerzustands in der mindestens einen DC-Last (2), in dem sekundären DC-Zwischenspannungskreis (6) und/oder mindestens einem DC/DC-Wandler (5a, 5b) die Ansteuerung der Leistungsschalter (20a, 20b) der DC/DC-Wandler (5a, 5b) gestoppt wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Fehlerzustand eine zu hohe Spannung oder ein zu hoher Strom im sekundären DC-Zwischenspannungskreis, in der DC-Last (2) und/oder ein Fehlerzustand eines

Anhängende Zeichnungen

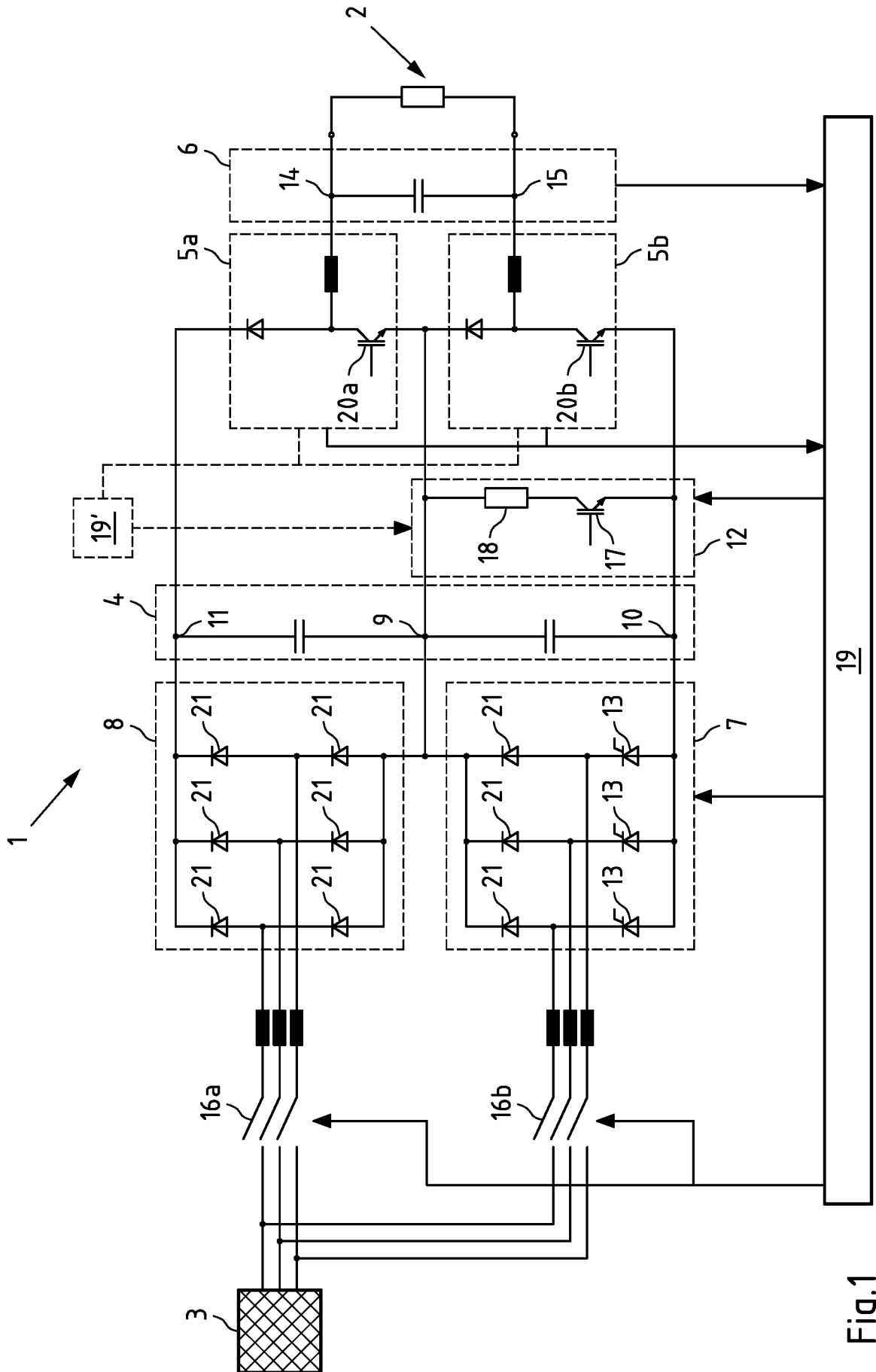


Fig.1