



(10) **DE 10 2010 023 019 A1** 2011.12.08

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2010 023 019.7**

(22) Anmeldetag: **08.06.2010**

(43) Offenlegungstag: **08.12.2011**

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

H02M 5/44 (2006.01)

(71) Anmelder:

Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE

(72) Erfinder:

**Brunotte, Christoph, Dr., 91056, Erlangen, DE;
Hiller, Marc, Dr., 91207, Lauf, DE; Sommer, Rainer,
Dr., 91336, Heroldsbach, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 10 2008 026869 A1

DE 10 2008 022617 A1

US 2009/01 96 078 A1

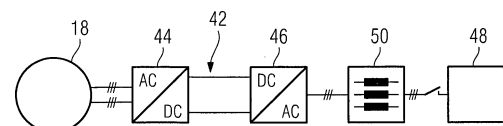
**Jahrbuch der Schiffsbau technischen
Gesellschaft, 96, Band 2002 Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York, S.10-16**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Wellengeneratorsystem**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Wellengeneratorsystem mit einem Wellengenerator (18). Erfindungsgemäß ist ein Spannungszwischenkreis-Umrichter (42) mit einer netzseitigen Induktivität vorgesehen, wobei dieser Spannungszwischenkreis-Umrichter (42) generatorseitig und netzseitig jeweils einen Stromrichter (44, 46) aufweist, die gleichspannungsseitig miteinander verknüpft sind, und wobei der netzseitige Stromrichter (46) wenigstens zwei Phasenmodule aufweist, die jeweils einen oberen und einen unteren Ventilzweig (P1, N1, P2, N2, P3, N3) aufweisen, die jeweils eine Vielzahl von elektrisch in Reihe geschalteten zweipoligen Subsystemen (SM1, SMn) aufweisen, die jeweils einen unipolaren Speicherkondensator (C_{SM}) aufweisen, dem eine Reihenschaltung zweier abschaltbarer Halbleiterschalter (S1, S2) jeweils mit einer antiparallel geschalteten Diode (D1, D2) elektrisch parallel geschaltet ist. Somit erhält man ein Wellengeneratorsystem, das als statischen Frequenzumformer einen Spannungszwischenkreis-Umrichter (42) aufweist, mit dem geforderte Netzrückwirkungen eingehalten und transiente Betriebszustände beherrscht werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Wellengeneratorsystem mit einem Wellengenerator.

[0002] Aus der Veröffentlichung "WGA 23 – ein modernes Wellengeneratorsystem", Sonderdruck aus der DE-Zeitschrift "HANSA", 120. Jahrgang, Nr. 13, 1983, Heft Juli, S. 1203–1207, ist ein Wellengeneratorsystem bekannt. Wellengeneratorsysteme sind auf Schiffen häufig angewendete Systeme zur preiswerten Erzeugung elektrischer Energie. Das Wellengeneratorsystem, das Bestandteil eines Bordkraftwerks eines Schiffes ist, weist folgende Komponenten auf:

- den mit variabler Drehzahl angetriebenen Wellengenerator zur Erzeugung elektrischer Energie bei veränderlicher Frequenz,
- den als Zwischenkreis-Umrichter ausgeführten statischen Frequenzumformer zur frequenz- und spannungsmäßigen Entkopplung von Wellengenerator und Bordnetz, bestehend aus generatorseitigem Gleichrichter, netzseitigem Wechselrichter und Gleichstrom- oder -spannungszwischenkreis,
- die bei Stromzwischenkreis-Umrichtern erforderliche Zwischenkreisdrossel zur Glättung des Zwischenkreisstromes,
- den bei Spannungszwischenkreis-Umrichtern erforderlichen Zwischenkreiskondensator zur Glättung der Zwischenkreisspannung,
- die Netzdrossel zur Kurzschlussstrom- und Oberschwingungsbegrenzung,
- die zur Erhöhung der Kurzschlussicherheit und zur Deckung des Blindstrombedarfs des Netzes erforderliche Blindleistungsmaschine mit eingebautem Anwurfmotor,
- den Erregerstromrichter ggf. mit Anpasstransformator zur Verstellung des Wellengenerator-Erregerstroms im Rahmen einer Wellengenerator-Regelung,
- die vollelektronische Regel-, Steuer- und Überwachungsanlage und
- den Batterie-Unterverteiler zur Versorgung der lebenswichtigen Funktionen des Wellengeneratorsystems im Störungs- und Kurzschlussfall.

[0003] Diese Wellengeneratoranlage ist netzseitig mittels eines Schalters mit einer Bordnetz-Sammelschiene verbindbar. Um sicher im Netz extreme Belastungen zu vermeiden, ist als Netzdrossel eine so genannte Duplexdrossel vorgesehen. Mittels dieser Duplexdrossel wird die Ausbreitung von Oberschwingungen verhindert und die Kurzschlussströme werden beträchtlich reduziert. Duplexdrosseln werden häufig auch als Stromteiler-Drosselspule, Ausgleichsdrosseln oder Glättungsdrosseln bezeichnet. Die ideale Duplexdrossel ist ein Spezial-Transformator mit zwei Wicklungen geringer Streuinduktivität auf einem Eisenkern mit mehreren kleinen Luftspalten.

[0004] Der Veröffentlichung "Netzgestaltung mit Duplexdrosseln" von W. Schild und Dr. W. Planitz, abgedruckt im Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 91. Band, 1997, S. 173 ff., ist zu entnehmen, wie eine Duplexdrossel zur Erhöhung der Kurzschlussicherheit eingesetzt wird. In dieser Veröffentlichung werden zwei Netzkonzepte für die Verbesserung der Netzqualität auf einem dieselelektrisch angetriebenen Kreuzfahrtschiff mit Hilfe von Duplexdrosseln vorgestellt. Mit dem Einsatz von Duplexdrosseln werden die Rückwirkungen von elektrischen Propulsions-Systemen vermindert. Diese Netzrückwirkungen, die vom Stromrichter eines Wellengeneratorsystems ausgehen, erzeugen im versorgenden Bordnetz erhebliche Oberschwingungen, wodurch die Netzqualität gemindert wird.

[0005] Das Servicenetz auf einem Schiff für die Versorgung von Hilfsbetrieben, der Beleuchtung, der nautischen Geräte und der Kommunikation sowie der Versorgungssysteme im Wohnbereich benötigen eine überschwingungsarme Versorgungsspannung. Ein überhöhter Klirrfaktor kann zu Zusatzverlusten, Betriebsstörungen und im Grenzfall zur Zerstörung von Komponenten führen. Mittels Duplexdrosseln wird ein überschwingungsarmes Teilnetz ausgekoppelt.

[0006] Dieser Veröffentlichung kann außerdem entnommen werden, dass bei Wellenleistungen von 10 MW und mehr direktumrichter gespeiste Synchronmotoren als Propellerantriebe verwendet werden. Neben direktumrichter gespeisten Synchronmotoren werden auch Stromrichtermotoren mit lastkommutierenden Umrichtern als Propellerantrieb eingesetzt.

[0007] Aus der DE 10 2006 020 144 B4 ist ein Verfahren zum Betrieb eines Schiffsantriebssystems mit Abwärmerückgewinnung sowie ein Schiffsantriebssystem mit Abwärmerückgewinnung bekannt. Das Schiffsantriebssystem weist unter anderem einen Wellengenerator/-motor auf, der mittels eines Umrichters mit netzseitigem Transformator aus dem Bordnetz versorgt wird. Der Betrieb des Wellengenerators als Motor wird als "Power-Take-In" (PTI) bezeichnet. Der Wellengenerator, der statische Frequenzumrichter und der netzseitige Transformator bilden, sobald Energie vom Wellengenerator in das Bordnetz eingespeist wird, ebenfalls ein Wellengeneratorsystem. Der Betrieb des Wellengenerators als Generator, d. h., es wird elektrische Energie für ein Bordnetz erzeugt, wird als "Power-Take-Off" (PTO) bezeichnet. In diesem Patent wird jedoch dieses Wellengeneratorsystem hauptsächlich als Booster-Antrieb neben dem dieselmotorischen Antrieb eingesetzt. Dadurch kann der Hauptantrieb verbrauchsgünstig betrieben und die Dieselgeneratoraggregate abgeschaltet werden.

[0008] In der Zeitspanne, wenn vom Motorbetrieb des Wellengenerators in den Generatorbetrieb umgeschaltet wird, speist eine Energiequelle elektrische Energie in das Schiffsnetz derart ein, dass Spannung und Frequenz des Schiffsnetzes einen jeweils vorbestimmten Grenzwert nicht unterschreiten. Eine derartige Umschaltung erfolgt bei Netzstörungen, insbesondere einem Blackout des Schiffs. Wird das bekannte Wellengeneratorsystem als Booster-Antrieb verwendet, so bildet die Blindleistungsmaschine während der Umschaltung Motor-/Generatorbetrieb diese Energiequelle, aus der das Bordnetz mit Energie versorgt wird.

[0009] Bei einer alternativen Ausgestaltung des Wellengeneratorsystems wird als statischer Frequenzumformer ein Spannungszwischenkreis-Umrichter vorgesehen. Dieser Spannungszwischenkreis-Umrichter weist einen Zwischenkreiskondensator auf, der die Energiequelle bildet, die während der Betriebsumschaltung des Wellengenerators Energie in das Schiffsnetz liefert. Eine besonders schnelle Umschaltung wird erreicht, wenn der Spannungszwischenkreis-Umrichter generator- und netzseitig jeweils einen selbstgeführten Pulsstromrichter, insbesondere einen IGBT-Pulsstromrichter, aufweist.

[0010] Einen derartigen Spannungszwischenkreis-Umrichter mit generator- und netzseitig jeweils einem IGBT-Pulsstromrichter ist in der [Fig. 3](#) der DE 10 2005 059 760 A1 näher dargestellt. Durch die Verwendung eines Spannungszwischenkreis-Umrichters anstelle eines Stromzwischenkreis-Umrichters als Antriebs-Umrichter bei einem Wellengeneratorsystem als Booster-Antrieb wird das Bordnetz nicht nur frequenzmäßig vom Generator entkoppelt, sondern auch spannungsmäßig. Außerdem kann der Spannungszwischenkreis-Umrichter Blindleistung bereitstellen, so dass keine Blindleistungsmaschine mehr benötigt wird.

[0011] Wird als statischer Frequenzumformer des Wellengeneratorsystems ein Stromzwischenkreis-Umrichter verwendet, so wird neben einer Duplexdrossel und einem Transformator eine Blindleistungsmaschine mit Anwurfmotor benötigt. Wie bereits eingangs beschrieben, wird zur Erhöhung der Kurzschluss-Sicherheit eine Duplexdrossel benötigt, die idealerweise ein Spezial-Transformator ist. Der Transformator wird zur Spannungsanpassung zwischen Umrichter-Ausgangsspannung und Bordnetzspannung benötigt. Diese zusätzlichen Komponenten benötigen jeweils einen Einbauplatz, der auf Schiffen nicht reichlich vorhanden ist.

[0012] Würde man einen Spannungszwischenkreis-Umrichter als statischen Frequenzumformer des Wellengeneratorsystems verwenden, müsste für eine Spannungsanpassung zwischen Umrichter-Ausgangsspannung und Bordnetzspannung ein Trans-

formator vorgesehen sein. Die beiden Stromrichter des Spannungszwischenkreis-Umrichters müssten entweder in Zwei-Punkt-Topologie (Niederspannung) oder Drei-Punkt-Topologie (Mittelspannung) ausgeführt sein. Bei Leistungen von 10 MW und mehr müssten mehrere Zwei-Punkt- bzw. Drei-Punkt-Umrichter ausgangsseitig elektrisch parallel geschaltet werden, wobei eine Symmetrierungs-Regelung, eine so genannte Δi -Regelung, vorhanden sein müsste. In Niederspannungs-Umrichtern werden zur Zeit abschaltbare Halbleiterschalter, insbesondere Insulated-Gate-Bipolar-Transistoren (IGBT), der Spannungsklasse 1200 V bzw. 1700 V eingesetzt. Bei Mittelspannungs-Umrichtern werden dagegen IGBTs bzw. IGCTs der Spannungsklasse 3300 V bzw. 4500 V bzw. 6500 V verwendet. Mit Anstieg der Spannungsklasse nimmt jedoch die Schaltfrequenz ab, aber der Halbleiterpreis zu.

[0013] Durch die begrenzten Schaltfrequenzen der IGBTs müssten auf der Bordnetzseite Filtermaßnahmen vorgenommen werden, um die geforderten Netzrückwirkungen der Klassifizierungsgesellschaften einhalten zu können. Gerade beim Einsatz von Mittelspannungsstromrichtern mit einer Zwischenkreisspannung von deutlich über 1 kV ist die Schaltfrequenz auf wenige hundert Hertz beschränkt. Dadurch wird eine Filterauslegung zusätzlich erschwert. Die Filterauslegung ist von Haus aus schon schwierig, da es sich beim Bordnetz um ein Inselnetz handelt, welches abhängig von seinem Betriebszustand unterschiedliche Impedanzen und damit unterschiedliche Resonanzfrequenzen haben kann. Daher würde auch eine am Ausgang eines Spannungszwischenkreis-Umrichters wirkende resultierende Resonanzfrequenz variieren, wodurch eine Abstimmung der Filterauslegung auf die Schaltfrequenz des Spannungszwischenkreis-Umrichters sehr schwierig sein würde.

[0014] Durch die geringe Schaltfrequenz der verwendeten IGBTs des generator- bzw. netzseitigen Stromrichters eines Spannungszwischenkreis-Umrichters als statischen Frequenzumformer eines Wellengeneratorsystems ist die Dynamik dieses Umrichters eingeschränkt. Dadurch ist die Beherrschung von transienten Betriebszuständen, wie beispielsweise Netzkurzschluss, Wegfall und Wiederkehr der Netzspannung, Lastabwurf, trotz einer Überdimensionierung der Bauteile fast unmöglich. Außerdem neigt das erwähnte Filter in transienten Betriebszuständen zum Schwingen.

[0015] Besondere Bedeutung kommt der Beherrschung von Netzkurzschlüssen und anderen transienten Betriebszuständen zu. Um diese transienten Betriebszustände irgendwie beherrschen zu können, müsste der Spannungszwischenkreis-Umrichter eines Wellengeneratorsystems immer am Netz bleiben, d. h., er darf nicht wegen Überstrom abschalten. Dies könnte dadurch erreicht werden, dass so-

wohl im Normalbetrieb als auch im Kurzschlussfall der Strom mittels einer Zwei-Punkt-Regelung geregelt oder dass in einzelnen Phasen Zündsignale zeitweise gesperrt und anschließend wieder freigegeben werden würden. Dabei würden jedoch nicht vorhersehbare Oberschwingungen in der Umrichter-Ausgangsspannung entstehen, wodurch ein vorhandenes Netzfilter angeregt werden würde, wodurch die erforderlichen Grenzen für Netzharmonische nur mit großem Aufwand eingehalten werden könnten.

[0016] Aus diesen Gründen ist bis jetzt, insbesondere für Mittelspannungsanwendungen, noch kein Wellengeneratorsystem mit einem Spannungszwischenkreis-Umrichter als statischen Frequenzumformer aufgebaut worden, das die zuvor genannten Anforderungen im Mittelspannungsbereich vollständig erfüllt.

[0017] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Wellengeneratorsystem anzugeben, das als statischen Frequenzumformer einen Spannungszwischenkreis-Umrichter aufweist, mit dem insbesondere Netzkurzschlüsse dynamisch begrenzt werden sollen.

[0018] Diese Aufgabe wird mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 erfindungsgemäß gelöst.

[0019] Dadurch, dass der netzseitige Stromrichter eines Spannungszwischenkreis-Umrichters als Stromrichter mit verteilten Energiespeichern ausgebildet ist, kann in Abhängigkeit der Anzahl der Submodule eines jeden Ventilzweigs die Ausgangsspannung dieses Stromrichters an jede beliebige Bordnetzspannung angepasst werden. Durch die Anzahl der Submodule steigt ebenfalls die Treppenstufen-Anzahl des Spannungsverlaufs der Ausgangsspannung dieses Stromrichters, so dass auf der Bordnetzseite keine Filtermaßnahmen mehr getroffen werden müssen, um die geforderten Netzurückwirkungen der Klassifizierungsgesellschaften einhalten zu können. Ebenfalls durch die hohe Anzahl von Submodulen können im Mittelspannungs-Stromrichter abschaltbare Halbleiterschalter aus dem Low-Voltage-Bereich verwendet werden, die mit einer wesentlich höheren Schaltfrequenz betrieben werden können. Dadurch weist dieser Stromrichter mit verteilten Energiespeichern eine hohe resultierende Schaltfrequenz auf, so dass ein Ausgangsstrom dieses Stromrichters im Kurzschlussfall durch die schnelle Anpassung der Klemmenspannungen hochdynamisch begrenzt werden kann. Das heißt, dieser Stromrichter schaltet im Kurzschlussfall nicht mehr wegen Überstrom ab. Somit können die Anforderungen der Schiffsnetze im Hinblick auf die Einspeisung von Kurzschlussströmen einfach erfüllt werden. Das heißt, der erfindungsgemäße Spannungszwischenkreis-Umrichter als statischer Frequenzumrichter eines Wellengenerator-

systems weist eine Kurzschluss-Sicherheit auf, die ohne eine Duplexdrossel bereitgestellt werden kann.

[0020] Durch die hohen Schaltfrequenzen der verwendeten Low-Voltage-IGBTs (LV-IGBT) in den Submodulen des Stromrichters mit verteilten Energiespeichern weist dieser Stromrichter eine sehr hohe resultierende Schaltfrequenz auf. Dadurch kann die Grenzfrequenz einer zugehörigen Regelung ebenfalls zu hohen Werten verschoben werden, so dass diese außerhalb eines Bereichs möglicher Resonanzen des Bordnetzes liegt. Dadurch ist eine anlagenunabhängige Parametrierung möglich.

[0021] Aufgrund der Regelungseigenschaften eines Stromrichters mit verteilten Energiespeichern kann beim Spannungszwischenkreis-Umrichter, dessen netzseitiger Stromrichter ein Stromrichter mit verteilten Energiespeichern ist, und dessen generatorseitiger Stromrichter ein ungesteuerter Stromrichter, beispielsweise ein Diodengleichrichter, ist, kann ein Zwischenkreisstrom dieses Spannungszwischenkreis-Umrichters nahezu konstant gehalten werden. Dadurch weisen die Generatorströme des Generators des Wellengeneratorsystems einen niedrigeren Oberwellengehalt auf, wobei der Effektivwert niedriger ist. Dadurch, dass die Generatorströme nahezu blockförmig sind, reduzieren sich die Verluste des Wellengeneratorsystems.

[0022] Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeichnungen Bezug genommen, in denen Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Wellengeneratorsystems schematisch veranschaulicht sind.

[0023] [Fig. 1](#) zeigt ein Prinzipschaltbild eines bekannten Schiffsantriebssystems mit einem Spannungszwischenkreis-Umrichter als Wellengenerator-Antriebsumrichter, wogegen die

[0024] [Fig. 2](#) ein Prinzipschaltbild dieses bekannten Schiffsantriebssystems mit einem Spannungszwischenkreis-Umrichter als Wellengenerator-Antriebsumrichter darstellt; in der

[0025] [Fig. 3](#) ist eine erste Ausführungsform eines Wellengeneratorsystems nach der Erfindung dargestellt, und die

[0026] [Fig. 4](#) zeigt eine zweite Ausführungsform eines Wellengeneratorsystems nach der Erfindung, wobei in der

[0027] [Fig. 5](#) ein Prinzipschaltbild eines netzseitigen Stromrichters des Wellengeneratorsystems nach [Fig. 3](#) bzw. [Fig. 4](#) in einer vorteilhaften Ausbildung veranschaulicht ist.

[0028] Das aus der DE 10 2006 020 144 B4 bekannte Schiffsantriebssystem **2** weist nach [Fig. 1](#) eine als langsam laufende Zweitakt-Dieselmotor ausgebildete Hauptmaschine **4** auf, die über eine Propellerwelle **6** einen Schiffspropeller **8** zum Antrieb des Schiffs aufweist. Zur Energieerzeugung für ein Schiffsnetz, veranschaulicht durch eine Bordnetz-Sammelschiene **10**, sind mehrere Generatoren **12** vorgesehen, die jeweils von einer schneller als die Hauptmaschine laufenden Hilfsmaschine **14** angetrieben werden. Bei den Hilfsmaschinen **14** handelt es sich üblicherweise um schnell laufende Vier-Takt-Dieselmotoren. Üblicherweise sind jeweils ein Generator **12** und ein Dieselmotor **14** zu einem Dieselgeneratoraggregat **16** zusammengefasst.

[0029] Ein Wellengenerator/-motor **18** ist mechanisch mit der Propellerwelle **6** gekoppelt und elektrisch über einen Umrichter **20** und einen Transformator **22** mit der Bordnetz-Sammelschiene **10** des Schiffsnetzes verbunden. Als Umrichter **20** ist ein Stromzwischenkreis-Umrichter vorgesehen, der generator- und netzseitig jeweils einen steuerbaren Stromrichter **24** und **26** aufweist, die gleichspannungsseitig mittels einer Zwischenkreisdrossel miteinander elektrisch leitend verbunden sind. Die Steuersignale für diese beiden steuerbaren Stromrichter **24** und **26** werden von einem Steuer- und Regelungssystem **28** generiert. Da als Wellengenerator/-motor **18** eine langsam laufende Synchronmaschine verwendet wird, ist diese zusätzlich über einen Erregerstromrichter **30** mit der Bordnetz-Sammelschiene **10** elektrisch leitend verbunden. Da als Umrichter **20** des Wellengeneratorsystems ein Stromzwischenkreis-Umrichter vorgesehen ist, und dieser nur Wirkleistung in das Schiffsnetz einspeisen kann, wird der Blindleistungsbedarf des Schiffsnetzes von einer Blindleistungsmaschine **32** bereitgestellt. Diese Blindleistungsmaschine **32** arbeitet im Normalbetrieb nur als Phasenschieber und speist keine Wirkleistung in die Bordnetz-Sammelschiene **10** ein. Ein Anfahrumschalter **34** und ein Anfahrmotor **36** dienen zum Start der Blindleistungsmaschine **32**. Die Steuerung des Anfahrumschalters **34** erfolgt ebenfalls durch das Steuer- und Regelungssystem **28**.

[0030] Der Wellengenerator/-motor **18**, der Stromzwischenkreis-Umrichter mit zugehörigem Steuer- und Regelungssystem **28** und die Blindleistungsmaschine **32** mit Anfahrumschalter **34** und Anfahrmotor **36** bilden ein Wellengeneratorsystem, das aus der eingangs genannten Veröffentlichung der DE-Zeitschrift "HANSA" bekannt ist.

[0031] Bei diesem bekannten Schiffsantriebssystem wird der Wellengenerator **18** als Motor betrieben, wodurch elektrische Energie aus dem Schiffsnetz mittels des Stromzwischenkreis-Umrichters und des Wellengenerator/-motor **18** in mechanische Energie umgewandelt wird. Dadurch werden Leistungsreser-

ven im Schiffsnetz zur Vergrößerung der Antriebsleistung des Schiffs verwendet, wodurch entweder die Schiffsgeschwindigkeit erhöht oder bei gleichbleibender Schiffsgeschwindigkeit die Hauptmaschine **4** entlastet werden kann.

[0032] Um zumindest die gesonderte Blindleistungsmaschine **32** mit Anfahrumschalter **34** und Anfahrmotor **36** einsparen zu können, ist in [Fig. 2](#) ein Prinzipschaltbild eines weiteren bekannten Schiffsantriebssystems **38** schematisch dargestellt. Dieses Schiffsantriebssystem **38** unterscheidet sich vom Schiffsantriebssystem **2** gemäß [Fig. 1](#) dadurch, dass als Umrichter **20** ein Spannungszwischenkreis-Umrichter vorgesehen ist. Da der Wellengenerator **18** motorisch betrieben wird, weist dieser Spannungszwischenkreis-Umrichter neben einer Zwischenkreis-Kondensatorbatterie **40** generatorseitig ebenfalls einen steuerbaren Stromrichter **24** auf. Als steuerbare Stromrichter **24** und **26** dieses Spannungszwischenkreis-Umrichters ist jeweils ein selbstgeführter Pulsstromrichter, insbesondere ein IGBT-Pulsstromrichter, vorgesehen. Die Zwischenkreis-Kondensatorbatterie **40** ist derart bemessen, dass während der Umschaltung von Motorbetrieb in den Generatorbetrieb des Wellengenerators **18** elektrische Energie in das Schiffsnetz derart eingespeist werden muss, dass die Spannung und die Frequenz des Schiffsnetzes jeweils vorgegebene Grenzwerte nicht unterschreiten kann.

[0033] Dieses Wellengeneratorsystem wird nur bei einem ungeplanten Ausfall der Energieerzeugung durch das Abwärme-Rückgewinnungs-System vom Motorbetrieb auf Generatorbetrieb umgeschaltet. Diese Umschaltung dauert so lange, bis die Dieselgeneratorsätze **16** gestartet sind. Das heißt, der Generatorbetrieb des Wellengeneratorsystems ist nur für eine kurze Überbrückungszeit vorgesehen. Für diese Überbrückungszeit wird ein Oberwellengehalt im Bordnetz des Schiffs in Kauf genommen. Um diesen Oberwellengehalt im Bordnetz zu verringern, wären Filtermaßnahmen auf der Bordnetzseite erforderlich, die jedoch nicht dargestellt sind. Somit wird dieses Wellengeneratorsystem vorwiegend als Booster-Antrieb verwendet.

[0034] Dadurch, dass die Stromrichterventile beispielsweise Insulated-Gate-Bipolar-Transistoren (IGBT) des netzseitigen Stromrichters **26** des Spannungszwischenkreis-Umrichters wegen einer hohen Umrichter-Ausgangsspannung begrenzte Schaltfrequenzen aufweisen, wird die Filterauslegung eines vorhandenen Filters zusätzlich erschwert. Die Filterauslegung wird insbesondere dadurch erschwert, dass es sich beim Bordnetz eines Schiffs um ein Inselnetz handelt, welches abhängig von betriebenen Verbrauchern stark unterschiedliche Impedanzen und damit unterschiedliche Resonanzfrequenzen aufweisen kann. Daher variiert auch die an netzseiti-

gen Anschlüssen des Umrichters **20** wirkende resultierende Resonanzfrequenz, wodurch eine Abstimmung der Filterauslegung auf die Schaltfrequenzen des Umrichters erschwert wird.

[0035] Infolge der begrenzten Schaltfrequenz der HV-IGBTs des netzseitigen Stromrichters **26** und damit verbundene, eingeschränkte Dynamik ist die Beherrschung von transienten Betriebszuständen, wie z. B. Lastabwurf, Kurzschluss im Bordnetz, Netzwiederkehr, schwierig und führt unweigerlich zu einer Überdimensionierung der Bauteile dieses Spannungszwischenkreis-Umrichters. Eine weitere Schwierigkeit, die schwer zu beherrschen ist, besteht darin, dass ein verwendetes Filter in transienten Betriebszuständen zum Schwingen neigt.

[0036] Um geforderte Netzurückwirkungen der Klassifizierungsgesellschaft einhalten zu können und Netzkurzschlüsse und andere transiente Betriebszustände beherrschen zu können, ist dieser Spannungszwischenkreis-Umrichter als statischer Frequenzumformer des Wellengeneratorsystems ungeeignet. Aus diesem Grund wird dieses Wellengeneratorsystem mit einem Spannungszwischenkreis-Umrichter überwiegend motorisch betrieben, wobei bei generatorischem Betrieb, der nur beim Auftreten einer Störung des Energieerzeugungssystems während einer Umschaltzeit umgesetzt wird, in Kauf genommen wird, dass die geforderten Netzurückwirkungen nicht eingehalten werden können. Ebenfalls wird angenommen, dass in diesem Betriebszustand transiente Betriebszustände nicht auftreten. Dieser generatorische Betrieb des Wellengeneratorsystems dauert nur so lange an, bis die Dieselgeneratoraggregate **16** gestartet sind.

[0037] In [Fig. 3](#) ist eine erste Ausführungsform eines Wellengeneratorsystems nach der Erfindung schematisch veranschaulicht. Dieses erfindungsgemäße Wellengeneratorsystem weist neben einem Wellengenerator **18** einen Spannungszwischenkreis-Umrichter **42** auf, der als generatorseitigen Stromrichter **44** einen ungesteuerten Stromrichter, beispielsweise einen sechspulsigen oder höherpulsigen Diodengleichrichter, aufweist. Als generatorseitigen Stromrichter **44** kann auch ein mehrpulsiger selbstgeführter Stromrichter vorgesehen sein. Als netzseitigen (bordnetzseitig) Stromrichter **46** weist das erfindungsgemäße Wellengeneratorsystem einen Stromrichter mit verteilten Energiespeichern auf. Beide Stromrichter **44** und **46** sind gleichspannungsseitig direkt miteinander elektrisch leitend verbunden. Wechselspannungsseitig ist der Stromrichter **46** in der Ausführungsform Stromrichter mit verteilten Energiespeichern mittels eines Transformators **22** mit einem Bordnetz **48** verbindbar.

[0038] In [Fig. 4](#) ist eine zweite Ausführungsform eines Wellengeneratorsystems nach der Erfindung

schematisch veranschaulicht. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der Ausführungsform gemäß [Fig. 3](#) dadurch, dass der netzseitige Stromrichter **46** in der Ausführungsform Stromrichter mit verteilten Energiespeichern wechsellspannungsseitig mittels einer Netzdrossel **50** mit dem Bordnetz **48** verbindbar ist.

[0039] Ein Ersatzschaltbild des Stromrichters **46** mit verteilten Energiespeichern ist in [Fig. 5](#) näher dargestellt. Gemäß dieser Darstellung weist dieser Stromrichter **2** drei Phasenmodule auf, die jeweils einen oberen und einen unteren Ventilzweig P1 und N1 bzw. P2 und N2 bzw. P3 und N3 aufweisen. Diese beiden Ventilzweige P1, N1 bzw. P2, N2 bzw. P3, N3 eines jeden Phasenmoduls sind zu einem Brücken-zweig verschaltet. Ein Verknüpfungspunkt eines oberen und einen unteren Ventilzweiges P1 und N1 bzw. P2 und N2 bzw. P3 und N3 ist als wechsellspannungsseitiger Anschluss L1, L2 bzw. L3 eines jeden Phasenmoduls herausgeführt. Zur Glättung stromrichterinterner Kreisströme werden verkoppelte Zweigdrosseln L_z eingesetzt. An diesen wechsellspannungsseitigen Anschlüssen L1, L2 bzw. L3 ist die Netzdrossel **50** angeschlossen. Diese drei Phasenmodule sind elektrisch parallel zu einander und zu einer nicht näher dargestellten Gleichspannungs-Einspeiseeinrichtung (generatorseitige Stromrichter **44**) geschaltet, die an den Gleichspannungs-Anschlüssen P und N des Stromrichters **2** mit verteilten Energiespeichern C_{SM} angeschlossen ist. Zwischen diesen Gleichspannungs-Anschlüssen P und N steht eine generierte Gleichspannung U_{do} an.

[0040] Diesem Ersatzschaltbild ist ebenfalls zu entnehmen, dass jeder Ventilzweig P1, N1, P2, N2, P3 und N3 eine Vielzahl von elektrisch in Reihe geschalteten zweipoligen Submodulen SM1, SM2, ..., SMn aufweist. Jedes zweipolige Submodul SM1, SM2, ..., SMn weist gemäß der vergrößerten Darstellung des Submoduls SM1 einen unipolaren Speicherkondensator C_{SM} , zwei abschaltbare Halbleiterschalter S1 und S2 und zwei Dioden D1 und D2 auf. Die beiden abschaltbaren Halbleiterschalter S1 und S2 sind elektrisch in Reihe und diese Reihenschaltung elektrisch parallel zum unipolaren Speicherkondensator C_{SM} geschaltet. Antiparallel zu den abschaltbaren Halbleiterschaltern S1 und S2 ist jeweils eine Diode D1 bzw. D2 geschaltet. Diese Dioden D1 und D2 bilden somit jeweils eine Freilaufdiode. Ein Verbindungspunkt der beiden abschaltbaren Halbleiterschalter S1 und S2 ist als Modulanschluss X2 herausgeführt. Der negative Anschluss des unipolaren Speicherkondensators C_{SM} bildet einen zweiten Modulanschluss X1. Im geladenen Zustand des unipolaren Speicherkondensators C_{SM} fällt eine Kondensatorspannung U_{SM} ab.

[0041] Diese Kondensatorspannungen U_{SM1} , U_{SM2} , ..., U_{SMn} der zweipoligen Subsysteme SM1,

SM2, ..., SMn eines jeden Ventilzweiges P1, N1, P2, N2, P3 und N3 addieren sich jeweils zu einer Ventilspannung U_{ZP1} , U_{ZN1} , U_{ZP2} , U_{ZN2} , U_{ZP3} und U_{ZN3} . Die Addition jeweils zweier Ventilspannungen U_{ZP1} , U_{ZN1} bzw. U_{ZP2} und U_{ZN2} bzw. U_{ZP3} und U_{ZN3} eines Phasenmoduls ergibt die zwischen den Gleichspannungs-Anschlüssen P und N anstehende Gleichspannung U_{dc} .

[0042] Jedes dieser zweipolige Submodule SM1, SM2, ..., SMn kann in einen von drei Schaltzuständen, nämlich die Schaltzustände I, II und III, gesteuert werden. Welche Klemmenspannung U_{X2X1} in welchem Schaltzustand I, II bzw. III an den Modulanschlüssen X2 und X1 ansteht, und wie in den Schaltzuständen I, II bzw. III die abschaltbaren Halbleiterschalter S1 und S2 angesteuert werden, ist der DE 101 03 031 A1 zu entnehmen, die diese dargestellte Stromrichter-Topologie offenbart.

[0043] Gegenüber der Ausführungsform der [Fig. 4](#) ist zwischen Netzdrossel **50** und Ausgangsanschlüssen **52**, **54** und **56** des Wellengeneratorsystems jeweils eine Reihenschaltung eines Kondensators C1 und eines Widerstandes R1 geschaltet, wobei die freien Enden dieser Widerstände R1 miteinander elektrisch leitend verbunden sind. Die Reihenfolge der beiden Komponenten C1 und R1 der Reihenschaltung können auch gegenüber dieser Darstellung vertauscht sein. Dadurch werden dann die freien Enden der Kondensatoren C1 miteinander elektrisch leitend verbunden. Diese gedämpften Kondensatorzweige bilden mit den Induktivitäten der Netzdrossel **50** einen Tiefpassfilter, wobei der Verbindungspunkt **58** der drei Widerstände R1 einen Sternpunkt des Wellengeneratorsystems bildet. An diesen Verbindungspunkt **58** kann ein hochohmiger Widerstand gegen einen Erdungsanschluss des Bordnetzes **48** angeschlossen werden. Mittels eines derartigen hochohmigen Anschlusses kann ein Erdschluss an dem hochohmigen geerdeten Bordnetz **48** erfasst werden.

[0044] Bei einem Stromrichter **46** mit verteilten Energiespeichern C_{SM} wird durch die Anzahl der elektrisch in Reihe geschalteten zweipoligen Submodule SM1, SM2, ..., SMn einerseits die Anzahl der Treppenstufen einer treppenförmigen Ausgangsspannung bestimmt und andererseits kann die Umrichter-Ausgangsspannung an jede beliebige Amplitude des Bordnetzes, beispielsweise ein Mittelspannungsnetz, angepasst werden. Je höher die Anzahl der zweipoligen Submodule SM1, SM2, ..., SMn eines jeden Ventilzweigs P1, N1, P2, N2, P3 und N3 der Phasenmodule des Stromrichters **46** ist, desto sinusförmiger ist die Umrichter-Ausgangsspannung. Dadurch werden keine Filtermaßnahmen mehr benötigt, um die geforderten Netzurückwirkungen der Klassifizierungsgesellschaften einhalten zu können.

[0045] Als abschaltbare Halbleiterschalter S1 und S2 eines jeden zweipoligen Submoduls SM1, SM2, ..., SMn werden Insulated-Gate-Bipolar-Transistoren, insbesondere LV-IGBTs, verwendet. Diese LV-IGBTs mit Sperrspannungen von 1200 V bzw. 1700 V können gegenüber HV-IGBTs mit Sperrspannungen von 3300 V, 4500 V bzw. 6500 V mit einer wesentlich höheren Pulsfrequenz getaktet werden. Außerdem sind die LV-IGBTs gegenüber den HV-IGBTs wesentlich preiswerter. Durch die Verwendung von LV-IGBTs im Mittelspannungs-Umrichter **42** und einer Vielzahl der zweipoligen Submodule SM1, SM2, ..., SMn kann der Ausgangsstrom dieses Umrichters **42** im Kurzschlussfall hochdynamisch begrenzt werden. Dadurch können die Anforderungen der Schiffsnetze im Hinblick auf die Einspeisung von Kurzschlussstrom einfach erfüllt werden. Da wegen der hohen Anzahl von zweipoligen Submodulen SM1, SM2, ..., SMn pro Ventilzweig P1, N1, P2, N2, P3 und N3 des Stromrichters **46** auf ein bordnetzseitiges Filter verzichtet werden kann, können transiente Betriebszustände leichter beherrscht werden. Dies liegt daran, dass die transienten Betriebszustände keine Schwingungen mehr anregen können, da bordnetzseitig kein Filter mehr vorhanden ist. Ebenfalls kann in Abhängigkeit der Anzahl der zweipoligen Submodule SM1, SM2, ..., SMn pro Ventilzweig P1, N1, P2, N2, P3 und N3 des Stromrichters **46** mit verteilten Energiespeichern C_{SM} dieser Stromrichter **46** einfach auf jede beliebige Ausgangsspannung skaliert werden, wodurch auf einen Transformator **22** in einer Vielzahl von Anwendungen verzichtet werden kann.

[0046] Durch die Verwendung eines Stromrichters **46** mit verteilten Energiespeichern als bordnetzseitiger Stromrichter **26** des Spannungszwischenkreis-Umrichters **42** eines Wellengeneratorsystems kann für das Steuer- und Regelungssystem **28** dieses Spannungszwischenkreis-Umrichters **42** eine wesentlich höhere Taktfrequenz verwendet werden, wodurch die Grenzfrequenz dieses Steuer- und Regelungssystems **28** außerhalb eines Bereichs möglicher Resonanzen liegt. Dadurch ist nun eine anlagenunabhängige Parametrierung des Umrichters **46** möglich.

[0047] Durch die Ausgestaltung des bordnetzseitigen Stromrichters **26** des Spannungszwischenkreis-Umrichters **42** als Stromrichter **46** mit einer Vielzahl von Energiespeichern C_{SM} kann nun ein Spannungszwischenkreis-Umrichter **42** als Wellengenerator-Umrichter **20** verwendet werden, so dass eine Blindleistungsmaschine **32** mit Anfahrumsrichter **34** und Anfahrmotor **36** nicht mehr benötigt wird. Ebenfalls werden kein Filter und kein Transformator bordnetzseitig mehr benötigt. Durch diese Stromrichter-Topologie werden bei einem Mittelspannungs-Umrichter LV-IGBTs in den zweipoligen Submodulen SM1, SM2, ..., SMn verwendet, wodurch dieser Stromrichter **46** in Verbindung mit einer hohen An-

zahl von Submodulen SM1, SM2, ..., SMn eine hohe resultierende Schaltfrequenz aufweist, so dass ein Kurzschlussstrom hochdynamisch begrenzt werden kann. Mittels eines Stromrichters **46** mit verteilten Energiespeichern C_{SM} als bordnetzseitiger Stromrichter **26** des Wellengenerator-Umrichters, der ein Spannungszwischenkreis-Umrichter ist, dessen Zwischenkreis-Kondensatorbatterie **40** auf eine Vielzahl von Speicherkondensatoren C_{SM} aufgeteilt ist, kann die Netzqualität auf einem dieselelektrisch angetriebenen Schiff wesentlich verbessert werden.

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 102006020144 B4 [[0007](#), [0028](#)]
- DE 102005059760 A1 [[0010](#)]
- DE 10103031 A1 [[0042](#)]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- "WGA 23 – ein modernes Wellengeneratorsystem", Sonderdruck aus der DE-Zeitschrift "HANSA", 120. Jahrgang, Nr. 13, 1983, Heft Juli, S. 1203–1207 [[0002](#)]
- "Netzgestaltung mit Duplexdrosseln" von W. Schild und Dr. W. Planitz, abgedruckt im Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, 91. Band, 1997, S. 173 ff. [[0004](#)]

Patentansprüche

1. Wellengeneratorsystem mit einem Wellengenerator (18), einem Spannungszwischenkreis-Umrichter (42) und einer netzseitigen Induktivität, wobei der Spannungszwischenkreis-Umrichter (42) generatorseitig und netzseitig jeweils einen Stromrichter (44, 46) aufweist, die gleichspannungsseitig miteinander verknüpft sind, und wobei der netzseitige Stromrichter (46) wenigstens zwei Phasenmodule aufweist, die jeweils einen oberen und einen unteren Ventilzweig (P1, N1, P2, N2, P3, N3) aufweisen, die jeweils eine Vielzahl von elektrisch in Reihe geschalteten zweipoligen Subsystemen (SM1, ..., SMn) aufweisen, die jeweils einen unipolaren Speicherkondensator (C_{SM}) aufweisen, dem eine Reihenschaltung zweier abschaltbarer Halbleiterschalter (S1, S2) jeweils mit einer antiparallel geschalteten Diode (D1, D2) elektrisch parallel geschaltet ist.

2. Wellengeneratorsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der generatorseitige Stromrichter (44) ein mehrpulsiger Diodengleichrichter ist.

3. Wellengeneratorsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der generatorseitige Stromrichter (44) ein mehrpulsiger selbstgeführter Stromrichter ist.

4. Wellengeneratorsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die netzseitige Induktivität ein Transformator (22) ist.

5. Wellengeneratorsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die netzseitige Induktivität eine Netzdrossel (50) ist.

6. Wellengeneratorsystem nach den Ansprüchen 1 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass jede Netzdrossel (50) mit einer Reihenschaltung eines Kondensators (C1) und eines Widerstands (R1) verknüpft ist, wobei die freien Enden der Widerstände (R1) miteinander elektrisch leitend verbunden sind.

7. Wellengeneratorsystem nach den Ansprüchen 1 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass jede Netzdrossel (50) mit einer Reihenschaltung eines Widerstands (R1) und eines Kondensators (C1) verknüpft ist, wobei die freien Enden der Kondensatoren (C1) miteinander elektrisch leitend verbunden sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG 3

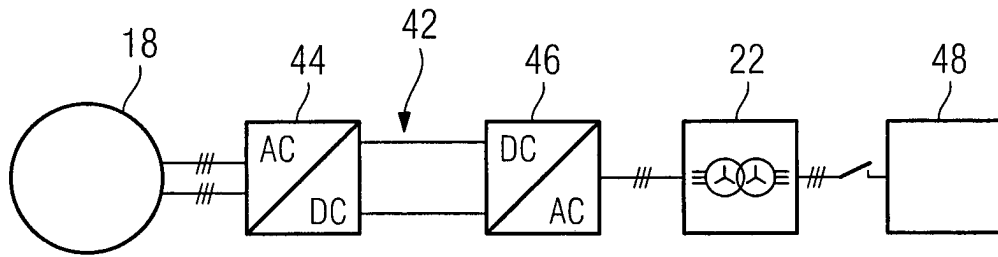
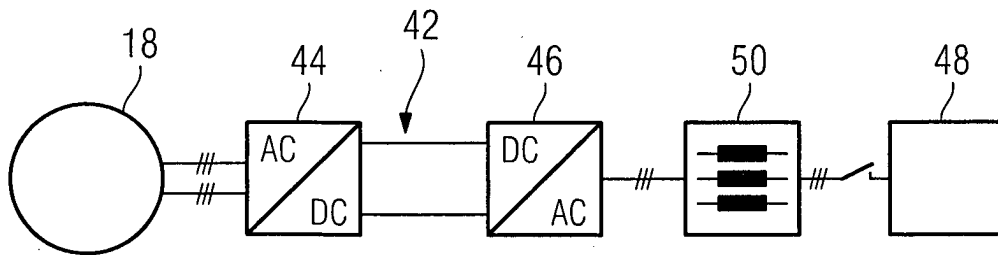


FIG 4



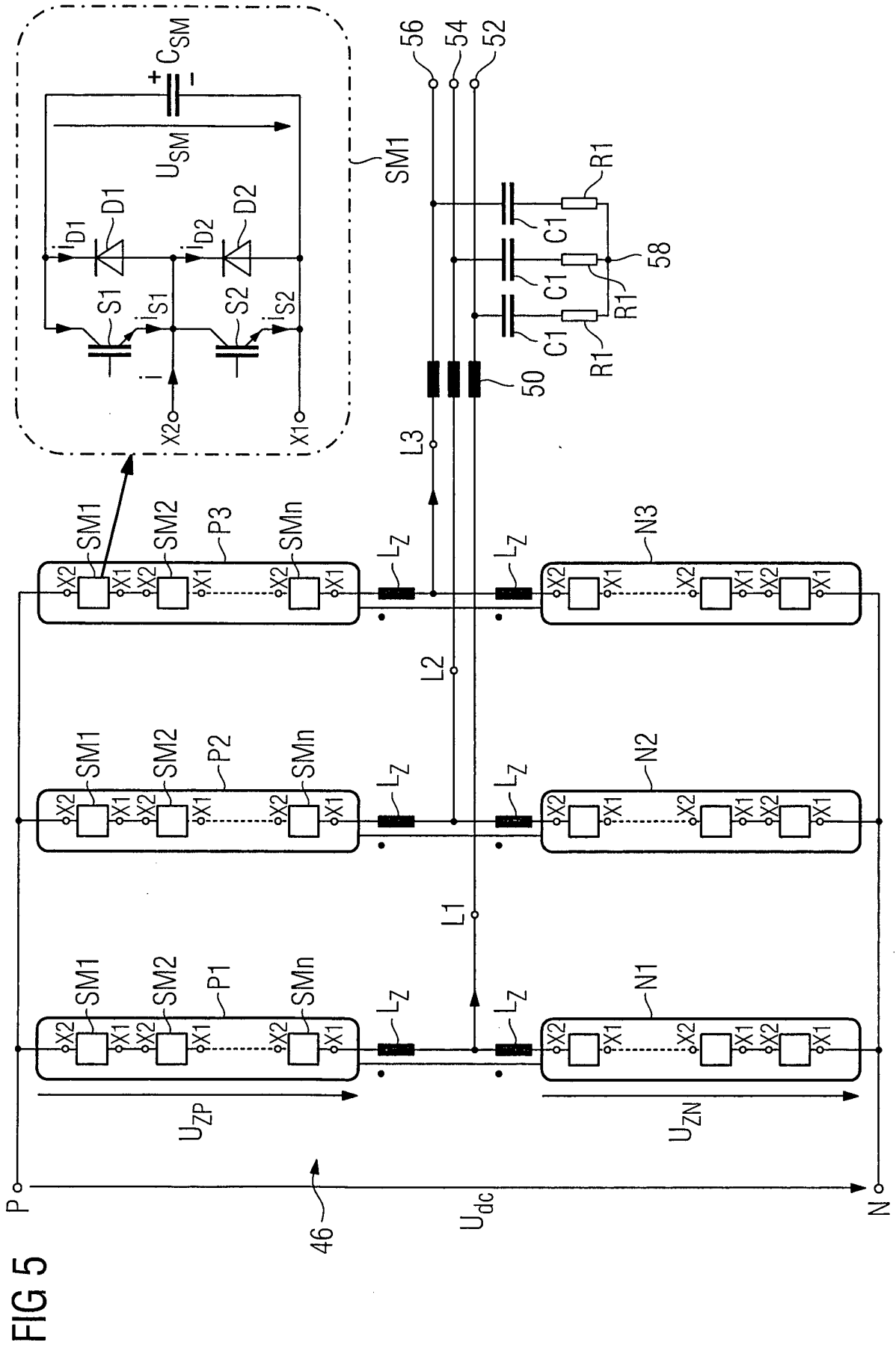


FIG 5