



REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer: **AT 412 684 B**

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 316/2003
(22) Anmeldetag: 04.03.2003
(42) Beginn der Patentdauer: 15.10.2004
(45) Ausgabetag: 25.05.2005

(51) Int. Cl.⁷: **H01G 9/14**

(56) Entgegenhaltungen:
AT 406432B EP 1107438A2
WO 01/97368A2 US 4686619A

(73) Patentinhaber:
ERTL HANS DR.
A-5270 MAUERKIRCHEN,
OBERÖSTERREICH (AT).

(72) Erfinder:
ERTL HANS DR.
MAUERKIRCHEN, OBERÖSTERREICH (AT).

(54) VORRICHTUNG ZUR VERLUSTARMEN SYMMETRIERUNG DER KONDENSATORSPANNUNGEN BEI LEISTUNGSELEKTRONISCHEN KONVERTERN MIT SPANNUNGSZWISCHENKREIS

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) zum Ersatz der konventionellen ohmschen Parallel-Widerständen zur Spannungssymmetrierung von in Serie geschalteten Elektrolytkondensatoren. Dadurch können die in den Widerständen auftretenden, mitunter beträchtlichen Verluste signifikant reduziert werden. Die Grundschialtung der erfindungsgemäßen Vorrichtung (1) besteht aus einem, aus zwei hochohmigen Widerständen (5),(6) gebildeten Spannungsteiler mit nachgeschaltetem Impedanzwandler bestehend aus zwei komplementären Transistoren (8),(9) dessen Ausgang an den gemeinsamen Mittelpunkt (4) der Kondensator-Serienschaltung geschaltet ist. Dadurch können die Verluste etwa um den Faktor der Stromverstärkung der Transistoren verringert werden. Vorteilhafte Ausführungsvarianten ergeben sich besonders auch bei Einsatz von MOS-Transistoren bzw. Anwendung einer Kaskode-Schaltung von Niederspannungs-Transistoren.

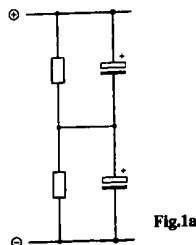


Fig.1a

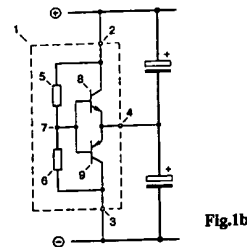


Fig.1b

AT 412 684 B

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur verlustarmen Symmetrierung der Kondensatorspannungen bei leistungselektronischen Konvertern mit Spannungszwischenkreis wie sie im Oberbegriff des Patentanspruches 1 beschrieben ist.

Im Bereich der industriellen Elektronik werden heute vielfach leistungselektronische Konverter zur effizienten Umformung elektrischer Energie eingesetzt. Als Anwendungsbeispiele seien etwa Umrichter der Drehstrom-Antriebstechnik, Versorgungseinrichtungen in der Computertechnik sowie für Telekommunikationsanlagen (z.B. Telekom-Gleichrichter, Computer-/Server-Netzteile), Speisegeräte der industriellen Prozesstechnik (z.B. elektronische Schweißgeräte oder Plasma-Beschichtungs- bzw. -Schneidanlagen) etc. genannt. Vielfach sind derartige Konverter mit Gleichspannungszwischenkreisen ausgestattet, wobei üblicherweise Elektrolytkondensatoren zur Spannungsstützung eingesetzt werden. Mit Ausnahme des Bereiches kleiner Leistung werden derartige Geräte meist an das öffentliche 400V-Dreiphasennetz angeschlossen, woraus ein Zwischenkreisspannungsniveau im Bereich von typisch 500V...800V resultiert. Weil Elektrolytkondensatoren aber derzeit aus technologischen Gründen auf Nennspannungen kleiner als etwa 500V limitiert sind, sind im Zwischenkreis meist zwei Kondensatoren bzw. Kondensatorgruppen in Serie geschaltet.

Wegen ihres, auf elektro-chemischen Vorgängen basierenden Grundprinzips weisen Elektrolytkondensatoren leider einen nicht unerheblichen, stark von den jeweiligen Alterungs-, Temperatur- bzw. Betriebsbedingungen abhängigen Leckstrom auf. Ohne entsprechende Vorkehrungsmaßnahmen ist es deshalb keineswegs gewährleistet, daß sich - auch bei einer Serienschaltung von zwei typengleichen Kondensatoren - die gesamte eingepreßte Zwischenkreisspannung gleichmäßig auf beide Bauteile aufteilt. Es bestünde vielmehr die Gefahr, daß ein Kondensator spannungsmäßig nicht ausgenützt, der zweite aber überlastet wird, wobei es im Extremfall dadurch sogar zu einer Explosion des Bauteils kommen kann.

Nach dem derzeitigen Stand der Technik schreiben die Hersteller deshalb stets vor, bei Serienschaltung den Elektrolytkondensatoren ohmsche Widerstände zur Spannungssymmetrierung parallelzuschalten. Die beiden gleichen ohmschen Widerstände bilden einen Spannungsteiler, der das Potential des Verbindungspunktes der beiden Kondensatoren auf halbe Zwischenkreisspannung definiert. Allerdings müssen dazu die beiden Widerstände so niedrig dimensioniert sein, daß der durch sie fließende "Ruhestrom" deutlich größer (typ. 10x so groß) als der Kondensatorleckstrom im Worst-Case-Fall ist. Daraus resultiert leider ein beträchtliche Symmetrierungsverlustleistung, die selbst dann auftritt, wenn beide Kondensatoren im Idealfall gleiche Leckströme aufweisen würden. Der signifikante Nachteil dieser Symmetrierungsmethode ist also der, daß Verluste auftreten, die durch den Kondensator-Worst-Case bestimmt sind, die sich aber nicht merklich verringern, wenn dieser Worst-Case nicht eintritt. Diese Verhältnisse sollen durch ein Zahlenbeispiel verdeutlicht werden: Der Zwischenkreis eines 10kVA Pulsumrichters für einen Drehstromantrieb sei etwa mit einer Serienschaltung von zwei 10000µF/350V Kondensatoren bestückt. Der Hersteller empfiehlt gemäß Datenblatt den Kondensatoren 5kOhm-Widerstände zur Spannungssymmetrierung parallelzuschalten. Bei einer Zwischenkreisspannung von typ. 500V fließt also durch die Widerstände ein Ruhestrom von $500V/(2 \times 5k\Omega) = 50mA$, woraus permanente Verluste von 25W resultieren. Unter Voraussetzung, daß der Umrichter dauernd an Netzspannung liegt (was im Bereich der industriellen Automatisierungstechnik oft der Fall ist) bedeutet dies einen jährlichen zusätzlichen Energieverbrauch von fast 220kWh allein zur Symmetrierung des Zwischenkreises!

Zur Vermeidung dieser Zusatzverluste wurde in AT 406 432 B, EP 1 107 438 A2 sowie WO 01/97368 vorgeschlagen, die Zwischenkreiskondensatoren über eine spezielle Ausgestaltung des Hilfsenergie-Schaltnetztes (welches im Umrichter zur Versorgung der Regelungs- und Steuerungselektronik ohnehin benötigt wird) zu symmetrieren. Nachteilig an diesem Konzept ist allerdings, dass die Symmetriereinrichtung damit keine eigenständige, völlig autarke Einheit mehr darstellt. Es besteht die Gefahr, daß die Symmetrierungswirkung nicht in allen Betriebszuständen garantiert werden kann (z.B. etwa dann, wenn der zur Symmetrierung benötigte Energiefluß größer ist, als die Ausgangsleistung des Hilfsenergie-Schaltnetztes bzw. auch beim Hochlauf des Schaltnetztes). Die erläuterten getakteten Schaltungen zeigen deshalb nicht die Robustheit einer passiven Symmetrierung mit ohmschem Spannungsteiler und werden in der Praxis deshalb nur zögerlich eingesetzt.

Eine einfache, robuste aber verlustarme Alternative zur konventionellen Widerstands-

Symmetrierung ist in US 4 686 619 A beschrieben. Die Spannungssymmetrierung erfolgt dabei über einen ohmschen Widerstand in Verbindung mit einem als 1:1-Spartrafo realisierten induktiven Spannungsteiler. Diese Schaltung ist allerdings nur dann anwendbar, wenn der Zwischenkreis aus dem Wechsel- bzw. Drehstromnetz gespeist ist (also nicht bei Gleichstromspeisung). Nachteilig ist hier auch, dass selbst im Fall vollständiger Spannungssymmetrie Restverluste im Symmetrierwiderstand verbleiben (hervorgerufen durch eine Wechselstromkomponente dreifacher Netzfrequenz).

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine autarke, hilfsenergiefreie und nur am Zwischenkreis selbst angeschlossene Anordnung zu schaffen, mit welcher die Symmetrierung der Spannung an den Kondensatoren mit vergleichbarer Robustheit wie bei einer Symmetrierung mittels ohmschem Spannungsteiler, aber unter weitgehender Vermeidung von Zusatzverlusten erreicht werden kann. Die Lösung dieser Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1 erreicht. Weitere vorteilhafte Steuerverfahren für die erfindungsgemäße Schaltung werden durch die Unteransprüche 2 bis 5 beschrieben.

Grundidee der Erfindung ist es, den das Potential am Verbindungspunkt der beiden Kondensatoren definierenden Spannungsteiler von den eigentlichen Leckströmen der Kondensatoren durch Zwischenschaltung eines Transistor-Impedanzwandlers zu "entkoppeln". Dadurch können die Widerstandswerte des Spannungsteilers wesentlich höher gewählt werden, was die auftretenden Verluste durch den Querstrom des Spannungsteilers signifikant reduziert. Die nun im Impedanzwandler auftretenden Verluste sind nunmehr durch die tatsächlichen Leckströme der Kondensatoren bestimmt und nicht mehr durch deren Worst-Case Kennwerte.

Die Erfindung wird in Form vorteilhafter Realisierungsvarianten anhand von Fig.1 bis Fig.5 näher erläutert. Es zeigen:

Fig.1: Passive Symmetrierung der Kondensatorspannungen eines Spannungszwischenkreis-Umrichters nach dem derzeitigen Stand der Technik mittels parallelschalteter Widerstände (a) sowie Grundstruktur der erfindungsgemäßen Anordnung zur aktiven Symmetrierung basierend auf einem Impedanzwandler aus zwei komplementären Bipolar-Transistoren (b).

Fig.2: Ausführungsvariante einer aktiven Symmetrierung unter Verwendung von MOS-Transistoren.

Fig.3: Ausführungsvariante wie Fig.2, jedoch mit getrennten Spannungsteilern.

Fig.4: Ausführungsvariante mit Begrenzung des Symmetrierungsstromes.

Fig.5: Ausführungsvariante unter Verwendung einer Ketten- (Kaskode-) Schaltung von Niederspannungstransistoren.

In **Fig.1a** ist die derzeit von den Herstellern empfohlene Methode zur Symmetrierung der Teilspannungen einer Serienschaltung von zwei Elektrolytkondensatoren gezeichnet, bei welcher parallel zu jedem Kondensator ein ohmscher Widerstand geschaltet ist. Die beiden üblicherweise gleichen Widerstände bilden einen Spannungsteiler welcher, unter Voraussetzung daß sein Querstrom wesentlich größer ist wie die Kondensator-Leckströme, für eine gleichmäßige Aufteilung der gesamten Zwischenkreisspannung auf beide Kondensatoren erfolgt.

Gemäß **Fig.1b** ist die Grundstruktur der erfindungsgemäßen Vorrichtung (1) ebenfalls autark, d.h. unabhängig von externen Energieversorgungs- oder Steuerungseinrichtungen, sondern ausschließlich über drei Anschlüsse mit der positiven Zwischenkreisschiene (2), der negativen Zwischenkreisschiene (3) und dem gemeinsamen Mittelpunkt (4) der Zwischenkreiskondensatoren verbunden. Die Vorrichtung (1) beinhaltet einen aus zwei Widerständen (5), (6) gebildeten hochohmigen Spannungsteiler. Der gemeinsame Punkt (7) der Widerstände (5), (6) ist mit den Basisanschlüssen von zwei komplementären Transistoren (8),(9) verbunden, wobei der Kollektoranschluß des NPN-Transistors (8) an den positiven Zwischenkreispunkt (2), der Kollektoranschluß des PNP-Transistors (9) jedoch an den negativen Zwischenkreispunkt (3) geschaltet ist. Die beiden Emitteranschlüsse der Transistoren (8),(9) sind an den gemeinsamen Mittelpunkt (4) der Zwischenkreiskondensatoren geschaltet. Mit der beschriebenen Anordnung treten die Leckströme der beiden Elektrolytkondensatoren im Spannungsteiler (5),(6) nunmehr um die Stromverstärkung der Transistoren reduziert als Belastung des Spannungsteilers auf. Dieser kann somit wesentlich hochohmiger als bei der rein passiven Lösung nach Fig.1a dimensioniert werden, wodurch die dissipativen Verluste vorteilhafterweise deutlich reduziert werden.

Die benötigten komplementären Transistoren (8),(9) müssen eine zulässige Betriebsspannung

von mindestens halber Zwischenkreisspannung aufweisen. Berücksichtigt man Überspannungen im Störfall bzw. entsprechende Spannungsreserven um einen langlebigen, zuverlässigen Dauerbetrieb garantieren zu können, sind sogar Halbleiterbauelemente mit einer Sperrspannung in Höhe der gesamten Zwischenkreisspannung gefordert. Leider weisen konventionelle Bipolartransistoren im geforderten Spannungsbereich von bis zu 500V und mehr technologisch bedingt eine nur äußerst geringe Stromverstärkung (etwa 20...40) auf, wodurch sich die Attraktivität der erfindungsgemäßen Schaltung nach Fig.1b merklich reduziert. Zur Vermeidung dieses Nachteiles können die Transistoren (8),(9) deshalb, wie in Fig.2 dargestellt, vorteilhaft auch als komplementäre MOS-Transistoren (MOSFETs) ausgeführt werden. Der im Vergleich zum Basisstrom von Hochspannungs-Bipolartransistoren deutlich geringere Gate-Strom von MOSFETs erlaubt eine wesentlich leistungssparendere Dimensionierung der Spannungsteilerwiderstände (5),(6).

MOSFETs weisen allerdings wiederum eine deutlich höhere Schwellspannung als Bipolartransistoren auf (z.B. ca. 4V im Vergleich zu etwa 0.7V). Da die Schwellspannung der Transistoren (8),(9) aber die erreichbare Genauigkeit der Spannungssymmetrierung beeinflusst, kann es von Vorteil sein, wie in Fig.3 dargestellt, anstelle eines gemeinsamen Spannungsteilers (gebildet aus den Widerständen (5),(6)) jedem Transistor (8) bzw. (9) einen eigenen Spannungsteiler (5),(6) bzw. (5'),(6') zuzuordnen und bei der Dimensionierung die Transistor-Schwellspannungen miteinzubeziehen. Dabei ist es auch vorteilhaft, die Transistoren durch Trenn-Dioden (10),(11) bzw. Gate-Source-Klemmdioden (10a),(11a) vor Überspannungen und Inversstrom zu schützen.

Zum Schutz der Schaltung ist es weiters vorteilhaft, diese auch mit einer Strombegrenzung auszustatten, sodaß im Störfall die Verlustleistung der Transistoren (8),(9) auf zulässige Werte begrenzt bleibt. Dazu kann die Grundschaltung, wie in Fig.4 gezeigt, so erweitert werden, daß in die Emitteranschlüsse der Transistoren (8),(9) Strommeßwiderstände (12),(13) eingefügt werden. Mit den stromproportionalen Spannungsabfällen werden komplementäre Regeltransistoren (14),(15) angesteuert, welche im Überstromfall die Basisströme der Transistoren zurücknehmen, sodaß der in den Mittelpunkt (4) der Kondensator-Serienschaltung abgegebene bzw. daraus aufgenommene Strom limitiert bleibt.

Im Bereich höherer Spannungen sind allerdings auch dem Einsatz von MOSFETs Grenzen gesetzt, weil MOSFETs in p-Kanal Bauform nicht bzw. nur sehr eingeschränkt für hohe Sperrspannung zur Verfügung stehen. In diesem Falle ist die in Fig.5 gezeigte Ausführung der Transistoren (8),(9) als Ketten- (Kaskode-) Schaltung von mehreren Transistoren mit niedriger Spannungsfestigkeit vorteilhaft. Dies insbesondere auch deshalb, weil Niederspannungstransistoren üblicherweise eine wesentlich höhere Stromverstärkung aufweisen (typ. z.B. bis zu 400 und mehr) und so der Einsatz von zwar mehreren, doch extrem kostengünstigen Allzwecktransistoren möglich ist.

PATENTANSPRÜCHE:

1. Vorrichtung zur Ersatz von rein passiven ohmschen Widerständen zur Symmetrierung der Kondensator-teilspannungen einer Serienschaltung von zwei Elektrolytkondensatoren bzw. zwei Gruppen von derartigen Kondensatoren **dadurch gekennzeichnet**, daß vom positiven Anschluß (2) zum negativen Anschluß (3) der Kondensator-Serienschaltung ein aus zwei ohmschen Widerständen (5),(6) gebildeter Spannungsteiler geschaltet ist und der gemeinsame Schaltungspunkt (7) der Widerstände (5),(6) mit den Basisanschlüssen eines NPN-Transistors (8) sowie eines PNP-Transistors (9) verbunden ist und der Kollektoranschluß des Transistors (8) an den positiven Anschluß (2), der Kollektoranschluß des Transistors (9) aber an den negativen Anschluß (3) der Kondensator-Serienschaltung geschaltet ist, während die Emitteranschlüsse der beiden Transistoren (8),(9) verbunden und an den gemeinsamen Mittelpunkt (4) der Kondensator-Serienschaltung geschaltet sind.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, daß anstatt des NPN-Transistors (8) ein n-Kanal-MOSFET und/oder anstatt des PNP-Transistors (9) ein p-Kanal-MOSFET verwendet werden wobei die Begriffe Basisanschluß, Emitteranschluß, Kollektoranschluß durch die Begriffe Gate-Anschluß, Source-Anschluß und Drain-Anschluß zu ersetzen sind.
3. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 und/oder 2 **dadurch gekennzeichnet**, daß die Basisanschlüsse der Transistoren (8),(9) nicht verbunden sind sondern dem Transistor (8) der

- Spannungsteiler (5),(6), dem Transistor (9) jedoch ein eigener Spannungsteiler (5'),(6'), wiederum zwischen positivem Zwischenkreisanschluß (2) und negativem Zwischenkreisanschluß (3) angeordnet ist und der gemeinsame Verbindungspunkt des Spannungsteilers (5'),(6') mit dem Basisanschluß des Transistors (9) verbunden ist während die Emitteranschlüsse der Transistoren (8),(9) ebenfalls nicht mehr direkt, sondern über zwei Trenndioden (10),(11) verbunden sind, wobei der Anodenanschluß der Diode (10) an den Emitteranschluß des Transistors (8) geschaltet ist, der Kathodenanschluß der Diode (10) aber an den gemeinsamen Mittelpunkt (4) der Kondensator-Serienschaltung geschaltet ist, während der Emitteranschluß des Transistors (9) mit dem Kathodenanschluß der Diode (11) verbunden ist, und der Anodenanschluß der Diode (11) an gemeinsamen Mittelpunkt (4) der Kondensator-Serienschaltung geschaltet ist.
4. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 bis 3 **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schaltung durch eine Begrenzung des in den bzw. aus dem gemeinsamen Mittelpunkt (4) der Kondensator-Serienschaltung fließenden Stromes in der Gestalt erweitert wird, daß in die Emitteranschlüsse der Transistoren (8),(9) Strommeßwiderstände (12),(13) eingefügt werden und der Strommeßwiderstand (12) des Transistors (8) an die Basis-Emitter-Anschlüsse eines NPN-Regeltransistors (14) geschaltet ist wobei der Kollektoranschluß des Regeltransistors (14) mit dem Basisanschluß des Transistors (8) verbunden ist und der Strommeßwiderstand (13) des Transistors (9) an die Basis-Emitter-Anschlüsse eines PNP-Regeltransistors (15) geschaltet ist wobei der Kollektoranschluß des Regeltransistors (15) mit dem Basisanschluß des Transistors (9) verbunden ist.
5. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 bis 4 **dadurch gekennzeichnet**, daß die Transistoren (8),(9) nicht durch einzelne Halbleiterbauelemente sondern jeweils durch eine Serienanordnung einer Anzahl N von in Kaskode-geschalteten Einzeltransistoren (8'') bzw. (9'') realisiert werden, wobei immer der Emitteranschluß des N-ten Transistors (8'') bzw. (9'') direkt mit dem Kollektoranschluß des nächstfolgenden (N+1)-ten Transistors der Kaskode-Struktur verbunden ist und die Spannungsteiler-Widerstände (5),(6) ebenfalls durch eine Kettenschaltung von jeweils N Einzelwiderständen (5'') bzw. (6'') gebildet werden, wobei der Basisanschluß des N-ten Transistors (8'') bzw. (9'') an den Verbindungspunkt des N-ten mit dem (N+1)-ten Einzelwiderstand (5'') bzw. (6'') angeschlossen ist.

HIEZU 1 BLATT ZEICHNUNGEN

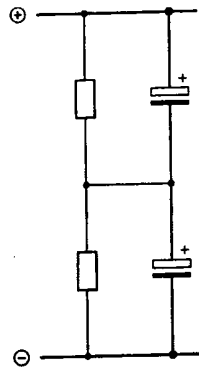


Fig.1a

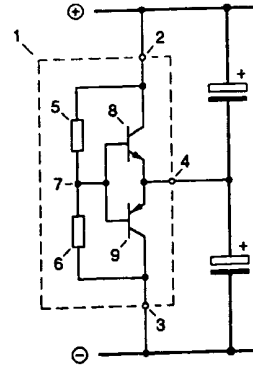


Fig.1b

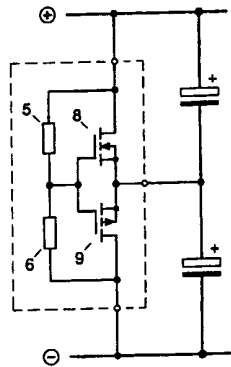


Fig.2

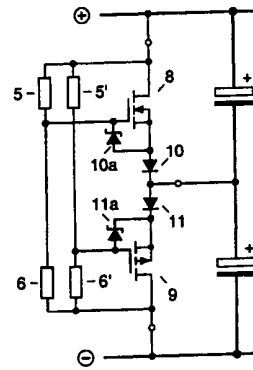


Fig.3

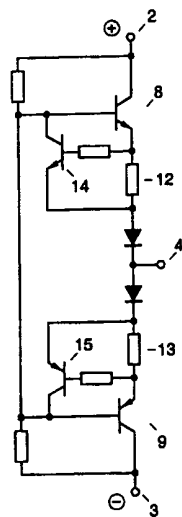


Fig.4

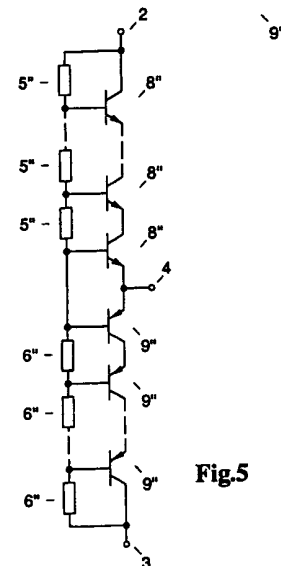


Fig.5