

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 631/2013
(22) Anmeldetag: 06.08.2013
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2015

(51) Int. Cl.: **H02M 1/088** (2006.01)
H02M 7/162 (2006.01)
G05F 1/44 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2012074949 A1
US 2012057387 A1
DE 4335857 A1

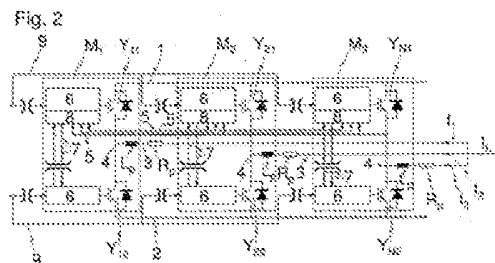
(73) Patentinhaber:
SCHNEIDER ELECTRIC POWER DRIVES
GMBH
1210 WIEN (AT)

(72) Erfinder:
Lehner Gerhard
2151 Aspern an der Zaya (AT)
Fehring Rudolf
1230 Wien (AT)

(74) Vertreter:
KLIMENT & HENHAPEL PATENTANWÄLTE
OG
WIEN

(54) **Potentialregelung von Modulen**

(57) Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Regelung von parallelgeschalteten Modulen ($M_1, M_2, \dots, M_N$) mit jeweils zumindest zwei seriell geschalteten, steuerbaren Halbleiterventilen ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$), vorzugsweise IGBT-Module mit je zwei IGBTs, und mit jeweils zwei Gleichstromanschlüssen (1,2) und einem Wechselstromanschluss (3), wobei Modulströme ($I_1, I_2, \dots, I_N$) am jeweiligen Wechselstromanschluss (3) die Ströme durch die steuerbaren Halbleiterventile ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) des betreffenden Moduls ($M_1, M_2, \dots, M_N$) bilden, und die Summe der Modulströme ($I_1, I_2, \dots, I_N$) aller Module ($M_1, M_2, \dots, M_N$) einen Laststrom (I_L) bildet. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass Potentiale ($U_1, U_2, \dots, U_N$) je eines Moduls ($M_1, M_2, \dots, M_N$) in einem Verzweigungspunkt (4) des Wechselstromanschlusses (3) zu den steuerbaren Halbleiterventilen ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) des betreffenden Moduls ($M_1, M_2, \dots, M_N$) ermittelt werden und mittels Einschaltverzögerungen ($\Delta t_1, \dots, \Delta t_N$) der steuerbaren Halbleiterventile ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) die Potentiale ($U_1, U_2, \dots, U_N$) aller Module ($M_1, M_2, \dots, M_N$) in den jeweiligen Verzweigungspunkten (4) im Mittel über die Schaltperiode der steuerbaren Halbleiterventile ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) auf denselben Wert geregelt werden.



Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Regelung von parallelgeschalteten Modulen mit jeweils zumindest zwei seriell geschalteten, steuerbaren Halbleiterventilen, vorzugsweise IGBT-Modulen mit je zwei IGBTs, und mit jeweils zwei Gleichstromanschlüssen und einem Wechselstromanschluss, wobei Modulströme am jeweiligen Wechselstromanschluss die Ströme durch die steuerbaren Halbleiterventile des betreffenden Moduls bilden, und die Summe der Modulströme aller Module einen Laststrom bildet, gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Die vorliegende Erfindung bezieht sich des Weiteren auf eine Schaltanordnung von parallelgeschalteten Modulen mit jeweils zumindest zwei seriell geschalteten, steuerbaren Halbleiterventilen, vorzugsweise IGBT-Module mit je zwei IGBTs (Insulated-Gate Bipolar Transistors), wobei die Module gemeinsame Gleichstromanschlüsse und jedes der Module einen Wechselstromanschluss, der über einen Verzweigungspunkt mit den steuerbaren Halbleiterventilen des betreffenden Moduls verbunden ist, aufweist, und jedes steuerbare Halbleiterventil eine Gate-Steuereinrichtung aufweist, gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 4.

STAND DER TECHNIK

[0003] In der Leistungselektronik sind mit steuerbaren Halbleiterelementen bestückte Module zur Stromregelung und/oder Stromaufteilung von Strömen hoher Stromstärken bekannt, wobei üblicherweise innerhalb der Module zumeist zwei steuerbare Halbleiterventile seriell geschaltet sind. Üblicherweise handelt es sich bei den steuerbaren Halbleiterventilen um seriell geschaltete IGBTs mit antiparalleler Freilaufdiode, wobei auch Module mit MOSFETs (Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistors) in der Leistungselektronik häufig sind. Die Anordnung von steuerbaren Halbleiterventilen in Form einzelner Module ist vorteilhaft, da mitunter mehrere dutzend derartiger Halbleiterschaltungen in der Leistungselektronik benötigt werden. Die einzelnen steuerbaren Halbleiterventile können mittels der Module schnell positioniert und angeschlossen werden. Die Module können dabei vorgefertigt, oder als eigengefertigte Schaltung einzelner, steuerbarer Halbleiterventile ausgeführt sein, wobei im Folgenden in beiden Fällen eine serielle Schaltung von steuerbaren Halbleiterventilen mit Anschlüssen für die steuerbaren Halbleiterventile allgemein als Modul bezeichnet wird.

[0004] Ein Modul weist dabei in herkömmlicher Weise zumindest zwei Gleichspannungsanschlüsse und einen Wechselstromanschluss auf. Mithilfe der Gleichspannungsanschlüsse können die Module einfach parallel entlang zweier Leitungen, die eine Gleichspannung zur Verfügung stellen, angeschlossen werden, die auch als DC-Bus bezeichnet werden. Mithilfe der Ansteuerung der Schaltzustände der steuerbaren Halbleiterventile, meist mittels einer Kommandoleitung von einem externen Prozessor, kann aus der Gleichspannungsversorgung eine gewünschte Stromform, etwa ein sinusförmiger Wechselstrom, an den Wechselstromanschlüssen moduliert werden. Die Modulierung erfolgt dabei durch Schaltung der steuerbaren Halbleiterventile mit einer Schaltfrequenz, die einer höheren Frequenz als jene des modulierten Stromes entspricht. Hierfür kann etwa die aus dem Stand der Technik bekannte Pulsbreitenmodulation angewendet werden.

[0005] Die möglichen Stromstärken am Wechselstromanschluss der einzelnen Module sind jedoch begrenzt, weshalb in herkömmlicher Weise mehrere Module parallel geschaltet und die Wechselstromanschlüsse der Module miteinander verbunden werden. Ein hoher Laststrom wird somit als Modulstrom geringerer Stärke auf die einzelnen Wechselstromanschlüsse der Module aufgeteilt. Eine derartige Schaltung mehrerer Module zur Stromaufteilung ist meist kostengünstiger, als nur ein Modul mit hoher Stromstärkenverträglichkeit auszuführen. Oft sind bereits innerhalb eines IGBT-Moduls mehrere IGBTs in paralleler Schaltung vorgesehen, um die maximal tolerierte Stromstärke eines Moduls zu erhöhen.

[0006] Bei einer Aufteilung des Laststromes auf die einzelnen Module ist es erforderlich, dass möglichst alle Wechselstromanschlüsse mit derselben Stromstärke belastet werden, nämlich dem Laststrom dividiert durch die Anzahl der Module. Sind die Ströme nicht gleichmäßig aufgeteilt, so werden einige Module mitunter zu hoch belastet und dadurch beschädigt. Die verwendeten Bauteile in den Modulen zeigen zumeist aber nicht die gleichen, herstellungsbedingten Kenn- Charakteristiken, was eine gleichmäßige Aufteilung der Ströme erschwert. Es ergeben sich in herkömmlicher Weise somit Verzerrungen der Aufteilung des Laststromes, durch ungenaue Schaltvorgänge der steuerbaren Halbleiterventile bzw. durch ungleichmäßige Spannungsabfälle an den Halbleiterventilen. Eine gewünschte Modulierung des Laststromes kann somit mitunter nicht erreicht werden.

[0007] In herkömmlicher Weise werden die Eingangsströme am Wechselstromanschluss der einzelnen Module, im Folgenden auch als Modulstrom bezeichnet, mittels einer Regelung der Ströme am betreffenden Wechselstromanschluss oder am Gleichspannungsanschluss auf gleiche Anteile des Laststromes geregelt. Eine derartige Regelung von Strömen stellt jedoch eine technisch aufwändige Mess- und Regelungsmethode dar. Oftmals wird versucht die steuerbaren Halbleiterventile der Module in jener Weise auszuwählen, dass alle steuerbaren Halbleiterventile die möglichst gleichen Charakteristiken aufweisen. Dies soll durch Auswahl der Halbleiter aus derselben Herstellungsladung sichergestellt werden, was einen logistischen Mehraufwand bis zum Einbau der Module bedeutet. Aber auch eine solche Auswahl stellt allerdings nicht die gleichmäßige Aufteilung der Modulströme sicher, da bei unterschiedlichen Temperaturen und unterschiedlichen Stromstärken die Schaltzustände und Spannungen an den steuerbaren Halbleiterventilen dennoch variieren können. Auf eine Regelung der Ströme kann daher meist nicht verzichtet werden.

[0008] Des Weiteren ist bekannt, dass bei hoher Zeitkonstante aus Entkopplungsinduktivität und Widerstand der Module die Verzerrungen bei Schaltung der steuerbaren Halbleiterventile gering gehalten werden können. Hohe Entkopplungsinduktivitäten und Widerstände erfordern jedoch größere Baugrößen, die aber in vielen Anwendungen und Einbausituationen der Module nicht möglich sind. Insbesondere muss für hohe Entkopplungsinduktivitäten und Widerstände der DC-Bus aufwändiger ausgeführt sein.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0009] Es ist daher das Ziel der Erfindung diese Nachteile zu vermeiden und ein Verfahren zur Regelung von gattungsgemäßen, parallelgeschalteten Modulen sowie eine Schaltungsanordnung von gattungsgemäßen, parallelgeschalteten Modulen in jener Weise zur Verfügung zu stellen, dass der Laststrom gleichmäßig auf die einzelnen Module aufgeteilt wird, wobei die steuerbaren Halbleiterventile auch aus unterschiedlichen Herstellungsladungen stammen können, die Entkopplungsinduktivität sowie der Widerstand der Module keine limitierenden Größen sind, die Temperatur einzelner Module unterschiedlich sein kann sowie eine Modulierung des Laststromes mittels steuerbarer Halbleiterventile optimal möglich bleibt.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0010] Diese Ziele werden durch die Merkmale von Anspruch 1 und Anspruch 4 erreicht.

[0011] Anspruch 1 bezieht sich auf ein Verfahren zur Regelung von parallelgeschalteten Modulen mit jeweils zumindest zwei seriell geschalteten, steuerbaren Halbleiterventilen, vorzugsweise IGBT-Module mit je zwei IGBTs, und mit jeweils zwei Gleichstromanschlüssen und einem Wechselstromanschluss, wobei Modulströme am jeweiligen Wechselstromanschluss die Ströme durch die steuerbaren Halbleiterventile des betreffenden Moduls bilden, und die Summe der Modulströme aller Module einen Laststrom bildet. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass Potentiale je eines Moduls in einem Verzweigungspunkt des Wechselstromanschlusses zu den steuerbaren Halbleiterventilen des betreffenden Moduls ermittelt werden und mittels Einschaltverzögerungen der steuerbaren Halbleiterventile die, Potentiale aller Module in den jeweiligen Verzweigungspunkten im Mittel über die Schaltperiode der steuerbaren Halbleiterventile auf

denselben Wert geregelt werden.

[0012] Um alle Modulströme der einzelnen Module auf denselben Wert zu regeln, wird beim erfindungsgemäßen Verfahren somit der Messwert der Potentiale im Verzweigungspunkt des Wechselstromanschlusses zu den steuerbaren Halbleiterventilen des betreffenden Moduls herangezogen. Die Messung von Potentialen stellt eine einfachere Messmethode dar, als die Messung von Strömen. Werden die Entkopplungsinduktivität und der Widerstand am Wechselspannungsanschluss der Module für alle Module gleich gewählt, so ergeben sich bei gleicher Potentialdifferenz über diese Komponenten auch gleiche Eingangsströme an den Wechselstromanschlüssen. Durch die unterschiedlichen Charakteristiken der steuerbaren Halbleiterventile, insbesondere der Schaltcharakteristik, kann dieses Potential jedoch variieren. Schaltet nämlich ein steuerbares Halbleiterventil früher als die anderen, ist der Eingangsstrom dieses Moduls höher als bei den anderen Modulen. Sind jedoch alle Potentiale im jeweiligen Verzweigungspunkt gleich groß, so sind die Eingangsströme gleichmäßig aufgeteilt. Über eine Regelung der Potentiale im Verzweigungspunkt kann damit die gleichmäßige Aufteilung der Eingangsströme zum Laststrom sichergestellt werden. Dabei werden die Potentiale aller Module in den jeweiligen Verzweigungspunkten im Mittel über die Schaltperiode der steuerbaren Halbleiterventile auf denselben Wert geregelt, sodass die Potentialdifferenzen im Mittel über diese Zeitspanne auf null geregelt werden. Um die Potentiale im Verzweigungspunkt aller Module auf denselben Wert zu stellen, werden die Einschaltzeitpunkte der steuerbaren Halbleiterventile so verzögert, dass alle steuerbaren Halbleiterventile möglichst gleichzeitig schalten und die Potentiale beim Schalten mit einer vorgegebenen Schaltfrequenz im Mittel gleich sind.

[0013] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass Potentialdifferenzen eines Verzweigungspunktes eines Halbleitermoduls zu den Verzweigungspunkten jedes weiteren Halbleitermoduls gemessen werden und mittels Einschaltverzögerungen der steuerbaren Halbleiterventile die gemessenen Potentialdifferenzen im Mittel über die Schaltperiode der steuerbaren Halbleiterventile auf Null geregelt werden. Die Messung von Potentialdifferenzen zwischen den Modulen stellt eine vorteilhafte Messmethode dar. In jedem Modul wird dabei nur ein Messpunkt abgegriffen, und der gemessene Wert in diesem Messpunkt mit jenen anderer Module verglichen. Ist diese gemessene Potentialdifferenz null, so sind die betreffenden Eingangsströme in jenen Modulen, in denen die Potentialdifferenz gemessen wurde, abgesehen von einem kleinen Toleranzbereich durch die Entkopplungsimpedanzen, gleich.

[0014] Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass die Einschaltverzögerungen durch Vergleich eines, ab einem Einschaltkommando (EIN) an die steuerbaren Halbleiterventile innerhalb einer vorgegebenen, maximalen Einschaltverzögerung, mehrmals bestimmten Zeitintegrals der gemessenen Potentialdifferenzen mit einem vorgegebenen Maximalwert ermittelt werden. Ergeht also das Einschaltkommando eines IGBTs, wird zunächst die Potentialdifferenz zu anderen Modulen verglichen. Übersteigt das Zeitintegral dieser Potentialdifferenz einen vorgegebenen Wert, wird beim nächsten Einschaltvorgang das Einschalten verzögert. Auf diese Weise wird mit dem Einschalten der Halbleiterventile eines Moduls zugewartet, bis alle steuerbaren Halbleiterventile gleichzeitig schalten, denn dann wird die Potentialdifferenz zwischen den Verzweigungspunkten der beiden verglichenen Module jeweils null und es fließen die gleichen Eingangsströme über diese Module. Wird diese Methode nun für alle Module zueinander angewendet, können alle steuerbaren Halbleiterventile gleichzeitig geschaltet werden und keiner der Eingangsströme ist durch zu frühes Einschalten erhöht bzw. durch zu spätes Einschalten verringert.

[0015] Anspruch 4 bezieht sich auf eine Schaltanordnung von parallelgeschalteten Modulen mit jeweils zumindest zwei seriell geschalteten steuerbaren Halbleiterventilen, vorzugsweise IGBT-Module mit je zwei IGBTs, wobei die Module gemeinsame Gleichstromanschlüsse und jedes der Module einen Wechselstromanschluss, der über einen Verzweigungspunkt mit den steuerbaren Halbleiterventilen des betreffenden Moduls verbunden ist, aufweist, und jedes steuerbare Halbleiterventil eine Gate-Steuereinrichtung aufweist. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass in jedem Modul zumindest eine Regeleinrichtung vorgesehen ist, die mit dem Verzweigungspunkt

des betreffenden Moduls, sowie mit den Verzweigungspunkten der jeweils anderen Module über Messleitungen verbunden ist, wobei mit den Messleitungen Potentialdifferenzen zwischen den Verzweigungspunkten der jeweiligen Module ermittelbar sind.

[0016] Somit ist in jedem Modul zumindest eine Regeleinrichtung vorgesehen, die mit dem Verzweigungspunkt des betreffenden Moduls verbunden ist, und das Potential in diesem Verzweigungspunkt ermittelt. Da es sich hierbei um keine Strommessung handelt, kann mithilfe nur einer Messleitung jede Regeleinrichtung eines Moduls das Potential aller Module einfach ermitteln, wie noch näher ausgeführt werden wird.

[0017] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist hierbei vorgesehen, dass die Regeleinrichtung an einer ersten Gate- Steuereinrichtungen eines Moduls vorgesehen ist, und mittels einer bidirektionalen Steuerleitung mit einer zweiten Gate-Steuereinrichtung des betreffenden Moduls verbunden ist. Die Regeleinrichtung kann etwa an einer Gate-Steuereinrichtung, dem sogenannten Gate-Driver, eines IGBTs angeordnet werden, und damit Platz sowie der Verbau einer zusätzlichen Einheit als Regeleinrichtung gespart werden. Mithilfe bidirektionaler Steuerleitungen kann die Regeleinrichtung alle Gate- Steuereinheiten des Moduls ansprechen. Sind etwa zwei steuerbare Halbleiterventile in Serie und somit zwei Gate-Steuereinrichtungen vorgesehen, wird die Regeleinrichtung etwa direkt an der ersten Gate-Steuereinrichtung zu deren Regelung angeordnet, während die zweite Gate-Steuereinrichtung über die bidirektionale Steuerleitung angesteuert wird.

[0018] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass die Regeleinrichtung eines Moduls mit den Verzweigungspunkten der jeweils anderen Module über die Regeleinrichtungen der jeweils anderen Module verbunden ist. Der für jedes Modul von der entsprechenden Regeleinrichtung benötigte Messwert ist das Potential im Verzweigungspunkt des betreffenden Moduls. Hierbei ist jedoch lediglich entscheidend, welches Potential ein Modul relativ zu einem anderen Modul aufweist. Wird nun von jedem Verzweigungspunkt die Potentialdifferenz zu anderen Modulen über die jeweiligen Regeleinrichtungen verglichen, so können Potentialdifferenzen und in weiterer Folge die Einschaltverzögerungen ermittelt werden. Die Regeleinrichtung schaltet dabei die steuerbaren Halbleiterventile des betreffenden Moduls je nach Auswertung der Potentialdifferenzen. Die Messleitungen der einzelnen Module müssen somit nur zur jeweiligen Regeleinrichtung verbunden werden, sodass nur mehr eine Messleitung von jedem Verzweigungspunkt eines Moduls zur Regeleinrichtung des betreffenden Moduls erforderlich ist und die Regeleinrichtung mit jenen der andern Module verbunden werden muss. Die Messleitung kann somit beim Einbau der Module als Schiene ausgeführt werden, wobei das entsprechende Potential von jeder Regeleinrichtung abgegriffen wird.

KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

[0019] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen mithilfe der beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen hierbei die

- [0020]** Fig. 1 eine Ausführungsform von parallelgeschalteten Modulen mit jeweils zwei steuerbaren Halbleiterventilen zur Regelung über das erfindungsgemäße Verfahren,
- [0021]** Fig. 2 eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Schaltanordnung von parallelgeschalteten Modulen mit jeweils zwei steuerbaren Halbleiterventilen,
- [0022]** Fig. 3a den Verlauf des Potentials in einem ersten Modul und einem zweiten Modul über die Zeit,
- [0023]** Fig. 3b den Verlauf einer Potentialdifferenz von einem ersten Modul zu einem zweiten Modul über die Zeit sowie
- [0024]** Fig. 4 eine Ausführungsform eines Blockschaltbilds zur Regelung von parallelgeschalteten Modulen mittels dem erfindungsgemäßen Verfahren.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0025] Die Fig. 1 zeigt Brückenzeige mit jeweils zwei steuerbaren Halbleiterventilen Y_{11} , Y_{12} , ... Y_{N1} , Y_{N2} , nämlich IGBTs mit antiparalleler Freilaufdiode, in paralleler Schaltung. Es ist ein positiver Gleichstromanschluss 1, sowie ein negativer Gleichstromanschluss 2 vorgesehen. Diese beiden Gleichstromanschlüsse 1,2 bilden den sogenannten DC-Bus. Zwischen den Gleichstromanschlüssen 1,2 ist jeweils ein oberes steuerbares Halbleiterventil Y_{N1} und ein unteres steuerbares Halbleiterventil Y_{N2} seriell geschaltet, wobei diese serielle Schaltung mit der Anzahl der Module N parallel wiederholt ist. Jedes Modul $M_1, M_2, \dots, M_N$ weist einen Wechselstromanschluss 3 auf, der in der seriellen Verbindung mit dem Emitter eines ersten (in der Fig. 1 des oberen) steuerbaren Halbleiterventils Y_{N1} verbunden ist, und dem Kollektor eines zweiten (in der Fig. 1 des unteren) steuerbaren Halbleiterventils Y_{N2} . In der Verzweigung zwischen dem Wechselstromanschluss 3 und einerseits dem ersten Halbleiterventil Y_{N1} und andererseits dem zweiten Halbleiterventil Y_{N2} befindet sich ein Verzweigungspunkt 4. Die serielle Verbindung der beiden Halbleiterventile Y_{N1}, Y_{N2} zwischen den Gleichstromanschlüssen 1,2 bildet mit dem eingehenden Wechselstromanschluss 3 ein Modul M_N . Innerhalb eines Moduls M_N können an der dargestellten Position eines Halbleiterventils Y_{N1} bzw. Y_{N2} mehrere steuerbare Halbleiterventile Y_{N1}, Y_{N2} parallel geschaltet ausgeführt werden, wobei in der vorliegenden Beschreibung in diesem Fall jeweils repräsentativ nur ein steuerbares Halbleiterventil Y_{N1} bzw. Y_{N2} dargestellt ist. In der vorliegenden Beschreibung wird von der bevorzugten Ausführungsform der steuerbaren Halbleiterventile als IGBTs ausgegangen, es kann aber grundsätzlich jede Art eines steuerbaren/abschaltbaren Schaltelementes wie z.B. MOSFETs, GTOs usw. vorgesehen sein.

[0026] Die Wechselstromanschlüsse 3 der Module $M_1, M_2, \dots, M_N$ sind miteinander verbunden. Jeder Wechselstromanschluss 3 führt dabei einen Modulstrom $I_1, I_2, \dots, I_N$. Die Modulströme $I_1, I_2, \dots, I_N$ bilden gemeinsam einen Laststrom I_L , und zwar bevorzugt zu gleichen Teilen. In diesem Fall werden die steuerbaren Halbleiterventile $Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$ nicht mit unterschiedlichen Stromstärken belastet.

[0027] Des Weiteren sind an den Wechselstromanschlüssen 3 eine Entkopplungsinduktivität L_p sowie ein Widerstand R_p , die sogenannten Entkopplungsimpedanzen, vorgesehen. Diese Impedanz glättet den Stromverlauf, wobei die Zeitkonstante aus der Entkopplungsinduktivität L_p und dem Widerstand R_p ein Maß für die Glättung darstellt. Sofern zu allen Modulen $M_1, M_2, \dots, M_N$ die gleichen Entkopplungsimpedanzen verwendet werden, stellen sich in den Wechselstromanschlüssen 3 dieselben Ströme ein.

[0028] Die Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Schaltanordnung von parallelgeschalteten Modulen $M_1, M_2, \dots, M_N$ mit jeweils zwei steuerbaren Halbleiterventilen Y_{N1}, Y_{N2} . In der Fig. 2 sind drei Module M_1, M_2, M_3 parallel angeordnet. Die Schaltung kann jedoch auf mehr als drei Module, meist je nach Strombedarf des Laststromes I_L , erweitert werden. Jedes steuerbare Halbleiterventil $Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$ ist mit einer Gate-Steuereinrichtung 6 versehen, die über eine Kommandoleitung 9 mit einem Schaltsignal, etwa von einem Prozessor, angesteuert wird. Dabei ist eine Kommandoleitung 9 für die oberen steuerbaren Halbleiterventile Y_{N1} und eine Kommandoleitung 9 für die unteren steuerbaren Halbleiterventile Y_{N2} vorgesehen (siehe Fig. 2). Der Prozessor steuert die Halbleiterventile $Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$ mit einer Schaltfrequenz f_S , die zumeist ein Vielfaches der Frequenz des zu erreichenden Laststromes I_L beträgt. Durch diese an sich bekannte Schaltanordnung der steuerbaren Halbleiterventile Y_{N1}, Y_{N2} werden die Modulströme $I_1, I_2, \dots, I_N$ moduliert, etwa mit Hilfe ebenfalls aus dem Stand der Technik bekannter Pulsweitenmodulation.

[0029] An der Gate-Steuereinrichtung 6 eines ersten in Bezug auf die Fig. 2 oberen steuerbaren Halbleiterventils Y_{N1} ist eine Regeleinrichtung 8 vorgesehen. Von dieser Regeleinrichtung 8 führt eine Messleitung 5 sowohl zum Verzweigungspunkt 4 des eigenen Moduls M_1 sowie zur Regeleinrichtung 8 der weiteren Module M_2, M_3 . Die Messleitung 5 kann etwa als Schiene ausgeführt werden, an die alle Regeleinrichtungen 8 angeschlossen sind. Damit kann von der Regeleinrichtung 8 auf einfache Weise das Potential U_p im Verzweigungspunkt 4 desselben Moduls M_1 bestimmt werden, und über die Verbindung zu den Regeleinrichtungen 8 der ande-

ren Module M_2, M_3 Potentialdifferenzen U_{12}, U_{23}, U_{13} zu den Verzweigungspunkten 4 dieser Module M_2, M_3 . Diese gemessenen Potentialdifferenzen U_{12}, U_{23}, U_{13} dienen als Messgröße, um eine Einschaltverzögerung Δt_N der steuerbaren Halbleiterventile $Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$ zu regeln. Die ermittelten Einschaltverzögerungen Δt_N für das Einschaltkommando EIN werden in weiterer Folge von der Regeleinrichtung 8 an die Gate-Steuereinrichtung 6 des in Bezug auf die Fig. 2 oberen steuerbaren Halbleiterventils Y_{N1} übergeben, sowie über eine bidirektionale Steuerleitung 7 an die Gate-Steuereinrichtung des in Bezug auf die Fig. 2 unteren steuerbaren Halbleiterventils Y_{N2} . Somit ist nur eine Regeleinrichtung 8 pro Modul notwendig.

[0030] Die Einschaltverzögerungen Δt_N sind im Weiteren in der Fig. 3a dargestellt, wobei die Fig. 3a in durchgezogener Linie den Zeitverlauf eines Potential U_N und in strichlierter Linie eines weiteren Potentials U_{N+1} darstellt. Die linke Flanke in Fig. 3a stellt die Situation bei einem Laststrom I_L kleiner null dar, und die rechte Flanke in Fig. 3a die Situation bei einem Laststrom I_L größer null. Die Fig. 3b zeigt bei gleicher Zeitbasis die gemessenen Potentialdifferenzen $U_{N,N+1}$ zwischen den beiden Potentialen U_N, U_{N+1} . Die Potentialdifferenzen $U_{N,N+1}$ sollen im Mittel auf null geregelt werden. Dies gestaltet sich nun wie folgt:

[0031] Die steuerbaren Halbleiterventile $Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$ erhalten über die Kommandoleitung 9 die Befehle zum Schalten mit einer Schaltfrequenz f_S . Im Weiteren wird der Regelungsvorgang beim ersten Einschalten der in Bezug auf die Fig. 2 oberen Halbleiterventile Y_{N1} beschrieben. Das, gemäß der Fig. 1 und Fig. 2 obere steuerbare Halbleiterventil Y_{11} schaltet bei der linken Flanke in Fig. 3a. Das nächste steuerbare Halbleiterventil Y_{21} schaltet bei der strichlierten linken Flanke gemäß Fig. 3a. Dadurch würde sich kurzzeitig, nämlich innerhalb der dargestellten Eingangsverzögerung Δt_N , ein erhöhter Modulstrom I_1 am ersten Modul M_1 ergeben. Die entstehende Potentialdifferenz U_{12} wird gemessen und von der Regeleinrichtung 8 umfasst. Um die Potentialdifferenz U_{12} nun auf null zu regeln, muss das steuerbare Halbleiterventil Y_{11} um die Breite des Pulses in Fig. 3b als Einschaltverzögerung Δt_N später schalten. In diesem Fall ergibt sich keine Potentialdifferenz U_{12} und es fließen dieselben Modulströme I_1 und I_2 . Auf diese Weise regelt die Regeleinrichtung 8 alle Einschaltverzögerungen Δt_N der Module M_N untereinander und schaltet über die Gate-Steuereinrichtungen 6 die steuerbaren Halbleiterventile Y_{N1}, Y_{N2} so, dass im Mittel über eine Schaltperiode mit einer Schaltfrequenz f_S bei den steuerbaren Halbleiterventilen $Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$ die Potentialdifferenzen U_{NN} auf null geregelt werden. Somit ergeben sich die gleichen Modulströme $I_1, I_2, \dots, I_N$, da bei gleicher Eingangsimpedanz und demselben Potential U_N dieselben Modulströme $I_1, I_2, \dots, I_N$ fließen.

[0032] Ein Blockschaltbild zur Regelung von parallel geschalteten Modulen ist in Fig. 4 dargestellt. Durch eine Kommandoleitung 9 wird das Einschaltkommando EIN an, das in Bezug auf die Fig. 1 und 2 für die oberen steuerbaren Halbleiterventile Y_{N1} vorgesehen ist, und dieses Signal wird einer Rampenfunktion 11 zugeführt, wobei die Rampenfunktion 11 bis zu einer vorzugebenden, maximalen Einschaltverzögerung $\Delta t_{\max}$ steigt und somit eine Wartezeit vorgibt. Im Messzweig wird eine Potentialdifferenz U_{NN} zwischen den Potentialen U_N und U_{N+1} gemessen. Diese Potentialdifferenz U_{NN} wird einem Integrator 10 zugeführt. Das Ergebnis des Integrators 10 wird bis zu einem gewissen Wert, der durch einen Limitierer 12 vorgegeben ist, ausgeführt. Der ermittelte Wert wird an einen Differenzknoten 15 weitergegeben und von der Rampenfunktion 11 abgezogen. Durch entsprechenden Vergleich mit Hilfe eines Komparators 13 wird eine logische Eins an das UND-Gatter 14 gesendet, woraufhin das steuerbare Halbleiterventil Y_{N1} schaltet. Falls somit eine Potentialdifferenz U_{NN} messbar ist, so wird mit dem Einschalten des jeweiligen steuerbaren Halbleiterventils Y_{N1} beim nächsten Einschaltbefehl seitens der Kommandoleitung 9 mit der Einschaltverzögerung Δt_N gewartet, damit die Potentialdifferenz U_{NN} im Mittel über eine Schaltperiode mit der Schaltfrequenz f_S null ist.

[0033] Es ist daraus unmittelbar ersichtlich, dass ein Verfahren zur Regelung von parallel geschalteten Modulen $M_1, M_2, \dots, M_N$ sowie eine entsprechende Schaltanordnung von gattungsgemäßen Modulen $M_1, M_2, \dots, M_N$ zur Verfügung gestellt wird, bei dem die Modulströme $I_1, I_2, \dots, I_N$ der einzelnen Module $M_1, M_2, \dots, M_N$ zu gleichen Teilen zum Laststrom I_L beitragen, auch wenn etwa die steuerbaren Halbleiterventile $Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$ abweichende Eigenschaften aufweisen oder die Temperatur einzelner Module $M_1, M_2, \dots, M_N$ unterschiedlich ist. Die Modulierung des

Laststromes I_L mittels der steuerbaren Halbleiterventile $Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$ wird auf diese Weise optimiert.

BEZUGSZEICHENLISTE:

- | | |
|-------------------|--------------------------------------|
| 1 | positiver Gleichstromanschluss |
| 2 | negativer Gleichstromanschluss |
| 3 | Wechselstromanschluss |
| 4 | Verzweigungspunkt |
| 5 | Messleitung |
| 6 | Gate-Steuereinrichtung |
| 7 | bidirektionale Steuerleitung |
| 8 | Regeleinrichtung |
| 9 | Kommandoleitung |
| 10 | Integrator |
| 11 | Rampenfunktion |
| 12 | Limitierer |
| 13 | Komparator |
| 14 | UND-Gatter |
| 15 | Differenzknoten |
| Δt_N | Einschaltverzögerung |
| $\Delta t_{\max}$ | maximale Einschaltverzögerung |
| f_S | Schaltfrequenz |
| I_L | Laststrom |
| I_N | Modulstrom |
| L_p | Entkopplungsinduktivität |
| M_N | Modul |
| N | Anzahl der Module |
| R_p | Widerstand |
| U_N | Potential |
| U_{NN} | Potentialdifferenz |
| Y_{N1} | erstes steuerbares Halbleiterventil |
| Y_{N2} | zweites steuerbares Halbleiterventil |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung von parallelgeschalteten Modulen ($M_1, M_2, \dots, M_N$) mit jeweils zu-
mindest zwei seriell geschalteten, steuerbaren Halbleiterventilen ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$), vor-
zugsweise IGBT-Modulen mit je zwei IGBTs, und mit jeweils zwei Gleichstromanschlüssen
(1,2) und einem Wechselstromanschluss (3), wobei Modulströme ($I_1, I_2, \dots, I_N$) am jeweiligen
Wechselstromanschluss (3) die Ströme durch die steuerbaren Halbleiterventile ($Y_{11}, Y_{12},$
 $\dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) des betreffenden Moduls ($M_1, M_2, \dots, M_N$) bilden, und die Summe der Modulströ-
me ($I_1, I_2, \dots, I_N$) aller Module ($M_1, M_2, \dots, M_N$) einen Laststrom (I_L) bildet, **dadurch gekenn-
zeichnet**, dass Potentiale ($U_1, U_2, \dots, U_N$) je eines Moduls ($M_1, M_2, \dots, M_N$) in einem Verzwei-
gungspunkt (4) des Wechselstromanschlusses (3) zu den steuerbaren Halbleiterventilen
($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) des betreffenden Moduls ($M_1, M_2, \dots, M_N$) ermittelt werden und mittels
Einschaltverzögerungen ($\Delta t_1, \dots, \Delta t_N$) der steuerbaren Halbleiterventile ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$)
die Potentiale ($U_1, U_2, \dots, U_N$) aller Module ($M_1, M_2, \dots, M_N$) in den jeweiligen Verzweigungs-
punkten (4) im Mittel über die Schaltperiode der steuerbaren Halbleiterventile ($Y_{11}, Y_{12},$
 $\dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) auf denselben Wert geregelt werden.
2. Verfahren zur Regelung von parallelgeschalteten Modulen ($M_1, M_2, \dots, M_N$) von steuerbaren
Halbleiterventilen ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass
Potentialdifferenzen ($U_{12}, U_{21}, \dots, U_{NN}$) eines Verzweigungspunktes (4) eines Moduls ($M_1, M_2,$
 $\dots, M_N$) zu den Verzweigungspunkten (4) jedes weiteren Moduls ($M_1, M_2, \dots, M_N$) gemessen
werden und mittels Einschaltverzögerungen ($\Delta t_1, \dots, \Delta t_N$) der steuerbaren Halbleiterventile
($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) die gemessenen Potentialdifferenzen ($U_{12}, U_{21}, \dots, U_{NN}$) im Mittel über die
Schaltperiode der steuerbaren Halbleiterventile ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) auf Null geregelt wer-
den.
3. Verfahren zur Regelung von parallelgeschalteten Modulen ($M_1, M_2, \dots, M_N$) von steuerbaren
Halbleiterventilen ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass
die Einschaltverzögerungen ($\Delta t_1, \dots, \Delta t_N$) durch Vergleich eines, ab einem Einschaltkom-
mando (EIN) an die steuerbaren Halbleiterventile ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) innerhalb einer vor-
gegebenen, maximalen Einschaltverzögerung (Δt_{max}), mehrmals bestimmten Zeitintegrals
der gemessenen Potentialdifferenzen ($U_{12}, U_{21}, \dots, U_{NN}$) mit einem vorgegebenen Maximal-
wert ermittelt werden.
4. Schaltanordnung von parallelgeschalteten Modulen ($M_1, M_2, \dots, M_N$) mit jeweils zumindest
zwei seriell geschalteten, steuerbaren Halbleiterventilen ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$), vorzugswei-
se IGBT-Module mit je zwei IGBTs, wobei die Module ($M_1, M_2, \dots, M_N$) gemeinsame Gleich-
stromanschlüsse (1,2) und jedes der Module ($M_1, M_2, \dots, M_N$) einen Wechselstromanschluss
(3), der über einen Verzweigungspunkt (4) mit den steuerbaren Halbleiterventilen ($Y_{11}, Y_{12},$
 $\dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) des betreffenden Moduls ($M_1, M_2, \dots, M_N$) verbunden ist, aufweist, und jedes steu-
erbare Halbleiterventil ($Y_{11}, Y_{12}, \dots, Y_{N1}, Y_{N2}$) eine Gate-Steuereinrichtung (6) aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass in jedem Modul ($M_1, M_2, \dots, M_N$) zumindest eine Regelein-
richtung (8) vorgesehen ist, die mit dem Verzweigungspunkt (4) des betreffenden Moduls
($M_1, M_2, \dots, M_N$) sowie mit den Verzweigungspunkten (4) der jeweils anderen Module
($M_1, M_2, \dots, M_N$) über Messleitungen (5) verbunden ist, wobei mit den Messleitungen (5) Po-
tentialdifferenzen ($U_{12}, U_{21}, \dots, U_{NN}$) zwischen den Verzweigungspunkten (4) der jeweiligen
Module ($M_1, M_2, \dots, M_N$) ermittelbar sind.
5. Schaltanordnung von parallelgeschalteten Modulen ($M_1, M_2, \dots, M_N$) nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung (8) an einer ersten Gate- Steuerein-
richtungen (6) eines Moduls ($M_1, M_2, \dots, M_N$) vorgesehen ist und mittels einer bidirektionalen
Steuerleitung (7) mit einer zweiten Gate-Steuereinrichtung (6) des betreffenden Moduls
($M_1, M_2, \dots, M_N$) verbunden ist.

6. Schaltanordnung von parallelgeschalteten Modulen ($M_1, M_2, \dots, M_N$) nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Regeleinrichtung (8) eines Moduls ($M_1, M_2, \dots, M_N$) mit den Verzweigungspunkten (4) der jeweils anderen Module ($M_1, M_2, \dots, M_N$) über die Regeleinrichtungen (8) der jeweils anderen Module ($M_1, M_2, \dots, M_N$) verbunden ist.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

1/2

Fig. 1

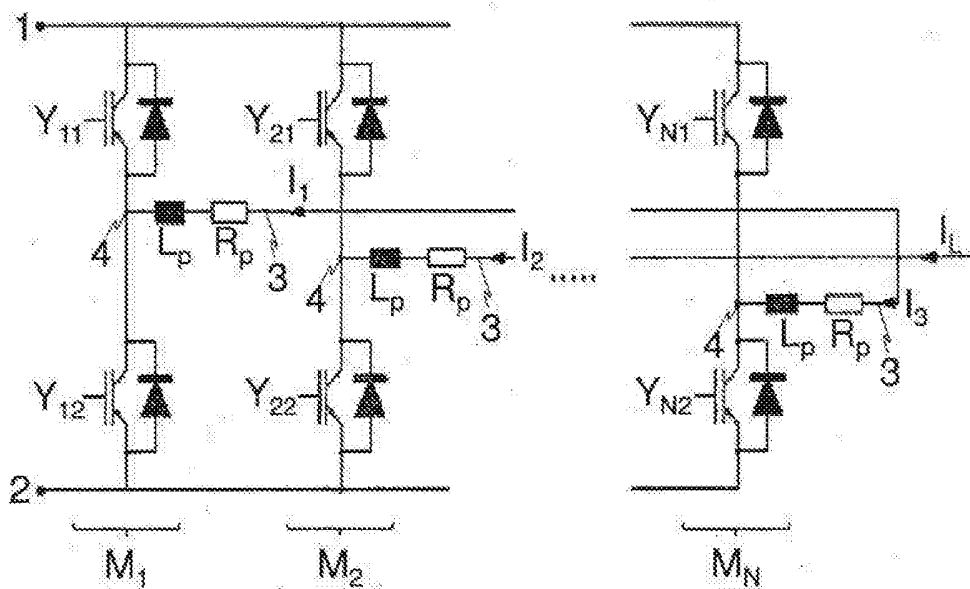
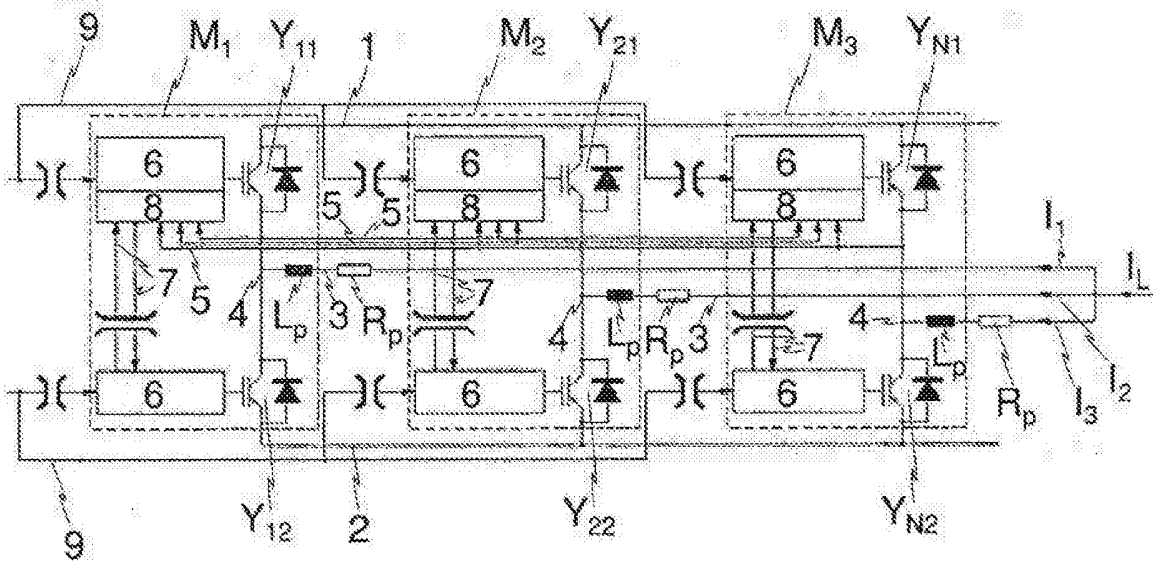


Fig. 2



2/2

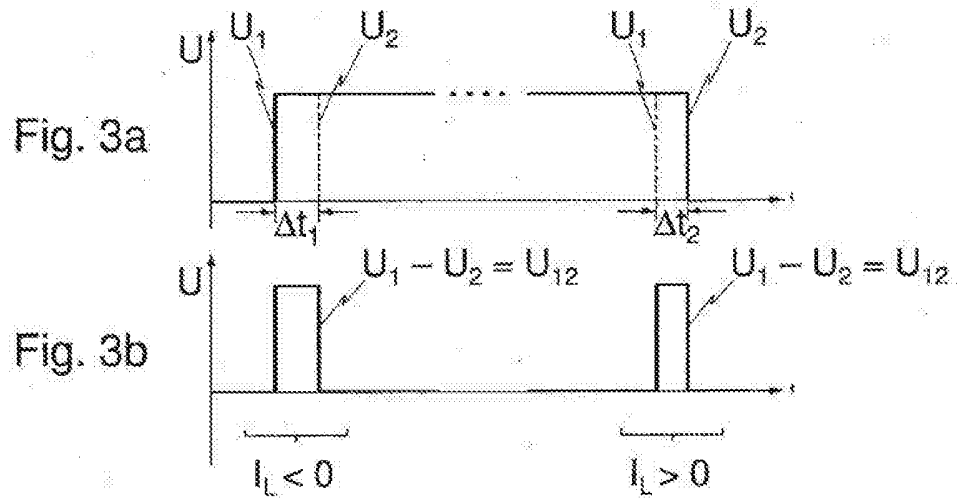


Fig. 4

