

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 590/2004

(51) Int. Cl.⁷: **H02M 1/08**

(22) Anmeldetag: 2004-04-05

H02M 3/155, G05F 1/613

(42) Beginn der Patentdauer: 2005-12-15

(45) Ausgabetag: 2006-10-15

(56) Entgegenhaltungen:

EP 1365499A1 US 5260607A
DE 19839445A1

(73) Patentinhaber:

HIMMELSTOSS FELIX DIPL.ING. DR.
A-2351 WR. NEUDORF,
NIEDERÖSTERREICH (AT).

(72) Erfinder:

HIMMELSTOSS FELIX DIPL.ING. DR.
WR. NEUDORF, NIEDERÖSTERREICH
(AT).

(54) VERLUSTARME DC/DC KONVERTER

(57) Eine Ergänzungsschaltung zur Verringerung der Schaltverluste bei gleichzeitiger eventueller Nutzung eines Eingangs-, Ausgangs- oder eines Zusatzspeichers als Zwischenspeicher bei kurzfristigem Ausfall wird dargestellt. Der erforderliche Speicher besteht aus zwei Kondensatoren in Serie, die auf die bei der verwendeten Konverterstruktur auftretende Schaltspannung aufgeladen sind. Diese Kondensatoren werden nur mit Gleichspannung belastet. Zwischen dem aktiven Schalter (S) und dem passiven Schalter (D) des Konverters wird eine Induktivität (L_E) geschaltet. Der Schalter (S) hat selbst spannungsbegrenzende Eigenschaften oder ein Spannungsbegrenzer liegt parallel zu (S) oder (L_E). Vom Mittelpunkt dieser Kondensatoranordnung wird eine Serienschaltung, bestehend aus einer Diode (D₂) und einer Induktivität, geschaltet. An den anderen Anschluss dieser Serienschaltung wird einerseits eine Diode (D₁) zu einer Klemme der Kondensatorbank und andererseits ein Kondensator (C) zum positiven Anschluss des in der Konverterschaltung verwendeten aktiven Schalters geschaltet. Die beiden Dioden (D₁) und (D₂) können zwecks Vereinfachung des mechanischen Aufbaus und zur Verringerung der auftretenden Streuinduktivität als Doppeldiode in einem Gehäuse sein.

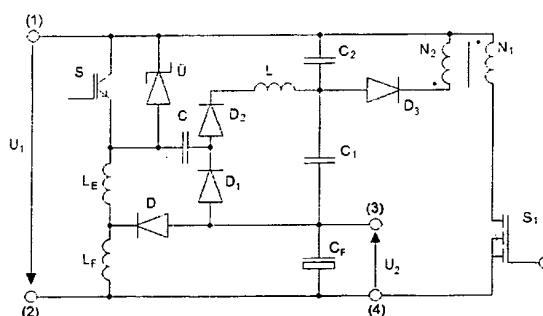


Fig. 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Reduktion von Schaltverlusten bei leistungselektronischen Konvertern mit einem verlustarmen Entlastungsnetzwerk bestehend aus einer ersten (D1) und einer zweiten Diode (D2), einem ersten (C), zweiten (C1) und dritten Kondensator (C2) und einer ersten (L) und einer zweiten Spule (LE).

Wie allgemein bekannt, kommt es bei geschalteten Konvertern zu Schaltverlusten. Es gibt eine Reihe von Möglichkeiten, diese Schaltverluste zu reduzieren. Als Ausschaltentlastung werden z.B. RCD Snubber verwendet. Dabei kommt es zu einer drastischen Reduktion der am schaltenden Bauelement auftretenden Verluste beim Ausschalten. Trotzdem kommt es nicht zu einer Verbesserung des Wirkungsgrades, da beim Abschalten des Schalters der Strom in eine Kapazität kommutiert wird; die in dieser Kapazität gespeicherte Energie wird beim nächsten Einschaltvorgang in einem Widerstand in Wärme umgesetzt. Es wird durch den Snubber nur der Wärmeumsatz beim Abschalten vom Halbleiterschalter auf einen passiven Widerstand transferiert. Auch beim Einschalten treten Schaltverluste auf. Hier kann durch eine Einschaltentlastung Abhilfe geschaffen werden. Dazu wird in Serie zum schaltenden Element eine Induktivität geschaltet. Diese legt die Stromanstiegsgeschwindigkeit bei der Kommutierung fest, nimmt die Spannung auf und ermöglicht so ein rasches Abfallen der Spannung am Schalter und damit eine Reduktion der Schaltverluste beim Einschalten. Beim Ausschalten tritt jedoch durch diese zusätzliche Induktivität eine Überspannung auf. Diese wird durch eine Parallelschaltung einer Serienschaltung einer Diode mit einem Widerstand oder einer Serienschaltung einer Diode mit einer Avalanche diode parallel zu der Einschaltinduktivität begrenzt. Die in der Einschaltinduktivität gespeicherte Energie wird dabei im wesentlichen im Widerstand bzw. in der Avalanche diode in Wärme umgesetzt. Auch hier kommt es nur zu einer Verlagerung der Verluste vom Halbleiterbauelement zu einem anderen, passiven Bauelement.

Als nächstliegender Stand der Technik wurden die folgenden Patentschriften ermittelt, wobei eine Einschränkung des Schutzzumfangs nicht erforderlich ist. In EP 1 365 499 A1 (HITACHI) werden zwei in Serie geschaltete Kondensatoren verwendet, um die Verluste beim Hochlauf des Konverters möglichst verlustarm zu gestalten, also kein Entlastungsnetzwerk im eigentlichen Sinn. US 5 260 607 A (KINBARA) stellt ein relativ aufwendiges Entlastungsnetzwerk dar. Es handelt sich um ein kombiniertes Ein-Ausschaltentlastungsnetzwerk. Die Funktionsweise unterscheidet sich ebenso wie die Schaltung von dem in dieser Schrift behandelten Entlastungsnetzwerk. DE 198 39 445 A1 (ROBERT BOSCH GSMB) zeigt einen Tiefsetzsteller mit Entlastung nach Böhlinger/Knöll, das mit einer Serieninduktivität zwecks Einschaltentlastung erweitert ist. Nachteilig bei diesem Konzept ist eine lange andauernde Schwingung nach dem Ausschalten. Auch diese Schaltung unterscheidet sich deutlich - es wird noch ein weiterer aktiver Schalter benötigt, um die Funktion zu verbessern - von dem hier dargestellten Netzwerk. Neben der Entlastungsfunktion bietet die Schaltung in dieser Anmeldung zusätzlich einen Speicher für Energie und zwar am höchsten auftretenden Spannungsniveau. Da die gespeicherte Energie quadratisch mit der Spannung zunimmt, ist dies sehr günstig. Das ist besonders dann von Interesse, wenn zusätzlich zum verlustlosen Schalten eine kurzfristige Energieüberbrückung bei Spannungseinbruch gefordert ist.

Eine mögliche Verringerung der Ausschaltverluste bei gleichzeitiger Nutzung des Eingangs-, Ausgangs- oder eines Zusatzspeichers wird im folgenden gezeigt. Oft muss bei einem DC/DC Konverter die Spannung über eine gewisse Zeit auf einem bestimmten Wert gehalten werden, obwohl die Versorgung kurzfristig oder gänzlich ausfällt. Dadurch kann bei kurzen Versorgungsunterbrechungen ein ungestörter Betrieb des versorgten Systems oder ein definiertes Niederfahren des versorgten Systems erfolgen. Der erforderliche Speicherkondensator besteht aus zwei Kondensatoren in Serie, die auf die bei der verwendeten Konverterstruktur auftretende Schaltspannung aufgeladen sind. Diese Kondensatoren werden nur mit Gleichspannung belastet und können daher als Elektrolytkondensatoren ausgeführt werden; zur Verringerung der Belastung durch die hochfrequenten Schaltvorgänge kann man Keramik- oder Kunststoff-, jedenfalls Hf-taugliche Kondensatoren parallel schalten. Vom Mittelpunkt dieser Kondensatoranordnung wird eine Serienschaltung, bestehend aus einer Diode (D2) und einer Induktivität,

geschaltet. An den anderen Anschluss dieser Serienschaltung wird einerseits eine Diode zur positiven Klemme der Kondensatorbank (C1, C2) und andererseits ein Kondensator (C) zum positiven Anschluss des in der Konverterschaltung verwendeten aktiven Schalters geschaltet. Die beiden Dioden (D1) und (D2) können zwecks Vereinfachung des mechanischen Aufbaus und zur Verringerung der auftretenden Streuinduktivität als Doppeldiode in einem Gehäuse sein.

Je nach verwendeter Konverterstruktur, hier beispielhaft an den am meisten verwendeten Topologien gezeigt, wird entweder die Kondensatorbank zur Eingangs- (beim Buck Konverter) oder Ausgangsspannung (beim Boost Konverter) parallel geschaltet oder sie muss, wie beim Buck-Boost Konverter, zwischen der positiven Klemme der Eingangsspannung und der negativen Klemme der Ausgangsspannung geschaltet werden.

Kombiniert man nun ein solches Entlastungsnetzwerk mit einer Einschaltinduktivität, ohne für diese einen passiven zusätzlichen Entlastungskreis vorzusehen, so kommt es zu einer Überspannung am Schalter, die aber durch die Größe der Einschaltinduktivität und die Größe der wirksamen Snubberkapazität bei vorgegebenem Abschaltstrom bestimmt ist. Damit kann auch der Einschaltvorgang nahezu verlustlos ablaufen. Die Verringerung der auftretenden Verluste verbessert aber nicht nur den Wirkungsgrad, sondern verringert den erforderlichen Aufwand bei der Kühlung und damit Gewicht, Volumen und Kosten. Da die auftretende Spannung nun vom abzuschaltenden Strom abhängt, nimmt die auftretende Spannung beim Abschalten von Überstrom im Fehlerfall oder gar bei einer Kurzschlussabschaltung entsprechend hohe Werte an, die dann zu einer Zerstörung des Halbleiterschalters durch Überspannung führen kann. Um die Auslegung nicht für diese Spannungswerte, die im Fehlerfall auftreten können, machen zu müssen, wird man parallel zum Schalter eine Überspannungsbegrenzungsvorrichtung vorsehen, die nur in diesen Fällen anspricht. Dies kann z.B. durch eine Serienschaltung von Transil (avalanche-)Dioden realisiert werden. Die Serienschaltung ist sinnvoll, um die dabei entstehende Parallelkapazität klein zu halten.

Es kommt jedoch zu einer Spannungsverschiebung am Mittelpunkt der beiden Kondensatoren und damit wird der Kondensator (C2) nicht mehr auf den für das nächste Abschalten des aktiven Schalters erforderlichen Wert geladen. Regelt man jedoch den Mittelpunkt der Spannung an den beiden Kondensatoren entsprechend, so kann dies ausgeglichen werden. Benötigt man die Kondensatoren (C1) und (C2) nicht als Hilfsspeicher zur Überbrückung von kurzfristigen Netzausfällen, so genügen relativ kleine Kondensatoren, die entsprechend der erforderlichen Spannung am Mittelpunkt geregelt werden. Besonders bei großen Leistungen mit geringer Schaltfrequenz des Grundkonverters kann dies leicht mit einer einfachen hochfrequent taktenden Sperrwandlerstruktur erzielt werden. In den Zeichnungen sind die aktiven Schalter des Sperrwandlers beispielhaft als MOSFETs dargestellt. Der Sperrwandler kann unidirektional oder auch, wenn hohe Dynamik erforderlich ist, bidirektional aufgebaut werden.

Der Abschaltvorgang verläuft nun so, dass der Strom aus dem Zweig mit dem elektronischen Schalter (S) in den Zweig mit dem Kondensator (C) kommutiert und diesen entlädt. Wenn die Freilaufdiode (D) leitend wird, kommutiert der Strom kosinusförmig. Die Spannung am Kondensator sinkt daher noch weiter (ins Negative), bis der Strom vollständig vom Freilaufdiodenkreis übernommen wird. Durch diese Unterladung unterschreitet die Spannung am Kondensator (C) die Nulllinie um den Wert ΔU und bleibt dann auf dem Wert $(-\Delta U)$. Beim Einschalten von (S) kommt es nun prinzipiell nicht mehr zu einer Aufladung von (C) auf die Schaltspannung U_S des aktiven Schalters (S), sondern durch den Schwingvorgang zu einer entsprechenden Überladung auf den Wert $U_S + \Delta U$. Dieser Wert wird jedoch nicht erreicht, da dann die Diode (D1) wieder leitend wird und die Spannung auf U_S begrenzt. Der Strom in (L) nimmt dann linear auf null ab, entsprechend der Spannung an (C1).

Die Figuren zeigen nun Ausformungen des Konzepts für verschiedene Grundkonverterstrukturen. Die Beschreibung kann aus den Patentansprüchen entnommen werden. Figur 1 stellt einen

Buck-Boost Konverter (Anspruch 7 und 8), Fig. 2 in Form einer Abwandlung einen weiteren Buck-Boost Konverter (Anspruch 9 und 10) dar. In Fig. 3 ist ein Hochsetzsteller (Ansprüche 11 und 12) dargestellt. Drei verschiedene Ausformungen von Tiefsetzstellern zeigen Fig. 4 (Ansprüche 13 und 14), Fig. 5 (Ansprüche 15 und 17) und Fig. 6 (Ansprüche 16 und 17). In allen Bildern ist der Überspannungsschutz (Ü) parallel zum aktiven Schalter gezeichnet. Der Schalter des Konverters (S) ist beispielhaft als IGBT, der oder die aktiven Schalter des Sperrwandlers sind beispielhaft als MOSFETs gezeichnet.

Figur 1 zeigt einen Buck-Boost Konverter, der aus einer Serienschaltung eines Schalters (S) und einer Konverterspule (LF), zwischen denen die Spule (LE) geschaltet ist, an der die Eingangsspannung (U1) liegt, besteht, wobei der positive Anschluss (1) mit dem aktiven Schalter (S) verbunden ist. Zwischen dem Verbindungspunkt zwischen der Spule (LE) und der Spule (LF) ist die Kathode einer Diode (D) geschaltet, deren Anode mit der Ausgangsklemme (3) der Schaltung verbunden ist. Die negative Klemme (2) des Eingangs ist mit der positiven Klemme des Ausgangs (4) verbunden und zwischen den Klemmen (3) und (4) ist ein Kondensator geschaltet. Die Serienschaltung der Kondensatoren (C1) und (C2) ist zwischen den Klemmen (1) und (3) geschaltet, die Kathode von (D1) und der Kondensator (C1) sind mit der Ausgangsklemme (3) verbunden und der Kondensator (C) ist an den Verbindungspunkt von (S) und (LE) und die Kathode von (D) an den Verbindungspunkt von (LE) und (LF) geschaltet. An den mit der positiven Eingangsklemme (1) verbundenen Anschluss des Kondensator (C2) ist der Anfang der Wicklung (N1), deren anderes Ende mit dem aktiven Schalter (S1), dessen zweiter Leistungsanschluss mit dem Bezugspotential, den Klemmen (2) und (4) verbunden ist und das Ende der Wicklung (N2), deren Wicklungsanfang mit der Kathode einer Diode (D3), deren Anode mit dem Zusammenschluss von (C1) und (C2) verbunden ist, geschaltet.

Figur 2 ist eine Abwandlung des Buck-Boost Konverters, der ebenfalls für die vorgeschlagene Entlastung geeignet ist. Er besteht aus einer Serienschaltung eines Schalters (S) und einer Spule (LF), zwischen denen die Spule (LE) geschaltet ist, an der die Eingangsspannung (U1) liegt, wobei der positive Anschluss (1) mit der Spule (LF) verbunden ist. Zwischen dem Verbindungspunkt zwischen den Spulen (LE) und (LF) ist die Anode einer Diode (D) geschaltet, deren Kathode mit der Ausgangsklemme (4) der Schaltung verbunden ist. Die positive Klemme (1) des Eingangs ist mit der negativen Klemme des Ausgangs (3) verbunden, zwischen den Ausgangsklemmen (3) und (4) ist ein Kondensator geschaltet. Die Serienschaltung der Kondensatoren (C1) und (C2) ist zwischen den Klemmen (2) und (4) geschaltet, die Kathode von (D1) und der Kondensator (C1) sind mit der Ausgangsklemme (4) verbunden und der Kondensator (C) ist an den Verbindungspunkt von (S) und (LE) und die Anode von (D) an den Verbindungspunkt von (LE) und (LF) geschaltet. Der Sperrwandler zur eventuellen Regelung der Mittelpunktspannung an der Kondensatorserienschaltung (C1), (C2) ist als bidirektionaler Wandler gezeichnet, der einen Energieaustausch zwischen Eingangsspannung (U1) und Spannung an (C2) ermöglicht.

In Fig. 3 ist ein Hochsetzsteller dargestellt. Der Konverter besteht aus der Serienschaltung eines Schalters (S) und zweier Spulen (LF) und (LE), an der die Eingangsspannung U1 liegt, wobei der positive Anschluss (1) mit der Spule (LF) verbunden ist. An den Verbindungspunkt der beiden Spulen (LF, LE) ist die Anode einer Diode (D) geschaltet ist, deren Kathode mit der Ausgangsklemme (3) der Schaltung verbunden ist. Die negative Klemme (2) des Eingangs ist mit der positiven Klemme des Ausgangs (4) verbunden. Zwischen den Klemmen (3) und (4) ist ein Kondensator geschaltet. Die Serienschaltung der Kondensatoren (C1) und (C2) ist zwischen den Klemmen (3) und (4) geschaltet, die Kathode von (D1) und der Kondensator (C1) sind mit der Ausgangsklemme (3) verbunden und der Kondensator (C) ist an den Verbindungspunkt von (S) und (LE) und die Anode von (D) an den Verbindungspunkt von (LE) und (LF) geschaltet. Der Sperrwandler zur eventuellen Regelung der Mittelpunktspannung an der Kondensatorserienschaltung (C1), (C2) ist symbolisch als Block (SW) gezeichnet, der einen Energieaustausch zwischen Eingangsspannung (U1) oder Ausgangsspannung (U2) und Spannung an (C2) ermöglicht. An welche Spannung (U1) oder (U2) angeschlossen wird hängt von der Nutzung des

Konverters ab.

Figur 4 zeigt einen Tiefsetzsteller. Der Konverter besteht aus der Serienschaltung eines Schalters (S) und einer Diode (D), zwischen denen die Spule (LE) geschaltet ist, an der die Eingangsspannung (U_1) liegt, wobei der positive Anschluss (1) mit dem aktiven Schalter S verbunden ist. An dem Verbindungspunkt zwischen (LE) und der Kathode der Diode (D) ist eine Spule (LF) geschaltet, deren zweiter Anschluss mit der Ausgangsklemme (3) der Schaltung verbunden ist. Die negative Klemme (2) des Eingangs ist mit der negativen Klemme des Ausgangs (4) verbunden. Zwischen den Ausgangsklemmen (3) und (4) ist ein Kondensator geschaltet. Die Serienschaltung der Kondensatoren (C1) und (C2) ist zwischen den Klemmen (1) und (2) geschaltet, die Kathode von (D1) und der Kondensator (C1) sind mit der Eingangsklemme (2) verbunden und der Kondensator (C) ist an den Verbindungspunkt von (S) und (LE) und die Kathode von (D) an den Verbindungspunkt von (LE) und (LF) geschaltet. Der Sperrwandler ist hier als ein unidirektionaler gezeichnet.

Figur 5 zeigt eine Abwandlung des Tiefsetzstellers. Der Konverter besteht aus einer Serienschaltung eines Schalters (S) und einer Diode (D), zwischen denen eine Spule (LE) geschaltet ist, an der die Eingangsspannung (U_1) liegt, wobei der positive Anschluss (1) mit der Kathode der Diode (D) verbunden ist, zwischen dem Verbindungspunkt zwischen (LE) und Diode (D) die Spule (LF) geschaltet ist, deren anderer Anschluss mit der Ausgangsklemme (4) der Schaltung verbunden ist. Die positive Klemme (1) des Eingangs ist mit der positiven Klemme des Ausgangs (3) verbunden. Zwischen den Klemmen (3) und (4) ist ein Kondensator geschaltet. Die Serienschaltung der Kondensatoren (C1) und (C2) ist zwischen den Klemmen (1) und (2) geschaltet. Die Kathode von (D1) und der Kondensator (C1) sind mit der Eingangsklemme (1) verbunden und der Kondensator (C) ist an den Verbindungspunkt von (S) und (LE) und die Anode von (D) ist an den Verbindungspunkt von (LE) und (LF) geschaltet. Der Sperrwandler ist hier als ein bidirektionaler gezeichnet.

Figur 6 zeigt eine weitere Abwandlung des Tiefsetzstellers. Gegenüber Fig. 5 ist die Lage von (LF) verändert und der Sperrwandler ist hier wieder als unidirektionaler gezeichnet.

Das Konzept wird nun an Hand eines Buck-Boost Konverters (Fig. 1) im Detail erklärt. Der Buck-Boost Konverter besteht grundsätzlich aus dem aktiven Schalter (S), dem passiven Schalter (D), der Konverterspule (LF) und dem Filterkondensator (CF). Zwischen den Eingangsklemmen (1) und (2) liegt die positive Eingangsspannung (U_1), die durch einen oder mehrere Kondensatoren, die zu den Klemmen (1) und (2) parallel liegen, niederimpedant ist. Parallel zum Ausgangskondensator (CF) wird an den Ausgangsklemmen (3) und (4) die Last, hier repräsentiert durch den Widerstand (R), angeschlossen. Die positive Ausgangsklemme ist (4). Zu dieser Grundstruktur kommt nun noch die ergänzende Entlastungsschaltung. Parallel zum elektronischen Schalter (S) wird die Überspannungsbegrenzungseinrichtung (\ddot{U}) geschaltet. In Serie zum aktiven Schalter liegt die Einschaltentlastungsinduktivität (LE), deren anderes Ende mit der Spule des Konverters (LF) verbunden ist. Zwischen der Ausgangsklemme (3) und der Eingangsklemme (1) ist die Serienschaltung der beiden, annähernd gleich großen Kondensatoren (C1) und (C2) und das passive Netzwerk, bestehend aus den Dioden (D1) und (D2), der Spule (L) und dem Kondensator (C), geschaltet. Der Kondensator (C) ist mit dem Verbindungspunkt Schalter (S) mit Entlastungsinduktivität (LE) verbunden. Wird nun der Schalter (S) abgeschaltet, so kommutiert der Strom der Spule (LF) einerseits in den Kreis (CF), (D1) und (C) und andererseits kann der Strom weiter über die Quelle (U_1), die beiden Kondensatoren (C1), (C2) und weiter über (D1) und (C) fließen. Der Kondensator (C) war vor dem Abschalten von (S) auf (U_1+U_2) aufgeladen und wird nun durch einen nahezu konstanten Strom linear entladen. Wenn die Spannung am Kondensator negativ wird, schaltet die Diode (D) ein; der Strom kann nun über (LF), (CF) (bzw. durch die parallel liegende Last) und die Diode (D) fließen. Die Kommutierung erfolgt jedoch nicht schlagartig, sondern durch die Einschaltinduktivität (LE) kosinusförmig. Nach einer Viertelschwingung wird der Strom in (LE) null, die Diode (D1) schaltet ab, der ganze Strom der Spule (LF) fließt nun über die Freilaufdiode (D). Der Kondensator (C) lädt sich da-

durch auf den Wert $-I_L \cdot \sqrt{\frac{L_E}{C}}$ auf. Der Kommutierungsvorgang ist damit abgeschlossen, die in

(LF) zwischengespeicherte magnetische Energie wird an den Ausgangskreis abgegeben. Schaltet der Schalter (S) wieder ein, so kommt es durch (LE) zu einer im Wesentlichen linearen Übernahme des Stroms von (LF) von der Diode (D) in den Schalter (S), die Diode (D) wird wieder sperren und der Hauptstromkreis wird wieder Quelle (U1), aktiver Schalter (S) und Speicherinduktivität (LF) sein. Zusätzlich kommt es zu einer Schwingung über (L) und (C). Da als treibende Spannung für diesen Schwingkreis die Spannung an (C2), die z.B. etwa $(U1+U2)/2$ beträgt und die Spannung, auf die sich der Kondensator (C) aufgeladen hat, ist, schwingt der Kondensator daher in Richtung auf den Wert $U1+U2+\Delta U$. Wenn die Spannung (U1) und (U2) erreicht wird, schaltet jedoch wieder (D1) ein und verhindert ein Größerwerden. Wenn der Strom umdrehen will, sperren die Diode (D2) und (D1). Die hier gegebene Erklärung setzt voraus, dass (C1) und (C2) wesentlich größer als (C) sind, die Spannung an ihnen daher praktisch unverändert je $(U1+U2)/2$ bleibt. Real kommt es aber zu einer Entladung von (C2) und einer Aufladung von (C1). Die Spannung an beiden Kondensatoren (C1) und (C2) bleibt aber unabhängig $U1+U2$. Längerfristig driftet daher der Mittelpunkt der Kondensatoren von $(U1+U2)/2$ weg. Bei kleinen Leistungen wäre nun eine Parallelschaltung der Kondensatoren mit relativ hochohmigen Widerständen denkbar. Das führt aber wieder zu Verlusten. Trotzdem hat auch dann die hier dargestellte Entlastung gegenüber der normalen RCD Entlastung einige Vorteile. Der Entladestrom des Entlastungskondensators (C) ist sinusförmig im Gegensatz zur abrupt einsetzenden e-Funktion beim RCD- Snubber. Der Spitzenwert des Entladestroms, der ja den aktiven Schalter (S) zusätzlich belastet, tritt erst nach $T = \frac{\pi}{2} \cdot \sqrt{L \cdot C}$ auf, also nicht unmittelbar

nach dem Einschalten, wie bei der RCD Entlastung. Ebenso ist die Umladezeit des Snubberkondensators bei gleichem Spitzenstrom kürzer als bei der RCD Entlastung. Das Wegdriften des Mittelpunkts lässt sich auch - und das ist bei höheren Leistungen sinnvoll - durch eine einfache kleine Sperrwandlerschaltung, bestehend aus den gekoppelten Wicklungen (N1) und (N2), der Diode (D3) und dem Schalter (S1), verhindern. Der Sperrwandler arbeitet sinnvollerweise immer nur dann, wenn der Mittelpunkt unter eine bestimmte Schwelle fällt und hört zu arbeiten auf, wenn die Spannung über eine bestimmte Schwelle steigt. Natürlich kann neben einer solchen Zweipunktregelung auch jede andere Regelung des Sperrwandlers verwendet werden. Am besten verwendet man Sperrwandlerstrukturen, wie in den Figuren gezeichnet, deren aktiver Schalter (S1) gegen Masse geschaltet wird. Das erleichtert die Ansteuerung und die Regelung.

Bezugszeichenaufstellung

1, 2	Eingangsklemme
3, 4	Ausgangsklemme
S	aktiver Schalter der Konvertergrundstruktur
D	Freilaufdiode, passiver Schalter der Konvertergrundstruktur
LF	Konverterspule, Spule der Konvertergrundstruktur
CF	Filterkondensator, Kondensator der Konvertergrundstruktur
C1, C2	Kondensatoren der Speicherbank
D1, D2	Dioden
C	Kondensator
L	Spule
N1,N2	gekoppelte Spulen des Sperrwandlers
S1	aktiver Schalter des Sperrwandlers
D3	Diode des Sperrwandlers

Patentansprüche:

1. Vorrichtung zur Reduktion von Schaltverlusten bei leistungselektronischen Konvertern mit einem verlustarmen Entlastungsnetzwerk, bestehend aus einer ersten (D1) und einer zweiten Diode (D2), einem ersten (C), zweiten (C1) und dritten Kondensator (C2) und einer ersten (L) und einer zweiten Spule (LE) *dadurch gekennzeichnet*, dass der erste (C1) und der zweite Kondensator (C2) annähernd gleich groß und in Serie geschaltet sind und an ihnen die am aktiven Schalter des Konverters auftretende Schaltspannung liegt, am Mittelpunkt der Serieschaltung von erstem (C1) und zweitem Kondensator (C2) die erste Induktivität (L) geschaltet ist, an deren zweitem Anschluss die Serienschaltung der ersten (D1) und zweiten Diode (D2) angeschlossen ist, der zweite Anschluss der Serienschaltung der ersten (D1) und zweiten Diode (D2) an einen Anschluss der Kondensatorserienschaltung bestehend aus erstem (C1) und zweitem Kondensator (C2) geschaltet ist und an den Mittelpunkt der Serienschaltung der ersten (D1) und zweiten Diode (D2) ein Kondensator (C), an dessen zweitem Anschluss der aktive Schalter (S) des Konverters und die zweite Spule (LE), an deren zweitem Anschluss die Freilaufdiode (DF) angeschlossen ist, geschaltet ist.
2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass an den dritten Kondensator (C2) der Sekundärkreis eines unidirektionalen oder bidirektionalen Sperrwandlers geschaltet ist.
3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass parallel zum aktiven Schalter (S) oder der zweiten Spule (LE) ein Spannungsbegrenzer (Ü) in Form eines oder mehrerer Avalanche-, Zenerdioden oder VDRs geschaltet ist.
4. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass der aktive Schalter (S) selbst spannungsbegrenzende Eigenschaften besitzt.
5. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass parallel zu dem zweiten (C1) und dem dritten (C2) Kondensator Widerstände geschaltet sind.
6. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 *dadurch gekennzeichnet*, dass der zweite (C1) und der dritte (C2) Kondensator aus Serien und/oder Parallelschaltungen von Kondensatoren gebildet sind.
7. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei der Konverter aus einer Serienschaltung eines aktiven Schalters (S) und einer Konverterspule (LF), an der die Eingangsspannung (U1) liegt, wobei der positive Eingangsanschluss (1) mit dem aktiven Schalter (S) verbunden ist, zwischen dem Verbindungspunkt zwischen aktivem Schalter (S) und Konverterspule (LF) die Kathode einer Freilaufdiode (D) geschaltet ist, deren Anode mit der negativen Ausgangsklemme (3) der Schaltung verbunden ist, die negative Eingangsklemme (2) mit der positiven Klemme des Ausgangs (4) verbunden ist, zwischen den Ausgangsklemmen (3) und (4) ein Filterkondensator (CF) geschaltet ist, besteht *dadurch gekennzeichnet*, dass die Serienschaltung des zweiten (C1) und dritten (C2) Kondensators zwischen der positiven Eingangsklemme (1) und der negativen Ausgangsklemme (3) geschaltet ist, die Anode der ersten Diode (D1) und der zweite Kondensator (C1) mit der negativen Ausgangsklemme (3) verbunden sind und der erste Kondensator (C) an den Verbindungspunkt von aktivem Schalter (S) und zweiter Spule (LE) und die Kathode der Freilaufdiode (D) an den Verbindungspunkt von zweiter Spule (LE) und Konverterspule (LF) geschaltet ist.
8. Vorrichtung gemäß Anspruch 7 und 2 *dadurch gekennzeichnet*, dass an den mit der positiven Eingangsklemme (1) verbundenen Anschluss des dritten Kondensators (C2) der Anfang der ersten Wicklung (N1) des Sperrwandlers, deren Wicklungsende mit dem aktiven Schalter (S1), dessen zweiter Leistungsanschluss mit dem Bezugspotential, der negativen Eingangsklemme (2) und der positiven Ausgangsklemme (4) verbunden ist und das Ende

der zweiten Wicklung (N2) des Sperrwandlers, deren Wicklungsanfang mit der Kathode der Diode (D3) des Sperrwandlers, deren Anode mit dem Zusammenschluss der Serienschaltung des zweiten (C1) und dritten Kondensator (C2) verbunden ist, geschaltet ist.

- 5 9. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei der Konverter aus einer Serienschaltung eines
aktiven Schalters (S) und einer Konverterspule (LF), an der die Eingangsspannung (U1)
liegt, wobei der positive Anschluss (1) des Eingangs mit der Konverterspule (LF) verbun-
den ist, zwischen dem Verbindungspunkt zwischen aktivem Schalter (S) und der Konver-
terspule (LF) die Anode einer Freilaufdiode (D) geschaltet ist, deren Kathode mit der positi-
10 ven Ausgangsklemme (4) der Schaltung verbunden ist, die positive Klemme (1) des Ein-
gangs mit der negativen Klemme des Ausgangs (3) verbunden ist, zwischen der positiven
Klemme (3) und der positiven Klemme (4) des Ausgangs ein Filterkondensator (CF) ge-
schaltet ist, besteht *dadurch gekennzeichnet*, dass die Serienschaltung des zweiten (C1)
und dritten Kondensators (C2) zwischen der negativen (2) des Eingangs und der negativen
15 Klemme (4) des Ausgangs geschaltet ist, die Kathode der ersten Diode (D1) und der zwei-
te Kondensator (C1) mit der positiven Ausgangsklemme (4) verbunden sind und der erste
Kondensator (C) an den Verbindungspunkt von aktivem Schalter (S) und zweiter Spule
(LE) und die Anode der Freilaufdiode (D) an den Verbindungspunkt von zweiter Spule (LE)
und Konverterspule (LF) geschaltet ist.
- 20 10. Vorrichtung gemäß Anspruch 9 und 2 *dadurch gekennzeichnet*, dass an dem mit der nega-
tiven Eingangsklemme (2) verbundenen Anschluss des dritten Kondensators (C2) der Be-
ginn der zweiten Wicklung (N2) des Sperrwandlers, deren Wicklungsende mit der Anode
der dritten Diode (D3), deren Kathode mit dem Zusammenschluss von zweitem (C1) und
25 drittem Kondensators (C2) verbunden ist, an der positiven Eingangsklemme (1) der Ein-
gangsspannung der Anfang der ersten Wicklung (N1) des Sperrwandlers geschaltet ist, de-
ren Wicklungsende mit dem aktiven Schalter (S1) des Sperrwandlers, dessen zweiter Leis-
tungsanschluss mit der negativen Eingangsklemme (2) verbunden ist, geschaltet ist.
- 30 11. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei der Konverter aus einer Serienschaltung eines
aktiven Schalters (S) und einer Konverterspule (LF), an der die Eingangsspannung (U1)
liegt, wobei der positive Anschluss (1) des Eingangs mit der Konverterspule (LF) verbun-
den ist, zwischen dem Verbindungspunkt zwischen aktivem Schalter (S) und Wandlerspule
(LF) die Anode einer Freilaufdiode (D) geschaltet ist, deren Kathode mit der positiven Aus-
35 gangsklemme (3) der Schaltung verbunden ist, die negative Klemme (2) des Eingangs mit
der negativen Klemme des Ausgangs (4) verbunden ist, zwischen den Ausgangsklemmen
(3) und (4) ein Kondensator geschaltet ist, besteht *dadurch gekennzeichnet*, dass die Se-
rienschaltung des zweiten (C1) und des dritten Kondensators (C2) zwischen den Aus-
gangsklemmen (3) und (4) geschaltet ist, die Kathode der ersten Diode (D1) und der zweite
40 Kondensator (C1) mit der positiven Ausgangsklemme (3) verbunden sind und der erste
Kondensator (C) an den Verbindungspunkt von aktivem Schalter (S) und zweiter Spule
(LE) und die Anode der Freilaufdiode (D) an den Verbindungspunkt von zweiter Spule (LE)
und Konverterspule (LF) geschaltet ist.
- 45 12. Vorrichtung gemäß Anspruch 11 und 2 *dadurch gekennzeichnet*, dass an den mit der
negativen Eingangsklemme (2) verbundenen Anschluss des dritten Kondensators (C2) der
Anfang der zweiten Wicklung (N2) des Sperrwandlers, deren Wicklungsende mit der Anode
der dritten Diode (D3), deren Kathode mit dem Zusammenschluss von zweitem (C1) und
50 drittem Kondensator (C2) verbunden ist und an der positiven Eingangsklemme (1) der Ein-
gangsspannung (U1) der Anfang der ersten Wicklung (N1) des Sperrwandlers geschaltet
ist, deren Wicklungsende mit dem aktiven Schalter (S1), dessen zweiter Leistungsan-
schluss mit der negativen Eingangsklemme (2) verbunden ist, geschaltet ist.
- 55 13. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei der Konverter aus einer Serienschaltung eines
aktiven Schalters (S) und einer Freilaufdiode (D), an der die Eingangsspannung (U1) liegt,

wobei der positive Anschluss (1) des Eingangs mit dem aktiven Schalter (S) verbunden ist, an den Verbindungspunkt zwischen aktivem Schalter (S) und der Kathode der Freilaufdiode (D) die Konverterspule (LF) geschaltet ist, deren zweiter Anschluss mit der positiven Ausgangsklemme (3) der Schaltung verbunden ist, die negative Klemme (2) des Eingangs mit der negativen Klemme des Ausgangs (4) verbunden ist, zwischen den Ausgangsklemmen (3) und (4) ein Kondensator (CF) geschaltet ist, besteht *dadurch gekennzeichnet*, dass die Serienschaltung des zweiten (C1) und dritten Kondensators (C2) zwischen den Eingangsklemmen (1) und (2) geschaltet ist, die Anode der ersten Diode (D1) und der zweite Kondensator (C1) mit der negativen Eingangsklemme (2) verbunden sind und der erste Kondensator (C) an den Verbindungspunkt von aktivem Schalter (S) und zweiter Spule (LE) und die Kathode der Freilaufdiode (D) an den Verbindungspunkt von zweiter Spule (LE) und Konverterspule (LF) geschaltet ist.

14. Vorrichtung gemäß Anspruch 13 und 2 *dadurch gekennzeichnet*, dass an den mit der positiven Eingangsklemme (1) verbundenen Anschluss des dritten Kondensators (C2) der Anfang der ersten Wicklung (N1) des Sperrwandlers, deren Wicklungsende mit dem aktiven Schalter (S1) des Sperrwandlers, dessen zweiter Leistungsanschluss mit dem Bezugspotential, der negativen Eingangs- (2) und der negativen Ausgangsklemme (4) verbunden ist und der Anfang der zweiten Wicklung (N2), deren Wicklungsende mit der Anode der dritten Diode (D3), deren Kathode mit dem Zusammenschluss des zweiten (C1) und dritten Kondensators (C2) verbunden ist, geschaltet ist.

15. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei der Konverter aus einer Serienschaltung eines aktiven Schalters (S) und einer Freilaufdiode (D), an der die Eingangsspannung (U1) liegt, wobei der positive Eingangsanschluss (1) mit der Kathode der Freilaufdiode (D) verbunden ist, zwischen dem Verbindungspunkt zwischen aktivem Schalter (S) und Freilaufdiode (D) die Konverterspule (LF) geschaltet ist, deren anderer Anschluss mit der negativen Ausgangsklemme (4) der Schaltung verbunden ist, die positive Klemme (1) des Eingangs mit der positiven Klemme des Ausgangs (3) verbunden ist, zwischen den Ausgangsklemmen (3) und (4) ein Filterkondensator (CF) geschaltet ist, besteht *dadurch gekennzeichnet*, dass die Serienschaltung des zweiten (C1) und dritten Kondensators (C2) zwischen den Eingangsklemmen (1) und (2) geschaltet ist, die Kathode der ersten Diode (D1) und der zweite Kondensator (C1) mit der positiven Eingangsklemme (1) verbunden sind und der erste Kondensator (C1) an den Verbindungspunkt von aktivem Schalter (S) und zweiter Spule (LE) und die Anode der Freilaufdiode (D) an den Verbindungspunkt von zweiter Spule (LE) und Konverterspule (LF) geschaltet ist.

16. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, wobei der Konverter aus einer Serienschaltung eines aktiven Schalters (S) und einer Freilaufdiode (D), an der die Eingangsspannung (U1) liegt, wobei der positive Eingangsanschluss (1) mit der Kathode der Freilaufdiode (D) und der Konverterspule (LF), deren zweiter Anschluss mit der positiven Ausgangsklemme (3) verbunden ist, geschaltet ist, der Verbindungspunkt zwischen aktivem Schalter (S) und Freilaufdiode (D) mit der negativen Ausgangsklemme (4) der Schaltung verbunden ist, zwischen den Ausgangsklemmen (3) und (4) ein Filterkondensator (CF) geschaltet ist, besteht *dadurch gekennzeichnet*, dass die Serienschaltung des zweiten (C1) und dritten (C2) Kondensators zwischen den Eingangsklemmen (1) und (2) geschaltet ist, die Kathode der ersten Diode (D1) und der zweite Kondensator (C1) mit der positiven Eingangsklemme (1) verbunden sind und der erste Kondensator (C) an den Verbindungspunkt von aktivem Schalter (S) und zweiter Spule (LE) und die Anode der Freilaufdiode (D) an den Verbindungspunkt von zweiter Spule (LE), Filterkondensator (CF) und negative Ausgangsklemme (4) geschaltet ist.

17. Vorrichtung gemäß Anspruch 15 oder 16 und 2 *dadurch gekennzeichnet*, dass an den mit der negativen Eingangsklemme (2) verbundenen Anschluss des dritten Kondensators (C2) das Ende der zweiten Wicklung (N2) des Sperrwandlers, deren Wicklungsanfang mit der

Anode der dritten Diode (D3), deren Kathode mit dem Zusammenschluss von zweitem (C1) und drittem Kondensator (C2) verbunden ist, an der positiven Eingangsklemme (1) der Eingangsspannung der Anfang der ersten Wicklung (N1) des Sperrwandlers geschaltet ist, deren Wicklungsende mit dem aktiven Schalter (S1) des Sperrwandlers, dessen zweiter Leistungsanschluss mit der negativen Eingangsklemme (2) verbunden ist, geschaltet ist.

18. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 bis 17 *dadurch gekennzeichnet*, dass die Serienschaltung der ersten (D1) und zweiten Diode (D2) diskret oder durch eine Doppeldiode realisiert ist.

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen

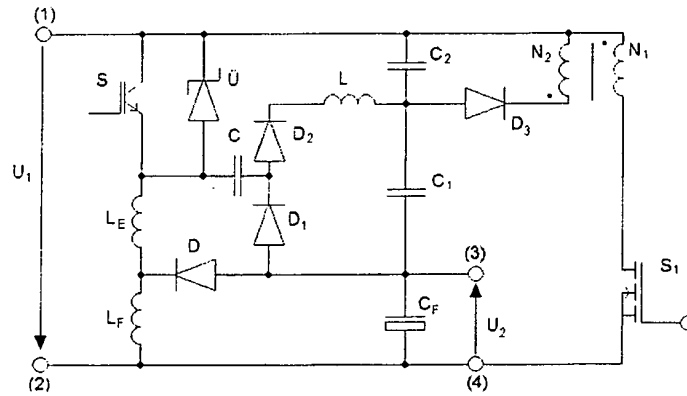


Fig. 1

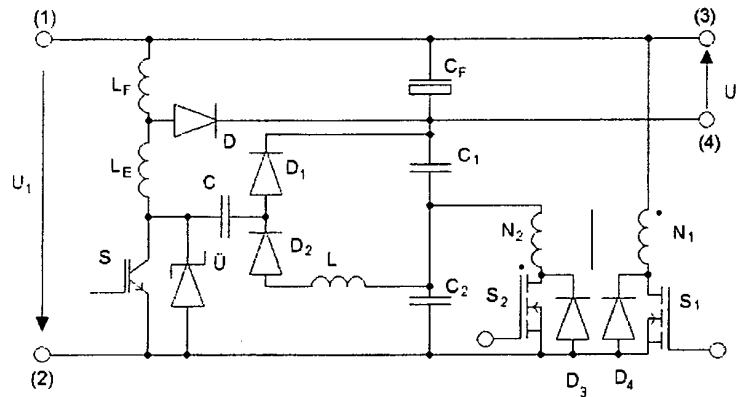


Fig. 2

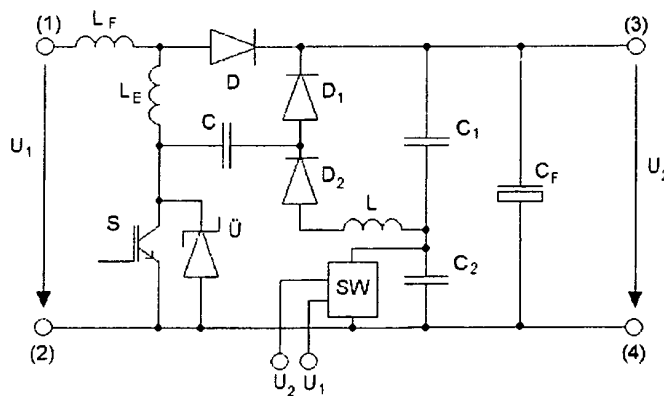


Fig. 3

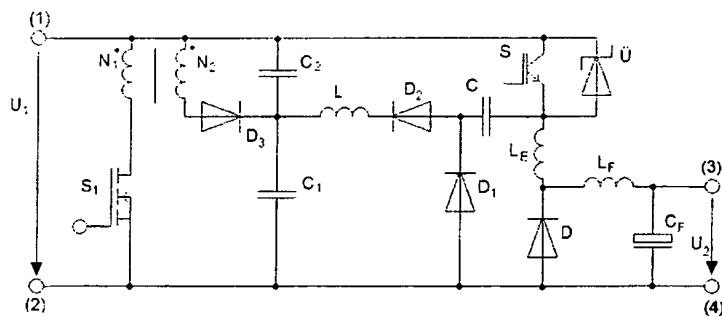


Fig. 4

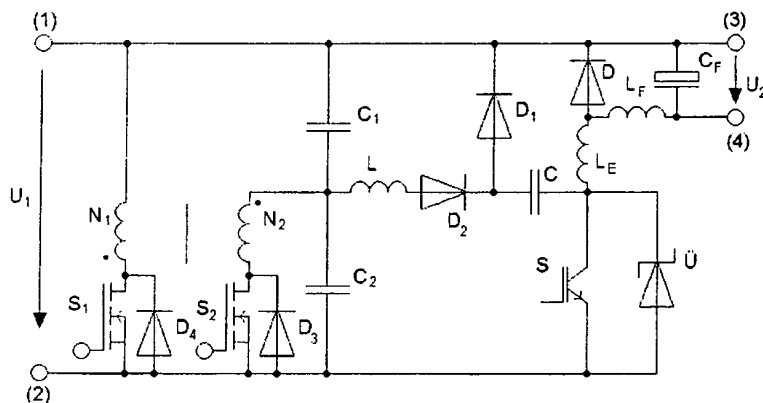


Fig. 5

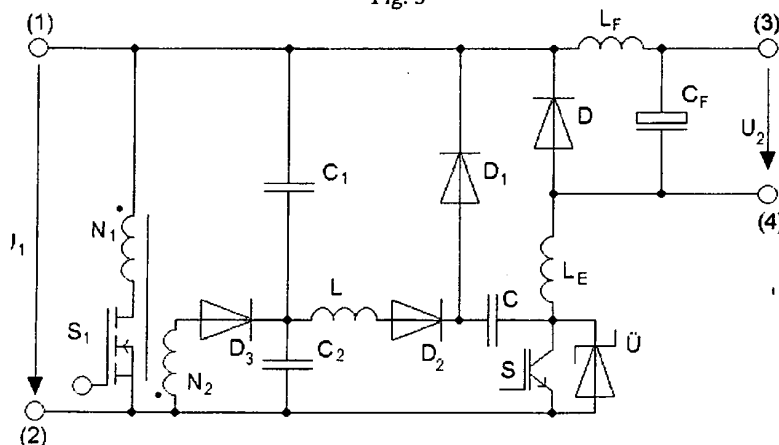


Fig. 6