



REPUBLIK
ÖSTERREICH
Patentamt

(10) Nummer: **AT 412 371 B**

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: A 1101/2001
(22) Anmeldetag: 16.07.2001
(42) Beginn der Patentdauer: 15.06.2004
(45) Ausgabetag: 25.01.2005

(51) Int. Cl.⁷: **G05F 1/618**
H02M 3/158

(56) Entgegenhaltungen:
JP 09 233808A

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

(72) Erfinder:
HIMMELSTOSS FELIX DIPL.ING. DR.TECHN.
WR. NEUDORF, NIEDERÖSTERREICH (AT).

(54) STEUERVERFAHREN ZUR REDUKTION DER SCHALTVERLUSTE IN BIDIREKTIONALEN KONVERTERN ZUR UMFORMUNG VON GLEICHSPANNUNGEN

(57) Bidirektionale Wandlerschaltungen (z.B. Fig.1) zur Umformung von unipolaren Spannungen (U_1) in unipolare Spannungen (U_2) mit Hilfe von zwei aktiven (S_1 , S_2) und zwei passiven (D_1 , D_2) Halbleiterschaltern, zwei Kondensatoren (C_1 , C_2) und einer Induktivität (X), die mit einer Anzapfung versehen ist. Es ergeben sich damit andere Spannungstransformationszusammenhänge, die in bestimmten Anwendungsfällen zu günstigeren Tastverhältnissen für die Halbleiterschalter und günstigeren Bauteilbelastungen (in Hinblick auf erforderliche Stromtragfähigkeit bzw. Sperrspannung der Halbleiterbauelemente) führen und so die Auswahl preisgünstigerer Bauelemente ermöglichen. An den Konverter kann eine Gleichstrommaschine, die Wicklung einer Reluktanzmaschine, ein Aktuator oder nach Zwischenschaltung eines Hochpaß ein Lautsprecher angeschaltet werden.

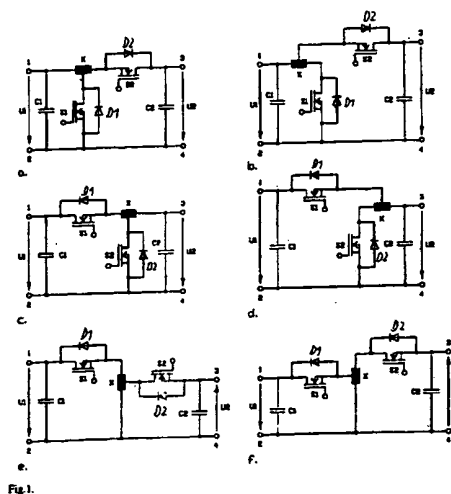


Fig. 1.

AT 412 371 B

Die Erfindung bezieht sich auf Wandlerschaltungen (Fig.1, Fig.2) zur Umformung von Gleichspannungen in Gleichspannungen (der Begriff Gleichspannung wird hier als unipolare Spannung gesehen, d.h. sie kann veränderlich sein, aber nicht die Polarität ändern) mit Hilfe von zwei bidirektionalen Halbleiterschaltern, bestehend aus je einem aktiven Schalter wie Bipolartransistor, MOSFET, IGBT, GTO, MCT, SIT und je einer antiseriellen Diode, einem oder mehreren Kondensatoren, einer Induktivität, die als gekoppelte Spule in Form eines Spartransformators ausgeführt ist.

In A1346/97 sind eine Reihe von Konverterstrukturen 4. Ordnung dargestellt, die bei der Energieumsetzung eine angezapfte Spule verwenden. Man erreicht damit einen zusätzlichen Freiheitsgrad beim Entwurf der Konverterschaltung, der zu einer besseren Anpassung an das geforderte Übersetzungsverhältnis zwischen Ausgangs- und Eingangsspannung führt. Weiters wird dort die Erweiterungsmöglichkeit durch die Verwendung von bidirektionalen Schaltern behandelt.

In JP 09 233808 A (SANSHA ELECTRIC) ist ein, von der Schaltungsstruktur bidirektionaler Halbbrückenwandler mit sättigbarer Spule, einer angezapften Spule, einem Hilfsschwingkreis und den Schaltern parallel geschalteten Kondensatoren bekannt. Ziel der aufwendigen Schaltung ist die Reduktion der Schaltverluste. Die Grundstruktur der gegenständlichen Erfindung unterscheidet sich davon jedoch deutlich. Hierbei handelt es sich nicht um eine Halbbrückenstruktur, die beiden Schalter sind durch eine angezapfte Spule voneinander getrennt. Weiters gelingt die Reduktion der Schaltverluste nicht durch aufwendige Beschaltung, sondern durch eine geschickte Ansteuerung der bidirektionalen Schalter.

Im Rahmen dieser Anmeldung werden Konverter 2. Ordnung beschrieben, die speziell durch die Bidirektionalität als Ladegerät bzw. in unterbrechungsfreien Stromversorgungen eingesetzt werden können. Durch die Verwendung eines Spartransformators können insbesondere größere Spannungsdifferenzen zwischen den beiden Spannungsniveaus, bei günstiger Belastung der Halbleiterbauelemente, überbrückt werden.

Die Eingangsgleichspannung kann je nach Anwendungsfall von einer Batterie, Solarzellen, Brennstoffzellen geliefert werden, oder durch Gleichrichtung aus dem Ein- oder Mehrphasennetz, bzw. durch Gleichrichtung der Ausgangsspannung von Wechsel- oder Drehstromgeneratoren und anschließender, eventuell auch nur grober Filterung, gewonnen werden. Der Begriff Eingangsspannung ist natürlich bei einem bidirektionalen Wandler (der ja als Zweitor aufgefaßt werden kann) nicht auf eine bestimmte Anschlußklemmenkombination beschränkt. Was jeweils als Eingang bzw. Ausgang aufzufassen ist, hängt vom Anwendungsfall ab.

Als bidirektionale Wandlerschaltungen *zweiter Ordnung* zur Umformung von Gleichspannungen (unipolare Spannung) (U_1) in eine Gleichspannung (U_2) (DC/DC-Konverter) mit Hilfe zweier aktiver Halbleiterschalter (S1, S2), ausgeführt mit Bipolartransistoren, MOSFET, IGBT, GTO, MCT, SIT(h) oder ähnlichem, an deren Steuerelektroden Pulse mit festlegbarem Tastverhältnis und Frequenz gelegt sind und mit zwei passiven Schalter (Dioden) (D1, D2)), werden solche bezeichnet, die 2 Speicherelemente haben. Dies sind jeweils ein Kondensator und eine Induktivität. Ein Kondensator wird dabei immer parallel zur Ausgangsspannung liegen. Parallel zum Eingang - bei einer bidirektionalen Schaltung ist das die treibende Quelle, der im Mittel mehr Energie entnommen wird und deren Spannung nahezu konstant ist, also das Netz oder eine Batterie darstellt - sollte aus schaltungstechnischen Gründen ebenfalls immer ein Kondensator liegen. Da dieser parallel zur treibenden Spannungsquelle liegt, dient dieser nur zur Abblockung der parasitären Induktivität der Zuleitung zwischen der eigentlichen Spannungsquelle und dem Wandler und führt daher nicht zu einer Erhöhung der Ordnung.

Als Ausgangspunkt für die Gewinnung der Topologien dienen funktionsfähige pulsweitenmodulierte Konverter zweiter Ordnung. Der Vorgang zur Gewinnung von prinzipiell funktionierenden Topologien mit einem Spartransformator bzw. mit einer angezapften Spule ist folgender: Die Spule des Konverters wird mit einer Anzapfung versehen. Weiters schließt man eines der Halbleiterbauelemente, das an dem Knoten, an dem beide Schaltelemente mit einem Anschluß der Induktivität verbunden waren, an diese Anzapfung, das andere Schaltelement bleibt unverändert. Beide Schaltelemente sind strombidirektional ausgeführt.

Der stationäre Zusammenhang zwischen Ausgangsspannung und Eingangsspannung in Abhängigkeit des Tastverhältnisses d und den Windungszahlen des Spartransformators ist beispielhaft für die Schaltung Fig. 1.e angegeben

$$M = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2 \cdot d}{(N_1 + N_2) \cdot (1 - d)} ,$$

der Spartransformator hat dabei die Gesamtwindungszahl $N_1 + N_2$, die Teilspulen die Windungszahlen N_1 bzw. N_2 .

Es ist noch anzuführen, daß die aktive Schalter durch Entlastungsnetzwerke, die mit Hilfe von Quasiresonanzstrukturen und ähnlichen soft-switching Strukturen zur Verringerung der Schaltverluste erweitert werden können. Einen Überblick mit reicher Literaturangabe findet man dazu im Artikel Soft-Switching Techniques in PWM Converters, G.Hua & F.C.Lee, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol 42, Dez. 1995, 595-603.

Ein sehr günstiges Verfahren zur Verringerung der Schaltverluste ist das folgende: Bekanntlich tritt beim Abschalten einer Freilaufdiode immer eine Rückstromspitze auf, die proportional zum gerade fließenden Strom, der Abkommutierungsgeschwindigkeit und der Temperatur ist. Diese führt zu einer zusätzlichen Belastung beim gerade einschaltenden aktiven Schalter. Damit ein Kurzschluß vermieden wird, muß der parallel zur Diode liegende aktive Schalter, der diese (sonst leitende) überbrückt und daher zu einer Verringerung der Durchlaßverluste führt, zeitlich etwas vor dem Einschalten des anderen aktiven Schalters ausgeschaltet werden. Dadurch kommutiert der Strom kurzfristig in die Diode, um dann beim Einschalten des anderen aktiven Schalters dorthin zu kommutieren. Führt man jedoch diesen Umschaltvorgang genau dann durch, wenn der Strom in der Spule und daher der Strom in den Halbleitern nahezu null ist, so können nur kleine oder geringe Schaltverluste auftreten. Zur Steuerung des Energieflusses muß in diesem Fall die Frequenz verändert werden. Diese führt bei geringen Lasten zu einem beträchtlichen Anstieg der Schaltfrequenz. Um das zu vermeiden, kann man einen quasidiskontinuierlichen Mode einführen und den Schalter knapp vor dem Stromnulldurchgang ausschalten; der Strom kommutiert dann zwangsweise in die Diode und diese schaltet dann ohne Zwangskommutierung aus. Der andere Schalter wird erst je nach Bedarf wieder eingeschaltet. Dieses Verfahren trägt besonders im Teillastbereich zu einer Erhöhung des Wirkungsgrads bei.

An den Konverter kann eine Gleichstrommaschine, die Wicklung einer Reluktanzmaschine, ein Aktuator oder nach Zwischenschaltung eines Hochpaßes ein Lautsprecher angeschaltet werden. Weiters kann nach Vorschaltung eines Gleichrichters der Wandler als Power Factor Corrector (PFC) verwendet wird. Die Bidirektionalität führt zu einer deutlichen Erhöhung der Dynamik, was besonders für die Antriebstechnik von Nutzen sein kann.

Die Figuren 1.a bis 1.e stellen Ausformungen der bidirektionalen Wandler mit angezapfter Spule dar.

Figur 1.a zeigt eine Wandlerschaltung, bei der ein Anschluß (1) der Spannung (U_1) an einen Anschluß der Spule mit Anzapfung (X) geschaltet ist, an die Anzapfung ein bidirektionaler Schalter (S_1 , D_1) zum Bezugspunkt (der gleichzeitig der zweite Anschluß (2) für die Spannung (U_1) und (4) für die Spannung (U_2) ist) geschaltet ist und an den dritten Anschluß der Spule mit Anzapfung (X) der zweite strombidirektionale Schalter (S_2 , D_2), dessen anderer Anschluß an den Ausgang der Schaltung (3) führt. Die Spannung (U_2) kann zwischen den Klemmen (3) und (4) abgegriffen oder angelegt werden. Zwischen den Anschlüssen der Schaltung (1) und (2) und den Anschlüssen der Schaltung (3) und (4) ist jeweils noch ein Kondensator (C_1) bzw. (C_2) geschaltet. Möchte man die Spannungspolarität von (U_1) und (U_2) umdrehen, so ist die Polung der strombidirektionalen Schalter (S_1 , D_1) bzw. (S_2 , D_2) zu vertauschen. Es entstehen auf diese Weise zwölf funktionierende bidirektionale Wandlerstrukturen.

Figur 2 zeigt Stromverläufe in der Spule für den eingeschwungenen Zustand (der Sprung im Wicklungsstrom ist durch die Aufrechterhaltung des Flusses im Kern bedingt; Zunahme des Stromes bedeutet Treiben, Abnahme des Stromes tritt im Freilauf auf). Der Konverter wird in Fig. 2.a-c immer an der Grenze zwischen kontinuierlichem und diskontinuierlichem Strom in der Induktivität (X) betrieben. Man erkennt, daß mit steigendem mittleren Induktivitätsstrom die Frequenz abnimmt, wenn Schalten bei Strom null (und damit geringe, im Idealfall sogar keine, Schaltverluste) gewünscht wird. Bei Teillast führt dies zu einem Ansteigen der Schaltfrequenz, wenn man nicht ein zu starkes Pendeln der Energie zwischen Versorgungsspannung und Last (und damit relativ hohe Leit- und Schaltverluste in Kauf nehmen möchte), das bei der Ausnutzung der Bidirektionalität auftritt, wie Fig. 2.e zeigt. Figur 2.d zeigt den quasidiskontinuierlichen Betrieb, wo dies vermieden

wird und Fig. 2.f zeigt einen kontinuierlichen Betrieb, bei dem die Frequenz höher, die maximale Stromamplitude geringer ist als beim Betrieb im Grenzfall (für den gleichen Strommittelwert), zusätzlich jedoch Schaltverluste auftreten.

5

PATENTANSPRÜCHE:

1. Wandlerschaltungen *zweiter Ordnung* zur Umformung von Gleichspannungen (unipolare Spannung) (U_1) in eine Gleichspannung (U_2) mit Hilfe zweier aktiver Halbleiterschalter (S1, S2), ausgeführt mit einem Bipolartransistor, MOSFET, IGBT, GTO, MCT, SIT(h) oder ähnlichem, an deren Steuerelektrode Pulse mit festlegbarem Tastverhältnis und Frequenz gelegt sind, mit zwei passiven Schaltern (Dioden) (D1, D2), sowie maximal zwei Kondensatoren (C, C1, C2) und einer Induktivität (X) in Form einer Spule mit Anzapfung **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Schaltungsknoten der zugrunde liegenden Wandlerstruktur, an der neben der Induktivität mindestens zwei weitere Bauelemente angeschlossen sind, in zwei Schaltungsknoten zerlegt wird, zwischen diese Schaltungsknoten die neue Teilwicklung der angezapften Induktivität geschaltet wird und die restlichen Bauelemente auf die beiden Schaltungsknoten verteilt werden, wobei mindestens ein zusätzliches Bauteil pro Schaltungsknoten anzuschließen ist; die Schaltelemente sind dabei jeweils eine Parallelschaltung eines aktiven Schalters (S1 oder S2) mit einem passiven Schalter (D1, D2), zwischen den Anschlußpaaren, an denen die Spannungen U_1 und U_2 wirken, wird jeweils ein Kondensator (C1, C2) geschaltet.
2. Steuerverfahren zur Umformung von Gleichspannungen **dadurch gekennzeichnet**, daß die beiden aktiven Schalter, abgesehen von einer kurzen Totzeit, während der beide aktiven Schalter gesperrt sind, komplementär angesteuert werden und die Umschaltung auf Treiben, das heißt Zunahme des Stroms in der Induktivität immer dann erfolgt, wenn der Strom durch die Spule in einem Intervall um null liegt, das Umschalten auf Freilauf, das heißt Abnahme des Stroms, entsprechend einem Regler (Steuersignal) erfolgt.
3. Steuerverfahren zur Umformung von Gleichspannungen **dadurch gekennzeichnet**, daß sowohl Schalten auf Treiben - entspricht einer betragsmäßigen Zunahme des Stroms im induktiven Bauelement - und Schalten auf Freilauf - entspricht einer betragsmäßigen Abnahme des Stroms im induktiven Bauelement - entsprechend einem Regler (Steuersignal) erfolgt und der Schalter, der bei Freilauf leitend war, abgeschaltet wird, wenn der Strom durch die Spule in einem Intervall um null liegt.
4. Steuerverfahren gemäß Anspruch 2 **dadurch gekennzeichnet**, daß es bei jeder Konverterstruktur, die aus strombidirektionalen Schaltern aufgebaut ist, angewandt werden kann.
5. Steuerverfahren gemäß Anspruch 3 **dadurch gekennzeichnet**, daß es bei jeder Konverterstruktur, die aus strombidirektionalen Schaltern aufgebaut ist, angewandt werden kann.
6. Wandlerschaltungen gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, daß sie nach Vorschaltung eines Gleichrichters als Power Factor Corrector (PFC) verwendet werden.
7. Wandlerschaltungen gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, daß an den Konverter eine Gleichstrommaschine, eine Wicklung einer Reluktanzmaschine, ein Aktuator oder nach Zwischenschaltung eines Hochpasses ein Lautsprecher angeschlossen ist.
8. Wandlerschaltungen gemäß Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, daß die strombidirektionalen Schalter mit soft-switching Netzwerken zur Reduktion der Schaltverluste versehen sind.

50

HIEZU 1 BLATT ZEICHNUNGEN

55

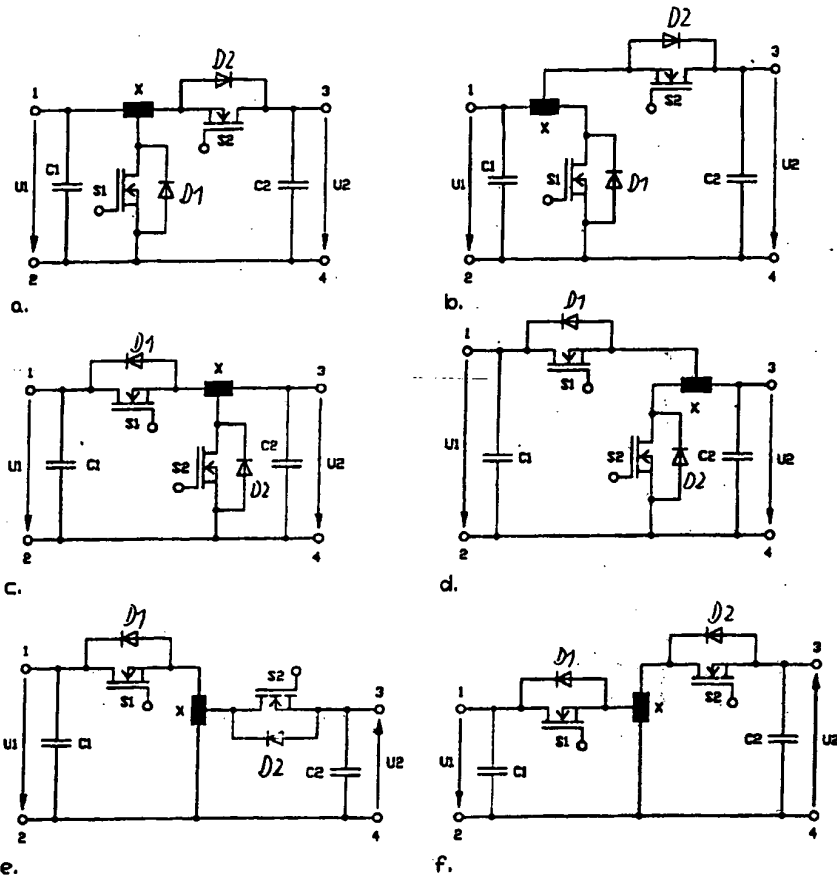


Fig. 1.

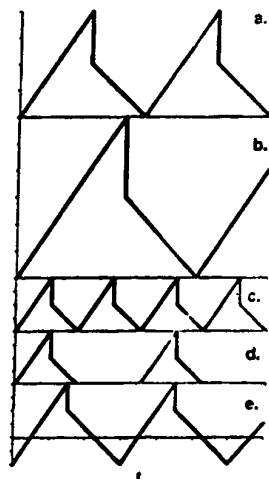


Fig. 2.