



(12)

# PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 928/2000  
(22) Anmeldetag: 26.05.2000  
(42) Beginn der Patentdauer: 15.09.2001  
(45) Ausgabetag: 27.05.2002

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>: **H03F 3/217**  
H03F 3/21

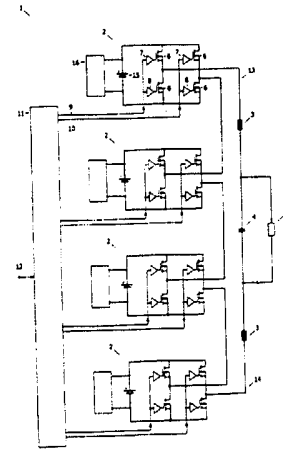
(73) Patentinhaber:  
ERTL JOHANN DR.  
A-5270 MAUERKIRCHEN, OBERÖSTERREICH  
(AT).  
(72) Erfinder:  
ERTL JOHANN DR.  
MAUERKIRCHEN, OBERÖSTERREICH (AT).  
KOLAR JOHANN W. DR.  
WIEN (AT).

## (54) VORRICHTUNG ZUR ERZEUGUNG EINES VORGEBBAREN SPANNUNGSVERLAUFES MIT HOHER PULSLEISTUNG UND GRENZFREQUENZ

**AT 409 054 B**

(57) Die Erfindung betrifft eine leistungselektronische Vorrichtung mit geringer Verlustleistung und hohem Wirkungsgrad zur Erzeugung eines über den Steuereingang (12) vorgebbaren, an einer allgemeinen Lastimpedanz (5) auftretenden Spannungsverlaufes hoher Pulsleistung und Grenzfrequenz. Der Leistungsteil der Vorrichtung besteht aus einer Anzahl wechselspannungsseitig in Serie geschalteter Vollbrücken-Schaltstufen (2), welche aus Leistungstransistoren mit den zugehörigen potentialgetrennten Ansteuerbaugruppen (7,8) sowie einem nachgeschalteten Ausgangsfilter, gebildet aus Filterinduktivitäten (3) und einem Filterkondensator (4), gebildet werden. Die Energieversorgung der Vollbrücken-Schaltstufen (2) erfolgt über jeweils zugeordnete potentialfreie elektro-chemische Energiespeicher (15). Die Nachladung dieser Speicher erfolgt über Nachladeeinrichtungen (16), welche trotz hoher generierbarer Pulsleistung des Systems lediglich hinsichtlich der mittleren abgegebenen Leistung auszulegen sind. Die pulsbreitenmodulierte Steuerung der einzelnen Schaltstufen (2) erfolgt über Binärsignale (9,10) durch ein zentrales Steuergerät (11) in der Art, daß eine phasenversetzte Taktung der einzelnen Schaltstufen gegeben ist. Daraus resultiert, daß

der zwischen den Anschlüssen (13) und (14) anliegende Spannungsverlauf den am Eingang (12) vorgegebenen Sollwert sehr gut approximiert, wodurch der Filteraufwand gering gehalten wird.



Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung eines vorgebbaren, über einer Lastimpedanz auftretenden Spannungsverlaufes wie sie im Oberbegriff des Patentanspruches 1 beschrieben ist.

Im Bereich der industriellen Meß-, Prüf- und Prozeßtechnik werden vielfach Hochleistungs-  
5 verstärker zur Erzeugung von Strom-/Spannungsverläufen hoher Pulsleistung eingesetzt. Beispielsweise sei etwa die Generierung von Prüfsignalen zur Netzspannungssimulation beim Test der elektromagnetischen Verträglichkeit von Geräten und Anlagen (z.B. nach Norm IEC-1000-3) erwähnt. Die zur Prüfspannungserzeugung verwendeten Leistungsquellen werden nach dem derzeitigen Stand der Technik entweder als Linear-Leistungsverstärker oder aber als geschalteter  
10 Leistungsverstärker ausgeführt, wobei typischerweise Ausgangsspannungen im Bereich von  $\pm 400\text{V}$  bei Ausgangsströmen von  $\pm 50\text{A}$  und mehr gefordert sind.

Leistungsverstärker im Linearbetrieb weisen üblicherweise ein exzellentes dynamisches Verhalten (hohe Grenzfrequenz) auf. Die Ausgangsspannung wird dabei beispielsweise durch eine  
15 entsprechend gesteuerte komplementäre Emitterfolgerstufe gebildet. Insbesondere wenn im Sinne einer weitgehend linearen Übertragungskennlinie des Verstärkers ein Betrieb mit hohem Ruhestrom gewählt wird (Gegentakt-A- bzw. AB-Betrieb) oder wenn nicht-ohmsche Lastimpedanzen angespeist werden, bzw. im Pulsbetrieb, treten allerdings hohe Verluste auf. Infolge des dadurch bedingten hohen Kühlaufwandes resultieren als Nachteile ein relativ geringes spezifisches Leistungsgewicht (bzw. großes Bauvolumen), ein schlechter Wirkungsgrad und hohe Betriebs- und  
20 Anschaffungskosten des Gesamtsystems.

Die prinzipbedingt hohen Verluste von Linear-Leistungsverstärkern können durch Übergang auf den Schaltbetrieb der komplementären Emitterfolgerstufe (D-Betrieb) idealerweise gänzlich vermieden werden (Schaltverstärker bzw. "digitaler" Leistungsverstärker). Die gewünschte Ausgangsspannung wird dabei durch Pulsbreitenmodulation nur als Mittelwert, bezogen auf eine  
25 definierte Pulsperiode, gebildet. Geschaltete Leistungsverstärker sind deshalb durch einen hohen Aufwand zur "Umformung" der pulsformigen diskontinuierlichen Schalter-Ausgangsspannung in die letztlich zu bildende kontinuierliche Ausgangsspannung mittels nicht-dissipativer Reaktanzfilter (LC-Filter) gekennzeichnet. Da hierbei die Grenzfrequenz des Filters für einen hohen Störspannungsabstand wesentlich unter die (durch die Schaltverluste der Leistungstransistoren begrenzte)  
30 Schaltfrequenz zu legen ist, resultiert jedoch eine relativ geringe Leistungsbandbreite. Es besteht die grundsätzliche Problematik eines zu schließenden Kompromisses zwischen Nutzfrequenz des Ausgangssignales, Filtergrenzfrequenz und maximal vertretbare Schaltfrequenz. Die gegenwärtig zur Verfügung stehenden Leistungstransistoren im kVA-Bereich (IGBTs bzw. MOSFETs) beschränken die Schaltfrequenz von geschalteten Verstärkern üblicherweise auf Werte im Bereich  
35  $20\text{kHz} \dots 100\text{kHz}$ . Für die praktische Auslegung bedeutet dies, daß die Grenzfrequenz des Nutzsignales auf etwa den Bereich  $2\text{kHz} \dots 10\text{kHz}$  beschränkt ist, da wegen des beschriebenen Filterkompromisses ein Verhältnis von Schaltfrequenz zu Grenzfrequenz von etwa 10:1 eingehalten werden muß.

Ein weiterer Nachteil der bisher betrachteten Verstärkersysteme besteht darin, daß beide  
40 Strukturen (Linearverstärker wie auch geschaltete Verstärker) die an die Last abgegebene Leistung üblicherweise direkt aus ihrer Versorgungseinrichtung (Netzteil) beziehen. Daraus resultiert, daß für die Erzeugung von Ausgangssignalen hoher Pulsamplitude auch das Netzteil des Verstärkers auf eine entsprechend hohe Pulsleistung ausgelegt sein muß, was die Kosten des Gesamtsystems beträchtlich erhöhen kann.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung zur Erzeugung eines vorgebbaren, über  
45 einer allgemeinen Lastimpedanz auftretenden Spannungsverlaufes mit hohem Wirkungsgrad und hoher Grenzfrequenz zu schaffen, wobei die vom System abgegebene hohe Pulsleistung nicht augenblicklich aus dem Versorgungssystem (Netzteil) geliefert wird, sondern dieses nur auf die mittlere abgegebene Leistung auszulegen ist.

Die Lösung der Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruches 1  
50 erreicht. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung werden durch die Unteransprüche 2 bzw. 3 beschrieben.

Grundidee des der Erfindung zugrundeliegenden Verstärkerprinzipes ist es, die eingangs beschriebene filterbedingte Schaltfrequenz/Nutzfrequenz-Problematik von konventionellen geschalteten  
55 Verstärkern dadurch zu umgehen, daß die gesamte Ausgangsspannung aus mehreren kleinen

Teilspannungen über eine Kettenschaltung von insgesamt N Vollbrücken-Schaltstufen ("Schaltzellen") gebildet wird und diese phasenversetzt getaktet pulsbreitenmoduliert betrieben werden, d.h., daß die Taktung der einzelnen Vollbrücken-Schaltstufen jeweils um den N-ten Teil der gesamten, gemäß der Schaltfrequenz gegebenen Taktperiode zueinander versetzt erfolgt. Die resultierende effektive Schaltfrequenz der Gesamtanordnung beträgt somit das N-fache der Schaltfrequenz der einzelnen Zellen bei gleichzeitig wesentlich verbesserter Approximation des gewünschten Ausgangssollspannungsverlaufes infolge der N-fach feineren Spannungsstufen sowie einer N-fachen Erhöhung der für die Filterung relevanten Störfrequenzen. Der an der Last auftretende Spannungsrippel wird somit bei gleicher Schaltfrequenz der einzelnen Leistungshalbleiter um den Faktor  $N^3$  reduziert, die Qualität der Ausgangsspannung entscheidend verbessert bzw. die Grenzfrequenz erhöht.

Ein weiterer Vorteil dieses neuartigen Leistungsverstärkers in "Kettenbrückenstruktur" liegt darin, daß die einzelnen Vollbrücken-Schaltstufen spannungsmäßig nur auf den N-ten Teil der gewünschten maximalen Ausgangsspannung auszulegen sind, was den Einsatz niedersperrender Majoritätsträger-Halbleiterventile (Niederspannungs-MOSFETs, Schottky-Dioden) ermöglicht. Im Gegensatz zu konventionellen Schaltverstärkern, die wegen der hohen Sperrspannungsbelastung der Ventile üblicherweise auf Minoritätsbauelemente (IGBTs, Bipolardioden) angewiesen sind, können die einzelnen Zellen der Kettenbrückenstruktur bei gleichen Gesamt-Schaltverlusten deshalb mit einer deutlich höheren Schaltfrequenz betrieben werden, woraus eine zusätzliche Verbesserung der Ausgangsspannungsqualität bzw. der Grenzfrequenz resultiert.

Als entscheidendes Merkmal der neuartigen Verstärkerschaltung ist jedoch auch anzuführen, daß die insgesamt N benötigten Gleichspannungsquellen, welche die Vollbrückenstufen speisen - von welchen topologiebedingt Potentialfreiheit gefordert ist, - durch mit hohen Strömen belastbare elektro-chemische Energiespeicher (beispielsweise Akkumulatoren bzw. elektro-chemische Doppelschicht-Kondensatoren) realisiert sind. Der Verstärker kann deshalb Spannungssignale mit sehr hoher Pulsleistung an die Lastimpedanz abgeben, während die Nachladeeinrichtung sowie das übergeordnete Wechselspannungsnetz, aus dem die Akkumulatoren nachgeladen werden, lediglich auf die im zeitlichen Mittel vom Verstärkersystem abgegebene Leistung auszulegen ist.

Die Erfindung wird in Form einer insbesondere hinsichtlich Realisierungsaufwand vorteilhaften Ausgestaltung anhand von Fig.1 näher erläutert, wobei

**Fig.1:** die aus einer Serienschaltung von vier, aus elektro-chemischen Energiespeichern gespeisten Vollbrücken-Schaltstufen gebildete Grundstruktur einer Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen geschalteten Leistungsverstärkers zeigt.

In Fig.1 ist ein geschalteter Leistungsverstärker (1) dargestellt, gebildet aus einer Serienschaltung von beispielsweise vier Vollbrücken-Schaltstufen (2), welche über ein aus Filterinduktivitäten (3) und einem Filterkondensator (4) gebildetes Glättungsfilter eine allgemeine Lastimpedanz (5) speisen. Die Vollbrücken-Schaltstufen (2) bestehen aus vier abschaltbaren Leistungshalbleitern (6) (z.B. Leistungs-MOSFETs) und jeweils zwei nicht-invertierenden (7) bzw. invertierenden (8) potentialgetrennten Ansteuerstufen. Die schaltfrequenten binären Steuersignale (9) und (10) für die Vollbrücken-Schaltstufen (2) werden vom zentralen Steuergerät (11) pulsbreitenmoduliert in der Art vorgegeben, daß das Tastverhältnis des Signales (9) proportional der am Eingang (12) des Verstärkers anliegenden Steuerspannung ist, während das Tastverhältnis des Signales (10) komplementär dazu vorgegeben wird. Das Steuergerät (11) generiert die Schaltsignale dabei in der Art, daß eine phasenversetzte Taktung der einzelnen Vollbrücken-Schaltstufen (2) gegeben ist, d.h., daß die insgesamt 8 Steuersignale hier jeweils um den 8-ten Teil der der Schaltfrequenz entsprechenden Taktperiode zueinander zeitversetzt sind. Dadurch wird die schaltfrequente Schwankung der zwischen (13) und (14) anliegenden Gesamtspannung der Serienschaltung aller Stufen signifikant verringert weshalb diese Spannung den Verlauf der am Steueranschluß (12) vorgegebene Soll-Spannung wesentlich besser approximiert als dies für ein dem Stand der Technik entsprechendes System der Fall ist. Die Energieversorgung der einzelnen Schaltstufen (2) erfolgt jeweils aus potentialfreien elektro-chemischen Energiespeichern (15) (beispielsweise Akkumulatoren bzw. elektro-chemische Doppelschicht-Kondensatoren hoher Energiedichte ("Superkondensatoren")), weshalb für die erfindungsgemäße Anordnung der Vorteil gegeben ist, kurzzeitig sehr hohe Pulsleistungen an die Lastimpedanz (5) abgeben zu können. Dies ist auch deshalb möglich, weil durch die geringe schaltfrequente Schwankung der Spannung zwischen (13) und (14) als Folge der

phasenversetzten Taktung der einzelnen Vollbrücken-Schaltstufen der Induktivitätswert der Filterinduktivitäten (3) gering gewählt werden kann und diese deshalb oft vorteilhaft als nicht-sättigende Luftinduktivitäten ausgeführt werden können. Die Bereitstellung der im zeitlichen Mittel von den Vollbrücken-Schaltstufen (2) abgegebenen Energie erfolgt über potentialfreie Nachladeeinrichtungen (16) (beispielsweise ausgeführt mittels Schaltnetzteilen), welche in der gezeigten Ausführungsvariante für jede Vollbrücken-Schaltstufe (2) separat realisiert sind. Alternativ wäre es aber auch möglich, für den gesamten geschalteten Verstärker (1) eine gemeinsame Nachladeeinrichtung zu realisieren und diese beispielsweise über Umschaltvorrichtungen (Relais) zur Nachladung zyklisch an die Energiespeicher (15) der einzelnen Schaltstufen durchzuschalten.

Bezüglich einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante ist anzumerken, daß die elektrochemischen Energiespeicher (15) nachladenden Nachladeeinrichtungen (16) nicht ausgeführt sein müssen, wenn der Gesamtverstärker von der Lastimpedanz (5) getrennt wird und mit seinem Ausgang an ein Gleich- bzw. Wechselspannungsversorgungsnetz entsprechender Spannungsamplitude geschaltet wird. Die Nachladung der Energiespeicher (15) erfolgt dann über einen aktiven Gleichrichterbetrieb der Vollbrücken-Schaltstufen (2). Als Nachteil ist allerdings anzuführen, daß in diesem Fall kein Dauerbetrieb des Verstärkers möglich ist.

#### PATENTANSPRÜCHE:

1. Vorrichtung zur Erzeugung eines vorgebbaren, über einer Lastimpedanz auftretenden Spannungsverlaufes hoher Pulsleistung und Grenzfrequenz unter Verwendung von, mit abschaltbaren Leistungshalbleitern ausgestatteten, schaltfrequent getakteten pulsbreitenmodulierten Vollbrücken-Schaltungen **dadurch gekennzeichnet**, daß die Vorrichtung aus einer Anzahl N von wechelspannungsseitig in Serie geschalteten, aus Leistungstransistoren (6) und diesen zugeordneten potentialgetrennten Ansteuerstufen gebildeten Schaltstufen (2) in Vollbrücken-Topologie in Verbindung mit einem nachgeordneten, aus Filterinduktivitäten (3) und einem Filterkondensator (4) gebildeten Glättungsfilter zur Unterdrückung der schaltfrequenten Komponenten der Gesamtausgangsspannung der in Serie geschalteten Vollbrücken-Schaltstufen (2) besteht, wobei die pulsbreitenmodulierte Steuerung der einzelnen Vollbrücken-Schaltstufen (2) jeweils durch Binärsignale (9,10) aus einem zentralen Steuergerät (11) gemäß dem am Eingang (12) anliegenden analogen Steuersignal in der Art erfolgt, daß eine phasenversetzte Taktung der einzelnen Vollbrücken-Schaltstufen (2) gegeben ist, die Steuersignale (9,10) der einzelnen Vollbrücken-Schaltstufen jeweils um den N-ten Teil der durch die Schaltfrequenz der Vorrichtung gegebenen Taktperiode zueinander zeitversetzt sind und die gleichspannungsseitige Energieversorgung der einzelnen Vollbrücken-Schaltstufen (2) durch potentialfreie elektro-chemische Energiespeicher (15) realisiert ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, daß die elektro-chemischen Energiespeicher (15) durch wiederaufladbare Akkumulatoren bzw. durch elektro-chemische Doppelschicht-Kondensatoren hoher Energiedichte gebildet werden.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**, daß am Ausgang der Vorrichtung anstatt der Lastimpedanz (5) ein Gleich- bzw. Wechselspannungsversorgungsnetz entsprechender Spannungsamplitude zugeschaltet ist, wobei die Nachladung der elektro-chemischen Energiespeicher (15) durch einen aktiven Gleichrichterbetrieb der Vollbrücken-Schaltstufen realisiert ist.

#### HIEZU 1 BLATT ZEICHNUNGEN

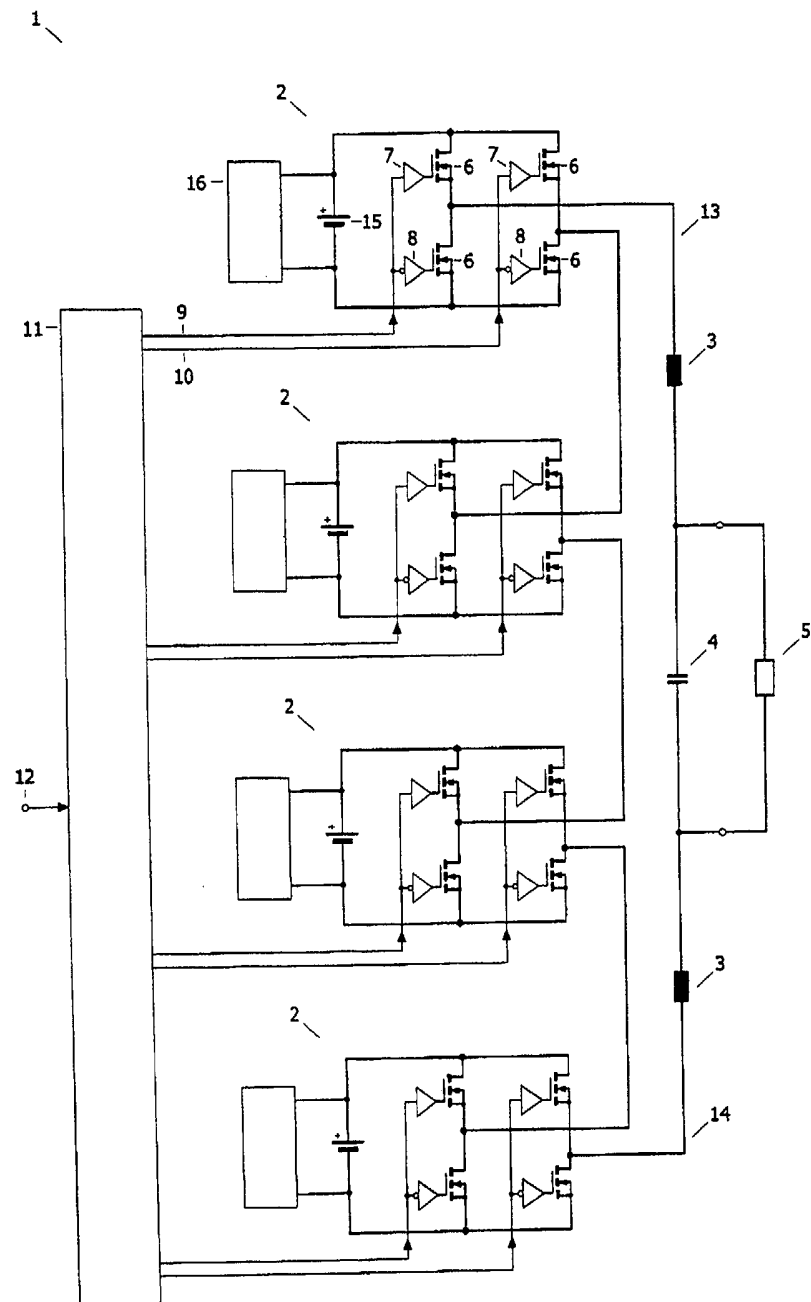


Fig. 1 / Ertl